



ITINERARIO HIDROLÓGICO POR LAS COMARCAS DE LA MARINA

José M. Andreu¹, Ernesto García-Sánchez² y Juan A. Hernández¹

1. DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MEDIO AMBIENTE (UNIVERSIDAD DE ALICANTE).

2. DEPARTAMENTO DE AGROQUÍMICA Y MEDIO AMBIENTE (UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE).

1. INTRODUCCIÓN

La fuerte expansión urbanística que en los últimos años está sufriendo el litoral del levante español, trae consigo graves problemas para garantizar el suministro de agua. La tradición agrícola de buena parte de este territorio agrava el problema al confluir los usos tradicionales agrarios con los abastecimientos urbanos e industriales. En este contexto se enmarca la franja cos-

tera de la provincia de Alicante y, en concreto, su parte septentrional. Esta zona representa una de las áreas de mayor expansión y desarrollo urbanístico de España, con Benidorm como centro turístico de primer orden.

Con el propósito de cubrir la fuerte demanda de agua que requiere esta área, en la comarca de la Marina Baja funciona desde hace varias décadas un esquema de utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas, gestionado por el Consorcio de la Marina

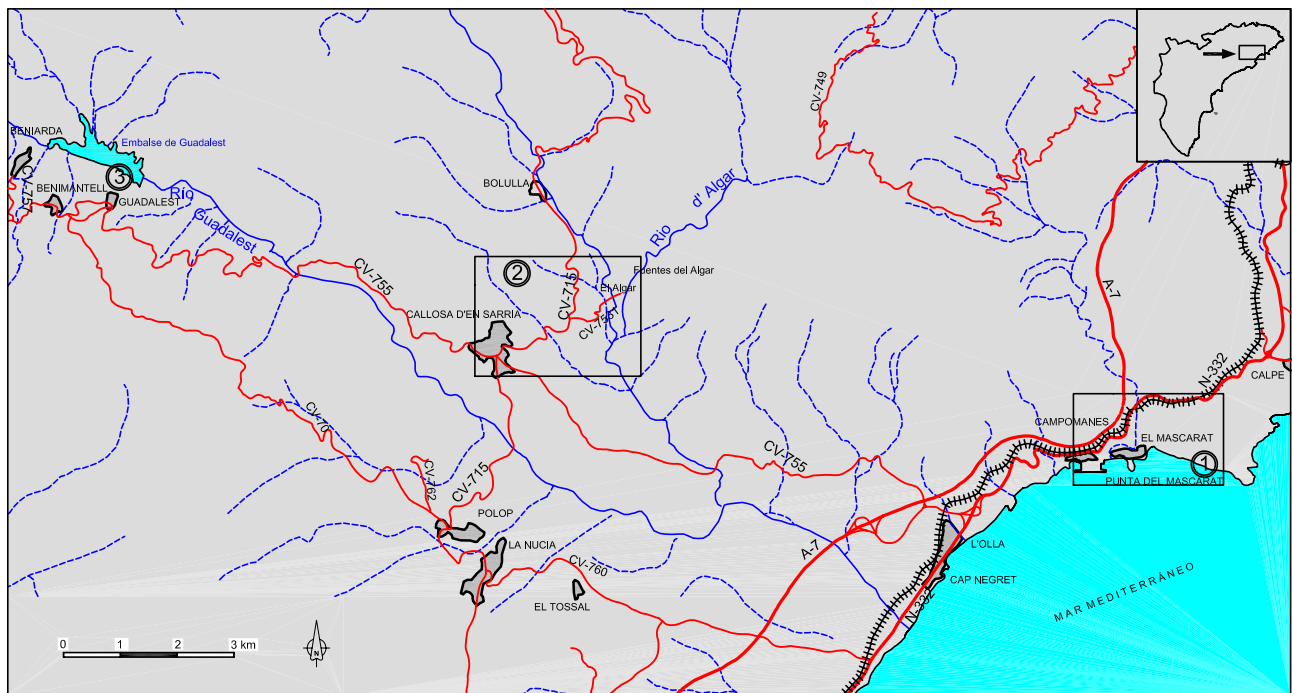


Figura 1. Localización geográfica del itinerario y de las paradas.



Baja (CMB), que en los últimos años ha sido reforzado con la incorporación de recursos externos al sistema (Canal Rabasa-Amadorio). El esquema de uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas presenta una cierta versatilidad, que permite modificaciones de acuerdo con las necesidades de los usuarios y las transformaciones socioeconómicas que se produzcan. Las limitaciones de almacenamiento que muestran por separado los embalses superficiales y subterráneos pueden reducirse mediante la utilización conjunta de ambos (Castaño et al., 2000). La confluencia de intereses agrícolas y urbanos no ha estado exenta de problemas y situaciones por falta de agua, es por ello que actualmente se está en espera de la incorporación de nuevos recursos desde el trasvase Júcar-Vinalopó.

Con el objeto de conocer la problemática de esta región, así como las alternativas y actuaciones de gestión que se vienen desarrollando en las últimas décadas, el presente itinerario se desarrolla a lo largo de un recorrido E-W entre Altea y Guadalest (Fig. 1) en el que se visitan algunas de las unidades singulares que forman parte del sistema de gestión.

2. OBJETIVOS DEL ITINERARIO

El itinerario propuesto pretende mostrar algunos de los elementos más significativos desde el punto de vista hidrológico e hidrogeológico que tienen lugar en la parte septentrional de la provincia de Alicante. Como principales objetivos se tratará de establecer la importancia que tiene el agua en un entorno geográfico que cuenta con recursos muy limitados para hacer frente a una elevada demanda hídrica y con máximos estacionales muy marcados; asimismo, se revisarán los sistemas y estrategias de gestión y uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas; conocer un caso real de gestión integral de recursos hídricos en la provincia de Alicante; caracterizar el funcionamiento hidrogeológico de diferentes acuíferos kársticos; y analizar el proceso de intrusión marina en un acuífero kárstico costero.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

A continuación se describen las principales unidades de gestión hídrica en las que se realizarán las diferentes observaciones.

El acuífero de la Depresión de Benisa

Localización

El acuífero de la Depresión de Benisa es un acuífero kárstico costero que se encuentra situado en la parte NE de la provincia de Alicante y forma parte de la Comarca de la Marina Alta. Es uno de los acuíferos más grandes de la provincia, ya que su superficie alcanza 270 km². Se extiende entre el Morro de Toix y el Cabo de San Antonio por su parte oriental, a lo largo del borde meridional del Montgó por su parte N, está limitado por las sierras de Castell de la Solana, Cocoll y la cuenca de Tárbenas por su sector occidental, y alcanza de nuevo el Morro de Toix siguiendo la dirección de la Sierra de Bernia. Dentro de este marco geográfico se encuentran poblaciones como Benisa, Benitachell, Calpe, Jávea, Senija y Teulada.

El acuífero se sitúa en una región cuyas precipitaciones medias están comprendidas entre 400 y 800 mm/año.

Descripción geológica

Desde el punto de vista geológico el acuífero de la Depresión de Benisa forma parte del denominado Prebético de Alicante de la Cordillera Bética.

Sin entrar en una descripción pormenorizada de la estratigrafía de la región, ya que ésta puede variar en algunos sectores, se ha intentado establecer una serie sintética que permita poner de manifiesto los principales tramos con interés hidrogeológico (Fig. 2). De esta forma el registro sedimentario se inicia con un tramo inferior margoso y margocalizo (Neocomiense-Barremiense) que puede considerarse el impermeable de base del sistema. Sobre éste se disponen aproximadamente 200 m de calizas pararecificales ricas en orbitolinas y rudistas (Aptiense-Albiense) al que le sigue una alternancia calizo margosa que hacia techo pasa a calizas con orbitolinas y calcesferas (Cenomaniense) que pueden llegar a 200 m de potencia. Discordantemente sobre éstos materiales cretácicos descansan unas calizas blancas ricas en algas rodofíceas pertenecientes al Oligoceno que junto con las calizas del Cenomaniense, y en continuidad hidráulica con ellas, constituyen el principal acuífero del sistema. Su espesor es variable según el sector, pudiendo alcanzar más de 200 m. A continuación existe una alternancia de margocalizas arenosas con glauconita y areniscas a la que le sigue



una potente serie margosa de color azulado (Tap) que se extiende por toda la depresión de Benisa y cuya edad corresponde al Mioceno. También estas areniscas miocenas presentan interés hidrogeológico.

