

62776

(I)

Instituto Geológico
y Minero de España

**INFORME DE VALORACIÓN DE IMPACTO
DE LAS OBRAS DEL TRASVASE DEL EBRO
SOBRE EL SISTEMA KÁRSTICO DE
LA COVA DE SANT JOSEP.
VALL D'UIXÓ (CASTELLÓN)**



DOCUMENTO I: MEMORIA Y ANEJOS

junio 2004



INFORME	Identificación: H8.007/04
	Fecha: 1 Septiembre 2004
TÍTULO:	
INFORME DE VALORACIÓN DE IMPACTO DE LAS OBRAS DEL TRASVASE DEL EBRO SOBRE EL SISTEMA KARSTICO DE LA CAVA DE SANT JOSEP. VALL D'UIXO (CASTELLÓN)	
PROYECTO:	
INFORME DE VALORACIÓN DE IMPACTO DE LAS OBRAS DEL TRASVASE DEL EBRO SOBRE EL SISTEMA KARSTICO DE LA CAVA DE SANT JOSEP. VALL D'UIXO (CASTELLÓN)	
RESUMEN:	
El informe es un estudio realizado por el IGME, a demanda de TRASAGUA sobre los posibles impactos que la ejecución de las obras del trasvase del Ebro acarrearía sobre la Cueva y el manantial de San Joseph, en Castellón. Se han valorado las afecciones derivadas del Túnel de Vall d'Uixó y del Cruce de la Rambla de Belcaire. El informe consta de dos documentos: I: Memoria y Anejos; y II: Planos.	
Revisión Nombre: Juan A. López Geta Unidad: Hidrogeología y Aguas Subterr. Fecha: 1/09/2004	Autores: B. Ballesteros; J.J. Durán, (Coordinadores) Responsable: Juan José Durán Valsero

INFORME DE VALORACIÓN DE IMPACTO DE LAS OBRAS DEL TRASVASE DEL EBRO SOBRE EL SISTEMA KÁRSTICO DE LA COVA DE SANT JOSEP. VALL D'UIXÓ (CASTELLÓN)

Coordinadores:

- ❖ Bruno J. Ballesteros Navarro. Técnico de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del IGME (Instituto Geológico y Minero de España)
- ❖ Juan José Durán Valsero. Jefe del Servicio de Investigación y Desarrollo Hidrogeológico de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del IGME (Instituto Geológico y Minero de España)

EQUIPO DE TRABAJO

Por parte del Instituto Geológico y Minero de España (IGME):

- ❖ Juan Antonio López Geta. Director de Hidrogeología y Aguas Subterráneas
- ❖ Julio López Gutiérrez. Técnico de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas

Por parte de ADOR consultoría:

- ❖ Joaquín del Val Melús. Geólogo, experto en karst y medio ambiente
- ❖ Gerardo Llorente Gil. Tratamiento gráfico y cartográfico
- ❖ Ángel Jiménez Biedma. Espeleólogo

Asesores y colaboradores:

- ❖ Bartolomé Andreo Navarro. Representante español del Proyecto 448 del *International Geological Correlation Program (IGCP)* de la UNESCO, “Correlación mundial de ecosistemas kársticos”
- ❖ Jorge Cabezas Fontanilla. Presidente de la Asociación Española de Cuevas Turísticas (ACTE) y Presidente de la Asociación Mundial de Cuevas Turísticas (ISCA)
- ❖ Francisco Carrasco Cantos. Profesor titular de Geodinámica de la Universidad de Málaga. Asesor científico de la Fundación Cueva de Nerja
- ❖ Radiolocalización: Grupo de Tecnoespeleología de la Universidad de Zaragoza (José Antonio Cuchí, José Luis Villarroel y Víctor Viñals)
- ❖ Equipo de espeleobuceo de Alicante (responsable: Juan José Rodes Martínez)

Junio de 2004

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

DOCUMENTO I: MEMORIA Y ANEJOS

Memoria

1. INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO
3. MARCO GEOLÓGICO
4. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO
5. ACUÍFERO DE AZUÉBAR (SISTEMA KÁRSTICO DE SANT JOSEP)
6. LOCALIZACIÓN DE LA CUEVA EN RELACIÓN CON EL EXTERIOR
7. ANÁLISIS DE IMPACTOS
8. MEDIDAS PROTECTORAS Y PLAN DE VIGILANCIA Y CONTROL
9. RESUMEN DE CONDICIONANTES
10. CONCLUSIONES

Anejos

1. INFORME DE RADIOLocalización
2. FOTOGRAFÍAS DEL INTERIOR DE LA CUEVA DE SANT JOSEP
3. CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA DEL SUBSISTEMA ACUÍFERO DEL MEDIO PALANCIA (IGME-DIPUTACIÓN DE CASTELLÓN)
4. GEOLOGÍA PREVIA AL SUR DEL TÚNEL DE VALL D'UIXÓ (TRASAGUA)
5. ANÁLISIS HIDROQUÍMICOS Y CAUDALES
6. INFORME DE ESPELEOBUCEO

DOCUMENTO II: PLANOS

1. Situación área de estudio
2. Alternativas de trazado de infraestructura hidráulica ramal sur: desde la boca sur del túnel de Vall d'Uixó hasta el inicio del acueducto de la Fuente
3. Mapa geológico
 - 3.1. Leyenda mapa geológico
4. Cartografía geológica en el entorno de la cueva de Sant Josep
5. Mapa hidrogeológico
 - 6.1. Hipótesis 1 de localización de la cueva de Sant Josep
 - 6.2. Hipótesis 2 de localización de la cueva de Sant Josep
 - 6.3. Hipótesis 3 de localización de la cueva de Sant Josep
 - 6.4. Hipótesis 4 de localización de la cueva de Sant Josep
 - 6.5. Radiolocalización
7. Zona 1. Proyección más probable de la cavidad

8. Zona 2. Área inmediata a la cavidad
9. Zona 3. Área de drenaje preferencial del sistema kárstico
10. Zona 4. Afloramientos carbonatados
- 11.1. Alternativas de trazado en relación a zona 1
- 11.2. Alternativas de trazado en relación a zona 2
- 11.3. Perfil y situación en planta de la alternativa 1 bis en relación con la cavidad y su área inmediata
- 11.4. Alternativas de trazado en relación a zona 3
- 11.5. Alternativas de trazado en relación a zona 4

ÍNDICE DEL DOCUMENTO I (MEMORIA Y ANEJOS)

Memoria

1. INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.....	6
1.1. Introducción	6
1.2. Antecedentes	7
1.3. Objetivos	9
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	11
2.1. Características generales del Proyecto	11
2.2. Alternativas de trazado para el paso del río Belcaire	12
3. MARCO GEOLÓGICO	15
3.1. Geología del entorno de la cavidad	17
4. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO	21
4.1. Subsistema acuífero Sierra del Espadán	21
4.2. Subsistema acuífero del Medio Palancia	24
5. ACUÍFERO DE AZUÉBAR (SISTEMA KÁRSTICO DE SANT JOSEP)	27
5.1. El manantial de Sant Josep	30
5.2. La cueva de Sant Josep	31
5.3. Análisis hidroquímicos de la cueva de Sant Josep	34
6. LOCALIZACIÓN DE LA CUEVA EN RELACIÓN CON EL EXTERIOR	39
7. ANÁLISIS DE IMPACTOS	41
7.1. Afecciones potenciales del Proyecto al sistema kárstico de Sant Josep	41
7.2. Consideraciones sobre potenciales impactos socioeconómicos en la cueva de Sant Josep	47
7.3. Afecciones de las alternativas de trazado para el paso del río Belcaire: zonificación	48
8. MEDIDAS PROTECTORAS Y PLAN DE VIGILANCIA Y CONTROL	51
9. RESUMEN DE CONDICIONANTES.....	55
10. CONCLUSIONES.....	58

Anejos

1. INFORME DE RADIOLOCALIZACIÓN
2. FOTOGRAFÍAS DEL INTERIOR DE LA CUEVA DE SANT JOSEP
3. CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA DEL SUBSISTEMA ACUÍFERO DEL MEDIO PALANCIA (IGME-DIPUTACIÓN DE CASTELLÓN)
4. GEOLOGÍA PREVIA AL SUR DEL TÚNEL DE VALL D'UIXÓ (TRASAGUA)
 - Planta geológico-geotécnica (Norte rambla Belcaire)
 - Planta geológico-geotécnica (Sur rambla Belcaire)
 - Testificación sondeo S-2
5. ANÁLISIS HIDROQUÍMICOS Y CAUDALES
 - 5.1. Análisis del manantial de Sant Josep (FACSA)
 - 5.2. Análisis del sondeo de abastecimiento Pipa (FACSA)

5.3. Análisis de elementos traza del agua de la cueva de Sant Josep y de la depuradora de Alfondeguilla (IGME)

5.4. Análisis de isótopos estables del agua de la cueva de Sant Josep (IGME)

5.5. Caudales mensuales de abastecimiento del manantial de Sant Josep y del sondeo Pipa (FACSA)

6. INFORME DE ESPELEOBUCEO

1. INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

La sociedad estatal TRASAGUA, cuyo cometido es la elaboración de los proyectos constructivos de la infraestructura que permita la transferencia de recursos hídricos desde el Bajo Ebro hasta la provincia de Almería, pasando por las comunidades de Valencia y Murcia, su construcción y posterior explotación, pretende realizar un estudio en detalle de la citada infraestructura en las inmediaciones de la localidad de la Vall d'Uixó (Castellón), a su paso por el sistema montañoso que conforma la Sierra de Espadán y el cruce del río Belcaire, para lo que será necesaria la realización de una obra en túnel de 5.960 m de longitud (túnel de Vall d'Uixó) a una cota de unos 240 m.s.n.m. en el primer caso, y en el segundo se proyectará un acueducto o portasifón que permita salvar el barranco del Belcaire, cuya topografía en esta zona se sitúa en torno a los 150-160 m.s.n.m. Una vez salvado el barranco del Belcaire, la infraestructura continúa hacia el Suroeste a través de la Sierra de la Pipa mediante un túnel de 2000 m de longitud (túnel de la Pipa-Garraf).

En este sector, y a una distancia de entre 600 y 900 metros hacia el Este-Sureste, 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 y se sitúa a una altitud de 140 m s.n.m. El agua del manantial se utiliza para abastecimiento 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), realizándose las visitas tanto en barca como a pie. La cavidad discurre hacia el Oeste en dirección hacia el término municipal de Alfondeguilla, bajo el que transcurre parte de su sistema de galerías. La cueva, recorrida por un río subterráneo, tiene un desarrollo subhorizontal, aunque con pequeñas subidas y bajadas. Teniendo en cuenta la altura de las galerías y los desniveles existentes, las cotas del cavernamiento varían entre 130 y 155 m, según sectores.

La cavidad se abre en materiales carbonáticos del Muschelkalk (Triásico) y su manantial constituye el principal punto de descarga del acuífero de Azuébar, o sistema kárstico de Sant Josep, sistema complejo que constituye un acuífero importante, por fisuración y karstificación. El sistema kárstico se estructura a partir de una red organizada en el seno de este acuífero carbonatado, formado por calizas y dolomías del Muschelkalk y, en menor medida, del Lias (Jurásico), cuyo drenaje subterráneo se desarrolla a partir de la Cueva de Sant Josep. El flujo subterráneo se establece en dirección O-E en sentido hacia la localidad de Vall d'Uixó, con piezometrías más elevadas en los sectores más occidentales, que superan los 370 m s.n.m en las proximidades de la población de Chovar. El nivel de drenaje lo establece el manantial de la Cueva de Sant Josep, localizado en torno a los 140 m s.n.m. Es de resaltar el alto gradiente hidráulico existente, que contrasta con las buenas condiciones hidrodinámicas de las formaciones que constituyen el acuífero. Este hecho podría ser consecuencia de la elevada fracturación presente en el área, que da lugar a una tectónica de bloques y a la creación de compartimentación hidrogeológica con conexiones más o menos restringidas entre diferentes sectores.

Como consecuencia del preceptivo procedimiento de impacto ambiental al que está sometido el proyecto de trasvase (“Proyecto de transferencias autorizadas por el artículo 13 de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional”), la Declaración de Impacto Ambiental, publicada en noviembre de 2003 por la Secretaría General de Medio Ambiente, del Ministerio de Medio Ambiente, ha puesto de manifiesto la necesidad de que las soluciones constructivas adoptadas para la realización de las obras del trasvase no produzcan ninguna afección directa a la Cueva de Sant Josep, salvaguardando la cavidad y el manantial en las condiciones actuales, sin impactos que alteren significativamente el funcionamiento del sistema kárstico, así como la zona protegida del Parque Natural de la Sierra del Espadán.

Dentro de este contexto, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), como organismo de la Administración con responsabilidades en el estudio, investigación, análisis y reconocimiento en el campo de las ciencias y tecnologías de la Tierra, entre las que se incluye el conocimiento del medio hidrogeológico y de los recursos hídricos subterráneos, ha sido requerido por la mencionada sociedad TRASAGUA para la realización de un estudio que valore el impacto de las obras del trasvase sobre la cueva de Sant Josep y permita la selección de las alternativas constructivas más idóneas.

1.2. Antecedentes

Son numerosos los trabajos de investigación hidrogeológica y del medio físico realizados hasta ahora sobre la Cueva de Sant Josep y su entorno más inmediato. Los principales son los siguientes:

- 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.
- Donat, J. y Bartolomé, J. 1961. Estudio geoespelaeológico de la cueva de San José (Vall de Uxó – Castellón). *Notas y Comuns. Inst. Geol. y Minero de España*, 64, 175-195.
- 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 Microfíxtes*; 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.
- Garay, P. y Medina, R. (1997). Estudio de la Cova de Sant Josep (La Vall d'Uixó, Comarca de la Plana Baixa). Parte II: Geomorfología. *Lapiaz*, 24, 3-16.

- 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 pp. y topografía de la cueva (original 1:500, reducido a 1:1.000) y Vol. II (Anejo fotográfico, no paginado).
- IGME. 1988. Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización. Col. Informe. Instituto Geológico y Minero de España, 298 p. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- IGME. 1992. *Estudio de estabilidad de la cueva de San José (Vall d'Uixó)*. Centro de Documentación del IGME, Madrid (informe no publicado), 118 pp., anejos y 8 planos.
- IGME-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.
- Obartí, F.J., Garay, P. y Morell, I. 1986. Definición y caracterización del sistema kárstico del manantial de Sant Josep (Vall d'Uixó, Castellón, España). *Jornadas sobre el karst en Euskadi*, Vitoria-Gasteiz, I, 171-185.

Además de los anteriormente citados, cabe destacar los distintos trabajos encargados por TRASAGUA, o generados como consecuencia de los mismos, en relación al proyecto y el estudio de sus alternativas. Los más significativos en relación con los objetivos del presente informe son los siguientes:

Geología, geotecnia y geofísica:

- Payma Cotas & Ingeconsult. 2003. Estudio geológico. (*Clave CS_17_Estudio Geológico_V00.DOC*). Informe y planos (columna, mapa geológico 1:50.000, leyendas, 2 perfiles para diferentes alternativas y 5 planos de planta geológica 1:5.000).
- Payma Cotas & AGS. 2003. Geofísica, Informe II. Informe, Anexo I (cartografía y traza 1:5.000, equidistancia curvas de nivel de 5 m, y 5 planos de geofísica), otros anexos (perfils sísmicos: dromocronas, perfils sísmicos: secciones tipos, fotografías, perfils de tomografía eléctrica).
- Geocontrol y P&T. 2004. Geología previa del túnel de Vall d'Uixó. (*Clave EG-00302*). Planta geológica-geotécnica 1:2.000 (12 planos), perfil geológico-geotécnico E.H. 1:2.000 E.V. 1:2.000 (9 planos), planta geológico-geotécnica 1:10.000 (2 planos) y apéndice de testificación previa de los sondeos mecánicos realizados en el túnel de Vall d'Uixó.
- Eraso, A. 2004. Caracterización hidrogeológica del entorno de la surgencia kárstica de la Cova de Sant Josep de la Vall d'Uixó y la rambla de Belcaire. Posible afección al karst y río

subterráneo de Sant Josep por la construcción del túnel de trasvase del Ebro-Sur y sifón de cruce de la rambla de Belcaire. *Informe no publicado, realizado para Geocontrol S.A.*

Cartografía y fotografía aérea:

- Fotografías aéreas verticales en color, vuelo de septiembre de 2003, área "Túnel de Vall d'Uixó", escala original 1:5.000.
- Payma Cotas. 2003. a) Cartografía 1:1.000, que incluye una anchura alrededor de la traza de unos 220 m y del área exterior a la cueva (sólo por su extremo occidental); b) Cartografía 1:5.000; c) Informe topográfico sobre la elaboración de cartografía a escala 1:1.000 mediante restitución fotogramétrica (*Clave CS_17_Anejo nº4_Cartografía y topografía_V00*).

Caracterización de alternativas y datos constructivos:

- TRASAGUA. 2004. Plantas y perfiles de alternativas, escala 1:2.000: B1-Trazado proyecto base 1 (acueducto), B2- Trazado proyecto base 2 (portasifón), Alternativa 1 (portasifón bajo), Alternativa 2 (portasifón bajo) (mayo 2004). (*Clave PC-02203*) (fecha: mayo de 2004).
- Payma Cotas & Ingeconsult. 2004. Estudio de alternativas de trazado para el paso del río Belcaire p.k. 0+000 a p.k. 0+540. Incluye texto (*Clave CS_17_Estudio Alternativas Paso Río Belcaire_V00B*), planos y simulaciones, con la descripción de la solución en acueducto (Base 1), solución en portasifón a 40 m de altura y 230 m de luz total (Base 2) y Alternativa 1 (Trazado alternativo: solución portasifón a 20 m de altura y 130 m de luz total con sólo 2 pilas de 10 y 15 m, así como los correspondientes estribos) (fecha: 1-03-2004).
- Payma Cotas & Ingeconsult. 2004. Reunión IGME: Descripción de parámetros básicos de Alternativa de trazado entre los túneles de Vall d'Uixó y Pipa (fecha: 17-03-2004).
- TRASAGUA. 2004. Planta y perfil longitudinal paso de la rambla de San José, Alternativa 1 (portasifón bajo), escala 1:750. (*Clave PC-02203, Fichero long_alt_v01_dwg*) (fecha: mayo 2004).
- TRASAGUA. 2004. Planos constructivos (portasifón y pilas de hormigón, sifones y estructuras portasifones, sección tipo de túnel).

1.3. Objetivos

Como se ha comentado anteriormente, el objetivo fundamental de este informe 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 del Espadán, tendrán sobre el sistema kárstico de la Cueva de Sant Josep. Para ello se han llevado a cabo los estudios oportunos para evaluar las diversas alternativas constructivas existentes, con objeto de proceder a la selección de la más idónea desde dicho punto de vista, proponiendo al mismo tiempo las adecuadas medidas correctoras, así como las de seguimiento y

control.

Las actividades realizadas quedan resumidas en los siguientes paquetes de trabajo:

- Análisis de la información preexistente
- Caracterización geológica del área y del entorno de la cavidad
- Definición del contexto hidrogeológico y caracterización del sistema kárstico de Sant Josep. Hidroquímica convencional e isotópica
- Determinación de las características de la cueva. Reconocimiento completo del interior de la cavidad, incluyendo los tramos ocupados por sifones. Definición espacial y ubicación de la traza de la cavidad en superficie mediante técnicas de radiolocalización, con obtención de profundidad y coordenadas exactas en diversos puntos de control
- Análisis de impactos y zonificación territorial en relación a las alternativas de trazado
- Medidas correctoras y programa de seguimiento y control

En definitiva, estos estudios persiguen definir y establecer con el suficiente grado de garantía la viabilidad ambiental de las referidas obras, tal y como se requiere en la Declaración de Impacto Ambiental elaborada por la Secretaría General de Medio Ambiente.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1. Características generales del Proyecto

Dentro del “Proyecto de transferencias autorizadas por el artículo 13 de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional”, el trasvase del Ebro preveía una serie de actuaciones en el entorno de la cueva de Sant Josep, en lo que se refiere a las infraestructuras hidráulicas del denominado Ramal Sur en su Tramo II. Los posibles trazados de estas infraestructuras se localizan a una distancia de entre 1.600 y 1.900 m al Oeste de la localidad de Vall d’Uixó, en el sector donde discurre la cueva de Sant Josep.

El Ramal Sur consiste en una conducción de unos 742 km de longitud, con inicio en el bajo Ebro, desde el que se prevén derivaciones a distintos puntos de las cuencas del Júcar, Segura y Sur, a las que se conducirá un caudal máximo total de 860 hm³/año. Se desarrolla sobre las provincias de Tarragona, Castellón, Valencia, Alicante, Murcia y Almería. La tipología general de diseño es un canal, dimensionado en todos los tramos de nueva ejecución con una pendiente longitudinal estándar de 0,00015 m/m. Para los túneles y falsos túneles, la pendiente estándar adoptada es de 0,00075 m/m. En el caso de los acueductos, la pendiente adoptada es la misma que la del canal. La sección del canal es trapezoidal o autoportante, de dimensiones acordes con el caudal transportado. Así mismo, se han diseñado sifones y portasifones para salvar determinados cauces, zonas topográficamente deprimidas, etc. Cuenta, además, con diversos elementos de regulación (en origen, de regulación principal, diques, depósitos y balsas de regulación secundaria), estaciones de bombeo, etc.

El denominado Tramo II de este Ramal Sur comienza en el límite provincial de Tarragona y Castellón, llegando hasta la boca norte del túnel de Calderona (ya en la provincia de Valencia, en el término municipal de Torres-Torres). Su trazado se inicia en el límite provincial de Tarragona con Castellón, siguiendo un recorrido aproximadamente paralelo a la autopista A-7 hasta llegar a Santa Magdalena de Pulpis. Una vez superada la localidad de Alcalá de Xivert, gira cruzando el río de Cuevas de San Miguel, llegando a la estación de bombeo de Cuevas de Vinromà y posteriormente a la cuenca de la Rambla de la Viuda, para dirigirse a Alcora. Desde Alcora, la conducción continua en dirección a la Sierra de Espadán, pasando por las proximidades de Ribesalbes, Onda y Vall d’Uixó. Para evitar afecciones al Parque Natural de la Sierra de Espadán, se contempla la realización de un túnel (túnel de Vall d’Uixó) que, tras atravesar el Espacio Protegido, ha de cruzar la rambla de Belcaire para volver el emboquille de otro túnel (túnel de Pipa), a cota similar, y continuar su trazado hacia el Suroeste. El tramo, por tanto, que ha de salvar el valle de la rambla de Belcaire, se realizaría al aire libre, mediante un dispositivo en acueducto, sifón o portasifón. La conducción prosigue atravesando la Sierra del Cid y el valle del río Palancia, para finalizar en la boca norte del túnel de la Calderona.

En relación a la Sierra de Espadán, en vistas de las alegaciones presentadas, se estudió una variante de trazado que consistía en prolongar el sifón de La Solana y cruzar el núcleo de Betxi.

Tras la Declaración de Impacto Ambiental, publicada en noviembre de 2003 por la Secretaría General de Medio Ambiente, en que se recogieron las alegaciones presentadas en este sector referidas tanto a la posible afección a la cueva de Sant Josep como a otros valores naturales del Parque Natural de Sierra Espadán y sus proximidades, se consideró que la denominada Solución Base produciría menor afección ambiental que la variante de Alcora, siempre que se aplicaran estrictas medidas correctoras y protectoras. Esta consideración se estableció en función de la tipología de las estructuras, volumen de movimiento de tierras y menor afección a las ramblas que es necesario cruzar. Además, se señala que dicha variante de Alcora afectaría a la cueva de Sant Josep, debido a los cambios de cota que requiere, lo que supondría un potencial impacto significativo.

En cualquier caso, dicha Declaración insiste en la necesidad de soluciones que no produzcan afecciones ni al Parque Natural de Sierra de Espadán ni a la cueva de Sant Josep.

2.2. Alternativas de trazado para el paso del río Belcaire

Las alternativas de trazado desarrolladas posteriormente por TRASAGUA (Plano nº 2) para el paso del río Belcaire, se separan 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 (para reducir las afecciones a la vegetación de ribera, siempre que sean técnicamente viables, frente a la solución de sifón). Sus características técnicas básicas son las siguientes:

- 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. Para esta alternativa, con un espaciado normal de pilas de 50 m, se precisan 10 pilas de entre 20 y 80 m de altura. El acueducto será de sección en arco de círculo metálico de unos 480 m de luz total, con un ancho de 15,85 m y canto de 6,85 m. Se prevén unas zapatas rectangulares de, al menos, 8x12 m y canto de 2 m, cimentadas en roca sana, así como 2 estribos.
- 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. La salida del túnel de Vall d'Uixó acomete a la embocadura del sifón, formado por dos tuberías de acero de 3.300 mm de diámetro. Estas tuberías recorren los primeros 200 m enterradas a unos 10 m de profundidad, hasta un codo de radio de 21 m,

en el que se produce un giro en planta de 38,86º, adaptándose en alzado al plano horizontal, para cruzar en portasifón sobre el río Belcaire. Se llega así hasta la ladera opuesta, al Sur de la rambla de Belcaire, ascendiendo por ella hasta la cota 236,78, donde se vuelve a embocar en túnel (túnel de Pipa). Se precisan al menos 4 pilas, de entre 20 y 40 m de altura y 2 estribos. Las zapatas serán rectangulares, de unos 6x8 m.

- 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 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. Con ello, se podría cubrir el sifón con un manto vegetal y se atraviesa la rambla a menor altura, de forma más perpendicular a la rambla y a la carretera, y con menor afección visual. El sifón está formado por dos tuberías de 3.300 mm de diámetro.
- ALTERNATIVA 2. PORTASIFÓN BAJO. Solución portasifón a 20 m de altura y 130 m de luz total. Se traza esta solución de manera que enlaza con la alternativa 4 del tramo 16, en el que la boquilla de salida del túnel de Vall d'Uixó aparece a unos 230 m al Este, fuera de la ZEPA del término municipal de Alfondeguilla. A la salida del túnel se emboca dentro del sifón formado por dos tubos metálicos de 3.300 mm de diámetro que discurren en superficie hasta cruzar la rambla de San José, a unos 70 m al Oeste de unas construcciones dispersas del la Vall d'Uixó. 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. Esta solución queda fuera de la zona de afección de la ZEPA; sin embargo, está mucho más cerca del núcleo de la Vall d'Uixó y su cuenca visual es mayor.
- ALTERNATIVA 1 BIS. PORTASIFÓN BAJO. Corresponde a un desarrollo de la Alternativa 1, con prácticamente idéntico trazado en planta, con la máxima adaptación posible al terreno. Sus parámetros básicos son los siguientes:
 - Trazado: Con las mismas boquillas que el Trazado Proyecto Base, desviado unos 100 m al Este. En alzado, la tubería se adapta lo máximo posible al terreno, cruzando la carretera CV-230 a unos 10 m sobre la calzada y a unos 20 m sobre el cauce de la rambla de Belcaire, utilizando sólo 2 pilas y 2 estribos flotantes.
 - Tuberías: En la ladera septentrional, discurren exentas o ligeramente encajadas

en el desmonte que se pueda realizar entre los bancales existentes, para posteriormente cubrirlas con una montera que se disimule en la vaguada y permita su integración paisajística. La geometría del trazado se adapta en lo posible al terreno, teniendo en cuenta los radios de curvatura de las mismas. Los tubos son de acero helicosoldado, de 3.300 mm de diámetro, dispuestos en paralelo en el plano horizontal, con puntas biseladas y abocardadas.

- Portasifón: Se utilizan tuberías del mismo diámetro, con espesor de 15 mm, reforzadas con rigidizadores en los apoyos, luz entre apoyos de 40 m.
- Cargas: El peso del tubo del portasifón es de unos 1.200 kg por metro lineal, lo que implica, considerando su peso propio, la carga del agua y la sobrecarga de cada tubo, algo menos de 12 T por metro. Teniendo en cuenta que la luz es de 40 m y que el portasifón está formado por dos tubos que generan una estructura hiperestática, la carga transmitida a cada apoyo será de unas 960 T.
- Cimientos: Esta carga se transmite al terreno a través del pilar de acero indicado, sobre una zapata de dimensiones aproximadas 10x6 m de planta y 2 m de canto, cimentadas sobre roca caliza. Las tensiones transmitidas serán de 15,6 T/m² para compresión centrada; considerando los esfuerzos térmicos, viento, excentricidades y tensiones residuales en ejecución, suponen una solicitud al terreno inferior a 25 T/m² en borde de zapata. El volumen de tierra que se precisa retirar por cada zapata será del orden de 200 m³.
- Estripos: Se aprovecha la construcción de arriostramientos en inicio y final de portasifón, para utilizarlos como estribos cimentados sobre roca caliza de buenas características.
- Arriostramientos: Se utilizan para absorber los empujes generados por el agua en los cambios de dirección de la tubería. El ángulo máximo en planta es de unos 27º y en alzado, de 22º.

3. MARCO GEOLÓGICO

Geológicamente, la zona de estudio se ubica en la rama suroriental de la Cordillera Ibérica, en su terminación costera en las Planas de Castellón y Valencia. Dicha cordillera muestra unas directrices estructurales NO-SE, y se halla constituida por un zócalo formado por materiales de edad paleozoica afectados por la tectónica de la orogenia Hercínica. Sobre ellos se depositaron materiales del Mesozoico y Terciario, siendo el conjunto nuevamente afectado por una orogenia, en este caso la Alpina, que produjo las directrices NO-SE, presentes actualmente en la cordillera Ibérica.

La región donde se encuentra el área investigada está constituida por una sucesión de anticlinales, sinclinales y cabalgamientos de dirección NO-SE, afectando en su mayoría a materiales triásicos y jurásicos. Existe una intensa fracturación, producto básicamente de las etapas posteriores y según directrices de orientación catalánide, de dirección NE-SO.

En definitiva, se trata de una región con una estructura compleja, con cabalgamientos a favor de materiales de facies Keuper, y numerosos pliegues y fracturas.

En el Mapa Geológico (Plano nº 3) se ha representado la cartografía geológica del área, centrada en la cueva de Sant Josep, de acuerdo a la cartografía geológica MAGNA 1:50.000 del IGME (mediante unificación de términos, ajustes de polígonos y creación de una leyenda única para las hojas 640, Segorbe y 668, Sagunto). De base a techo, aparecen los siguientes términos:

TRIÁSICO. Bundsandstein.

- *Argilitas y areniscas (1).* Arcillas rojas, muy compactadas, con frecuentes intercalaciones de areniscas micáceas rojizas. La potencia es de 80 a 150 m. Equivale a la denominada Formación Limos y Areniscas de Alcotas (que también ha sido denominada como Formación Lutitas y Areniscas de Marines).
- *Areniscas (2).* Areniscas ortocuarcticas muy compactas, en bancos gruesos de tonos rojos, violáceos y blancos. Su potencia es del orden de 150 a 200 m. Equivalente a la Formación Areniscas del Cañizar o Formación Areniscas del Garbi.
- *Alternancia de argilitas y areniscas (facies Röt) (3).* Arcillas arenosas y arenolimosas rojas, a veces pizarrosas, con alternancias de arenas micáceas. La potencia es de 150-200 m. Equivalente a la Formación Limos y Areniscas de Eslida o Formación Lutitas y Areniscas de Serra. A techo, existe un tramo evaporítico (facies Röt, Formación Marines), de 10 a 30 m de potencia, formado por margas y arcillas abigarradas.

TRIÁSICO. Muschelkalk.

- *Dolomías, margas, margas y arcillas con yesos y calizas dolomíticas (4).* Está formado por una sucesión de cuatro tramos litológicos: a) calizas dolomíticas, de color pardo rojizo, con intensa karstificación, dispuestas en bancos de 50 cm a 1 m de espesor, con una potencia de unos 150 m (también denominado este tramo como

Formación Landete y como Formación Dolomías de l'Oronet); b) arcillas margosas de tonos grises claros, con niveles más calcáreos, con yesos, y una potencia muy variable, de entre 40 y 150 m, pudiendo incluso faltar el tramo (Formación Arcillas, Margas y Yesos del Mas o Formación Arenas, Lutitas y Carbonatos de Azuébar); c) calizas dolomíticas tableadas, en bancos de unos 10 cm que aumentan de espesor hacia techo y muro, con una potencia del tramo muy variable según las zonas, que puede estimarse en unos 80-100 m (Formación Dolomías y Calizas de Cañete, también denominado Formación Dolomías de Cirat); d) alternancia de calizas micríticas y pelesparíticas, con micritas arcillosas y, ocasionalmente, niveles de margas arcillosas intercaladas (Formación Calizas y Margas de Pina de Montalgrao), fuertemente recristalizado y pizarrosidad en algunos niveles, con una potencia de unos 50 m.

TRIÁSICO. Keuper.

- *Margas y arcillas con yesos* (5). Margas y arcillas abigarradas, con yesos grises en potentes bancos y gran profusión de cuarzos autigénicos, con intercalaciones ocasionales de niveles carbonatados de escaso espesor (Grupo Valencia). Su potencia máxima es del orden de 100 m.

JURÁSICO. Lias.

- *Dolomías, carniolas y calizas bioclásticas* (6). Son calizas oqueras, calizas tableadas, bioclásticas en el techo, margas con intercalaciones margo-calizas y calizas tableadas en capas finas muy regulares. Se distinguen, en los pocos lugares en que la serie aflora completa, hasta seis tramos, con una potencia total máxima de unos 150-160 m. El tramo 1 está formado por calizas oqueras, a veces algo dolomíticas y recristalizadas y el tramo 2 está constituido por calizas masivas. Ambos tramos se corresponden con la Formación Carniolas de Cortes de Tajuña. El tramo 3 está formado por calizas bioclásticas de color gris o gris rojizo, en capas de medias a gruesas o masivas (Formación Calizas y Dolomías Tableadas de Cuevas Labradas). En los tramos 4 y 5 aparecen margas calcáreas gris-amarillentas ferruginosas y margas gris-amarillentas con intercalaciones calcáreas que pasan hacia techo a calizas margosas y margas en capas finas (ambos tramos se corresponden con la Formación Margas Grises del Cerro del Pez). El tramo 6 está constituido por calizas bioclásticas (Formación Calizas Bioclásticas de Barahona), con capas finas de color gris-amarillento en la base y, a techo, capas gruesas de color gris-rojizo y nódulos de sílex interestratificados.

JURÁSICO. Dogger y Malm.

- *Calizas, margas, calizas con nódulos de sílex y calizas margosas* (7). Calizas bioclásticas con nódulos de sílex interestratificados, calizas oolíticas y micríticas, margas grises y calizas algo arcillosas, con espesores variables entre los 100 y 145 m.
- *Calizas y margas* (8) y *calizas, areniscas y margas* (9). Calizas micríticas y arcillosas alternantes, margas calcáreas, areniscas calcáreas y calizas bioclásticas, con una potencia de unos 200 m.

TERCIARIO. Mioceno superior.

- *Conglomerados, areniscas y arcillas* (10). Serie detrítica en la que se observan numerosos cambios laterales de facies entre los distintos afloramientos. Son depósitos fluviales formados por areniscas y arcillas, con

cambios laterales de facies a conglomerados poligénicos.

- Calizas (11). Calizas y calizas arcillosas, masivas y oquerosas, de origen lacustre, con algunos episodios de calizas arenosas conglomeráticas.

CUATERNARIO. Pleistoceno y Holoceno.

