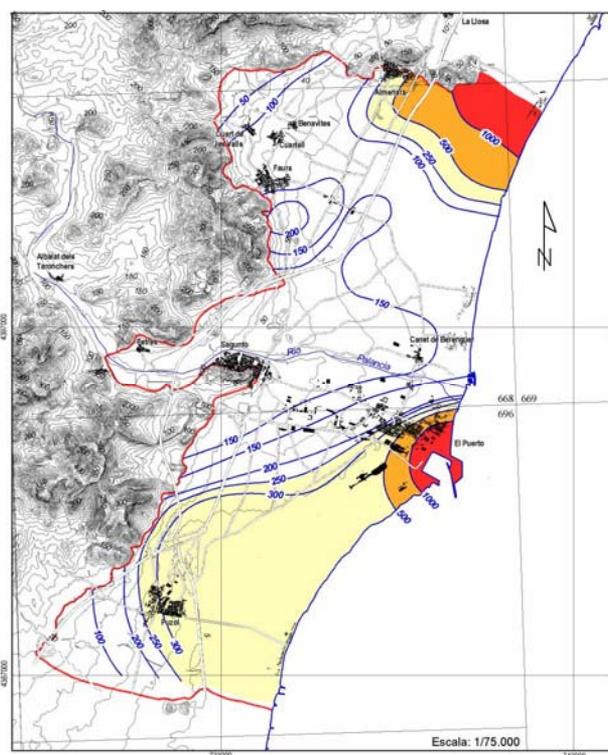


# CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE LA DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA Y EL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

## TRABAJOS TÉCNICOS PARA LA APLICACIÓN DE LA DIRECTIVA MARCO DEL AGUA EN MATERIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS



## CARACTERIZACIÓN ADICIONAL Plana de Sagunto (Memoria)



MINISTERIO  
DE EDUCACIÓN  
Y CIENCIA

MINISTERIO  
DE MEDIO AMBIENTE



Instituto Geológico  
y Minero de España

Secretaría General para  
el Territorio y la Biodiversidad  
Dirección General del Agua

**ESTUDIO PILOTO DE CARACTERIZACIÓN  
ADICIONAL DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEAS  
APLICADO A LA U.H. (08.21) PLANA DE SAGUNTO.**

Valencia, Julio de 2.005.



Este informe ha sido realizado por el INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, actuando la sociedad TEYGE, S.A. como empresa consultora (232/04). En su elaboración ha participado el siguiente equipo técnico:

**Dirección:**

Bruno J. Ballesteros Navarro (INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA).

**Equipo de trabajo:**

Joaquín Barba-Romero Muñoz (TEYGE, S.A.).

José Oriol Navarro Odriozola (TEYGE, S.A.).



## ÍNDICE.

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>2. CRITERIOS Y METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN ADICIONAL DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN RIESGO DE NO CUMPLIR LOS OBJETIVOS MEDIOAMBIENTALES DE LA DMA.....</b>	<b>17</b>
2.1. TRATAMIENTO LEGISLATIVO.....	17
2.2. ANÁLISIS A EFECTUAR Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	17
<b>3. DELIMITACIÓN DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA.....</b>	<b>27</b>
3.1. TRATAMIENTO LEGISLATIVO.....	27
3.2. CRITERIOS PARA LA DELIMITACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	31
3.3. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	41
3.4. PLANA DE SAGUNTO.....	42
<b>4. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA.....</b>	<b>47</b>
4.1. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	47
4.1.1. Estratigrafía y análisis estructural.....	47
4.1.2. Parámetros hidráulicos.....	48
4.1.3. Comportamiento hidrogeológico de las formaciones implicadas.....	48
4.2. PLANA DE SAGUNTO.....	50
4.2.1. Estratigrafía y análisis estructural.....	50
4.2.2. Comportamiento hidrogeológico de las formaciones implicadas.....	53
4.2.3. Cortes geológicos.....	56
<b>5. INVENTARIO DE PUNTOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA.....</b>	<b>63</b>
5.1. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	63
5.2. PLANA DE SAGUNTO.....	64
5.2.1. Ubicación de los puntos de extracción.....	64
5.2.2. Tasas de extracción para uso abastecimiento urbano.....	66
5.2.3. Tasas de extracción para usos diferentes al abastecimiento urbano.....	67
<b>6. FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL ACUÍFERO.....</b>	<b>71</b>
6.1. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	71
6.2. PLANA DE SAGUNTO.....	72
6.2.1. Régimen natural.....	73
6.2.2. Régimen influenciado.....	74

<b>7. ÁREAS DE RECARGA NATURAL.....</b>	<b>85</b>
7.1. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	85
7.2. PLANA DE SAGUNTO.....	86
7.2.1. Transferencias laterales desde masas de agua subterránea adyacentes. ....	86
7.2.2. Infiltración a partir del lecho del río Palancia.....	88
7.2.3. Infiltración de lluvia.....	89
<b>8. ÁREAS DE RECARGA ARTIFICIAL.....</b>	<b>91</b>
8.1. METODOLOGIA PROPUESTA.....	91
8.2. PLANA DE SAGUNTO.....	92
<b>9. PARÁMETROS HIDRÁULICOS.....</b>	<b>95</b>
9.1. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	95
9.2. PLANA DE SAGUNTO.....	96
9.2.1. Permeabilidad.....	99
9.2.2. Transmisividad.....	101
<b>10. MASAS DE AGUA SUPERFICIAL Y ECOSISTEMAS TERRESTRES ASOCIADOS.....</b>	<b>105</b>
10.1. TRATAMIENTO LEGISLATIVO.....	105
10.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO. ZONAS HÚMEDAS.....	107
10.2.1. Introducción.....	107
10.2.2. Gestión de las zonas húmedas.....	109
10.2.3. Caracterización de la zona húmeda.....	111
10.3. PLANA DE SAGUNTO. ZONAS HÚMEDAS.....	117
10.3.1. Marjal Dels Moros.....	118
10.3.2. Marjal i Estany d'Almenara.....	122
10.3.3. Direcciones y tasas de intercambio de flujos con las masas de agua superficial y ecosistemas terrestres asociados.....	128
10.4. METODOLOGÍA PROPUESTA. CANALES DE DRENAJE.....	135
10.5. PLANA DE SAGUNTO. CANALES DE DRENAJE.....	136
<b>11. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>139</b>
11.1. TRATAMIENTO LEGISLATIVO.....	139
11.2. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	139
11.3. METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE INTRUSIONES MARINAS.....	142
11.3.1. Introducción.....	142
11.3.2. Caracterización de la intrusión marina.....	143
11.4. PLANA DE SAGUNTO.....	175
11.4.1. Calidad química de referencia.....	175
11.4.2. Evolución de la calidad química. Recopilación bibliográfica.....	184
11.4.3. Calidad química actual.....	196

<b>12. IDENTIFICACIÓN DE LAS PRESIONES O FOCOS DE CONTAMINACIÓN POTENCIAL SOBRE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA. ....</b>	<b>205</b>
12.1. TRATAMIENTO LEGISLATIVO. ....	205
12.2. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	205
12.3. PLANA DE SAGUNTO. ....	206
12.3.1 Focos de contaminación puntual. ....	206
12.3.2 Focos de contaminación difusa.....	208
12.3.3.Otras alteraciones antropogénicas. ....	208
<b>13. USOS DEL SUELO. ....</b>	<b>211</b>
13.1. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	211
13.2. PLANA DE SAGUNTO. ....	211
<b>14. CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA. ....</b>	<b>213</b>
14.1. TRATAMIENTO DELEGISLATIVO.....	213
14.2. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	213
14.3. PLANA DE SAGUNTO.....	215
<b>15. ESPESOR DE LA ZONA NO SATURADA. ....</b>	<b>219</b>
15.1. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	219
15.2. PLANA DE SAGUNTO.....	219
<b>16. ZONAS DE EXTRACCIONES. ....</b>	<b>229</b>
16.1. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	229
16.2. PLANA DE SAGUNTO.....	229
<b>17. VOLÚMENES Y USOS DE LAS EXTRACCIONES. ....</b>	<b>231</b>
17.1. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	231
17.2. PLANA DE SAGUNTO.....	231
<b>18. TASA MEDIA ANUAL DE RECARGA A LARGO PLAZO.....</b>	<b>233</b>
18.1. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	233
18.2. PLANA DE SAGUNTO.....	235
<b>19. BALANCE HÍDRICO DE LA MASA DE AGUA. EVALUACIÓN DE LA DESCARGA. ....</b>	<b>245</b>
19.1. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	245
19.2. PLANA DE SAGUNTO.....	247
19.2.1.Evaluación de la descarga. ....	247
19.3. BALANCE HÍDRICO DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA PLANA DE SAGUNTO.....	254

<b>20. CRITERIOS Y METODOLOGÍA APLICABLES PARA EVALUAR SI UNA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DEBE CONSIDERARSE EN RIESGO DE NO AJUSTARSE A LOS OBJETIVOS MEDIOAMBIENTALES DE LA DMA.....</b>	<b>259</b>
20.1. TRATAMIENTO LEGISLATIVO. ....	259
20.2. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	260
20.3. PLANA DE SAGUNTO.....	263
<b>21. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>265</b>

## **ÍNDICE DE PLANOS.**

Plano 0A.- Base cartográfica.

Plano 0B.- Modelo digital del terreno.

Plano 1.- Cartografía geológica.

Plano 2A1.- Mapa de funcionamiento hidrogeológico.

Plano 2A2.- Mapa con la distribución de isopacas.

Plano 2A3.- Situación de los perfiles geofísicos y sondeos con litología conocida.

Plano 2A4.- Cortes geológicos.

Plano 2B.- Mapa de inventario de puntos de agua.

Plano 2C.- Mapa piezométrico (Año de referencia).

Plano 2D1.- Mapa piezométrico (Año de seco).

Plano 2D2.- Mapa piezométrico (Año de húmedo).

Plano 2E.- Mapa piezométrico (Actualidad).

Plano 3A.- Mapa de recarga natural por infiltración de lluvia.

Plano 3B.- Mapa de recarga inducida a través de regadíos.

Plano 4A.- Mapa de permeabilidades relativas.

Plano 4B.- Mapa de distribución de permeabilidades.

Plano 5.- Mapa de zonas protegidas.

Plano 6A.- Mapa de diagramas de Stiff modificado (Año de referencia).

Plano 6B1A.- Mapa de isocloruros (Año de referencia).

Plano 6B1B.- Mapa de intrusión según superficie afectada (Año de referencia).

Plano 6B1C.- Mapa de intrusión según intensidad de la afección (Año de referencia).

Plano 6B2.- Mapa de isoconductividades (Año de referencia).

Plano 6B3.- Mapa de isonitratos (Año de referencia).

Plano 6B4.- Mapa de isosulfatos (Año de referencia).

Plano 6B5.- Mapa de isocarbonatos (Año de referencia).

Plano 6B6.- Mapa de facies hidroquímicas (Año de referencia).

Plano 7A.- Mapa de diagramas de Stiff modificado (Actualidad).

Plano 7B1A.- Mapa de isocloruros (Actualidad).

Plano 7B1B.- Mapa de intrusión según superficie afectada (Actualidad).

Plano 7B1C.- Mapa de intrusión según intensidad de la afección (Actualidad).

Plano 7B2.- Mapa de isoconductividades (Actualidad).

Plano 7B3.- Mapa de isonitratos (Actualidad).

Plano 7B4.- Mapa de isosulfatos (Actualidad).

Plano 7B5.- Mapa de isocarbonatos (Actualidad).

Plano 7B6.- Mapa de facies hidroquímicas (Actualidad).

Plano 8.- Mapa de focos de contaminación potencial.

Plano 9.- Mapa de usos del suelo.

Plano 10A.- Mapa de vulnerabilidad.

Plano 10B.- Mapa de espesores de la zona no saturada.

Plano 11A.- Mapa de distribución de la explotación.

Plano 11B.- Mapa de localización, usos y extracciones.



## **ÍNDICE DE FIGURAS.**

Figura nº1.- Mapa piezométrico para septiembre de 1977.

Figura nº2.- Mapa piezométrico según IGME (1986 c).

Figura nº3.- Mapa piezométrico del sector Valls-Almenara según CHJ-AQUAREC (2001)

Figura nº4.- Delimitación de las masas de agua superficiales y de sus cuencas de afección.

Figura nº5.- Análisis geomorfológico del "Marjal dels Moros" y perímetro de protección.

Figura nº6.- Análisis geomorfológico del "Marjal i Estanys d'Almenara" y perímetro de protección.

Figura nº7.- Red de canales y acequias.

Figura nº8.- Mapa de isocloruros para enero de 1977.

Figura nº9.- Facies hidroquímica de las muestras analizadas en junio de 1972.

Figura nº10.- Mapa de isocloruros para enero de 1984.

Figura nº11.- Localización de los puntos de agua considerados en TEYGE, S.A. (1990).

Figura nº12.- Localización de los puntos de agua considerados en CHJ-AQUATEC (2001).

Figura nº13.- Mapa de evolución de isocloruros en el sector les Valls-Almenara según CHJ-AQUATEC (2001).

Figura nº14.- Facies hidroquímica de las muestras analizadas en mayo de 2000.

Figura nº15.- Mapa de distribución de suelos.

## 1. INTRODUCCIÓN.

En el Convenio suscrito entre el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Ministerio de Medio Ambiente, a través de la Secretaría de Estado de Aguas y Costas y la Dirección General de Obras Hidráulicas y de Calidad de las Aguas, DGOHCA (Colaboración con la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas en la caracterización de cuerpos o masas de agua subterránea para la aplicación de la Directiva Marco del Agua) figura, como actividad nº3 a desarrollar por el IGME, la "Colaboración con la DGOHCA en la redacción de un documento guía para la caracterización de las masas de agua subterránea".

La metodología a aplicar para la delimitación y caracterización de dichas masas de agua subterránea estará basada en las especificaciones de la propia Directiva Marco del Agua, DMA, Directiva 2000/60/CE del Parlamento y Consejo Europeo (Unión Europea, 2000), en las orientaciones del documento auspiciado por la Comisión Europea ante los diversos puntos de vista y en las interpretaciones diferentes de los documentos conceptuales elaborados por los países miembros sobre esta temática (*Identification of water bodies. Horizontal guidance document on the application of the term "water bodies" in the context of the Water Framework Directive*), adaptando sus orientaciones a las peculiaridades hidrogeológicas de las cuencas españolas.

Se pretende establecer criterios metodológicos y contrastados mediante su aplicación en cuatro zonas piloto pertenecientes a las cuencas del Júcar (Plana de Sagunto), Ebro (Aluvial del Ebro en el entorno de Zaragoza), Guadiana (Mancha occidental) y Sur (Sierra de Mijas) representativas de la

problemática existente al delimitar y caracterizar las masas de agua subterránea en España.

La metodología propuesta en este documento guía tiene como objetivo facilitar la implantación de los requerimientos de la DMA a las masas de agua subterránea costeras detríticas afectadas por procesos de intrusión marina.

Cada capítulo de este documento incluirá la presentación de la metodología que se propone realizar y la presentación de los resultados disponibles para la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto; así mismo, y cuando se proceda, se adjuntará también su tratamiento legislativo según la DMA.

Los aspectos analizados y los resultados obtenidos se ilustrarán en Planos y Figuras de la zona objeto de estudio así como en la "FICHA DE CARACTERIZACIÓN ADICIONAL DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA" (Versión 30-06-2005) propuesta por el IGME; además, se indicará en todo momento el origen de la información utilizada. Se denominará Plano al mapa solicitado y catalogado por IGME, mientras que se utilizará el término Figura para aquel mapa que el autor considera necesario introducir en la memoria como complemento a las explicaciones realizadas en ésta pero que no ha sido directamente solicitado por el IGME.

## **2. CRITERIOS Y METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN ADICIONAL DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN RIESGO DE NO CUMPLIR LOS OBJETIVOS MEDIOAMBIENTALES DE LA DMA.**

### **2.1. TRATAMIENTO LEGISLATIVO.**

La finalidad principal de la caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo es, según la DMA, optimizar la concepción de los programas de seguimiento exigidos en el Artículo 8 y de los programas de medidas exigidos en el artículo 11.

Sin perder de vista dicho objetivo, este documento se propone, en base a la experiencia adquirida en los proyectos piloto de caracterización, un modelo de índice para el estudio de la caracterización adicional de las masas de agua subterránea que lo requieran y unos criterios para cumplimentar cada uno de los aspectos previstos en los apartados "*2.2. Caracterización adicional*", "*2.3. Examen de la incidencia de la actividad humana en las aguas subterráneas*", "*2.4. Examen de la incidencia de los cambios en los niveles de las aguas subterráneas*" y "*2.5. Examen de la incidencia de la contaminación en la calidad de las aguas subterráneas*" del Anexo II de la DMA.

### **2.2. ANALISIS A EFECTUAR Y PRESENTACION DE RESULTADOS.**

Conforme a lo indicado en el apartado precedente, para efectuar la caracterización adicional es necesario analizar, en la medida de los recursos económicos y técnicos disponibles así como del tiempo que se pueda destinar a la realización de los estudios pertinente, los siguientes factores:

- Las características geológicas del acuífero, incluidas extensión y tipos de unidades geológicas.
- Las características hidrogeológicas de la masa de agua subterránea objeto de estudio.
- Las características de los depósitos superficiales y suelos en la zona de alimentación.
- Las características de estratificación del agua subterránea dentro de la masa acuífera.
- Un inventario de sistemas de superficie asociados, incluidos los ecosistemas terrestres y las masa de agua superficial con los que esté conectada dinámicamente la masa de agua subterránea.
- Los cálculos sobre direcciones y tasas de intercambio de flujos entre la masa de agua subterránea y los sistemas de superficie asociados.
- Los datos para calcular la tasa media anual de recarga global a largo plazo.
- Las características de composición química de aguas subterráneas, especificando las aportaciones de la actividad humana. Se podrán utilizar tipologías para la caracterización de las aguas subterráneas al determinar los niveles naturales de referencia.
- Localización de los puntos de extracción de agua subterránea, especialmente los que extraigan más de 10 m<sup>3</sup>/día y/o abastezcan a más de 50 personas.

