

Fornés, J. M.^a *et al.*, 2008. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales del litoral mediterráneo español. *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2): 231-246
ISSN: 0366-0176

Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales del litoral mediterráneo español

J. M.^a Fornés⁽¹⁾, A. de la Hera⁽¹⁾, B. Ballesteros⁽²⁾ y R. Aragón⁽³⁾

(1) Instituto Geológico y Minero de España (IGME). C/ Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid
jm.fornes@igme.es; a.delahera@igme.es

(2) Instituto Geológico y Minero de España (IGME). C/ Cirilo Amorós, 42, entreplanta. 46004 Valencia
b.ballesteros@igme.es

(3) Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Avda. Alfonso X el Sabio, 6. 30008 Murcia
r.aragon@igme.es

RESUMEN

Los conflictos entre el uso de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales son especialmente relevantes en zonas áridas y semiáridas, donde la superficie de estos ecosistemas naturales ha descendido considerablemente en las últimas décadas. Hace cincuenta años, la desaparición de humedales no provocaba ningún tipo de conflicto, sencillamente porque carecían de cualquier valoración positiva. La situación ha cambiado debido, por una parte, a los avances de la tecnología agraria y, por otra, a la práctica erradicación de las enfermedades palúdicas y a los avances de la Ecología. Hoy día, buena parte de la opinión pública entiende que los humedales han de gozar de una eficaz protección. En este trabajo se abordan algunos de los casos más notables de conflictos entre el aprovechamiento de las aguas subterráneas y la conservación de zonas húmedas litorales en la Comunidad Valenciana (marjal de Almenara y marjal de Pego-Oliva), así como de la situación actual del Mar Menor en la Región de Murcia.

Palabras clave: conflicto, contaminación, explotación de agua subterránea, humedal, litoral mediterráneo español, transformación agrícola

Conflicts between groundwater development and wetland conservation in the Spanish Mediterranean area

ABSTRACT

Conflicts between groundwater use and wetland conservation are especially relevant in arid and semi-arid zones, where the areas of these natural ecosystems have decreased in the last decades. Fifty years ago, wetland losses didn't cause any conflicts because they were not valued positively. The situation has changed due to the advances in agricultural technologies, to the disappearance of marshy diseases and the development of Ecology as a science. Nowadays, there is a general awareness that wetlands must be protected. Some of the most important conflicts between groundwater development and coastal wetland conservation have taken place in Valencia (Almenara and Pego-Oliva wetlands). These two cases are analysed in this paper, together with the current situation of the Mar Menor in Murcia.

Key words: agricultural transformation, conflict, contamination, groundwater exploitation, Spanish Mediterranean area, wetland

Introducción

A pesar de que en el pasado se ha destruido en España una elevada superficie ocupada por espacios palustres y lacustres de diferente tipo y magnitud, queda aún un buen número de ellos por proteger y restaurar en lo posible. Muchos de estos ecosistemas dependen parcial o totalmente de aportes de agua subterránea, lo cual es algo que no ha sido reconoci-

do y estudiado hasta épocas recientes. Esta circunstancia hace que la explotación de acuíferos relacionados con zonas húmedas, interfiera en el funcionamiento y en la calidad de sus aguas, por lo que se requiere la búsqueda de un compromiso que permita combinar los notables beneficios sociales del aprovechamiento de las aguas subterráneas con la conservación de la Naturaleza. Esto no sólo es una cuestión científica y técnica que implica la necesidad de mejo-

Fornés, J. M.^a *et al.*, 2008. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la... *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2): 231-246

rar el conocimiento sobre el medio físico natural, sino que también y en especial, es un asunto económico, social y político que requiere experiencia, aceptación pública y decisiones de gestión dentro de un marco legal y normativo adecuado.

En el presente trabajo se comentan brevemente algunos casos representativos de conflictos entre el aprovechamiento de las aguas subterráneas y la conservación de humedales litorales, como el marjal de Almenara y el marjal de Pego-Oliva en la Comunidad Valenciana, así como la situación actual del Mar Menor en la Región de Murcia. Otros casos de conflictos en el litoral mediterráneo se desarrollan en Fornés y Llamas (2003).

Elementos que integran el balance hídrico de un humedal litoral mediterráneo

Es frecuente que, en los conflictos suscitados entre los interesados en la explotación de los recursos ligados a zonas húmedas y los movimientos conservacionistas, impere un desconocimiento científico bastante acentuado acerca de los procesos del medio físico que rigen la formación y evolución de estos ecosistemas naturales. Entre ellos, se puede afirmar que el más importante es el que atañe a los recursos hídricos, elemento sustancial sin el cual, y por definición, no cabe la posibilidad real de existencia de un humedal. En consecuencia, es habitual que se entre con facilidad en discusiones y debates estériles que a ninguna parte conducen por carecer del soporte científico suficiente. Esto lleva a una conclusión muy clara, que no es otra que la necesidad de sentar las bases del conocimiento y establecer, en primer lugar, cómo funcionan estos ecosistemas acuáticos y cuáles son los procesos que dan lugar a su formación, así como aquellos otros que siguen permitiendo su existencia.

Para definir el funcionamiento hidrodinámico de una zona húmeda es preciso identificar y determinar el valor de cada uno de los componentes que integran su balance hídrico. Éste se establece a través de la cuantificación de las entradas o aportes hídricos al sistema y de sus salidas o descargas, aspectos cuyo conocimiento es imprescindible para la adecuada conservación y gestión de estas áreas. El resultado final de dicho balance será fiel reflejo de las condiciones hidrológicas imperantes en el sistema, que tendrán especial incidencia en la calidad del agua del mismo.

Después de estudiar el funcionamiento hídrico de algunos humedales litorales mediterráneos, Ballesteros (2003) propone el siguiente modelo con-

ceptual de funcionamiento, en el que identifica los diferentes elementos que integran sus entradas y salidas según dos grupos, en función de que tengan una relación más o menos inmediata con el humedal (Figura 1).

Entradas hídricas al sistema

Entradas directas: corresponden a aquéllas que llegan de forma inmediata al humedal sin mediar ningún otro elemento. Son las siguientes:

- Precipitaciones directas de agua de lluvia sobre el humedal.
- Escorrentía superficial procedente de la cuenca vertiente.
- Aportes subterráneos procedentes del acuífero asociado (basal o lateral) al humedal y relacionado directamente con éste.
- Aportes directos por actuaciones humanas: acequias y conducciones artificiales. Entre ellas puede incluirse también el bombeo de agua de mar en los humedales destinados a la explotación salinera (caso de los localizados al sur de la provincia de Alicante).

Entradas indirectas: son recursos que acceden al sistema y tienen relación con él utilizando los acuíferos asociados y los cursos superficiales vertientes al humedal como elementos interpuestos. Hay que tener en cuenta que los volúmenes relacionados con este tipo de aportes no son acumulables a las entradas directas, sino que modifican el volumen de estas últimas dependiendo de las condiciones hidrogeológicas e hidrológicas del acuífero asociado y de los cauces que fluyen hacia el humedal. Sentadas estas premisas, dichas entradas indirectas pueden establecerse en las siguientes:

- Infiltración de agua de lluvia a través de la superficie permeable del acuífero.
- Infiltración por regadío.
- Aportes laterales de los acuíferos de borde hacia los acuíferos asociados.
- Recarga del acuífero asociado procedente de cauces superficiales (acequias, canalizaciones y cauces naturales).

Salidas hídricas al sistema

Salidas directas: son aquéllas que se detraen o drenan directamente de la zona húmeda. Se identifican las siguientes:

- Evaporación producida sobre la lámina de agua libre, que habitualmente no ocupa la extensión

Fornés, J. M.^a et al., 2008. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la... *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2): 231-246