- Depósitos de pie de monte y coluviones (arcillas y arcillas rojas con cantos sueltos o encostrados) (12). Los depósitos de pie de monte, pleistocenos, están formados por una brecha heterométrica y polimídica, con cantos englobados en una matriz arcillosa o arenosa, con cemento calcáreo, formando una orla discontinua paralela a las estribaciones orientales de la Sierra del Espadán. Los coluviones, del Pleistoceno y del Holoceno, están formados por arcillas rojas con cantos angulosos, con o sin encostramiento superficial, y forman franjas adaptadas a los relieves montañosos mesozoicos.
- Conos de deyección (arcilla roja con cantos aluviales) (13). Arcillas con cantos redondeados, depositados por algunos arroyos encajados.
- Mantos de arroyada (arcillas rojas con cantos y encostramientos) (14). Arcillas rojas, con niveles de cantos y costras zonales o con cantos de costra caliza. Aparecen bajo forma de glacis, de edad Pleistoceno superior.
- Terrazas (15, 16, 17, 18 y 19). Aparecen estos cinco niveles de terraza a alturas medias de 30-25 m, 20-18 m, 11 m, 7-5 m y 3-2 m. Están formadas por arcilla arenosa y limos con cantos, a veces con cemento carbonatado. Son de edad Pleistoceno medio a Holoceno.
- Limos pardos (20). Limos que forman una orla exterior y continua alrededor de las albuferas, pertenecientes al Holoceno.
- Limos pardos con cantos (21). Limos que engloban cantos aplastados, perforados por litófagos, formando una orla interior alrededor de las albuferas. Holoceno.
- Albufera (limos negros) (22). Limos negros con intercalaciones de arenas. Holoceno.
- Abanico aluvial (arcillas rojas con cantos) (23). Arcillas rojas con cantos fluviales, correspondientes a la desembocadura de la rambla de Belcaire. Son de edad Holoceno.
- Depósitos de fondo de rambla (cantos sueltos) (24). Cantos y bloques sueltos. Holoceno.
- Aluvial-coluvial (arcillas con cantos) (25). Arcillas con cantos poligénicos. Holoceno.
- Aluvial (arcilla arenosa) (26). Arcilla arenosa con cantos, correspondientes a los depósitos fluviales actuales y subactuales. Pertenecen al Holoceno.

3.1. Geología del entorno de la cavidad

En los trabajos geológico-geotécnicos llevados a cabo por TRASAGUA se han realizado dos cartografías geológicas de detalle (escala 1:5.000) que, entre ambas, cubren el área sobre la que se desarrolla la cueva de Sant Josep, así como varios sondeos geotécnicos (Anejo 4).

La primera de estas cartografías geológicas (clave EG-00302, nº de Plano 2, Hoja 2 de 2, febrero de 2004) cubre un área, al Norte de la rambla de Belcaire, de unos 1.300 m de anchura hacia el Noreste, abarcando una zona que supera el pasillo comprendido entre las Alternativas 1 y 2. La cartografía diferencia 3 tramos del Triásico inferior

(Buntsandstein): argilitas con intercalaciones de areniscas y conglomerados en la base (Tb1), areniscas silíceas compactas (Tb2) y argilitas compactas con intercalaciones de areniscas (Tb3), un único tramo correspondiente al Triásico medio, Muschelkalk (Tm, calizas dolomíticas, arcillas margosas y alternancia de calizas micríticas y dolomíticas), así como uno más correspondiente a la facies Keuper del Triásico superior (Tk, margas y arcillas versicolores con yesos). El Jurásico aparece representado por las dolomías camiolares, brechoides y oquerosas en la base, calizas micríticas y calizas bioclásticas del Lias (JL) y, finalmente, el Cuaternario: coluviones (Qc), depósitos de terraza (Qt), depósitos aluvio-coluviales de fondo de valle (Qac) y depósitos aluviales actuales de llanura de inundación (Qa). El sondeo más próximo realizado a la zona donde se desarrolla la cavidad es el S-21+950, a unos 400 m al NE de la rambla Belcaire (X: 734.753,074; Y: 4.412.765,911 en coordenadas UTM, Z: 291 m), localizándose a unos 300 m al NE de éste el sondeo S-21+650 (X: 735.031,134; Y: 4.412.907,255 en coordenadas UTM, Z: 358,5 m).

La segunda cartografía geológica (clave PC-02203, Planta Geológica Geotécnica, Hoja 1 de 5, mayo de 2004) cubre una banda de unos 250 m de ancho a cada lado del Trazado Proyecto Base, desde el SSO de la rambla de Belcaire hasta unos 200 a 300 m al NNE de la rambla. La cartografía diferencia 3 tramos del Buntsandstein (Formación Areniscas del Cañizar, equivalente a Tb2, Formación de Limos y Areniscas de Eslida, equivalente a Tb3, y Formación Arcillas, Limos y Margas de Marines, equivalente a la facies Röt que culmina el Triásico inferior). En cuanto a la facies Muschelkalk, se han diferenciado 4 tramos que, de base a techo, son: dolomías tableadas y en bancos de la Formación Dolomías de Landete (Tm1), dolomías en bancos muy gruesos de la misma formación (Tm1), Formación Arcillas, Margas y Yesos del Mas (Tm2) y Formación Dolomías y Calizas de Cañete (Tm3). Como formaciones superficiales, del Cuaternario, se han distinguido: canchales, abanicos aluviales, conos de deyección, terrazas, aluviones, coluviones cementados, coluviones y, finalmente, rellenos artificiales. En la cartografía se recoge la situación de diversos sondeos, aunque sólo se ha realizado el denominado S-2, en la misma rambla de Belcaire (X: 734.434,14; Y: 4.412.492,71 en coordenadas UTM, Z: 162 m). De este sondeo, especialmente significativo por su posible intercepción del sistema espeleológico de San José, se recoge su testificación en el Anejo 4.

En el Plano nº 4 se ha representado la cartografía geológica, a escala 1:5.000, con nuevos datos tomados sobre el terreno, donde aparece la situación de la cueva de Sant Josep (según la proyección más probable de la cavidad, tras la radiolocalización llevada a cabo, Plano nº 7), diferenciando los siguientes términos, de muro a techo:

- Lutitas alternantes con areniscas cuarcíticas (tramo superior del Buntsandstein, equivalente a Tb3). Aparecen en la zona septentrional de la cartografía.
- Dolomías tableadas y en bancos de potencia decimétrica a métrica, del Muschelkalk (Formación Dolomías de Landete, Tm1). Son los materiales en que se desarrolla la cavidad.
- Abanico aluvial (Pleistoceno). Brecha cementada, heterométrica y polimórfica. La boca de la cueva se abre en el contacto entre este abanico (que cubre a las dolomías del Muschelkalk) y el depósito de rambla.
- Coluvial cementado (Pleistoceno). Cánticos y bloques de subangulosos a subredondeados, con limos y arcillas y cemento calcáreo. Aparecen tres depósitos en la margen derecha de la rambla de Belcaire.
- Coluvial (Holoceno). Arcilla y limo rojizo, con gravas y grandes bloques subredondeados en la base.

- Depósito de rambla (Holoceno). Gravas y grandes bloques sueltos en fondo de rambla. En nivel formando terraza, aparecen cantos y gravas con limos y arcillas, a veces cementados. Ocupan la rambla de Belcaire y una plataforma correspondiente a un nivel de terraza, en su margen izquierda, en el meandro más noroccidental.
- Depósito de arroyo (Holoceno). Cantos y gravas en matriz limo-arcillosa, correspondientes al depósito de un barranco lateral a la rambla.

El pliegue más significativo es el apretado sinclinal, cuyo eje transcurre con dirección ONO-ESE, conocido como sinclinal de Vall d'Uixó, a favor del que se desarrolla la cavidad.

En lo referente a los tres sondeos anteriormente referidos (sondeos S-21+650, S-21+950 y S-2, cuya situación se presenta en el Plano nº 4) se pueden realizar las siguientes consideraciones:

- El sondeo S-21+650, iniciado a una altitud de 358,5 m s.n.m., alcanzó una profundidad de perforación de 130 m. Después de atravesar 7,8 m de una formación superficial, probablemente de origen coluvial, cortó un nivel de calizas brechoides, con ligera a mediana intensidad de karstificación, hasta una profundidad de 18,6 m. Desde este nivel, hasta una profundidad de 84 m, el sondeo cortó arcillas limosas y lutitas rojas, para continuar hasta el final en una serie en que alternan areniscas cuarcíticas y micáceas con lutitas rojas, pudiendo ser atribuido todo este último conjunto detrítico al tramo superior del Buntsandstein (Tb3, Formación Limos y Areniscas de Eslida).
- El sondeo S-21+950, cuya cota de inicio se sitúa a 291 m s.n.m., finalizó a los 65 m de profundidad. Corta una formación superficial hasta los 3,9 m, un conjunto carbonatado entre los 3,9 y los 9,7 m (calizas dolomíticas con estratificación centi-decimétrica y calizas dolomíticas con karstificación media a alta, que puede ser asignado al tramo inferior del Muschelkalk, Tm1, Formación Dolomías de Landete), al que sigue un nivel entre los 9,7 m y los 12,9 de gravas calizas en matriz arcillosa roja, con muy baja recuperación de testigo. Este nivel puede ser interpretado como un relleno kárstico. Entre los 12,9 m y los 26,1 m aparecen lutitas disgregadas con arcillas y niveles arenolimosos, de coloraciones rojizas, rosadas y verdes (¿facies Röt?). Desde esta profundidad hasta la finalización del sondeo, se cortaron lutitas con diferente intensidad de fracturación, que pueden ser atribuidas al tramo superior del Buntsandstein (Tb3, Formación Limos y Areniscas de Eslida).
- El sondeo S-2 (ver Anejo 4), situado sobre la rambla de Belcaire, se inició a una cota de 162 m, alcanzando una profundidad total de 19,60 m. Atravesó 1,8 m de gravas y bloques con limos y arenas (depósitos de la rambla de Belcaire), para continuar hasta su finalización a través de calizas y dolomías grises a ocres (Formación Dolomías de Landete o Tm1, tramo inferior del Muschelkalk) intensamente karstificadas, con rellenos y huecos kársticos. El principal hueco, interrumpido por 0,50 m de relleno y otro nivel carbonatado de 0,50 m, se localiza entre los 6,6 m y los 12,6 m, al que sigue un relleno kárstico hasta los 15,30 m. El sondeo finaliza atravesando las mismas calizas intensamente karstificadas. Es decir, la zona de cavidad (hueco más relleno) va desde los 6,6 m hasta los 15,30 m, lo que equivale a cotas absolutas comprendidas entre los 155,4 m y 146,7 m s.n.m. Dada su proximidad al sistema espeleológico de la cueva de Sant Josep y la cota del cavernamiento (la boca de entrada de la cueva se sitúa en torno a unos 140 a 141 m s.n.m. y la cavidad es subhorizontal, aunque con pequeñas subidas y bajadas) hace

pensar que el sondeo S-2 cortó a la cavidad transitable espeleológicamente o, en cualquier caso, a un conducto muy próximo conectado directamente con ella.

4. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

La zona de estudio se encuadra, desde el punto de vista hidrogeológico, en el área correspondiente a los Subsistemas acuíferos de Sierra de Espadán (56.08) y Medio Palancia (56.06) (figura 1), subsistemas en que las formaciones impermeables de mayor importancia son las que constituyen el impermeable de muro. Así el Buntsandstein inferior (Tb1, argilitas y areniscas, Formación Limos y Areniscas de Alcotas), es el impermeable de base del Subsistema Sierra del Espadán, mientras que el Buntsandstein superior (Tb3, arcillas arenosas y arenolimosas, Formación Limos y Areniscas de Eslida) constituye el impermeable de base del Subsistema del Medio Palancia. Los materiales del Keuper corresponderían al impermeable de techo de ambos subsistemas.

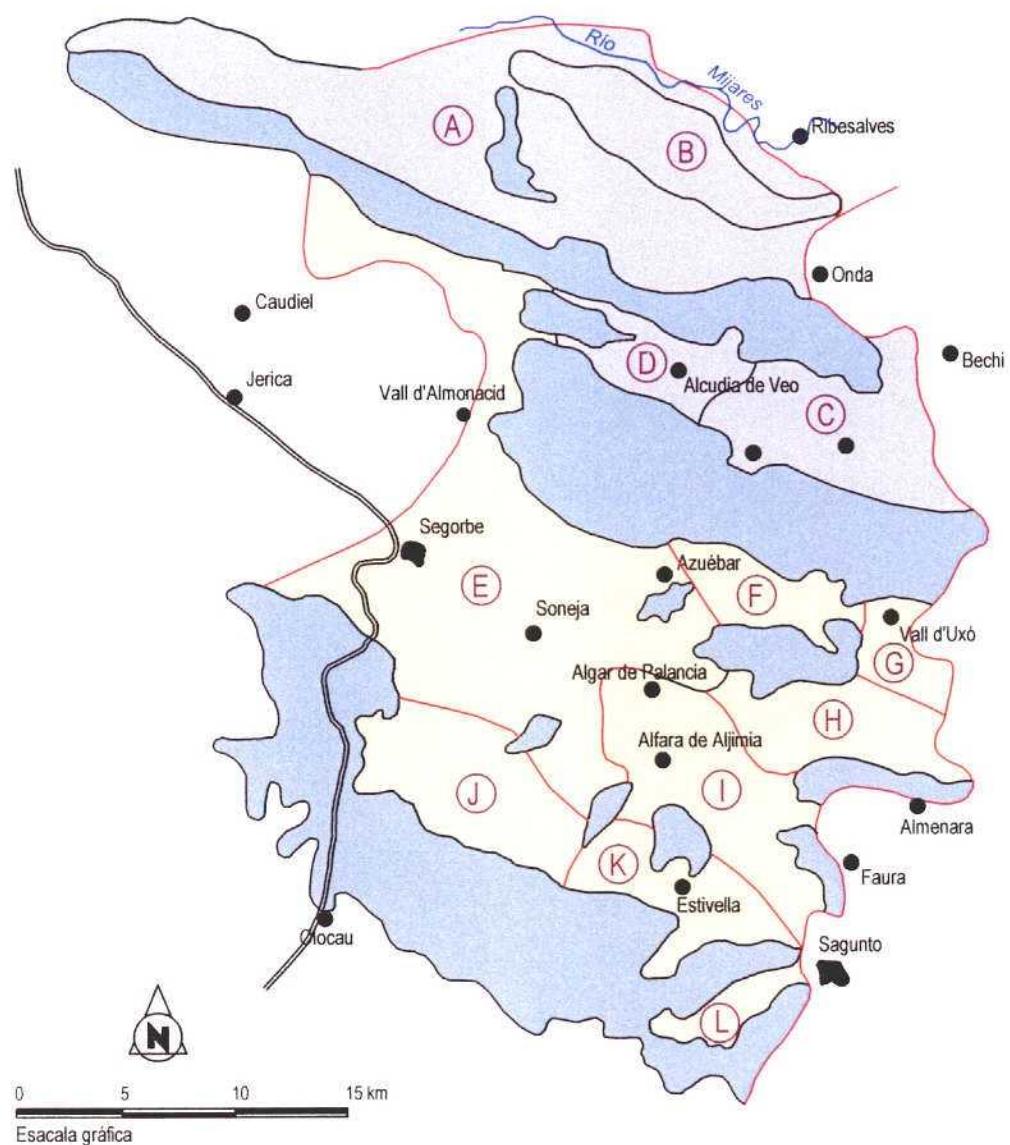
En el caso del Medio Palancia, debido a la tectónica que le afecta, los diferentes tramos permeables del Muschelkalk (Tm1, Formación Landete o Formación Dolomías de l' Oronet y Tm3, Formación Dolomías y Calizas de Cañete o Formación Dolomías de Cirat), pueden estar conectados hidráulicamente entre sí, aun estando situados a distinto nivel en la serie estratigráfica.

4.1. Subsistema acuífero Sierra del Espadán

Bajo este nombre se incluye el conjunto de compartimentos acuíferos constituidos por las areniscas del Buntsandstein medio (Tb2, Formación areniscas del Cañizar o Formación Areniscas del Garbi), que subyacen a las calizas y dolomías del Muschelkalk de los subsistemas de Onda, Medio Palancia y Gátova-Náquera. Obviamente, su asiento geográfico coincide con la de éstos, con la excepción de sus principales áreas de afloramiento: la Sierra del Espadán y el Macizo de Gátova-Náquera.

El subsistema acuífero está constituido por unos 200 m de espesor medio de areniscas pertenecientes al tramo medio del Buntsandstein, actuando las argilitas del tramo superior como nivel de separación con las calizas y dolomías del Muschelkalk, mientras que las del tramo inferior del Buntsandstein actúan como sustrato impermeable.

Aunque de forma general se considera que existe un sólo tramo acuífero infrayacente a los materiales del Muschelkalk, constituido por el nivel permeable del Tb2, su funcionamiento hidráulico es bastante desconocido por la escasez de captaciones que permitan obtener información sobre los distintos sectores acuíferos originados por la intensa tectónica a la que se encuentra sometida esta formación. Este hecho da lugar a una intensa compartmentación en bloques que pueden estar hidráulicamente desconectados, así como constituir acuíferos independientes entre si.

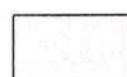


Esacala gráfica



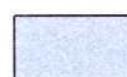
SUBSISTEMA DEL MEDIO PALANCA

- (E) ACUÍFERO DE SEGORBE-SONEJA
- (F) • AZÜEBAR
- (G) • VALL D'UXÓ
- (H) • SALTO DE CABALLO
- (I) • ALGAR-CUART
- (J) • ALTO DEL CORNACO
- (K) • ESTIVELLA
- (L) • GAUSA



SUBSISTEMA DE HONDA

- (E) ACUÍFERO DE ONDA
- (E) • TORRECHIVA-SUERAS
- (E) • AHIN-VILLAVIEJA
- (E) • ALCUDIA DE VEO



SUBSISTEMA SIERRA DE ESPADÁN

- LÍMITE CERRADO
- LÍMITE ABIERTO

Figura 1

Como resultado, los acuíferos que forman este subsistema son muy numerosos y de extensión reducida, por lo que los recursos movilizables suelen terminar agotándose al poco tiempo de su explotación. Esto hace que después de numerosos fracasos en captaciones destinadas al abastecimiento público, en las que el agua es de excelente calidad, se considere que no son adecuados para satisfacer demandas altas. Sin embargo, sí son especialmente aptos para el abastecimiento de pequeñas poblaciones del interior o, como es el caso de Nules, para uso exclusivamente alimentario mediante una red independiente de la municipal.

Los recursos totales del subsistema procedentes de la infiltración del agua de lluvia se estiman en 17 hm³/año de valor medio, aunque deben existir otras entradas derivadas de la transferencia subterránea de las formaciones permeables que constituyen los subsistemas suprayacentes. La descarga se produce mediante tres mecanismos; a saber: emergencias por numerosos manantiales de escasa entidad (2 hm³/año); transferencia lateral a las Planas de Castellón y Sagunto (15,5 hm³/año); y bombeos (11,5 hm³/año).

Del balance se deduce que en el caso de no existir más entradas que las descritas, existe una sobreexplotación del orden de 12 hm³/año. Sin embargo, los indicios existentes de sobreexplotación aparentemente no son tan importantes como los indicados, debiendo por ello existir algún tipo de alimentación diferida procedente de los materiales acuíferos suprayacentes.

Los sectores en los que se localizan indicios de sobreexplotación zonal corresponden a la zona de Gátova-Náquera (captaciones de abastecimiento a Puzol) y Medio Palancia (captaciones de abastecimiento a Vall d'Uixó y Moncófar, en la partida La Zorra); en el resto, la sobreexplotación actual no es apreciable.

Las características químicas de las aguas en este subsistema ponen de manifiesto su excelente calidad, ya que presentan una facies bicarbonatada cálcica o cálcico-magnésica, con residuo seco que en algunos casos no excede los 100 mg/L, siendo muy apreciadas como aguas de mesa.

En general, las aguas menos mineralizadas proceden de manantiales, en tanto que las correspondientes a sondeos presentan mayor contenido salino debido a su mayor tiempo de residencia en el acuífero. El contenido iónico observado (en mg/L) varía entre los siguientes límites:

Ca++	27.75
Mg++	13.44
Na+	11.18
Cl-	44.60
SO ₄ ²⁻	10.95
CO ₃ H-	198.274
RS	100.454

4.2. Subsistema acuífero del Medio Palancia

Como se ha comentado anteriormente, los acuíferos que integran esta Subsistema están constituidos por las dolomías y calizas dolomíticas de los tramos inferiores (Tm1) y superiores del Muschelkalk (Tm3), que en esta zona concreta presentan un espesor medio reconocido de 100 y 80 m respectivamente.

Su extensión superficial es de 478 km² y coincide con un amplio sinclinal situado entre las sierras del Espadán y el macizo de Gátova-Náquera, constituyendo las arcillas del Buntsandstein, que afloran en los flancos de dichas sierras, el sustrato impermeable así como el límite nororiental y suroccidental del mismo. Hacia el noroeste los materiales acuíferos se hunden bajo el Jurásico de Jérica y Navajas, estableciéndose el límite en los afloramientos de Keuper de Altura y Segorbe que individualiza este subsistema del de Jérica-Alcublas, constituido por materiales del Jurásico. Hacia el Sureste limita con los materiales pliocuaternarios de la Plana de Sagunto y Castellón, situándose en este contacto, en una franja comprendida entre las localidades de Vall d'Uixó y Sagunto, su más importante cesión de agua subterránea hacia los acuíferos detríticos.

Las características hidráulicas son muy variables incluso en puntos muy próximos. Los resultados de los sondeos oscilan entre valores nulos y otros con caudales específicos superiores a 15 L/s/m, si bien los más frecuentes están comprendidos entre 1 y 5 L/s/m.

La componente mayoritaria del flujo tiene dirección sureste con fuertes gradientes, que en promedio alcanzan un valor próximo al 2 %, aparentemente incompatible con la transmisividad que poseen estos materiales, lo que pone de manifiesto la alta compartimentación que presenta la zona saturada del subsistema. El nivel piezométrico, en la zona más septentrional, oscila entre 320 m s.n.m en Castellnovo y 200 m s.n.m en Sot de Ferrer, 250 m s.n.m. en el sector nororiental, 75-100 m s.n.m. en el central y entre 10 y 40 m s.n.m. en las proximidades de la Plana.

Esta alta compartimentación permite diferenciar una serie de áreas con un comportamiento piezométrico similar (IGME, 1985). Estas áreas corresponden a los siguientes acuíferos (figura 2):

- Acuífero de Segorbe-Soneja
- Acuífero de Azuébar
- Acuífero de Vall de Uxó
- Acuífero de Salto del Caballo
- Acuífero de Algar-Cuat
- Acuífero de Cormacó
- Acuífero de Estivella
- Acuífero de Gausa

La calidad química del agua de este subsistema presenta también una elevada dispersión debido a los materiales acuíferos que lo componen y al tipo de captación de que se trata, ya que en unos casos son manantiales y en otros sondeos de distinta penetración. Sin embargo, la característica común a la mayoría de las muestras es su facies sulfatada cálcico-magnésica, si bien difieren notablemente en cuanto a su grado de mineralización. La única excepción la constituyen algunos sectores del límite oriental, próximos a la Plana (Almenara, Moncófar y Chilches) donde son frecuentes las facies cloruradas sódicas ó cálcico-sódicas.

Los mayores contenidos de calcio, entre 300 y 400 mg/L, se observan en las zonas de Soneja, Sot de Ferrer y Algimia de Alfara, donde además existen concentraciones altas de magnesio (60-70 ppm). Los valores más elevados del contenido en este ion, entre 90 y 180 mg/L se han medido al norte de Sagunto, Balsas de Almenara y Castellnovo, y se relacionan con fenómenos de intrusión marina en los dos primeros casos y prolongado tiempo de residencia en el segundo.

Las mayores concentraciones en sulfatos se han determinado en la zona de Castellnovo-Soneja y Algimia de Alfara, con valores en algunos de los puntos de 750 a 850 mg/L, originados por la presencia de formaciones yesíferas de las facies Keuper, ampliamente representadas en la zona. En el resto del subsistema no se rebasan los 500 mg/L. Estas concentraciones están normalmente asociadas a la presencia de magnesio en concentraciones también relativamente elevadas.

En líneas generales hay que indicar que, según los datos hidroquímicos existentes, la calidad natural de las aguas subterráneas se caracteriza por presentar mineralizaciones que en algunos casos rebasan los contenidos en $\text{SO}_4^{=}$ y Mg^{++} marcados como límites admisibles por la Reglamentación Técnico Sanitaria para abastecimiento público. Este tipo de componentes se debe a la presencia de forma natural, en los materiales del Keuper y Muschelkalk, de formaciones evaporíticas constituidas fundamentalmente por niveles de yesos y anhidritas.

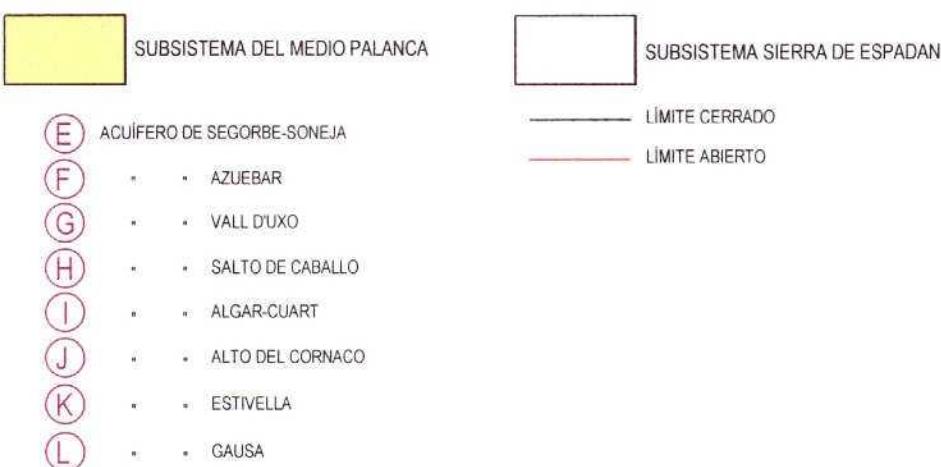
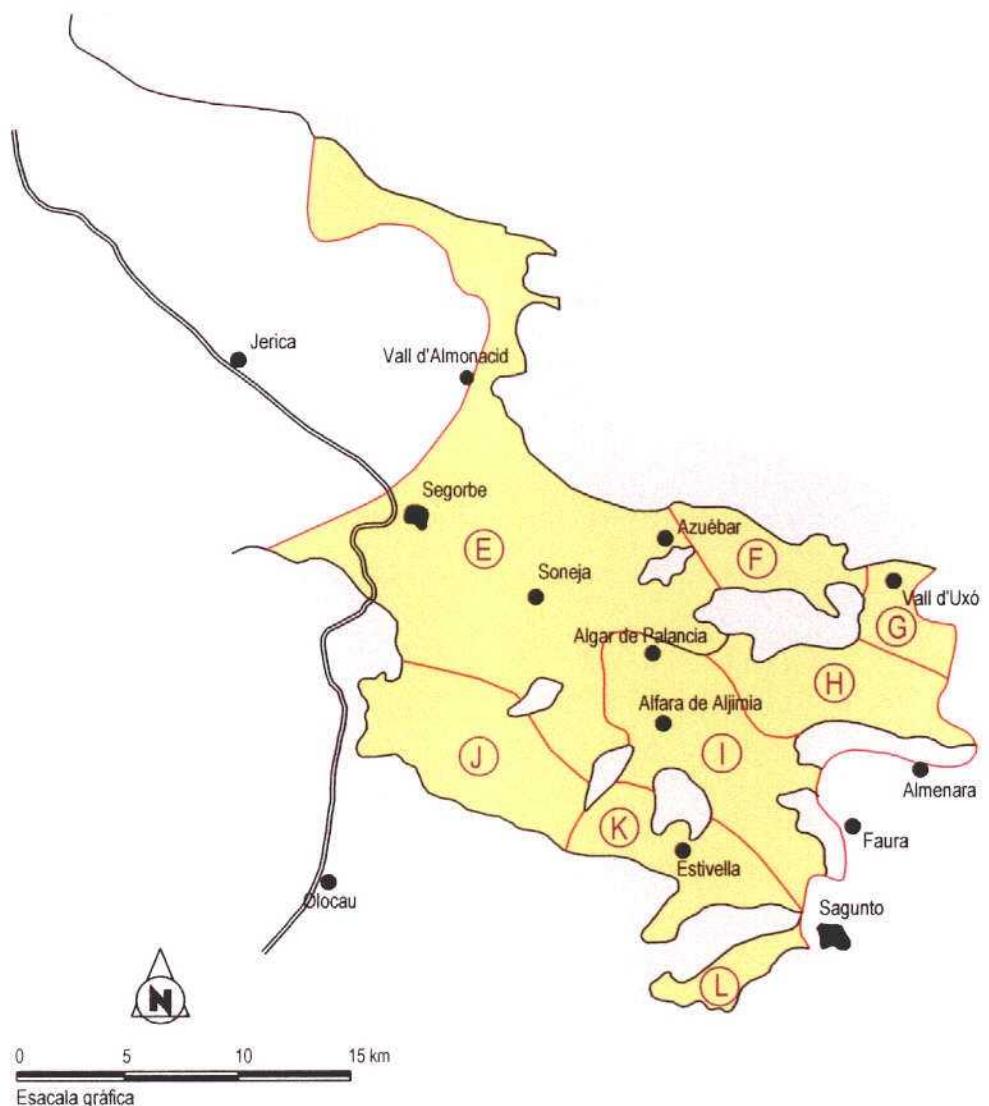


Figura 2

5. ACUÍFERO DE AZUÉBAR (SISTEMA KÁRSTICO DE SANT JOSEP)

Integrado dentro del Subsistema del Medio Palancia, este acuífero se desarrolla sobre una estrecha franja de dirección ONO-ESE que va desde la población de Chovar hasta las proximidades de Vall d'Uixó, y cuya extensión superficial es de unos 22 km².

En el Mapa Hidrogeológico (Plano nº 5) se han representado los límites hidrogeológicos del acuífero y los de la cuenca hidrográfica superficial o cuenca vertiente -ya que éste último límite representa el área que, por escorrentía superficial, contribuye a la alimentación del sistema-, así como los distintos grupos de materiales existentes, con indicación de su permeabilidad. En la cuenca vertiente, fuera del acuífero, destacan las areniscas del Buntsandstein medio (Tb2, Formación Areniscas del Cañizar), con permeabilidad media-alta por fracturación y, en menor medida, por porosidad intergranular. Asimismo, se ha señalado la dirección y sentido del flujo subterráneo y se han situado los sondeos de la campaña geotécnica, el sondeo de abastecimiento de agua potable "Pipa", así como los principales sumideros (Avenc de la Guilla y Avenc de la Riera) y el manantial de Sant Josep. Además, en el Anejo 3 se presenta la cartografía hidrogeológica del Subsistema acuífero del Medio Palancia, centrada en el acuífero de Azuébar, realizada por el IGME en 1995.

En cuanto a sus características litológicas, el acuífero se encuentra instalado en materiales carbonáticos del Muschelkalk inferior y superior (Tm1, Formación Landete o Formación Dolomías de L'Oronet y Tm3, Formación Dolomías y Calizas de Cañete o Formación Dolomías de Cirat), con alta permeabilidad por fracturación y karstificación, constituyendo los niveles acuíferos más productivos del Subsistema del Medio Palancia. Las calizas jurásicas del Lias forman también parte, aunque en mucha menor medida, del acuífero y aparecen igualmente sometidas a intensa fracturación y karstificación, si bien su disposición estructural en el área, normalmente elevada con respecto al nivel piezométrico regional, condiciona habitualmente la inexistencia de obtención de elevados caudales en ellas.

Los materiales de permeabilidad baja-muy baja están formados por argilitas del Buntsandstein inferior (Tb1, Formación Limos y Areniscas de Alcotas o Formación Lutitas y Areniscas de Marines), Buntsandstein superior (Tb3, Formación Limos y Areniscas de Eslida o Formación Lutitas y Areniscas de Serra) y Muschelkalk medio (Tm2, Formación Arcillas, Margas y Yesos del Mas), fundamentalmente. También presentan permeabilidad baja-muy baja las arcillas, margas y yesos del Keuper (Tk, Grupo Valencia). El conjunto de materiales del Cuaternario existentes (conglomerados, gravas y arenas con limos y arcillas) no presentan interés como acuífero en el área y presentan, en general, una permeabilidad media-baja por porosidad.

El acuífero presenta cierta conexión hidráulica con el acuífero de Segorbe-Soneja en su límite occidental, siendo el intercambio hídrico en régimen no influenciado muy reducido. Por otra parte, sus límites septentrional y meridional son cerrados, estando formado el primero por las argilitas (Tb3, Formación Limos y Areniscas de Eslida) de la Sierra de Espadán y el meridional por otros afloramientos de estos mismos

materiales. Su límite SE es parcialmente abierto y permite la transferencia de recursos hídricos subterráneos al acuífero de Vall de Uxó.

El flujo se establece en dirección O-E en sentido hacia la localidad de Vall d'Uixó, con piezometrias más elevadas en los sectores más occidentales, que superan los 370 m s.n.m en las proximidades de la población de Chovar. El nivel de drenaje lo establece el manantial de la Cueva de Sant Josep, localizado en torno a los 140 m s.n.m. Es de resaltar el alto gradiente hidráulico existente, que contrasta con las buenas condiciones hidrodinámicas de las formaciones que constituyen el acuífero. Este hecho podría ser consecuencia de la elevada fracturación presente en el área, que da lugar a una tectónica de bloques y la creación de compartimentación hidrogeológica con conexiones más o menos restringidas entre diferentes sectores. Por este motivo es de suponer que la superficie piezométrica no evolucione de forma continua a lo largo de este sistema hidrogeológico, sino que presente pequeños saltos ó escalonamientos.

Los trabajos llevados a cabo, apoyados por los resultados arrojados por la hidroquímica de las aguas del acuífero, avalan la hipótesis de una circulación rápida de éstas, ya que como se verá más adelante presentan una baja mineralización y facies que no se corresponden con las típicas de los acuíferos desarrollados en materiales del Muschelkalk. Es de resaltar, también, la presencia de un muy ligero indicio de termalismo en las aguas del manantial de San Josep (20°C), que podría indicar la existencia de pequeños aportes de agua de circulación profunda relacionados con las formaciones infrayacentes de carácter permeable pertenecientes al Buntsandstein (Tb2).

Sin olvidar lo expuesto en el párrafo anterior, se puede establecer que la mayor parte de los recursos del acuífero proceden de la infiltración del agua de lluvia, si bien se considera también que el sistema está conectado hidráulicamente a través de su borde occidental con el acuífero de Segorbe-Soneja, del que recibe una pequeña alimentación. El volumen de esta alimentación, establecida en 0,8 hm³/año, fue determinada a partir de la modelación matemática del sistema realizada por el IGME en 1995. Se considera que dicha alimentación podría incrementarse significativamente si se aumentase la explotación en el acuífero de Azuébar, provocando un aumento en el vaciado del acuífero de Segorbe-Soneja y, en consecuencia, una mayor entrada de agua subterránea.

Es importante mencionar que, dentro del capítulo de infiltración de agua de lluvia, se incluye parte de las entradas originadas por la infiltración que tiene lugar a lo largo del lecho del río Belcaire en los bordes con el conjunto carbonatado, circunstancia que ha sido puesta de manifiesto por la presencia de morfologías exokársticas (sumideros) en distintos puntos de su recorrido. 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 puso de manifiesto mediante la utilización de fluoresceína durante un episodio de crecida en septiembre de 1985, si bien no existe hasta el momento conexión espeleológica.

Las salidas conocidas se producen por los tres mecanismos siguientes: descarga a través del manantial de la Cueva de Sant Josep, extracciones por bombeo y transferencia subterránea al acuífero de Vall de Uxó.