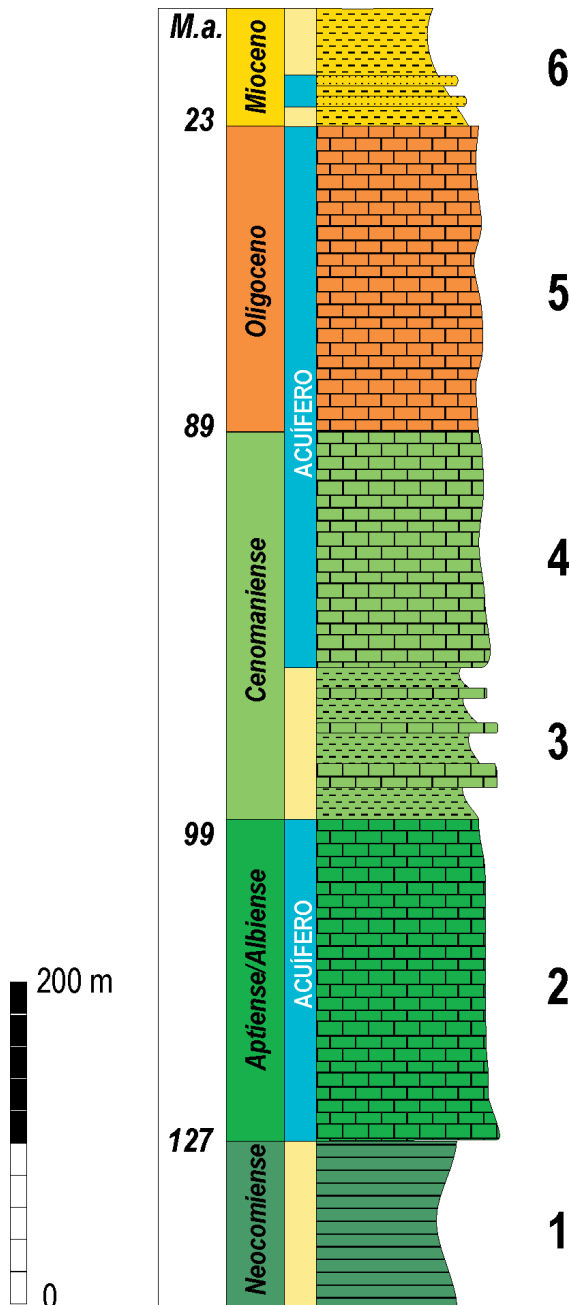


Figura 2. Serie sintética de las formaciones que componen el acuífero Depresión de Benisa (Modificado de IGME, 1982). Leyenda: 1. Margas neocomienses; 2. Calizas del Albiense-Aptiense; 3. Margocalizas y calizas margosas del Cenomaniense; 4. Calizas del Cenomaniense; 5. Calizas del Oligoceno; 6. Margas y areniscas del Mioceno.

Tectónicamente, la depresión de Benisa constituye un sinclinal de orientación NE-SW con un cierre perisinclinal en su parte meridional (Sierra de Bernia-Morro de Toix). El sinclinal es asimétrico, con el flanco E invertido y cabalgado en algunos puntos (Peñón de Ifach y S^a de Llorença). Hay que destacar la existencia de materiales oligocenos y eocenos deslizados sobre el Mioceno del núcleo sinclinal con presencia de una lámina triásica en la base del olistolito (Sierra de Oltá).

Caracterización y funcionamiento hidrogeológico

El acuífero de Benisa se puede considerar un sistema muy complejo en el que la geometría del reservorio todavía no se conoce bien. El conjunto de materiales de comportamiento acuífero sobrepasa los 500 m de potencia, si bien la presencia de niveles impermeables entre las secuencias carbonatadas conforma un sistema acuífero multicapa con distintos grados de conexión hidráulica. El alto grado de tectonización de la región ha favorecido la compartimentación del sistema, lo que permite la coexistencia de bloques con diferentes niveles piezométricos, regímenes de carga hidráulica y desigual grado de saturación. No obstante, a grandes rasgos sí es posible establecer un nivel piezométrico regional, pudiéndose considerar como un único acuífero.

Debido a la carencia de estudios geológicos de detalle, los límites del sistema son algo inciertos. *Grosso modo*, las calizas cretácico-oligocenas que constituyen el acuífero contactan lateralmente con diferentes formaciones de margas y arcillas de edades comprendidas entre el Triásico y el Eoceno. Así, las margas del Cretácico inferior confinan lateralmente el borde N por el Montgó. En el borde W son las arcillas del Keuper en el sector de Jalón-Alcalalí y el propio impermeable basal quienes actúan como barreras laterales, mientras que en el sector S son las margas del Eoceno. De cualquier forma, todo parece indicar que existen conexiones hidráulicas con otros acuíferos adyacentes, sobre todo a lo largo de su borde occidental. Por último, hay que destacar que la franja costera, comprendida entre el Morro de Toix y el Cabo de San Antonio, constituye un límite abierto con el mar.

En cuanto a su funcionamiento hidrogeológico, se puede establecer que la alimentación de este acuífero se produce por la infiltración de la lluvia caída sobre los aproximadamente 110 km² de materiales permeables que afloran en los bordes del sistema y, en menor me-

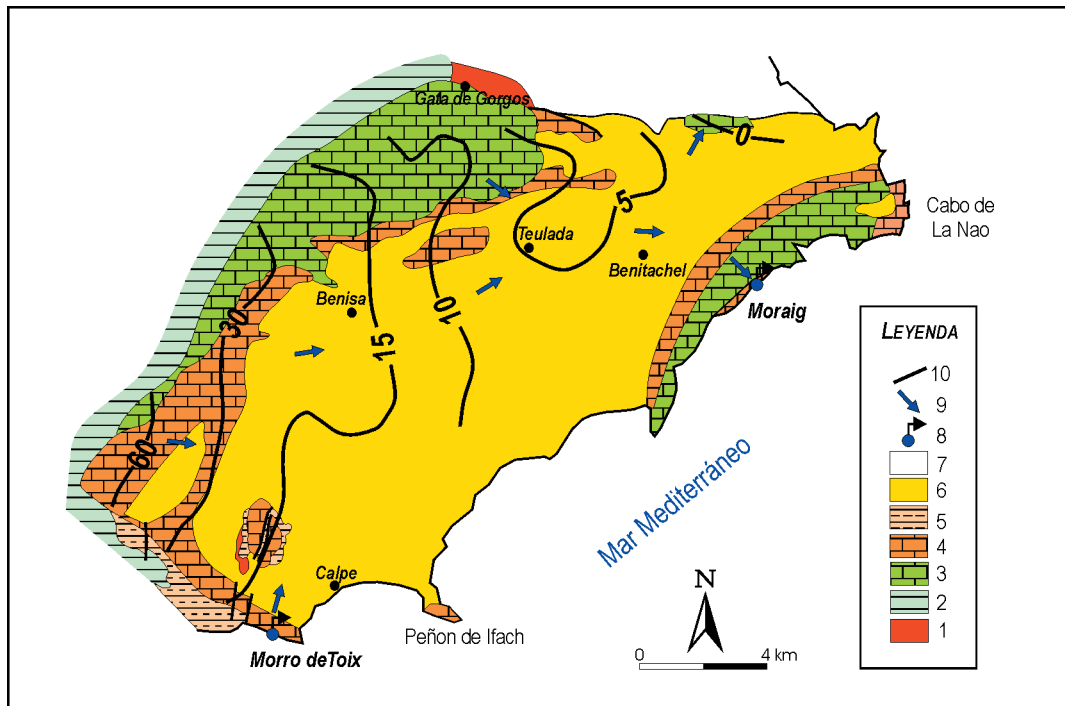


Figura 3. Esquema hidrogeológico del acuífero Depresión de Benisa. Leyenda: 1. Arcillas y yesos del Keuper (impermeable); 2. Margas del Neocominense (impermeable) 3. Calizas cretácicas (acuífero); 4. Calizas oligocenas (acuífero); 5. Margas eocenas (impermeable); 6. Margas miocenas (impermeable); 7. Cuaternario; 8. Manantial; 9. Dirección del flujo subterráneo; 10. Líneas de igual piezometría para el acuífero principal (valores en m.s.n.m.).

cida, debido a las transferencias subterráneas de otros acuíferos laterales del borde W (Fig. 3). El patrón de circulación general indica un sentido de flujo hacia E-NE, encontrándose las mayores cargas hidráulicas en el sector SW. La descarga natural de este acuífero se produce por distintos puntos a lo largo de la franja costera (surgencia de Moraig y Toix, entre otros), y ocasionalmente, parece que ha existido una descarga oculta por su parte septentrional hacia el acuífero cuaternario de Jávea. Así mismo, a lo largo del acuífero existen numerosos sondeos que bombean sus aguas.

Las características fisicoquímicas de sus aguas muestran una gran variabilidad. Coexisten aguas de baja mineralización (<300 mg/L) y facies bicarbonatada cálcica, generalmente ubicadas en las partes más interiores del acuífero, con aguas altamente mineralizadas (> 10000 mg/L) y de facies clorurada sódica. El origen de esta elevada salinidad parece ser el resultado de la mezcla de agua dulce-agua del mar debido a un proceso de intrusión marina. Esta intrusión se produce como consecuencia de los complejos flujos de circulación de agua dulce-salada en los conductos kársticos que puede originar entradas de agua del mar a distancias

superiores a 5 km tierra adentro. (Cortés et al., 2003; Rodríguez et al., 2003).

Acuífero Carrascal-Ferrer

Localización

El acuífero kárstico Carrascal-Ferrer o Carrascal-Bernia, cuyo principal punto de descarga corresponde a los manantiales del Algar, está comprendido por las sierras de Carrascal, Ferrer y el sector occidental de Bernia, concretamente la denominada Peña Severino. El acuífero se ubica al N de la localidad de Callosa d'En Sarrià y presenta una extensión aproximada de 90 km². La región en la que se encuentra este sistema corresponde a una zona abrupta cuya topografía varía entre 150 m s.n.m. en su extremo meridional, coincidiendo con el río Algar en las proximidades del Trías de Alta, y 1129 m s.n.m. en el vértice de Bernia.

La única población situada dentro de los límites del acuífero es Tárben, encontrándose próximas a sus límites las de Benichembla, Parcent, Alcalalí y Jalón, al N, y Bolulla al SW.