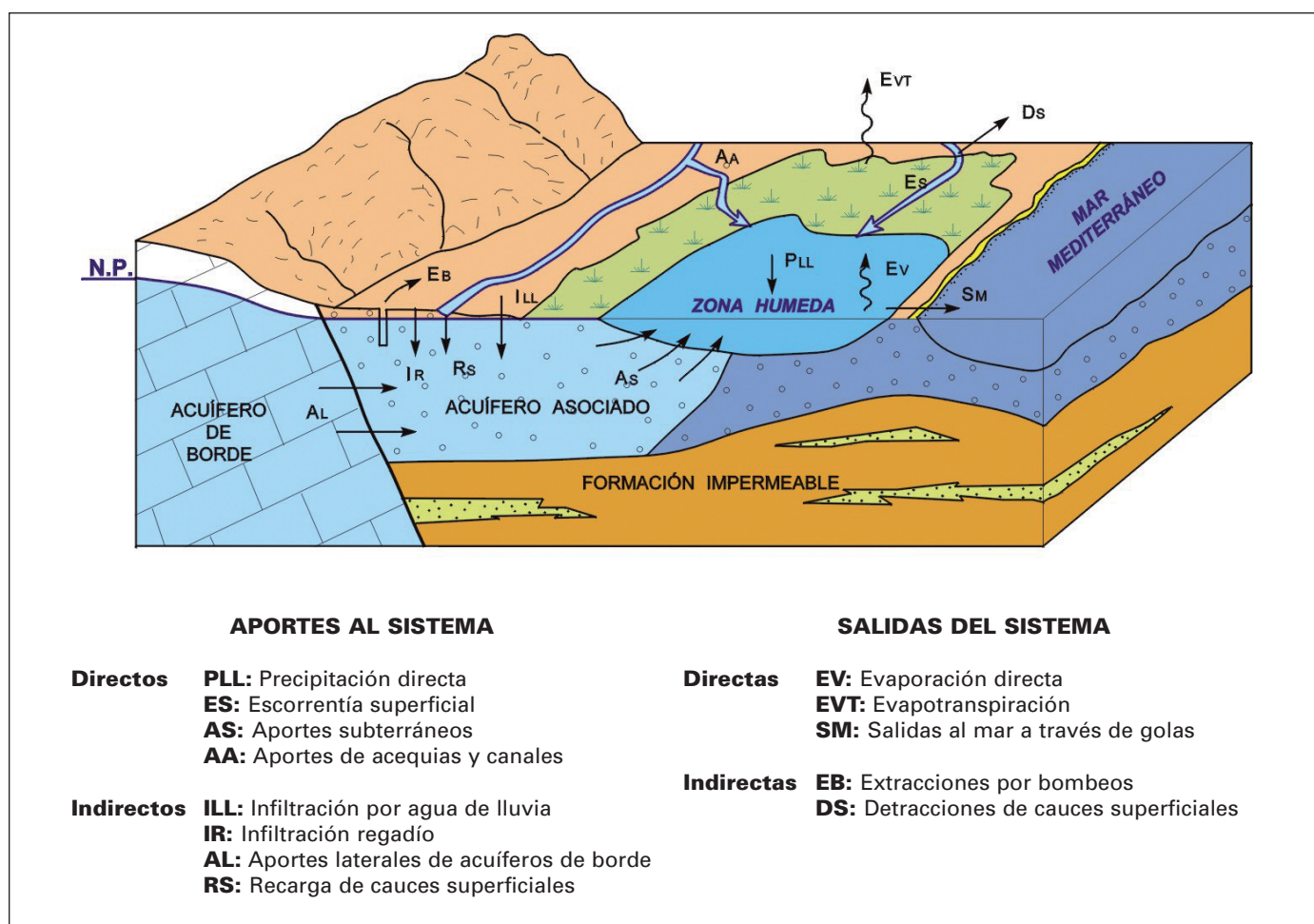


Figura 1. Elementos que integran el balance hídrico de un humedal litoral mediterráneo (Ballesteros, 2003)

Figure 1. Components of the water budget of a Mediterranean coastal wetland (Ballesteros, 2003)

total del vaso del humedal, sino la zona o zonas más deprimidas del mismo.

- Evapotranspiración en el conjunto del territorio ocupado por el humedal (zona de marjal) incluida la vegetación.
- Drenaje al mar a través de golas o zanjas drenantes.

Salidas indirectas: corresponden a las detracciones de recursos que se producen antes de que estos lleguen a la zona húmeda, mermando sus aportes iniciales y, en consecuencia, las entradas directas. Fundamentalmente se reducen a dos conceptos:

- Extracciones por bombeos en el acuífero asociado (o incluso en los acuíferos de borde).
- Dentracciones y aprovechamientos de aguas superficiales en la cuenca vertiente.

Es necesario comentar que en este balance sólo se han considerado elementos de carácter hídrico, sin

tener en cuenta los numerosos factores de orden geomorfológico que intervienen, en uno u otro sentido, en la modificación de los aportes y descargas a la zona húmeda, al provocar cambios en los procesos erosivo-sedimentarios. Tal es el caso de las alteraciones sufridas por el cambio en las condiciones de forestación de la cuenca vertiente, o la realización de presas y embalses, que han influido de manera sustancial en su régimen fluvio-torrencial, así como los fenómenos de colmatación del vaso de la mayoría de los humedales mediterráneos. A lo último tampoco sería ajena la actividad humana, ya que el aterramiento de estos lugares ha sido un ejercicio tradicional a lo largo del tiempo, antes con fines agrícolas y más recientemente con fines urbanísticos. También los procesos ligados a la dinámica litoral y las afecciones relacionadas con la construcción de infraestructuras, tales como espigones y puertos, pueden

Fornés, J. M.^a *et al.*, 2008. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la... *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2): 231-246

haber modificado, en algunos casos de forma importante, el funcionamiento hídrico de estos entornos naturales.

Humedales de la Comunidad Valenciana

Los humedales son ecosistemas de una gran fragilidad que los hacen muy sensibles a cualquier uso o intervención inadecuados. Cerca de la mitad de los Espacios Naturales de la Comunidad Valenciana declarados son humedales. Dos de ellos (marjal de Pego-Oliva y Albufera de Valencia) están incluidos en la Lista del Convenio de Ramsar. Además, existen 8 zonas ZEPA (Zonas de Especial Protección para las Aves) de esta Comunidad Autónoma que son humedales. Como ecosistemas reguladores de los regímenes hidrológicos y poseedores de recursos económicos, culturales, científicos y recreativos a preservar, su protección cobra una gran importancia, siendo necesario compatibilizar los usos y actividades realizadas en dichas zonas a lo largo del tiempo con las medidas, instrumentos y mecanismos de gestión que garanticen su conservación. Por este motivo, el legislador, sabiendo la importancia que los espacios húmedos tienen, su amplia distribución por el territorio, su grado de transformación y su competencia con los usos agrarios y urbanísticos, plantea una figura de protección como es el Catálogo de Zonas Húmedas, remitiendo a medidas que deben recogerse en el planeamiento urbanístico y en la planificación hidrológica.

El Catálogo no es propiamente un instrumento de ordenación, sino básicamente un registro administrativo a partir del cual, e identificado claramente el objeto a preservar, las diferentes Administraciones (local, Generalitat y Organismo de cuenca), en el ámbito de sus competencias, deben desarrollar sus actuaciones a fin de salvaguardar los valores localizados en estos humedales. Sin embargo, esto no significa que las zonas húmedas catalogadas (todas o algunas) no puedan desarrollar su protección posteriormente mediante otras figuras legales. Según Domenech (2003), el Catálogo es un paso previo para frenar el deterioro de estas zonas, dando respuesta a una dinámica negativa que en los últimos 50 años ha destruido el 60% de la superficie de zonas húmedas en la Comunidad Valenciana y muy especialmente en el litoral, donde por debajo de la isolínea de los 100 m s.n.m. se localiza el 90% del PIB y el 80% de la población.

El Catálogo, desde el punto de vista de la proporcionalidad y del ámbito competencial de la Generalitat Valenciana, no contempla la totalidad de espacios que más o menos cumplen las característi-

cas de las zonas húmedas, sino que se catalogan aquéllas cuyos valores tienen una relevancia de ámbito regional, no incluyéndose las de menores valores o las de importancia local, que pueden protegerse por otras vías diferentes al Catálogo como es el caso, por ejemplo, del propio planeamiento urbanístico.

Se han catalogado 48 humedales en la Comunidad Valenciana, de los cuales 6 son Parques Naturales, es decir, cuentan con un marco regulador específico por el que no están sometidos a las disposiciones normativas del Catálogo salvo de forma subsidiaria. Los humedales catalogados ocupan una superficie de 44.862 ha.

Por usos del suelo, el 6% de los humedales catalogados presentan una lámina de agua más o menos permanente; el 30% corresponde a vegetación palustre más o menos alterada; el arrozal constituye el 24%; y los cítricos y hortícolas van a continuación con un 13% cada uno. Estos datos son un reflejo incuestionable de la elevada antropización de las zonas húmedas en la Comunidad Valenciana y, consecuentemente, de la gran dificultad a la hora de implementar planes de uso y gestión sostenible de los mismos (Domenech, 2003).

Casos de conflicto: humedales de Almenara y Pego-Oliva

Hace unos 2.000 años, a lo largo de toda la línea costera que desde Peñíscola hasta Santa Pola conformaba el litoral mediterráneo, se distribuían casi sin solución de continuidad, y con la única excepción de algunas zonas montañosas especialmente centradas en las comarcas de las Marinas y Alicante, una serie de zonas húmedas, tales como marjales, albuferas y saladares (DGOH, 1991) que con el paso del tiempo han quedado reducidas a solo una decena de puntos, entre los cuales el marjal de Pego-Oliva y el marjal de Almenara son algunos de los más importantes.

Marjal de Almenara

Es uno de los humedales más extensos y valorados de la Comunidad Valenciana por su considerable valor ecológico y, al igual que la mayoría de los sistemas palustres litorales localizados al norte del cabo de La Nao, su origen está íntimamente relacionado con la presencia de aguas subterráneas, aunque existen también aportes adicionales procedentes de retornos de riego y de aguas residuales. Con una superficie de 1.560 ha, está incluido en el Catálogo de

Fornés, J. M.^a *et al.*, 2008. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la... *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2): 231-246

Zonas Húmedas de la Comunidad Valenciana y en sucesivas listas de LICs (Lugares de Interés Comunitario) enviadas por el Gobierno Español para formar parte de la red europea de espacios protegidos Natura 2000 (Amer, 2003).

Como es común a esta zona litoral mediterránea, la génesis del humedal se encuentra relacionada con el cierre y colmatación de una antigua laguna costera, proceso al que ha sucedido una intervención antrópica muy importante orientada a su desecación y, sobre todo, al aterramiento artificial del terreno para su conversión en explotaciones agrícolas, actualmente dedicadas a cultivos hortícolas (60%) y arrozal (30%) (Domenech, 2003). A este tipo de intervenciones directas se han sumado otras, de carácter más remoto pero igualmente importantes, que tienen que ver con la explotación de los recursos hídricos de sus acuíferos asociados, lo que ha generado un importante déficit hídrico sobre el ecosistema. La ocupación urbanística de la restinga, que tiene una longitud de 13,5 km y una anchura entre 300 y 700 m (Amer, 2003), y la desaparición de la estructura agraria en el municipio de Moncófar, constituyen los últimos eventos de la actividad humana en el marjal. Otra de las intervenciones más relevantes ha sido el encauzamiento del río Belcaire, cuya desembocadura natural era el humedal, que ha contribuido también de forma importante a la disminución de sus aportes hídricos (Domenech, 2003).