- Las tasas anuales medias de extracción a partir de dichos puntos.
- La composición química del agua extraída.
- La ubicación de los puntos donde tiene lugar algún tipo de recarga artificial y la tasa de recarga en dichos puntos.
- La composición química de las aguas de recarga artificial planificada.
- El uso del suelo (presiones) en la zona de recarga natural, incluidas las entradas de contaminantes y las alteraciones antrópicas de las características de la recarga natural.
- Las masas de agua subterránea en las que se deben especificar objetivos inferiores atendiendo a la repercusión del estado de éstas en las aguas superficiales y ecosistemas asociados, en la regulación hidrológica, protección contra inundaciones, drenaje de tierras o en el desarrollo humano.
- Las masas de agua subterránea que estén tan contaminadas que sea inviable o tenga un coste desproporcionado lograr el buen estado químico.

Los resultados obtenidos al realizar la serie de análisis citada se presentarán primando su representación cartográfica; así, a lo largo de la realización de la presente caracterización se describirán con detalle los diferentes Planos y Figuras que se elaboren durante el estudio de cada masa de agua subterránea.

Para la realización de la cartografía se considera imprescindible elaborar los mapas empleando los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ya que la

meta a alcanzar es la integración, ágil y eficaz, de la información elaborada en otros sistemas de gestión del territorio, de recursos naturales, etc.

El proceso de elaboración de la cartografía en formato digital puede ser complejo y laborioso, por lo que es necesario utilizar una serie de herramientas informáticas sin las cuales su producción se complica enormemente. En este sentido, se debe decir que los SIGs son sistemas de gestión de bases de datos georreferenciadas que permiten el manejo de un gran volumen de información espacial sin perder sus características iniciales al superponer las distintas capas de información.

Las definiciones que han recibido los Sistemas de Información Geográfica, desde su creación en los años 60, son múltiples y variadas; por ejemplo, inicialmente se definieron como un tipo especializado de base de datos, que se caracteriza por su capacidad de manejar datos geográficos, es decir, espacialmente referenciados, los cuales se pueden representar gráficamente como imágenes y, según Aronoff (1989), un SIG es un sistema informático capaz de realizar las tareas para manejar datos georreferenciados: entrada, almacenamiento, recuperación, manipulación, análisis y representación.

Un SIG actúa a modo de núcleo central del modelo de gestión territorial, o de los recursos hídricos apoyado, a su vez, por otras herramientas auxiliares como es el diseño asistido por ordenador (DAO) y los sistemas de gestión de bases de datos (SGBD) que agilizan y maximizan el rendimiento de los bancos de datos (herramientas más conocidas por sus iniciales en inglés CAD y DBMS, respectivamente).

La versatilidad de un SIG permite la transferencia de información con otros programas más ágiles para determinadas funciones. Así, en la introducción de los datos es donde intervienen las herramientas del tipo CAD y DBMS.

La entrada de datos es la conversión de información analógica a digital tanto espacial como alfanumérica. Para la introducción de la información alfanumérica deben utilizarse tanto herramientas de digitalización como herramientas DBMS y también hojas de cálculo, entendidas como un entorno mixto entre sistemas de gestión de base de datos y técnicas de tratamiento estadístico.

Para elaborar la cartografía final se propone utilizar los programas Arcview, como herramienta SIG, y la hoja de cálculo Excel como herramienta DBMS u otros de prestaciones similares. La transferencia de información entre los diferentes programas del software indicado permitirá la ejecución de la deseada cartografía final.

Se describirán a continuación los dos Planos que deberán ser incluidos en primer lugar en todo estudio de caracterización de masas de agua subterránea puesto que sirven para situar e introducir los rasgos principales de la zona objeto de estudio. A medida, que se vaya desarrollando la presente memoria se presentarán cada uno de los Planos generales que debe incluir toda caracterización y algunas Figuras más específicas de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto.

#### **2.2.1.1. Plano 0A. Base cartográfica.**

Se efectuará un mapa base que comprenda toda la extensión de la o las masas a analizar indicando sus límites, pudiendo extenderse a sus

alrededores para su mejor localización o consideración de factores limítrofes que pudieran afectar a las masas de agua subterránea consideradas.

De forma ideal, este mapa se deberá obtener a partir de modelos digitales del territorio, preferiblemente a escala 1:25000 del IGN, los cuales acostumbran a incluir varias capas de información compatibles con ArcView.

Los elementos que contienen dichas capas de información son: núcleos de poblaciones, límites provinciales, vías de comunicaciones terrestres, curvas de nivel, vértices geodésicos, redes hídricas, presiones (como campos de golf y canteras entre otros), etc.

Dado que la variedad y formatos de los elementos a introducir en este plano es muy elevada, se relacionarán a continuación las posibilidades más importantes a considerar aunque los diferentes autores que realicen las diversas caracterizaciones deberán escoger el modelo final de dicho plano en función de la escala de trabajo, de la información realmente disponible y las características propias de la zona de estudio.

- **Núcleos urbanos:** en el mapa se incluirán los núcleos urbanos, las áreas urbanizadas pertenecientes a cada municipio y, por su influencia en la gestión del agua, los términos municipales en los que se encuentre la masa. Como información complementaria se puede incluir el tipo de viviendas (unifamiliares, pisos...) y su altura, así como la gestión del abastecimiento de agua en los municipios (mediante empresas gestoras, ayuntamiento, empresas municipales de agua).

- **Vías de comunicación:** se incluirán las principales carreteras y redes de ferrocarril. Se sugiere emplear el catálogo de signos incluidos

en los mapas topográficos a escala 1:25000 publicados por el IGN, de tal manera que se permita distinguir autopistas, autovías, carreteras de diferentes órdenes, caminos y vías férreas entre otros elementos.

- **Curvas de nivel:** se representarán las curvas de nivel con una equidistancia de 10 m, resaltando curvas mayores cada 50 m; así mismo, resulta interesante marcar los vértices geodésicos de mayor entidad con su cota correspondiente.

- **Red hídrica:** se incluirá la red hidrográfica y, en su caso, su desembocadura en el mar. Se partirá de la red incluida en los mapas topográficos complementándola, cuando sea necesario, con la digitalización de los arroyos, o cualquier otro tipo de elementos, que no estén incluidos en la fuente utilizada y tengan especial relevancia en la caracterización de la masa de aguas subterránea objeto de estudio. Para ello se recomienda digitalizar sobre la correspondiente ortofoto en color a tan gran escala como sea posible, idealmente 1:10.000, existente en numerosas Comunidades Autónomas; también se puede digitalizar sobre la misma base digital del territorio de que se dispone para elaborar el modelo digital ó incluso sobre los mapas topográficos publicados de la zona.

La elaboración de este mapa base debe servir de plantilla que resultará de gran utilidad para mostrar, siempre sobre la misma base cartográfica, los diferentes aspectos estudiados durante el desarrollo del documento. Así mismo, este mapa debe indicar claramente los siguientes elementos: escala, marco con coordenadas, norte geográfico y, en general, cualquier

aspecto topográfico que ayude al lector a la fácil comprensión y localización de la zona considerada.

Para la realización de este estudio se ha contado con la capa de topografía 1:25000 denominada BCN25, elaborada por el IGME, en formato "shape", a partir de los mapas del IGN de la misma escala y que incluye las siguientes hojas: La Vall d'Uixó (668-II), Sagunto/Sagunt (668-IV), Barrio-Mar (669-III) y Puçol (696-II).

Dicha capa facilitada por el IGME tan sólo incluye información topográfica (distribución de las curvas de nivel cada 10 m, valores de cota topográfica de las curvas cada 50 m y límites de las hojas 1:25.000), en la que no se proporciona información alguna correspondiente a la ubicación de poblaciones, toponimia e infraestructuras, etc.

TEYGE, S.A. ha elaborado las correspondientes capas para suplir dicha falta de información basadas, en gran parte, en la cartografía topográfica digital a escala 1:10.000 de la Consellería de Agricultura y Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana.

#### **2.2.1.2. Plano 0B. Modelo digital del terreno.**

Se realizará un modelo digital del terreno que permita, además de una primera visualización de la geomorfología de la zona de trabajo, la obtención de una capa de información topográfica que permita realizar estudios posteriores de estudios de elevaciones, pendientes, orientaciones de laderas, y visuales entre otras.

Se podrán diferenciar diversos intervalos de altitudes representados con distintos colores, lo que proporciona una buena sensación de relieve. Como

referencia geográfica se podrán incluir los principales elementos considerados en el Mapa 0A, si éstos no deslucen su visionado 3D.

El modelo digital de elevaciones deberá ser, preferentemente, el realizado a partir de las mapas digitales del IGN a escala 1:25000 y se evitará la utilización, en un mismo proyecto, de modelos realizados por más de un autor, ya que las diferencias entre ellos pueden complicar sobremanera los procesos de capas de información que posteriormente deban realizarse con el SIG.

La utilización de modelos digitales facilita diversas labores de procesado de la información georreferenciada disponible, facilitando la rasterización de imágenes y el cálculo de los diversos parámetros hidrogeológicos para cada una de las celdas en las que se discretice la zona de estudio; muy útil, por ejemplo, en el cálculo de la vulnerabilidad, por el método DRASTIC de la masa de agua subterránea en cuestión.

A continuación se presenta el Plano 0B elaborado para la masas de agua subterránea de la Plana de Sagunto.



### **3. DELIMITACIÓN DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA.**

#### **3.1. TRATAMIENTO LEGISLATIVO.**

El concepto masa de agua subterránea debe ser considerado en el contexto de las definiciones relevantes del Artículo 2 de la Directiva Marco:

- Artículo 2.2. "Aguas subterráneas": todas las aguas que se encuentran bajo la superficie del suelo en la zona de saturación y en contacto directo con el suelo o el subsuelo.
- Artículo 2.11. "Acuífero": una o más capas subterráneas de roca o de otros estratos geológicos que tiene la suficiente porosidad y permeabilidad como para permitir, ya sea un flujo significativo de aguas subterráneas o la extracción de cantidades significativas de aguas subterráneas.
- Artículo 2.12. "Masa de agua subterránea": un volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos.

Una masa de agua subterránea debe coincidir con un acuífero o grupo de acuíferos. Sin embargo, no todas las aguas subterráneas están dentro de un acuífero (por no tener flujo significativo ni extracciones significativas). Los objetivos medioambientales de impedir el deterioro de estado, de proteger, mejorar y regenerar, así como el de alcanzar el buen estado, se aplican solamente a las masas de agua subterránea; sin embargo, los objetivos de impedir y limitar la entrada de contaminantes y de invertir toda tendencia significativa al aumento de la concentración de contaminantes se aplican a todas las aguas subterráneas.

El propósito de la definición de las masas de agua subterránea es utilizar sus recintos para verificar el cumplimiento de los objetivos requeridos por la DMA. La Directiva establece que sean identificadas las masas de agua subterránea, pero solamente contiene una indicación sobre determinados volúmenes de agua subterránea que deben ser considerados como tal masa (el Artículo 7 indica que deben especificarse todas las masas de aguas utilizadas o de prevista utilización futura para la captación de agua destinada al consumo humano que proporcionen un promedio de más de 10 m<sup>3</sup> diarios o que abastezcan a más de cincuenta personas).

De lo anterior se desprende que donde exista (o se prevea que existirá en el futuro) una extracción para abastecimiento público superior a 10 m<sup>3</sup>/día como promedio o que provea a más de 50 personas, hay que identificar y delimitar la correspondiente masa. Otras circunstancias determinantes de la necesidad de identificación de una masa de agua subterránea no se especifican en la Directiva, pero como por definición toda masa debe estar contenida en, como mínimo, un acuífero, resulta obvio que no hay una masa si no hay, al menos, un acuífero. Y con una disposición positiva de cumplimiento de la Directiva, hay que concluir que donde existan acuíferos deben identificarse masas de agua subterránea.

La anteriormente transcrita definición de acuífero no despeja las dudas sobre la identificación de masas porque en ella se utiliza el término "significativo", objeto casi siempre de interpretaciones diferentes.

En efecto, hay que interpretar qué constituye un flujo significativo de agua subterránea y qué volumen de extracción es una cantidad significativa.

- **Flujo significativo.**

En el documento guía elaborado por la Comisión para orientar en la delimitación de masas de agua se indica que esta expresión debe ser apreciada en el contexto del objeto de la Directiva (Artículo 1) y demás estipulaciones. Según dicho documento, flujo significativo de agua subterránea es aquel cuya detracción de una masa de agua superficial asociada o de un ecosistema terrestre dependiente ocasionaría una disminución significativa de la calidad ecológica o química de la masa de agua superficial o un daño significativo al ecosistema terrestre dependiente. Sin embargo, la nueva inclusión del término "significativo", que se equipara con importante para los ecosistemas acuáticos y terrestres, deja la cuestión supeditada al esclarecimiento de qué masas de agua superficial y qué ecosistemas terrestres son dependientes de las aguas subterráneas, en lo cual subsiste bastante indeterminación, y por tanto, cierto margen de subjetividad.

- **Extracción significativa.**

En el documento guía de la Comisión se manifiesta que puesto que el Artículo 7 de la Directiva obliga a identificar y proteger las masas de las que se extraigan más de 10 m<sup>3</sup>/día para abastecimiento, debe inferirse que tal volumen es una extracción significativa de agua subterránea y que por consiguiente, las formaciones geológicas susceptibles de proporcionar un caudal medio diario de 10 m<sup>3</sup>/día deben ser calificadas como acuíferos.

Esta interpretación va más lejos de lo que es justificable ya que el Artículo 7 de la Directiva se deduce que la extracción de 10 m<sup>3</sup>/día es significativa si se utiliza para abastecimiento, pero no que esta misma cifra sea aplicable a cualquier otro uso.

En la práctica, casi todas las formaciones geológicas permiten una extracción media de 10 m<sup>3</sup>/día en un entorno suficientemente amplio de un núcleo de población. Si se aceptara la sugerencia del documento guía, habría que calificar como acuífero todo el territorio comunitario.

En la catalogación acuífera del territorio español no han sido consideradas como tales las rocas intrusivas, las metamórficas de naturaleza arcillosa y las margas. Las masas de agua subterránea en donde se realicen extracciones medias superiores a 10 m<sup>3</sup>/día para abastecimiento deben ser protegidas y, por tanto, anotarse en un registro público y ser objeto de medidas específicas de protección. Esto obliga a delimitar masas en algunas zonas donde actualmente no están definidas unidades hidrogeológicas, áreas con litologías dominantes tipo granitos, cuarcitas, margocalizas, etc.

Por otra parte, las zonas designadas para la protección de hábitats o especies serán también protegidas y registradas (incluidos los puntos Natura 2000), debiendo satisfacerse en ellas todos los objetivos y estándares en 2015, siendo, en general no conveniente, establecer límites de masas que atraviesen zonas protegidas.

Así, el concepto extracción significativa parece implicar connotaciones socioeconómicas relacionadas con la escala de la explotación y con el valor del agua.

Las principales consecuencias de orden práctico que se derivan de la delimitación se deducen del repaso de las obligaciones concretas impuestas por la Directiva para las masas de agua subterránea.

El Artículo 5 indica que cada Estado miembro efectuará en cada demarcación hidrográfica un análisis de las características de la demarcación, un estudio de las repercusiones de la actividad humana en las masas de agua superficiales y subterráneas así como un análisis económico del uso del agua que deberán estar terminados en el plazo de 4 años contados desde la entrada en vigor de la Directiva conforme a las especificaciones técnicas fijadas en sus Anexos II y III.

El Anexo II.2 especifica la información que sobre cada masa debe ser recogida, analizada, y organizada. Se distingue entre la caracterización inicial, que es genérica, y la caracterización adicional, referida a las masas en riesgo de no satisfacer los objetivos medioambientales, que requiere mayor cantidad de información.

### **3.2. CRITERIOS PARA LA DELIMITACION DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRANEA.**

La DMA ha introducido el concepto “masa de agua” como unidad geográfica de referencia para muchas de las obligaciones que establece. El cumplimiento de los objetivos medioambientales, el control de la evolución del recurso y la adopción de medidas de protección y restauración, son obligaciones aplicables a todas y cada una de las masas identificadas como tales por los Estados miembros. La delimitación de las masas es por ello un elemento determinante de la gestión futura de las aguas.

La delimitación de las masas de agua forma parte de las obligaciones de caracterización establecidas en el Artículo 5 de la Directiva, a cumplimentar antes de diciembre de 2004. Aunque la identificación de las masas sea un proceso iterativo que se refinará en varias etapas hasta la publicación del

Plan Hidrológico de Cuenca, la decisión inicial debe ser lo más cuidadosa y elaborada que sea posible.

En España ya existía una identificación territorial de los acuíferos de cada cuenca hidrográfica, de la que se derivan efectos administrativos según nuestra Ley de Aguas. Es preciso modificar la actual diferenciación en unidades hidrogeológicas adaptándola a los objetivos de la Directiva Marco. Por ello la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas decidió abordar la primera delimitación y caracterización de las masas de agua subterránea en las cuencas intercomunitarias con el concurso del Instituto Geológico y Minero de España y con la participación de los Organismos de cuenca. Para ello se ha elaborado por dichos expertos un documento (MIMAM, 2003), que se sintetiza en este apartado, en el que se exponen y justifican los principales criterios a emplear en dicha delimitación.

En función de las consideraciones expuestas en los apartados precedentes se apuntan los siguientes criterios para la delimitación de masas de agua:

***Primero.- Las unidades hidrogeológicas como solución de partida.***

Las actuales unidades hidrogeológicas fueron definidas en función de los objetivos de la Ley de Aguas, básicamente, la asignación de recursos subterráneos y la ordenación del régimen de concesiones y autorizaciones. Aunque éstos no son objetivos específicos de la Directiva, tienen que ser mantenidos como propios de nuestra legislación, por lo que es conveniente aprovechar al máximo la información ya organizada en los Organismos de Cuenca (inventario de recursos, asignación, normas de otorgamiento de derechos, registro de aprovechamientos, redes de control, etc.).