Las precipitaciones medias en esta zona para el periodo 1961-1990 están comprendidas entre 615 mm/año registrados en la estación de Bolulla y 847 mm/año de la estación de Alcalalí. La temperatura media anual, para esta última estación, es 16,5° C, con la media de las máximas de 21,2° C y la media de las mínimas de 11,8° C. Sin embargo, hay que considerar que la estación de Alcalalí se sitúa a una altitud de 230 m s.n.m., próxima a las cotas más bajas del acuífero.

Descripción geológica

En el sector comprendido por el acuífero Carrascal-Ferrer afloran materiales cretácicos y terciarios. A partir de un corte estratigráfico realizado por el IGME (1982) es posible establecer los siguientes tramos:

- Margas y margocalizas del Neocomiense. Con una potencia superior a 100 m, se disponen finamente estratificadas.
- Calizas pararrrecifales, calcarenitas y escasos niveles margosos que hacia techo se hacen más frecuentes. De edad Barremiense-Aptiense, pudiendo alcanzar el Albiense. Presenta una potencia de 200 m.
- Secuencia de margocalizas y margas que hacia techo pasan a calizas. Pertenecen al Cenomaniense-Turonense y presentan una potencia de 250 a 300 m.
- Calizas detríticas del Oligoceno Superior-Aquitaniense que, mediante discordancia, reposan sobre el Cenomaniense-Turonense (Sierra de Carrascal) o sobre el Aptiense-Albiense (Sierra de Ferrer). La potencia oscila entre 150 y 200 m.
- Margas del Burdigaliense (facies Tap) que coronan la serie y se encuentran ocupando la depresión de Tárben. En ellas se reconocen bloques alóctonos de calizas del Eoceno, deslizados hacia el Norte a la vez que se producía el depósito

mioceno de la depresión, como consecuencia del levantamiento del Trías de Altea. Esta disposición es la que adoptan las calizas pararrrecifales eocenas del sinclinal de Peña Severino, donde se localizan las Fuentes del Algar.

La tectónica, muy condicionada por la acción halocinética del Keuper, alcanza una gran complejidad en este acuífero. La Sierra de Ferrer con una estratificación vertical presenta una dirección anómala N-S en la que destaca su terminación septentrional en forma de cabalgamiento hacia el N. Por el contrario, la Sierra de Carrascal presenta una estructura monoclin de dirección E-W y buzamiento al S. Es posible que ambas sierras se unan en profundidad, bajo las margas miocenas de la depresión de Tárben, constituyendo a grandes rasgos un sinclinal.

Caracterización y funcionamiento hidrogeológico

La gran complejidad geológica de la región en la que se encuentra este sistema hace que, aún hoy en día, las incertidumbres sobre sus límites y relaciones hidráulicas con otras formaciones vecinas de carácter acuífero sean muy elevadas. La tabla 1 recoge las principales formaciones de rocas permeables que pueden estar en conexión hidráulica entre sí, (DPA, 2003a).

A grandes rasgos, se puede establecer que los límites del acuífero están formados:

- Al N por las margas y margocalizas del Neocomiense y las arcillas y yesos triásicos del Keuper.
- Al E estaría confinado por las margas terciarias de la depresión de Benisa, las cuales se ponen en contacto tectónico debido a una falla de gran salto, así como por las margas y margocalizas del Neocomiense de la Sierra de Ferrer. No obstante, hacia el sector de Gata de Gorgos es probable la

Tabla 1. Principales rocas permeables en el acuífero Carrascal-Ferrer.

LOCALIZACIÓN	ROCAS PERMEABLES
Sierra de Ferrer	Calizas oolíticas y calcarenitas del Cretácico inferior (200 m)
	Calizas del Oligoceno (150 m)
Sierra de Carrascal o de Parcent	Calizas del Cenomaniense-Turonense (100 m)
Peña Severino	Calizas pararrrecifales del Eoceno medio (200 m)

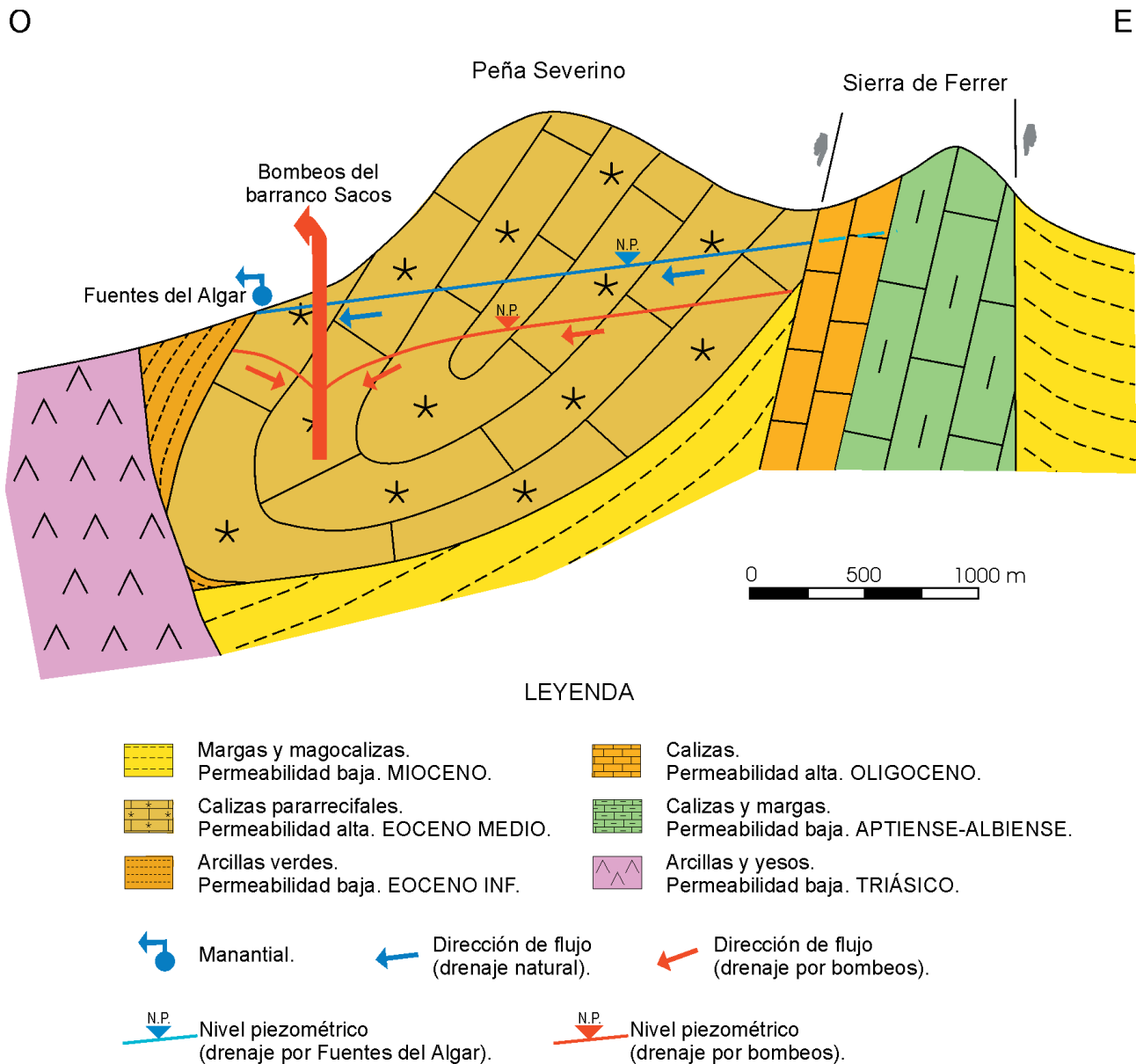


Figura 4. Corte hidrogeológico sintético del emplazamiento de los manantiales del Algar (modificado de DPA 2003a).

conexión hidráulica con el acuífero de la Depresión de Benisa.

- Al S y SW por los materiales del Keuper, los cuales afloran asociados a una falla radial del diapiro de Altea por la que discurre el río Bolulla.

De forma general y dada la complejidad tectónica de la zona, no se puede establecer un único impermeable de base del acuífero, sino que varía en función del sector en concreto. El más frecuente corresponde

a las margas y margocalizas del Neocomiense, si bien otras veces está conformado por las arcillas del Eoceno Inferior. Por contra, sí es posible establecer como impermeable de techo a las margas miocenas (Tap) de la Depresión de Tárbenas.

Respecto al funcionamiento hidrogeológico del acuífero, la alimentación del sistema procede en principio de la infiltración de agua de lluvia sobre los afloramientos permeables. Se estima que los recursos medios del acuífero superan los 25 hm³/año (DPA, 2003a). En

cuanto a las salidas, la mayor parte de la descarga natural tiene lugar por las Fuentes del Algar (Fig. 4). Atendiendo a la elevada entidad de estas surgencias, no se puede descartar la posible conexión hidráulica del acuífero con las calizas eocenas de la Sierra de Aixortá, suprayacente a los materiales cretácicos de Serrella-Aixortá e independizada de éstos por las arcillas del Eoceno Inferior. Sin embargo, según la información aportada por el sondeo realizado en Altea por DPA en 1998, el principal acuífero Cenomaniense-Turonense de la Sierra de Bernia parece estar desconectado del acuífero Carrascal-Ferrer.

Cuenca Alta del Río Guadalest

Localización

La cuenca alta del río Guadalest se sitúa entre las sierras de Aitana y de Serrella (Fig. 5), en la parte N de la provincia de Alicante. Las poblaciones que aparecen

en esta parte de la cuenca son Confrides, Beniardá, Benifato, Benimantell y Guadalest, todas ellas con menos de 1000 habitantes.