Lo más significativo del marjal de Almenara, desde el punto de vista hidrogeológico, es que sobre él interaccionan varias masas de agua subterránea, en concreto la 080.021 Plana de Castellón, la 080.022 Plana de Sagunto y la 080.023 Medio Palancia. Las dos primeras son de carácter detrítico, con permeabilidad por porosidad, y constituyen el soporte físico de la zona húmeda formando su acuífero asociado basal. La masa de agua subterránea del Medio Palancia, que interviene como acuífero asociado lateral, coincide parcialmente con el subsistema del Medio Palancia definido por el IGME (1970). Agrupa un conjunto de acuíferos de carácter carbonatado y edad triásica definidos más por discontinuidades piezométricas derivadas de la alta compartimentación estructural que sufren las formaciones que lo integran, que por diferencias litológicas (Morell, 2003). Estos materiales se hunden bajo el relleno pliocuaternario de la Plana (Figura 2), que supera los 40 metros de espesor medio, de manera que la descarga de los acuíferos triásicos hacia el Pliocuaternario tiene lugar a través de todo el borde de contacto, que constituye un límite abierto aunque discontinuo, y probablemente también a través de la presencia de altos estructurales bajo el relleno plio-

cuaternario (Giménez, 1994; Giménez *et al.*, 2007). Aunque el esquema dista de ser homogéneo y en la zona denominada Los Valles, entre Almenara y la Font de Quart, existe un relleno conglomerático mejor desarrollado de hasta 100 metros de espesor, el funcionamiento hidrogeológico no varía sustancialmente del indicado (Morell, 2003).

El principal aporte de aguas subterráneas al marjal proviene directamente de los acuíferos carbonatados mesozoicos (triásicos), en concreto del Salt del Cavall al norte y de Algar-Quart al sur (Figura 3), lo que da lugar a la formación del denominado *Estany Gran* en el límite interior de su sector central. También el acuífero pliocuaternario sobre el que se sitúa el marjal, integrado tanto por la Plana de Castellón como por la de Sagunto, que en este lugar presenta continuidad hidráulica, contribuye de forma relevante al mantenimiento del humedal. Dentro de este esquema hidrogeológico, es importante tener en cuenta que este acuífero pliocuaternario es alimentado, a su vez, por los acuíferos carbonatados de edad mesozoica, que en definitiva se constituyen en el principal elemento de alimentación hídrica del marjal en régimen natural. Dicho esquema, sin embargo, ha sido alterado de forma importante por la actividad humana, traducida en la sobreexplotación de los acuíferos asociados laterales, Algar-Quart y especialmente Salt del Cavall, efecto que fue especialmente visible en la sequía de mitad de los años ochenta.

La incidencia de la intensa explotación de estos acuíferos sobre el régimen hídrico del marjal es muy variable, de manera que en los años húmedos apenas se deja sentir esa afección, o al menos la zona húmeda recupera un estado muy aceptable, mientras que en los años secos no sólo se reduce drásticamente la recarga, hasta el punto de prácticamente anularse, sino que pueden aparecer procesos de inversión del sentido del flujo de forma que el agua del *Estany Gran*, relacionado con el acuífero del Salt del Cavall, penetra en el acuífero dolomítico a través de la surgencia del *Estany*, ahora convertida en sumidero (Morell, 2003). Es relevante el hecho de que en algunos momentos, la superficie piezométrica del acuífero del Salt del Cavall ha llegado a situarse varios metros por debajo de la cota del nivel del mar, con descensos acumulados de hasta 17 m en algunos puntos (Ballesteros *et al.*, 1989).

El Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar (CHJ, 1997) estima el volumen drenado por el marjal en 6 hm³/año y, a falta de estudios más detallados, evalúa la demanda ecológica necesaria para el mantenimiento de sus ecosistemas en 10 hm³/año. Al margen de estos datos, es claro que la explotación de los acuíferos asociados genera déficit hídrico en la zona

Fornés, J. M.^a et al., 2008. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la... *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2): 231-246

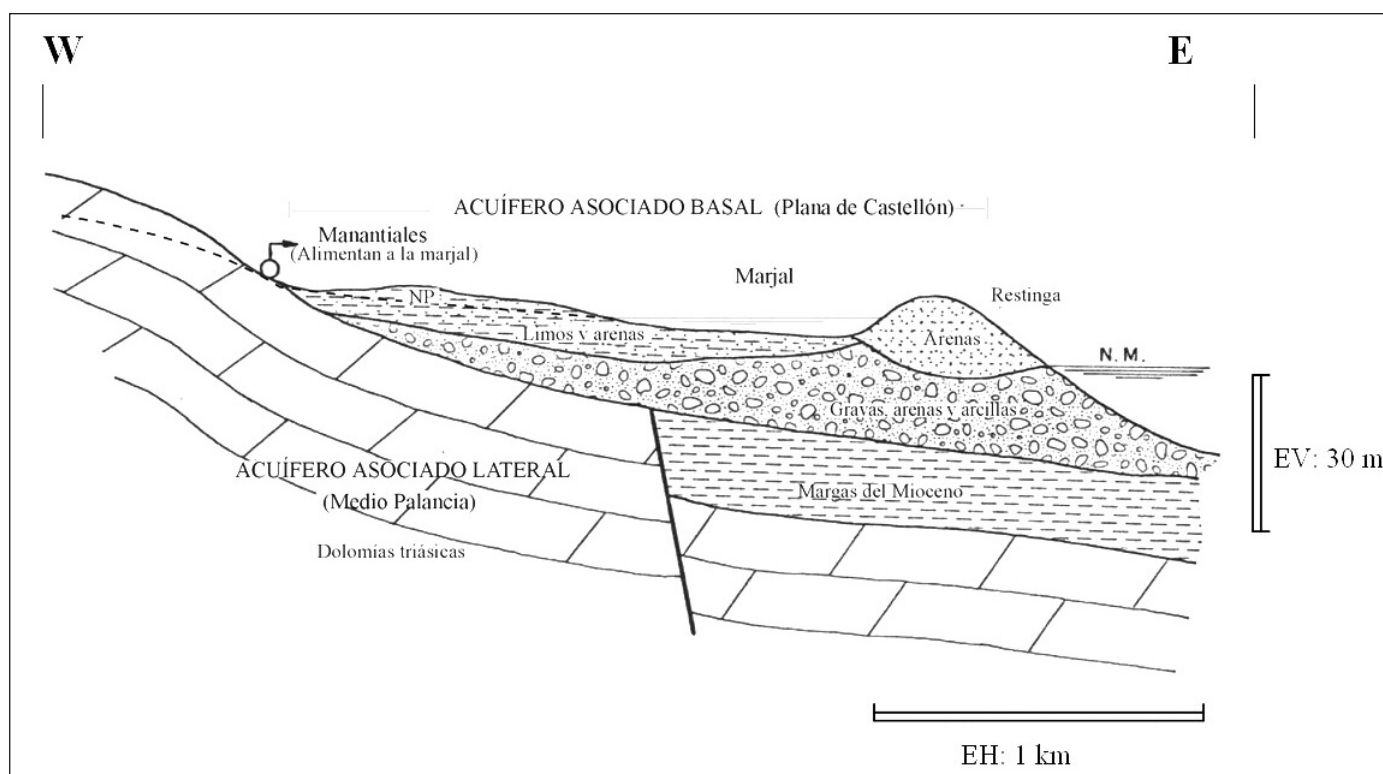


Figura 2. Perfil hidrogeológico esquemático del marjal de Almenara (Ballesteros, 2003)
Figure 2. Almenara wetland hydrogeological sketchy section (Ballesteros, 2003)

húmeda. Sin embargo, la cuantificación de dichas explotaciones no es muy precisa, ya que el IGME y la Diputación de Castellón (1988) los estimaba en 23 hm³/año y el Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar (CHJ, 1997) en 49 hm³/año (Morell, 2003).

Los conflictos entre los diversos colectivos sociales comienzan con la primera desecación del marjal en la segunda mitad de los años 80, periodo coincidente con el final de una intensa sequía y con el importante desarrollo de las captaciones de aguas subterráneas en los acuíferos asociados laterales triásicos. Es entonces cuando se suceden las primeras denuncias por parte de las asociaciones ecologistas que empezaban a consolidarse en aquella época, acompañadas incluso por acciones de presión. Fruto de todo ello fue la consecución de algunos objetivos, como fue la ilegalización de varios pozos cercanos a las surgencias de *Els Estanys* de Almenara por parte de la Confederación Hidrográfica del Júcar (Amer, 2003). Las denuncias ecologistas han seguido produciéndose hasta la actualidad con diferente resultado, al tiempo que estas sociedades se han implicado de forma muy loable en la ejecución de actuaciones directas para la recuperación de los hábitats del mar-

jal, como la compra de terrenos en el entorno de *Els Estanys* y su posterior desaterramiento encaminado a conseguir devolver este entorno natural a su estado original.