Como no tendría sentido mantener dos divisiones territoriales diferentes, una de unidades hidrogeológicas y otra de masas de aguas subterránea, cabe suponer que será esta última la única a utilizar en el futuro.

Las unidades hidrogeológicas fueron delimitadas para representar unidades de flujo de recursos de agua subterránea, con un modelo conceptual claro de su régimen de recarga y descarga. En general, sus límites fueron fijados con criterios que mantienen su vigencia (borde impermeable, contactos geológicos relevantes, extracción intensiva), pero en algunos casos la insuficiencia de información hidrogeológica no permitió una delimitación más certera.

Por otra parte, la solución simplista de límites consistentes en poligonales de pocos lados ya no tiene ventajas prácticas, es deseable que las líneas de delimitación se ajusten lo más posible a la traza que determine el criterio de separación utilizado (por ejemplo un contacto geológico).

La propuesta consiste en partir de las unidades hidrogeológicas definidas procediendo a:

- Comprobar el fundamento-justificación de cada poligonal según los criterios expuestos más adelante.
- En caso afirmativo, sustituir los lados de la poligonal por líneas que reflejen con mayor fidelidad la separación pretendida.
- En caso negativo, aplicar los criterios procedentes y sustituir la poligonal.
- Cuando sea preciso, subdividir o agregar unidades hidrogeológicas.

Existe además una casuística, reducida, de zonas en que no se definieron unidades hidrogeológicas y se ha descubierto después que existen en ellas acuíferos significativamente explotados o susceptibles de explotación. Los estudios realizados al respecto deben ser aprovechados para identificar y delimitar como masas de aguas subterráneas las referidas zonas.

***Segundo. El límite de demarcación hidrográfica.***

El Artículo 3.1. de la Directiva establece que en el caso de que las aguas subterráneas no correspondan plenamente a ninguna cuenca hidrográfica en particular, se especificarán e incluirán en la demarcación hidrográfica más próxima o más apropiada. Al respecto hay que considerar:

- En nuestra organización de la gestión pública del agua es impensable que un Organismo de Cuenca tenga autoridad exclusiva o prevaleciente sobre territorios situados en otra demarcación hidrográfica y que deba asumir responsabilidades relativas a tales territorios.
- Existen 17 unidades hidrogeológicas compartidas, definidas en el Anexo I de la Ley del Plan Hidrológico Nacional, cuya asignación de recursos a los ámbitos territoriales de planificación implicados se establece en la propia Ley. La gestión pública del agua subterránea corresponde a cada Organismos de Cuenca en su respectivo ámbito territorial.

Habida cuenta de que la discretización territorial por unidades hidrogeológicas no subsistirá, o que sus actuales límites serán modificados (incluidas las unidades compartidas), se propone asignar a cada demarcación masas de agua subterráneas situadas exclusivamente en su

propio territorio. Las provisiones de la Ley del PHN para acuíferos compartidos sobre coordinación entre Organismos de Cuenca y sobre asignación de recursos seguirán vigentes y fácilmente aplicables en tanto en cuanto dichas provisiones se refieren a las porciones acuíferas de cada demarcación.

***Tercero. Límites impermeables.***

Algunas formaciones geológicas son usualmente consideradas como impermeables a efectos prácticos. La adopción de este tipo de límites tiene la ventaja de que simplifica el establecimiento de balances hídricos y con ello una más fiable evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea. Pero no debe pretenderse que todos los límites, o en su mayor parte, sean impermeables; ello conduciría a definir muchas masas con miles o decenas de miles de km<sup>2</sup> de extensión, en las cuales otros criterios de delimitación pueden prevalecer.

Una opción similar es adoptar como límite las divisorias de flujo subterráneo, a través de las cuales no existen (por definición) transferencias de agua. Para ello las divisorias deben ser permanentes en el tiempo, es decir, no modificables por la actividad humana.

Es casi seguro que las divisorias de flujo conocidas y determinadas, aunque lo sean medianamente, son modificables. Por consiguiente, este tipo de solución debería limitarse a zonas remotas situadas en divisorias hidrográficas, con las cuales suelen coincidir sensiblemente.

***Cuarto. Curso de río efluente como criterio de participación.***

Este criterio es análogo al anterior, ya que el cauce del río es, en muchos, casos equivalente a un límite impermeable. Su aplicación debe supeditarse a la conveniencia de hacerlo por razones de riesgo de mal estado en una sola de las mitades en que se dividiría la unidad hidrogeológica o masa inicial en cuestión.

***Quinto. Límites de influencia de la actividad humana.***

Las principales presiones de la actividad humana sobre las aguas subterráneas se ejercen por extracción de las mismas y por ciertos usos del suelo potencialmente contaminantes.

Un criterio para establecer un límite de masa en el interior de un medio permeable continuo de gran extensión es adoptar una línea al exterior de la cual el impacto de la actividad humana no se considera relevante. Este es un criterio ambiguo y en rigor es aplicable sólo después de haberse realizado el análisis de presiones e impactos, pero puede usarse como guía inicial para la separación de masas sin riesgo y con riesgo de fallo en el cumplimiento de los objetivos medioambientales.

La aplicación de este criterio conduce a establecer límites entre zonas poco o nada habitadas y otras contiguas con mayor densidad de población, entre zonas cuyas aguas subterráneas se encuentran en estado casi natural y zonas significativamente alteradas. A menudo esta separación es debida a diferencias de relieve orográfico determinado por cambios geológicos y/o con variaciones en planta de parámetros hidráulicos, de manera que las discontinuidades geológicas son a menudo relevantes.

Por otra parte, este criterio satisface el objetivo de homogeneidad del estado del agua subterránea para la representatividad de su evaluación.

***Sexto. Aislamiento de zonas con riesgo evidente.***

Son bien conocidas las zonas acuíferas españolas en las que por razones de sobreexplotación, de intrusión marina, de afección a zonas húmedas, o de contaminación difusa, habrá que adoptar medidas de mejora o regeneración, e implantar programas especiales de seguimiento.

En los casos en que la zona afectada se extienda por la mayor parte de la unidad hidrogeológica a la que pertenece, el criterio primero es de aplicación de los criterios de la DMA para toda su extensión. En caso contrario, puede interesar concentrar las medidas y el control sobre la zona problemática, liberando así al resto de la actual unidad de una posible calificación de “en riesgo”. Para este supuesto, la unidad hidrogeológica se partiría en dos.

***Séptimo. Definición de masas superpuestas.***

Cabe definir más de una masa en la vertical en casos de acuíferos confinados. No obstante, esta práctica debe considerarse con carácter excepcional, justificada por la importancia del nivel acuífero interior y supeditada a: 1) la existencia de marcadas diferencias con el superior en cuanto a estados de la masa, presiones antrópicas, vinculación a ecosistemas, valores umbral, etc., 2) la existencia de “riesgo”, es decir, tener que realizar caracterización adicional de alguno de sus acuíferos.

La agrupación de acuíferos superpuestos, aunque tengan diferencias de calidad, en una única masa de agua solamente provoca una sobreprotección de la masa de agua de mejor calidad.

***Octavo. Masas parcialmente confinadas.***

Es relativamente frecuente que una formación acuífera aflorante en superficie pase lateralmente a confinada sin volver a aflorar ni ponerse en contacto directo con otro acuífero. Si se considera procedente, la masa puede prolongarse hasta una línea virtual que aproximadamente encierre las captaciones existentes en el acuífero confinado. De esta forma podrán reflejarse en la caracterización las presiones reales a que está sometida la masa.

***Noveno. Agregación de unidades hidrogeológicas.***

Por diversas razones parece deseable una extensión mínima de las masas a identificar (p.ej. entre 25 y 100 km<sup>2</sup> según las circunstancias hidrogeológicas locales). En determinadas cuencas fueron definidas bastantes unidades hidrogeológicas de reducidas dimensiones utilizando las discontinuidades geológicas como criterio de delimitación.

En algunos casos habrá que mantener tales diferenciaciones por aplicación de los criterios expuestos, pero existen otros en que el tamaño mínimo deseable de las masas es alcanzable agregando unidades contiguas o próximas entre sí, sin vulnerar otros criterios prioritarios. Conviene analizar las posibilidades de agregación teniendo en cuenta que las formaciones de baja permeabilidad son susceptibles de integración en masas de agua subterránea.

***Décimo. Tratamiento de las “zonas sin acuíferos o con acuíferos de interés local”.***

Casi dos terceras partes del territorio español están catalogadas según el título de este epígrafe. Respecto a estas zonas, la información hidrogeológica disponible es, en general, escasa. Sin embargo, habrá que definir y caracterizar masas de agua subterránea si existen pequeños núcleos que se abastecen, total o parcialmente, en cuantía superior a 10 m<sup>3</sup>/día (0,11 L/s) como promedio anual, lo que implica su delimitación en prácticamente en todo el territorio español.

Una solución teóricamente correcta es reducirse a considerar como límites de la masa la zona de alimentación asociable a cada captación para abastecimiento que supere el umbral de 10 m<sup>3</sup>/día. Sus inconvenientes prácticos son que se precisa identificar tales captaciones, cuantificar los volúmenes captados y hacer supuestos sobre recarga unitaria y régimen de flujo. En general no será posible hacer todo esto en el tiempo disponible para hacer la caracterización de las masas.

Donde las pequeñas extracciones sean relativamente numerosas en áreas catalogadas como “sin acuíferos”, se recomienda realizar una caracterización por grupos de masas, sin diferenciación de las masas que integran el grupo. Bastaría trazar una envolvente de núcleos de población como delimitación del grupo de masas, y proceder a la caracterización inicial con la información existente. Si la envolvente es suficientemente amplia no será necesaria la caracterización adicional. En la preparación del Plan Hidrológico de Cuenca se singularizarían las masas integrantes del grupo, en el supuesto de que interesara hacerlo.

***Undécimo. Ecosistemas de agua superficial o ecosistemas terrestres dependientes de flujos subterráneos procedentes de zonas en las que no se definieron unidades hidrogeológicas.***

La primera cuestión que se plantea es qué masas de agua superficial o ecosistemas terrestres cabe considerar como conectados a flujos de agua subterránea. Como criterio inicial de corte se sugiere tener en cuenta solamente las áreas protegidas indicadas en el Anejo IV de la DMA y los lagos con superficie mayor de 50 has, aunque evidentemente habrá que considerar también humedales significativos no catalogados según el mencionado Anexo IV.

La segunda y más importante cuestión es la apreciación de dependencia del ecosistema respecto al flujo subterráneo, es decir, la aceptación de que el ecosistema puede sufrir una disminución significativa de su estado como consecuencia de detracciones antrópicas del flujo subterráneo. Es difícil objetivar un criterio al respecto, por lo que parece razonable dejarlo al buen juicio del profesional responsable.

Será necesaria la realización de un registro de áreas protegidas que deberá incluir las siguientes zonas protegidas:

- Zonas vulnerables contempladas en la Directiva 91/676/CEE
- Zonas sensibles contempladas en la Directiva 91/271/CEE
- Perímetros de protección de aguas destinadas al consumo humano que hayan sido ya aprobados (perímetros de protección para aguas de abastecimiento a poblaciones así como de aguas minerales y

termales) y zonas con extracción superior a 10 m<sup>3</sup>/día o abastezcan a más de 50 personas.

- Áreas de protección de hábitat o especies incluyendo la red Natura 2000.
- Reservas hidrológicas por motivos ambientales.
- RAMSAR.
- Zonas de especial protección para las aves (ZEPAS).
- Lugares de interés comunitario (LIC).
- Espacios naturales protegidos.
- Zonas protegidas en Planes provinciales.
- Figuras de protección que contemplen los Planes Generales de Ordenación urbana de los municipios.

### **3.3. METODOLOGIA PROPUESTA.**

Primeramente, se considerarán las delimitaciones previas que otros autores hayan realizado de la masa de agua subterránea objeto de estudio y, posteriormente, se comprobará su coherencia con la cartografía geológica realizada y las directrices ya comentadas de la DMA.

La descripción final de los límites de la masa de agua subterránea y la determinación de su carácter, abierto o cerrado al flujo subterráneo, son dos aspectos que se irán precisando a medida que se vayan desarrollando otras fases del estudio puesto que conclusiones obtenidas a partir de otros trabajos complementarios a la geología propiamente dicha, por ejemplo, del

análisis de la piezometría y de la hidroquímica, también son de importancia capital para su definición.

Aunque deben prevalecer los criterios geológicos sobre los administrativos que conllevan las vigentes unidades hidrogeológicas, se tratará que, en la medida de lo posible, la masa de agua subterránea estudiada y su correspondiente unidad hidrogeológica, en este caso la U.H. (08.21) "Plana de Sagunto", tengan formas relativamente parecidas, si bien, se debe tener muy en cuenta que la Dirección General de Obras Hidráulicas realizó, durante el año 2004, una propuesta de delimitación de las masas de aguas subterráneas en todo el ámbito Español siguiendo criterios geológicos y de Directiva Marco del Agua que, aunque todavía no tienen carácter oficial, están llamadas a ser, en un futuro próximo, las unidades de gestión hídrica que sustituirán a las comentadas unidades hidrogeológicas. Sería, por tanto, muy aconsejable que los límites de los acuíferos que se consideren en los diferentes estudios sean coincidentes con los límites de las masas de aguas subterráneas que los contienen.

Así, para la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto la DGOH propuso la definición de una masa que igualmente denominó M.A.S. (8022) "Plana de Sagunto".

### **3.4. PLANA DE SAGUNTO.**

La delimitación de la masa de agua de la Plana de Sagunto se ha realizado a partir de la siguiente información y respetando las directrices de la DMA:

- Los límites Norte y Nororiental se han deducido a partir de los trabajos TEYGE, S.A. (2002 a) y TEYGE, S.A. (2002 b).

- El límite Central-Suroriental se ha trazado procurando aplicar la misma metodología de trabajo seguida en los trabajos citados anteriormente (considerando el mismo carácter permeable para todas las litologías que se encuentran fuera del ámbito de los citados trabajos pero dentro del resto de la plana). Así mismo, se ha procurado ser coherente con las definiciones previas dadas en estudios anteriores realizados por diferentes organismos públicos y empresas privadas tales como: IGME-EPTISA (1982), IGME (1986 b) y CHJ (1988).

- El límite Sur se ha considerado que transcurre justo por el límite septentrional de los afloramientos triásicos que se localizan en las proximidades de la población de El Puig y respetando siempre la coherencia con la bibliografía existente.

Se debe comentar que los límites finales considerados se han ajustado, en la medida de lo posible, tanto a la topografía digital BCN25 facilitada por IGME como a la cartografía escala 1:50000 del Mapa Geológico de España, realizada por este mismo organismo.

Finalmente, decir que el muro de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto viene constituido por las arcillas y margas situadas en el techo del Mioceno si bien, en ocasiones, este muro podría venir representado por las litologías menos permeables del Jurásico y del Triásico (Keuper).

La masa de agua de la Plana de Sagunto presenta los siguientes límites deducidos, ver Planos 0A, 0B (donde se mostraba sin justificarse) y el Plano 1 (donde se muestra el límite de la masa sobre la geología), resultando una forma final para la plana sólo relativamente parecida a la de la unidad

hidrogeológica (08.21) del mismo nombre y muy próxima a la masa definida por la DGOH, abarcándose así una superficie de unos 127 km<sup>2</sup>.

Para la realización de la cartografía geológica del área considerada, se ha procedido a la digitalización parcial de las hojas Sagunto (668, 29-26), Moncofar (669, 30-26) y Burjasot (696, 29-27) a escala 1/50000 del Mapa Geológico de España elaborado por el IGME; la cartografía geológica que se presenta en Plano 1 respeta al máximo la original. Dicha digitalización se ha realizado según tres capas de información en formato "shape":

- Capa de polígonos con información sobre las litologías presentes.
- Capa de líneas con información sobre los contactos entre las litologías cartografiadas.
- Capa de líneas con la información estructural de la masa (fracturas y deformaciones).

La cartografía así realizada ha sido posteriormente llevada sobre el Plano 0A, lo que permite una fácil localización para el observador del mapa.

### **Límite Norte.**

Destaca, en la parte central de este límite, la ramificación de la Sierra del Espadán que se dispone en dirección W-E justo al Norte de la población de Almenara, en la que afloran principalmente las areniscas y arcillas del Buntsandstein y, en menor medida, las dolomías del Muschelkalk. Tanto por su extremo Este como por el Oeste, dicha ramificación desaparece bajo los materiales detríticos permeables cuaternarios que limitan las Planas de Sagunto y de Castellón.

El límite Norte se considera abierto en los sectores donde afloran las dolomías del Muschelkalk y las areniscas del Buntsandstein medio y los materiales detríticos de las planas y cerrado allí donde afloran los materiales lutíticos triásicos.

#### **Límite Este.**

Este límite, de 23,3 km. de longitud, queda constituido por los materiales detríticos cuaternarios permeables que conforman la costa mediterránea; en él se produce flujo acuífero-mar con sentido variable según las circunstancias.

#### **Límite Oeste.**

Éste queda definido por los relieves de las Sierras del Espadán y de La Calderona en los que destacan, como litologías que ofrecen los sectores abiertos al flujo subterráneo, las dolomías y calizas del Muschelkalk inferior y superior y las calizas, dolomías y carniolas del Lías; en ocasiones, estos materiales pueden estar subaflorantes, especialmente en el sector Sur, bajo los materiales detríticos permeables cuaternarios que constituyen la Plana de Sagunto. Nuevamente, los materiales lutíticos triásicos constituyen los sectores cerrados al flujo subterráneo.

#### **Límite Sur.**

La Plana de Sagunto limita con la de Valencia. Entre ambas se localizan afloramientos aislados, cercanos a la población de El Puig, constituidos por areniscas de baja permeabilidad pertenecientes al Buntsandstein medio por los que se traza el límite entre las dos llanuras costeras; rodeando a los

citados afloramientos se encuentran los materiales detríticos permeables cuaternarios por los que se considera un límite convencional entre las planas.