Características físicas

El río Guadalest, principal afluente del río Algar, nace en la divisoria que origina la confluencia de las sierras de Serrella y Aitana, en el término municipal de Confrides. Presenta una longitud de aproximadamente 16 km y una superficie de 122,5 km². Su curso alto discurre por un valle en forma de V de gran belleza paisajística que presenta un desnivel muy pronunciado, pues pasa de 900 m de altitud en su nacimiento a menos de 400 m s.n.m. en el embalse de Guadalest. En todo este tramo el río es considerado de interés medio ambiental y natural.

La divisoria de la cuenca y su parte alta está conformada por relieves carbonatados de edad eocena (Aitana) y cretácica (Serrella), mientras que el curso del

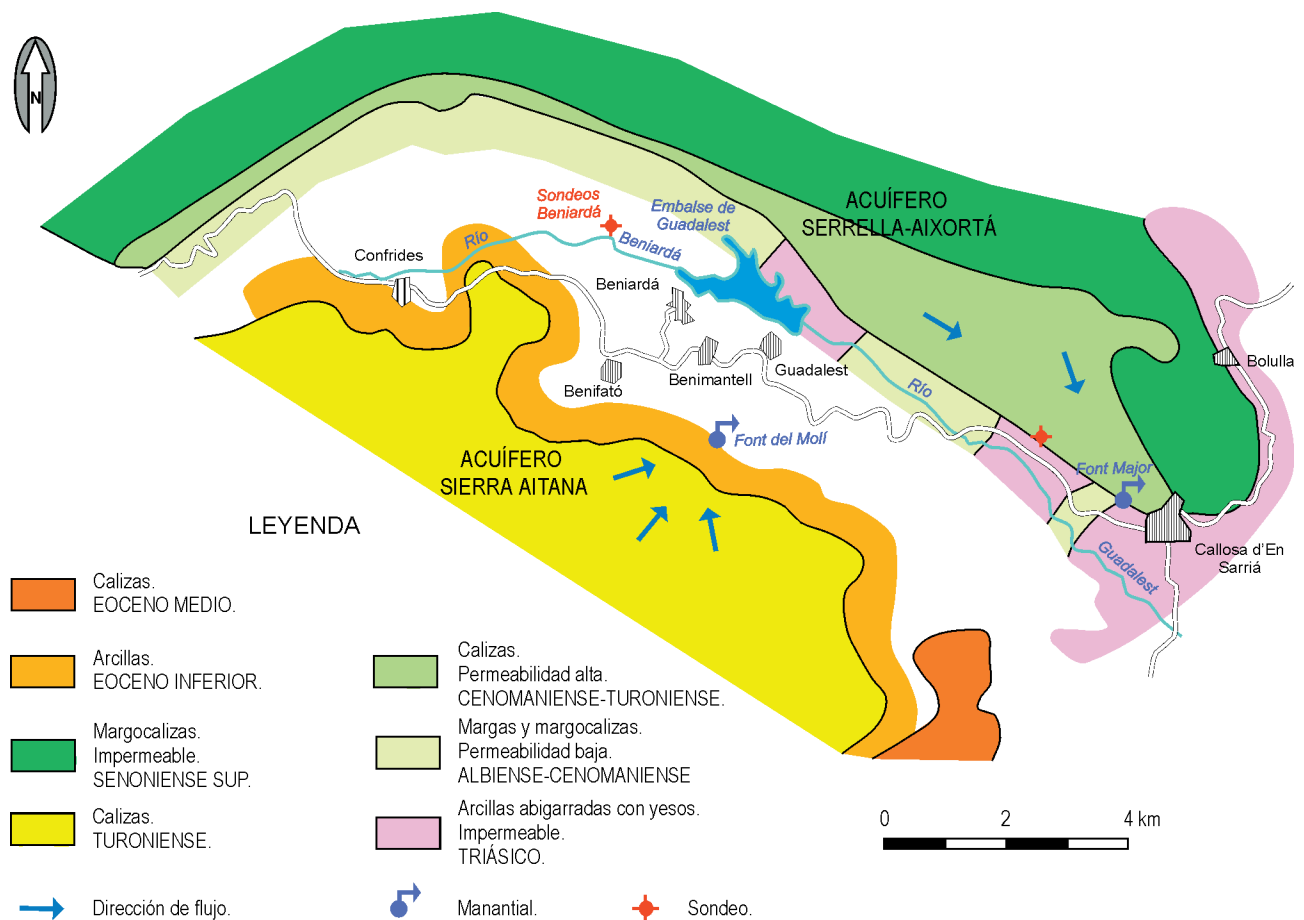


Figura 5. Localización hidrogeológica de la Cuenca Alta del río Guadalest.



río, con el nombre de río Beniardá, discurre hasta llegar al embalse de Guadalest sobre margas del Eoceno y Mioceno Inferior y Medio. Desde el punto de vista hidrogeológico el río se encuentra flanqueado por los siguientes acuíferos (Fig. 5):

- Al Norte, y siguiendo la margen izquierda de dicho río hasta la población de Callosa d'En Sarrià, por el acuífero Serrella-Aixortá, constituido por calizas y dolomías Cenomaniense-Turonense y cuya principal descarga se produce a través de la Font Major de Callosa d'En Sarrià y la Font Asut de Bolulla, ambas fuera de la cuenca alta del río Guadalest.
- Al Sur por la unidad hidrogeológica de Aitana conformada mayoritariamente por calizas del Eoceno, y donde se puede destacar como principales manantiales de su vertiente septentrional a la Font del Partagat y Font Vella.

Teniendo en cuenta este emplazamiento hidrogeológico, a lo largo del curso alto del río Guadalest existen diversos manantiales de pequeña entidad que terminan alcanzando el río. Sin embargo, la importancia de los mismos no es suficiente para sustentar un caudal permanente del río a lo largo de todo el año, por lo que son frecuentes los periodos en que no presenta aportaciones.

4. GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS: EL CONSORCIO DE LA MARINA BAJA (CMB)

Los recursos estimados por el Organismo de Cuenca para la Comarca de la Marina Baja apenas alcanzan los 50 hm³ (CHJ, 2004), mientras que los usos consuntivos alcanzan 63 hm³/año, distribuidos de la siguiente forma: 31 hm³ para la demanda urbana, 31 hm³ utilizados por la agricultura y 1 hm³ para uso industrial. Estas cifras evidencian la existencia de un déficit hídrico en la región que alcanza los 13 hm³/año. Esta situación hace necesaria la optimización en la gestión de los recursos e incluso la necesidad de importar recursos externos al sistema.

En este contexto aparece el Consorcio de la Marina Baja (CMB), entidad que se encarga de gestionar el agua en esta comarca mediante el denominado Sistema de Explotación Marina Baja (Fig. 6). Este sistema consiste en un conjunto de infraestructuras de almacenamiento

Tabla 2. Longitud y superficie de los cauces más importantes que conforman dicho sistema (CHJ, 2004)

CUENCA	LONGITUD (km)	SUPERFICIE (km ²)
Río Guadalest	16,1	122,5
Río Algar	12,2	216,2
Río Sella	8,0	83,4
Río Amadorio	28,4	205,2

y transporte de agua integrados y conectados con los cursos de aguas superficiales y acuíferos del entorno, con los que se pretende regular los recursos disponibles de la comarca. Este sistema se integra dentro de las cuencas de los ríos Algar y Amadorio y las subcuencas litorales comprendidas entre el río Algar y el límite S del término municipal de Villajoyosa, ocupando una superficie de 583 km².

Entre las principales infraestructuras de almacenamiento y regulación con las que cuenta el CMB se encuentran el embalse Amadorio con una capacidad de 16 hm³ y el embalse de Guadalest con 13 hm³, lo que supone una capacidad total de embalse de 29 hm³. Por lo que respecta a infraestructuras de transporte, además de los cursos fluviales existentes en la región (Tabla 2) se destaca el Canal Bajo del Algar, que con una capacidad de transporte entre 400 y 1200 L/s y una longitud de 35 km tiene su toma en la presa del Paredo, situada aguas abajo de la incorporación del río Bolulla al Algar. En esta misma presa existe también una estación de bombeo que entra en funcionamiento cuando se origina un excedente de agua en el río Algar, enviando agua a los embalses de Guadalest y Amadorio. Por otro lado, desde el río Torres existe otra elevación hacia dichos embalses.

Dentro del sistema de explotación se integran la red de abastecimiento, la cual tiene una capacidad máxima de 600 L/s y una longitud de 14 km, y la red de depuración de aguas residuales. Ésta se realiza a través de las estaciones depuradoras de Villajoyosa, Altea y Benidorm. En Altea existe un proyecto para ampliar la planta actual y mancomunar el sistema. Por su parte Benidorm dispone de un sistema de depuración (mancomunado) con problemas de capacidad, por lo que está en proyecto la construcción de una nueva estación y la adecuación de la actual.