Una de las lecciones de mayor interés que aporta el estudio del marjal de Almenara, dentro del marco de discusión de los procesos que han contribuido a la desaparición de los humedales litorales de esta zona del Mediterráneo, es que en este proceso intervienen factores de diversa naturaleza. Entre ellos hay que resaltar, en primer lugar, la detracción de recursos hídricos del sistema de funcionamiento natural del humedal en zonas no inmediatas a éste, es decir, en los acuíferos asociados laterales del Salt del Cavall y Algar-Quart, que en este caso adquieren mayor relieve que las llevadas a cabo en la formación que constituye el propio acuífero asociado basal. En segundo lugar, es necesario poner de manifiesto la intensidad de la intervención humana, traducida en acciones de drenaje y en el aterramiento directo del humedal, destinado a elevar la cota topográfica del suelo facilitando así su desecación. La importancia y magnitud de este hecho, no suficientemente considerado hasta ahora, ha podido constatare en los trabajos de des-

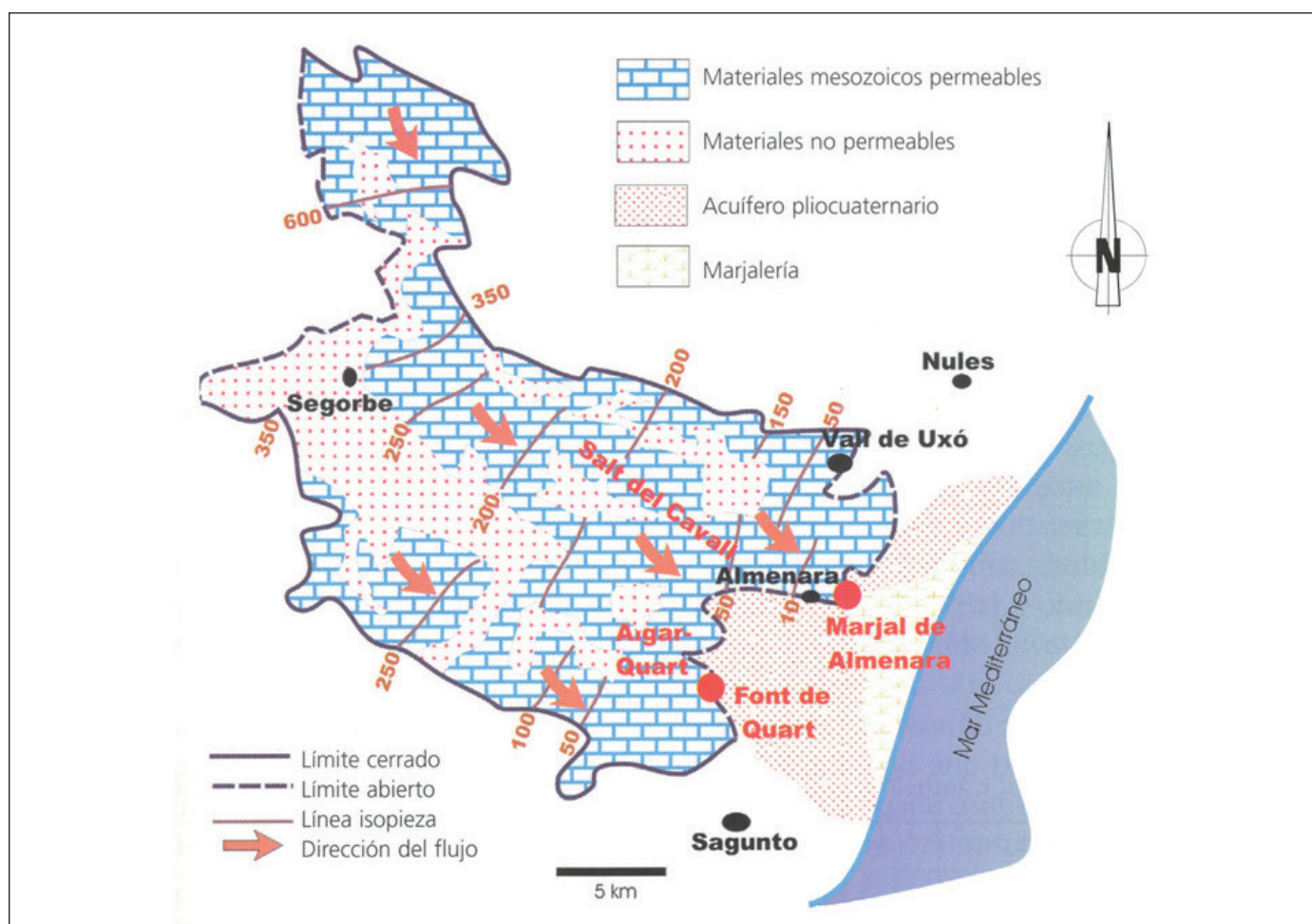


Figura 3. Funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos asociados laterales (Salt del Cavall y Algar-Quart) del marjal de Almenara (Morell, 2003). Las principales surgencias se representan con círculos rojos.

Figure 3. Hydrogeological functioning of the lateral associated aquifers (Salt del Cavall and Algar-Quart) of Almenara wetland (Morell, 2003). The main springs are marked by red circles.

ateramiento de *Els Estanys* realizados en los últimos años por las asociaciones ecologistas.

Marjal de Pego-Oliva

Esta zona húmeda natural, ubicada al norte de la provincia de Alicante y sur de la de Valencia, en el margen septentrional de la comarca de La Marina Alta, se formó como consecuencia del cierre de una antigua albufera por una barra arenosa litoral o restinga, de 9 km de longitud, generada por las corrientes marinas dominantes que, en esta zona del Mediterráneo, discurren de norte a sur.

Presenta un avanzado proceso de colmatación y su lámina de agua tiene un espesor casi siempre infe-

rrior a medio metro. Además de que por su extensión y biodiversidad conforma un ecosistema acuático de singular interés (Figura 4), constituye un ejemplo típico y de especial relevancia para este tipo de espacios como paradigma en el que confluyen intereses encontrados, ya que en las últimas cuatro décadas el uso y aprovechamiento de sus recursos ha sido fuente de tensiones y enfrentamientos entre los diferentes usuarios con posibilidad de obtener beneficios económicos, y otros grupos sociales cuyos fines eran de muy distinto signo. A estas circunstancias no es ajena la propia Administración, de suerte que se ha pasado de una actitud transformacionista de los poderes públicos durante los años 70, cuyo destino era el uso agrícola, a otra conservacionista en la última década del siglo XX que culmina con la declaración de

Fornés, J. M.^a *et al.*, 2008. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la... *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2): 231-246

Parque Natural por la Generalitat Valenciana con fecha 27 de diciembre de 1994. En concreto, puede decirse que el drástico cambio de fines y objetivos sufrido en tan corto periodo de tiempo ha sido causa, y está en el origen, de las situaciones conflictivas surgidas, algunas de las cuales aún persisten en la actualidad.

Dentro del contexto referido, la intervención humana en este espacio natural comienza a finales del siglo XVIII con la transformación del marjal por medio de la construcción de acequias de desagüe en las partes más externas, aunque el cultivo del arroz hace su aparición por primera vez en 1848, año en el que se realiza el primer proyecto de reconversión de la zona húmeda a cargo de algunas familias adineradas de Pego. Es, sin embargo, en las dos últimas

décadas del siglo XIX, cuando comienza realmente la gran expansión de este cultivo, y ya en 1886 la superficie dedicada al arroz alcanzaba las 330 ha (Ballesteros *et al.*, 2003). Más adelante, en 1916, se crea la Comunidad de Regantes de las tierras arrojales, que aún funciona en la actualidad.

Entre 1920 y 1945, llega el máximo esplendor de este cultivo con motivo de la fuerte demanda que generaron los conflictos bélicos mundiales y la contienda nacional, alentada por la Ley Cambó de 1918 que promovía la desecación de los humedales y su posterior transformación, acogiéndose al supuesto de insalubridad de estos espacios. Según Obartí (2003), en sus momentos de mayor producción a comienzos de los años 1950, se mantenían en explotación unas 1.000 ha (la casi totalidad del marjal),



Figura 4. Laguna de Pego-Oliva (2002) (Fotografía: Alfredo García de Domingo)
Figure 4. Pego-Oliva wetland (2002) (Photograph: Alfredo García de Domingo)

Fornés, J. M.^a et al., 2008. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la... *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2): 231-246

quedando reducidas a no más de 350 ha en los años 60. De esta época data el sistema de acequias de regadío, que se mantiene con estructura ortogonal en la actualidad, y la canalización de la gola del río Vedat al mar.

Posteriormente, en el periodo 1960-1985, y coincidente con la pérdida de rentabilidad del cultivo del arroz, tiene lugar el intento de mayor transformación del paraje, orientado en este caso a la producción hortícola. Así, el Decreto Ley 1068/1970, de 21 de marzo (BOE nº 89, de 14 de abril de 1970), declara de Utilidad Pública el marjal y, por iniciativa privada inicialmente y pública con posterioridad, se emprendió su desecación.

En el período 1978-82, el IRYDA proyectó la transformación a cultivos hortícolas de cerca del 90% de la superficie del marjal. Sin embargo, los criterios conservacionistas fueron afianzándose con la asunción de competencias plenas en materia de ordenación territorial y medioambiente por parte del Gobierno autonómico, hecho que llevó a cuestionarse la conveniencia de dicha transformación agrícola y al abandono definitivo del proyecto de desecación del marjal.

En consecuencia, la primera medida que se adoptó bajo este prisma conservacionista, fue la declaración de Paraje Natural de la Comunidad Valenciana. Posteriormente, la Consellería de Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana valoró la importancia científica y de patrimonio natural del humedal, para cuya adquisición recabó ayudas internacionales. La respuesta internacional fue inmediata, concediendo la Unión Europea en 1993, un proyecto LIFE para el desarrollo del Parque Natural y compra de los terrenos a los agricultores. En 1994, es incluido por el Consejo de Ministros en el Convenio de Ramsar, que aglutina a los humedales más importantes del mundo. En ese mismo año 1994 es declarado Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA). Por último, mediante la Ley 11/1994, de 27 de diciembre, es declarado Parque Natural con una extensión de 1.253 ha, sumándose así a los diez espacios protegidos de la Comunidad Valenciana. Finalmente, el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales es aprobado por Decreto 70/1999, de 4 de mayo, del Gobierno Valenciano.

No obstante, la relativa tranquilidad que parecía ampararse bajo estas figuras jurídicas de protección, tuvo un carácter efímero, pues en los últimos años ha resurgido con gran virulencia el interés del municipio de Pego y sus sociedades agrarias por la transformación del humedal, pese a la declaración de Parque Natural y al régimen de protección que le otorgan tanto la Ley de Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad Valenciana (Ley 11/1994, de 27 de diciem-

bre), como la Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas).