El límite Sur de la Plana de Sagunto se considera abierto al flujo subterráneo en los sectores donde dominan los materiales detríticos permeables cuaternarios, mientras que allí donde afloran los materiales triásicos lutíticos se considera un sector cerrado.

## **4. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA.**

### **4.1. METODOLOGIA PROPUESTA.**

En función de la bibliografía, tecnología, tiempo y presupuesto disponibles se pueden llevar a cabo diversos trabajos que aporten más o menos información sobre la geología de la masa de agua subterránea considerada.

#### **4.1.1. ESTRATIGRAFÍA Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL.**

Se deberá empezar dedicando el tiempo necesario a la búsqueda y análisis de la información disponible relacionada con la estratigrafía y estructura de la zona, especialmente procedente de columnas litológicas de sondeos y de estudios geofísicos interpretados por autores previos.

Con el fin de completar la información obtenida en aquellos lugares donde dicha información sea escasa o nula y dado que el volumen de datos a procesar es cada vez más escaso a medida que se consideran mayores profundidades de materiales o zonas relativamente poco explotadas, por ejemplo cerca de la línea de costa, se planteará seriamente la posibilidad de proponer campañas geofísicas y algunos sondeos más profundos que atraviesen, como mínimo, el muro de baja permeabilidad de la masa de agua subterránea.

Los sondeos y, especialmente, los estudios geofísicos que alcancen mayor profundidad de investigación, serán especialmente útiles para tratar de proponer un nuevo modelo sobre la disposición estructural del conjunto

acuífero, que sea coherente con la cartografía geológica, la bibliografía y los estudios hidrogeológicos complementarios disponibles. En caso de existir alguna incompatibilidad, ésta deberá ser, como mínimo comentada y, en la medida de lo posible justificada.

#### **4.1.2. PARÁMETROS HIDRÁULICOS.**

Se procederá de modo similar al descrito en el epígrafe anterior. Se empezará por insistir en la búsqueda de mayor información al respecto, especialmente procedente de ensayos de bombeo ya realizados y a cuyos resultados se pueda tener acceso.

Una vez completada esta fase del estudio se valorará la distribución y representatividad de la información conseguida, dejando para entonces la decisión sobre la conveniencia de proponer nuevos ensayos de bombeo en sondeos adecuados en las zonas donde se carezca de información suficiente.

#### **4.1.3. COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LAS FORMACIONES IMPLICADAS.**

Una vez conocida la estratigrafía, estructura y parámetros hidráulicos de las formaciones implicadas en la masa de agua subterránea objeto de estudio serán necesarias, para conocer su comportamiento hidrogeológico, una serie de campañas piezométricas adecuadamente distribuidas y representativas de los procesos que tienen lugar en el sistema.

Para ello se considera fundamental plantear la instalación de una red de piezómetros múltiples, con uno de los tubos totalmente penetrante, que abarquen de forma completa y representativa toda la masa. Una de las

finalidades de utilizar piezómetros múltiples con rejillas a diferentes profundidades es la de poder obtener información de los diferentes tramos permeables, acuíferos multicapa, que acostumbran a constituir las masas de agua subterráneas detríticas situadas en áreas litorales.

Además, en este tipo de masas, los flujos verticales de recursos hídricos subterráneos pueden ser de capital importancia, tanto para el mantenimiento de las zonas húmedas asociadas como para la recarga, desde tramos infrayacentes, de niveles permeables relativamente aislados hidráulicamente por estar prácticamente inmersos en una matriz lutítica.

Así mismo, la red de control piezométrico suministrará información sobre las direcciones preferentes de flujos subterráneos horizontales, carácter abierto o cerrado de los límites de la masa de agua subterránea, grado de explotación de los diferentes sectores de la masa, etc.

En definitiva, tras el análisis de la información recopilada durante el desarrollo de este capítulo se estará en disposición de:

- Proponer un modelo de funcionamiento hidrodinámico de la masa de agua subterránea tratada, en régimen influenciado, en el que se evalúe el efecto de los flujos verticales de recursos hídricos, proceso muy poco considerado en la mayoría de las bibliografías existentes.
- Delimitar de forma más precisa del muro impermeable de la masa.
- Presentar perfiles geológicos más precisos que los disponibles antes de la elaboración del nuevo proyecto.

- Estudiar evoluciones piezométricas detalladas tanto anuales como para periodos de tiempo mayores.
- Determinar relaciones de la masa objeto de estudio con las que la rodean.

Para la caracterización del funcionamiento hidrodinámico del sistema en régimen natural, se volverá a insistir en la importancia de la búsqueda y análisis de la bibliografía disponible.

Los mapas hidrogeológicos a elaborar con la información obtenida deberán presentarse sobre el Plano 0A base realizado.

#### **4.2. PLANA DE SAGUNTO.**

La bibliografía básica disponible para el desarrollo de este capítulo viene representada por: IGME-EPTISA (1973), IGME-EPTISA (1981), IGME-EPTISA (1982), IGME (1986 a, b y c), CHJ (1988), AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990), TEYGE, S.A. (1990), CONSELLERIA D'AGRICULTURA I MEDI AMBIENT DE LA GENERALITAT VALENCIANA-TEYGE, S.A. (1995), TEYGE, S.A. (2002 a) y TEYGE, S.A. (2002 b).

##### **4.2.1. ESTRATIGRAFÍA Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL.**

Los materiales que conforman la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto vienen representados por niveles detríticos de gravas y/o arenas, siendo sus espesores normalmente inferiores a los 10-15 m, incluidos en una formación pliocuaternaria fundamentalmente limo-arcillosa.

Según los datos procedentes de sondeos mecánicos y geofísicos, se ha podido determinar que los niveles de materiales permeables no son

continuos ni lateral ni verticalmente y que su distribución en el espacio es también muy variable de unas zonas a otras.

En líneas generales, hay predominio de los materiales detríticos más gruesos en los primeros 50-70 m. de la formación, aumentando el carácter arcilloso a profundidades superiores, lo cual no impide la existencia de intercalaciones groseras de interés a estas profundidades.

El impermeable de muro de los materiales pliocenos descritos está formado normalmente por arcillas y margas miocenas muy conductoras, 5-20 ohm.m., que presentan espesor creciente hacia el mar. Infrayacente a éstas se sitúan, discordantemente, formaciones resistivas, detectadas también por geofísica, que constituyen la prolongación de los materiales mesozoicos de las sierras de el Espadán y de la Calderona, formaciones carbonatadas del Muschelkalk y/o areniscas del Buntsandstein.

En la Plana de Sagunto los mayores espesores de materiales detríticos acuíferos corresponden a las inmediaciones del cauce del río Palancia y a las proximidades de la población de Benavites; en estos lugares, la potencia de los materiales permeables alcanza valores máximos de 140 y 200 m. respectivamente.

Como ya se comentó, en sentido amplio se puede decir que el espesor del relleno detrítico de la plana aumenta de Oeste a Este, pero sólo hasta un máximo próximo a la línea de costa, bajo porciones de la cual se dispone una estructura tipo horst, ver epígrafe "*4.2.3. Cortes geológicos*", que eleva los materiales mesozoicos y reduce sensiblemente el espesor de los materiales que rellenan la Plana de Sagunto.

Se pueden distinguir tres tipos genéticos de materiales pliocuaternarios bien diferenciados: depósitos continentales, depósitos marinos y depósitos mixtos.

### **Depósitos continentales.**

Están representados por depósitos de pie de monte, coluviones, conos de deyección, mantos de arroyadas y terrazas fluviales. Su litología corresponde a arcillas rojas con niveles de cantos, así como conglomerados de matriz arcillo-arenosa y cemento carbonatado que, con frecuencia, se encuentran coronados por costras calizas de exudación.

Se encuentran ampliamente representados, formando una orla continua que baja de los relieves mesozoicos hacia la costa, interdigitándose con los depósitos fluviomarinos de la plana.

### **Depósitos mixtos continentales-marinos.**

Están representados fundamentalmente por una sucesión ininterrumpida de antiguas albuferas y marismas, con una litología constituida por sedimentos limosos negros en el primer caso y grises en el segundo.

Rodeando las antiguas marismas y albuferas se encuentra una formación de limos pardos procedentes del lavado de las arcillas rojas circundantes que, en su zona más interna, presentan cantos perforados por organismos litófagos.

Existen, así mismo, dunas litorales y playas que están formadas por arenas silíceas fijadas, en el caso de las dunas, por una vegetación escasa adaptada a ecosistemas salinos.

### **Depósitos marinos.**

Están representados por un cordón litoral fósil, de potencia métrica, de facies marinas que presentan granulometrías variables: desde arenas cementadas en la base hasta un nivel superior de cantos, pasando por un tramo intermedio de arenas limosas. Este nivel cierra el rosario de antiguas albuferas que orlaron la costa.

#### **4.2.2. COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LAS FORMACIONES IMPLICADAS.**

Los materiales permeables que constituyen los acuíferos que se disponen en las sierras de El Espadán y de La Calderona (básicamente calizas y dolomías fracturadas) transmiten parte de sus recursos hídricos a los materiales detríticos más groseros y permeables de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto. Como ya se ha comentado, los niveles detríticos permeables presentan distribuciones laterales y verticales irregulares entre una matriz limo-arcillosa que se comporta como acuitardo.

Así pues, la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto se debe considerar como un sistema multicapa con potencial hidráulico creciente a medida que aumenta la profundidad. Este fenómeno se muestra de forma muy desigual según las zonas y así, mientras que en el sector Nororiental, conocido como Les Valls, se constata una diferencia próxima a los 2 m. entre el nivel piezométrico de los tramos productivos superior e inferior, en otros sectores, como el situado al Sur de Sagunto y en general en todas las zonas del litoral, este fenómeno queda enmascarado, si existe, por el régimen muy influenciado de la capa.

Debido a que **a)** la disposición de los materiales permeables saturados que se encuentran tanto dentro como fuera de la plana no es regular y **b)** la estructura tectónica del sustrato mesozoico del área tratada está dividida en bloques tipo horst y grabens, se establecen direcciones de flujo subterráneos preferentes, en ocasiones, detectables a partir de los estudios hidroquímicos.

Así y todo, en régimen natural, en la Plana de Sagunto, tenía lugar un flujo subterráneo que, a grandes rasgos, circulaba desde las sierras orientales hasta el mar Mediterráneo, constituyendo así la plana un mero transmisor de los recursos hídricos subterráneos de los relativamente elevados relieves que la limitan hasta su desembocadura en el mar. Allí donde la transmisividad de la masa no era suficientemente alta y/o la topografía estaba deprimida por debajo del nivel del mar, se desarrollaron zonas inundadas de importante extensión superficial.

La salida de recursos subterráneos al mar, en una cantidad suficiente, impedía el desarrollo de un proceso generalizado de intrusión marina, aunque podrían darse ligeras oscilaciones de ésta en periodos de mayor sequía o humedad.

Ciertamente, la descripción presentada en el capítulo anterior y que incluía determinaciones sobre el carácter abierto o cerrado de los límites de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto a partir de materiales aflorantes resulte probablemente algo imprecisa, ya que los estudios piezométricos e hidroquímicos que se presentarán en capítulos posteriores de esta memoria parecen confirmar la posibilidad de que, como mínimo en régimen no influenciado, la práctica totalidad del límite de la masa fuese

abierto al flujo subterráneo, idea igualmente contemplada en IGME (1.986 c), puesto que el elevado grado de fracturación y la situación todavía imprecisa de las litologías permeables subaflorantes favorecerían este hecho a pesar de tenerse materiales con teórica baja permeabilidad por porosidad.

La situación cambió radicalmente cuando el sistema pasó a una situación de régimen influenciado, momento en el cual la trayectoria regional W-E del flujo subterráneo se vio fuertemente alterada en las zonas de máxima explotación. Así mismo, esta situación dio pie al desarrollo de un cada vez más importante proceso de intrusión marina y a una mayor entrada de recursos hídricos de baja calidad procedentes de la Plana de Castellón, localizada al Norte de la de Sagunto. Además, se produjeron, casi con total seguridad, descolgamientos de nivel freático entre los acuíferos que alimentaban la plana desde las sierras interiores y la propia masa objeto de estudio, por lo que esta situación conllevó la sensible reducción de los aportes de recursos hídricos subterráneos hacia ésta.

Tan sólo se ha pretendido adelantar una pequeña descripción del funcionamiento hidráulico de la masa de agua que nos ocupa para facilitar el mejor entendimiento del Plano 2A1, puesto que la mayor parte de los aspectos comentados en esta breve descripción serán ampliamente tratados en otros capítulos posteriores; del mismo modo, la piezometría y las recargas incluidas en el plano (IGME, 1986c) serán tratadas en sus correspondientes capítulos.

Igualmente, con la información disponible se está en disposición de presentar también el Plano 2A2 con información complementaria sobre la distribución de las isopacas en la masa de agua de la Plana de Sagunto.

### **4.2.3. CORTES GEOLÓGICOS.**

#### **4.2.3.1. Modo de trabajo.**

Para la realización de los cortes hidrogeológicos se ha procedido de la siguiente manera:

- Se analizaron los estudios geofísicos disponibles (S.E.V.), especialmente de IGME-EPTISA (1973). Con ellos se pretendió conocer la profundidad tanto del principal muro del acuífero, las arcillas y margas del Mioceno, como de los cambios litológicos más significativos. A nivel general, se debe decir que los valores de resistividad inferiores a 15 ohm.m. se atribuyeron básicamente a los materiales lutíticos miocenos, los comprendidos entre 15 y 100 a arcillas arenas y gravas del Cuaternario, entre 100 y 300 a areniscas del Buntsandstein medio y valores superiores a 300 a calizas y dolomías del Jurásico y del Muschelkalk así como, tal vez, a materiales del Paleozoico; con valores bajos de resistividad, inferiores a 15 ohm.m. también figuran las arcillas del Buntsandstein inferior y superior y, ocasionalmente, al Keuper.
- Se ubicaron las columnas litológicas disponibles de los sondeos inventariados, tanto en el IGME como por TEYGE, S.A., en el perfil geológico correspondiente; las columnas litológicas introducidas en los perfiles representaron una ayuda de gran valor a la hora de confirmar

la bondad de las interpretaciones geológicas realizadas a partir de la geofísica.

- Se estudió la bibliografía disponible con información tectosedimentaria para comprobar la coherencia de los perfiles realizados con el contexto geológico en el que se ubican.

Se muestra en el Plano 2A3 tanto la localización de los sondeos con información sobre su columna litológica como la disposición de los SEVs estudiados.

#### **4.2.3.2. Contexto geológico.**

Desde el punto de vista estructural, el área estudiada pertenece a la terminación oriental del Sistema Ibérico. Su zócalo está formado por materiales paleozoicos afectados primeramente por la orogenia Herciniana. Sobre ellos, se depositaron materiales del Mesozoico y del Terciario, siendo el conjunto nuevamente afectado, en este caso, por la orogenia Alpina, que produjo la gran cantidad de estructuras tectónicas con directriz NO-SE observables en la actualidad.

Son frecuentes, en la zona próxima a la Plana de Sagunto las sucesiones de anticlinales, sinclinales y cabalgamientos, con la citada directriz, afectando, en superficie, principalmente a materiales triásicos y jurásicos, litologías que también afloran en el contacto entre las sierras de la Calderona y de El Espadán y la Plana de Sagunto.

La fase distensiva posterior a la orogenia Alpina, acontecida durante el Mioceno medio y superior, que tuvo lugar en la zona oriental de la Península Ibérica condicionó la aparición de un proceso de rifting que dio lugar al

desarrollo de dos sistemas de fracturas principales de dirección NNE-SSO y NO-SE respectivamente, las cuales podrían ser reactivaciones de antiguos accidentes hercínicos.

Como consecuencia del citado proceso de rifting, se originó una compartimentación en bloques tipo horst y graben que jugó un papel predominante en la configuración del sustrato sobre el que se asientan los materiales detríticos miocenos y pliocuaternarios de la Plana de Sagunto.

Los materiales pliocuaternarios apenas se encuentran deformados, por consiguiente, su deposición se debe considerar posterior al momento de máxima distensión tectónica.

Sin embargo, la estabilidad estructural posterior al Mioceno no ha sido total y estos sedimentos pliocuaternarios han debido adaptarse a procesos de subsidencia tectónica, por lo que es posible encontrar indicios morfológicos de tales movimientos que se manifestaron, por ejemplo, como variaciones en la red de drenaje o como basculamientos de antiguas terrazas fluviales.

Las formaciones pliocuaternarias permeables descansan sobre una formación arcillosa, muy conductora, de espesor creciente hacia el mar de edad básicamente miocena.

Así, desde el punto de vista tectónico, se diferencian claramente dos áreas en la zona de trabajo considerada:

- La Plana de Sagunto, ocupada por materiales detríticos pliocuaternarios postorogénicos que prácticamente no presentan tipo alguno de deformación tectónica.

- Área interior limítrofe con la plana, constituida por materiales preorogénicos de edad triásica y jurásica intensamente afectados por procesos tectónicos.

#### **4.2.3.3. Interpretaciones geológicas.**

Teniendo en cuenta las consideraciones comentadas en los dos epígrafes anteriores de este mismo capítulo, se procedió a la realización de una serie de perfiles geológicos interpretativos de la estratigrafía y estructura tectónica de la Plana de Sagunto que se muestran en Plano 2A4.

Así, de la observación de los perfiles puede comprobarse como realmente se tiene una estructura basada en bloques de tipo horst y grabens que condicionó, en gran medida, la sedimentación de los materiales miocenos y pliocuaternarios.

Es también posible observar, especialmente en los Perfiles 1 y 2, como debajo de la línea de costa se dispone un horst que eleva los materiales de relativa baja permeabilidad, ya sea el Mioceno ya sea el Triásico, a cotas próximas a la superficie que, como mínimo, dificultarían la entrada de agua marina dentro de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto. En el Perfil 3, parece darse además una cierta resistencia litológica a la entrada de agua marina que vendría dada por el subafloramiento de las arcillas y margas del Mioceno. Los Perfiles 1, 2 y 3 presentan su extremo oriental dentro de las zonas representadas como de mayor resistencia a la entrada de agua marina en la plana según las analíticas disponibles pertenecientes a septiembre de 1974.