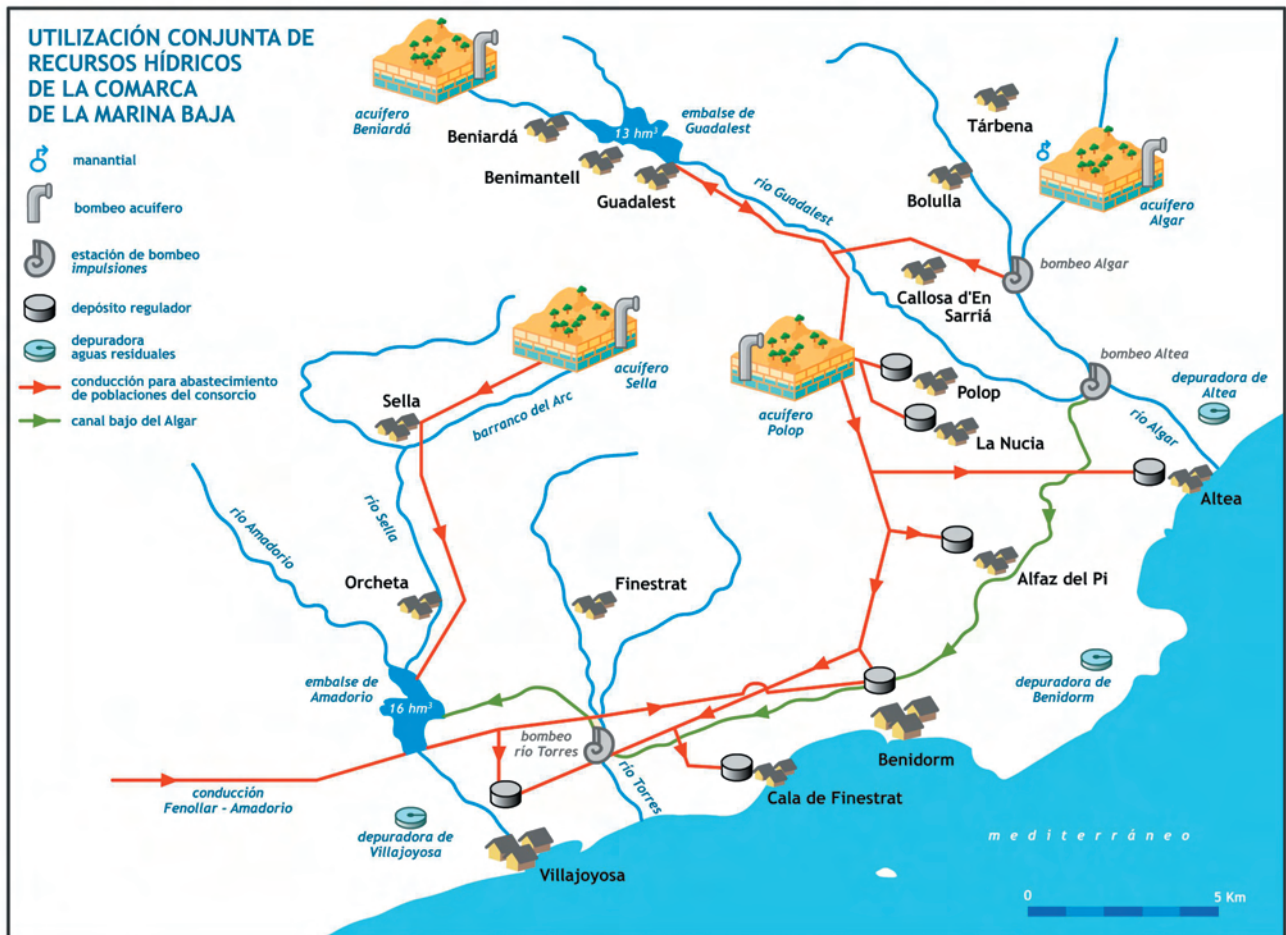


Figura 6. Esquema de la utilización conjunta de recursos hídricos de la Comarca de la Marina Baja (modificado de Castaño et al., 2000).

5. ITINERARIO GEOLÓGICO

Parada 1. Morro de Toix

Localización

El Morro de Toix constituye la terminación en el mar de la Sierra de Bernia. Se encuentra ubicado entre las localidades de Altea y Calpe. Para acceder al mismo hay que tomar la carretera Nacional N-332 en sentido Calpe (Fig. 7). Un poco después de pasar el punto kilométrico 164 se llega a un cruce a la derecha en el que existe un indicador hacia el Mascarat. En sentido Altea está prohibido girar hacia el Mascarat, por lo que habría que seguir por la carretera hasta llegar a la entrada de la urbanización Altea Hill, donde es posible hacer un cambio de sentido. Una vez en la entrada del Mascarat se desciende hasta llegar a una bifurcación. Se toma a

la izquierda hacia el N, seguidamente se pasará sobre el barranco Salat y el camino nos lleva a la parte urbanizada. En la segunda calle a la izquierda dejaremos el vehículo. Desde ese punto y subiendo calle arriba se llega a la línea de costa desde donde se tiene una magnífica panorámica de la vertiente meridional del Morro de Toix.

Descripción

El Morro de Toix corresponde al punto más meridional del acuífero Depresión de Benisa. Está formado por un tramo carbonatado que corresponde a las calizas del Oligoceno. Éstas presentan una dirección N 110E y un buzamiento de 90°. Se puede observar como este paquete finaliza repentinamente hacia tierra (al W) dejando expuesta una superficie vertical neta de dirección aproximada N-S. Esta superficie corresponde al

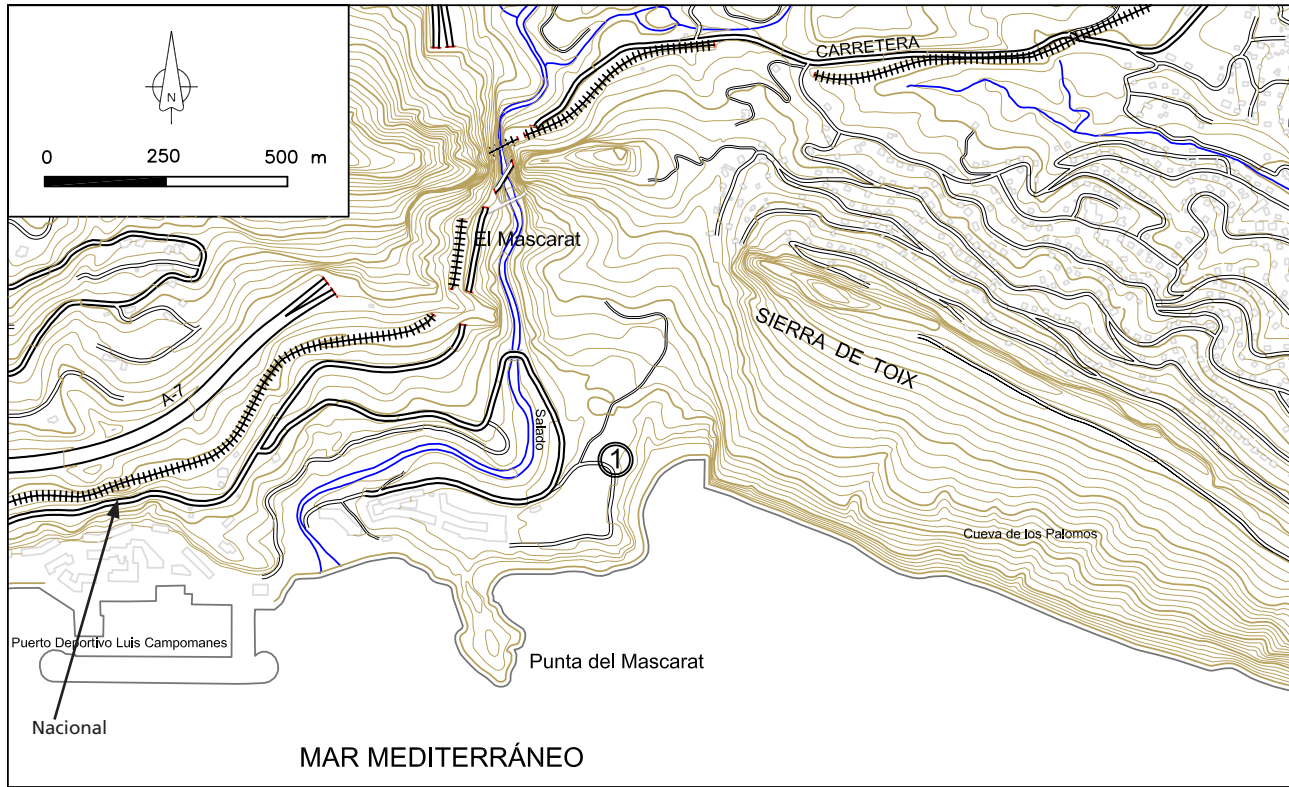


Figura 7. Localización geográfica y accesos al Morro de Toix.

plano de una falla que forma parte de un conjunto de fracturas que con dicha orientación rompen la Sierra de Bernia en su parte oriental. El funcionamiento de esta falla ha sido de salto en dirección dextrorsa originando un desplazamiento horizontal a escala hectométrica (Alfaro et al., 1999). Los materiales en contacto en el bloque W de la falla corresponden a las margas y margocalizas del Eoceno.

Desde el punto de vista geomorfológico se puede destacar el desarrollo de acantilados. El mayor de ellos se sitúa en la vertiente meridional del Morro de Toix y se caracteriza por ofrecer una pared vertical de más de 100 m (Asensi, 1981), una dirección N 110E y mantener la linealidad más de 1,5 km. La morfología de este acantilado viene condicionada por el papel conjunto de la disposición estructural y la erosión diferencial de los materiales eocenos y oligocenos frente a la dinámica litoral. No obstante, tampoco se puede descartar la posibilidad de un origen tectónico como consecuencia de un desplazamiento tectónico entre ambas litologías (Alfaro et al., 1999). Este origen tectónico es el responsable en el caso del acantilado N-S.