Por lo que se refiere a las características fisiográficas, el entorno territorial en el que se asienta el humedal, se caracteriza por la existencia de una llanura central en forma de cuña abierta al mar por el este, flanqueada por las sierras de Mustalla al norte y por la de Segaria al sur. Viñals (1996) diferencia tres grupos de depósitos en función de su génesis: los sedimentos aluviales, en los que se incluyen abanicos y conos aluviales, depósitos de pie de monte y glaciares de acumulación; los fluviales, que comprenden los depósitos de canal y de llanura de inundación; y los parálidos, constituidos por los marjales costeros, las lagunas costeras y los depósitos de restinga, como son las dunas, las golas o la playa.

Desde el punto de vista hidrogeológico, el marjal de Pego-Oliva se asienta sobre la masa de agua subterránea 080.055 Oliva-Pego, sector del antiguo Sistema Acuífero de Gandía-Denia, que correspondería al acuífero asociado basal del humedal. Este está constituido por formaciones cuaternarias de carácter detrítico dispuestas sobre un material impermeable formado por margas miocenas, aunque también pueden encontrarse en contacto con los acuíferos calcáreos mesozoicos manteniendo cierta conexión hidráulica entre ellos (Figura 5).

La formación y pervivencia del marjal, además de por los aspectos geomorfológicos aludidos, está íntimamente condicionada por los agentes hidrogeológicos. Así, existen dos importantes masas de agua subterránea de carácter carbonatado que actúan como acuíferos asociados laterales de este humedal litoral y que le aportan la mayor parte de sus recursos hídricos: la masa de agua subterránea 080.054 Almirante-Mustalla por el norte, que da lugar al río Bullens o Bullent, y la masa de agua subterránea 080.058 Alfaro-Mediodía-Segaria por el sur, que da lugar al río Racons. Las descargas de ambas masas, estimadas por Obartí (2003) en 54 hm³/año, confluían en el marjal de Pego-Oliva que ejercía de colector natural de éstas. La intervención humana, sin embargo, ha modificado en parte este esquema natural mediante la construcción, entre otras infraestructuras, de un canal de evacuación directa al mar de las aguas del río Bullent.

Según Ballesteros y Domínguez (2007), las principales fuentes naturales de alimentación del humedal de Pego-Oliva, son los aportes del acuífero pliocuaternario infrayacente, la precipitación directa del agua de lluvia y, sobre todo, los aportes de los cursos de agua permanente de los ríos Bullens y Racons, estimados en este caso por el IGME (2001) en 52

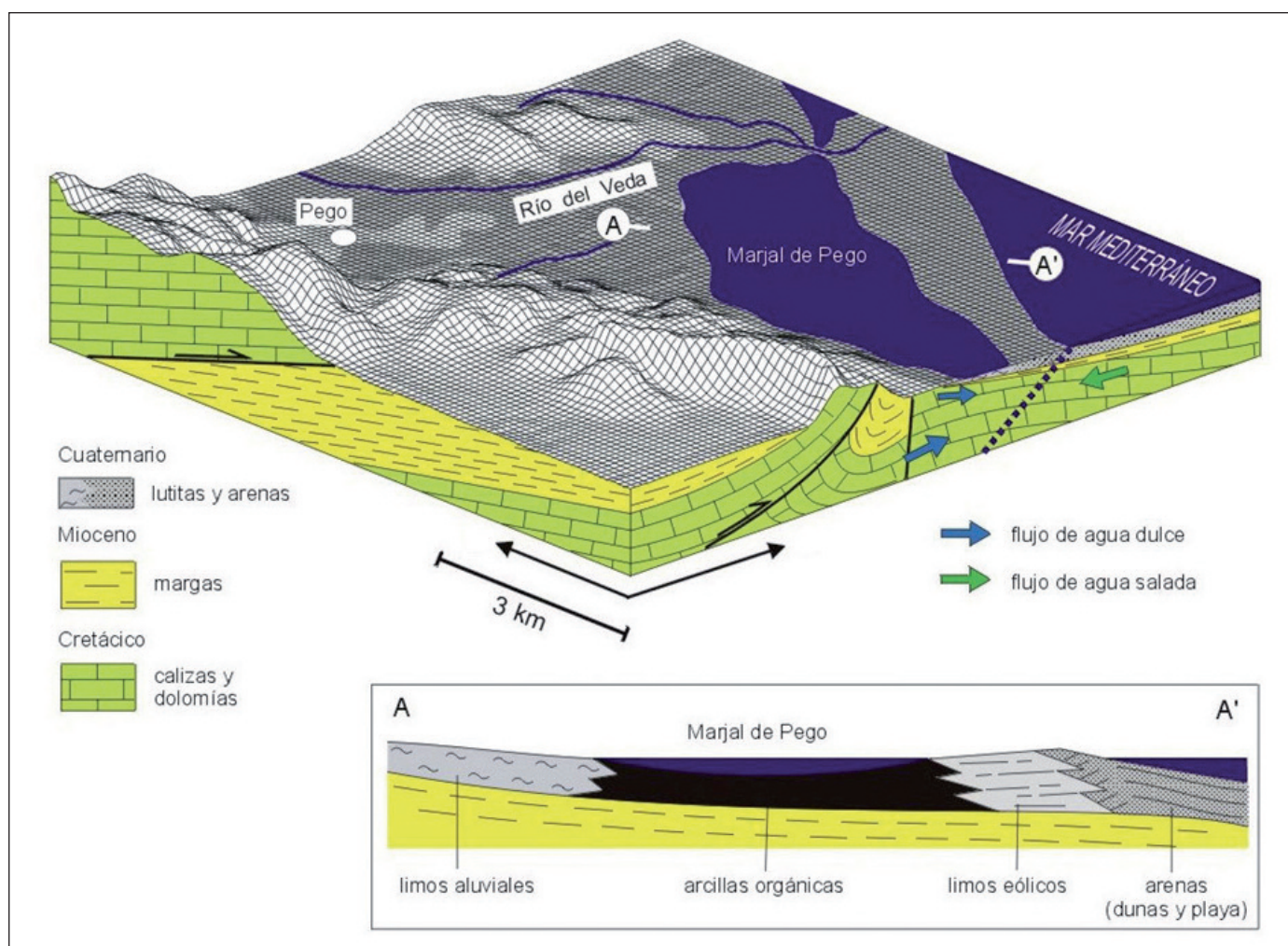


Figura 5. Modelo geológico de la marjal de Pego-Oliva (Durán et al., 2005)

Figure 5. Geological model of the Pego-Oliva wetland (Durán et al., 2005)

hm³/año, alimentados a su vez por las masas de agua subterránea Almirante-Mustalla y Alfaro-Mediodía-Segaria. Es de especial importancia la derivación de agua de estos ríos para la periódica inundación de campos de arroz, que se realiza mediante compuertas que controlan el nivel de las aguas en los canales de riego-drenaje. Por su parte, las salidas del marjal tienen lugar hacia el mar a través de los ríos Bullens y del denominado río Molinell, que constituye el tramo final del propio río Racons, tanto de forma natural por gravedad, como mediante bombeos practicados en el extremo sureste del marjal cuando lo requiere el cultivo del arroz.

Según Obartí (2003), existen unas 50 captaciones –la mayoría en la parte oriental– que bombean agua en el ámbito de influencia del marjal, incluidas las masas de agua subterránea Almirante-Mustalla,

Alfaro-Mediodía-Segaria y Pego-Oliva. De ellas, 37 bombean 12,7 hm³/año para regar unas 1700 ha, la mayor parte ubicadas en la plana litoral. El resto de las captaciones se destina al abastecimiento urbano, para lo cual bombean aproximadamente 3 hm³/año. Si bien el caudal extraído a través de sondeos varía de unos años a otros, en especial el utilizado en agricultura (cítricos esencialmente), la salida total media por este concepto se estima en 17,4 hm³/año.

Dentro de las extracciones de aguas subterráneas, sin duda la de mayor relevancia es la que tiene lugar por el drenaje de la finca del Rosario o de Oriol, no contabilizada entre las anteriores, cuya media es de 16,5 hm³/año. Esta explotación cítricola ubicada dentro del propio marjal, y en terrenos desecados mediante un sistema de drenes de tipo *polder*, mantiene constante y de forma automática la superficie

Fornés, J. M.^a *et al.*, 2008. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la... *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2): 231-246

piezométrica en torno a una cota de -2 m s.n.m., lo que da lugar a procesos de intrusión marina traducidos en contenidos de ion cloruro de las aguas subterráneas ampliamente superiores a 1.000 mg/L, pudiendo alcanzar los 3.000 mg/L en periodos de estiaje (Ballesteros *et al.*, 2004).