El sustrato resistivo de la plana viene representado por materiales triásicos y jurásicos. En aquellos perfiles en los que simplemente se utilizó sólo el término "Sustrato resistivo" éste no ha podido ser identificado.

En los perfiles 1 y 4 pueden apreciarse, respectivamente, materiales jurásicos y triásicos relativamente cerca de la superficie; los materiales jurásicos del primero de ellos se corresponden con los que afloran al NE de la población de Sagunto, ver Plano 1, mientras que los materiales triásicos del segundo se corresponderían con el afloramiento de dichos materiales en la población de El Puig, situada justo en el límite Sur de la plana, ver Plano 1.

Sobre los materiales que constituyen el zócalo se dispone una importante serie lutítica que va ganando potencia, hasta 350 m., de Este a Oeste hasta alcanzar el horst "costero" ya comentado.

Como ya se ha comentado, el techo de la serie miocena constituye el muro de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto cuya definición por medio de isohipsas se mostró en el Plano 2A1, deducida mediante la interpolación por el método "kriging" de la información geofísica presentada en IGME-EPTISA (1973).

Posteriormente, aunque la sedimentación pliocuaternaria fue posterior a la orogenia distensiva, puede apreciarse, especialmente en los Perfiles 1 y 3, como las mayores potencias de estos materiales se concentran sobre áreas de grabens en las que se ha producido subsidencia tectónica y/o compactación de la serie detrítica infrayacente, habilitándose así mayores espacios para la acumulación de importantes volúmenes de sedimentos pliocuaternarios.

Se debe comentar, para finalizar, que la interpretación de la geofísica cerca de la costa ha sido algo compleja en los Perfiles 1, 3 y 4 puesto que, aunque el proceso de intrusión marina pueda ser relativamente poco importante en los dos primeros, es difícil discernir entre la resistividad dada por materiales lutíticos y por materiales algo más groseros que contengan alguna proporción de agua salada relleno su porosidad.



## **5. INVENTARIO DE PUNTOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA.**

### **5.1. METODOLOGIA PROPUESTA.**

Se efectuará un inventario de todos los puntos de agua destinados a los diferentes usos (consumo humano, agricultura, industria y ganadería). Para ello, se partirá de los puntos de agua inventariados tanto por los diferentes Organismos Públicos con competencias en la gestión hídrica como por empresas privadas que tengan a bien ceder parte de su información almacenada, si bien, se realizará una revisión posterior en el campo de los datos conseguidos.

A la hora de iniciarse un estudio hidrogeológico puede ocurrir que realmente pueda contarse con la valiosa ayuda de dichas bases de datos, pertenecientes a Organismos Públicos y/o a empresas privadas con experiencia en la zona de trabajo; de ser este el caso se deberá comprobar la bondad de la información contenida en dichas bases de datos con visitas a la zona y, si es necesario, se incluirán en el mismo todos aquellos puntos, aún sin inventariar, que pudieran descubrirse.

En caso contrario, se deberá proceder a la realización personal de un inventario con la mayor cantidad de información posible dadas las características propias de cada proyecto.

Este inventario deberá contribuir en varios aspectos al desarrollo del estudio encaminado a las caracterizaciones de las diversas masas de agua subterránea a considerar en el seno de la Unión, por lo que se pondrá

especial cuidado en la obtención de datos referentes a la piezometría, calidad química, volumen de extracción, columna litológica atravesada, etc.

Posteriormente, se elaborará un plano en el que se mostrará la distribución de los puntos de agua localizados, indicando su código identificador, y marcando con colores diferentes cada uno de los puntos en función del uso a que se destinen los recursos hídricos que de ellos se extraen.

Al mismo tiempo, los puntos de agua se indicarán con un tamaño u otro, en un rango de por ejemplo cinco niveles, dependiendo del volumen de recursos que se extraigan a partir de ellos.

De esta manera, al consultar el plano así elaborado podrá conocerse inmediatamente de cada punto, su localización, código, uso y extracción aproximada.

Finalmente, con la información obtenida sobre el volumen de extracción realizado en cada punto de agua se calcularán las tasas anuales medias de extracción para cada uno de los usos del agua considerados.

## **5.2. PLANA DE SAGUNTO.**

La documentación utilizada para el desarrollo de este capítulo ha sido la siguiente: IGME-EPTISA (1982), IGME (1986 b), IGME (1986 c), CHJ (1988), CHJ-TEYGE, S.A. (2003) y la información recogida en el inventario de puntos de agua del IGME.

### **5.2.1. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE EXTRACCIÓN.**

En el Plano 2B se muestra la ubicación de los puntos de extracción inventariados.

Como puede comprobarse, gran parte de los sondeos destinados a, como mínimo uso urbano, se localizan cerca del límite occidental de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto, lugar donde se captan los mayores caudales de recursos hídricos subterráneos que, además, presentan las mejores calidades químicas de toda la plana, pues interceptan las transferencias laterales procedentes de las masas de aguas subterráneas localizadas en las sierras interiores.

No se debe olvidar, que la mayor parte de las captaciones importantes localizadas en el límite occidental de la plana no están explotando los materiales pliocuaternarios, de relativa baja permeabilidad y deficiente calidad química de sus recursos, sino los materiales jurásicos y terciarios, más permeables y con mayor calidad química.

Las captaciones localizadas en área más orientales del acuífero y/o que explotan sólo los materiales cuaternarios suelen ser captaciones relativamente poco importantes que abastecen, sin garantías de potabilidad, entidades urbanas muy reducidas.

En la mayoría de los casos, los puntos de agua destinados a otros usos diferentes al de abastecimiento urbano, suelen ser extracciones que explotan los recursos hídricos de los materiales pliocuaternarios, siendo el uso más habitual dado a dichos recursos el de abastecimiento agrícola.

Como se aprecia en el Plano 2B, la densidad de captaciones ejecutadas en la plana es elevada, salvo en la franja litoral donde el proceso de intrusión marina las hace inviables desde el punto de vista hidroquímico.

## **5.2.2. TASAS DE EXTRACCIÓN PARA USO ABASTECIMIENTO URBANO.**

En IGME-EPTISA (1982) se ofrece un valor medio de bombeo destinado a uso de abastecimiento urbano de 48,5 hm<sup>3</sup>/año para todo el conjunto de La Plana de Castellón-Sagunto, sin que se diferencie la procedencia de las extracciones.

En IGME (1986 b) se consideran unos bombeos conjuntos para uso de abastecimiento urbano e industrial de 5,5 hm<sup>3</sup>/año a partir sólo de los recursos hídricos de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto.

El total de agua subterránea utilizada en la Plana de Sagunto ascendía, según IGME (1986 c), a 88,4 hm<sup>3</sup>/año por término medio, de los cuales 5,5 hm<sup>3</sup>/año procedían del subsistema del Medio Palancia.

Este mismo autor consideró conjuntamente los usos de abastecimiento urbano e industrial; el consumo de agua subterránea para el abastecimiento urbano y de pequeñas industrias asociadas a la red de distribución municipal ascendía a 4,52 hm<sup>3</sup>/año, la mitad de las cuales correspondían a Sagunto.

Esta población importaba una parte significativa de sus aguas (1,5 hm<sup>3</sup>) del vecino subsistema del Medio Palancia. A pesar de ello, Sagunto era la única población de la plana con problemas cuantitativos en su abastecimiento, como lo demuestra el que su consumo, de 2,29 hm<sup>3</sup>/año, suponga una dotación media de 110 l./hab/día, muy inferior a la teórica requerida para una población de sus características.

CHJ (1988) aceptaba un uso de aguas subterráneas para abastecimiento urbano de 1,31 hm<sup>3</sup>/año para el conjunto de la unidad hidrogeológica Plana de Sagunto (08.21).

En CHJ-TEYGE, S.A. (2003) se calculó un valor para las extracciones realizadas en la Plana de Sagunto destinadas a uso de abastecimiento urbano de 1,7 hm<sup>3</sup>/año para el año 2002.

Como se tratará en el correspondiente capítulo el balance hídrico que se considera más adecuado de cuantos se han encontrado en la bibliografía es el presentado, con algunas variaciones entre sí, por IGME (1986 b), IGME (1986 c), TEYGE, S.A. (1990) y AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990) en el que se consideran unos bombeos totales en la Plana de Sagunto de 82,6 hm<sup>3</sup>/año de los que sólo 1,7 hm<sup>3</sup>/año, según CHJ-TEYGE, S.A. (2003), se usan para abastecimiento urbano.

Por tanto, si se considera una superficie total de la plana de 127 km<sup>2</sup>, se tiene una **tasa media anual de extracción para uso de abastecimiento urbano** de 13,4 L/m<sup>2</sup>/año para el conjunto de la masa subterránea de la Plana de Sagunto.

### **5.2.3. TASAS DE EXTRACCIÓN PARA USOS DIFERENTES AL ABASTECIMIENTO URBANO.**

En IGME-EPTISA (1982) se ofrece unos valores medios de bombeos destinados a usos de abastecimiento industrial y agrícola de 22 y 96 hm<sup>3</sup>/año respectivamente para todo el conjunto de la Plana de Castellón-Sagunto, sin que se realice desglose alguno según las masas de agua subterránea implicadas.

En IGME (1986 b) se especifica que la mayoría de las extracciones que tenían lugar en la Plana de Sagunto correspondían a bombeos realizados para abastecer a las actividades agrícolas de la zona, cuyas dotaciones variaban notablemente de años húmedos a secos. Las cifras obtenidas para el periodo 1980-1983 variaban entre los 59 y los 90 hm<sup>3</sup>/año.

IGME (1986 c) consideraba que los principales centros industriales que se abastecían independientemente de la red de distribución urbana eran: Altos Hornos del Mediterráneo y Abelló Oxígeno Linde, S.A. de Puçol, que bombeaban 3 y 1,5 hm<sup>3</sup>/año respectivamente.

También, para este mismo autor, el agua subterránea utilizada para abastecer a las 10.212 ha destinadas a uso agrícola ascendía, por término medio en el período 1980-1983, a 79,5 hm<sup>3</sup>/año de los que 4,0 hm<sup>3</sup>/año provenían del subsistema acuífero del Medio Palancia. En teoría, sólo 2.000 ha estaban dotadas con aguas subterráneas, en tanto que el resto lo estaba con aguas superficiales procedentes de los ríos Palancia y Turia. En la práctica, la escasez de recursos superficiales hacía que la casi totalidad del agua sea de procedencia subterránea. Por el contrario, el agua utilizada para usos ganaderos era prácticamente despreciable, 0,02 hm<sup>3</sup>/año.

CHJ (1988) aceptaba unos usos de aguas subterráneas para abastecimiento industrial y regadío de 4,5 y 60 hm<sup>3</sup>/año respectivamente para el conjunto de la unidad hidrogeológica Plana de Sagunto (08.21).

En CHJ-TEYGE, S.A. (2003) se calcularon unos valores para las extracciones realizadas en la Plana de Sagunto destinadas a los usos de abastecimiento industrial y regadío de 8,94 y 35,1 hm<sup>3</sup>/año respectivamente para el año 2002.

Tal y como se comentará en el capítulo correspondiente, el balance hídrico que se considera más adecuado de cuantos se han encontrado en la bibliografía es el presentado, con algunas variaciones entre sí, por IGME (1986 b), IGME (1986 c), TEYGE, S.A. (1990) y AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990) en el que se consideran unos bombeos totales en la Plana de Sagunto de 82,6 hm<sup>3</sup>/año, de los que 1,7 y 8,9 hm<sup>3</sup>/año, según CHJ-TEYGE, S.A. (2003), se usan para abastecimiento urbano e industrial respectivamente quedando entonces 72 hm<sup>3</sup>/año para uso de abastecimiento agrícola.

Por tanto, si se considera una superficie total de la plana de 127 km<sup>2</sup>, se tienen unas **tasas medias anuales de extracción para uso de abastecimiento industrial y regadío** de 69,6 y 566,9 L/m<sup>2</sup>/año respectivamente para el conjunto de la masa subterránea de la Plana de Sagunto.

Finalmente, si se considera una **tasa media anual de extracción total**, se recuerda que la tasa media anual de extracción para uso de abastecimiento urbano era de 13,4 L/m<sup>2</sup>/año, ésta es de 649,9 L/m<sup>2</sup>/año para el conjunto de la masa subterránea de la Plana de Sagunto.



## **6. FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL ACUÍFERO.**

### **6.1. METODOLOGIA PROPUESTA.**

Obviamente, para la recopilación de la información disponible al respecto, se deberá recurrir a la consulta de las bases de datos disponibles en los diferentes Organismos Públicos y en las empresas privadas que tengan a bien facilitar esta información, además de proceder al análisis detallado de la bibliografía existente.

Lo comentado, constituye la única manera de obtener información piezométrica sobre tiempos pretéritos, mientras que para obtener información piezométrica del presente, si los datos disponibles no son suficientemente adecuados, se deberá recurrir, al planteamiento de campañas piezométricas acordes con las características, presupuesto y tiempo para realizar el estudio.

Con la información conseguida se calcularán, en la medida de lo posible, las siguientes mapas de isóneas de piezometría de la masa y sus direcciones de flujo:

- En aquellas masas de agua donde no existan cambios estacionales significativos, se calculará la piezometría tanto en régimen no influenciado como en régimen influenciado.
- En aquellas masas de agua con cambios estacionales significativos se calculará la piezometría para año seco y para año húmedo.

Se puede incluir un modelo en tres dimensiones de la masa de agua. Este permite calcular volúmenes de recursos hídricos contenidos en la masa de agua y el volumen no saturado de la misma.

La equidistancia entre isopiezas debe ser elegida a criterio del experto en cada masa de agua subterránea, pues la diferencia de gradientes hidráulicos y de alturas es tan variable de unas a otras, que resulta imposible establecer un criterio único aplicable a todas. Sin duda alguna, las únicas orientaciones posibles de cómo seleccionar el valor de la equidistancia serían aquellas encaminadas a conseguir una distribución de las isopiezas que abarque toda la zona de estudio e impidiendo que distorsiones locales de la piezometría queden enmascaradas pero que, al mismo tiempo, no sea tan densa que dificulte su interpretación.

Se incluirá en el documento una síntesis del análisis de dichos mapas indicando los máximos piezométricos, las direcciones principales del flujo subterráneo, los gradientes hidráulicos y su variación en el periodo húmedo y en el periodo seco.

Posteriormente, los mapas de isopiezas tendrán diversas utilidades, como pueden ser su contribución en el cálculo de la vulnerabilidad de la masa de agua subterránea, en la calibración de los modelos matemáticos de flujos, en la estimación de la distribución de la intrusión marina, en el estudio de las relaciones aguas subterráneas-aguas superficiales, etc.

## **6.2. PLANA DE SAGUNTO.**

Para el desarrollo del presente capítulo se ha consultado la siguiente bibliografía: IGME-EPTISA (1981), IGME-EPTISA (1982), IGME (1986 b y

c), TEYGE, S.A. (1990) CHJ-AQUATEC (2001) y TEYGE, S.A.(2002 a). Además, se dispone de los inventarios de puntos de agua elaborados por el IGME, en los que se tienen mediciones piezométricas desde el año 1972 hasta el 2001.

Así mismo, para la realización de este informe se considerará régimen natural o, como mínimo, tendente al régimen natural al estado en el que se encontraba la masa subterránea de la agua de la Plana de Sagunto a principios de la década de los setenta, fecha de inicio del control piezométrico por parte del IGME en la zona. En contraposición, se denominará régimen influenciado al que ha tenido lugar desde esa fecha hasta nuestros días, la evolución del cual se comentará de forma relativa respecto al régimen natural considerado.

Esta asignación de regímenes resulta ser sólo una manera práctica de tratar la información disponible puesto que, ya en la década de los setenta, el sistema estaba fuertemente sometido a las acciones antrópicas.

#### **6.2.1. RÉGIMEN NATURAL.**

En el Plano 2C se muestra una piezometría deducida a partir de la información registrada en las hojas de inventario de puntos de agua elaboradas por el IGME en junio del año 1972; dicha información ha sido interpolada por el método "kriging".

Como puede comprobarse, el flujo subterráneo natural presentaba, en la mayor parte de la plana, una dirección ONO-ESE y sentido hacia el mar.

Este flujo general se veía parcialmente distorsionado, en algunas zonas localizadas cerca de las poblaciones de Sagunto y de Puerto de Sagunto

así como en general en la zona Sur de la plana, debido a la acción de los bombeos y de posibles infiltraciones de excedentes de regadío; además, las captaciones localizadas en el límite Nororiental de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto complicaban la interpretación del posible flujo procedente, de forma también subterránea, desde La Plana de Castellón.

Según la piezometría mostrada, la mitad septentrional del límite Este de la plana presentaba niveles por debajo del nivel del mar, lo que favorecería el proceso de intrusión marina. En cualquier caso, es probable que este proceso sólo tuviera lugar de forma muy localizada en torno al punto de agua en el que se registró un nivel piezométrico de -0,96 m.s.n.m. en junio de 1972, pero la falta de un número suficiente de datos cerca de éste motivó que el método "kriging" haya asignado a un sector demasiado grande un valor similar de piezometría.

#### **6.2.2. RÉGIMEN INFLUENCIADO.**

Para la realización de la presente memoria, se ha contado con información suficiente para mostrar piezometría no sólo de los periodos recomendados, año seco, año húmedo y presente, sino que también se ha dispuesto de otras intercaladas con éstas que también se citarán e ilustrarán, aunque como Figuras en vez de como Planos.

Así, el Plano 2D1 muestra la piezometría calculada básicamente a partir de la información contenida en el inventario realizado por el IGME, para diciembre de 1978, uno de los años más secos registrados en la zona, y en la que puede apreciarse una distribución de isolíneas y flujos relativamente parecidos a los que tenían lugar en 1972 (año de referencia) en la mitad

septentrional de la plana, pero con un cierto descenso en el valor de las mismas de entre 5 y 10 m.