Entre las singularidades morfológicas que presenta el acantilado más grande se pueden destacar: la existencia de valles colgados, manifestación de una red de drenaje poco desarrollada y poco incisiva como consecuencia de la escasa escorrentía que circula sobre ella; el desarrollo de un *notch* o socavadura resultado de la erosión de la roca frente al golpeo de las olas en la parte basal del acantilado; y la presencia de cavidades, oquedades y grietas a lo largo de la pared del acantilado. Éstas se encuentran tanto por encima como por debajo del nivel del mar. Algunas de ellas dan paso a conductos endokársticos que penetran en el macizo carbonatado que han sido exploradas por equipos de espeleobuceadores en los últimos años (Asensi, 1981; Cortés et al., 1996, 2003). Este desarrollo endokárstico pone de manifiesto un importante grado de karstificación de la roca, al menos, en este sector.

Buena parte de estos conductos kársticos del Morro de Toix corresponden a surgencias submarinas por donde tiene lugar la salida de agua hacia el mar. Se trata de una de las zonas de descarga del acuífero de la depresión de Benisa. Entre estas vías de circulación existe

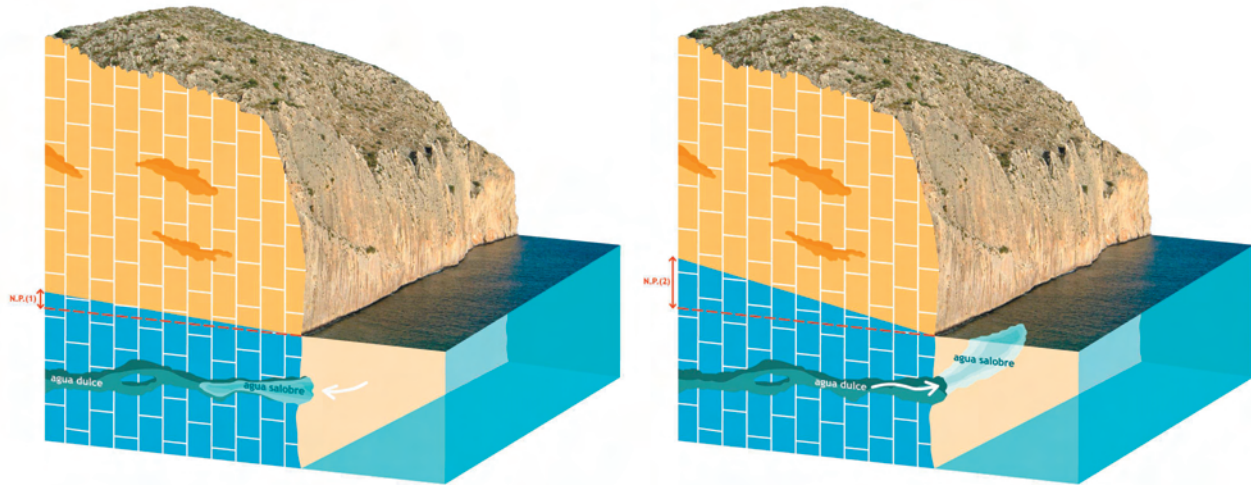


Figura 8. Funcionamiento hidrogeológico del Sumidero de Toix. En situación normal con nivel piezométrico próximo al nivel del mar N.P.(1) el agua del mar penetra hacia el interior del acuífero. En situación de aguas altas con niveles piezométricos más elevados N.P.(2) el sumidero invierte su funcionamiento y vierte agua dulce hacia el mar.

un conducto que presenta una dinámica contraria a los anteriores, de forma que absorbe agua marina hacia el interior del acuífero y provoca una intrusión marina. Se trata del denominado sumidero de Toix, situado a 8 m b.n.m. La instalación de correntímetros ha permitido establecer caudales medios de entrada de agua del mar hacia el acuífero superiores a 400 L/s (Cortés et al., 1996), por lo que nos encontramos ante uno de los ejemplos de estavellas más espectaculares del mediterráneo occidental. Normalmente el flujo va de mar a tierra, aunque en ocasiones se producen momentos de salida de agua desde tierra hacia el mar (Fig. 8). Estos eventos de descarga tienen lugar tras lluvias de gran magnitud y presentan duraciones de unos pocos días (Cortés et al., 2003). Este tipo de respuestas rápidas frente a entradas en el sistema es característico de acuíferos kársticos.

Este proceso de intrusión marina por el sumidero de Toix se considera responsable de que el agua del mar penetre por los conductos kársticos hasta partes interiores del acuífero. Esta entrada salina origina una mezcla que le confiere al agua una facies clorurada sódica, que explicaría que las surgencias conocidas relacionadas con este acuífero sean salobres (Cortés, et al., 1996; Ratsimandresy et al., 2003).

Parada 2. Fuentes del Algar

Localización

Las Fuentes del Algar constituyen un centro de atracción de primer orden para el turismo estival que accede a esta parte de la costa de Alicante. El nacimiento está constituido por varias surgencias situadas a los pies del impresionante macizo de la Sierra de Bernia, discurriendo sus aguas a través de angostos desfiladeros hasta salir al valle abierto, que se dirige en dirección SW, para incorporar a su cauce las aguas del río Guadalest.

El acceso se realiza desde Callosa d'En Sarrià por la carretera CV-715 que va en dirección Bolulla y Tárben. A 1,5 km hay que tomar el desvío por la carretera CV-7531 que se dirige al paraje denominado «El Algar» (Fig. 9). Al llegar a él aparece un complejo turístico con numerosos comercios y restaurantes. Estos mismos habilitan aparcamientos debido a las dificultades de encontrar zonas libres para dejar los vehículos. Siguiendo por esta misma carretera y a mano izquierda, aproximadamente a 200 m tras cruzar el río, se encuentra la entrada principal del circuito turístico para visitar el paraje. Todo el recorrido se encuentra acondicionado para facilitar el acceso a los visitantes.

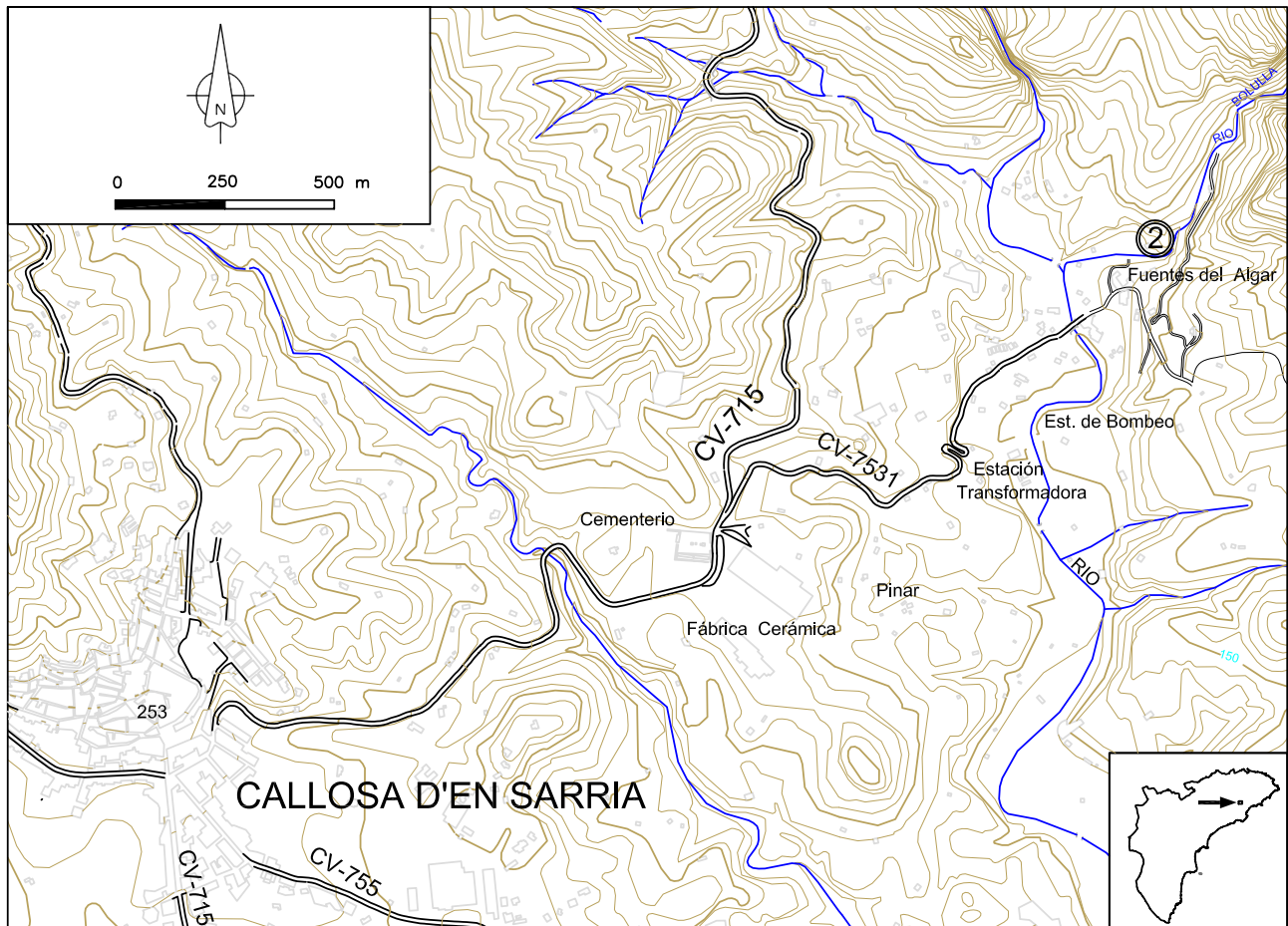


Figura 9. Localización geográfica de la segunda parada y accesos de las Fuentes del Algar.