Por otra parte, en el entorno del marjal de Pegu-Oliva existen manantiales con agua de elevada salinidad localizados entre los 1,5 y los 4,4 km hacia el interior de la línea de costa y con cotas entre 1 y 3 m s.n.m. El quimismo de estas surgencias, ligadas a los acuíferos laterales de naturaleza kárstica, ha sido objeto de estudio y discusión frecuente. Según Ballesteros *et al.* (2006), los resultados obtenidos a partir de mediciones isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$, Deuterio, Tritio, $\delta^{34}\text{S}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en sulfatos), así como de perfiles hidroquímicos y relaciones iónicas (especialmente rCl/rBr), señalan a los procesos de salinización marina natural como el origen de la elevada mineralización de estas aguas. Esto implica que los acuíferos de Almirante-Mustalla y Alfaro-Mediodía-Segaria estarían en contacto directo con el mar bajo los sedimentos detríticos cuaternarios, donde el desarrollo de importantes procesos de karstificación generaría una amplia zona de mezcla agua dulce-agua salada. A este origen natural de la salinización, habría que añadirle la producida por la explotación citrícola de la finca Oriol, que potencia de forma importante este fenómeno. Toda esta casuística y confluencia de circunstancias singulares, tanto de orden administrativo y social como de las relacionadas con el medio físico, especialmente con el hidrológico, ha hecho muy difícil llegar a alcanzar acuerdos y está en el origen de las fuertes tensiones creadas, e incluso de los enfrentamientos habidos. Uno de los episodios de mayor trascendencia fue la oposición social generada en la segunda mitad de la década de los años 80 a la instalación de captaciones en el acuífero de Almirante-Mustalla para el abastecimiento a la localidad de Denia (aproximadamente 4 hm³/año). Este proyecto fue finalmente abandonado mientras que, paradójicamente, se mantenían, y subsisten aún hoy en día, las extracciones para la desecación permanente de la finca Oriol, como consecuencia de derechos previos adquiridos. Conviene recordar que los aportes subterráneos de los acuíferos asociados laterales al marjal superan ampliamente los 50 hm³/año.

Humedales de la Comunidad de la Región de Murcia

La Región de Murcia es una de las más áridas de la cuenca mediterránea, lo cual ha generado una extracción excesiva de aguas subterráneas, fundamental-

mente para desarrollar una agricultura de regadío cuyo incremento incontrolado e incondicional está hoy día fuertemente cuestionado (Martínez y Esteve, 2000). Como indicador ambiental que denuncia esta situación de explotación intensiva, se puede señalar la desaparición de un buen número de manantiales y fuentes naturales, como áreas de descarga de aguas subterráneas.

Los humedales de esta región han experimentado, al igual que los demás de la Península Ibérica, una fuerte influencia antrópica. Así, según el Departamento de Ecología e Hidrología (2001), el 95% sufren vertidos de residuos sólidos y el 55% reciben aguas de drenaje procedentes de explotaciones agrícolas. Entre los humedales costeros, el 50% soportan actividades recreativas y urbanísticas, mientras que en los de interior, el 30% se ven afectados por roturaciones, urbanizaciones, ganadería, o sufren alteraciones de su régimen hídrico como consecuencia de la explotación intensiva de los acuíferos. Así, en diez años, se han perdido 855,5 ha de humedales, de las que 820,3 ha corresponden a criptohumedales. Los usos más frecuentes de estos últimos son, sobre todo, de carácter extensivo, como el pastoreo (50%), las actividades recreativas (45%), la caza (30%) y la agricultura (20%). Algunas de estas prácticas están actualmente en regresión pero van siendo sustituidas por regadíos, desarrollo de polígonos industriales y urbanizaciones.

Mar Menor

El Mar Menor es una laguna hipersalina de 135 km² de superficie, con una profundidad media de 3,5 m, y máxima de 8 m. Está separado del Mar Mediterráneo por una banda arenosa de unos 24 km de longitud y entre 100 y 1.200 m de anchura, denominada La Manga. Dicha barra presenta varios canales o golos más o menos funcionales (Encañizadas de La Torre, El Ventorrillo y los canales artificiales de El Estacio y Marchamalo), que sirven de comunicación entre ambos mares. En el interior del Mar Menor existen cinco islas de naturaleza volcánica. Más del 95% de las aguas del Mar Menor proceden del Mar Mediterráneo.

Este valioso ecosistema también ha sido objeto, a lo largo de su historia reciente, de todo tipo de agresiones ambientales como relleno de terrenos, apertura y dragado de canales, vertidos mineros, urbanos y agrícolas, desarrollo urbano, construcción de puertos, creación de playas artificiales, dragados y vertidos de arenas y sedimentos, etc. Sin embargo, este deterioro se ha visto frenado gracias al reconocimiento nacional

Fornés, J. M.^a *et al.*, 2008. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la... *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2): 231-246

e internacional de su importancia ecológica. Así, el Mar Menor y sus humedales periféricos están incluidos en la Lista Ramsar de humedales de importancia internacional, y ha sido designada como Zona de Especial Protección para las Aves y como Lugar de Importancia Comunitaria por sus hábitats naturales. En 2001 fue también incluida entre las Zonas Especialmente Protegidas de Importancia para el Mediterráneo (ZEPI), derivadas del Convenio de Barcelona (Convenio para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación) de 1976, modificado posteriormente en 1995, año en el que España firmó el Protocolo sobre Zonas Especialmente Protegidas y la Diversidad Biológica en el Mediterráneo. Según este Protocolo, cada parte contratante debe establecer ZEPI en las zonas marinas y costeras sometidas a su soberanía y jurisdicción.

El Mar Menor se encuentra ubicado sobre la masa de agua subterránea 070.052 Campo de Cartagena, de 1450 km², integrada por diferentes acuíferos, entre los que destacan los pertenecientes al Triásico, al Messiniense, al Plioceno y al Cuaternario, constituidos por dolomías, calizas bioclásticas, areniscas y materiales detríticos, respectivamente, separados entre sí por tramos margosos (Figura 6). Además de estos acuíferos principales, existen otros de menor entidad, entre los que se encuentra el constituido por conglomerados del Tortonense. Sin embargo, la relación del Mar Menor con la masa de agua subterránea se realiza exclusivamente a través del acuífero más superficial, es decir, del acuífero cuaternario. Este acuífero, constituido por gravas, arenas, limos y arcillas, ocupa superficialmente la mayor parte del Campo de Cartagena y presenta un espesor que generalmente no suele alcanzar los 50 m, si bien en zonas próximas a la costa llega a superar los 100 m de potencia (Pérez-Ruzafa y Aragón, 2003) (Figura 7).

Por sus condiciones de afloramiento y escasa profundidad del nivel freático, el acuífero cuaternario es el más vulnerable a la contaminación en el Campo de Cartagena, en especial en lo referente a las actividades agrarias. Las intensas labores agrícolas que se desarrollan en esta comarca han provocado contenidos muy elevados de nitratos en el agua subterránea, siendo frecuentes concentraciones superiores a 50 mg/L, que incluso llegan a alcanzar en algunos lugares cantidades entre 100 y 150 mg/L, superando en algunas épocas los 200 mg/L (Aragón *et al.*, 1999). Según Rodríguez Estrella (2000), el acuífero cuaternario presenta aguas con una salinidad en general mayor de 2.000 mg/L, llegando a alcanzar los 4.000 mg/L en las proximidades de la costa. Las facies hidroquímicas predominantes de este acuífero son clorurada-sulfatada y sódica-cálcica.

Considerada en su totalidad, la masa de agua subterránea Campo de Cartagena presenta actualmente un balance equilibrado entre la recarga y la descarga de aguas subterráneas, e incluso positivo a favor de las entradas, según los diferentes estudios realizados en la última década. En el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (CHS, 1997) se define una situación media de equilibrio entre la recarga total (65 hm³/año, de los que 15 hm³/año corresponden a retornos de riego), y la descarga (60 hm³/año por bombeos en situación climática media y 5 hm³/año de salidas subterráneas al Mar Menor). Esta situación contrasta fuertemente con la que tenía lugar en los años 70, como consecuencia de las intensas explotaciones por bombeo que se producían con anterioridad a la llegada a la zona de las aguas del Trasvase Tajo-Segura.

En las últimas décadas, el acceso generalizado a los recursos subterráneos y la llegada de las aguas del Trasvase Tajo-Segura en 1979, han supuesto una profunda transformación del Campo de Cartagena: el consiguiente aumento del riego (de 11.000 ha en 1970-1980 a las 35.000 ha a principios del siglo XXI) y de fertilizantes agrícolas, ha generado un incremento progresivo y significativo de la escorrentía de agua y nutrientes hacia el Mar Menor. Esta grave amenaza de eutrofización se canaliza a través de diversos flujos, entre los que destaca, en relación con las aguas subterráneas, el contacto directo del acuífero cuaternario con el Mar Menor.

Durante el periodo seco 1991-1995, la situación de sequía y las menores aportaciones del trasvase, ocasionaron unas mayores extracciones de agua subterránea de los acuíferos del Campo de Cartagena para satisfacer la demanda agrícola. Esta situación de bombeo intensivo ha contribuido a paliar el problema de la eutrofización del Mar Menor, al rebajar el nivel freático y aminorar la descarga subterránea del acuífero cuaternario (muy vulnerable a la contaminación y con un elevado contenido de nitratos) a la laguna. De ahí que, según Pérez-Ruzafa y Aragón (2003), no pueda establecerse una relación directa entre la extracción de las aguas subterráneas del Campo de Cartagena y el proceso de eutrofización del Mar Menor y, por tanto, no exista en la actualidad un conflicto entre la extracción de este recurso subterráneo y la conservación del ecosistema.