De esta forma el balance hidráulico del acuífero, establecido para el periodo 1993-1994, sería el siguiente:

Entradas (hm³/año):

▪ Infiltración agua de lluvia	1,32
▪ Transferencia subterránea del acuífero Segorbe-Soneja	0,80
Total entradas	2,12

Salidas (hm³/año):

▪ Descarga manantial de Sant Josep	0,95
▪ Transferencia al acuífero de Vall de Uxó	1,26
▪ Bombeos	0,18
Total salidas	2,39

Se estima que quedarían fuera del balance (no se contabilizarían en las entradas ni en las salidas) los volúmenes generados en episodios puntuales provocados por fuertes precipitaciones, que evacuarían a través del barranco de Sant Josep en su gran mayoría, aunque también en menor medida por la propia surgencia, razón ésta por lo que en el balance aparece un volumen superior de salidas que de entradas. No obstante, las escorrentías superficiales del barranco, para el periodo 1985 a 1989 (Garay, 2003), fueron de escasa magnitud, del orden de unos 0,52 hm³/año y concentradas en 12 avenidas extraordinarias.

5.1. El manantial de Sant Josep

El manantial de Sant Josep, que representa la entrada a la cueva del mismo nombre, constituye el principal punto de descarga del acuífero de Azuébar, sistema kárstico complejo al que también afluyen escorrentías superficiales procedentes de la cuenca superficial de drenaje. El agua del manantial se utiliza para abastecimiento de Vall d'Uixó. Los caudales mensuales utilizados para abastecimiento de la localidad, desde septiembre de 1997 hasta abril de 2004, tanto procedentes del manantial como del pozo Pipa, se recogen en el Anexo 5.5. Los datos han sido aportados por FACSA (Fomento Agrícola Castellonense, S.A., sociedad dedicada a la distribución y análisis de agua potable en Castellón).

El sistema kárstico se estructura a partir de una red organizada en el seno de un acuífero carbonático triásico, cuyo drenaje subterráneo se desarrolla a partir de la cueva de Sant Josep. La cuenca hidrográfica se corresponde con la cuenca de drenaje del barranco de Sant Josep o rambla de Belcaire (nombre este último que adopta tras su confluencia con la rambla Cerverola) que se cierra aguas abajo en el manantial de Sant Josep, junto al cauce del barranco del mismo nombre.

La mayor parte del drenaje, tanto superficial como subterráneo, se concentra y organiza a lo largo de un eje central y de orientación E-O definido por el barranco de Sant Josep y por la propia cueva. Gran parte del drenaje es subterráneo, debido a que la mayor parte de la cuenca, y en particular de sus sectores topográficamente más deprimidos, se encuentra ocupada por materiales permeables muy karstificados. También se producen avenidas extraordinarias en la red de drenaje superficial en episodios de lluvia de gran intensidad, que superan la capacidad de absorción de los sumideros situados junto al cauce del barranco (Avenc de la Riera, Avenc de la Guilla).

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 (Esteller, Morell, Antigüedad y Garay, 1996) ha permitido establecer las siguientes conclusiones sobre el sistema kárstico drenado por el manantial de Sant Josep:

- El análisis de los hidrogramas pone de manifiesto que la franja no saturada del sistema presenta escaso poder regulador, incorporándose gran parte del flujo del agua a la franja saturada a través de grandes fracturas o conductos. Se pone igualmente de manifiesto que se trata de un sistema de baja inercia, con un tiempo de regulación entre 7 y 8 días y con rápida circulación a través de los drenes principales.
- El análisis de caudales clasificados indica que el manantial de Sant Josep es el principal punto de drenaje del acuífero, además de apuntar a la inexistencia de grandes aportes procedentes de sistemas acuíferos anexos.
- El análisis correlatorio indica igualmente el escaso poder regulador del sistema, mientras que el análisis cruzado detallado lluvia-caudal señala un cierto filtraje sobre las lluvias correspondientes a las más altas frecuencias.
- La evolución hidroquímica señala la escasa capacidad de homogeneización del acuífero y la existencia de

diversas modalidades de flujo. Durante las épocas de crecida se desarrolla un flujo rápido que aporta aguas de mineralización muy baja, mientras que en períodos de estiaje el agua muestra una mineralización más elevada, de naturaleza bicarbonatada cálcica.

Tal como se ha referido en el anterior epígrafe, el caudal drenado por el manantial en el periodo 1993-1994 fue de 0,95 hm³/año. 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, 2003), datos que apuntan, en coherencia con los antes reseñados, la escasa capacidad de regulación del sistema y su fuerte dependencia de la variabilidad de las precipitaciones.

5.2. La cueva de Sant Josep

La cueva de Sant Josep es el eje principal de drenaje del sistema kárstico en que se encuentra. Su boca de acceso, a 140 m de altitud sobre el nivel del mar, se localiza en la margen izquierda de la rambla del Belcaire, a 1 km al Oeste del extremo occidental del núcleo urbano de Vall d'Uixó. Es, por su desarrollo, la segunda cueva más grande de la Comunidad Valenciana, presentando un recorrido básicamente lineal. Está recorrida por un río subterráneo de orientación general Oeste-Este, que surge en el manantial de Sant Josep, en la entrada a la cueva. La zona más próxima a la entrada está habilitada para el turismo, parte en barcas y otra parte a pie (la llamada Galería Seca). Es una de las pocas cuevas turísticas de España que incluye un recorrido en barca por su interior.

La cavidad es conocida y utilizada desde, al menos, el Paleolítico superior, como muestran los yacimientos encontrados junto a la entrada, siendo asimismo utilizada por iberos y romanos. Existen citas bibliográficas de ella en los siglos XVIII y XIX. En la década de los años 30 del pasado siglo XX comienzan los trabajos de acondicionamiento de la cueva para el turismo, mediante la instalación de pasarelas. En 1936, las pasarelas se sustituyen por una barca, lo que requirió la construcción de una pequeña presa que mantuviera el nivel del agua, a la vez que se dragaron algunos pasos. La zona visitable llegaba sólo hasta la llamada "Boca del Forn", a unos 180 m de la entrada. En esa misma época se realizó la iluminación de este tramo de la cavidad. En 1950 la "Boca del Forn", límite del recorrido visitable, se agrandó mediante voladura con explosivos, permitiendo así el paso de las barcas.

La primera exploración espeleológica data de 1954, realizada por la Sección de Exploraciones Subterráneas del Centro Excursionista de Valencia, que confecciona el primer levantamiento topográfico de la cavidad en 1958. En 1960 el Grupo de Espeleología Vilanova i Piera (GEVIP), de la Diputación de Valencia, comprueba la continuidad de la cueva tras superar varios pequeños sifones y el Ayuntamiento de Vall d'Uixó realiza nuevas voladuras, que permiten nuevas exploraciones y el levantamiento de una topografía en 1961 que elevó el recorrido de la cavidad de 280 m originales hasta 800 m. En la década de los años 70 se realizan nuevas exploraciones que permiten descubrir nuevos tramos (Galería del Fang, La Platja, El Túnel), iniciando también en esa década sus exploraciones el Grup de Exploracions Subterrànies del CMB, que publican en 1981 la

topografía más completa de la cavidad hasta el momento, que supone un total de 2.384 m.

En 1993, el GEViP realiza un nuevo levantamiento topográfico de la cavidad, aunque sólo hasta el primer sifón. La nueva topografía hasta esa zona representa un recorrido de 1.986 m, lo que sumado a los datos espeleométricos aportados por el Grup de Exploracions Subterràniaes del CMB a partir del primer sifón, supondría un recorrido total de 2.750 m. En cualquier caso, estas dos topografías de la cueva (años 1981 y 1993) son las que se pueden considerar como más completas y fiables de todas las existentes (figura 3).

La cueva, en su sector más próximo a la boca de entrada, se desarrolla a favor de un apretado sinclinal sobre el tramo inferior dolomítico del Muschelkalk (Tm1, Formación Dolomías de Landete o Formación Dolomías de l'Oronet), próximo al contacto basal con el tramo superior del Bundsandstein (Tm3, alternancia de argilitas y areniscas, Formación Limos y Areniscas de Eslida), desarrollándose posteriormente sobre el tramo superior carbonatado del Muschelkalk (Tm3, Formación Dolomías y Calizas de Cafete, también conocida como Formación Dolomías de Cirat). El eje del sinclinal presenta una dirección N100°E y su traza pasa por la intersección de la denominada Galería Seca, al Norte del eje, con las galerías inundadas situadas al Sur del mismo.

Excepto este tramo de la cueva, la Galería Seca, el resto de la cavidad está recorrida por el curso de agua subterráneo, aunque regulado a través de la pequeña presa situada al Oeste de la Sala del Blocs, con lo que se mantiene el nivel del agua para permitir su visita con las barcas. En épocas de intensas lluvias, la subida del nivel del agua obliga al cierre de la cueva. La Galería Seca, ligeramente más elevada, debió constituir un conducto lateral de la principal, que ha quedado por encima del nivel actual base de la karstificación y sólo ocasionalmente, en las grandes crecidas, es ocupada por las aguas.

La cavidad presenta una morfología en planta de un conjunto de segmentos rectilíneos, de orientaciones variadas, sin ningún intervalo angular predominante. No obstante, la cavidad, a partir de la Gran Sala Enserrada, se desarrolla principalmente hacia el Oeste, a través de tramos de orientación próxima a Este-Oeste (intervalos N 90-100°E), aunque con tramos entre N130°E y N160°E que desplazan su desarrollo hacia el Norte. Desde el Segundo Sifón la cueva continúa con marcada dirección hacia el Oeste.

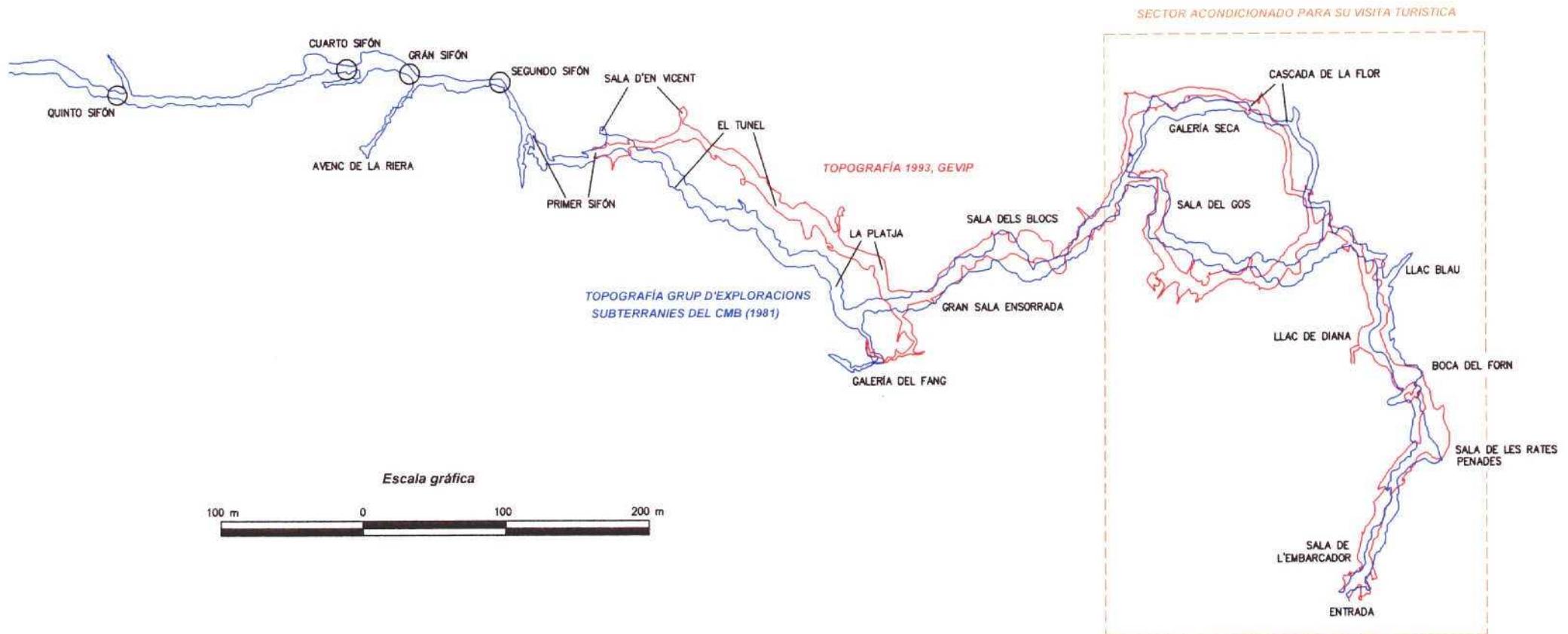


Figura 3

En lo referente a espeleotemas, en el sector habilitado para el turismo, tanto del recorrido con barca como en el que se realiza a pie por la Galería Seca, son escasos y, generalmente poco llamativos. Sin embargo, hacia el interior, especialmente en los sectores de "La Platja" y "El Túnel", son frecuentes las zonas con abundancia de espeleotemas de interés por su espectacularidad y buena conservación (coladas, estalactitas, excéntricas, etc.).

Hay también presencia abundante de depósitos detriticos fluviales, ocasionalmente encostrados, depósitos de desprendimiento y hundimiento (Sala dels Blocs), al igual que algunas formas características de erosión como son los *pendants* (al inicio de la Galería Seca y entre ésta y la Sala dels Blocs).

En el Anejo 2 se presenta un reportaje de fotografías realizadas en la cueva.

Tras el reconocimiento, con técnicas de espeleobuceo, del tramo final de la cavidad (Anejo 6), realizado los días 2 y 3 de julio de 2004, se ha podido constatar la existencia de una gran cantidad de espeleotemas, entre el cuarto y el quinto sifón y, especialmente, en la zona central de la galería existente tras superar el quinto (y último) sifón. Destaca también la presencia de depósitos detriticos fluviales (gravas subredondeadas) entre el tercer y cuarto sifón, donde asimismo aparecen numerosos residuos formados por cascotes de ladrillos y vidrio, al igual que entre el cuarto y el quinto sifón.

5.3. Análisis hidroquímicos de la cueva de Sant Josep

Con el fin de determinar las características fisico-químicas del agua de la Cueva de Sant Josep, el día 24 de febrero de 2004, se tomaron 4 muestras de agua en el interior de la misma. En cada punto de muestreo, además, se determinaron *in situ* los siguientes parámetros: pH, conductividad y temperatura.

Los resultados de las medidas *in situ* se muestran en la siguiente tabla:

Nº MUESTRA	FECHA	T (°C)	pH	CONDUCTIVIDAD (µs/cm)
SJ-1	24-02-04	20,1	7,79	574
SJ-2	24-02-04	20,0	7,83	518
SJ-3	24-02-04	20,0	7,69	572
SJ-4	24-02-04	19,9	7,83	516

Igualmente se tomó una muestra de la salida de la depuradora de Alfondeguilla, situada 1,5 km aguas arriba de la cueva de Sant Josep, y que vierte al propio barranco del Belcaire. Dicho efluente se infiltra totalmente a lo largo de una distancia de 50 m.

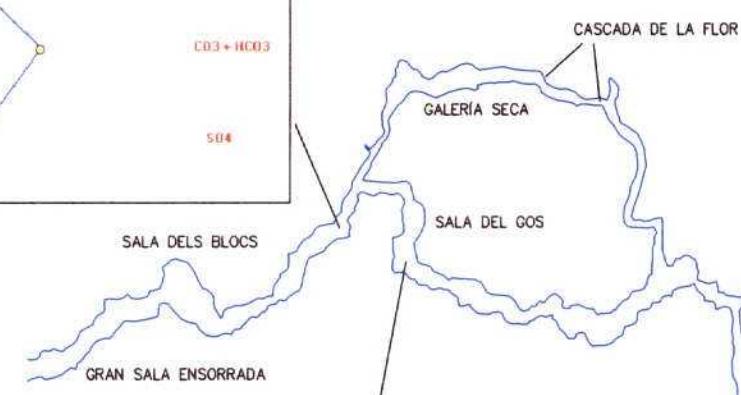
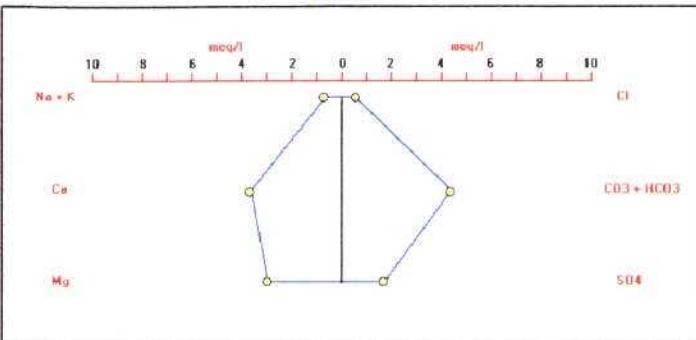
Los análisis del agua de la cueva muestran una escasa variabilidad, como se puede apreciar en los diagramas de Stiff de la figura 4 y en el diagrama de Piper (figura 5).

Los análisis de las 4 muestras de la cueva corresponden a facies bicarbonatadas cárnicas ligeramente magnésicas, escasamente mineralizadas, con conductividades eléctricas del orden de los 550 $\mu\text{s}/\text{cm}$, y TSD de 350 mg/L como promedio.

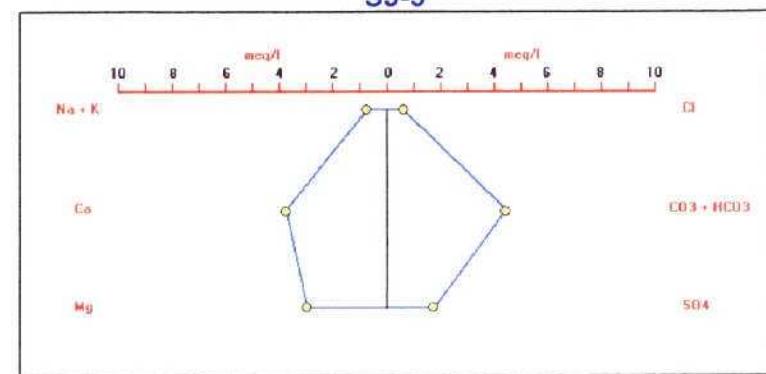
Como rasgos interesantes de las medidas in situ y de los análisis, cabe destacar tanto la presencia de un ligero indicio de termalismo del agua (20°C), como contenidos relativamente elevados de SiO_2 (10 mg/L).

SITUACIÓN DE PUNTOS MUESTREADOS Y DIAGRAMAS DE STIFF

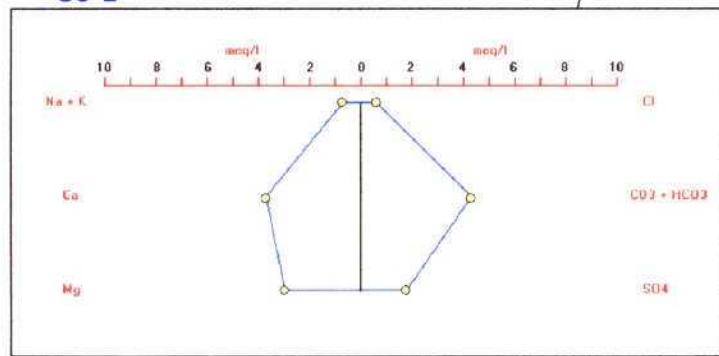
SJ-1



SJ-3



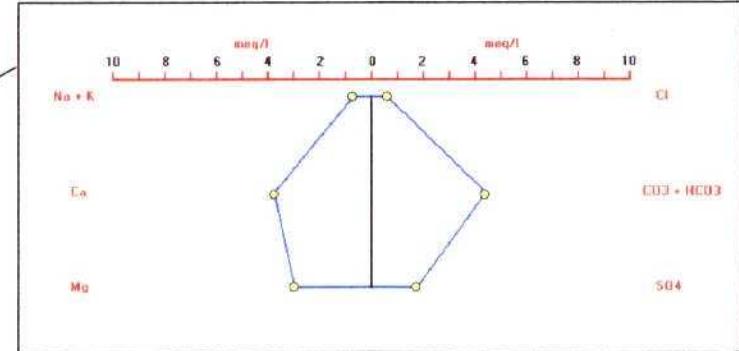
SJ-2



LLAC DE DIANA



SJ-4

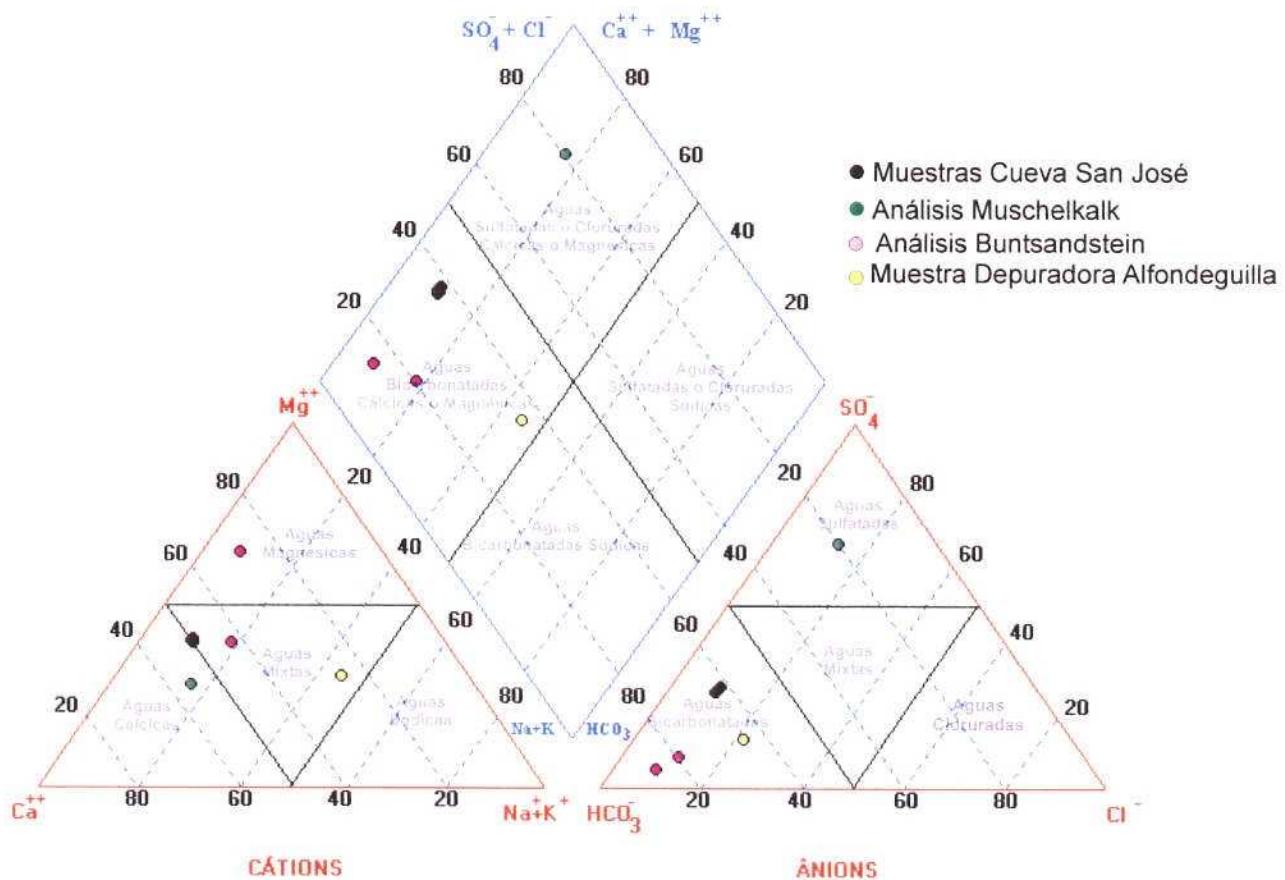


Escala gráfica



Figura 4

DIAGRAMA DE PIPER



Se han representado las muestras de la Cueva de San Josep, el efluente de la depuradora de Alfondeguilla y los análisis de aguas características del acuífero carbonatado del Muschelkalk y del acuífero detrítico-fisurado del Buntsandstein

Figura 5

Los resultados de los análisis se han contrastado con la composición característica del agua de las formaciones acuíferas del Muschelkalk y Buntsandstein. En el diagrama de Piper se aprecia que las aguas de la cueva se sitúan en la recta de mezcla teórica de las aguas procedentes de ambas formaciones, aunque composicionalmente se asemejan más a las del Buntsandstein. Ello, unido al indicio de un leve termalismo y a la concentración de SiO₂, hace pensar que algunos de los aportes de la cueva pueden proceder del acuífero subyacente del Buntsandstein. Por otra parte, y como se ha referido anteriormente, la baja mineralización y la presencia de formas exokársticas junto al cauce del río Belcaire, relacionadas con el sistema de drenaje de la cueva de Sant Josep, inducen a pensar en la existencia de un flujo subterráneo con muy poco tiempo de residencia y en consecuencia con escasa o nula interacción con la formación del Muschelkalk. No se descarta a su vez que las aguas infiltradas procedan tanto de escorrentía estrictamente superficial como de descargas procedentes de las formaciones del Buntsandstein.

De estas mismas cuatro muestras, así como del efluente de la depuradora de Alfondeguita, se ha realizado una determinación de elementos traza, que aparece recogida en el Anejo 5.3. De las muestras del agua de la cueva se ha efectuado también un análisis de isótopos estables (Anejo 5.4). Los datos aportados por FACSA corresponden al análisis del manantial (Anejo 5.1) y del sondeo de abastecimiento Pipa (Anejo 5.2).

6. 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 y, en cuanto a la topografía espeleológica, las ya citadas realizadas por el GEVIP en 1993 (que sólo llega hasta el primer sifón) y la confeccionada por Grup d'Exploracions Subterranies del CMB, de 1981, que es la que refleja el mayor desarrollo de la cavidad explorado hasta la fecha. Como se vio en la figura 3, una vez digitalizadas y georreferenciadas ambas topografías y unidas por la boca de entrada, presentan claros desplazamientos entre ambas.

Antes de realizar la radiolocalización de la cavidad, 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 (identificado sobre el terreno y en la topografía espeleológica de 1981) y el sondeo S-2 (que, tal como se ha indicado en el apartado 3.1, cortó a la cavidad transitable espeleológicamente o, al menos, a un conducto muy próximo conectado directamente con ella).

En los Planos 6.1 a 6.4 se muestran los distintos supuestos considerados:

- En el Plano nº 6.1 se representa la topografía de 1993 (complementada desde el primer sifón con la de 1981), rotada en conjunto hasta la máxima proximidad del Avenc de la Riera (punto exterior) con el mismo Avenc señalado en la topografía espeleológica. Como se observa, no llega a producirse la superposición de ambos puntos y el tramo final de la cueva se queda a unos 50 m al Sur del sondeo S-2.
- En el Plano nº 6.2 se utiliza la misma representación de la cavidad que en el Plano anterior, pero ahora se rota el conjunto de la cueva hasta su intersección con el sondeo S-2. En esta situación, el Avenc de la Riera (punto exterior) se queda al Suroeste de su equivalente en la topografía espeleológica.
- En los Planos 6.3 y 6.4 se muestran los resultados de realizar las mismas operaciones, pero utilizando la

topografía espeleológica completa de 1981.

La radiolocalización, cuyo metodología y resultado se recoge en el Anejo 1, se realizó en tres puntos: sobre la Sala d'En Vicerí, al final de la Galería Seca y al inicio de la misma Galería. El equipo necesita un emisor de campo magnético que se introduce en la cueva (además de una antena receptora en superficie), por lo que resultó imposible radiolocalizar ningún punto más allá del primer sifón, que hubiera necesitado un diseño específico de impermeabilización del equipo emisor de campo magnético, además de utilización de técnicas de espeleobuceo para el progreso en ese sector de la cavidad.

Los resultados de la radiolocalización, en relación a las cuatro hipótesis consideradas, se muestran en el Plano 6.5. Como se puede observar, la hipótesis que más se aproxima a los puntos radiolocalizados es la correspondiente a la número 2 (topografía de 1993 hasta el primer sifón, rotada hasta su intersección con el sondeo S-2).

Seleccionando esta localización, se han corregido –mediante ajuste de la topografía de la cueva– 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. El resultado se presenta como la hipótesis más probable de localización de la cavidad, recogida en el Plano nº 7.

7. ANÁLISIS DE IMPACTOS

7.1. Afecciones potenciales del Proyecto al sistema kárstico de Sant Josep

En este apartado, se realiza un análisis preliminar de potenciales impactos que podría provocar el Proyecto en el sistema kárstico. El análisis de impactos de las diferentes alternativas de trazado, para el cruce de la rambla de Belcaire, se expone en el apartado 6.3.

Los impactos potenciales que podrían llegar a producirse (exclusivamente sobre la cavidad y su sistema kárstico) afectarían, fundamentalmente, al medio hídrico y a la estabilidad mecánica de la cueva. Para la descripción de estos impactos potenciales, se ha seguido la nomenclatura del Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de Evaluación de Impacto Ambiental, donde se establecen y definen los distintos tipos de efectos que se han de distinguir:

- temporales/permanentes (según su duración)
- simples/acumulativos y sinérgicos (según su posibilidad de inducción de nuevos efectos)
- directos/indirectos (según la inmediatez de su incidencia)
- reversibles/irreversibles (según la capacidad de asimilación del medio)
- recuperables/irrecuperables (según su capacidad de ser eliminados o reemplazados)
- periódicos/irregulares/continuos/discontinuos (según su manifestación a lo largo del tiempo); en esta última categorización, se ha añadido el carácter de *puntual* en el tiempo

El impacto se ha clasificado, de acuerdo a la misma nomenclatura, como *compatible*, *moderado*, *severo* o *crítico*. En algunos casos, se ha considerado igualmente el posible efecto *mínimo* del impacto evaluado.

Además, se ha estimado la *probabilidad* de ocurrencia de los diferentes efectos potenciales considerados.

FASE DE INVESTIGACIÓN. IMPACTOS POTENCIALES SOBRE EL MEDIO HÍDRICO

Sondeos de investigación:

- Creación de conductos preferenciales de flujo subterráneo e interconexiones hídricas entre la rambla y la cueva. Especialmente, en el entorno de la cavidad y en las proximidades de ésta con la rambla, pueden producirse efectos de este tipo en sondeos de investigación, que se evitarán sellándolos una vez realizados. Se trata de un impacto temporal (siempre que se ejecuten las medidas de sellado), simple, directo, reversible, recuperable y discontinuo. Su probabilidad de ocurrencia es alta si los sondeos se ejecutan en las áreas anteriormente citadas. El impacto se califica como *moderado*.
- Contaminación física por lodos de perforación. Al igual que en el caso anterior, puede

producirse como consecuencia de la realización de sondeos próximos al entorno de la cavidad, en este caso con alta probabilidad de ocurrencia. El impacto es temporal, simple, directo, reversible, recuperable y puntual en el tiempo. El impacto se califica como *compatible*.

FASES DE CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN. IMPACTOS POTENCIALES SOBRE EL MEDIO HÍDRICO

- Modificación de la infiltración del sistema por obras directas o auxiliares. Las obras pueden generar cambios en la escorrentía superficial (por desmontes y rellenos, caminos de servicio, etc.) que influyan en la infiltración proveniente de la cuenca vertiente, que serán no obstante muy pequeños dada su escasa contribución a la alimentación del sistema hidrogeológico, así como el limitado desarrollo de las obras en relación con el tamaño de la cuenca superficial. En cuanto a la afección a áreas de alimentación de la surgencia (excluido el posible efecto derivado de la construcción del túnel), éstas son también pequeñas en relación a la cuenca hidrogeológica, pero se ha de prestar especial atención a las que se puedan producir en el lecho de la rambla y, en general, en las proximidades de la cavidad. Se trata de un efecto permanente, simple, indirecto, irreversible y continuo. Se califica, dado su escaso alcance, como de *compatible a moderado*, siempre que no se produzcan alteraciones significativas en las proximidades de la cavidad.
- Contaminación química por vertidos. Los residuos de explosivos, aceites usados o de cambios de maquinaria pueden producir contaminación química de las aguas subterráneas, si no son adecuadamente gestionados. Su probabilidad de ocurrencia es baja si se siguen las condiciones para su gestión indicadas en la Declaración de Impacto Ambiental. En el caso de que ocurriera, se trataría de un efecto temporal, acumulativo, directo, reversible, recuperable y continuo, calificándose el impacto como *severo*.
- Contaminación físico-química o biológica por filtraciones de las conducciones. Aun suponiendo la posibilidad de filtraciones, la probabilidad de generación de contaminación es mínima, ya que el agua trasvasada reúne condiciones aptas para riego. El efecto, por tanto, puede considerarse como *mínimo*, salvo accidente mayor o catástrofe que afecte de forma significativa a la calidad de las aguas trasvasadas.
- Derivados de la rotura de la infraestructura hidráulica. En el caso de rotura de la infraestructura hidráulica, las afecciones al medio hídrico serían por contaminación (y con efecto *mínimo*, tal como en el caso anterior) y por incremento del riesgo de crecidas en el interior de la cueva. La probabilidad, tanto de la ocurrencia de la rotura como del incremento de crecidas en la cueva derivado de ella, es difícilmente evaluable. En cualquier caso, este

riesgo de crecidas sería temporal, simple, directo, reversible, recuperable y puntual en el tiempo, pudiendo clasificarse como un impacto de magnitud *compatible*.

Túnel:

- Intersección del túnel con galerías desconocidas que contribuyan a la alimentación hídrica de la cueva y el manantial. La construcción del túnel, que discurre por la zona no saturada del acuífero, unos 100 m más alto que la cueva y cerca de 200 m desplazado respecto a ella, podría interceptar alguna galería que alimente el sistema kárstico, aspecto difícilmente predecible y poco probable. Para asegurar su inexistencia, sería aconsejable realizar una pequeña galería de investigación por delante del frente del túnel. El efecto, en el caso de que ocurriera, sería permanente, acumulativo, directo, irreversible, irrecuperable y continuo. Si se presentara, se trataría de un impacto de *severo a crítico*, si bien dada su baja probabilidad de afectar a alguna galería o conducto que suponga una importante alimentación del sistema, el impacto ha de clasificarse como *compatible*.
- Contaminación por restos de excavación y productos usados en ella. Los materiales de hormigón de rechazo, residuos de explosivos y fragmentos y detritus procedentes de la roca y suelo, así como las aguas residuales generadas, han de ser adecuadamente gestionados. Su probabilidad de ocurrencia es baja si se siguen las condiciones para su gestión indicadas en la Declaración de Impacto Ambiental. En el caso de que ocurriera, se trataría de un efecto temporal, acumulativo, directo, reversible, recuperable y continuo, calificándose el impacto como *moderado*.
- Desvío de flujos verticales por sellado y revestimiento. Aunque es probable la ocurrencia de este efecto, no parece que pueda ser significativo en relación al funcionamiento del sistema hidrogeológico. El efecto se considera permanente, simple, indirecto, irreversible, recuperable y periódico. El impacto se califica como *compatible*.

Acueducto, portasifón y sifón:

- Contaminación por restos de excavación y productos usados en ella. Las soluciones en acueducto y en portasifón necesitan excavación para la cimentación de sus zapatas, al igual que el sifón, que iría enterrado o semienterrado. La situación es similar a la referida para el caso del túnel. Su probabilidad de ocurrencia es baja si se siguen las condiciones para la gestión de residuos indicadas en la Declaración de Impacto Ambiental. En el caso de que ocurriera, se trataría de un efecto temporal, acumulativo, directo, reversible, recuperable y continuo, calificándose el impacto como *moderado*.