Descripción

Se denominan fuentes del Algar al conjunto de manantiales existentes a lo largo de la garganta del Algar. El circuito turístico no permite el acceso a las surgencias emplazadas a mayor cota, ya que resulta inaccesible debido a lo angosto del desfiladero. Por contra, sí es posible la visita de parte del barranco por donde discurre el agua procedente de los manantiales, y donde el flujo es tranquilizado por una serie de represas que dejan pequeños vasos «tolls» y provocan saltos de agua, algunos ellos de gran belleza como la Cascada del «Toll de la Caldera». Estas pequeñas infraestructuras de represamiento permiten la retención del flujo con el objeto de derivar el agua (Fig. 10). A lo largo del curso van surgiendo diversos canales y acequias que permiten el paso del agua hacia ambos márgenes del cauce para su aprovechamiento. No obstante, algunas de estas obras han sido abandonadas, como por ejemplo el canal que

discurre por la margen izquierda y sirve de camino. Este canal desde el «Toll de la Presa» conducía el agua hasta un molino (hoy reconvertido en W.C.).

Junta al curso de agua, a escasa distancia de la entrada y situado junto al restaurante, es posible observar un pequeño manantial denominado Font del Moro, que forma parte de las fuentes del Algar (Fig. 11). En este punto se puede observar cómo brota el agua por una de las fracturas abiertas existente en las calizas.

Las características hidrogeológicas de las Fuentes del Algar evidencian un funcionamiento típicamente kárstico, con caudales que habitualmente oscilan entre 50 y 900 L/s, aunque se han llegado a alcanzar caudales punta superiores a 1 m³/s. Los menores caudales se alcanzan en la época estival, mientras que los máximos se producen tras los periodos lluviosos. Como consecuencia de esa irregularidad de su funcionamiento existe un desfase con las demandas, ya que éstas suelen ser ma-



Figura 10. Vista de una de las infraestructuras de repesamiento en la garganta del Algar.

yores en la época estival cuando se requiere más agua para la agricultura y el turismo, lo que impide poder cubrir la demanda hídrica con los aportes naturales.

Una herramienta de gestión empleada en muchas surgencias kársticas para adecuar la demanda a los recursos hídricos existentes es la regulación de manantiales (Fig. 12). Este tipo de regulaciones consiste en realizar una o varias captaciones en las inmediaciones del manantial con objeto de bombear agua durante la fase de agotamiento en que los caudales son insuficientes para cubrir las necesidades (época estival), y tomando el agua cuando el manantial aporta caudal suficiente de forma natural (época invernal). De esta forma se optimizará el aprovechamiento de los recursos con los mínimos costes.

Esta estrategia de gestión ha sido la empleada en las Fuentes del Algar. La realización de una batería de sondeos en 1979 situados aguas arriba del Barranco de Sacos permite regular estos manantiales. No obstante, los intensos bombeos llevados a cabo en estos sondeos han alterado el régimen natural de descarga de los manantiales, hasta el punto de llegar a agotarlos durante la época estival y en periodos de sequía. Al igual que hacen las surgencias, parte del agua bombeada se vierte al río, permitiendo de esta forma el aprovechamiento turístico de este paraje.

Las características hidrogeoquímicas de las aguas de estos manantiales indican una facies bicarbonatada



Figura 11. Detalle de la salida natural de la Font del Moro.

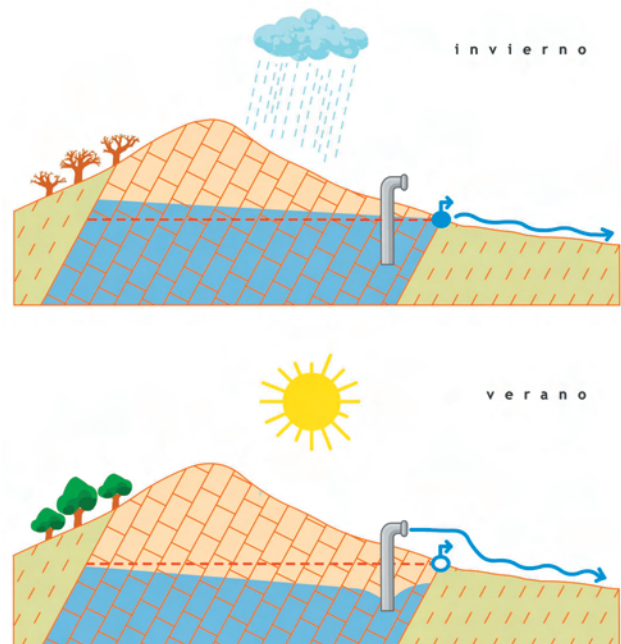


Figura 12. Regulación de manantiales kársticos. En invierno se produce el aprovechamiento del manantial ya que suele aportar los caudales necesarios para cubrir la demanda. En verano el manantial no aporta el caudal necesario y hay que bombear el agua mediante un sondeo, lo que puede originar el agotamiento del manantial.



cálcica de baja mineralización, lo que las convierte en un recurso excelente para el consumo humano. Las variaciones naturales debidas a la recarga por infiltración de lluvia indican cambios en la conductividad eléctrica con valores comprendidos entre 300 y 540 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Por último, hay que destacar que históricamente las aguas del río Algar se han utilizado para el riego de frutales del termino municipal de Callosa d'En Sarrià. Al entrar en vigor la gestión integral realizada por el Consorcio de la Marina Baja, además del regadío, el principal uso del agua del Algar es para el abastecimiento de los importantes núcleos de población de la comarca, incluidos Benidorm y Villajoyosa. Esta transferencia de agua parte río abajo del circuito turístico, donde existe un azud con una estación de bombeo del Consorcio de la Marina Baja, que permite elevar las aguas al embalse de Guadalest (fig. 6). Un poco después, 1 km aguas abajo de esta estación de bombeo, también sale el Canal Bajo del Algar, que tiene su final en el embalse de

Amadorio, y permite el riego de zonas situadas entre Altea y Benidorm.

Los agricultores ceden parte de sus derechos de uso de este agua de excelente calidad para que se destine a abastecimiento urbano, y a cambio reciben aguas residuales depuradas. Por contrapartida tienen garantizada su demanda estival con la regulación de la batería de sondeos del Algar.

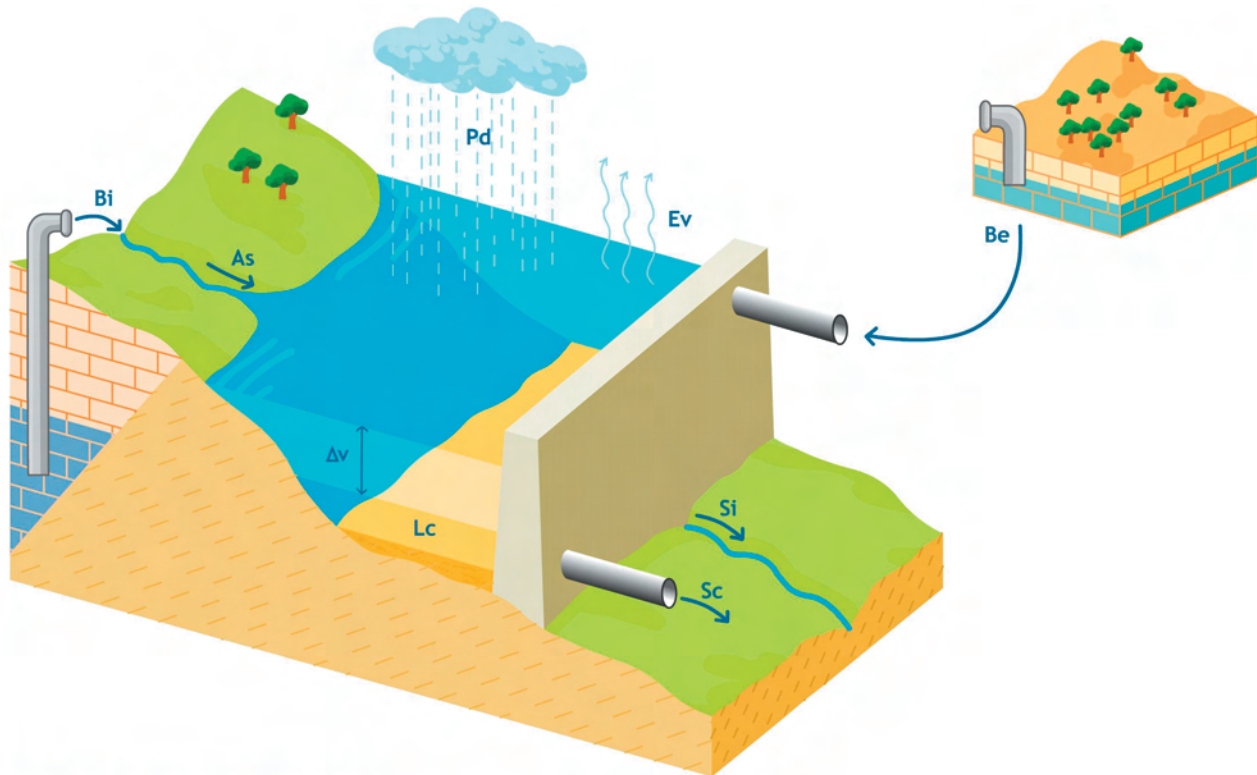
Parada 3. Embalse de Guadalest

Localización

En las proximidades de la población de Guadalest se encuentra la presa del embalse. Para acceder hasta este punto del itinerario se regresa desde el paraje de «El Algar» hasta la población de Callosa d'En Sarrià, en donde se toma la carretera CV-755 en dirección a Guadalest. Una vez en esta población se accede hasta



Figura 13. Vista panorámica del embalse de Guadalest.