Discusión

Los tres casos presentados en este artículo, constituyen prototipos de humedales costeros donde la presión urbanística y agrícola, compite por los recursos hídricos medioambientales. Desgraciadamente, es un

Fornés, J. M.^a et al., 2008. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la... *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2): 231-246

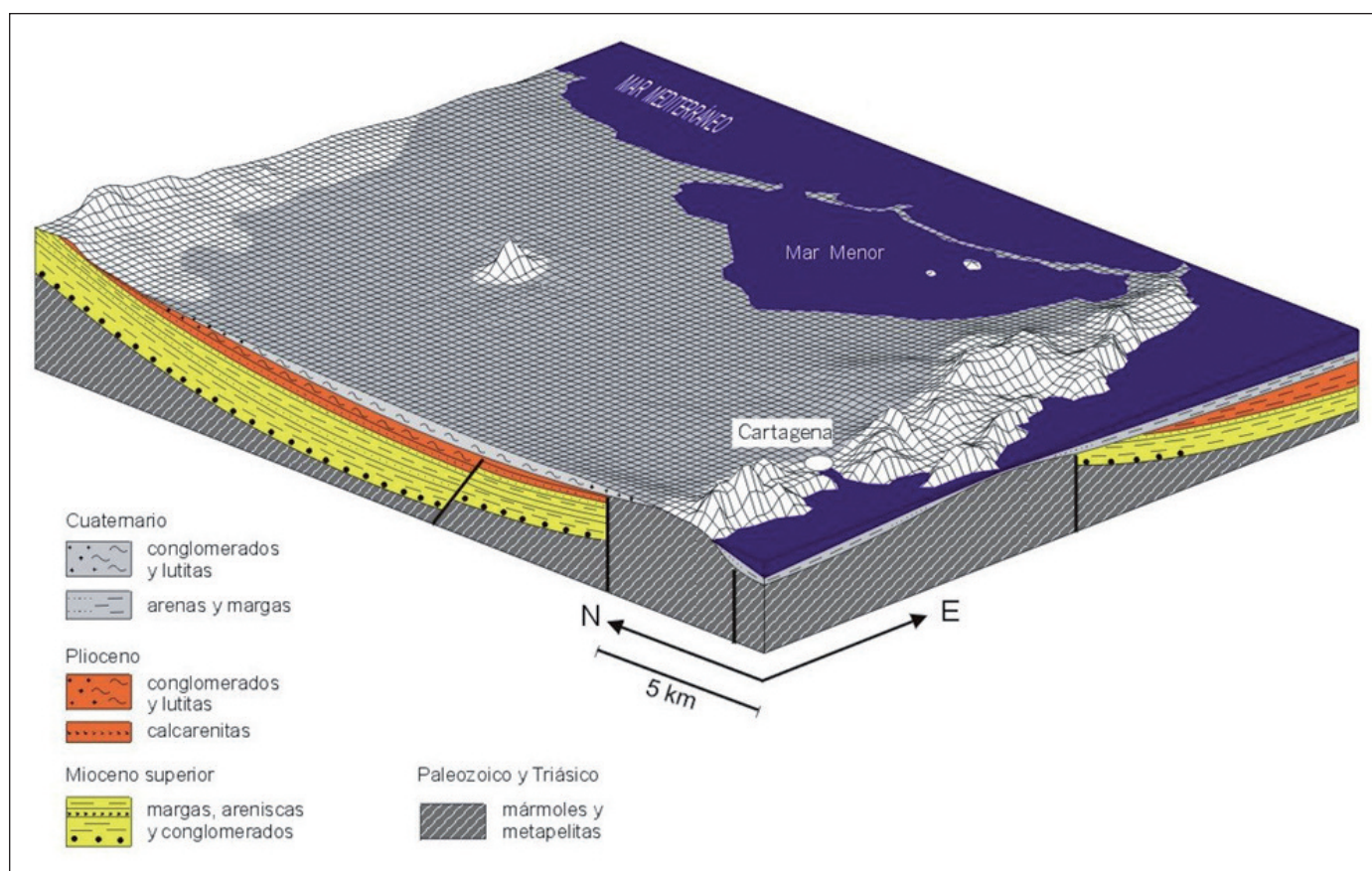


Figura 6. Modelo geológico del Mar Menor (Durán et al., 2005)
Figure 6. Geological model of the Mar Menor (Durán et al., 2005)

conflicto frecuente en el litoral mediterráneo no sólo español sino también allende nuestras fronteras, con casos similares en Italia, Túnez, Marruecos, Croacia, Egipto, y Grecia, entre otros. Los marjales de Almenara y de Pegó-Oliva constituyen ejemplos claros de conflicto entre la extracción de las aguas subterráneas y su conservación, debido a la degradación de sus ecosistemas y a la afección, en calidad y cantidad, sufrida por la descarga subterránea, necesaria para conservar el buen estado ecológico de estas zonas húmedas de acuerdo con los objetivos de la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE). Sin embargo, el tipo de conflicto existente en los marjales de Almenara y Pegó-Oliva no se da en el Mar Menor, puesto que más del 95% de sus aguas proceden del Mar Mediterráneo, y los bombeos que tienen lugar en la masa de agua subterránea del Campo de Cartagena contribuirían a paliar el problema de la eutrofización del Mar Menor al rebajar el nivel freático y aminorar la descarga subterránea del acuífero cuaternario ligado a dicho ecosistema. Los nutrien-

tes, en este caso, proceden de la escorrentía superficial y, en menor medida, de los vertidos próximos al Mar Menor.

A la vista de los casos comentados, el buscado desarrollo sostenible al que apelan numerosos documentos nacionales e internacionales (por ejemplo la Resolución VIII.40 de la COP8 de la Convención de Ramsar), sólo será posible cuando la gestión de los humedales se realice desde una gestión integral en la que estos ecosistemas constituyan realmente el objetivo a preservar desde cada una de las políticas implicadas en la gestión del territorio (medio ambiente, agricultura, urbanismo, aguas, etc.). Así, en el caso del Mar Menor, tanto la Administración Central como la Regional han establecido un plan integral de recuperación del ecosistema con la colaboración de los Ayuntamientos implicados. Por tanto, los problemas del Mar Menor están mucho más relacionados con la ordenación del territorio (emplazamiento de vertidos, roturaciones del terreno, etc.), que con la extracción de las aguas subterráneas.

Fornés, J. M.^a et al., 2008. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la... *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2): 231-246

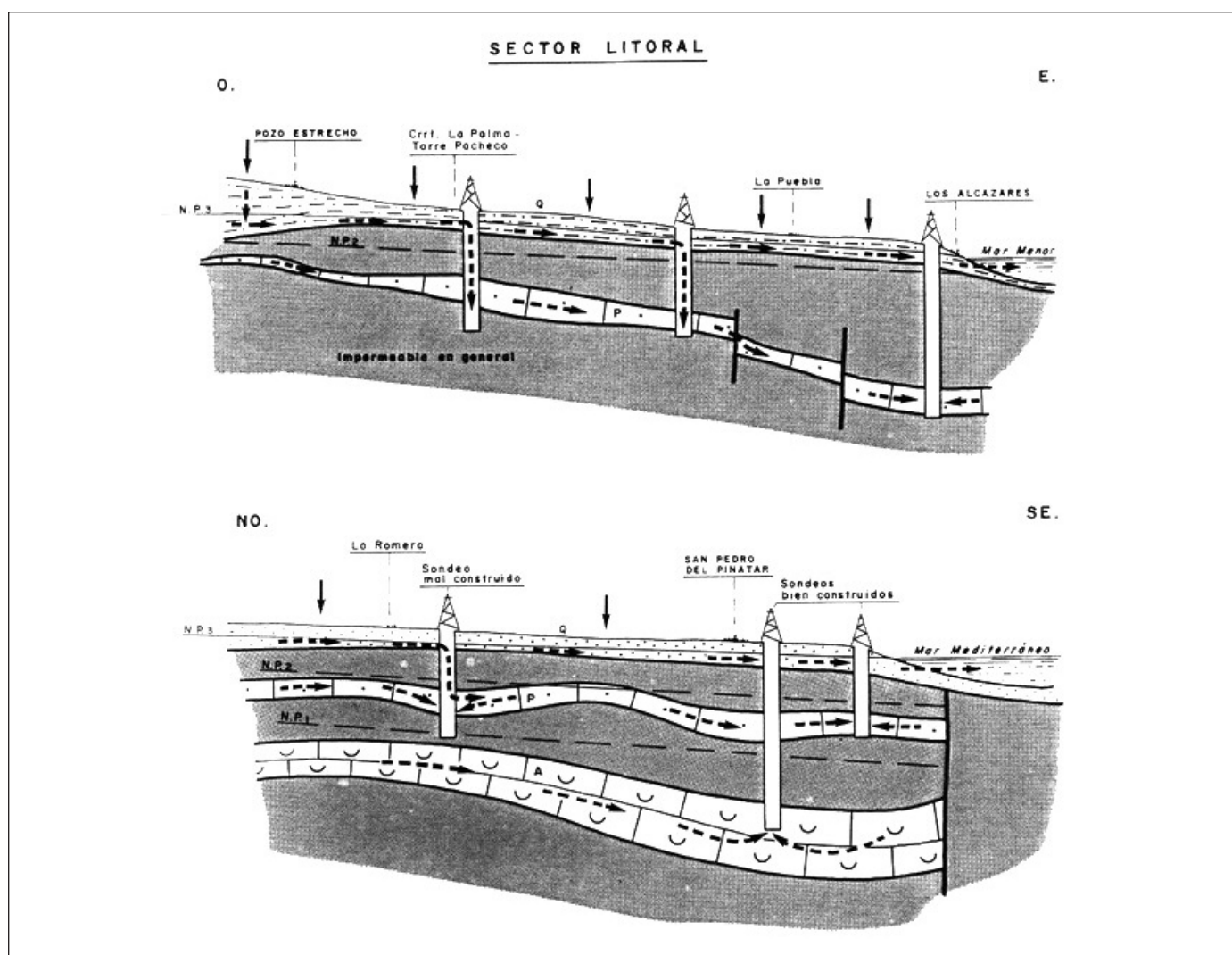


Figura 7. Sección representativa del sector litoral del Campo de Cartagena (ITGE, 1992)

Figure 7. Representative section of the Campo de Cartagena coastal zone (ITGE, 1992)

Por lo que respecta a la legislación, parece que, en líneas generales, existe un cuerpo legal suficiente pero que encuentra problemas a la hora de su aplicación. Su eficacia, en la práctica, ha sido muy variable. Las leyes básicas nacionales deberían, en general incorporar conceptos más claros sobre la conservación de humedales y no dejar a la discrecionalidad de los jueces algunas interpretaciones. Además, se le debería dar la consideración que merecen los PORNs (Plan de Ordenación de los Recursos Naturales) y los PRUGs (Plan Rector de Uso y Gestión), que fueron gestados como instrumentos de planificación territorial de primera magnitud. Es cierto que la filosofía y principios de estos planes son muy válidos, pero en muchas ocasiones sólo han servido como trámite

burocrático previo a la declaración de un espacio natural protegido. La realidad es que pocos se llevan a la práctica debido a los problemas que conlleva la formulación de programas de desarrollo alternativos para las áreas afectadas.