FASES DE CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN. IMPACTOS POTENCIALES SOBRE LA ESTABILIDAD MECÁNICA DE LA CAVIDAD

- Rotura de espeleotemas o caída de bloques por vibraciones en voladuras. En la fase de construcción, las voladuras efectuadas en las proximidades de la cueva para realizar excavaciones, podrían producir vibraciones que afecten a la estabilidad de bloques o de espeleotemas de la cavidad. El problema se podría presentar sólo por el uso de explosivos para la excavación del túnel, en las zonas más próximas a las boquillas, evitando las voladuras en las obras para el cruce de la rambla. La cimentación de zapatas en roca sana, para las soluciones en acueducto y portasifón, requiere excavación por medios mecánicos del recubrimiento superficial (depósitos de rambla) y, en las zonas con roca dura o muy dura, se debe efectuar la fragmentación mediante cemento expansivo. De forma similar, en la solución de sifón la conducción iría sólo enterrada en las zonas con suficiente recubrimiento superficial y semienterrada en el resto, efectuándose la fragmentación de los materiales duros igualmente con cemento expansivo. Por tanto, considerando la inexistencia de voladuras para las obras del cruce de la rambla de Belcaire, el efecto de las vibraciones por voladuras, exclusivamente las del túnel, podría comprometer la estabilidad de formaciones o de bloques en la cueva. El efecto, en caso de producirse, sería temporal, sinérgico, directo, irreversible, irrecuperable y puntual en el tiempo. El impacto podría llegar a ser severo en el caso más desfavorable, por lo que necesita de aplicación de las correspondientes medidas protectoras y la estricta aplicación del correspondiente plan de vigilancia y control.

Acueducto, portasifón y sifón:

- Rotura de la cueva por cargas transmitidas. En el caso de las soluciones en acueducto y portasifón, la rotura de la cueva se podría producir debido a las cargas transmitidas por las pilas, en el caso de situarse éstas en las proximidades de la vertical de la cavidad y con escasa altura hasta el techo del cavernamiento. En el caso del sifón, sería por las cargas transmitidas por el conjunto de la estructura sobre la vertical de la cavidad, que estarían repartidas a lo largo de todos los puntos de apoyo. La rotura de la cueva supondría un efecto permanente, acumulativo, directo, irreversible, irrecuperable y continuo y se calificaría como severo, ya que si se produjera sería fuera del sector turístico de la cavidad. La probabilidad de ocurrencia de este efecto podrá llegar a ser muy baja en función de la situación de los apoyos en relación al cavernamiento y su área inmediata, necesitándose de campañas específicas de investigación para asegurar su correcta ubicación.

OTROS POTENCIALES IMPACTOS SOBRE LA CAVIDAD

- Modificación de flujos de aire que degraden espeleotemas. La creación de nuevos conductos

por fracturación no prevista o adicional de la roca en las proximidades de la cavidad, pueden dar lugar a modificaciones de flujos de aire que degraden espeleotemas, efecto que se manifestará pasado un tiempo considerable desde los cambios producidos, que de ocurrir sólo se manifestará en la fase de explotación. No se consideran en este punto los producidos por sondeos de investigación, ya que el escaso tiempo hasta su necesario sellado supondría una alteración de magnitud *mínima*. El efecto, de difícil predicción, sería permanente, acumulativo, indirecto, irreversible, irrecuperable y de aparición irregular, calificándose como severo en el caso de deterioro significativo de las formaciones de la cavidad.

- Afecciones a flora o fauna subterránea. No se conoce la existencia de ningún trabajo científico o espeleológico que describa las posibles especies existentes en la cavidad ni, por tanto, la de ningún endemismo o especie protegida o amenazada en su interior, incluidos quirópteros cavernícolas (de los que, por otra parte, no se ha observado ninguna colonia ni presencia en el recorrido completo de la cueva). El efecto, dado el conocimiento actual, puede ser calificado como *mínimo*, condicionado no obstante a futuros descubrimientos de interés.

En el cuadro que aparece a continuación, se resumen los potenciales impactos del Proyecto sobre el sistema kárstico, de acuerdo al elemento o aspecto afectado (medio hídrico del sistema, estabilidad mecánica de la cavidad, otros impactos potenciales sobre la cavidad), las fases del proyecto en que se podría originar (de investigación y de construcción y explotación, con indicación de sus elementos singulares: túnel, acueducto y portasifón, y sifón), indicándose las fases en que se pueden manifestar dichos impactos.

RESUMEN DE IMPACTOS POTENCIALES DEL PROYECTO SOBRE EL SISTEMA KÁRSTICO

		IMPACTOS POTENCIALES SOBRE EL MEDIO HÍDRICO	FASES EN QUE SE PUEDEN PRESENTAR	IMPACTOS POTENCIALES SOBRE LA ESTABILIDAD MECÁNICA DE LA CAVIDAD	FASES EN QUE SE PUEDEN PRESENTAR	OTROS IMPACTOS POTENCIALES SOBRE LA CAVIDAD	FASES EN QUE SE PUEDEN PRESENTAR
FASE DE INVESTIGACIÓN	SONDEOS DE INVESTIGACIÓN	Creación de conductos preferenciales. Interconexiones hídricas entre rambla y la cueva	En fase de investigación, continuando durante la construcción y la explotación				
FASES DE CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN	SONDEOS DE INVESTIGACIÓN	Contaminación física por lodos de perforación	En fase de investigación				
		Modificación de la infiltración del sistema por obras directas o auxiliares	En construcción, continuando durante la explotación				
		Contaminación química por vertidos	En construcción				
		Contaminación físico-química o biológicas por filtraciones de las conducciones	En explotación				
		Derivados de la rotura de la infraestructura hidráulica; incremento de los riesgos de crecida en la cueva y de contaminación	En explotación				
	TÚNEL			Rotura de espeleotemas o caída de bloques por vibraciones en voladuras	En fase de construcción		
	TÚNEL					Modificación de flujos de aire que degraden espeleotemas	En fase de explotación
ACUEDUCTO Y PORTASIFÓN	TÚNEL					Afecciones a flora o fauna subterránea	En fases de construcción y explotación
	TÚNEL	Disminución de la alimentación al sistema kárstico por intersección de galerías	En construcción, continuando durante la explotación				
	TÚNEL	Contaminación por restos de excavación y productos usados en ella	En fase de construcción				
	TÚNEL	Desvío de flujos verticales por sellado y revestimiento	En construcción, continuando durante la explotación				
	ACUEDUCTO Y PORTASIFÓN	Contaminación física por restos de materiales excavados	En construcción	Rotura de la cueva por cargas transmitidas por las pilas	En fases de construcción y explotación		
ACUEDUCTO Y PORTASIFÓN	SIFÓN	Contaminación física por restos de materiales excavados	En construcción	Rotura de la cueva por excavación y por cargas transmitidas	En fases de construcción y explotación		

7.2. Consideraciones sobre potenciales impactos socioeconómicos en la cueva de Sant Josep

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, 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, servicios adicionales (tiendas, bar, restaurantes, parking, aseos), instalaciones deportivas y zonas de picnic. Del Paraje parten, además, varias rutas de senderismo adecuadamente identificadas. Sobre la ladera en cuya base se encuentra la cavidad, existen algunas edificaciones de viviendas tipo unifamiliar, junto a la margen derecha de la carretera CV-230 que une Vall d'Uixó con Alfondeguilla, Azuébar y Soneja. Sobre un pequeño promontorio de la ladera, muy próximo a la boca de la cueva y junto a la misma carretera, se encuentra la Ermita de San José.

La cueva, cuyas características más destacadas han sido descritas en el apartado 5.2, es explotada turísticamente, en régimen de concesión, por el propio Ayuntamiento de Vall d'Uixó, que dispone de su titularidad. El recorrido turístico tiene unos 800 m, de los cuales unos 300 se recorren a pie y el resto en botes. Dispone de iluminación eléctrica en todo el recorrido, habiéndose instalado también algunos ventiladores y diferentes elementos auxiliares (embarcaderos y pasarelas). 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. Dado este alto número de afluencia de visitantes, se desprende la enorme importancia que la cueva tiene para el municipio y su comarca, municipio por otra parte cuenta con escasos atractivos turísticos o, al menos, puestos en valor. La cueva representa una importante fuente de ingresos para el municipio, generando empleos directos e indirectos, ligados estos últimos tanto a los establecimientos situados en el Paraje como a los existentes en la localidad, principalmente de restauración y hostelería, 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, modificación permanente del régimen hídrico de la cavidad que impidiera su visita en barca), que incrementarían la magnitud del impacto hasta su calificación como *críticos* (y, por tanto, de magnitud superior al umbral aceptable), hay que tener especialmente en cuenta los

siguientes:

- El aumento de turbidez del agua de la cueva por productos inertes, aunque sea de carácter temporal, produciría un efecto negativo en el turismo
- 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 (por regulación del mismo e incremento de grandes vehículos y maquinaria pesada de obra). Podría conllevar, por tanto, una disminución del flujo de visitantes
- Algunos potenciales impactos (incrementos de riesgos de crecidas en la cueva, caídas de bloques, hundimientos por rotura de la cavidad) pueden tener efecto sobre la seguridad de las personas, por lo que han de ser tenidos especialmente en cuenta de cara al establecimiento de un Plan de Seguridad durante las fases de construcción y de explotación

Se necesitará la implantación de un Plan de Vigilancia y Control específico en la cueva, para asegurar la inexistencia, o minimización, de impactos sobre su actual uso turístico.

7.3. Afecciones de las alternativas de trazado para el paso del río Belcaire: 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:

- **ZONA 1. PROYECCIÓN MÁS PROBABLE DE LA CAVIDAD (Plano nº 7).** Representa la localización de la cavidad en relación con la cartografía exterior, la más probable de acuerdo a los trabajos realizados. Se obtuvo tras la radiolocalización, selección de la hipótesis más adecuada (topografía de la cueva de 1993 y, desde el primer sifón, completada con la del año 1981, rotada hasta la intersección con sondeo S-2) y ajuste de la topografía de la cueva a los 3 puntos radiolocalizados y al Avenc de la Riera.
- **ZONA 2. ÁREA INMEDIATA A LA CAVIDAD (Plano nº 8).** Esta zona se define como la poligonal que envuelve a las diferentes hipótesis de situación de la cueva. Incluye, por tanto, un área en que quedan en su interior las 4 hipótesis previas y la localización más probable de la cueva.
- **ZONA 3. ÁREA DE DRENAJE PREFERENCIAL DEL SISTEMA KÁRSTICO (Plano nº 9).** Se define como una poligonal a 50 m de la anterior zona y que se prolonga hacia el Oeste hasta superar en 200 m el Avenc de la Guilla. El Avenc de la Guilla es un sumidero, a unos 2,5 km al O del manantial de Sant Josep, conectado hidráulicamente con la surgencia (y, por tanto, con el sistema kárstico), tal como se puso de manifiesto mediante la utilización de fluoresceína durante un episodio de crecida en septiembre de 1985.

- **ZONA 4. AFLORAMIENTOS CARBONATADOS** (Plano nº 10). 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 (debido tanto a la continuidad de los afloramientos carbonatados como a la conexión hidráulica de este acuífero con el inmediatamente occidental de Segorbe-Soneja, del que recibe, no obstante, sólo una pequeña alimentación), se han incluido los materiales carbonatados existentes hasta el límite de la cuenca hidrográfica.

En los Planos 11.1, 11.2, 11.4 y 11.5 se han representado las distintas alternativas de trazado en relación a cada una de las 4 zonas establecidas. En el Plano 11.3 se muestra el perfil de la Alternativa 1 BIS (última alternativa propuesta) en relación a la cueva y su área inmediata.

Las alternativas de trazado, ninguna situada sobre la vertical del sector turístico de la cueva, de mayor potencial afectación a la cavidad (Plano 11.1), 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 1BIS (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.

En el Plano 11.2 se señalan las alternativas propuestas y su situación en planta respecto al área inmediata de 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 1BIS, ya que sus pilas para salvar la rambla se localizarían en la vertical del área inmediata a la cueva. La Alternativa 2 cruza la rambla sin afectar sus pilas al área inmediata a la cavidad.

Para visualizar la localización en vertical de la Alternativa 1BIS (última alternativa propuesta), se ha realizado un perfil entre los túneles de dicha alternativa y la situación de la cueva y su área inmediata (Plano 11.3). El área inmediata a la cueva se ha delimitado como un rectángulo cuyo lado mayor corresponde a su localización en planta y su lado menor (profundidad) está definido por alturas de 10 m por debajo y por encima de la cavidad. La base del cavernamiento en esta situación se localiza a 140 m s.n.m. y su altura, de 7,5 m, es la obtenida según la sección aportada por la topografía espeleológica de 1981. Las cotas del área inmediata son, por tanto, de 130 m s.n.m. y de 157,5 m s.n.m., congruentes con las variaciones del perfil longitudinal de la topografía espeleológica, con las cotas obtenidas a partir de la radiolocalización (profundidad de la base del cavernamiento:

146,5 m s.n.m. en el punto 1 de radiolocalización, entre 133,3 y 138,3 en el punto 2 y entre 127,6 y 132,6 m s.n.m. en el punto 3), así como con los datos del sondeo S-2 (cavidad intersectada a cotas de entre 146,7 y 155,4 m s.n.m.).

La cueva, en relación a esta alternativa 1 BIS, se sitúa a una distancia horizontal de 43,7 m del eje de la pila más próxima y a unos 15 m por debajo de la cota de cimentación. Sin embargo, en relación al área inmediata a la cavidad, la pila más nororiental se sitúa en la vertical de dicha área, con su zapata a menos de 5 m por encima, mientras que el eje de la otra pila se localiza fuera de la vertical, aunque muy próxima, de esta zona inmediata.

En los Planos 11.4 y 11.5 se presenta la situación en planta de las alternativas en relación con el área de drenaje preferencial del sistema kárstico y de los afloramientos carbonatados de la cuenca hidrogeológica, respectivamente. Las 5 alternativas cruzan, en planta, el área de drenaje preferencial y discurren enteramente sobre afloramientos carbonatados, salvo en su extremo nororiental (proximidades de la salida del túnel de Vall d'Uixó).

8. MEDIDAS PROTECTORAS Y PLAN DE VIGILANCIA Y CONTROL

A continuación, se describen las principales medidas protectoras que se deben adoptar para asegurar la inexistencia o minimización de efectos sobre el sistema kárstico y la cueva de Sant Josep, así como sobre el uso turístico de la misma, sin perjuicio de las adicionales que pudieran surgir durante la aplicación del Plan de vigilancia y control. Su ámbito territorial se refiere, prioritariamente, al conjunto de la cuenca hidrogeológica del sistema kárstico, así como al área que, por escorrentía superficial, contribuye a la alimentación del sistema (cuenca hidrográfica del sistema).

- 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, se deben situar siempre fuera de la Zona 3 (área de drenaje preferencial del sistema kárstico). Asimismo, estarán situadas fuera de la Zona 3 las áreas específicas para realizar operaciones de mantenimiento, lavado y repostaje de la maquinaria de obra. Se recomienda también su ubicación fuera de la Zona 4 (afloramientos carbonatados de la cuenca hidrogeológica), situándose 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 la Zona 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.
- La gestión de residuos (hormigón de rechazo, rocas y suelos naturales excavados, restos de vegetación, residuos de explosivos, aceites usados, así como cualquier otro de carácter peligroso) se realizará según lo indicado en el apartado IV.2.5, “Condiciones para la gestión de residuos”, de la Declaración de Impacto Ambiental.
- 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. Esta agua 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.

- 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.
- 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 del túnel con algún conducto preferencial que contribuya a la alimentación del sistema kárstico, en los sondeos de investigación, que se han de hacer previamente a la construcción del túnel, se llevará un especial control tanto en su testificación como en su interpretación en lo referente a este aspecto, 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.
- Para la ubicación exacta de las pilas necesarias para el cruce de la rambla de Belcaire, se evitara 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.
- La excavación necesaria para la cimentación de las pilas en el cruce de la rambla de Belcaire, se realizará 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 y de sus espeleotemas.

- En cualquier otra 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, se seguirá el mismo criterio que el expresado en el punto anterior.
- Para la excavación de los túneles, en el probable caso de tener que llevarse a cabo con explosivos, se adoptarán las medidas pertinentes para evitar en la cavidad los daños producidos por vibraciones. Para ello, 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 por 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.
- Con respecto al uso turístico de la cavidad y su entorno, el Paraje de San José, se deberá proceder, durante la fase de obras, a ejecutar las pertinentes medidas para la reducción de polvo y ruido que pudieran afectar a dicho Paraje. Asimismo, se deberá minimizar el impacto visual sobre el Paraje en las fases de obra y explotación, ya que todas las alternativas propuestas le afectan, si bien en diferente intensidad (las que supone 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). Esta consideración deberá ser tenida especialmente en cuenta en la redacción del correspondiente Proyecto de Restauración Paisajística. Para el conjunto de aspectos con potencial incidencia en el uso turístico de la cavidad, se seguirán las indicaciones contempladas en el Plan de vigilancia y control.

El proyecto deberá desarrollar el correspondiente Plan de vigilancia y control para el seguimiento efectivo de posibles impactos sobre el sistema kárstico y la cueva de Sant Josep, así como sobre su uso turístico. Dicho Plan servirá para comprobar la eficacia de las medidas protectoras propuestas y, en su caso, adoptar las que fueran necesarias para eliminar o minimizar las afecciones negativas. Este Plan incluirá todas las fases de investigación complementaria, construcción y explotación.

En el Plan se establecerán el modo de seguimiento de las actuaciones de vigilancia y control, detallándose en él:

- Objetivo del control
- Actuaciones derivadas del mismo
- Lugar de la inspección
- Periodicidad de la inspección
- Material necesario, método de trabajo y necesidades de personal técnico
- Parámetros sometidos a control
- Umbrales críticos para dichos parámetros
- Documentación generada para cada control

El Plan asegurará, como mínimo, el control de todos los aspectos recogidos en las medidas protectoras, garantizando especialmente la inexistencia de afecciones a la cavidad y a su uso turístico. En la cueva se llevarán, 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 en su interior. En el Paraje de San José, donde también se puede afectar al uso turístico de la cavidad, se establecerán controles de polvo y ruido y de afección visual durante la fase de obras. Se contemplará, asimismo, un Plan de Seguridad en la cueva, de cara a garantizar su uso turístico y la seguridad de visitantes y personal en las fases de obra y explotación del trasvase.

9. RESUMEN DE CONDICIONANTES

El canal de trasvase del río Ebro, en su tramo II del Ramal Sur, discurre 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 presenta, desde hace años, un importante uso turístico, aprovechándose también el agua del manantial como abastecimiento complementario de la localidad. La Declaración de Impacto Ambiental, publicada en noviembre de 2003 por la Secretaría General de Medio Ambiente del proyecto de trasvase, puso de manifiesto la necesidad de que las soluciones constructivas garantizaran que la realización de las obras no afectaran a la cueva o a su manantial, ni consecuentemente al funcionamiento del sistema kárstico en que se encuentran.

El presente informe, realizado por el IGME para TRASAGUA, sociedad promotora del proyecto, muestra los resultados del análisis de la información existente y de los distintos trabajos llevados a cabo para caracterizar la cavidad y su entorno, desde los puntos de vista geológico e hidrogeológico, así como para la definición espacial y ubicación de la cueva en superficie. Este conjunto de trabajos ha permitido la realización de un análisis de impactos y el establecimiento de las correspondientes medidas protectoras y plan de vigilancia y control, con el objetivo de garantizar la viabilidad ambiental de las obras, en lo referente a la cavidad y su sistema hidrogeológico.

En síntesis, los trabajos realizados han consistido en:

- Análisis del Proyecto y de las alternativas planteadas en el sector en que, potencialmente, podría verse afectada la cavidad y su sistema
- Caracterización geológica del área y del entorno próximo a la cavidad
- Definición de su contexto hidrogeológico y caracterización del sistema kárstico en que se encuentra, incluyendo la realización de análisis hidroquímicos y de isótopos estables del agua de la cueva. Recopilación de análisis de referencia de calidad del agua, así como de caudales de abastecimiento
- Reconocimiento de la cavidad en todo su recorrido, incluyendo el paso de los cinco sifones de su tramo final
- Aplicación de técnicas de radiolocalización, para la definición espacial y localización de la cueva en superficie
- Valoración de impactos, incluyendo: el análisis de impactos potenciales del Proyecto sobre el sistema kárstico y sobre el uso turístico de la cueva, así como la realización de una zonificación territorial para evaluar las distintas alternativas de trazado en el sector considerado, entre los túneles de Vall d'Uixó y de Pipa y, especialmente, el paso de la rambla de Belcaire
- Propuesta de medidas protectoras y Plan de vigilancia y control

Los principales resultados obtenidos son los siguientes:

- La cavidad, desarrollada sobre los materiales carbonáticos del Trías medio, forma parte un sistema kárstico cuyo drenaje subterráneo se concentra y organiza a través de un eje coincidente en gran parte con la propia cueva de Sant Josep, representando el manantial del mismo nombre la principal descarga del acuífero. El sistema kárstico, de escaso poder regulador y con rápidos e importantes incrementos de caudal, se alimenta principalmente de infiltración de agua de lluvia, además de por transferencia del acuífero occidental y, en menor medida, de la escorrentía superficial del conjunto de la cuenca hidrográfica, cuyo eje lo constituye el barranco de Sant Josep o rambla de Belcaire.
- La cueva, con un recorrido total de 2.750 m, es la segunda en desarrollo de la Comunidad Valenciana. Se explota al turismo sólo en sus primeros 800 m, a través de un recorrido a pie y en barca, por lo que el agua constituye un recurso esencial para el mantenimiento de la actividad turística de la cueva. Se ha podido constatar el alto interés del resto no visitable de la cueva, donde aparecen varias zonas con alta densidad de espeleotemas y otros depósitos de interés.
- Los trabajos de radiolocalización han permitido plantear la localización más probable de la cavidad, partiendo de las topografías existentes más precisas de la cueva. La localización se ha completado, en el tramo final de la cavidad, teniendo en cuenta la posición y los datos obtenidos en uno de los sondeos de la campaña de investigación geotécnica realizada por TRASAGUA, así como con la situación de uno de los puntos preferenciales de entrada de agua al sistema hidrogeológico conectado con la red transitabile espeleológicamente.
- Los impactos potenciales del Proyecto sobre el sistema kárstico se refieren, principalmente, a las posibles afecciones sobre el medio hídrico y sobre la estabilidad mecánica de la cavidad y sus formaciones. La contaminación física o química de las aguas y la modificación de flujos subterráneos serían las afecciones potenciales más características sobre el medio hídrico, mientras que la caída de bloques o de espeleotemas en el interior de la cavidad, así como la rotura de la propia cueva, constituyen los principales riesgos a considerar en cuanto a la estabilidad. Estos aspectos son los que se han considerados prioritarios de cara al establecimiento de las medidas correctoras y del Plan de vigilancia y control.
- Las afecciones potenciales sobre el uso turístico de la cueva, han de ser especialmente consideradas. El alto número de visitantes que recibe produce un considerable beneficio económico y laboral, que se completa con la imagen y conocimiento público que proporciona la cavidad a la localidad de Vall d'Uixó. Por ello, determinados aspectos ligados a la percepción, por parte de los visitantes, del entorno de la cavidad (ruido, polvo, alteraciones

significativas de tráfico, impacto visual de las obras, etc.), deben tratarse adecuadamente en la redacción del proyecto constructivo para su minimización o eliminación. A ello se añade la necesidad de considerar los riesgos derivados de la ocurrencia de determinados fenómenos que podrían comprometer la seguridad de los visitantes y del personal que trabaja en la cueva.

- Para el análisis de las alternativas de trazado en su cruce con el río Belcaire, se ha realizado una zonificación territorial que establece 4 zonas que, de mayor a menor susceptibilidad, son: Zona 1 (proyección más probable de la cavidad), Zona 2 (área inmediata a la cavidad), Zona 3 (área de drenaje preferencial del sistema kárstico) y Zona 4 (afloramientos carbonatados de la cuenca hidrogeológica).
- Las alternativas más desfavorables son las 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).
- Para la Alternativa 1 BIS, que es la actualmente más desarrollada por su menor afección ambiental en conjunto, con respecto a la situación más probable de la cavidad (Zona 1), los ejes de ambas pilas quedan fuera de la vertical de la cueva, la más próxima a 43,7 m. Sin embargo, respecto al área inmediata (Zona 2), se ha constatado que el eje de una de las pilas se localizaría en la vertical de esa área, con su zapata a menos de 5 m por encima, mientras que la otra pila quedaría fuera de la vertical, aunque muy próxima.
- Las medidas protectoras tienen como ámbito territorial el conjunto de la cuenca hidrogeológica del sistema kárstico, así como el área que, por escorrentía superficial, contribuye a la alimentación del sistema (cuenca hidrográfica del sistema). Dichas medidas se han establecido para todo el ámbito territorial, si bien algunas de ellas hacen referencia específica a la zonificación establecida.
- El Plan de vigilancia y control, que deberá desarrollarse en el proyecto, servirá para comprobar la eficacia de las medidas protectoras propuestas y, en su caso, adoptar las que fueran necesarias para eliminar o minimizar las afecciones negativas, así como para el seguimiento efectivo de posibles impactos no contemplados sobre el sistema kárstico, la cueva y su uso turístico. Incluirá, además de otros aspectos, un Plan de Seguridad en la cueva de cara a los visitantes y al personal que en ella presta sus servicios.

10. CONCLUSIONES

En lo referente al túnel de Vall d'Uixó, que discurre por la zona no saturada del acuífero, se hacen las siguientes consideraciones:

- El túnel podría interceptar alguna galería que alimente el sistema kárstico, aspecto difícilmente predecible, aunque poco probable. Los sondeos de investigación, previos a la construcción del túnel, serán especialmente controlados tanto en su testificación como en su interpretación en lo referente a este aspecto, 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 pequeña galería de investigación se realizaría sólo en los 500 m más próximos a la salida del túnel de Vall d'Uixó.
- Para evitar esta potencial modificación de flujos, para la excavación de los túneles, en el probable caso de tener que llevarse a cabo con explosivos, se adoptarán las medidas pertinentes para evitar en la cavidad los daños producidos por vibraciones. Para ello, se llevarán a cabo las correspondientes medidas protectoras indicadas en el apartado 8 de este informe, así como el desarrollo y aplicación de las correspondientes al Plan de vigilancia y control

En lo que se refiere al cruce de la rambla de Belcaire, se destacan los siguientes aspectos:

- Las alternativas más desfavorables en relación a la cueva son las B1 y B2, trazados proyecto base en acueducto y portasifón, respectivamente, ya que sus pilas quedarían muy próximas a la vertical de la cueva y sus zapatas a muy escasa altura de la cavidad. Para la Alternativa 1 BIS, que es la actualmente más desarrollada por su menor afección ambiental en conjunto, los ejes de ambas pilas quedan fuera de la vertical de la cueva (la más próxima a 43,7 m), si bien hay que señalar que, en relación al área inmediata de la cueva (Zona 2), una de las pilas quedaría sobre esta zona y la otra, aunque fuera, muy próxima. La Alternativa 2 resulta la más favorable, ya que sus pilas se sitúan fuera de la Zona 2.
- 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) para la colocación de las pilas. Será imprescindible, en cualquier caso, la realización de 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.

- La excavación necesaria para la cimentación de las pilas en el cruce de la rambla de Belcaire, se realizará 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 y de sus espeleotemas. En cualquier otra 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, se seguirá el mismo criterio.

Para el conjunto de las actuaciones previstas en el ámbito territorial de referencia, se considera que las medidas protectoras propuestas, junto con la aplicación del Plan de vigilancia y control, garantizan la viabilidad de la obra en sus fases de construcción y explotación, siempre que se lleven a cabo de forma estricta, en lo que se refiere a las posibles afecciones a la cavidad, el manantial y su sistema kárstico.

ANEJOS

ANEJO 1. INFORME DE RADIOLOCALIZACIÓN

Radiolocalización en Cueva de San José (Vall d'Uixó, Castellón de la Plana)

José Antonio Cuchí, José Luis Villarroel y Víctor Viñals.



**GTE, Grupo de Tecnología en Entornos hostiles
(Grupo de TecnoEspeleología)**

Universidad de Zaragoza

4 y 5 de junio de 2004

Introducción:

En mayo de 2004 se requirieron los servicios del GTE, por parte de la empresa ADOR Consultoría S.L, para efectuar una radiolocalización en diversos puntos de la Cueva de San José. Esta está situada en el municipio de La Vall d'Uixó (Castellón de la Plana).

La cueva de San José es una cueva activa por la que desagua un río subterráneo de débil pendiente. Su zona final se acondicionado para el turismo mediante voladuras de roca, tendidos eléctricos y represamiento parcial del río. La visita se realiza mediante barcas y es visitada cada día por miles de personas en temporada alta.

Marco del trabajo.

La zona de trabajo se encuentra a caballo entre las sierras ibéricas y las llanuras litorales mediterráneas. La cueva se abre al exterior a 140 metros de altitud, rodeada por sierras que superan los 500 metros de cota.

La boca de la cavidad ha sido ampliamente transformada por un pequeño complejo turístico relacionado con la misma. En las inmediaciones hay diversas edificaciones y urbanizaciones así como una canalización de la rambla. La zona montañosa está recubierta de pequeños bancales, dedicados en el pasado a cultivo de olivo y otros leñosos mediterráneos, actualmente abandonados. Se encuentran en fase de franco asilvestramiento, con pinos, cornicaprás y abundantes arbustos espinosos.

La cavidad, que se abre en calizas tableadas de la formación Espadán (Muschelkalk), muy plegadas y fracturadas, ha sido objeto de estudios en los últimos años, especialmente por P. Garay y colaboradores¹. Constituye el principal punto de descarga de la Unidad de drenaje de Alfondeguilla-Sant Josep, con una superficie de 31 km². Es una unidad karstificada compleja, con interacción entre flujos subterráneo y superficial. También recibe aguas de unidades hidrogeológicas contiguas.

La cueva tiene un recorrido de 2280 metros reconocidos. Los primeros 1720, hasta el primer sifón, se visitan con relativa facilidad, especialmente el tramo turístico. En este el acceso se realiza con grandes barcas de fibra de vidrio y resina epoxi, a través de galerías ampliadas mediante barrenado. Tras dos embarcaderos es necesario superar un estrechamiento para alcanzar un desprendimiento de bloques, donde es necesario dejar la barca. El caos se puede superar, bien por el río o por los bloques. Luego se accede por el cauce, amplio y cómodo, hasta el primer sifón. A partir de este se accede mediante técnicas de espeleobuceo, habiéndose avanzado 5 sifones hasta un nuevo caos. Hay, al menos, dos topografías de la primera zona.

El cauce subterráneo desemboca en una importante rambla, de funcionamiento esporádico, conocida como Rambla de San José hasta su confluencia con la rambla Cerverola donde toma el nombre de río Bellcaire. En rambla se han detectado varios sumideros, alguno conectado con San José mediante trazadores. Un sondeo geotécnico efectuado en la rambla, aguas arriba de la cueva, alcanzó una cavidad importante a pocos metros de la superficie. a

¹ Ver, por ejemplo: P. Garay. 2003. Ensayo sobre la anisotropía del sistema kárstico drenado por el manantial de Sant Josep (La Vall d'Uixó, Provincia de Castellón de la Plana). Boletín SEDECK 4, 70 - 79.

El manantial presenta importantes oscilaciones de caudal, pudiendo superar los 2 metros de altura y un caudal de 12 m³/sg. El caudal mínimo medido es del orden de 19 litros por segundo. Existe una estación de aforos, con limnígrafo, del IGME en la boca de la cueva y aguas debajo de la tubería de abastecimiento a los depósitos municipales de La Vall d'Uixó. Pasada la zona turística se encuentra una sección arreglada para aforos con molinete en aguas bajas.

Programación del trabajo

Tras varios intentos anulados por razones de fuertes caudales en el río subterráneo, debidos a las lluvias de mayo de 2004, se fija la realización del trabajo para los días 4 y 5 de junio de 2004.

Reunión previa

A las 16 horas del día 4 de junio de 2004, tras cita en el aparcamiento de la cueva, se realiza una reunión previa en el bar de la cueva. Se decide hacer un reconocimiento previo en la misma tarde. De forma tentativa se fijan, sobre el papel, los puntos que se consideran más interesantes de cara al replanteo de la topografía de la cavidad. En principio se seleccionan las dos confluencias de la galería seca con el río (embarcaderos interiores) y dos posibles puntos en la zona no turística: inicio primer sifón y galería del fango.

Reconocimiento

Se hacen dos grupos de trabajo.

Interior. El interior se reconoce por el equipo formado por Víctor Viñals, José Luis Villarroel y José Antonio Cuchí (GTE), así como por Ángel Jiménez. Se transporta parte del material de radiolocalización y con el objetivo de concretar los puntos a radiolocalizar.

Se penetra en la cavidad a las 17:30 horas. A las 18:30, tras un recorrido sin incidentes, se alcanza el inicio del primer sifón. Se localiza el inicio del cabo guía de los espeleobuceadores y se decide instalar el equipo emisor 2 en sus cercanías. El punto más apto, fácilmente localizable en la topografía, y con características adecuadas de sequedad y tamaño resulta ser la pequeña Sala d'en Vicent.

Por el contrario se desecha la confluencia de la galería del fang, por sus estrechas dimensiones y falta de horizontalidad fuera del agua.

A las 19:00 se inicia la salida, desde el sifón, llegando al exterior a las 19:30.

Exterior. La localización aproximada de los puntos señalados en el exterior se reconoce por Joaquín del Val (Ador Consultoría S.L) y Bruno J. Ballesteros (IGME):

Reunidos ambos equipos, hacia las 20:30 se gira una visita conjunta a la zona donde se estima que se localiza el punto más profundo. Se expresan algunas dudas, visto lo escarpado del terreno.

Radiolocalización

En la mañana del día 5 de junio de 2004 se organizan dos equipos. El interior queda encargado de las emisiones y transporte de emisoras por la cueva. El exterior debe transportar las antenas receptoras, aproximar los puntos mediante GPS, detectar la emisión, definir los puntos en la superficie y medir la profundidad del emisor a superficie.

Equipo de interior: Víctor Viñals y Ángel Jiménez

Equipo exterior: José Luis Villarroel, José Antonio Cuchí, Joaquín del Val

Plan de trabajo:

9:30 -10:30	Inicio de trabajo y desplazamiento al punto más interior.
10:30 – 11:30	Emisión, equipo 2.
11:30 – 12:15	Desplazamiento a embarcadero interior.
12:15 - 12:45	Emisión, equipo 1.
12:45 – 13:15	Desplazamiento a embarcadero mas exterior
13:15 – 13: 45	Emisión, equipo 1.
14:45 – 14:00	Salida de la cavidad, reunión de ambos grupos.

Instrumentación utilizada.

Interior

- **Emisor 1:** Equipo monofrecuencia, con antena en solenoide circular de 50 cm de diámetro sobre bastidor de madera. Emite a 874 Hz, alimentado por una batería de 12 V. Está comprobado que permite radiolocalizaciones de hasta 100 metros de profundidad.
- **Emisor 2:** Equipo bifrecuencia con antena en un solenoide hexagonal desmontable, de menos de 4 Kg de peso. Trabaja en las frecuencias de 233.2 Hz y 976 Hz y está alimentado por una o varias baterías de 12 V. Ha permitido radiolocalizaciones hasta 500 metros de profundidad. (túnel ferroviario de Canfranc, Huesca)

Exterior

- **Receptor 1:** Equipo con antena circular sobre marco de madera, de 1 metro de diámetro en la frecuencia de 874 Hz.
- **Receptor 2:** Equipo con antena cuadrada, de 1 metro de lado sobre bastidor metálico. Trabaja tanto a 233.2 Hz como a 976 Hz. Sólo se usó la primera frecuencia.

Ambas antenas citadas están especialmente diseñadas para radiolocalización. Permiten un fácil transporte, con giro respecto a un eje vertical en una estructura soporte totalmente plana.

Metodología de radiolocalización

El método se basa en la generación de un campo magnético a partir de una espira emisora. Las líneas de flujo magnético producidas están contenidas en planos con una simetría axial cuyo eje es el propio de la espira emisora. Figura 1. Así, una espira receptora contenida en uno de estos planos no cortará ninguna línea de flujo y por lo tanto no se inducirá en ella corriente alguna. En este caso no se detecta ninguna señal.