ELEMENTOS DEL BALANCE HÍDRICO EN LOS EMBALSES DE AMADORIO Y GUADALEST

- Δv** variación del volumen de agua embalsado
- Ev** evaporación que se produce en el embalse
- Sc** salidas del embalse controladas para satisfacer las demandas
- Si** salidas del embalse no controladas

- As** aportes superficiales
- Pd** precipitación directa sobre el embalse
- Be** agua bombeada de acuíferos situados en otras cuencas hidrológicas
- Bi** agua bombeada de acuíferos situados en la misma cuenca hidrológica
- Lc** lodos (colmatación de los embalses)

Figura 14. Elementos del balance hídrico en el embalse de Guadalest.

el centro de la misma, tomando la ruta turística y atravesando un arco horadado en la roca que constituye la entrada a la antigua población fortificada. Desde allí es posible acceder hasta la parte amurallada que da al valle desde donde se tiene una magnífica vista panorámica del embalse (Fig. 13).

El embalse de Guadalest

Actualmente este embalse cuenta con una capacidad de 13 hm³ y una superficie de lámina de agua de 86 ha. Desde el inicio de la puesta en carga del mismo se estima que se han producido unas aportaciones sólidas que han supuesto una pérdida en la capacidad de almacenamiento de alrededor de 3 hm³ (Fig. 14). La presa es de tipo gravedad de 74 m de altura y 236 m

de longitud de coronación. El aliviadero es de tipo compuerta y tiene una capacidad de 400 m³/s. En cuanto a las aportaciones naturales que recibe, muestran una fuerte variabilidad secular, registrándose valores que oscilan de 0,1 a 21 hm³/año (DPA, 2003b).

Este embalse, integrado dentro del sistema de gestión de la Marina Baja, recoge las aportaciones de la cuenca alta del río Guadalest, si bien, incorpora las aguas bombeadas del río Algar y pozos de Beniardá. Entre los principales destinos del agua embalsada se destaca el riego y abastecimiento de las localidades de Altea, Alfaz del Pí, Callosa d'En Sarrià, Benidorm, Villajoyosa, La Nucía, Polop de la Marina y Cala de Finestrat. La población de derecho supera los 135.000 habitantes, aumentando la población estacional hasta más de 500.000 habitantes durante los meses estivales.



El embalse de Guadalest cuenta con una estación de la red EAA (Estaciones Automáticas de Alerta) integrada en el programa SAICA (Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas) de la cuenca hidrográfica del Júcar. El agua de entrada al embalse es de baja salinidad y facies de tipo bicarbonatada-sulfatada cálcica-magnésica (DPA, 2003b); no obstante, la calidad del agua que se detecta en esta estación experimenta frecuentes cambios, que, en su mayoría son debidos a que el conducto de salida y entrada del embalse es único, y por él se alterna la entrada de agua desde las Fuentes del Algar y la salida hacia las zonas de demanda. Así, el agua analizada por esta estación presenta, según su procedencia, características muy diferentes. Usualmente durante los meses estivales sólo sale agua del embalse, siendo ésta de peor calidad, sobre todo entre junio y octubre, ya que procede de las capas más profundas y anóxicas generadas por la estratificación que sufre el embalse durante estos meses. Durante el verano de 2002 se registraron valores de oxígeno disuelto por debajo de 1 mg/L.

El promedio de los datos de ocho años de control (1994-2002) realizado por la CHJ sobre el grado trófico del embalse de Guadalest, refleja un estado mesotrófico con una clara tendencia a empeorar dentro de la mesotrofia. Cabe indicar que el embalse de Amadorio en Villajoyosa, que junto a Guadalest conforman las capacidades de regulación superficial de los recursos del Sistema Marina Baja, presentaba para el mismo periodo un estado eutrófico con una tendencia a empeorar ligeramente, principalmente debido a los aportes del río Torres.

6. ACTIVIDADES Y MATERIALES DIDÁCTICOS SUGERIDOS

La zona ofrece multitud de posibilidades para realizar itinerarios y actividades prácticas con los alumnos. Además, de las Fuentes del Algar, en la región existen otras surgencias naturales como la Font dels Xorros en Polop, Font Major en Callosa d'Ensarriá o Font de la Favara en Alfàs del Pi, entre otras. Ello significa que se pueden plantear actividades de carácter geológico e hidrogeológico. Sin entrar en una relación detallada de las mismas es posible plantear actividades como:

- localizar geográfica y geológicamente los manantiales y relacionarlos con las diferentes formaciones geológicas y acuíferos de la región.
- realizar determinaciones de caudal en aquellos manantiales de bajo caudal mediante el empleo de un cronómetro y un recipiente.
- realizar determinaciones fisicoquímicas en campo, a partir de un conductímetro, termómetro y phmetro con el objeto de observar las variaciones de mineralización y calidad. Si se dispone de material de análisis en campo es posible determinar también la presencia de algún elemento en concreto. Este mismo aspecto puede realizarse con las aguas superficiales, tomando aguas en los distintos ríos o tramos de un único río.

Otras posibles actividades que pueden realizarse son la visita al museo del Agua en las Fuentes del Algar y a la presa de Guadalest, con el objeto de conocer equipos e infraestructuras relacionadas con la gestión y aprovechamiento del agua.

Además del itinerario propuesto en este simposio, en Internet es posible acceder a otros posibles itinerarios en esta misma región, algunos de ellos específicamente dedicados al Agua, como el planteado por la CAM dentro del proyecto Agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Asensi, J. M. (1981). La expedición Levante-81.
- Alfaro, P., Andreu, J.M., Estévez, A., López, M., Soria, J.M., Yébenes, A., Castro, J.M., González-Fernández, J., González-Herrero, M., López-Gómez, F.J. y López-Martín, J.A. (1999). Itinerario geológico litoral entre Benidorm y Calpe (provincia de Alicante). Dpto. Ciencias de la Tierra-ICE. Univ. Alicante, 31 p.
- Andreu, J.M., Cortés, J.M., Estévez, A., García-Sánchez, E., López-Arcos, M. y Pulido-Bosch, P. (2002). Benissa (Alicante Spain). In: The main coastal karstic aquifers of Southern Europe. COST-621 Action: en prensa.
- Castaño Castaño, S., Murillo Díaz, J. M. y Rodríguez Hernández, L. (2000). Establecimiento de las reglas de operación y recomendaciones de gestión de los recursos hídricos de la Marina Baja de Alicante mediante el empleo de un modelo matemático de



- simulación conjunta. Boletín Geológico y Minero. Vol. 111-2 y 3: 95-118.
- Cortés, J., Antoranz, A. & Gordo, C. (1996). Sea water intrusion in Moraig-Toix system cave (Benitachell, Alicante, Spain). In: Rec. Hid. Reg. Karst. Vitoria-Gasteiz: 317-324.
- Cortés, J.M., Antoranz, A., Menvielle, S., Ratsimandresy, A., Cisneros, J., Ramos, S., Cabrera, M.C., Serrano, V. & Mateu, J. (2003). La intrusión marina en el sistema de cuevas Moraig-Toix. Un estudio para la recuperación del acuífero de la depresión de Benissa (Marina Alta-Alicante). Boletín SEDECK, 4: 49-64
- DPA (2003a). Los manantiales provinciales. Primera parte. Excma. Diputación Provincial de Alicante, 247 p.
- DPA (2003b). Mapa hidrológico provincial de Alicante. Mapa y memoria. Excma. Diputación Provincial de Alicante, 48 p.
- IGME (1982). Las aguas subterráneas de la provincia de Alicante, 753 p. (publicación inédita).
- Ratsimandresy, A., Cortés, J.M., Ferrer, L., Menvielle, Antoranz, A., S., Serrano, V. & Mateu, J. (2003). La intrusión marina en el sistema de cuevas Moraig-Toix: procesos físicos: Boletín SEDECK, 4: 46-69.
- Rodríguez, L., Fernández, M., Hernández, J.A. y Rodes J.J. (2003). Visita técnica al sistema acuífero Depresión de Benisa. In: TIAC'0: Tecnología de la Intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos. DPA-IGME: 20 p.
- Sahuquillo Herráiz, A. (1995). Las aguas subterráneas en la planificación y gestión de los recursos de agua españoles: utilización conjunta con otros recursos de agua. Las Aguas Subterráneas en la Ley de Aguas española: un decenio de experiencia. Tomos I (Ponencias) y II. Actas de las Jornadas de Murcia: 201-215.
- Sahuquillo Herráiz, A. (2000). La utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas en las sequías. Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat. Vol. 94, Nº 2: 183-196.

Direcciones de Internet

- CHJ (2004). Confederación Hidrográfica del Júcar: <http://www.mma.es/cuencas/jucar/index.htm>