Por el contrario, en la mitad meridional de masa la distribución de isolíneas es claramente diferente debido, probablemente, a la ausencia de información piezométrica adecuada; sin embargo, sí que se mantiene el hecho de que los pocos datos disponibles en este sector confirman un descenso piezométrico también comprendido entre los 5 y los 10 m aproximadamente.

En IGME-EPTISA (1981), aunque no se ofrece piezometría alguna, se hace referencia a un estudio en este sentido en la zona de Les Valls en el que las isopiezas se disponían paralelas a los afloramientos dolomíticos de la Sierra del Espadán, indicando la transferencia subterránea de recursos hídricos, y perpendiculares a los afloramientos del Buntsandstein, poniendo de manifiesto su carácter impermeable.

En IGME-EPTISA (1982) se analiza, primeramente, el hecho de que el río Palancia se deriva en la población de Sot de Ferrer, fuera del ámbito de la plana, para usos agrícolas llevados a cabo por la C.R. Acequia Mayor de Sagunto, dejando en el lecho natural un cauce tan reducido que se infiltra totalmente en los materiales triásicos localizados aguas abajo.

Así, el tramo de cauce de río localizado dentro de la plana se encuentra totalmente seco la mayor parte del año, excepto en los últimos 450 m antes de su desembocadura donde la citada comunidad vierte nuevamente los excedentes no utilizados. Sólo en épocas de intensas y/o continuadas precipitaciones se pueden tener recursos hídricos superficiales circulando por el río Palancia dentro de la Plana de Sagunto; sin embargo, no existen

estaciones de aforo que permitan medir su caudal ni su posible relación con la masa de agua subterránea.

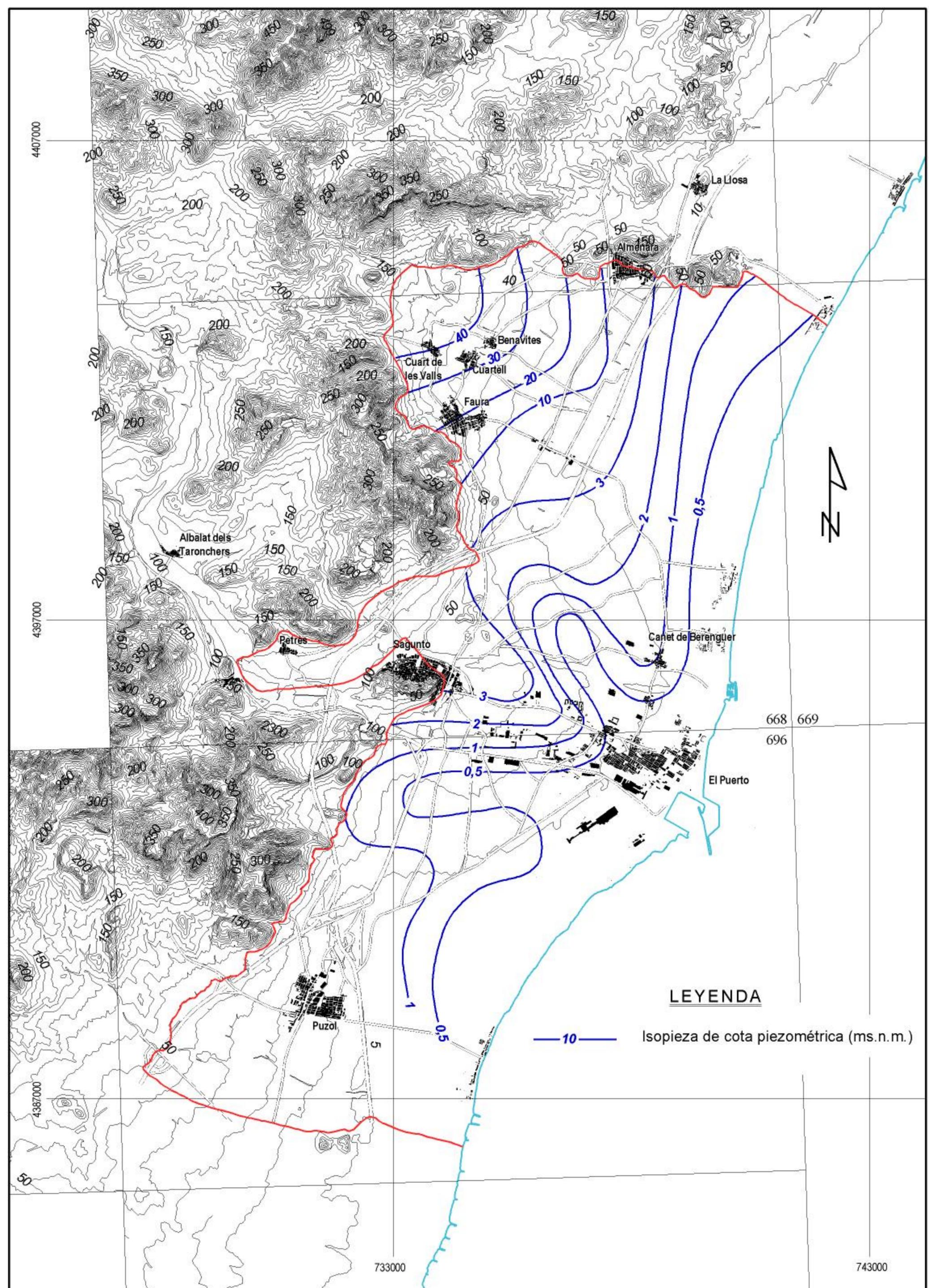
En IGME-EPTISA (1982) se presenta un mapa piezométrico, ver Figura nº1, en la que puede comprobarse como la superficie piezométrica se situaba, en la mayor parte de la plana, entre 10 m.s.n.m en las regiones occidentales y valores próximos al nivel del mar en la costa, durante el mes de septiembre del año 1977. En el sector de Les Valls, tenía lugar una irregularidad piezométrica puesto que el nivel se encontraba a mayor cota que en el resto de la plana, midiéndose valores próximos a los 50 m.s.n.m.

Por el contrario, en las inmediaciones del río Palancia se observaba un nivel deprimido como consecuencia de las extracciones de agua subterránea que tenían lugar en este sector.

En la fecha indicada, el gradiente hidráulico, en la mayor parte de la plana, estaba comprendido entre el 0,5 y el 2‰. Sin embargo, en el sector de Les Valls era notablemente superior, estando comprendido entre el 8 y el 20‰.

El sentido general de circulación de las aguas subterráneas era NO-SE, excepto en las zonas de extracción en las que el flujo llegaba a invertirse hacia el interior.

También según IGME-EPTISA (1982), en general, la oscilación anual del nivel piezométrico era más acentuada en el borde Oeste que en el Este; las magnitudes de la oscilación variaban entre menos de 1 m. y mayores de 10. Durante los meses de octubre a abril se producía un ascenso de los niveles, mientras que desde abril a septiembre los niveles descendían debido al régimen pluviométrico y a los bombeos intensivos que tenían lugar en la



**LEYENDA**

— 10 — Isopieza de cota piezométrica (ms.n.m.)

Escala: 1/75.000

Fig. nº 1.- Mapa piezométrico de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto para septiembre de 1.977 IGME-EPTISA (1.982).

plana durante el verano, alcanzándose el valor mínimo del nivel en el mes de septiembre.

Desde el año 1974 se observó un descenso generalizado de niveles hasta el año 1976, posteriormente tuvo lugar una recuperación que permitió alcanzar un máximo piezométrico comprendido entre el último semestre de 1977 y el primer trimestre de 1978, al que siguió un descenso hasta la redacción de IGME-EPTISA (1982) más o menos amortiguado según las zonas. La magnitud del descenso en el periodo comentado osciló entre 5-6 m. en el borde occidental, y 0,5-1 m. en la zona litoral.

Según IGME (1986 b y c) y TEYGE, S.A. (1990), la morfología de la superficie piezométrica ponía de manifiesto la existencia de dos áreas diferenciadas, ver la Figura nº2 orientativa:

- La primera coincidía con el sector de Les Valls y se caracterizaba por la existencia de un flujo con sentido NO-SE y una piezometría que variaba entre 40-45 m.s.n.m., en el sector más occidental, y 2-3 m.s.n.m. al Este de Faura y Benavites. Las oscilaciones anuales eran del orden de 5-7 m. y el gradiente medio, muy elevado, era del orden del 1 %.
- La segunda zona, mucho más extensa, ocupaba la mayor parte de la plana y en ella la superficie piezométrica rara vez superaba la cota de 2. m.s.n.m. con excepción del sector Suroriental de Puçol. La morfología de la capa era extraordinariamente variable de una época a otra del año y en líneas generales se caracterizaba por la existencia de tres depresiones piezométricas provocadas por la intensidad de las extracciones, con cotas normalmente negativas, situadas al Sureste de

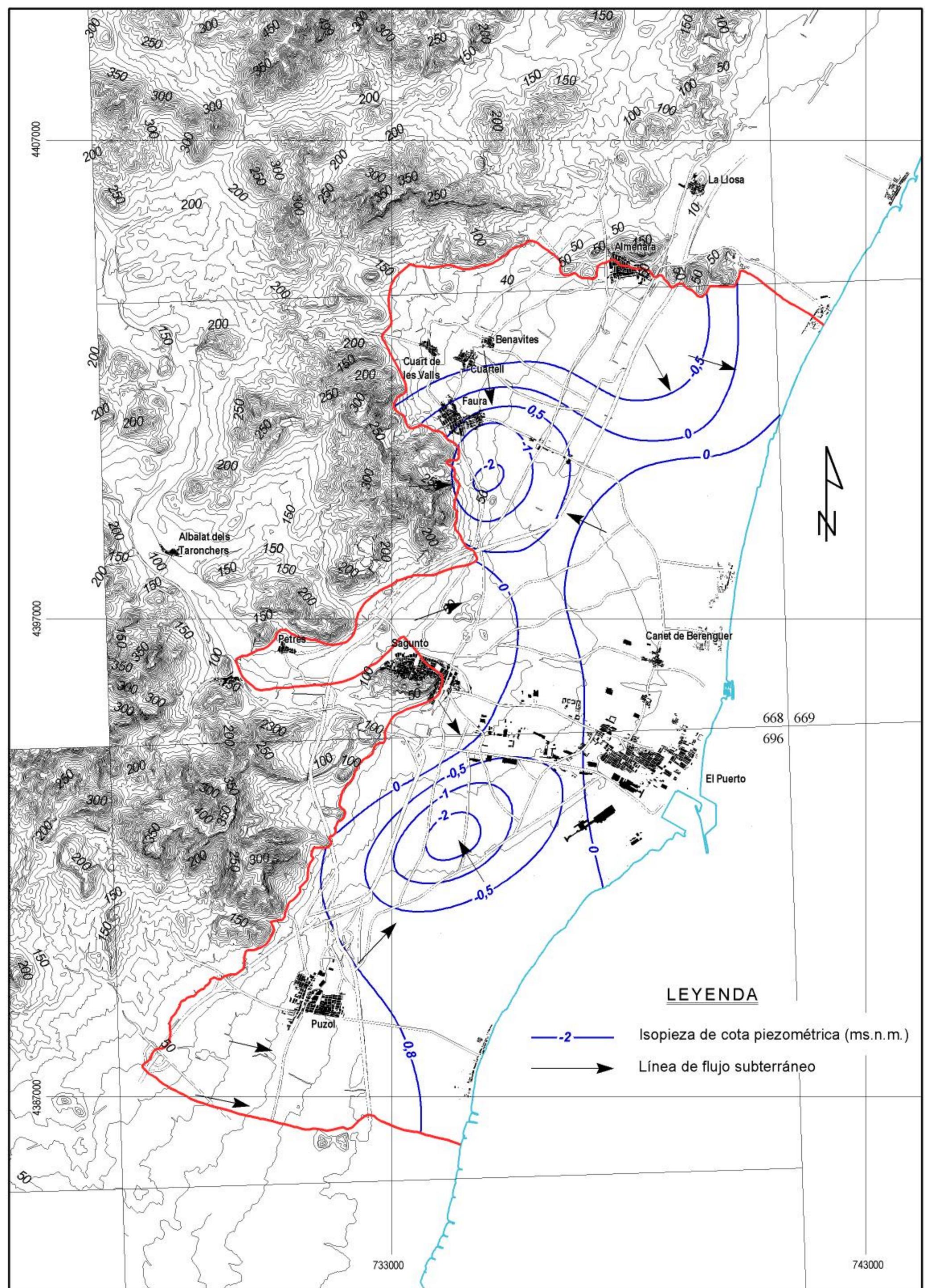
Sagunto, Sur de Puçol, y Sureste Faura (que en ocasiones alcanzó cotas de -4 m.s.n.m.), cuya coalescencia, en épocas de prolongada sequía, hacía que la piezometría en la mayor parte de la zona, se situase bajo el nivel del mar; se producía entonces una única depresión alargada de más de 10 km. de longitud orientada según una dirección Norte-Sur que favorecía el proceso de intrusión marina.

Así mismo, en IGME (1986 b) se matizan algunos aspectos considerados en IGME-EPTISA (1982):

- Las oscilaciones anuales del nivel piezométrico eran máximas en la zona de la plana próxima a los bordes interiores, registrándose valores medios de 5 a 7 m., y mínimas en la zona próxima a la costa, con valores del orden de 2 a 3 m.
- Después del descenso que tuvo lugar desde el año 1978 hasta el año 1982 se inicia, a principios de este año una recuperación que culminó en el siguiente diciembre.
- La evolución de niveles observada desde principios de la década de los setenta es perfectamente correlacionable con las secuencias pluviométricas registradas en la zona, especialmente en el sector de Les Valls.

Otros aspectos interesantes destacados en IGME (1986 b) son:

- En los piezómetros situados en los materiales triásicos y jurásicos de la U.H. Medio Palancia (08.20) cerca del borde interno de la plana, se registraron evoluciones piezométricas que reproducían las vicisitudes de aquellos localizados en sus proximidades pero ligados al



Escala: 1/75.000

Fig. nº 2.- Mapa piezométrico de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto según IGME (1.986 c).

pliocuaternario detrítico de la plana, lo que demostraba la continuidad hidráulica entre ambos.

- El hecho de que, según este autor, fuera sumamente improbable las salidas al mar desde el acuífero mesozoico infrayacente, habida cuenta de su insuficiente potencial, hacía que la descarga de éste se efectuase alimentando a la masa subterránea pliocuaternaria a través del acuitardo suprayacente (Mioceno limo-arcilloso) y, preferentemente, por descarga directa entre el contacto de ambas formaciones.

- El funcionamiento hidráulico de la masa subterránea pliocuaternaria sugiere la existencia de dos sistemas de drenaje coexistentes: uno rápido, con escasa inercia, posiblemente asociado a conductos cársticos en los niveles de conglomerados encostrados y, otro con mucha mayor inercia, más propio de acuíferos detríticos con flujo intergranular.

En cualquier caso, el valor de la piezometría presentado en IGME (1986 b y c) y tratado también TEYGE, S.A. (1990) resulta muy inferior al del resto de los trabajos citados e, incluso, al registrado en el propio inventario realizado por el IGME, lo que sugiere la posibilidad de haberse considerado, en los diversos trabajos realizados, puntos de agua que, aunque pertenecen a la misma masa de aguas subterránea, corresponden a niveles acuíferos sometidos a cargas hidráulicas diferentes, tal y como corresponde a un sistema hidráulico multicapa.

El Plano 2D2 muestra la piezometría deducida nuevamente a partir de los datos contenidos en la base de datos perteneciente al inventario realizado

por IGME, para junio de 1989, año especialmente húmedo, en que puede observarse una morfología de las isolíneas y flujos subterráneos relativamente parecidos a los que tenían lugar en la plana en el año 1972, año de referencia, ver Plano 2C, aunque en esta ocasión con valores 5 m por encima a los de antaño en el sector de Les Valls y valores más erráticos en las zonas de gran explotación comprendida entre las poblaciones de Sagunto y Puerto de Sagunto, donde las extracciones y la falta de información piezométrica adecuada enmascaran la piezometría real.