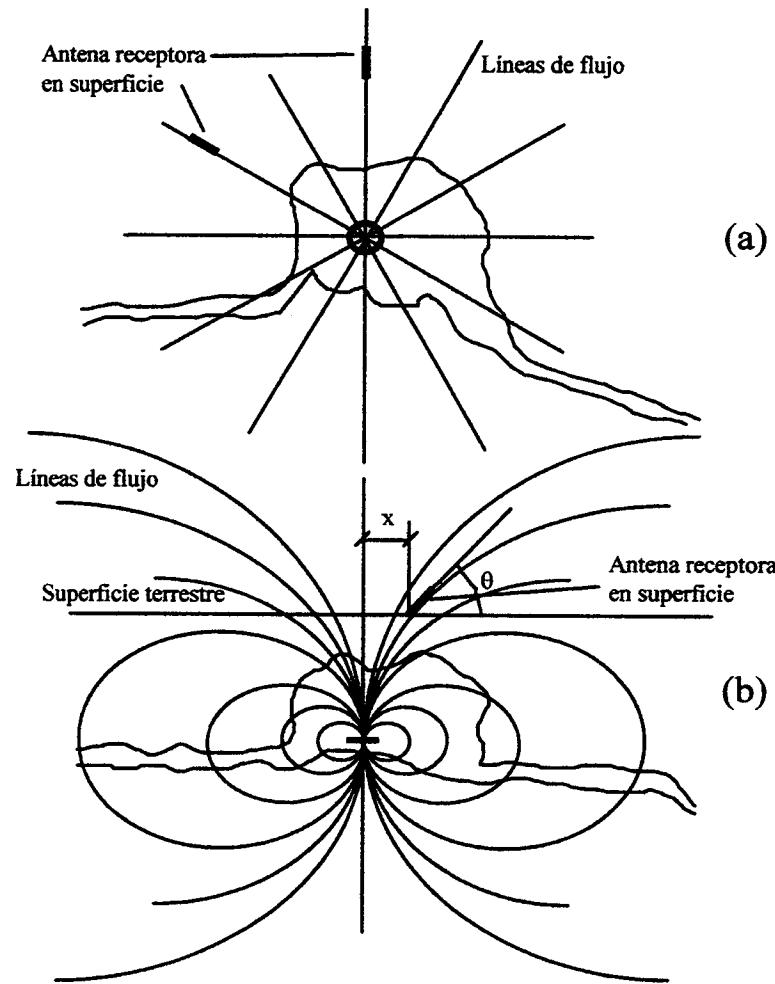


Figura 1. Líneas de flujo magnético producidas por un solenoide (dipolo magnético). La antena receptora no corta flujo magnético (no recibe señal) cuando el plano que determina pasa por el centro de la espira emisora. (a) vista en planta. (b) vista de perfil. Adaptación de Bedford (1993).

El método descrito plantea problemas cuando el terreno es anisótropo ya que el campo magnético puede ser distorsionado y sus líneas de flujo dejan de estar contenidas en planos (Stoyer y Wait, 1979). Por otra parte, el trabajo a grandes profundidades en rocas conductivas puede suponer el incumplimiento de la condición de campo cercano. En estos casos se trabaja en la zona de transición donde el campo tiene una geometría que imposibilita la medida de la profundidad. También se producen problemas cuando existen cuerpos metálicos en las proximidades.

En el presente caso, la metodología básica consistió, para los equipos de interior, en instalar las antenas emisoras en posición horizontal, con la ayuda de niveles de burbuja y emitir en los tiempos y frecuencias prefijados. Para el equipo de exterior, en ubicarse en tiempo adecuado en las zonas aproximadas de recepción, con ayuda de topografía de la cavidad, cartografía del terreno y GPS. Iniciada la emisión es necesario ubicar por radiolocalización el triángulo de incertidumbre y la profundidad de emisión.

La metodología de trabajo es sencilla (véase figura 1). Se instala la antena emisora en la cavidad. Un segundo solenoide, o antena receptora, móvil se desplaza por la superficie. Como las líneas de flujo magnético producidas por la antena emisora están contenidas en planos, cuando la antena receptora esté contenida en uno de estos planos no cortará ninguna línea de flujo y por lo tanto no se inducirá en ella tensión alguna. Esta situación se denomina "nulo". La intersección de diversas líneas de flujo nulo determina el punto azimutal. Una vez localizado éste, se calcula la profundidad del punto interior. Para ello pueden utilizarse diversos métodos, como por ejemplo el basado en la geometría del campo magnético próximo (Bedford, 1993) que establece la profundidad, "d", mediante la siguiente expresión (donde "x" y "θ" se corresponden con los de la Figura 1):

$$\frac{x}{d} = \frac{\sqrt{(8+9 \tan^2 \theta)} - 3 \tan \theta}{2}$$

Resultados

El trabajo se realizó sin problemas. Las emisiones se iniciaron en los tiempos, frecuencias y duraciones previstas. La señal se recibió con nitidez en todos los puntos, indicando roca seca y/o alta karstificación.

El primer punto se radiolocalizó a cierta distancia de la ubicación mediante GPS a partir de la topografía superpuesta a la topografía exterior. Afortunadamente se ubicó en una zona abancalada y no demasiado escarpada, aunque algo vestida por la vegetación.

El segundo punto radiolocalizado prácticamente ha coincidido en el punto ubicado mediante GPS y mapa. Está situado cerca de una serie de edificios, situados sobre la carretera, cerca de uno denominado "rincón de Andalucía".

El tercer punto apareció ligeramente desplazado del punto previsto, cerca de una cantera próxima al camino carretero de acceso. El desfase se debe a que el equipo interior ubicó la emisora a 6 metros del punto previsto, en el interior de la galería seca, al considerar que no era posible colocar adecuadamente la antena en el punto inicialmente previsto. Estaba previsto en el mismo embarcadero pero interfería con el tráfico de turistas.

Las mayores complicaciones, en el trabajo exterior, se debieron a la espinosa vegetación local y al mal estado de las espaldas de algunos bancales.

Punto1: Sala d'en Vicent

Triángulo de incertidumbre: 0,10 cm

UTM: 30 S 734808

4412459 error GPS 6 metros.

Profundidad: 78.5 metros.

Punto2: Embarcadero interior mas alejado de la boca

Triángulo de incertidumbre: 0,25 m

UTM: 30 S 735110

4412395 error GPS 7 metros.

Profundidad: 51.7 metros.

Punto3: Embarcadero interior mas cercano a la boca.

Triángulo de incertidumbre: 0 m

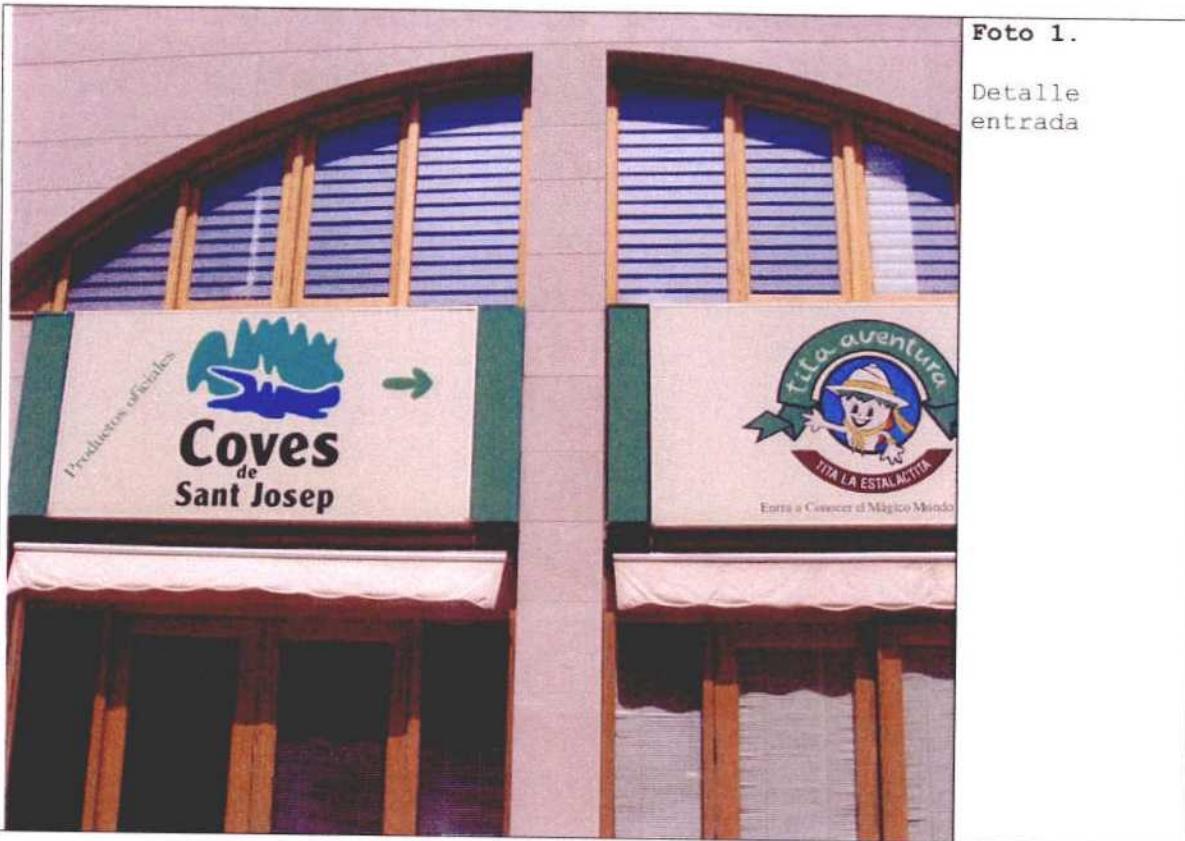
UTM: 30 S 735236

4412353 error GPS 6,5 metros.

Profundidad: 57.4 metros.

Los puntos quedaron marcados en el exterior mediante mojones.

Anejo fotográfico.



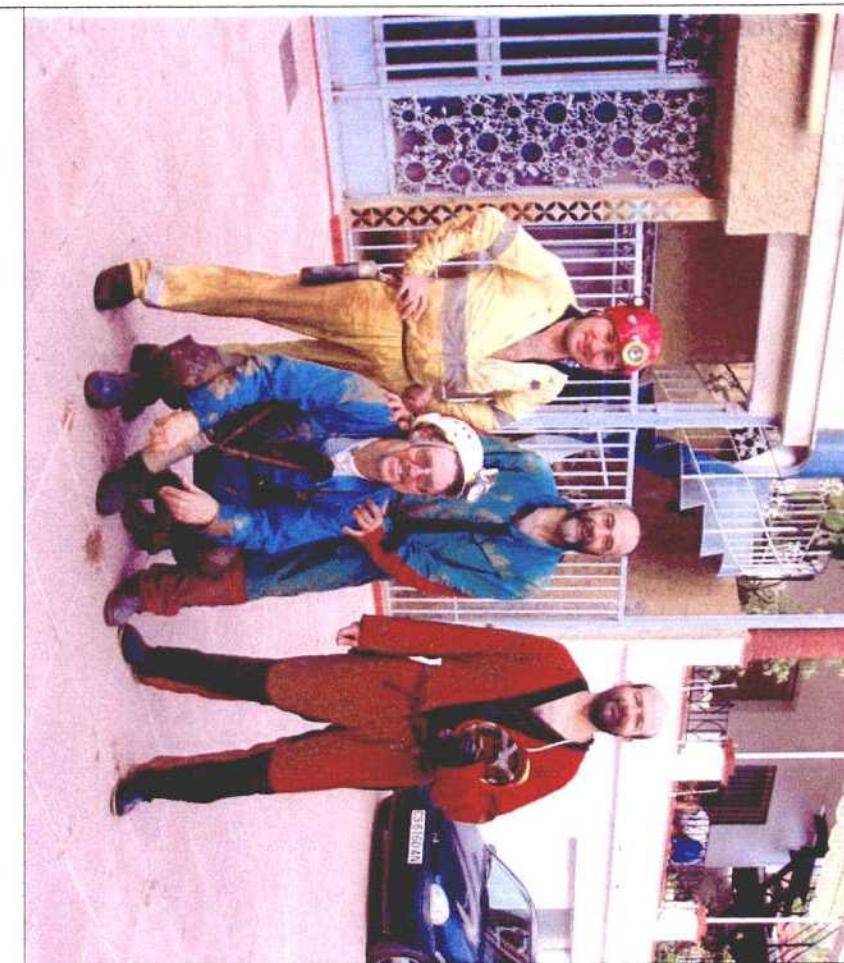


Foto 3
Equipo
interior
04/06/04



Foto 4
Canal
salida
rio

Foto 5

Vista del valle desde zona de punto radiolocalizado número 1

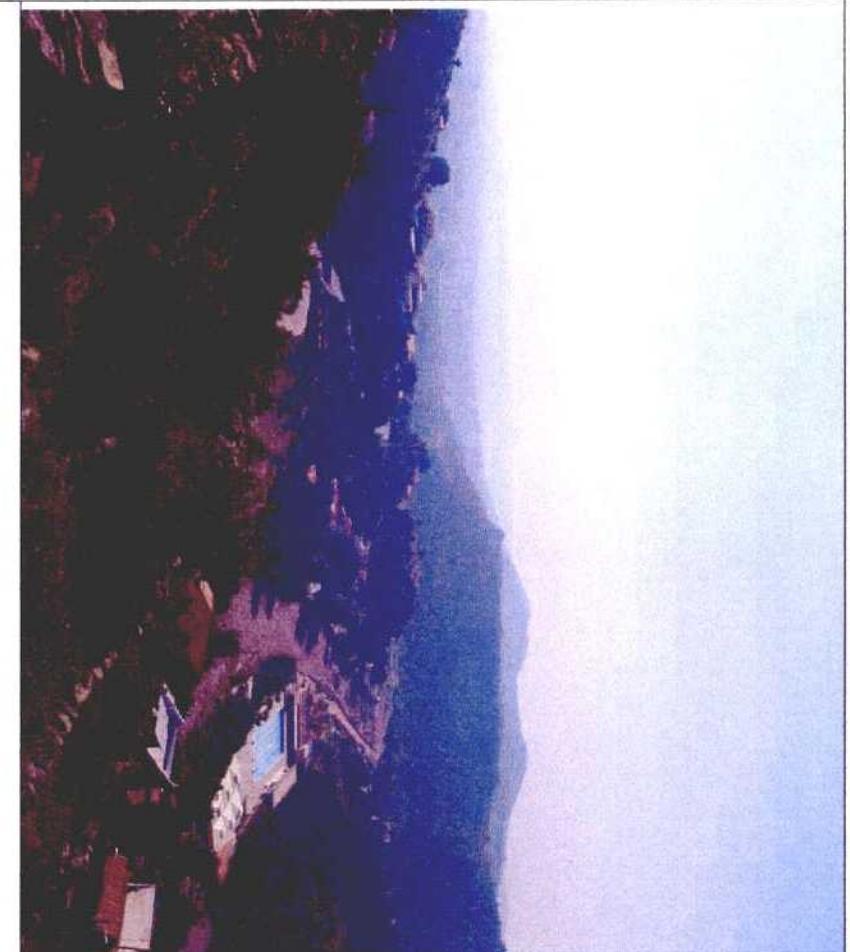




Foto 6
Detalle
Punto 1.

Foto 7.

Detalle
Punto 2.





Foto 8
Detalle
Punto 2.

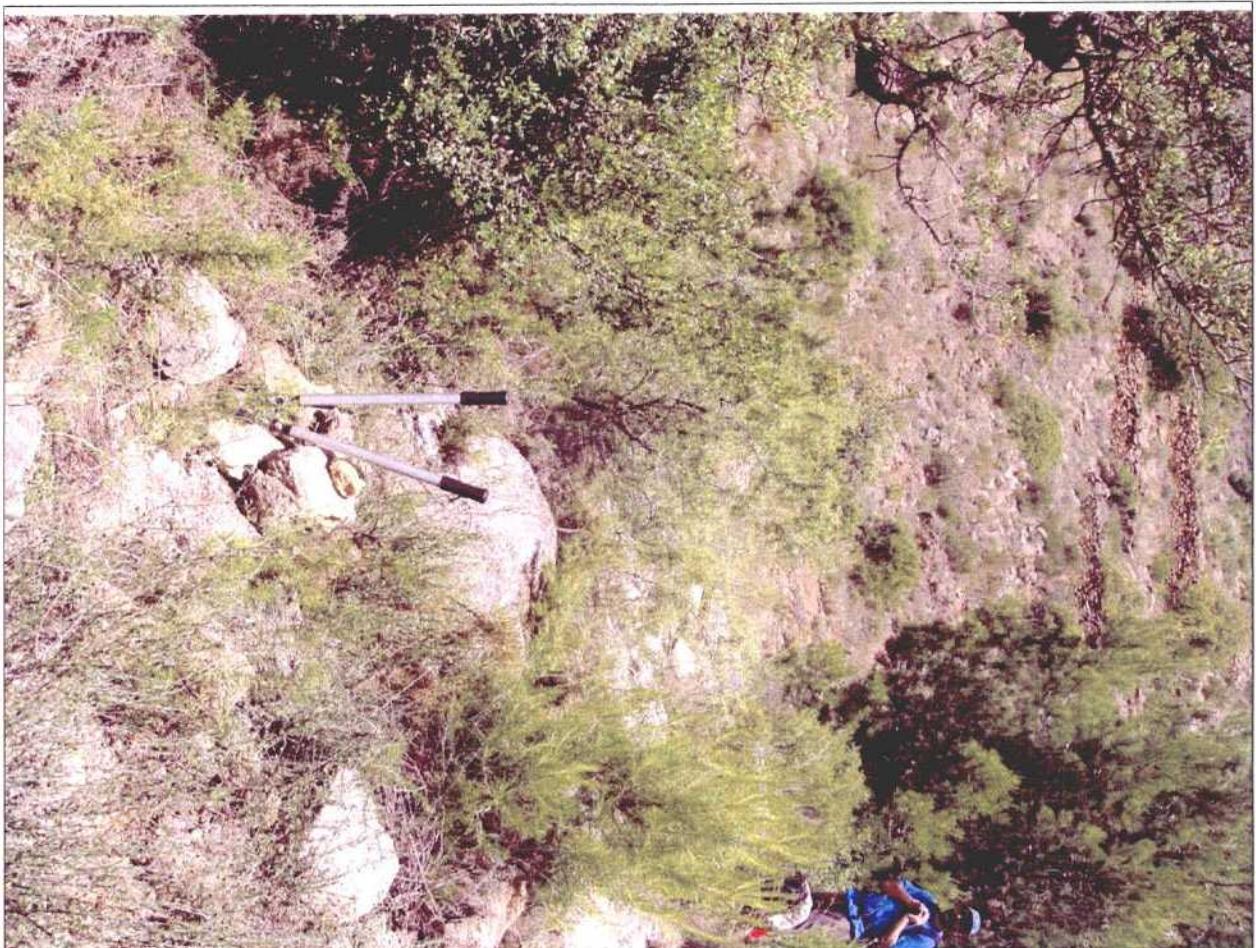
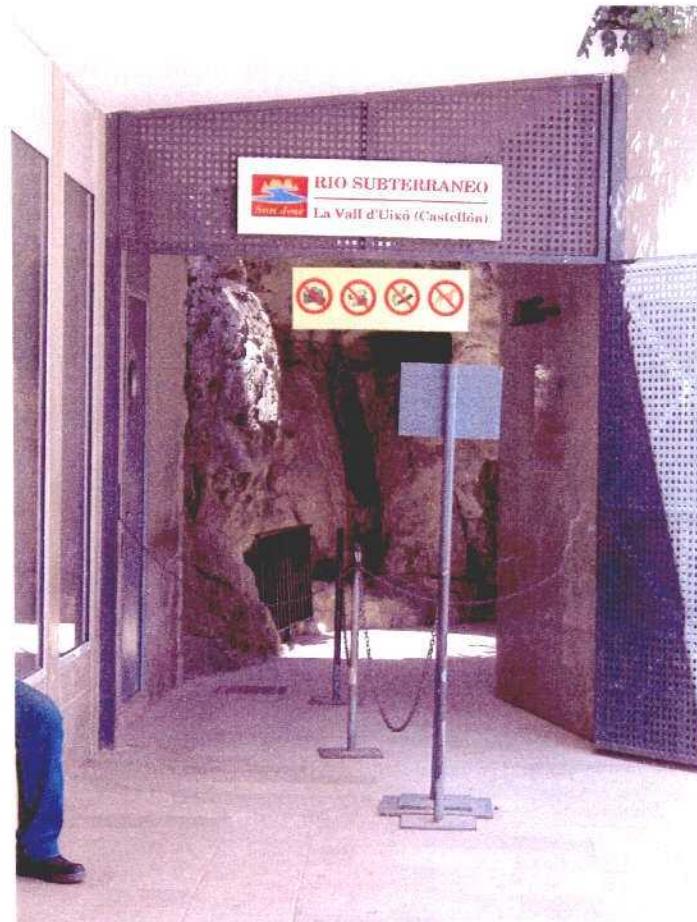
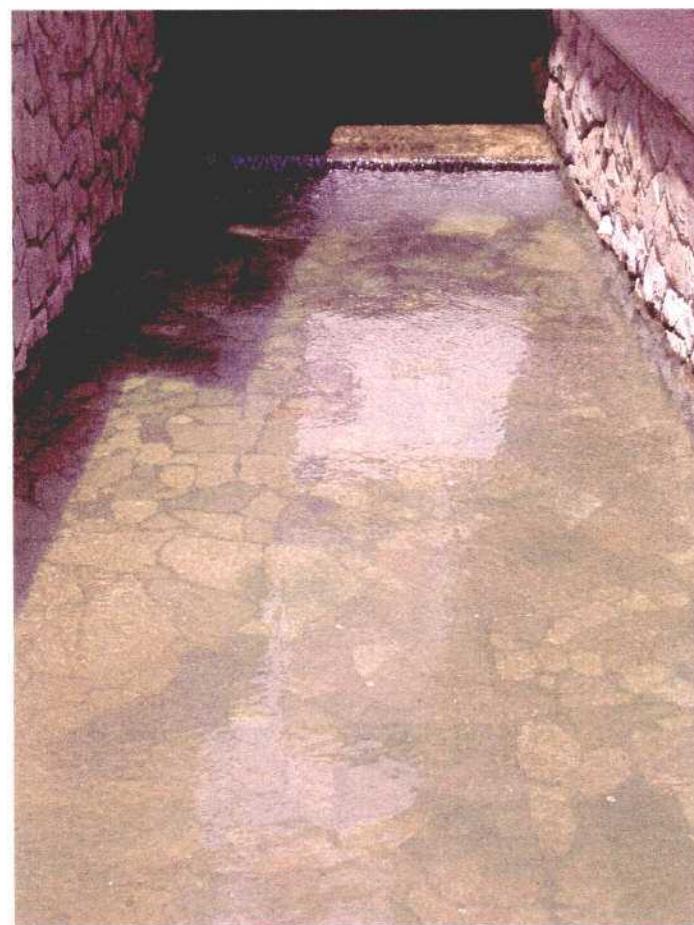


Foto 9.
Detalle
punto 3.

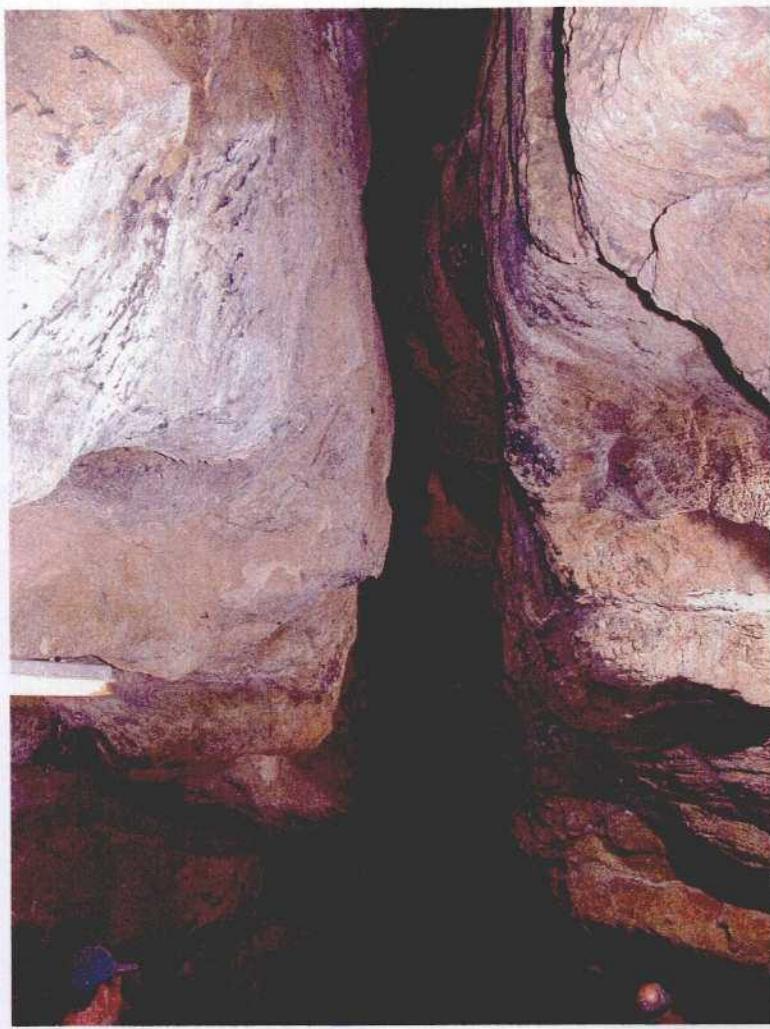
ANEJO 2. FOTOGRAFÍAS DEL INTERIOR DE LA CUEVA DE SANT JOSEP



Entrada a la cueva de Sant Josep



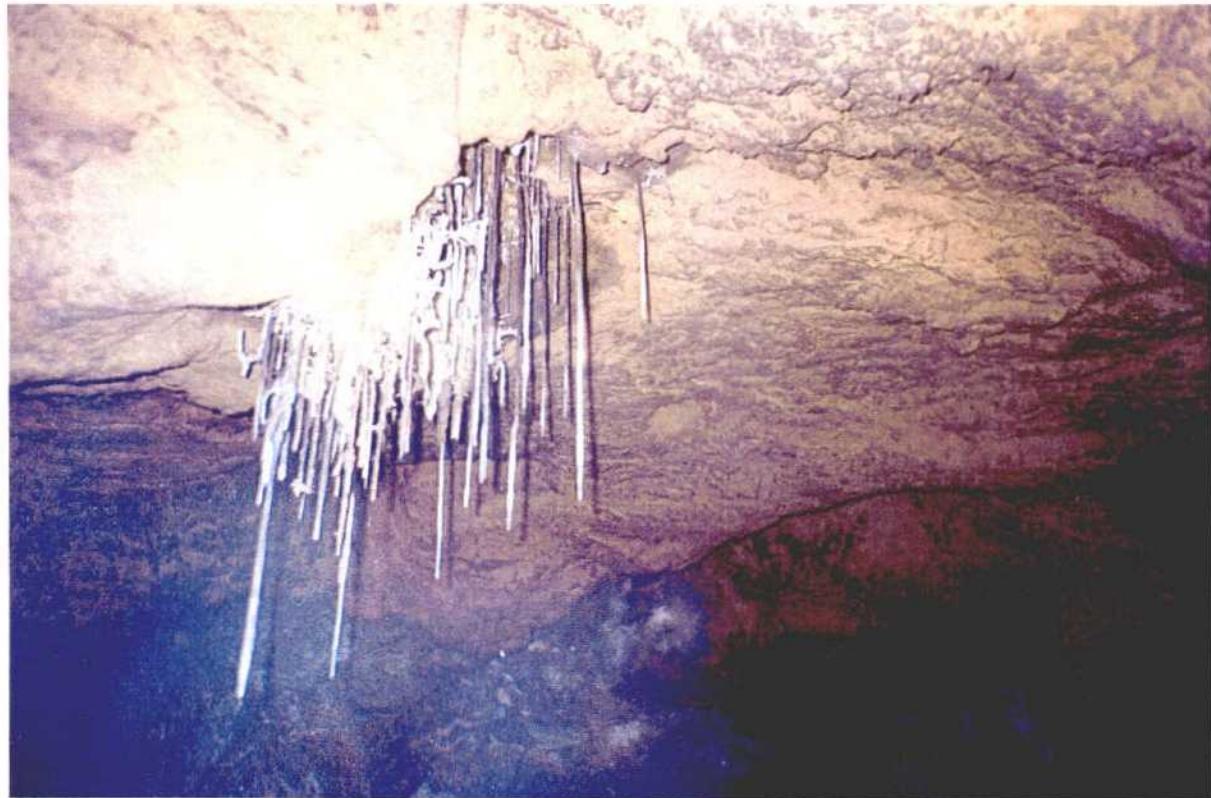
Vista del manantial de Sant Josep



Fractura N175 E, vista desde el primer embarcadero, a la entrada de la cueva



Vista del embarcadero, al inicio del recorrido turístico



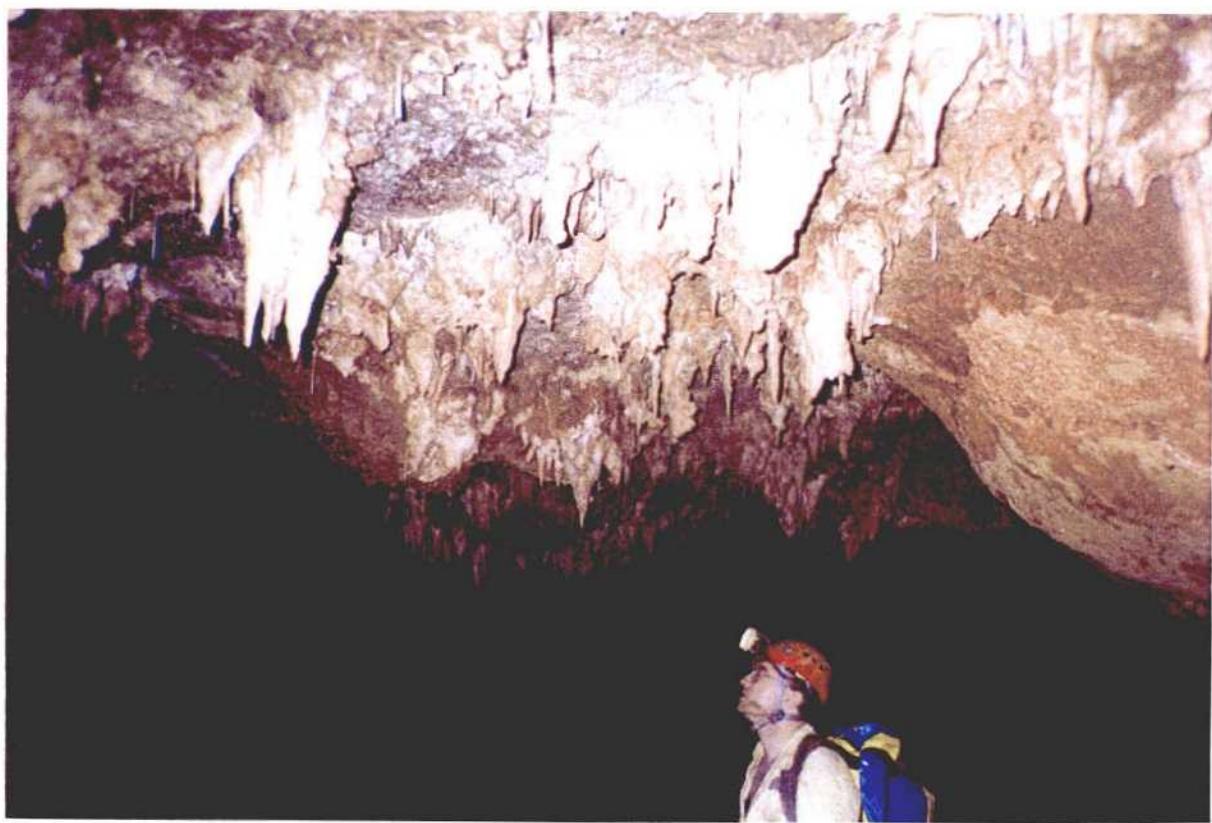
Macarrones y excéntricas en la zona de "El Túnel"



Coladas, estalactitas, macarrones y excéntricas en la zona de "El Túnel", Las manchas blancas son *moonmilk*.