Conclusiones

Hasta fechas recientes la principal amenaza para los humedales ha sido el riesgo de desecación, bien por acción directa del hombre, o bien de forma indirecta a través de la explotación intensiva de sus acuíferos asociados. En la actualidad, y especialmente en las zonas costeras, el cambio de cultivos agrícolas de

Fornés, J. M.^a et al., 2008. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la... *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2): 231-246

secano a regadío y la presión urbanística de los grandes complejos turísticos, se han constituido en poderosos factores de transformación del paisaje, así como en agentes modificadores de los procesos ecológicos. Hoy día, sigue imperando en buena parte de la sociedad una mentalidad utilitarista que también abarca al agua y a los humedales. Se han perdido en gran medida los valores intangibles que envuelven a estos ecosistemas acuáticos, cuando, posiblemente, en estos momentos son los más valiosos. Se impone, por tanto, otro tipo de contabilidad a la hora de valorar estos ecosistemas, en donde elementos tales como la calidad paisajística, la vida silvestre y el propio espacio geográfico natural, entre otros factores no menos importantes, cobren su debido valor. Ante esto, el estudio y comprensión del funcionamiento hidrológico de los sistemas acuáticos litorales mediterráneos se configura como una necesidad de primer orden, y como uno de los aspectos más importantes para ser abordado en el futuro más inmediato, y debe constituir, asimismo, una de las bases más sólidas para la toma de decisiones destinadas a la recuperación del buen estado ecológico de estos parajes singulares.

Referencias

- Amer, E. 2003. El marjal de Almenara. En: Fornés, J.M. y Llamas, M.R. (Eds.), *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: litoral mediterráneo*. Fundación Marcelino Botín & Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 37-63.
- Aragón, R., Solís, L. y Hornero, J. 1999. Características químicas de las aguas subterráneas de la cuenca del Segura. Aptitud de uso y principales fuentes de contaminación. En: Samper, J., Sahuquillo, A., Capilla, J.E. y Gómez Hernández, J.J. (Eds.), *La contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente*. Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Español (AIHGE) e Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), Madrid, 363-372.
- Ballesteros, B.J. 2003. Los humedales de la provincia de Castellón en el Catálogo de Zonas Húmedas (Comentario). En: Fornés, J.M. y Llamas, M.R. (Eds.), *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: litoral mediterráneo*. Fundación Marcelino Botín & Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 25-36.
- Ballesteros, B.J. y Domínguez, J.A. 2007. *Identificación y caracterización de las formaciones acuíferas que configuran el substrato de la zona húmeda de Pego-Oliva (Alicante-Valencia)*. III Simposio Internacional sobre Tecnología de la Intrusión de Agua de Mar en Acuíferos Costeros (TIAC' 07), Almería, 16-19 de octubre de 2007.
- Ballesteros, B.J., Jiménez, J.R., Martínez, C. y Senent, M. 1989. Acuíferos sobreexplotados en la provincia de Castellón. En: Pulido A., Castillo A. y Padilla, A. (Eds.), *La sobreexplotación de acuíferos*. Almería. Tomo II, 17-31.
- Ballesteros, B.J., López, J.C., Grima, J., García, O. y Rodríguez, L. 2003. *Hidrogeología del entorno de la marjal de Pego-Oliva (Alicante-Valencia)*. Acuíferos costeros del litoral mediterráneo español (1ª Parte). Memoria de la excursión técnica TIAC 2003, Alicante, 15 de marzo de 2003, 15 pp.
- Ballesteros, B.J., López, J.C. y Martos, S. 2004. *Tipología y características hidrogeológicas de las planas litorales del levante español*. VIII Simposio de Hidrogeología. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Tomo XXVII. Madrid, 235-249.
- Ballesteros, B.J., Ocaña, L., López, J.C. y Rodríguez, L. 2006. Contribución de las técnicas isotópicas y de las relaciones hidroquímicas al conocimiento de los mecanismos que rigen los procesos de salinización en un acuífero kárstico litoral de la provincia de Alicante, España. En: Vila, X., Cabrera, M.C. y Valverde, M. (Eds.), *International workshop from data gathering and groundwater modelling to integrated management (Alicante)*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas (21). Madrid, 185-192.
- CHJ. 1997. *Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar*. Confederación Hidrográfica del Júcar. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- CHS. 1997. *Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura*. Confederación Hidrográfica del Segura. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Decreto Ley 1068/1970, de 21 de marzo (BOE, nº 89, de 14 de abril de 1970) por el que se reconoce de utilidad pública a la marjal de Pego-Oliva.
- Decreto 70/1999, de 4 de mayo, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del Parque Natural del marjal de Pego-Oliva (DOGV, nº 3490, de 7 de mayo de 1999).
- Departamento de Ecología e Hidrología de la Universidad de Murcia. 2001. *Los humedales de la Región de Murcia. Revisión y actualización del inventario regional de zonas húmedas*. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.
- DGOH. 1991. *Estudio de las zonas húmedas continentales de España. Inventario, tipificación, relación con el régimen hídrico general y medidas de protección*. INITEC. Dirección General de Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Madrid.
- Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva Marco del Agua).
- Domenech, V. 2003. Los humedales de la provincia de Castellón en el Catálogo de Zonas Húmedas. En: Fornés, J.M. y Llamas, M.R. (Eds.), *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los*

Fornés, J. M.^a et al., 2008. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la... *Boletín Geológico y Minero*, 119 (2): 231-246

- humedales: litoral mediterráneo*. Fundación Marcelino Botín & Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 3-23.
- Durán, J.J., García de Domingo, A., López Geta, J.A., Robledo, P.A. y Soria, J.M. 2005. *Humedales del Mediterráneo español: modelos geológicos e hidrogeológicos*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas, N° 3. Madrid, 160 pp.
- Fornés, J.M. y Llamas, M.R. (Eds.) 2003. *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: litoral mediterráneo*. Fundación Marcelino Botín & Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 390 pp.
- Giménez, E. 1994. *Caracterización hidrogeoquímica de los procesos de salinización en el acuífero detrítico costero de la Plana de Castellón*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 469 pp.
- Giménez, E., de la Hera, A., Sanz, E., Alonso, A.M., Domínguez, A., Fidalgo, A., Diago, I., Alonso, C. y Ramón-Laca, C. 2007. *Caracterización hidrogeoquímica de la salinización en la Plana de Sagunto*. III Simposio Internacional sobre Tecnología de la Intrusión de Agua de Mar en Acuíferos Costeros (TIAC' 07), Almería, 16-19 de octubre de 2007, 615-624.
- IGME. 1970. *Mapa de Síntesis de Sistemas Acuíferos*. Madrid.
- IGME. 2001. *Evaluación y ordenación de recursos hídricos en la Marina Alta (Alicante). Alternativas y directrices*. Informe inédito (1.ª fase).
- IGME-Diputación de Castellón. 1988. *Atlas hidrogeológico de la provincia de Castellón*.
- ITGE. 1992. *Estudio hidrogeológico del Campo de Cartagena (2ª fase)*. Centro de Documentación del IGME. Madrid.
- Ley 11/1994, de 27 de diciembre, de la Generalitat Valenciana, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad Valenciana.
- Ley Cambó de 24 de julio de 1918, de desecación de lagunas, marismas y terrenos pantanosos.
- Martínez, J. y Esteve, M.A. 2000. Sequía estructural y algunas externalidades ambientales en los regadíos de la cuenca del Segura. *Ingeniería del Agua*, Vol. 7, n° 2, 165-172.
- Morell, I. 2003. El marjal de Almenara (Comentario). En: Fornés, J.M. y Llamas, M.R. (Eds.), *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: litoral mediterráneo*. Fundación Marcelino Botín & Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 65-75.
- Obartí, J. 2003. Plan de protección hídrica del Parque Natural del Marjal de Pego-Oliva. En: Fornés, J.M. y Llamas, M.R. (Eds.), *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: litoral mediterráneo*. Fundación Marcelino Botín & Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 127-158.
- Pérez-Ruzafa, A. y Aragón, R. 2003. Implicaciones de la gestión y el uso de las aguas subterráneas en el funcionamiento de la red trófica de una laguna costera. En: Fornés, J.M. y Llamas, M.R. (Eds.), *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: litoral mediterráneo*. Fundación Marcelino Botín & Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 215-245.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Resolución VIII.40, de la VIII Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes en la Convención sobre los Humedales (Ramsar, 1971), celebrada en Valencia (España), 18-26 de noviembre de 2002. *Lineamientos para compatibilizar el uso de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales*.
- Rodríguez Estrella, T. 2000. Transformaciones físicas, químicas y biológicas, por la acción de las aguas del trasvase Tajo-Segura, en la unidad hidrogeológica del Campo de Cartagena y en su vecino Mar Menor (Murcia, España). *Hydrogéologie*, 3, 23-37.
- Viñals, M.J. 1996. *El marjal de Oliva-Pego (Valencia). Geomorfología y evolución de un humedal costero mediterráneo*. Tesis Doctoral. Generalitat Valenciana – Cosellería de Agricultura y Medio Ambiente.

Recibido: mayo 2007

Aceptado: noviembre 2008