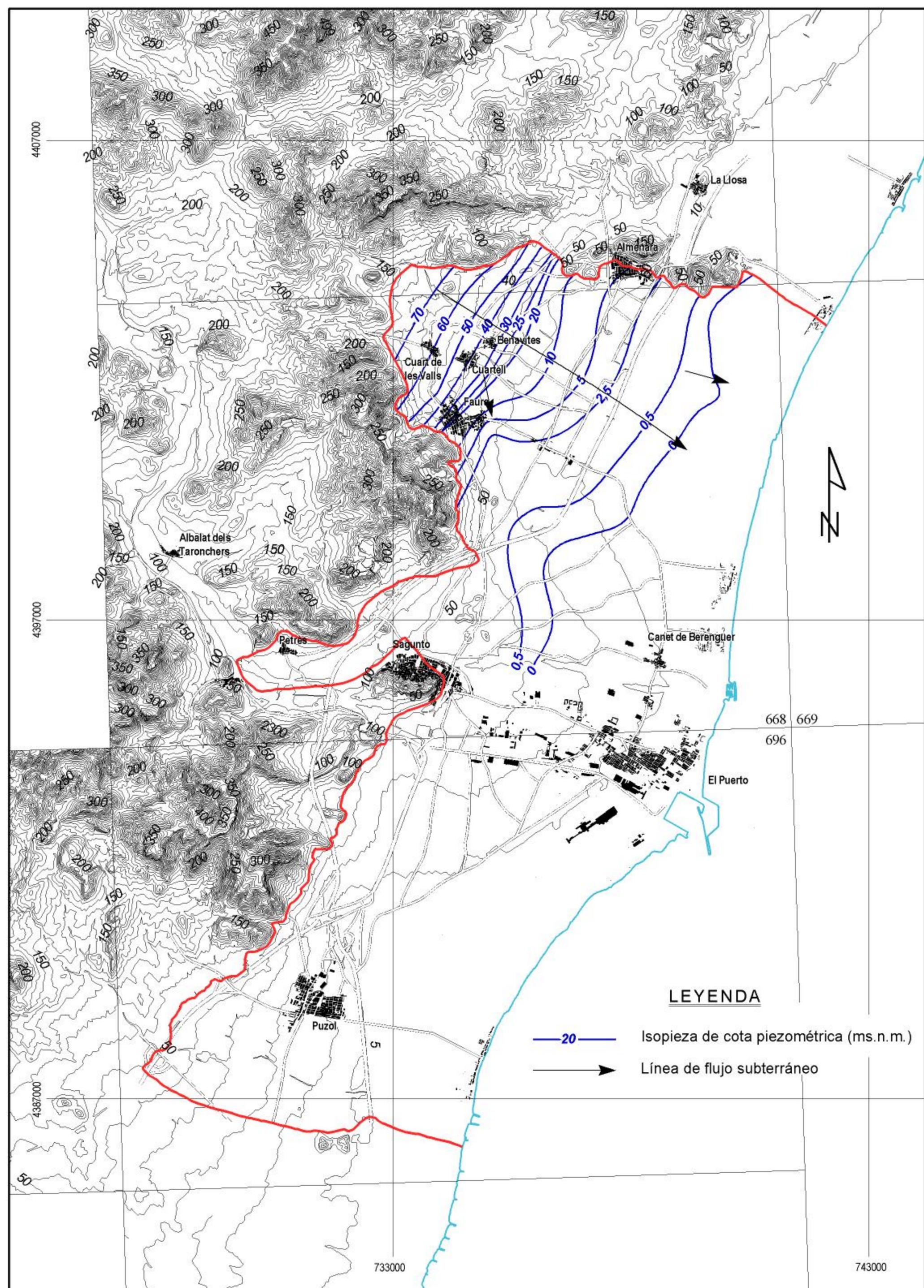
En CHJ-AQUATEC (2001) se alude al hecho de que la evolución del nivel freático en el acuífero detrítico del entorno del Marjal i Estany d'Almenara está marcada básicamente por dos aspectos:

- El régimen climático, que en la última década ha presentado fuertes contrastes, alternando periodos muy secos con relativamente cortos episodios húmedos.
- El incremento de las extracciones de agua subterránea.

Todo ello, según el citado autor, llevó a la observación, en ciertos puntos de control, de tendencias generales a la disminución del nivel freático medio.

En la Figura nº3 se muestra la piezometría tentativa presentada en CHJ-AQUATEC (2001), donde se verifica un flujo subterráneo regional aproximadamente perpendicular a la línea de costa. Dicho flujo estaba localmente modificado por las diversas extracciones, especialmente en la zona de Faura.

Así mismo, CHJ-AQUATEC (2001) estudió la evolución de un total de seis piezómetros principales dispuestos en la zona de Les Valls y del Marjal i



**LEYENDA**

- 20 — Isopieza de cota piezométrica (ms.n.m.)
- Línea de flujo subterráneo

Escala: 1/75.000

Fig. nº 3.- Mapa piezométrico tentativo de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto en el sector les Valls-Almenara según CHJ-AQUATEC (2.001)

Estanys d'Almenara durante el periodo 1991-2000. El rango de oscilación variaba desde los 12 hasta los -4,5 m.s.n.m.

El análisis de las tendencias de estos puntos de agua permitió agrupar el comportamiento de los piezómetros de la masa de agua subterránea pliocuaternaria, en el sector considerado, en dos grupos principales:

- Piezómetros que reflejaban un progresivo descenso del nivel piezométrico desde el año 1991, que se corrige parcialmente a partir de finales del 2000, alcanzando en muchos casos cotas por debajo del nivel del mar. En todos los casos éstos se ubican en lugares de la plana externos al marjal.
- Piezómetros que reflejaban sólo ligeras oscilaciones de nivel, estabilizándose generalmente alrededor de una cota media. En estos casos, los piezómetros se ubicaban en el interior o en la proximidad del marjal, muy cercanos a líneas de circulación de agua superficial (ramblas o acequias).

En TEYGE, S.A. (2002 a) se consideran una serie de puntos de agua localizados en el contacto entre el acuífero de Algar-Cuart y la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto en los que se pudo determinar la profundidad de la superficie piezométrica. De los datos obtenidos se dedujo que el flujo del agua subterránea presentaba, en la zona de contacto, un sentido de Oeste a Este y un gradiente hidráulico comprendido entre el 0,1 y el 0,15‰.

Finalmente, se tomó la información existente en las fichas de inventario de puntos de agua elaboradas por el IGME para el mes de junio del año 2001,

y se ha realizado el mapa piezométrico tentativo relativamente actual de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto, ver Plano 2E, para poder comparar con el presentado en el Plano 2C perteneciente a junio del año 1972, año de referencia.

Se obtienen las siguientes conclusiones al comparar ambas piezometrías:

- A grandes rasgos, se mantienen en el año 2001 las direcciones de flujo subterráneo existentes en el año 1972.
- El nivel piezométrico se mantiene relativamente constante en el sector de Les Valls-Almenara, donde los aportes subterráneos desde las sierras son mayores.
- En el resto de la plana se observan descensos generalizados tanto más importantes cuanto más hacia el Sur se trate.
- Aunque en IGME-EPTISA (1981) se comente el hecho de que, en la zona de Les Valls, las isopiezas se disponían paralelas a los afloramientos dolomíticos de la Sierra del Espadán, indicando la transferencia subterránea de recursos hídricos, y perpendiculares a los afloramientos del Buntsandstein, poniendo de manifiesto su carácter impermeable, la distribución de las isopiezas en los diferentes planos y figuras mostrados en este capítulo inducen a pensar que a través de dicha litología "de baja permeabilidad" por porosidad pero, tal vez no por fracturación, podrían producirse aportes nada despreciables hacia la masa de la Plana de Sagunto, de acuerdo a como se indica en IGME (1986 c) donde se consideran todos los límites de la plana abiertos.

A pesar de todo, el reducido volumen de información disponible, especialmente para el año 2001, hace necesario tomarse con ciertas reservas las conclusiones antes expuestas.



## **7. ÁREAS DE RECARGA NATURAL.**

### **7.1. METODOLOGÍA PROPUESTA.**

La identificación de las áreas de recarga natural de una masa de agua subterránea es un paso importante tanto para entender el funcionamiento hidrogeológico del sistema como para calcular el balance hídrico del mismo. Conocer "a grosso modo" cuáles son estas áreas no acostumbra a ser un problema cuando se tiene información disponible para consultar. Sin embargo, la situación se complica cuando se debe precisar lo más exactamente posible la delimitación de las zonas por donde realmente se producen las recargas y proceder a la cuantificación precisa de los recursos hídricos implicados.

En general, la bibliografía disponible al respecto sobre la Plana de Sagunto no es diferente en este sentido; informa de cuáles son los procesos de entrada y salida de recursos hídricos en el sistema pero, cuando se debe precisar exactamente el lugar por dónde tienen lugar dichos procesos y su magnitud, la información es, salvo excepciones, más ambigua.

Así, en todo estudio hidrogeológico se deberá recurrir, además de a la bibliografía existente, a la realización de diferentes campañas de recogida de datos en el campo, tales como de realización de cartografías de detalle (geológica, geomorfológica, tipos de suelo, áreas cultivadas y de masas de aguas superficiales), estudios de piezometría, hidroquímica, geofísica, aforos diferenciales, testificación de sondeos, nivelación topográfica de las masas de aguas superficiales cartografiadas, etc., además de otras labores accesorias, por ejemplo cálculo del balance hídrico en el suelo o de los

parámetros hidráulicos del subsuelo, que ayuden tanto a estimar el ó los lugares por donde tiene lugar la recarga como su cuantificación.

Será necesario, en cualquier proyecto orientado a la caracterización de una masa de agua subterránea costera, precisar o, como mínimo, mejorar la identificación, delimitación y funcionamiento de las siguientes áreas:

- Límites de la masa abiertos al flujo subterráneo.
- Áreas de infiltración a partir de agua de lluvia.
- Identificación de otras áreas y puntos de recarga del sistema (cauces, zonas húmedas, canales de drenaje, etc.).
- Áreas de costa por donde entran o salen recursos del sistema.

## **7.2. PLANA DE SAGUNTO.**

Se procederá a continuación a describir brevemente cada una de las áreas de recarga de la masa de agua subterránea de la plana atendiendo al modo en que ésta se produce.

### **7.2.1. TRANSFERENCIAS LATERALES DESDE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA ADYACENTES.**

En la Plana de Sagunto sólo se encuentran bien definidos los límites de la masa en el sector Noroeste de la plana gracias al estudio TEYGE, S.A. (2002 a), donde se tiene un límite de masa subterránea dado por el contacto aflorante entre los materiales del Mesozoico, pertenecientes a la masa de agua Medio Palancia, y del Cuaternario de la Plana de Sagunto. Este tipo

de contacto continúa por el límite Oeste de la plana, aunque la citada bibliografía no lo estudia.

En aquellos lugares donde la masa de la Plana de Sagunto limita con las de la Plana de Castellón y Plana de Valencia Norte la delimitación es convencional.

El límite Suroeste de la plana, también contra la masa Medio Palancia, es el que reviste mayor complicación pues se define por el subafloramiento de materiales mesozoicos. En este sector, la consulta o, incluso, la posible ejecución de estudios geofísicos complementarios orientados a definir la posición del límite del acuífero podría ayudar, de forma significativa, a la delimitación del mismo.

En la Plano 2A1 presentado en el epígrafe "*4.2.2. Comportamiento hidrogeológico de las formaciones implicadas*" se indicaron como límites abiertos todos aquellos sectores por los que podían tener lugar la entrada, mediante transferencia lateral subterránea, de recursos hídricos en la masa de agua de la Plana de Sagunto a partir de las masas adyacentes, así como los volúmenes medios implicados aceptados en los balances hídricos presentados por IGME (1986 c), TEYGE, S.A. (1990) y AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990).

La mayor parte de la recarga por transferencia lateral desde la masa Medio Palancia a la Plana de Sagunto tiene lugar a partir de los materiales permeables saturados localizados en las sierras de El Espadán y de La Calderona, sin embargo, parte de la bibliografía consultada considera también entradas subterráneas procedentes de la masa Plana de Valencia

Norte, tal es el caso de IGME-TEYGE, S.A. (1986 b), IGME (1986 c) y AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990).

### **7.2.2. INFILTRACIÓN A PARTIR DEL LECHO DEL RÍO PALANCIA.**

La infiltración a partir del lecho de este río sólo podría producirse en las épocas de mayores precipitaciones y/o de menor demanda agrícola, puesto que durante la mayor parte del año el Palancia transcurre totalmente seco a través de la Plana de Sagunto.

Los aprovechamientos de los recursos hídricos de este curso fluvial se destinan básicamente para uso de abastecimiento agrícola, especialmente por la C.R. Acequia Mayor de Sagunto, y el resto del caudal natural del río se infiltra antes de llegar a la plana, provocando el secado prácticamente constante de éste en la zona objeto de este estudio.

Tan sólo, a unos 450 m de su desembocadura, la citada C.R. devuelve los excedentes que le hayan podido sobrar de los recursos que deriva del río en la población de Sot del Ferrer y que pueden contribuir a la recarga de la masa de agua subterránea.

Aunque la recarga de los materiales pliocuaternarios de la Plana de Sagunto a partir de la infiltración de recursos hídricos transportados por el río Palancia es una realidad, por lo menos unos pocos días al año, puesto que la salinidad de las aguas subterráneas debajo de éste era clásicamente inferior a la del resto del acuífero, lamentablemente es un proceso que no ha sido cuantificado en ninguno de los trabajos consultados.

Sería deseable, por tanto, la instalación de un mínimo de dos estaciones de aforo, una en la entrada del río en la zona estudiada y otra en su

desembocadura, para evaluar la infiltración que tiene lugar desde su lecho en las épocas activas del río.

Una tercera estación podría plantearse justo aguas abajo del vertido que la C.R. Acequia Mayor de Sagunto realiza de sus excedentes de riego a unos 450 m de la desembocadura del río, muchos de los cuales podrían acabar infiltrándose.

### **7.2.3. INFILTRACIÓN DE LLUVIA.**

En muchos estudios de la plana se tiende a suponer que la infiltración de lluvia se produce de forma más o menos homogénea por toda la superficie de ésta. Sin embargo, rara vez se profundiza en aspectos relacionados con los tipos, permeabilidades y balances hídricos en el suelo, de tal manera que pudieran deducirse cuáles son las áreas realmente más interesantes a la hora de recargar la masa de agua subterránea; es por ello que se plantea la necesidad de realizar mayores esfuerzos en trabajos futuros.

La Plana de Sagunto está constituida, casi en su totalidad, por afloramientos de materiales detríticos pliocuaternarios de litologías y permeabilidades diversas. De forma general, puede describirse el conjunto como una serie de niveles detríticos (gravas, arenas, limos y arcillas) incluidos en una formación fundamentalmente limo-arcillosa. En consecuencia, la superficie de la plana presenta diferentes permeabilidades que influyen de forma directa en la capacidad final de infiltración según el sector que se considere.

Con los datos disponibles, se ha realizado un cálculo aproximado de la influencia porcentual que podrían tener cada una de las litologías aflorantes presentes en la Plana de Sagunto, mostradas en el Plano 1, en la recarga

natural por infiltración de agua de lluvia que tiene lugar en la masa estudiada.

Para realizar este cálculo se ha procedido de la siguiente manera:

- Se ha estimado un valor teórico de permeabilidad (en m/d) para cada una de las litologías implicadas.
- Se ha calculado la superficie total ocupada por cada una de las litologías consideradas (en m<sup>2</sup>).
- Se asume, en primera aproximación, que la infiltración de agua de lluvia a partir de una litología dada será proporcional a su permeabilidad y a su superficie total aflorante.

De esta manera, se ha elaborado el Plano 3A en el que se muestran las áreas ocupadas por cada tipo de litología cartografiada en la plana y el porcentaje de recarga por infiltración de agua de lluvia que representa cada uno de ellas respecto del total que se produce hacia la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto y que se cifra en un valor medio de 13,6 hm<sup>3</sup>/año según IGME (1986 c), TEYGE, S.A. (1990) y AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990).

De la observación del Plano 3A puede apreciarse como el rango de variación del porcentaje de infiltración de agua de lluvia a partir de las diferentes litologías aflorantes en la Plana de Sagunto oscila entre el 0,01 de la litología T<sub>G3</sub> y el 11,57% de la Q<sub>2</sub>Al, no resultando ser necesariamente las litologías más permeables por las que se produce un mayor porcentaje de infiltración si éstas son poco aflorantes.

## **8. ÁREAS DE RECARGA ARTIFICIAL.**

### **8.1. METODOLOGIA PROPUESTA.**

En la zona objeto de estudio se considera que las áreas en las que se produce recarga artificial en la masa de agua subterránea son básicamente las zonas dedicadas al cultivo.

No se encuentra, por el contrario, ninguna obra antrópica realizada específicamente para tal efecto, tales como balsas de infiltración, escarificación de lechos de aguas superficiales, etc. puesto que el desarrollo de la actividad socioeconómica de la zona pasa necesariamente por conservar el nivel freático parcialmente deprimido. Tampoco se dispone de una cuantificación de las posibles pérdidas que se producen en las redes de aguas potables y residuales de las poblaciones localizadas en la Plana de Sagunto.

En aquellos estudios en los que los medios técnicos, económicos y de tiempo de ejecución lo permitan, se recomienda la realización de una cartografía de las zonas cultivadas en la que quede reflejado, por cada parcela cultivada, el tipo de cultivo, riego y suelo, insolación mensual, medida de su capacidad de campo, temperatura media y dotación de riego real suministrada; con esta información y mediante métodos empíricos de cálculo de la ETP, como el de Blaney-Criddle, se pueden realizar cálculos de balance hídrico en el suelo y determinar la cantidad de agua que efectivamente recarga la masa de agua subterránea.

Sin embargo, la citada metodología no suele estar al alcance de la mayoría de los estudios, por lo que los diferentes autores tendrán que proponer

metodologías más o menos precisas para evaluar la distribución de la infiltración debida a los excedentes de regadío.

## **8.2. PLANA DE SAGUNTO.**

Para determinar el porcentaje de infiltración de excedentes de regadío que corresponde a cada tipo de cultivo presente en la Plana de Sagunto, se ha procedido de la siguiente manera:

- Se ha tomado la capa Corine Land Cover en la que se muestra la distribución y tipos de los cultivos en la zona objeto de estudio.
- Se ha calculado la superficie total (en km<sup>2</sup>) ocupada por cada cultivo sobre la masa.
- Se han considerado las dotaciones (en m<sup>3</sup>/ha) aprobadas en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar (1997) para los cultivos presentes en la comarca de El Camp de Morvedre. Para aquellos cultivos en los que no existe una dotación específica aprobada en el Plan para esta comarca, se ha tomado el valor de otra próxima o se ha calculado la media de los valores sí aprobados en comarcas con características climáticas y regionales parecidas a las de El Camp de Morvedre.
- El producto de la superficie ocupada por cada cultivo, por la dotación real aplicada indica la cantidad de agua (en m<sup>3</sup>) suministrada a cada cultivo.
- Se asume que la recarga por excedentes de regadío que tiene lugar desde cada tipo de cultivo hacia la masa será directamente proporcional al agua suministrada.

De esta manera, se ha elaborado el Plano 3B en el que se muestran las áreas ocupadas por cada tipo de cultivo contemplado en el Corine Land Cover y el porcentaje de recarga por infiltración de excedentes de regadío que representa cada uno de ellos respecto del total que se produce hacia la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto y que se cifra en un valor medio de 15,9 hm<sup>3</sup>/año según IGME (1986 c), TEYGE, S.A. (1990) y AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990).

De la observación del Plano 3B puede deducirse que el creciente cultivo de cítricos, a partir del cual se infiltra el 84.58% de los excedentes de regadío de la plana, ha relegado al resto de los cultivos y de la vegetación natural a las áreas más próximas a la costa donde, a su vez, también se ven reducidos debido al auge urbanístico que está teniendo lugar en esas mismas áreas.