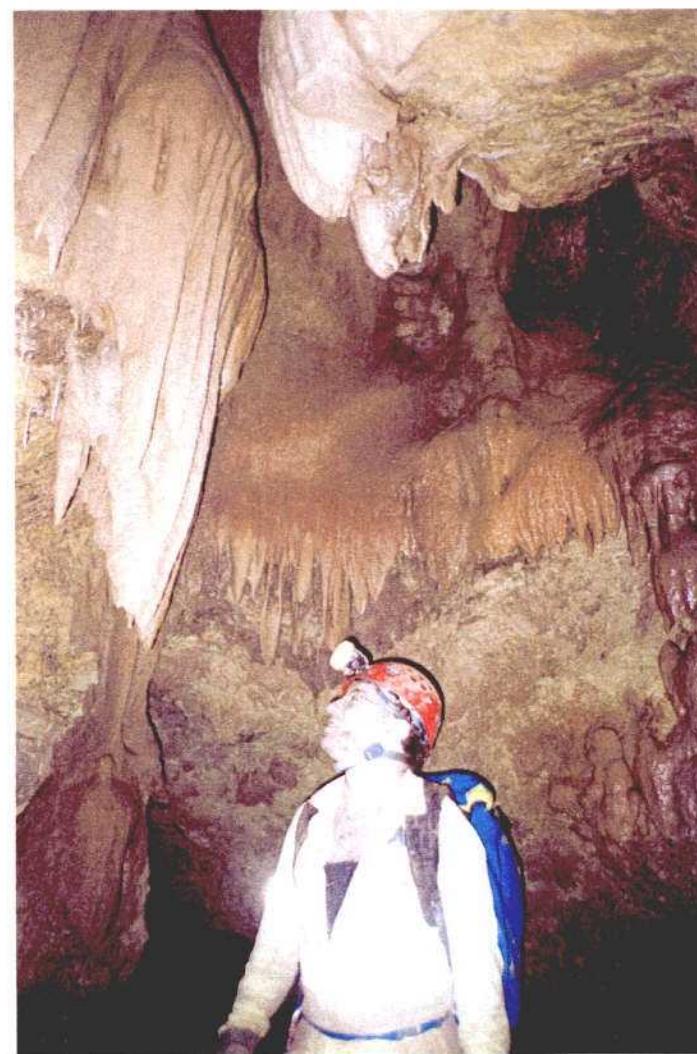
Macarrones, coladas y banderas entre "La Platja" y "El Túnel"



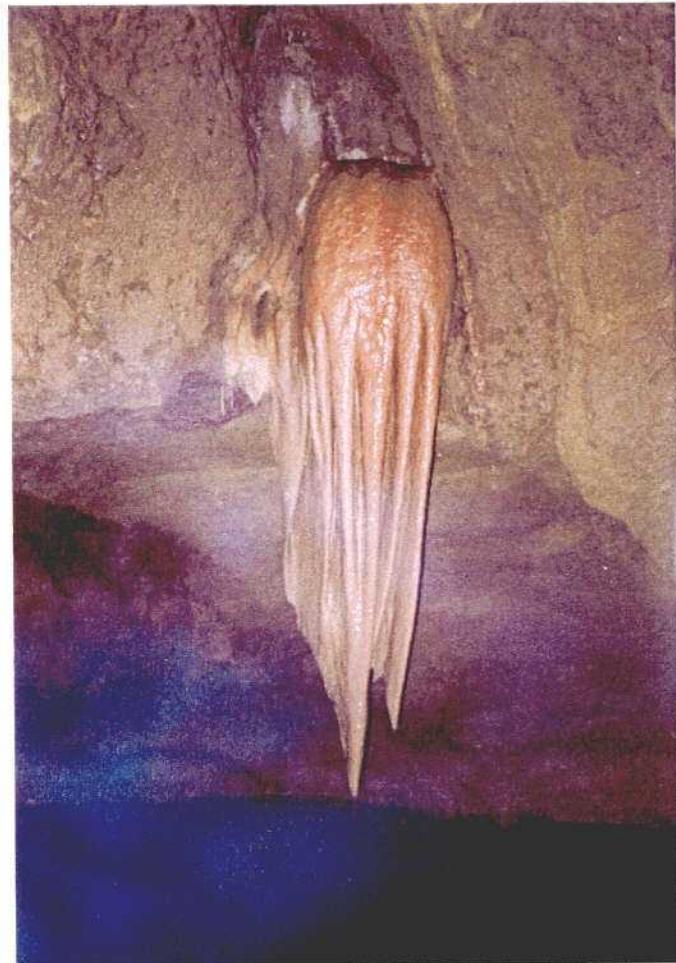
Espeleotemas entre "La Platja" y "El Túnel"



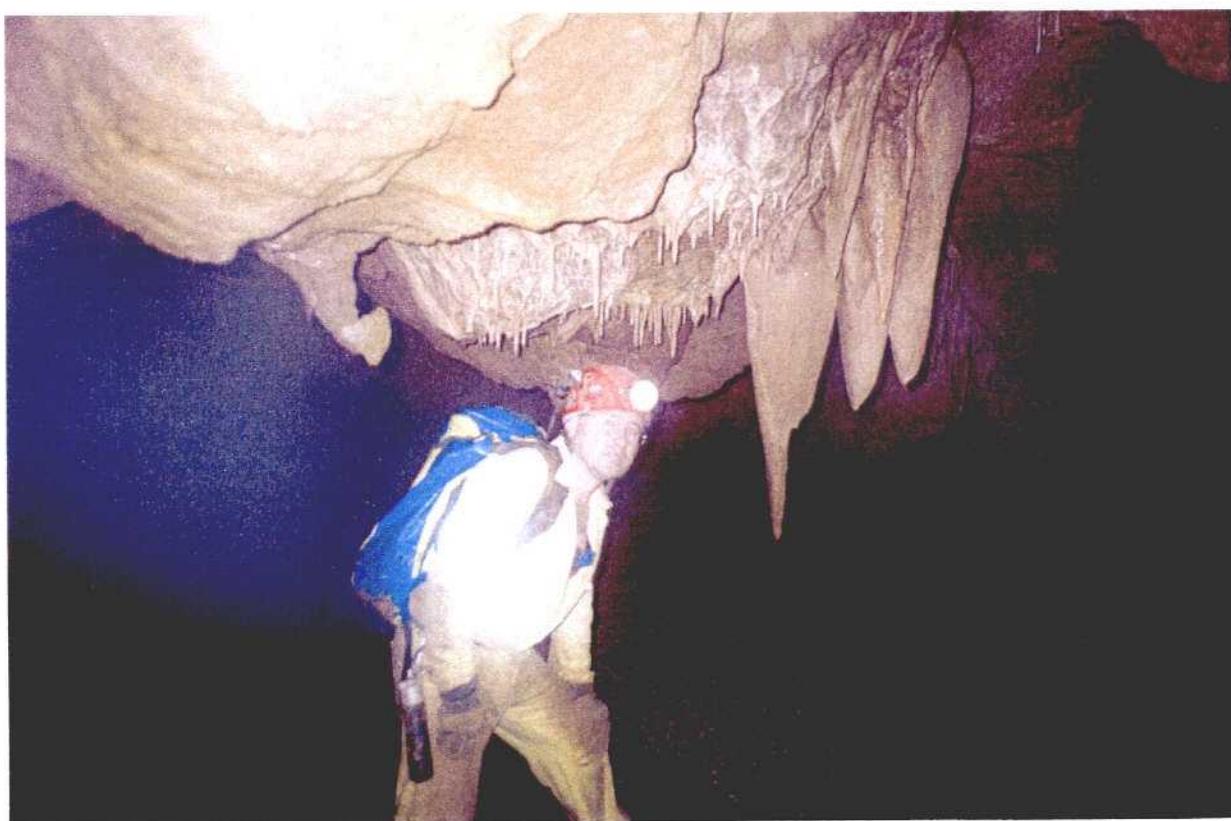
Macarrones y pequeñas coladas en la zona de "La Platja"



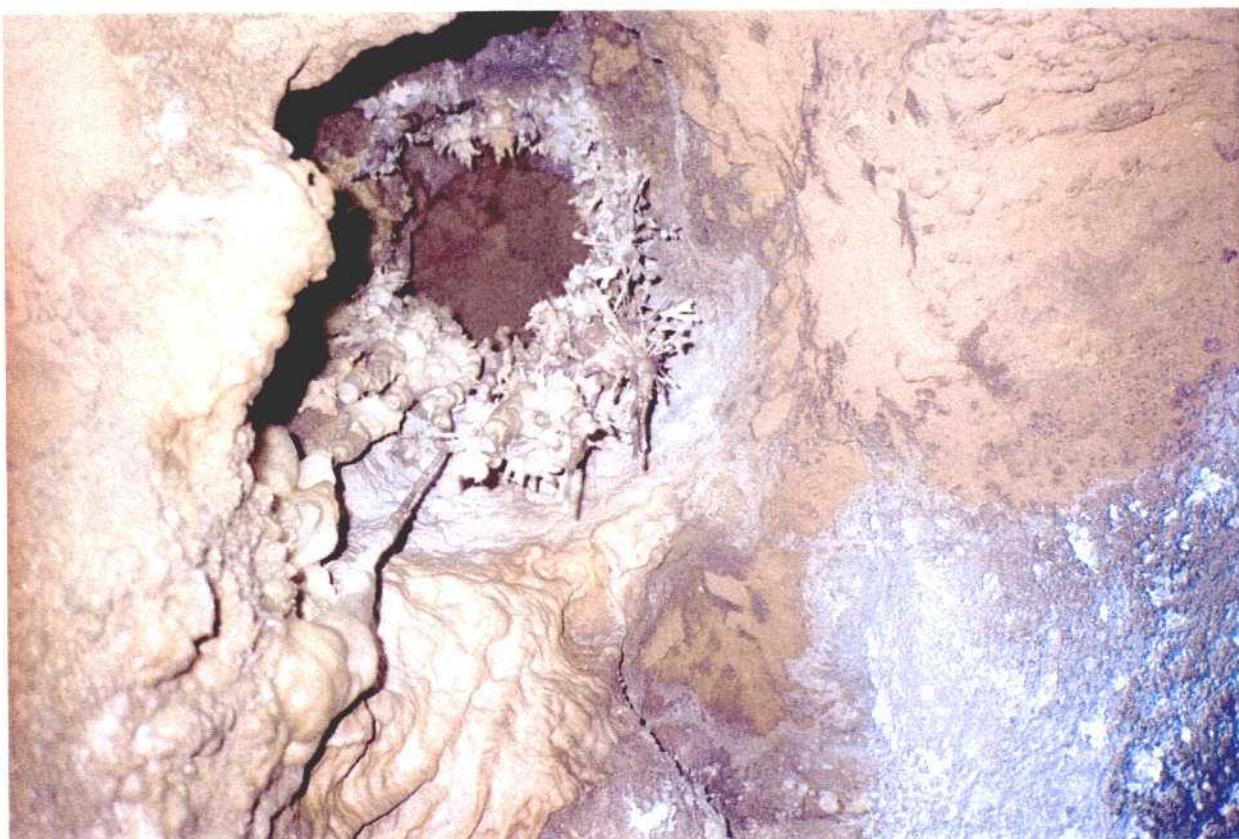
Coladas en la zona de "El Túnel"



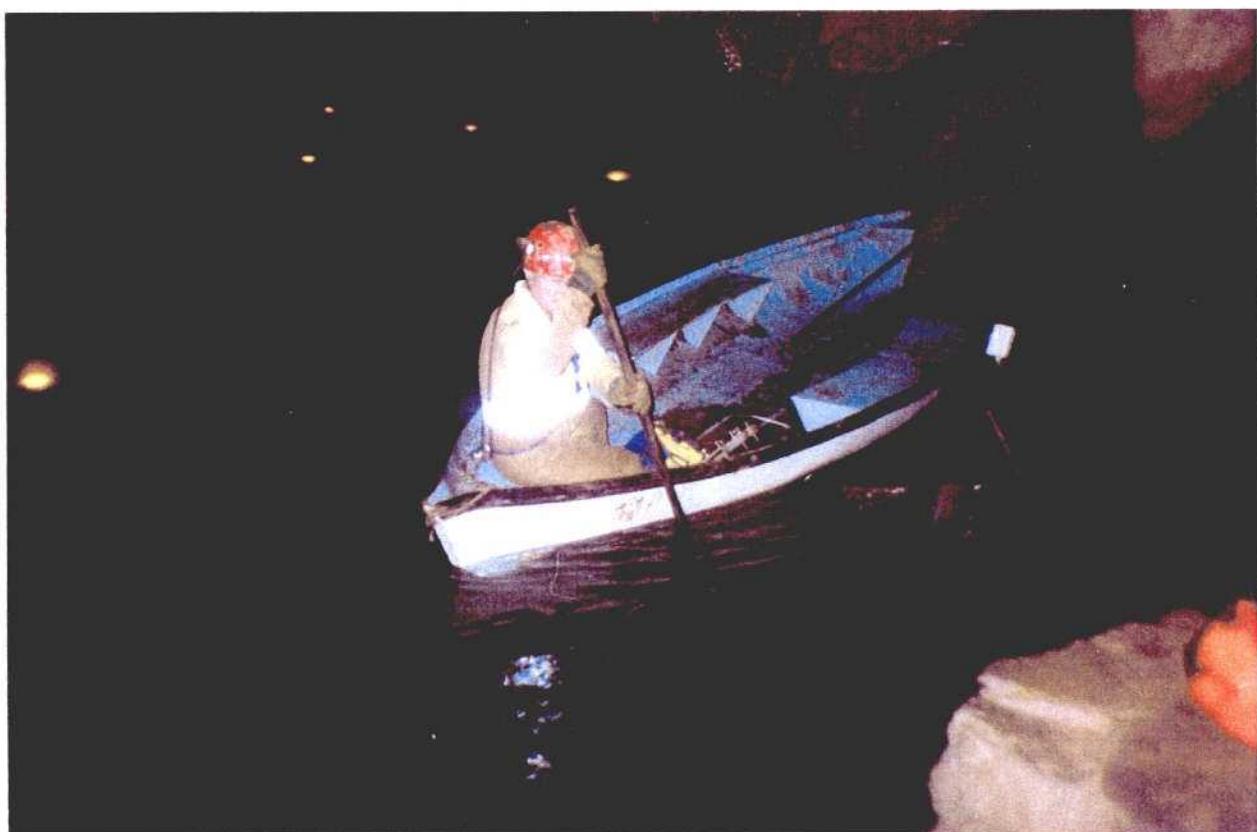
Colada grande, de aproximadamente 1,5 m, en la zona de "El Túnel"



Coladas y estalactitas en la zona de "La Platja"



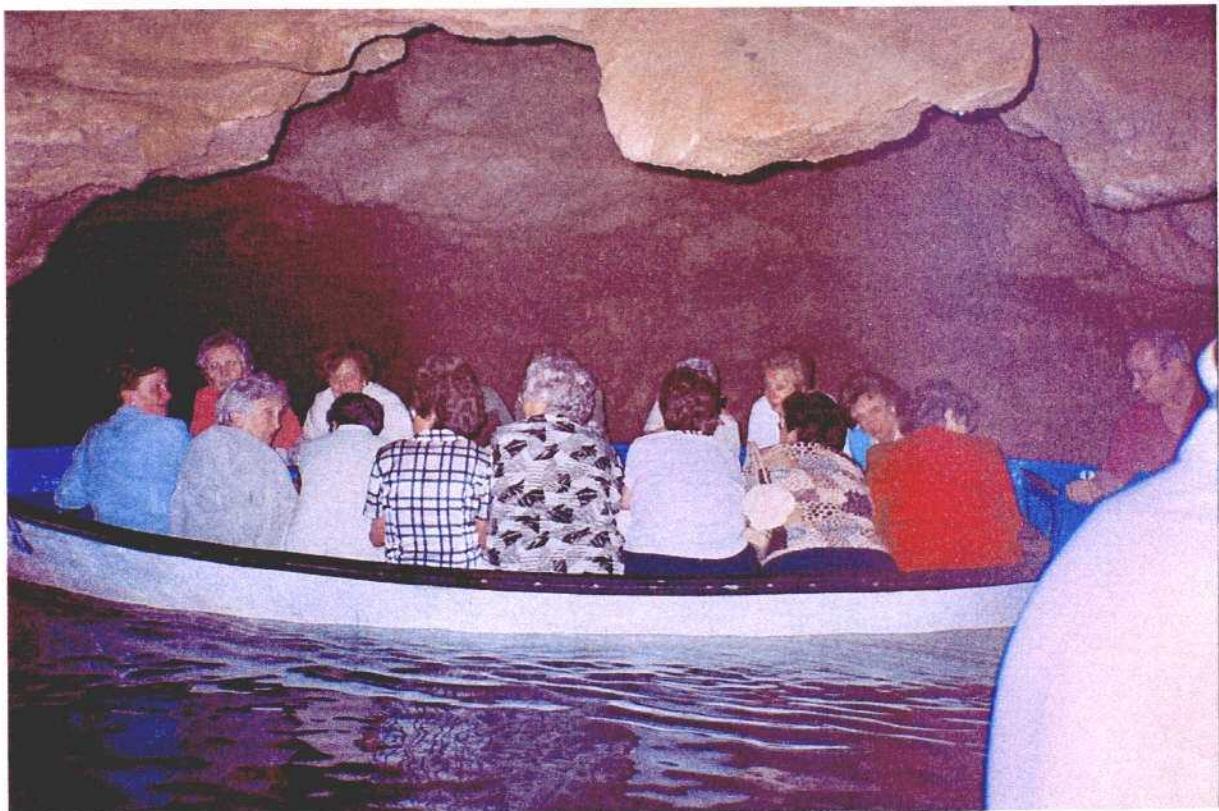
Pequeña chimenea con coladas y excéntricas en la zona de "El Túnel"



Embarcadero de la "Sala del Gos", 2º punto de radiolocalización



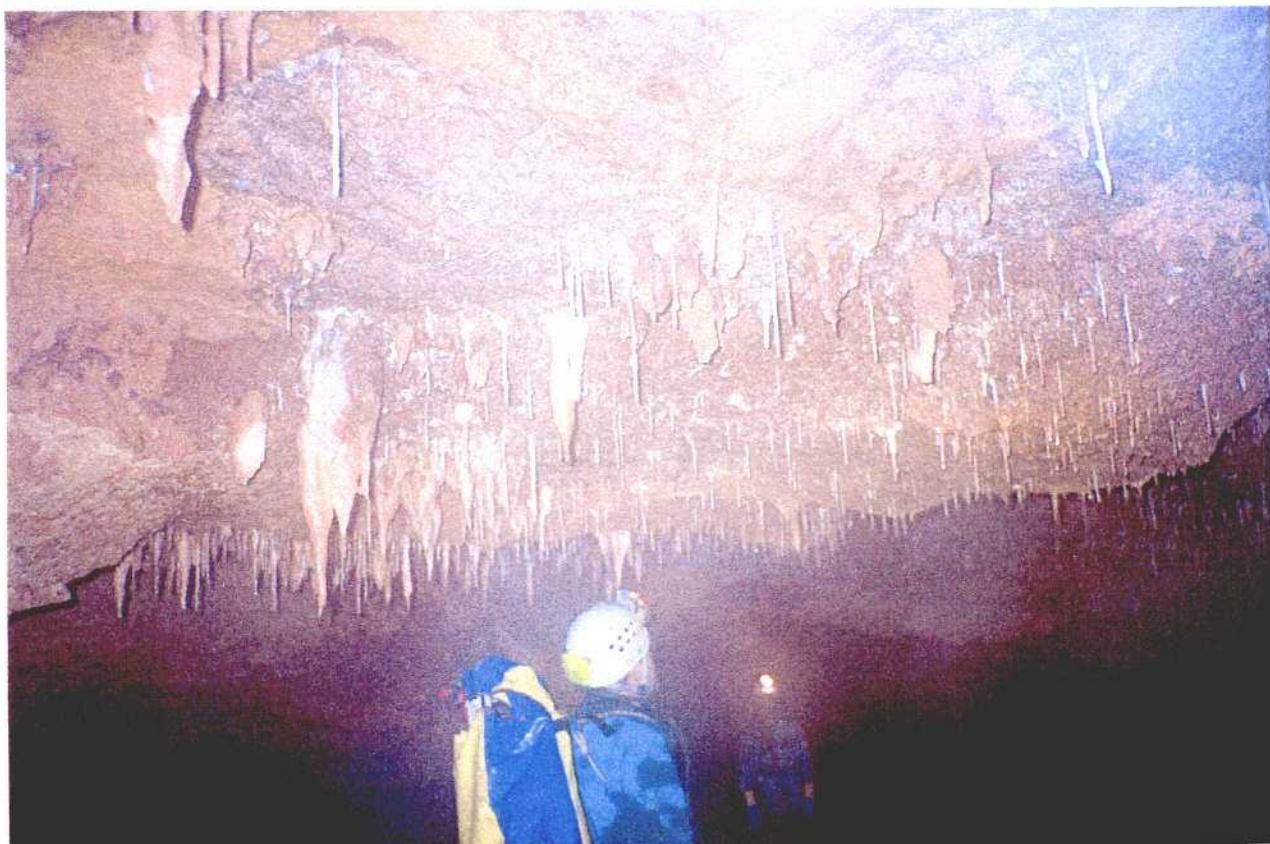
Emisor en funcionamiento en punto 1º de radiolocalización, "Sala D'en Vicent"



Embarcación en la zona turística "Llac de Diana"



Aforo situado entre la “Gran Sala Ensorrada” y la “Galería del Fang”



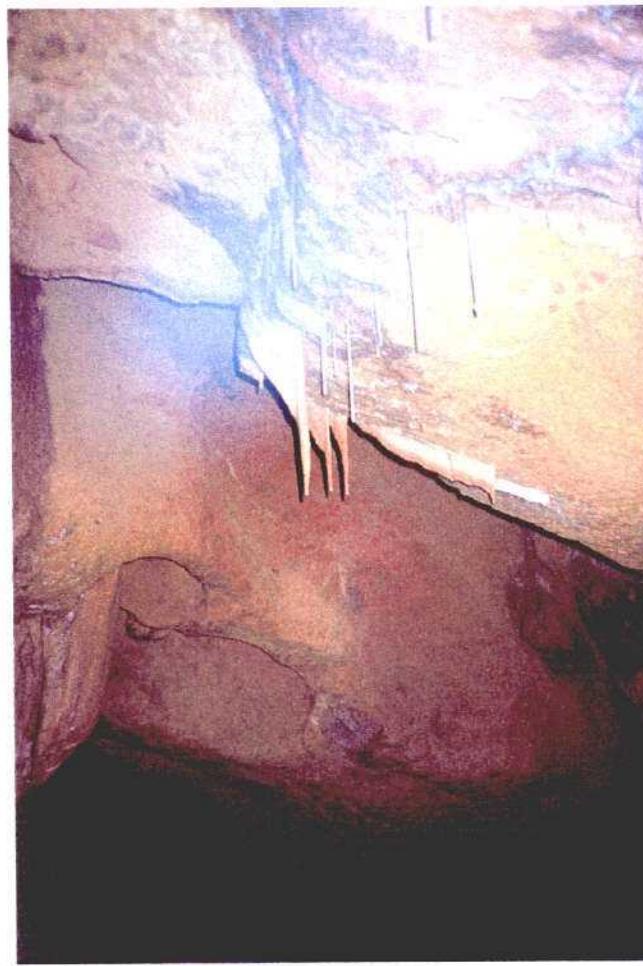
Espeleotemas en la zona de “La Platja”



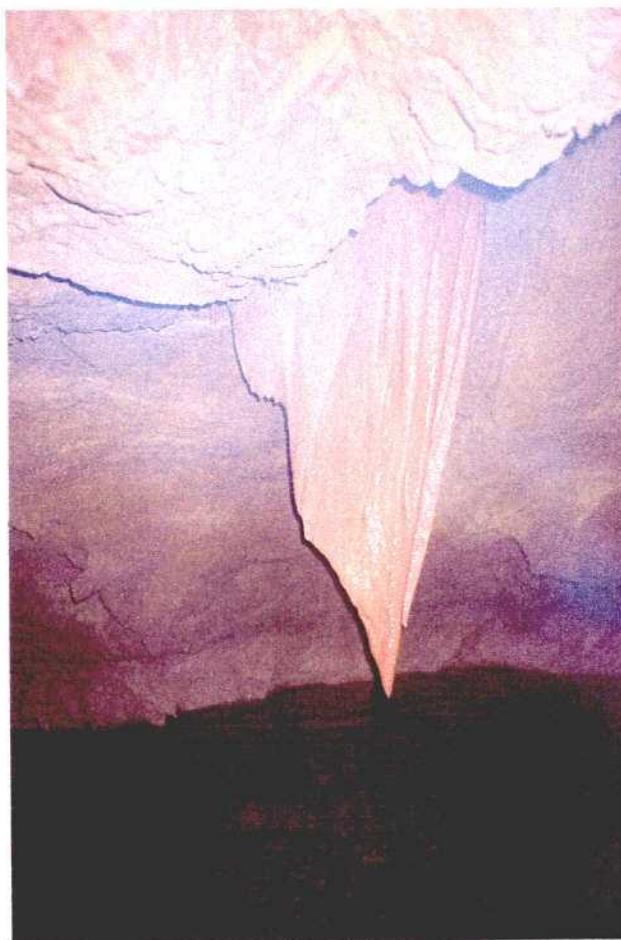
Detalle de los espeleotemas en la zona de "La Platja"



Detalle de espeleotemas de techo en la zona de "La Platja"

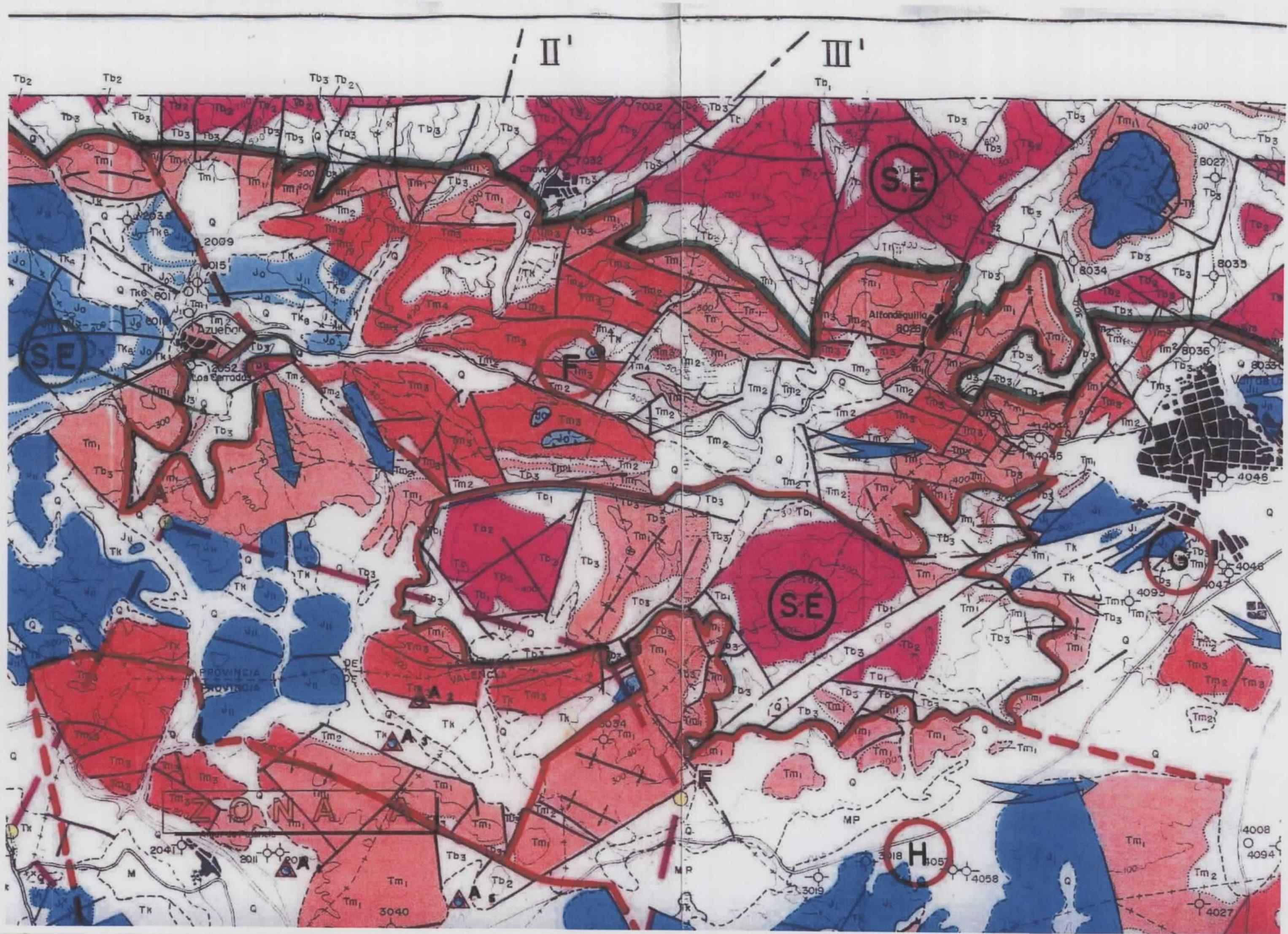


Espeleotemas de techo (macarrones) en la zona de "El Túnel"



Colada formando banderas en la zona de "El Túnel" (aproximadamente 1,5 m)

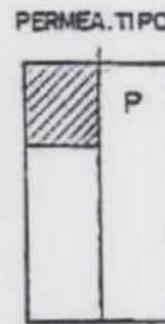
ANEJO 3. CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA DEL SUBSISTEMA ACUÍFERO
DEL MEDIO PALANCIA (IGME-DIPUTACIÓN DE CASTELLÓN)



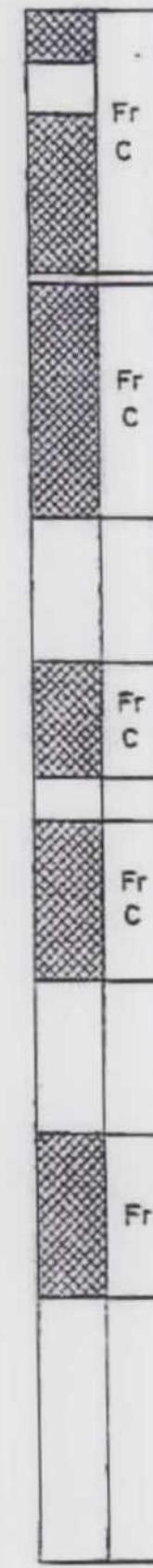
CUAT.	INDIFERENCIADO	
	PLIOCENO	
	MIOCENO	

JURASICO	MALM	PORLANDIENSE KIMMERIDIENSE SUP KIMMERIDIENSE INF - OXFORD,	
		LIAS - DOGGER	
		SUPRAKEUPER	
		FACIES KEUPER	
	MUSCHELKALK	SUPERIOR MEDIO INFERIOR	
		FACIES ROT	
	BUNTSANDSTEIN	SUPERIOR MEDIO INFERIOR	
PALEO.	INDIFERENCIADO		

Q	Conglomerados, brechas, limos y arcillas
MPC	Calizas conglomeráticas
MP	Arcillas rojas con lentejones de conglomerados
M	Areniscas, conglomerados, limos y arcillas



J C	Transito Jurasico - Cretáceo : Calizas bioclásticas en bancos decimétricos y dolomías
Jg	Formación calizas con oncólitos de Higueruelas. Formación ritmita calcarea de Loriquilla. Formación margas de Sot de Chera. Miembro calizas con esponjas de Yatova
Jg	Formación carbonatada de Chelva: Calizas micríticas y oolíticas, dolomías y calizas dolomíticas
Jg	Grupo Abianquejo : Calizas y margas
Jg	Formación calizas y dolomías tabicadas de Cuevas Labradas. Bancos gruesos de calizas con alguna intercalación de dolomías
Jg	Formación carniolas de Cortes de Tajuña: Carniolas, calizas dolomíticas y dolomías masivas a muro
Jo	Formación arcillas yesiteras de Aituro
Jo	Formación dolomías de Castellnovo
Tk	Grupo Valencia: Arcillas y lutitas con yesos ; ocasionalmente margas ,areniscas y niveles dolomíticos
Tm 4	Formación calizas y margas de Pina de Montalgrao, calizas y margas en bancos bien definidos
Tm 3	Formación dolomías de Cirat : Dolomías laminadas negras con signos de bioturbación
Tm 2	Margas y arcillas de tonos ocreos amarillentos
Tm 1	Formación dolomías de l'Oronet : Tramo inferior : Dolomías berroldenses y margocalizas " Intermedio : Dolomías y calizas margosas " superior : Dolomías gris oscuras
Tb 3	Formación lutitas y areniscas de Estella A lacho facies Rot : Arcillas abigarradas y laminadas versicolores
Tb 2	Formación areniscas del Garbi
Tb 1	Formación lutitas y areniscas de Montrán : Argilitos y areniscas. Conglomerado basal
P	Grauvacas, pizarras, argilitas, areniscas y ortocuarцитas



PERMEABILIDAD

- Alta
- Media
- Baja

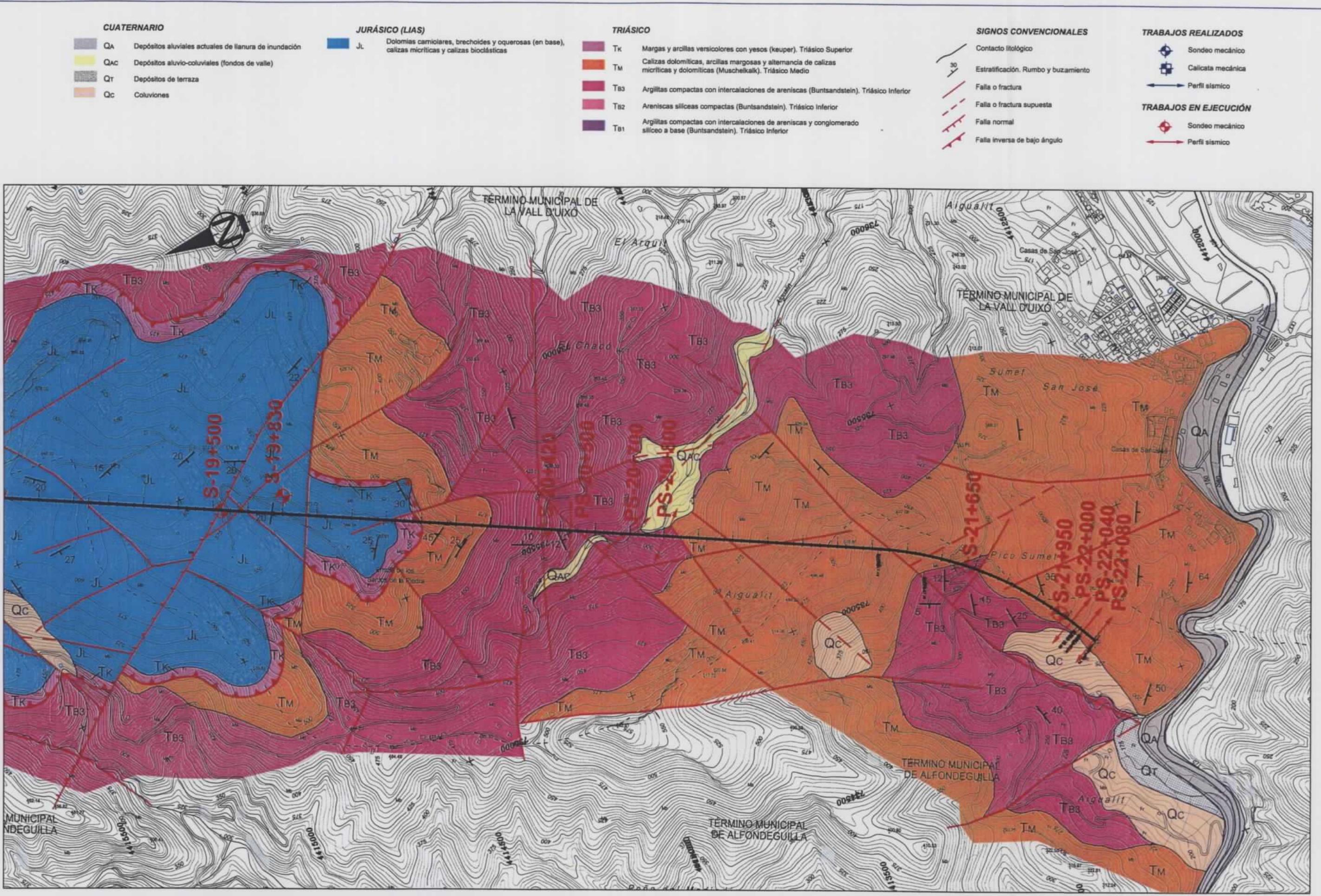
Fr Fracturación

C Carstificación

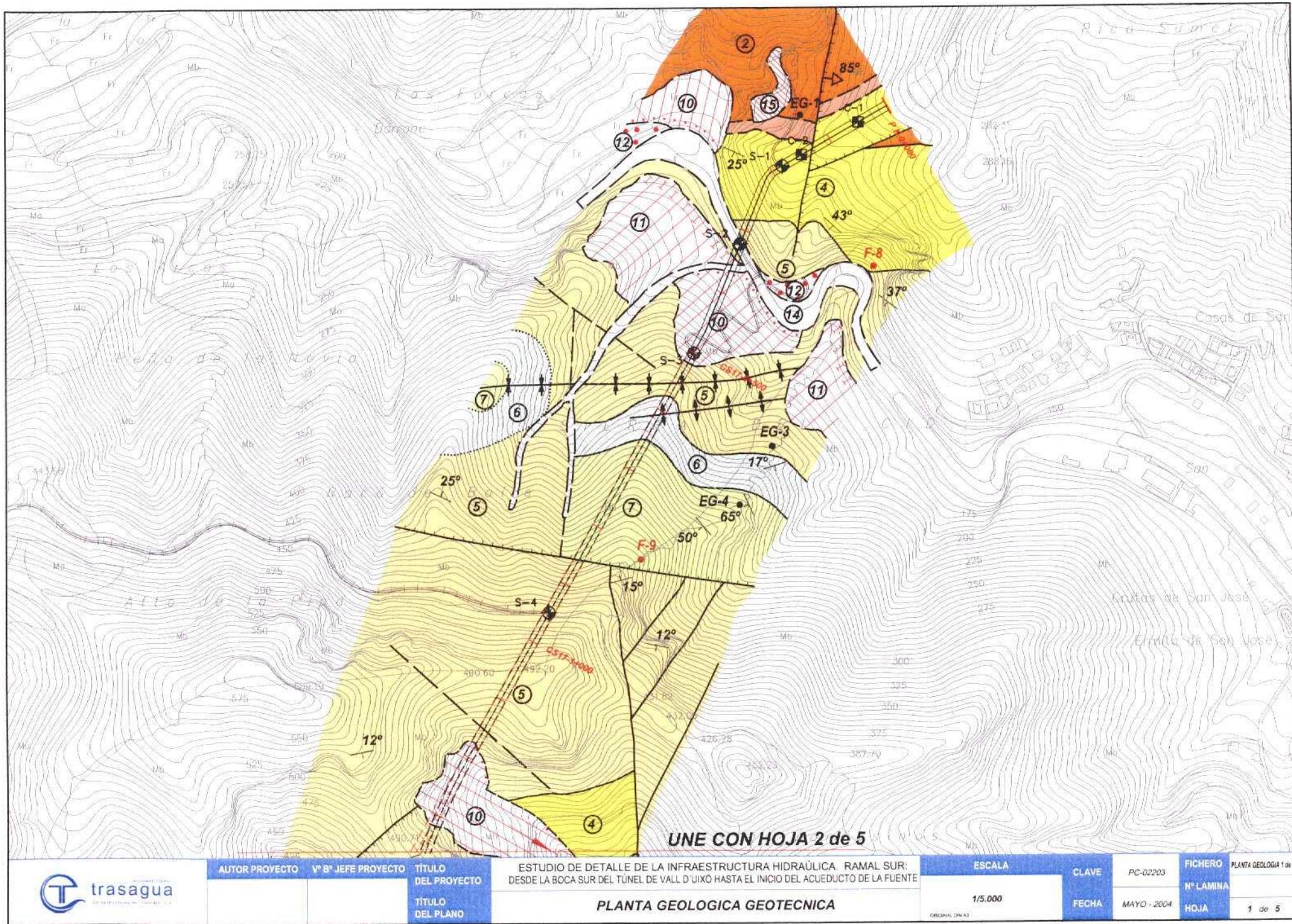
P Porosidad

ANEJO 4. GEOLOGÍA PREVIA AL SUR DEL TÚNEL DE VALL D'UIXÓ
(TRASAGUA)

- Planta geológico-geotécnica (Norte rambla Belcaire)



- Planta geológico-geotécnica (Sur rambla Belcaire)



- — — — — CONTACTO NORMAL O CONCORDANTE
- — — — — CONTACTO NORMAL O CONCORDANTE SUPUESTO
- — — — — CONTACTO MECANICO
- — — — — CONTACTO DISCORDANTE
- — — — — FALLA CON INDICACION DE BUZAMIENTO DEL PLANO
85°
- — — — — FALLA SUPUESTA
- — — — — FALLA CON INCLINACION DE HUNDIMIENTO
-  ANTICLINAL
-  SINCLINAL
-  DIRECCION Y CANTIDAD DE BUZAMIENTO
-  ESTRATIFICACION SUBHORIZONTAL
- — — — — DIRECCION Y BUZAMIENTO DEDUCIDOS POR FOTOGEOLOGIA (20°-60°)
- F-5 FOTOGRAFIA
- EG-4 ESTACION GEOMECHANICA

	EDAD	LITOLOGIA
MESOZOICO	(15)	RELEÑOS ARTIFICIALES.- CANTOS ANGULOSOS DE ARENISCAS Y EN OCASIONES DOLOMIAS EN MATRIZ LUTITICA ROJO-ANARANJADA.
TRIASICO	(10)	COLUVIONES.- 1 a 6m DE CANTOS, GRAVAS Y BLOQUES DOLOMITICOS O ARENISCOSOS EN MATRIZ LUTITICA ROJO-ANARANJADA.
BUNT SANDSTEIN	(11)	COLUVIONES CEMENTADOS.- 0.5-1m DE BRECHAS CALCAREAS MUY CEMENTADAS CON CEMENTO CARBONATADO A TECHO, Y CANTOS, GRAVAS Y BLOQUES DOLOMITICOS O ARENISCOSOS EN MATRIZ LUTITICA ROJO-ANARANJADA EN LA BASE.
CUATERNARIO	(14)	ALUVIONES.- CANTOS Y GRAVAS POLIMICTICOS EN MATRIZ LIMO-ARCILLOSA.
	(12)	TERRAZAS.- CANTOS Y GRAVAS POLIMICTICOS BIEN CEMENTADOS POR CARBONATO CALCIO. NIVELES DE LIMO-ARCILLAS.
	(1)	CONOS DE DEYECCION. CANTOS Y GRAVAS DOLOMITICOS Y ARENOSOS EN MATRIZ LUTITICO ARENOSA.
	(8)	ABANICOS ALUVIALES, CANTOS Y GRAVAS ALTERNANTES CON NIVELES LUTITICO ARENOSOS ROJO-ANARANJADOS. A TECHO 0.5m A 4m DE CONGLOMERADOS MUY CEMENTADOS DE CANTOS CALCAREOS.
	(13)	CANCHALES.- CANTOS, GRAVAS Y BLOQUES ANGULOSOS DE ARENISCA Y DOLOMIAS
MUSCHELKALK	(7)	FORMACION DOLOMIAS Y CALIZAS DE CAÑETE. DOLOMIAS Y CALIZAS DOLOMITICAS TABLEADAS Y EN BANCOS CON ALGUNA DELGADA INTERCALACION MARGOSA.
	(6)	FORMACION ARCILLAS, MARGAS Y YESOS DEL MAS. DOLOMIAS Y CALIZAS DOLOMITICAS ALTERNANTES CON NIVELES Cm A Dm DE MARGAS DOLOMITICAS.
	(5)	FORMACION DOLOMIAS DE LANDETE. DOLOMIAS EN BANCOS MUY GRUESOS, OCRES EN LA BASE.
	(4)	FORMACION DOLOMIAS DE LANDETE. DOLOMIAS TABLEADAS Y EN BANCOS Dm CON JUNTAS MARGOSAS.
	(3)	FORMACION ARCILLAS, LIMOS Y MARGAS DE MARINES. LUTITAS Y ARENISCAS DE GRANO FINO A MUY FINO ROJO-VIOLACEAS CON INTERCALACIONES Cm A Dm DE DOLOMIAS Y BRECHAS DOLOMITICAS.
	(2)	FORMACION DE LIMOS Y ARENISCAS DE ESLIDA. LUTITAS ROJAS ALTERNANTES CON ARENISCAS CUARCITICAS EN BANCOS DECIMETRICOS A METRICOS.
	(1)	FORMACION ARENISCAS DEL CAÑIZAR. ARENISCAS CUARCITICAS EN BANCOS GRUESOS A MASIVOS. DELGADAS INTERCALACIONES DE LUTITAS ROJAS Y MICROCONGLOMERADOS CUARCITICOS.

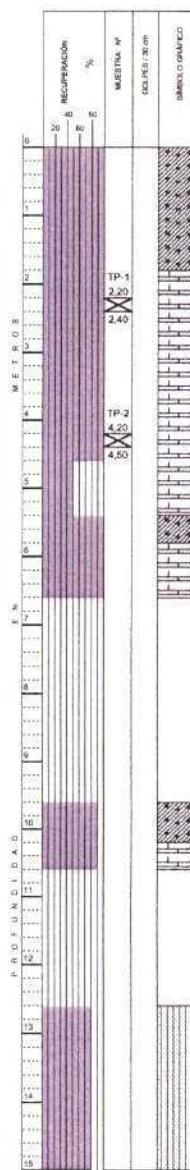
AUTOR PROYECTO	Vº Bº JEFE PROYECTO	TITULO DEL PROYECTO	ESTUDIO DE DETALLE DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA. RAMAL SUR: DESDE LA BOCA SUR DEL TUNEL DE VALL D'UIXÓ HASTA EL INICIO DEL ACUEDUCTO DE LA FUENTE	ESCALA	CLAVE	FICHERO Nº LAMINA	LEYENDA DELOGIA
						PC-02203	
						MAYO - 2004	HOJA 7 de 9

-Testificación sondeo S-2

FECHA: 18/02/94 COORDENADAS X: Y: Z:
SITUACIÓN (PK.E): DISTANCIA A EJE:

EMPRESA: RESONATOR
TIPO DE SONDA: ISSA ANDALUCIA
SONDISTA: JAVER RAMOS
GOLPEO: AUTOMATICO

ENSAYOS DE LABORATORIO		DATOS GEOMECANICOS					
H.C.B. NORMA	%	R.G.D	FRACTURAS	Nº 36 cm	GRADO	DE	MATERIAL
HOMECAZ NATURAL %							
DENSIDAD RECAZ THM/m³							
80 80	20 40	1 18	94 94	3 4	4 3	2 1	



SONDEO S-2

DESCRIPCION

FORMACION Qal.GC. GRAVAS Y BOLOS LIMOARENOSOS (FLOJA A MED.DENSA)
LAS GRAVAS Y BOLOS SON DE NATURALEZA DOLOMITICA

FORMACION TM2 CAL. CALIZAS Y DOLOMIAS GRISAS A OCRES INTENSAMENTE KARSTIFICADAS. PRESENTA JUNTAS RELLENAS DE CALCITA
DE 2,6 m A 2,70 m CAVIDAD RELLENA DE ARCILLA

DE 5,40 A 5,80 RELLENO DE CAVIDAD. SE RECUPERA COMO GRAVA CALCAREA ARCILLOSA

CAVIDAD KARSTICA
DE 9,60 A 10,10 RELLENO DE CAVIDAD. SE RECUPERA COMO GRAVA POLIMIXTA ARCILLOSA OCRE GRIS Y ROSADA
CALIZAS Y DOLOMIAS GRISAS A OCRES INTENSAMENTE KARSTIFICADAS. PRESENTA JUNTAS RELLENAS DE CALCITA
CAVIDAD KARSTICA

DE 12,60 M A 15,30 RELLENO DE CAVIDAD. SE RECUPERA COMO CL - ARCILLA LIMOARENOSA ROJIZA CON ALGO DE GRAVA

CONTINUA EN LA HOJA SIGUIENTE

DATOS ESTRUCTURALES

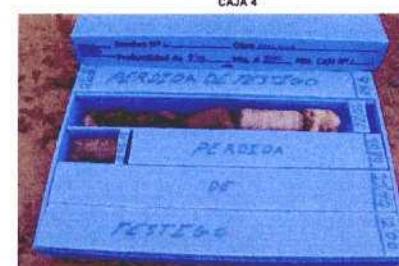
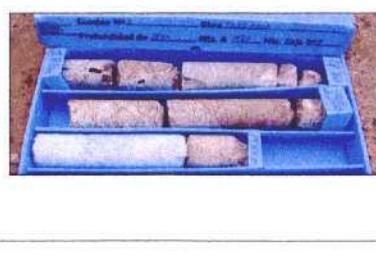
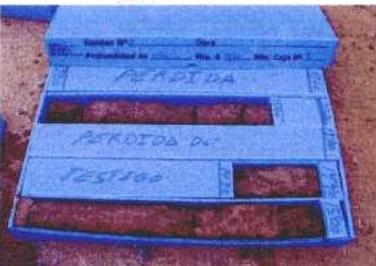
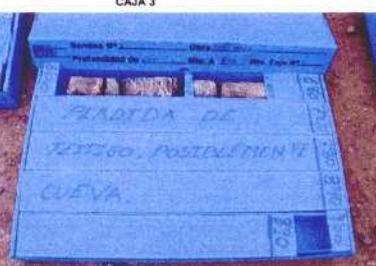
INDICACION DE LA DIRECCIONALIDAD PRINCIPAL
DE OTROS DIRECCIONALES

AZIMUT

15° 45° 75°

A B C D E

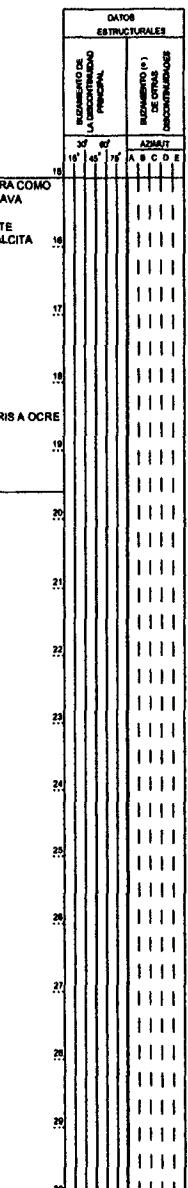
FOTOGRAFIAS



LECTURAS DEL NIVEL PRACTICO DESPUES DE TERMINADA LA PERFORACION
TIEMPO EN DIAS PROFUNDIDAD m

FECHA:	COORDENADAS	X: Y: Z:	EMPRESA:	REDONCONTROL
SITUACIÓN (P.U.):	DISTANCIA A EJE:		TIPO DE SONDA:	ISSA ANDALUCÍA
			SONDESTA:	JAVIER RAMOS
			GOLPEO:	AUTOMÁTICO
ENVÍOS DE LABORATORIO		DATOS GEOMÉTRICOS		
R.D.E. (mm)	NÚMERO NATURAL	R.G.D.	FRACTURAS	N° 50 m.
80 85 40 20	1 18 94	4	80	5 4 3 2 1
GRADO DE METRORIZACIÓN				
80 85 40 20	1 18 94	4	80	5 4 3 2 1
15	20	40	80	%
METROS	15	20	40	80
16	TP3	16,70	17,00	
17				
18				
19	TP4	19,20	19,40	
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
LECTURAS DEL NIVEL FREÁTICO DESPUES DE TERMINADA LA PERFORACIÓN				
TIEMPO EN DÍAS	1	2	3	4
PROFUNDIDAD m	2000			

SONDEO S-2



FOTOGRAFIAS

CAJA 1

CAJA 2

CAJA 3

CAJA 4

CAJA 5 CAJA 6

 PAYMACotas

ANEXO 5. ANÁLISIS HIDROQUÍMICOS Y CAUDALES

5.1. Análisis del manantial de Sant Josep (FACSA)

	Año	Muestra	Fecha	Origen	Límite	Resultado
	1997		8984 15/05/1997	Manantial de San José		
Parámetro		Método	Unidades			
13	Color	Color.mth. Rev.6	mg/l Pt/Co		2 mg/l	<2
24	Turbidez	Turbidez.mth. Rev.5	U.N.F.	0.4 UNF	1.0	
11	Olor	Olor.mth. Rev.1		n.d.	n.d.	
12	Sabor	Sabor.mth. Rev.1		n.d.	n.d.	
10	Temperatura	Temperat.mth. Rev.3	°C		1 °C	19
5	pH	pH.mth. Rev.6	Unidad pH		0.1	7.9
155	Conductividad a 20°C	Conducti.mth. Rev.5	µS/cm	1 µS/cm	461	
14	Cloruros	Clorutit.mth. Rev.6	mg/l Cl		4 mg/l	17.7
15	Sulfatos	Plasma2.mth. Rev.4	mg/l SO4		0.5 mg/l	46.9
89	Silice (SiO2)	Plasma2.mth. Rev.4	mg/l SiO2		0.03 mg/l	8.0
30	Calcio	Plasma2.mth. Rev.4	mg/l Ca		0.05 mg/l	51.8
31	Magnesio	Plasma2.mth. Rev.4	mg/l Mg		0.02 mg/l	30.1
28	Sodio	Plasma2.mth. Rev.4	mg/l Na		0.4 mg/l	13.4
29	Potasio	Plasma2.mth. Rev.4	mg/l K		0.04 mg/l	1.2
60	Aluminio	Plasma1.mth. Rev.6	mg/l Al		0.05 mg/l	<0.05
18	Dureza	Fórmula	°F			25.3
32	Residuo seco 180 °C	Reseco.mth. Rev.1	mg/l	10 mg/l	315	
17	Carbonatos	Alcalini.mth. Rev.5	mg/l	0 mg/l		0
16	Bicarbonatos	Alcalini.mth. Rev.5	mg/l		0 mg/l	225.7
7	Amoniaco	Amoniaco.mth. Rev.5	mg/l		0.1 mg/l	<0.1
9	Nitratos	Nitrato1.mth. Rev.7	mg/l NO3		1 mg/l	15.7
8	Nitritos	Nitritos.mth. Rev.8	mg/l NO2		0.01 mg/l	<0.01
90	Nitrógeno Kjeldahl	N-Kjeld.mth. Rev.3	mg/l N		1 mg/l	<1
25	Oxidabilidad	Oxidabil.mth. Rev.3	mg/l O2		0.1 mg/l	0.8
138	Hidrógeno sulfurado	Sulfuro1.mth. Rev.3	mg/l S		n.d.	n.d.
48	Aceites minerales	Aceit-ir.mth	µg/l		10 µg/l	<10
38	Fenoles	Fenol2.mth	µg/l		0.5 µg/l	<0.5
37	Agentes tensioactivos	Detergen.mth. Rev.6	µg/l		20 µg/l	<20
2	Hierro	Plasma1.mth. Rev.6	µg/l Fe		5 µg/l	9
4	Manganeso	Plasma1.mth. Rev.6	µg/l Mn		1 µg/l	<1
61	Cobre	Plasma1.mth. Rev.6	µg/l Cu		2 µg/l	<2
3	Zinc	Plasma1.mth. Rev.6	µg/l Zn		10 µg/l	40
21	Fosforo (P2O5)	Plasma2.mth. Rev.4	µg/l P2O5		500 µg/l	<500
27	Fluor	Fluor2.mth. Rev.8	µg/l F		10 µg/l	116.2
92	Cloro residual	Clororess.mth. Rev.2	mg/l Cl		0.1 mg/l	0.4
73	Plata	Plasma1.mth. Rev.6	µg/l Ag		10 µg/l	<10
67	Arsenico	Plasma3.mth. Rev.5	µg/l As		5 µg/l	<5
62	Cadmio	Plasma1.mth. Rev.6	µg/l Cd		2 µg/l	<2
50	Cianuros libres	Cianuro1.mth. Rev.2	µg/l CN		5 µg/l	<5
56	Cromo	Plasma1.mth. Rev.6	µg/l Cr		5 µg/l	<5
1	Mercurio	Mercur-gh.mth. Rev.8	µg/l Hg		1 µg/l	<1
66	Niquel	Plasma1.mth. Rev.6	µg/l Ni		10 µg/l	<10
65	Plomo	Plasma3.mth. Rev.5	µg/l Pb		10 µg/l	<10
68	Antimonio	Plasma3.mth. Rev.5	µg/l Sb		5 µg/l	<5
69	Selenio	Plasma3.mth. Rev.5	µg/l Se		6 µg/l	<6
51	Plaguicidas	Cromatografía de gases	µg/l			<0.5

151	organoclorados	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l		
176	alfa-HCH	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
177	beta-HCH	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
178	Lindano	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
179	delta-HCH	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
180	Heptaclor	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
181	Aldrin	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
182	Heptaclor-epox	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
183	Endosulfan 1	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
184	DDE+Dieldrin	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l	0.02 µg/l	<0.01
185	Endrin	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
186	Endosulfan 2	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
187	DDD	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
188	Endrin-aldehido	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
189	Endosulfan sulfato	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
190	DDT	Ocl1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
152	s	Op1.mth. Rev.4	µg/l		
191	Diclorfention	Op1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
192	Fenclofros	Op1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
193	Fenitration	Op1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
194	Clorpirifos+Etil-paration	Op1.mth. Rev.4	µg/l	0.02 µg/l	<0.01
195	Metil bromofos	Op1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
196	Etil bromofos	Op1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
197	Clorfenvinfos	Op1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
198	Tetraclorvinfos	Op1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
199	Metidation	Op1.mth. Rev.4	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
55	HPA	Hpa1.mth	µg/l		<0.2
200	Fluoranteno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
201	Benzo (b) Fluoranteno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
202	Benzo (k) Fluoranteno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
203	Benzo (a) Pireno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
204	Benzo (g,h,i) Perileno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
205	Indeno (1,2,3,c,d) Pireno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
77	Coliformes totales	Colitot2.mth. Rev.2	ufc/100ml		0
78	Coliformes fecales	Colifec2.mth. Rev.2	ufc/100ml		0
79	Estreptococos fecales	Estrept2.mth. Rev.3	ufc/100ml		0
81	Clostridios sulfitorreduc	Clostri1.mth. Rev.2	ufc/20ml		0
142	Gérmenes totales a 22°C	Bactaer1.mth. Rev.2	ufc/ml		8
143	Gérmenes totales a 37°C	Bactaer2.mth. Rev.2	ufc/ml		3
80	Salmonella	Salmon.mth. Rev.2	/1000ml		Ausencia
87	Elementos formes	E-formes.mth			Ausencia

	Año	Muestra	Fecha	Origen	
	1998		8674 27/04/1998	Manantial de San José	
Parámetro		Método	Unidades	Límite	Resultado
13	Color	Color.mth.	mg/l Pt/Co	2 mg/l	<2
24	Turbidez	Turbidez.mth.	U.N.F.	0.4 UNF	0.7
11	Olor	Olor.mth.		n.d.	n.d.
12	Sabor	Sabor.mth.		n.d.	n.d.
398	Temperatura "in situ"	Temperat.mth.	°C	1 °C	20
5	pH	pH.mth.	Unidad pH	0.1	7.8
155	Conductividad a 20°C	Conducti.mth.	µS/cm	1 µS/cm	577
14	Cloruros	Cloruti1.mth.	mg/l Cl	4 mg/l	21.49
15	Sulfatos	Plasma2.mth.	mg/l SO4	0.5 mg/l	73.02
89	Silice (SiO2)	Plasma2.mth.	mg/l	0.03 mg/l	8.36
30	Calcio	Plasma2.mth.	mg/l Ca	0.05 mg/l	64.89
31	Magnesio	Plasma2.mth.	mg/l Mg	0.02 mg/l	34.41
28	Sodio	Plasma2.mth.	mg/l Na	0.4 mg/l	18.39
29	Potasio	Potasio1.mth.	mg/l K	2 mg/l	2.3
60	Aluminio	Plasma1.mth.	mg/l Al	0.1 mg/l	<0.1
18	Dureza	Plasma2.mth.	°F	0.02 °F	30.38
32	Residuo seco 180 °C	Reseco.mth.	mg/l	30 mg/l	411
17	Carbonatos	Alcalini.mth.	mg/l	3 mg/l	<3
16	Bicarbonatos	Alcalini.mth.	mg/l	3 mg/l	277.6
7	Amoniaco	Amoniaco.mth.	mg/l	0.1 mg/l	<0.1
9	Nitratos	Nitrato1.mth.	mg/l NO3	1 mg/l	18.5
8	Nitritos	Nitritos.mth.	mg/l NO2	0.01 mg/l	<0.01
90	Nitrogeno Kjeldahl	N-Kjeld.mth.	mg/l N	1 mg/l	<1
25	Oxidabilidad	Oxidabil.mth.	mg/l O2	0.5 mg/l	0.95
138	Hidrógeno sulfurado	Organoleptico		n.d.	n.d.
48	Aceites minerales	Aceit-ir.mth	µg/l	10 µg/l	<10
38	Fenoles	Fenol2.mth	µg/l	0.5 µg/l	<0.5
37	Agentes tensioactivos	Detergen.mth.	µg/l	20 µg/l	<20
2	Hierro	Plasma1.mth.	µg/l Fe	10 µg/l	<10
4	Manganeso	Plasma1.mth.	µg/l Mn	1 µg/l	<1
61	Cobre	Plasma1.mth.	µg/l Cu	5 µg/l	<5
3	Zinc	Plasma1.mth.	µg/l Zn	20 µg/l	<20
21	Fosforo (P2O5)	Plasma2.mth.	µg/l P2O5	500 µg/l	<500
27	Fluor	Fluor2.mth.	µg/l F	10 µg/l	134
92	Cloro residual	Clororess.mth.	mg/l Cl	0.1 mg/l	0.4
73	Plata	Plasma1.mth.	µg/l Ag	10 µg/l	<10
67	Arsenico	Plasma3.mth.	µg/l As	5 µg/l	<5
62	Cadmio	Plasma1.mth.	µg/l Cd	1 µg/l	<1
50	Cianuros libres	Cianuro1.mth.	µg/l CN	5 µg/l	<5
56	Cromo	Plasma1.mth.	µg/l Cr	10 µg/l	<10
1	Mercurio	Mercu-gh.mth.	µg/l Hg	1 µg/l	<1
66	Niquel	Plasma1.mth.	µg/l Ni	10 µg/l	<10
65	Plomo	Plasma3.mth.	µg/l Pb	10 µg/l	<10
68	Antimonio	Plasma3.mth.	µg/l Sb	5 µg/l	<5
69	Selenio	Plasma3.mth.	µg/l Se	6 µg/l	<6
51	Plaguicidas	gases	µg/l		<0.5

151	organoclorados	Ocl1.mth.	µg/l		
355	Trifluralin	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
176	alfa-HCH	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
356	Hexaclorobenceno	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
177	beta-HCH	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
178	Lindano	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
179	delta-HCH	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
180	Heptaclor	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
181	Aldrin	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
182	Heptaclor-epox	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
183	Endosulfan 1	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
184	DDE+Dieldrin	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
185	Endrin	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
186	Endosulfan 2	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
187	DDD	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
188	Endrin-aldehido	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
189	Endosulfan sulfato	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
190	DDT	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
152	s	Op1.mth.	µg/l	-	
191	Diclorfentión	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
192	Fenclofros	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
193	Fenitrotion	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
194	Clorpirifos+Etil-paration	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
195	Metil bromofos	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
196	Etil bromofos	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
197	Clofenvinfos	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
198	Tetraclorvinfos	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
199	Metidation	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
55	HPA	Hpa1.mth	µg/l		<0.2
200	Fluoranteno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
201	Benzo (b) Fluoranteno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
202	Benzo (k) Fluoranteno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
203	Benzo (a) Pireno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
204	Benzo (g,h,i) Perileno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
205	Indeno (1,2,3,c,d) Pireno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
77	Coliformes totales	Colito2.mth.	ufc/100ml	1 ufc	<1
78	Coliformes fecales	Colifec2.mth.	ufc/100ml	1 ufc	<1
79	Estreptococos fecales	Estrep2.mth.	ufc/100ml	1 ufc	<1
81	Clostridios sulfitorreduc	Clostri3.mth	ufc/20ml	1 ufc	<1
142	22°C	Bactaer1.mth.	ufc/ml	1 ufc	3
143	37°C	Bactaer2.mth.	ufc/ml	1 ufc	3
80	Salmonella spp.	Salmon.mth.	/1000ml		Ausencia
87	Elementos formes	E-formes.mth			Ausencia

	Año	Muestra	Fecha	Origen	
	1999	8827	14/04/1999	Manantial San José	
Parámetro	Método	Unidades		Límite	Resultado
13 Color	Color.mth.	mg/l Pt/Co		3 mg/l	<3
24 Turbidez	Turbidez.mth.	U.N.F.	0.40 UNF	0.85	
11 Olor	Olor.mth.			n.d.	n.d.
12 Sabor	Sabor.mth.			n.d.	n.d.
398 Temperatura "in situ"	Temperat.mth.	°C		1 °C	18
5 pH	pH.mth.	Unidad pH		0.1	7.7
155 Conductividad a 20°C	Conducti.mth.	µS/cm		1 µS/cm	538
14 Cloruros	Cloruti1.mth.	mg/l Cl		4.0 mg/l	20.5
15 Sulfatos	Plasma2.mth.	mg/l SO4		4.0 mg/l	79.4
89 Silice (SiO2)	Silice.mth.	mg/l		1 mg/l	9
30 Calcio	Plasma2.mth.	mg/l Ca		0.2 mg/l	75.3
31 Magnesio	Plasma2.mth.	mg/l Mg		0.2 mg/l	32.2
28 Sodio	Sodio1.mth.	mg/l Na		2.0 mg/l	14.7
29 Potasio	Potasio1.mth.	mg/l K		2.0 mg/l	2.7
60 Aluminio	Plasma1.mth.	mg/l Al		0.10 mg/l	<0.10
18 Dureza	Plasma2.mth.	°F	0.2 °F		32.1
32 Residuo seco 180 °C	Reseco.mth.	mg/l	30 mg/l		386
17 Carbonatos	Alcalini.mth.	mg/l	3 mg/l		<3
16 Bicarbonatos	Alcalini.mth.	mg/l		3 mg/l	276
7 Amoniaco	.	mg/l		0.1 mg/l	<0.1
9 Nitratos	Nitrato1.mth.	mg/l NO3		3.0 mg/l	14.9
8 Nitritos	Nitritos.mth.	mg/l NO2		0.01 mg/l	<0.01
90 Nitrógeno Kjeldahl	N-Kjeld.mth.	mg/l N		1.0 mg/l	<1.0
25 Oxidabilidad	Oxidabil.mth.	mg/l O2		0.5 mg/l	0.6
138 Hidrógeno sulfurado	Organoleptico			n.d.	n.d.
48 Aceites minerales	Aceit-ir2.mth	µg/l		10 µg/l	<10
38 Fenoles	Feno2.mth	µg/l		0.50 µg/l	<0.50
37 Agentes tensioactivos	Detergen.mth.	µg/l		20 µg/l	<20
2 Hierro	Plasma1.mth.	µg/l Fe		10 µg/l	<10
4 Manganese	Plasma1.mth.	µg/l Mn		1 µg/l	<1
61 Cobre	Plasma1.mth.	µg/l Cu		20 µg/l	<20
3 Zinc	Plasma1.mth.	µg/l Zn		20 µg/l	<20
21 Fosforo (P2O5)	Fosforo1.mth.	µg/l P2O5		0.10 mg/l	878
27 Fluor	Fluor2.mth.	µg/l F		15 µg/l	136
552 Cloro residual "in situ"	Clororess.mth.	mg/l Cl		0.1 mg/l	0.9
73 Plata	Plasma1.mth.	µg/l Ag		10 µg/l	<10
67 Arsenico	Plasma3.mth.	µg/l As		20 µg/l	<20
62 Cadmio	Plasma1.mth.	µg/l Cd		3 µg/l	<3
50 Cianuros libres	Cianuro1.mth.	µg/l CN		5 µg/l	<5
56 Cromo	Plasma1.mth.	µg/l Cr		10 µg/l	<10
1 Mercurio	Mercu-gh.mth.	µg/l Hg		0.5 µg/l	<0.5
66 Niquel	Plasma1.mth.	µg/l Ni		10 µg/l	<10
65 Plomo	Plomo-cg.mth.	µg/l Pb		10 µg/l	<10
68 Antimonio	Plasma3.mth.	µg/l Sb		10 µg/l	<10
69 Selenio	Plasma3.mth.	µg/l Se		10 µg/l	<10
51 Plaguicidas	de gases	µg/l			<0.50

151 organoclorados	Ocl1.mth.	µg/l		
355 Trifluralin	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
176 alfa-HCH	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
356 Hexaclorobenceno	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
177 beta-HCH	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
178 Lindano	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
179 delta-HCH	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
180 Heptaclor	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
181 Aldrin	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
182 Heptaclor-epox	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
183 Endosulfan 1	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
184 DDE+Dieldrin	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
185 Endrin	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
186 Endosulfan 2	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
187 DDD	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
188 Endrin-aldehido	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
189 Endosulfan sulfato	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
190 DDT	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
152 os	Op1.mth.	µg/l	-	
191 Diclorfention	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
192 Fenclofros	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
193 Fenitronion	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
194 Clorpirimofos+Etil-paration	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
195 Metil-Bromofos	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
196 Etil-Bromofos	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
197 Clorfenvinfos	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
198 Tetraclorvinfos	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
199 Metidation	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
55 HPA	Hpa1.mth	µg/l	<0.20	
200 Fluoranteno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
201 Benzo (b) Fluoranteno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
202 Benzo (k) Fluoranteno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
203 Benzo (a) Pireno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
204 Benzo (g,h,i) Perileno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
205 Pireno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
77 Coliformes totales	Colitot2.mth.	ufc/100ml	0	
78 Coliformes fecales	Colifec2.mth.	ufc/100ml	0	
79 Estreptococos fecales	EstrepI2.mth.	ufc/100ml	0	
81 Clostridios sulfitorreduc	Clostri3.mth	ufc/20ml	0	
142 22°C	Bactaer1.mth.	ufc/ml	1 ufc	6
143 37°C	Bactaer2.mth.	ufc/ml	1 ufc	14
80 Salmonella spp.	Salmon.mth.	/1000ml	Ausencia	
87 Elementos formes	E-formes.mth	/ml	Ausencia	

Año	Muestra	Fecha	Origen	
2000	9188	11/04/2000	Manantial de San José	
Parámetro	Método	Unidades	Límite	Resultado
11 Olor	Olor.mth.		n.d.	n.d.
12 Sabor	Sabor.mth.		n.d.	n.d.
5 pH	pH.mth.	Unidad pH	0.1	7.6
155 Conductividad a 20°C	Conducti.mth.	µS/cm	1 µS/cm	565
398 Temperatura "in situ"	Temperat.mth.	°C	1.0 °C	17.5
24 Turbidez	Turbidez.mth.	U.N.F.	0.4 UNF	2.1
9 Nitratos	Nitrato1.mth.	mg/l	1.0 mg/l	17.9
8 Nitritos	Nitritos.mth.	mg/l	0.01 mg/l	<0.01
7 Amoniaco	Amoniaco.mth.	mg/l	0.1 mg/l	<0.1
25 Oxidabilidad	Oxidabil.mth.	mg/l O ₂	0.5 mg/l	<0.5
552 Cloro residual "in situ"	Clorores.mth.	mg/l	0.1 mg/l	1.1
77 Coliformes totales	Colitol2.mth.	ufc/100 ml		0
78 Coliformes fecales	Colifec2.mth.	ufc/100 ml		0
79 Estreptococos fecales	Estrep2.mth.	ufc/100 ml		0
81 Clostridios sulfitorreduc	Clostri3.mth	ufc/20 ml		0
142 Gérmenes totales a 22°C	Bactaer1.mth.	ufc/ml	1 ufc	14
143 Gérmenes totales a 37°C	Bactaer2.mth.	ufc/ml	1 ufc	8

	Año	Muestra	Fecha	Origen	
	2000	32470	10/11/2000	Manantial de San José	
Parametro	Método	Unidades		Limite	Resultado
5 pH	pH.mth.	Unidad pH		7.6	
155 Conductividad a 20°C	Conducti.mth.	µS/cm	2 µS/cm	463	
17 Carbonatos	Alcalini.mth.	mg/l CaCO ₃	1.5 mg/l	<1.5	
16 Bicarbonatos	Alcalini.mth.	mg/l HCO ₃	1.5 mg/l	245.8	
14 Cloruros	Cloruti1.mth.	mg/l	4.0 mg/l	17.3	
15 Sulfatos	ICP-Plasma2.mth.	mg/l	4.0 mg/l	39.0	
9 Nitratos	Nitroato1.mth.	mg/l	0.5 mg/l	13.3	
30 Calcio	ICP-Plasma2.mth.	mg/l	0.2 mg/l	54.7	
31 Magnesio	ICP-Plasma2.mth.	mg/l	0.2 mg/l	24.8	
28 Sodio	ICP-Plasma2.mth.	mg/l	2 mg/l	9	
29 Potasio	Potasio1.mth.	mg/l	2.0 mg/l	<2.0	

Año	Muestra	Fecha	Origen	
2004	12902	23/04/2004	Manantial de San José	
Parámetro	Método	Unidades	Límite	Resultado
5 pH	EL/002-a	Unidad pH	1.0	7.9
155 Conductividad a 20°C	EL/001-a	µS/cm	2 µS/cm	323
25 Oxidabilidad	VL/011-a	mg/l	0.5 mg/l	1.5
39 Sulfuros	ORG/005	mg/l	n.d.	n.d.
13 Color	EA/002-a	mg/l Pt/Co	3 mg/l	19
230 Hierro (total)	ICP/002-a	µg/l	50 µg/l	198
232 Manganese (total)	ICP/002-a	µg/l	5 µg/l	8
222 Aluminio (total)	ICP/002-a	µg/l	100 µg/l	284
24 Turbidez	NF/001-a	U.N.F.	0.4 UNF	12.0
8 Nitritos	EA/015-a	mg/l	0.01 mg/l	<0.01
7 Amoniaco	EA/017-a	mg/l	0.05 mg/l	0.18
77 Coliformes totales	FIL/003-a	ufc/100 ml	>200	
97 Escherichia coli	FIL/004-a	ufc/100 ml	>200	
167 Clostridium perfringens	FIL/006-a	ufc/100 ml	2	
142 Gérmenes totales a 22°C	RCP/001-a	ufc/ml	1 ufc/ml	>300

5.2. Análisis del sondeo de abastecimiento Pipa (FACSA)

	Año	Muestra	Fecha	Origen	Límite	Resultado
	1998		10955 21/05/1998	SONDEO PIPA II		
Parámetro		Método		Unidades		
13 Color		Color.mth.		mg/l Pt/Co	2 mg/l	<2
24 Turbidez		Turbidez.mth.		U.N.F.	0.4 UNF	tierra
11 Olor		Olor.mth.			n.d.	n.d.
12 Sabor		Sabor.mth.			n.d.	-
398 Temperatura "in situ"		Temperat.mth.		°C	1 °C	-
5 pH		pH.mth.		Unidad pH	0.1	7.3
155 Conductividad a 20°C		Conducti.mth.		µS/cm	1 µS/cm	648
14 Cloruros		Cloruti1.mth.		mg/l Cl	4 mg/l	19.24
15 Sulfatos		Plasma2.mth.		mg/l SO4	0.5 mg/l	51.3
89 Silice (SiO2)		Plasma2.mth.		mg/l	0.03 mg/l	15.09
30 Calcio		Plasma2.mth.		mg/l Ca	0.05 mg/l	41.63
31 Magnesio		Plasma2.mth.		mg/l Mg	0.02 mg/l	63.79
28 Sodio		Plasma2.mth.		mg/l Na	0.4 mg/l	20.26
29 Potasio		Potasio1.mth.		mg/l K	2 mg/l	3.85
60 Aluminio		Plasma1.mth.		mg/l Al	0.1 mg/l	<0.1
18 Dureza		Plasma2.mth.		°F	0.02 °F	36.66
32 Residuo seco 180 °C		Reseco.mth.		mg/l	30 mg/l	424
17 Carbonatos		Alcalini.mth.		mg/l	3 mg/l	<3
16 Bicarbonatos		Alcalini.mth.		mg/l	3 mg/l	396.5
7 Amoniaco		Amoniaco.mth.		mg/l	0.1 mg/l	<0.1
9 Nitratos		Nitroato1.mth.		mg/l NO3	1 mg/l	4
8 Nitritos		Nitritos.mth.		mg/l NO2	0.01 mg/l	<0.01
90 Nitrógeno Kjeldahl		N-Kjeld.mth.		mg/l N	1 mg/l	<1
25 Oxidabilidad		Oxidabil.mth.		mg/l O2	0.5 mg/l	0.95
138 Hidrógeno sulfurado		Organoleptico			n.d.	n.d.
48 Aceites minerales		Aceit-ir.mth		µg/l	10 µg/l	<10
38 Fenoles		Fenol2.mth		µg/l	0.5 µg/l	<0.5
37 Agentes tensioactivos		Detergen.mth.		µg/l	20 µg/l	21
2 Hierro		Plasma1.mth.		µg/l Fe	10 µg/l	<10
4 Manganese		Plasma1.mth.		µg/l Mn	1 µg/l	<1
61 Cobre		Plasma1.mth.		µg/l Cu	5 µg/l	<5
3 Zinc		Plasma1.mth.		µg/l Zn	20 µg/l	<20
21 Fosforo (P2O5)		Plasma2.mth.		µg/l P2O5	500 µg/l	<500
27 Fluor		Fluor2.mth.		µg/l F	10 µg/l	216
92 Cloro residual		Clororess.mth.		mg/l Cl	0.1 mg/l	<0.1
73 Plata		Plasma1.mth.		µg/l Ag	10 µg/l	<10
67 Arsenico		Plasma3.mth.		µg/l As	5 µg/l	<5
62 Cadmio		Plasma1.mth.		µg/l Cd	1 µg/l	<1
50 Cianuros libres		Cianuro1.mth.		µg/l CN	5 µg/l	<5
56 Cromo		Plasma1.mth.		µg/l Cr	10 µg/l	<10
1 Mercurio		Mercu-gh.mth.		µg/l Hg	0.8 µg/l	<0.8
66 Niquel		Plasma1.mth.		µg/l Ni	10 µg/l	<10
65 Plomo		Plasma3.mth.		µg/l Pb	10 µg/l	<10
68 Antimonio		Plasma3.mth.		µg/l Sb	5 µg/l	<5
69 Selenio		Plasma3.mth.		µg/l Se	6 µg/l	<6
51 Plaguicidas		Cromatografia de gases		µg/l		<0.5

151	Plaguicid. organoclorados	Ocl1.mth.	µg/l		
355	Trifluralin	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
176	alfa-HCH	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
356	Hexaclorobenceno	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
177	beta-HCH	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
178	Lindano	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
179	delta-HCH	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
180	Heptaclor	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
181	Aldrin	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
182	Heptaclor-epox	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
183	Endosulfan 1	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
184	DDE+Dieldrin	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
185	Endrin	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
186	Endosulfan 2	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
187	DDD	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
188	Endrin-aldehido	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
189	Endosulfan sulfato	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
190	DDT	Ocl1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
152	Plaguici.organofosforados	Op1.mth.	µg/l		
191	Diclorfention	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
192	Fenclorfos	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
193	Fenitration	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
194	Clorpirifos+Etil-paration	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
195	Metyl bromofos	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
196	Etil bromofos	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
197	Clofenvinfos	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
198	Tetraclorvinfos	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
199	Metidation	Op1.mth.	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
55	HPA	Hpa1.mth	µg/l		<0.2
200	Fluoranteno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
201	Benzo (b) Fluoranteno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
202	Benzo (k) Fluoranteno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
203	Benzo (a) Pireno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
204	Benzo (g,h,i) Perileno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
205	Indeno (1,2,3,c,d) Pireno	Hpa1.mth	µg/l	0.01 µg/l	<0.01
77	Coliformes totales	Colitol2.mth.	ufc/100ml	1 ufc	5
78	Coliformes fecales	Colifec2.mth.	ufc/100ml	1 ufc	1
79	Estreptococos fecales	Estrept2.mth.	ufc/100ml	1 ufc	<1
81	Clostridios sulfitorreduc	Clostri3.mth	ufc/20ml	1 ufc	<1
142	Gérmenes totales a 22°C	Bactaer1.mth.	ufc/ml	1 ufc	209
143	Gérmenes totales a 37°C	Bactaer2.mth.	ufc/ml	1 ufc	270
80	Salmonella spp.	Salmon.mth.	/1000ml		Ausencia
87	Elementos formes	E-formes.mth			Ausencia

	Año	Muestra	Fecha	Origen
	2000	32464	10/11/2000	POZO PIPA II -
Parametro	Método	Unidades	Límite	Resultado
5 pH	pH.mth.	Unidad pH	7.4	
155 Conductividad a 20°C	Conducti.mth.	µS/cm	2 µS/cm	608
17 Carbonatos	Alcalini.mth.	mg/l CaCO3	1.5 mg/l	<1.5
16 Bicarbonatos	Alcalini.mth.	mg/l HCO3	1.5 mg/l	386.7
14 Cloruros	Cloruti1.mth.	mg/l	4.0 mg/l	19.7
15 Sulfatos	ICP-Plasma2.mth.	mg/l	4.0 mg/l	34.5
9 Nitratos	Nitrato1.mth.	mg/l	0.5 mg/l	6.1
30 Calcio	ICP-Plasma2.mth.	mg/l	0.2 mg/l	42.7
31 Magnesio	ICP-Plasma2.mth.	mg/l	0.2 mg/l	56.6
28 Sodio	ICP-Plasma2.mth.	mg/l	2 mg/l	17
29 Potasio	Potasio1.mth.	mg/l	2.0 mg/l	3.0

Año	Muestra	Fecha	Origen	
2003	37994	13/11/2003	POZO PIPA II -	
Parametro	Método	Unidades	Límite	Resultado
5 pH	EL/002-a	Unidad pH	1.0	7.8
155 Conductividad a 20°C	EL/001-a	µS/cm	2 µS/cm	762
25 Oxidabilidad	VL/011-a	mg/l	0.5 mg/l	0.6
230 Hierro (total)	ICP/006-a	mg/l	20 µg/l	0.836
232 Manganese (total)	ICP/006-a	mg/l	5 µg/l	0.023
77 Coliformes totales	FIL/003-a	ufc/100 ml		3
97 Escherichia coli	FIL/004-a	ufc/100 ml		0
81 Clostridios sulfitorreduc	FIL/001-a	ufc/100 ml		0
142 Gérmenes totales a 22°C	RCP/001-a	ufc/ml	1 ufc/ml	34

Año	Muestra	Fecha	Origen	
2004	3872	05/02/2004	POZO PIPA II -	
Parámetro	Método	Unidades	Límite	Resultado
5 pH	EL/002-a	Unidad pH	1.0	7.7
155 Conductividad a 20°C	EL/001-a	µS/cm	2 µS/cm	748
25 Oxidabilidad	VL/011-a	mg/l	0.5 mg/l	<0.5
39 Sulfuros	ES/004-a	mg/l	0.4 mg/l	<0.4
230 Hierro (total)	ICP/002-a	µg/l	50 µg/l	404
4 Manganeso	ICP/002-a	µg/l	5 µg/l	16
77 Coliformes totales	FIL/003-a	ufc/100ml		0
97 Escherichia coli	FIL/004-a	ufc/100ml		0
142 Gérmenes totales a 22°C	RCP/001-a	ufc/ml	1 ufc/ml	54
167 Clostridium perfringens	FIL/006	ufc/100 ml		0

	Año	Muestra	Fecha	Origen	
	2004	12901	23/04/2004	POZO PIPA II -	
Parámetro	Método	Unidades	Límite	Resultado	
5 pH	EL/002-a	Unidad pH	1.0	7.7	
155 Conductividad a 20°C	EL/001-a	µS/cm	2 µS/cm	663	
25 Oxidabilidad	VL/011-a	mg/l	0.5 mg/l	<0.5	
39 Sulfuros	ORG/005	mg/l	n.d.	n.d.	
13 Color	EA/002-a	mg/l Pt/Co	3 mg/l	<3	
230 Hierro (total)	ICP/002-a	µg/l	50 µg/l	504	
232 Manganeso (total)	ICP/002-a	µg/l	5 µg/l	25	
24 Turbidez	NF/001-a	U.N.F.	0.4 UNF	4.1	
77 Coliformes totales	FIL/003-a	ufc/100 ml		0	
97 Escherichia coli	FIL/004-a	ufc/100 ml		0	
167 Clostridium perfringens	FIL/006-a	ufc/100 ml		0	
142 Gérmenes totales a 22°C	RCP/001-a	ufc/ml	1 ufc/ml	5	

5.3. Análisis de elementos traza del agua de la cueva de Sant Josep y de la depuradora de Alfondeguilla (IGME)



MINISTERIO
DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA



Instituto Geológico
y Minero de España

PROCEDIMIENTO DE DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS TRAZA EN MUESTRAS DE AGUAS.
MÉTODO ESPECTROMÉTRICO ICP-MS

PTE-Q-046
HOJA DE RESULTADOS

Fecha de entrada: 12-3-04
Fecha de salida: 22-3-04

DTT: 04/093
OTL: QG-02

MUESTRA	Equipo: QU-079																				Otras determinaciones	
	Ag (µg/L)	Al (µg/L)	As (µg/L)	Ba (µg/L)	Be (µg/L)	Cd (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (µg/L)	Cu (µg/L)	Hg (µg/L)	Mn (µg/L)	Mo (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Sb (µg/L)	Se (µg/L)	Th (µg/L)	Ti (µg/L)	U (µg/L)	V (µg/L)	Zn (µg/L)	
SJ-1-M	9,7	16,7	1,6	84,7	< 1	< 0,5	0,32	3,3	1,4	< 0,5	0,62	1,1	< 2	0,68	0,21	< 5	< 0,2	< 0,2	2,0	1,1	5,5	Inap (*)
SJ-2-M	4,4	19,7	1,7	82,8	< 1	< 0,5	0,33	3,2	1,5	< 0,5	1,5	0,99	< 2	1,1	0,21	< 5	< 0,2	< 0,2	2,0	1,1	4,3	Inap (*)
SJ-3-M	1,7	19,2	1,6	53,0	< 1	2,8	0,32	2,6	2,2	< 0,5	1,2	0,96	< 2	0,40	0,20	< 5	< 0,2	< 0,2	2,0	1,1	3,9	Inap (*)
SJ-4-M	1,3	22,7	1,6	87,8	< 1	1,4	0,37	3,9	3,1	< 0,5	1,5	1,0	< 2	1,9	0,21	< 5	< 0,2	< 0,2	2,1	1,2	5,6	Inap (*)
DA-1-M	2,9	1562	4,0	63,0	< 1	< 0,5	0,96	8,7	33,1	< 0,5	33,1	1,7	5,8	5,0	0,42	< 5	< 0,2	< 0,2	3,1	4,5	101	0,2
OBSERVACIONES:																						Inap (*): Indetectable

5.4. Análisis de isótopos estables del agua de la cueva de Sant Josep (IGME)

ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES

Muestras	$\delta^{18}\text{O}_{\text{vsmow}}(\text{\textperthousand})$	$\delta\text{D}_{\text{vsmow}}(\text{\textperthousand})$
SJ 1 OD	-6,3	-39,7
SJ 2 OD	-6,2	-39,4
SJ 3 OD	-6,3	-39,6
SJ 4 OD	-6,3	-38,2

**5.5. Caudales mensuales de abastecimiento del manantial de Sant Josep y del
sondeo Pipa (FACSA)**

GRUTAS SAN JOSE-PIPA

AÑO 1997	GRUTAS	PIPA	M3 Grutas+Pipa
SEPTIEMBRE	69.892		69.892
OCTUBRE	57.472		57.472
NOVIEMBRE	55.846		55.846
DICIEMBRE	45.847		45.847
TOTAL 1997	229.057		229.057
AÑO 1998	GRUTAS	PIPA	MEDIA l/min.PIPA
			M3 Grutas+Pipa
ENERO	71.664		71.664
FEBRERO	160.441		160.441
MARZO	84.897		84.897
ABRIL	68.621		68.621
MAYO	81.487		81.487
JUNIO	56.033		56.033
JULIO	37.805	157.850	195.655
AGOSTO	35.878	169.416	205.294
SEPTIEMBRE	33.328	164.082	197.410
OCTUBRE	17.613	174.255	191.868
NOVIEMBRE	15.734	179.947	4.221,19 195.681
DICIEMBRE	83.783	147.280	4.107,70 231.063
TOTAL 1998	747.284	992.830	4.164,45 1.740.114
AÑO 1999	GRUTAS	PIPA	MEDIA l/min.PIPA
			M3 Grutas+Pipa
ENERO	19.103	201.011	4.509,27 220.114
FEBRERO	13.340	173.071	4.375,01 186.411
MARZO	56.128	187.701	4.237,90 243.829
ABRIL	28.986	178.508	4.115,73 207.494
MAYO	16.881	174.591	3.940,63 191.472
JUNIO	17.046	158.242	3.786,38 175.288
JULIO	10.509	169.302	3.785,43 179.811
AGOSTO	21.903	151.926	3.471,12 173.829
SEPTIEMBRE	16.074	154.321	3.557,56 170.395
OCTUBRE	30.365	141.562	3.394,33 171.927
NOVIEMBRE	6.773	149.350	3.496,72 156.123
DICIEMBRE	5.551	152.132	3.466,44 157.683
TOTAL 1999	242.659	1.991.717	3.844,71 2.234.376

GRUTAS SAN JOSE-PIPA

AÑO 2000	GRUTAS	PIPA	MEDIA l/min.PIPA	M3 Grutas+Pipa
ENERO	18.774	144.298	3.422,22	163.072
FEBRERO	5.002	147.220	3.540,31	152.222
MARZO	24.849	139.504	4.515,13	164.353
ABRIL	11.503	140.063	3.245,01	151.566
MAYO	13.810	145.202	3.252,28	159.012
JUNIO	12.859	141.802	3.283,45	154.661
JULIO	6.135	147.126	3.319,09	153.261
AGOSTO	2.570	146.489	3.288,97	149.059
SEPTIEMBRE	2.167	138.433	3.207,30	140.600
OCTUBRE	29.522	110.051	3.381,07	139.573
NOVIEMBRE	203.504	4.018	4.018,00	207.522
DICIEMBRE	134.428	49.375	3.511,46	183.803
TOTAL 2000	465.123	1.453.581	3.498,69	1.918.704

AÑO 2001	GRUTAS	PIPA	MEDIA l/min.PIPA	M3 Grutas+Pipa
ENERO	85.670	120.605	2.686,12	206.275
FEBRERO	63.873	96.794	2.587,94	160.667
MARZO	55.264	121.185	2.711,46	176.449
ABRIL	41.406	115.632	2.683,11	157.038
MAYO	25.741	126.683	2.809,85	152.424
JUNIO	24.609	113.043	2.654,01	137.652
JULIO	21.697	112.128	2.507,19	133.825
AGOSTO	38.587	89.057	2.022,15	127.644
SEPTIEMBRE	45.761	92.392	2.096,11	138.153
OCTUBRE	25.282	122.703	2.756,12	147.985
NOVIEMBRE	105.835	88.731	2.577,46	194.566
DICIEMBRE	82.542	101.368	2.471,42	183.910
TOTAL 2001	616.267	1.300.321	2.546,91	1.916.588

GRUTAS SAN JOSE-PIPA

AÑO 2002	GRUTAS	PIPA	MEDIA l/min.PIPA	M3 Grutas+Pipa
ENERO	159.296	46.684	2.347,27	205.980
FEBRERO	90.006	92.398	2.276,23	182.404
MARZO	72.142	107.048	2.410,76	179.190
ABRIL	152.975	43.349	2.267,85	196.324
MAYO	141.983	56.192	2.218,59	198.175
JUNIO	155.597	71.154	1.897,77	226.751
JULIO	144.893	80.509	1.875,48	225.402
AGOSTO	129.537	93.720	2.105,28	223.257
SEPTIEMBRE	96.217	94.478	2.201,32	190.695
OCTUBRE	80.501	100.488	2.302,37	180.989
NOVIEMBRE	60.192	101.505	2.396,20	161.697
DICIEMBRE	62.805	103.216	2.331,28	166.021
TOTAL 2002	1.346.144	990.741	2.219,20	2.336.885

GRUTAS SAN JOSE-PIPA

AÑO 2003	GRUTAS	PIPA	MEDIA l/min.PIPA	M3 Grutas+Pipa
ENERO	53.046	100.253	2.381,50	153.299
FEBRERO	54.139	89.437	2.239,34	143.576
MARZO	64.624	93.171	2.102,78	157.795
ABRIL	113.115	68.830	1.604,94	181.945
MAYO	158.961	40.289	1.146,23	199.250
JUNIO	139.922	56.663	1.316,49	196.585
JULIO	108.554	54.293	1.227,53	162.847
AGOSTO	87.965	69.383	1.547,51	157.348
SEPTIEMBRE	71.385	71.385	1.817,58	142.770
OCTUBRE	53.873	86.504	1.935,96	140.377
NOVIEMBRE	51.596	70.279	1.710,10	121.875
DICIEMBRE	58.373	74.167	1.649,98	132.540
TOTAL 2003	1.015.553	874.654	1.723,33	1.890.207

AÑO 2004	GRUTAS	PIPA	MEDIA l/min.PIPA	M3 Grutas+Pipa
ENERO	50.272	72.176	1.637,74	122.448
FEBRERO	50.167	71.932	1.717,36	122.099
MARZO	53.307	72.410	1.640,31	125.717
ABRIL	157.316	14.952	1.340,98	172.268
TOTAL 2004	311.062	231.470	1.584,10	542.532

ANEJO 6. INFORME DE ESPELEOBUCEO

**INFORME SOBRE LA EXPLORACIÓN ESPELEOLÓGICA REALIZADA EN EL TRAMO
FINAL DE LA CUEVA DE SAN JOSÉ (VALL D'UIXÓ)**

El presente informe se refiere a la exploración espeleológica del tramo final de la cueva de Sant Josep, a partir del primer sifón hasta la superación del quinto y último sifón conocido hasta la fecha. La superación de los sifones requirió técnicas de **espeleobuceo**. La exploración fue realizada los días 2 y 3 de julio de 2004, con el objetivo de adquirir información directa sobre ese tramo de la cavidad para el estudio: "Informe de valoración de impacto de las obras del trasvase del Ebro sobre el sistema kárstico de la Cova de Sant Josep", que realiza el IGME para TRASAGUA.

Los trabajos tuvieron el siguiente desarrollo:

- Viernes 2 de julio: entrada a las 18³⁰ y salida a las 20⁰⁰. En este día se transportó casi todo el material, incluido las botellas. Se pasaron dos botellas hasta el segundo sifón para agilizar los trabajos del día siguiente.
- Sábado 3 de julio: entrada a las 9⁰⁰ y salida a las 18¹⁵. Se entró el material que faltaba y se realizó el recorrido completo a través de los cinco sifones.

Magnitud de los sifones y particularidades para su exploración

Las medidas orientativas y características de los sucesivos sifones son:

- 1º Sifón: tiene, aproximadamente, 6 m de recorrido. Se encuentra instalado. No presenta ningún problema de paso, aunque el cabo debería encontrarse instalado más al centro del paso, pues queda muy metido en un rincón lateral.
- 2º Sifón: cuenta con unos 8 m de recorrido. Se encuentra instalado y fue superado sin problemas.
- 3º Sifón: de unos 40 m. Se encuentra instalado. La instalación del cabo guía es muy precaria, incluso peligrosa. Durante el buceo, en este sifón se enturbia mucho el agua, permitiendo una visibilidad de apenas 20 cm. El cabo guía instalado se ha movido, quedando alojado entre grietas y no es posible pasar siguiendo el cabo. Desde el inicio del cruce del sifón, a los 20 metros se ha de girar a la derecha. La salida del sifón requiere toma de impulso desde fondo del agua para alcanzar superficie y agarrarse a la roca.

- 4º Sifón: es de unos 20 metros de recorrido, no encontrándose instalado. La entrada a este sifón está casi tapada por cantes rodados, lo que hace difícil y muy arriesgado atravesarlo. Una vez pasado este hueco sumergido, la cueva se ensancha.
- 5º Sifón: cuenta con un desarrollo de unos 8 m y, al igual que el anterior, tampoco se encuentra instalado (no obstante, se pudo observar tras atravesarlo la existencia de un cable que se hundía entre los cantes rodados del fondo). No presentó problemas para superarse.

De forma general, se puede concluir que los cables de las líneas instaladas están en situación precaria y no son un cordón idóneo para espeleobuceo. Se deberían sustituir por una instalación adecuada.

Se ha de tener especial precaución con la rápida reacción de los niveles de los sifones frente las lluvias. Se pudo constatar que, tras las lluvias de la noche del 2 al 3 de julio, el nivel llegó a crecer unos 40 cm en los sifones.

A la salida del 5º sifón aparece una galería de base redonda y unos 8 metros de altura sin agua, y con una increíble acumulación de espeleotemas en el centro. Por un lateral se oye paso de agua con cierta fuerza.

Otros aspectos observados

En cuanto a la presencia de **espeleotemas**, se han podido observar entre el 4º y el 5º sifón (principalmente, de tipo *banderas*) y, especialmente, tras superar el 5º sifón, donde la zona central de la galería aparece con una altísima densidad de espeleotemas.

En lo que se refiere a **rellenos detriticos**, aparecen depósitos abundantes de gravas redondeadas, así como distintos residuos (principalmente, cascotes de ladrillos y vidrio) en la gran galería situada entre los sifones 3º y 4º. La entrada a este 4º sifón aparece casi tapada por gravas fluviales. También destaca la presencia de estos rellenos a la entrada del 5º sifón, formados por abundantes gravas subredondeadas con matriz arcillosa. Se ha podido observar, al menos, una fase de relleno detritico, posterior a la formación de los espeleotemas, seguida de otra de erosión de los sedimentos detriticos.

Se ha observado que las **crecidas de agua**, de rápida respuesta frente a la lluvia, invaden y arrasan toda la sección de la galería donde se encuentran los sifones, pues se ha encontrado suciedad enganchada en estalactitas.

Las **pendientes del techo** son muy pequeñas, casi subhorizontales. Entre el 4º y el 5º sifón, la **altura** de la galería es de unos 10 m.

Intentos de localización de puntos o sectores significativos

Se intentó localizar las señales del sondeo S-2 en el techo de la galería, especialmente en el sector comprendido entre los sifones 4º y 5º. La gran irregularidad del techo, con alta densidad de grietas y pequeños conductos existentes, impidió detectar ningún vestigio de perforación, si bien hay que señalar que sería necesario dedicar un mayor tiempo y organización para su localización.

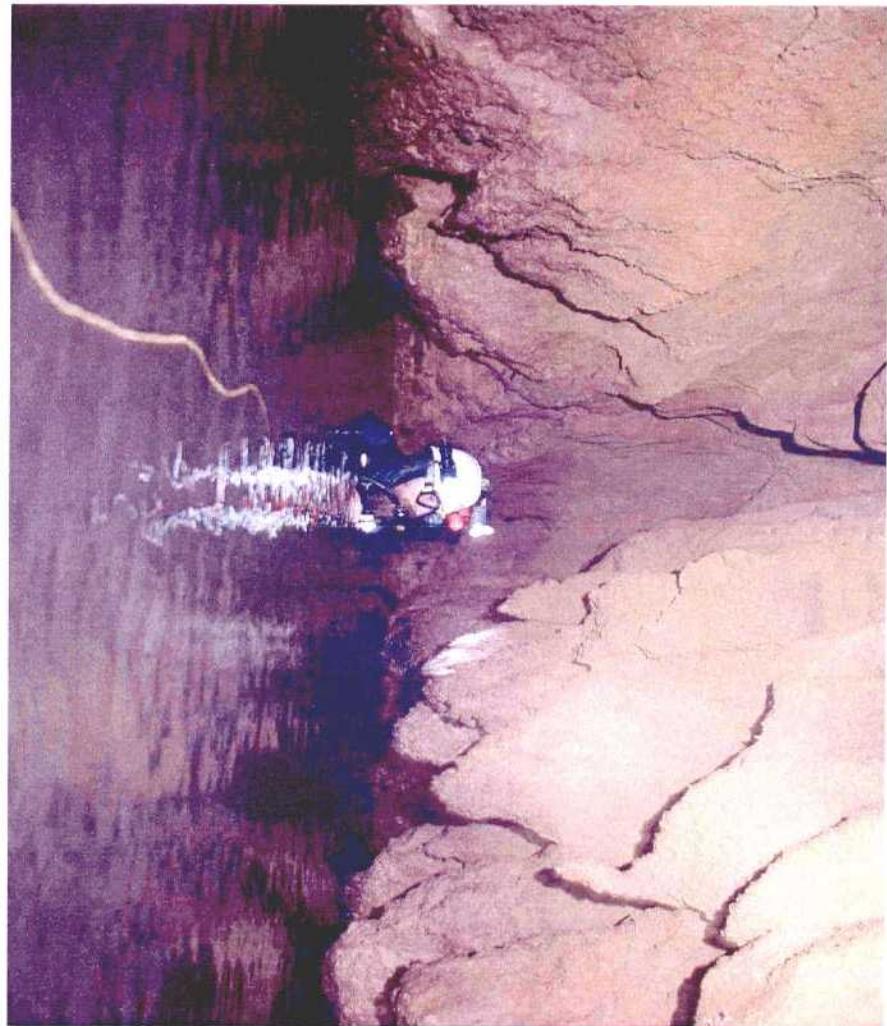
Respecto a la **galería transversal** que parte del 3º sifón y, presumiblemente, llega hasta el Avenc de la Riera, requeriría igualmente mayor tiempo y organización. Además, la visibilidad en este 3º sifón era muy escasa (unos 20 cm), debido a la alta turbidez del agua provocada por las lluvias recientes, por lo que no se consiguió reconocer el punto de conexión hacia dicha galería transversal

Juan José Rodes Martínez

Cantos y gravas fluviales, entre el 3º y 4º sifón



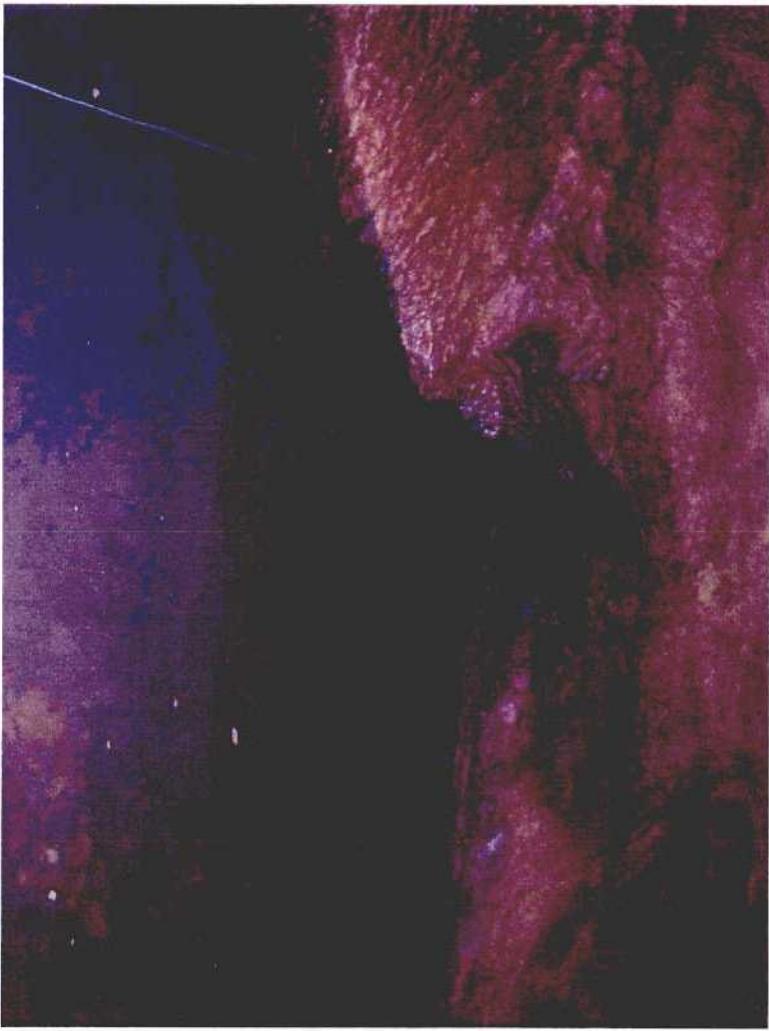
Entrada al 3º sifón

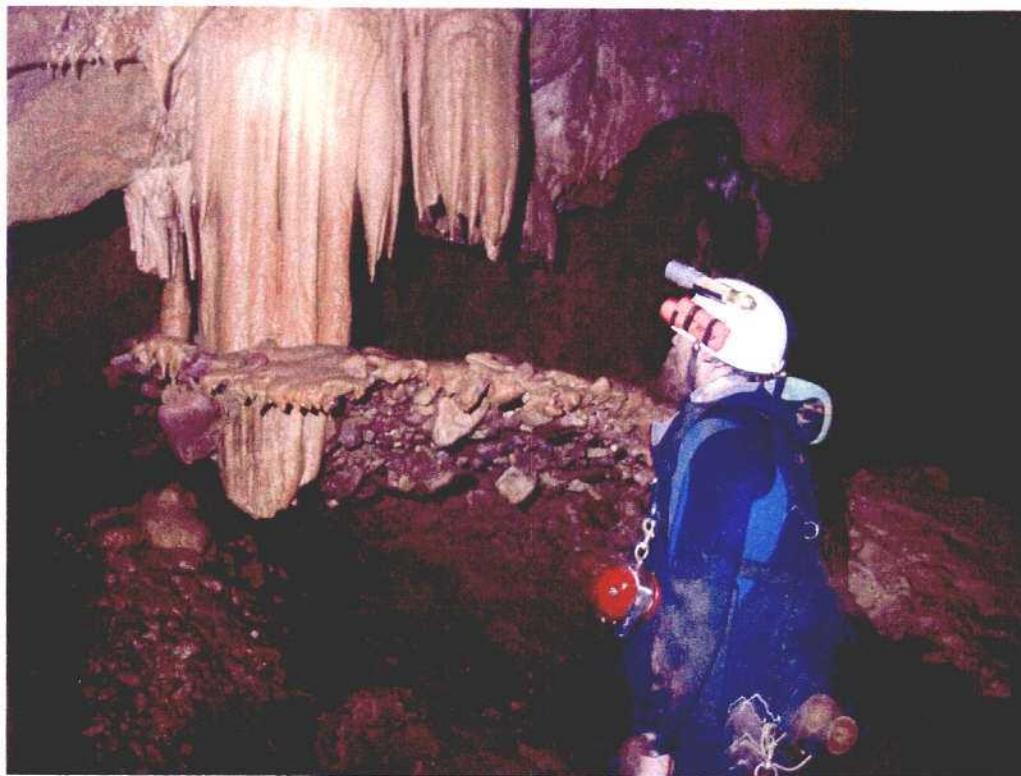


Banderas, a la salida del 4º sifón

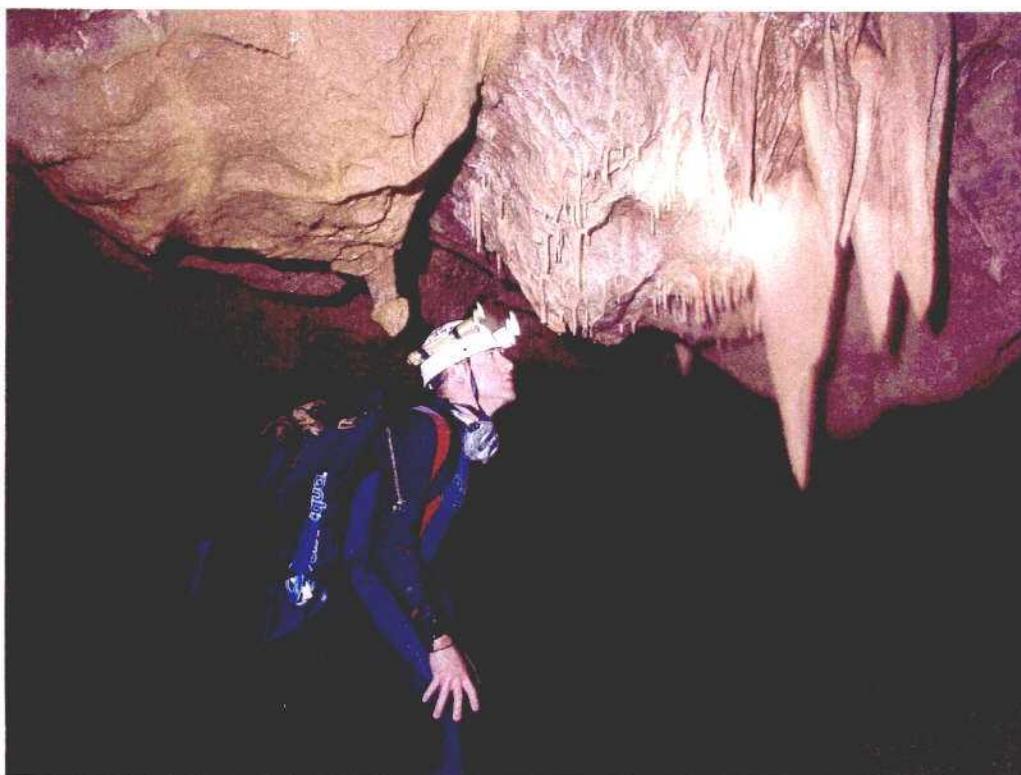


Salida del 4º sifón





Sedimentos fluviales erosionados, cubriendo parcialmente espeleotemas. Entre el 4º y 5º sifón



Espeleotemas



Detalle de espeleotemas (estalactitas, excéntricas, *macarrones*), cubiertos parcialmente por depósitos detríticos