## **9. PARÁMETROS HIDRÁULICOS.**

### **9.1. METODOLOGIA PROPUESTA.**

Para la recopilación de información referente a esta materia nuevamente deberá empezarse por recurrir a las bases de datos de Organismos Públicos con competencias en el tema y de empresas privadas, con experiencia en la zona de estudio, que tengan a bien compartir sus datos.

La consulta de bibliografía hidrogeológica de la zona de estudio resulta también interesante para seguir aumentando el volumen de información con la que poder trabajar posteriormente.

Así mismo, durante la fase de inventario de puntos de agua, resulta muy interesante investigar si hay datos sobre los posibles ensayos de bombeo que hayan podido realizarse en las captaciones particulares poco controladas por la Administración.

Finalmente, se representará en un mapa todos aquellos puntos de agua de los que se dispone información fiable y se comprobará la distribución de los datos recopilados; se considerará tanto la homogeneidad superficial de los datos conseguidos, como la espacial, viendo si las litologías permeables que integran la masa de agua estudiada están suficientemente bien caracterizadas.

Dado que la distribución homogénea de la información superficial y espacial sobre parámetros hidráulicos casi nunca se tiene, puede ser necesario plantearse, si las características técnicas, económicas y de tiempo del proyecto lo permiten, la necesidad de llevar a cabo una serie de ensayos de

bombeo en aquellos lugares y/o litologías peor caracterizadas, y cuyo conocimiento pueda tener un papel clave para entender con mayor precisión el funcionamiento hidráulico de la masa de agua subterránea.

## **9.2. PLANA DE SAGUNTO.**

Se muestra en la Tabla nº1 el resumen con la información recopilada de los valores calculados, a partir de ensayos de bombeo y/o calibraciones de modelos matemáticos, por los autores considerados. De ella se desprenden las siguientes conclusiones:

- Sólo se dispone de los valores de permeabilidad considerados en los modelos matemático desarrollados en IGME (1986 b) para la Plana de Sagunto y en CHJ-AQUATEC (2001) para la zona del Marjal i Estanys d'Almenara, donde destaca la gran diferencia entre el rango de valores de permeabilidad tomados por ambos modelos.
- Los valores de transmisividad máxima dados por IGME-EPTISA (1981) e IGME (1986 b), de 17000 y 12000 m<sup>2</sup>/día respectivamente, se consideran excepcionales y puntuales, no siendo representativos de los que realmente se dan en la Plana de Sagunto.
- IGME (1986 b) considera un rango de valores de transmisividad media, entre 7000 y 10000 m<sup>2</sup>/día, muy superior al de la media de la bibliografía consultada, que oscila entre 1.000 y algo más de 7000 m<sup>2</sup>/día.
- Existe una relativa homogeneidad con los valores de coeficiente de almacenamiento considerados por las bibliografías consultadas, con máximos atribuidos a las zonas de marjales y al lecho del río Palancia.

## METER TABLA PARAMETROS HIDRÁULICOS



- Sorprende que ningún autor haya citado valores de coeficiente de almacenamiento sensiblemente inferiores a los mostrados en la Tabla nº1 puesto que los niveles permeables situados en una posición inferior dentro de la serie pliocuaternaria se encuentran, como mínimo en el sector de Les Valls, confinados. Sólo en CHJ-AQUATEC (2001) se dan unos valores de "S" donde los autores consideran su validez también como de porosidad eficaz, pero poniendo en duda esos mismos valores con la profundidad.

Existe también relativa homogeneidad en los valores de caudal específico considerados por los diferentes autores, salvo para IGME-EPTISA (1981) en donde se presentan valores excesivamente bajos pero referidos a una zona reducida muy concreta situada en el sector Nororiental de la plana; los valores máximos corresponden a los sectores próximos a las poblaciones de Benavites y Sagunto, áreas donde la transmisividad también presentaba valores más altos.

#### **9.2.1. PERMEABILIDAD.**

En conjunto, la mayoría de los autores consultados consideran que los materiales aflorantes en la plana presentan una permeabilidad global clasificada como media.

Dado que los suelos son entidades de reducido espesor y que, en la Plana de Sagunto, están altamente removilizados por acciones antrópicas, se ha preferido realizar un mapa de permeabilidades relativas basado en las litologías representadas en la cartografía geológica mostrada en el Plano 1.

Así, el mapa de superficie con la distribución de permeabilidades se presenta en el Plano 4A, en el que se han clasificado los materiales tanto por su permeabilidad relativa como por la naturaleza de la misma (en coloraciones azules los materiales con permeabilidad por porosidad y en tramas verdes los que presentan permeabilidad por disolución y fisuración).

De la observación del Plano 4A se desprende que:

- Las zonas donde afloran materiales con permeabilidad relativa muy alta se concentran en las proximidades del lecho del río Palancia. Se trata de materiales detríticos groseros con permeabilidad por porosidad.
- Las zonas con permeabilidad relativa alta se concentran allí donde afloran los materiales carbonatados, triásicos y jurásicos con permeabilidad dada por disolución y fisuración, así como en la restinga litoral cuaternaria compuesta, en gran medida, por depósitos arenosos y conglomeráticos poco o nada cementados con permeabilidad por porosidad.
- Se ha considerado a los materiales del Buntsandstein con permeabilidad mixta, tanto por porosidad como por disolución y fisuración, dado que los términos más carbonatados presentan intercaladas algunas litologías más detríticas, como margas y arcillas, y los términos típicamente detríticos de teórica baja permeabilidad, posiblemente, se encuentren fracturados favoreciendo la transferencia lateral de recursos hacia la Plana de Sagunto tal y como parecen indicar los estudios piezométricos e hidroquímicos realizados.

- Las áreas con permeabilidad baja relativa se localizan allí donde afloran las litologías lutíticas triásicas poco fracturadas y en aquellos lugares limosos donde antaño se localizaban los marjales.
- Las zonas con permeabilidad relativa media ocupan la mayor parte de la plana propiamente dicha.
- Las zonas con permeabilidad relativa media ocupan la mayor parte de la Plana de Sagunto y corresponden a ambientes sedimentarios asociados a procesos tectónicos y/o fluviales. Se trata, normalmente, de ambientes tránsito entre los escarpes triásicos-jurásicos y los marjales.

#### **9.2.2. TRANSMISIVIDAD.**

Dada la falta de información suficiente para realizar un adecuado mapa de distribución de transmisividades en la Plana de Sagunto, se ha optado por realizar una multiplicación entre dos capas disponibles, en formato "raster"; una con información sobre la potencia saturada de la masa en el mes de junio del año 1972 y la otra con el valor de las permeabilidades de las litologías aflorantes en la zona de trabajo. El resultado de tal operación se reflejó en el Plano 4B.

Dichas capas, con celdas de 0,6 km de arista, resultaron como consecuencia de los estudios de vulnerabilidad, aplicando el método DRASTIC, que también se han llevado a cabo para la ejecución del presente informe, y que serán convenientemente tratados en un capítulo posterior elaborado a tal efecto.

El uso de capas de información en formato "raster" introduce una serie de errores condicionados por:

- El tamaño de las celdas utilizadas.
- La estimación teórica realizada del valor de la permeabilidad de cada una de las litologías aflorantes en la plana.
- La precisión de la geofísica que determinó la posición del muro impermeable del sistema acuífero.
- La precisión de la piezometría disponible.

En cualquier caso, aunque el Plano 4B deba considerarse con ciertas reservas, ofrece información interesante a tener muy en cuenta.

- El rango de valores calculado mediante el procesado "raster" oscila entre los 100 y los 7000 m<sup>2</sup>/día, siendo su límite inferior algo menor al de la media de la bibliografía consultada, que oscila entre 1.000 y algo más de 7000 m<sup>2</sup>/día.
- Las zonas en las que los valores de las transmisividades son mayores coinciden con las depresiones del muro impermeable, mostradas en el Plano 2A1; una localizada al Noreste de la población de Benavites y la otra al Nor-Noroeste de la población del Puerto de Sagunto.
- Así mismo, también se tienen valores de transmisividad muy importantes en el entorno del río Palancia, concretamente desde el Oeste de la población de Sagunto hasta su desembocadura.

- Aunque las áreas de menor transmisividad deberían corresponder a las zonas litorales y, en general, a todas aquellas donde el espesor de materiales detríticos permeables sea menor, los altos valores de permeabilidad introducidos para los materiales más litorales hacen que su valor de transmisividad se vea sensiblemente incrementado.
- El sector comprendido entre las poblaciones de Sagunto y Petrés presenta los menores valores de transmisividad de toda la plana puesto que es allí donde el muro impermeable se encuentra más próximo a la superficie, además, los materiales detríticos que constituyen la masa en ese lugar presentan, en general, una permeabilidad media salvo en el lecho del río Palancia donde es muy alta.



## **10. MASAS DE AGUA SUPERFICIAL Y ECOSISTEMAS TERRESTRES ASOCIADOS.**

### **10.1. TRATAMIENTO LEGISLATIVO.**

Resulta imprescindible, a la hora tanto de entender el funcionamiento hidrogeológico de una masa de agua subterránea costera del tipo de la Plana de Sagunto como de plantear un modelo de gestión de la misma, definir las masas de agua superficiales presentes y los ecosistemas terrestres asociados.

Como masas de agua superficial se entenderá, según la DMA (artículo 2.10), una parte diferenciada y significativa de agua superficial como un lago, un embalse, una corriente, río o canal, unas aguas de transición o un tramo de aguas costeras.

Se deberá, por tanto, elaborar una cartografía de masas de agua superficiales y proceder a su caracterización.

Para el caso concreto de la Plana de Sagunto se considerarán como masas de aguas superficiales el Marjal dels Moros y el Marjal i Estanys d'Almenara, además, en la plana se dispone un complejo sistema de canales de drenaje y acequias que merece especial atención.

Por el contrario, el río Palancia, regulado desde su paso por la población de Sot de Ferrer localizada fuera de la plana, transcurre seco por la zona objeto de estudio salvo en épocas de fuertes y/o persistentes lluvias.

Así mismo, En su artículo 6 la DMA obliga a los Estados miembros a velar por que se establezca uno o más registros de todas las zonas incluidas en

cada demarcación hidrográfica que hayan sido declaradas objeto de una protección especial en virtud de una norma comunitaria específica relativa a la protección de sus aguas superficiales o subterráneas o a la conservación de los hábitats y las especies que dependan directamente del agua; artículo éste que afecta directamente a las zonas húmedas del Marjal dels Moros y el Marjal i Estanys d'Almenara puestos que ambas han sido declaradas como LIC y ZEPA, tal y como se muestra en el Plano 5 donde puede apreciarse que el conjunto de todos los **LICs** aprobados en la plana abarcan un total de 14 km<sup>2</sup>: **a)** el Marjal i Estanys d'Almenara ocupa 7,8 km<sup>2</sup>, **b)** el Marjal dels Moros 6,1 km<sup>2</sup> y **c)** la Cova del Sardiner-Sagunt 0,1 km<sup>2</sup>; se tiene además, una zona de **ZEPAS** totalmente coincidente con el Marjal dels Moros.

Dichos registros deberán incluir, en la medida de lo posible, las siguientes zonas protegidas:

- Zonas vulnerables contempladas en la Directiva 91/676/CEE
- Zonas sensibles contempladas en la Directiva 91/271/CEE
- Perímetros de protección de aguas destinadas al consumo humano que hayan sido ya aprobados (perímetros de protección para aguas de abastecimiento a poblaciones así como de aguas minerales y termales) y zonas con extracción superior a 10 m<sup>3</sup>/día o abastezcan a más de 50 personas.
- Áreas de protección de hábitat o especies incluyendo la red Natura 2000.
- Reservas hidrológicas por motivos ambientales.

- RAMSAR.
- Zonas de especial protección para las aves (ZEPAS).
- Lugares de interés comunitario (LIC).
- Espacios naturales protegidos.
- Zonas protegidas en Planes provinciales.
- Figuras de protección que contemplen los Planes Generales de Ordenación urbana de los municipios.

Así mismo, el artículo 8 de la DMA obliga a los Estados miembros a velar por el establecimiento de programas de seguimiento del estado de las aguas con objeto de obtener una visión general coherente y completa del estado de éstas en cada demarcación hidrográfica. Este artículo afecta a las aguas superficiales, a las subterráneas y a las zonas protegidas como, en el caso de la Plana de Sagunto, sus marjales.

## **10.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO. ZONAS HÚMEDAS.**

### **10.2.1. INTRODUCCIÓN.**

Aunque la superficie ocupada por las zonas húmedas se ha visto sensiblemente reducida en las últimas décadas, transformándose en tierras de cultivo y/o de expansión urbanística-turística, aún queda una importante cantidad de ecosistemas de este tipo, de los que se desconoce casi por completo su funcionamiento hidrogeológico, donde poder aplicar las medidas de gestión y legales oportunas que permitan su protección y, en algunos casos, su recuperación, resultando de especial interés aquellas

zonas húmedas que dependen total o parcialmente del aporte de aguas subterráneas. En el caso de los humedales litorales, éstos también pueden recibir parte de sus aportes desde el mar si bien, obviamente, las entradas de recursos hídricos con que cuentan la mayoría de las zonas húmedas proceden además, en más o menos cuantía, de las precipitaciones, de los cursos superficiales de aguas continentales y de las ya citadas aguas subterráneas procedentes de los acuíferos próximos.

Los humedales costeros dependientes de aguas subterráneas suelen localizarse en llanuras constituidas por materiales detríticos de permeabilidad media-baja en los que se produce una recarga importante. Dichos humedales suelen presentar, de forma natural, variaciones de su nivel superficial debido a causas estacionales y, en ocasiones, mareales, que causan fuerte impacto debido a la topografía llana de la zona donde se ubican.

Los sistemas hidrogeológicos en los que se integran la mayoría de las zonas húmedas que dependen de las aguas subterráneas suelen presentar una gran variabilidad de parámetros hidráulicos, situaciones de confinamiento y procesos físico-químicos de un lugar a otro motivando, de esta manera, una serie de complicaciones importantes a la hora de estudiar y comprender, de forma precisa, el funcionamiento hidráulico de los mismos. Así, la metodología a aplicar para el estudio de las zonas húmedas debe estar orientada hacia la comprensión tridimensional de los sistemas hidrogeológicos que las incluyen.

### **10.2.2. GESTIÓN DE LAS ZONAS HÚMEDAS.**

La gestión de los recursos hídricos de las áreas próximas a las zonas húmedas deberán considerar que:

- El volumen de extracciones y aprovechamientos de los recursos hídricos del sistema no supongan una disminución del nivel piezométrico por debajo de cotas que dificulten y/o impidan el mantenimiento de las zonas húmedas. Así, cualquier descenso significativo de la lámina de agua en el/los humedal/es de una masa, no relacionados con ningún otro proceso natural que ya tuviese lugar en régimen no influenciado, deberá interpretarse como un excesivo uso, como mínimo a nivel local, de los recursos hídricos de dicha masa de agua subterránea. En aquellos humedales directamente relacionados con el mar que se vean sometidos a un uso excesivo de sus recursos puede observarse, en vez de una disminución de nivel, un mantenimiento de éste pero a costa de un deterioro de su calidad química debido a una sustitución del agua dulce natural del humedal por agua marina.

- La disminución del nivel piezométrico conlleva frecuentemente, con independencia de que la masa afectada presente humedales asociados o no, el desarrollo de fenómenos de subsidencia más o menos importantes. Con la información y las herramientas disponibles durante la realización de la mayoría de los estudios hidrogeológicos resulta prácticamente imposible cuantificar los procesos que pudieran darse en un futuro como consecuencia del vaciado de recursos hídricos que ocupaban el espacio perteneciente a la porosidad eficaz

del subsuelo al disminuir el nivel piezométrico. Por el contrario, una vez que se han producido dichos procesos, tales como socavones o problemas de asentamiento de las algunas infraestructuras antrópicas, éstos sí que sirven como indicadores de que las condiciones hidrogeológicas de la masa de agua subterránea pueden haberse visto alteradas, de forma sensible, tras la explotación exageradas de sus recursos hídricos. Se deberá, por tanto, citar y comentar en los estudios hidrogeológicos que se realicen todos aquellos procesos que hayan tenido lugar en el ámbito de la masa de agua considerada y que pudieran relacionarse con el fenómeno de la subsidencia.

- Las extracciones importantes de recursos hídricos subterráneos en zonas costeras provocan el desarrollo de procesos de salinización que, junto con las actividades agrícolas, ganaderas, industriales y urbanas mal reguladas, influyen negativamente en la calidad química de las aguas que mantienen las zonas húmedas, pudiendo afectar no sólo a la potabilidad de las mismas sino también a la ecología del humedal. Se deberá evitar una degradación química de los recursos hídricos que suponga no cumplir con la Reglamentación Técnico-Sanitaria o, en el caso que de forma natural alguno de los parámetros hidroquímicos de las aguas subterráneas del ecosistema del humedal no cumpliera con dicha normativa, se considerará alteración del mismo toda acción que imposibilite o limite en más de un 10% alguno de los procesos naturales o desarrollo de especies animales o vegetales propios del ecosistema en estado no influenciado.

### **10.2.3. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA HÚMEDA.**

La metodología de estudio orientada al conocimiento del funcionamiento hidrogeológico de las aguas subterráneas y de las zonas húmedas asociadas considerará de forma más precisa, además de los temas habituales tratados en la mayoría de estudios de hidrología subterránea, los siguientes aspectos:

#### **10.2.3.1. Características hidrogeológicas locales.**

Las cuales juegan un papel dominante tanto en el flujo subterráneo como en el transporte de sus solutos por lo que se considera preciso estudiar en detalle la naturaleza y estructura de los sedimentos, en y alrededor del o de los humedales.

La geometría tridimensional y naturaleza del subsuelo deberán ser conocidas lo mejor posible mediante la ejecución de sondeos con recuperación de testigo, diagráfias y prospecciones geofísicas de superficie.

Sin embargo, la mayoría de los estudios hidrogeológicos no cuentan con información abundante que permita esta reconstrucción de la geometría tridimensional y naturaleza del subsuelo en las proximidades de las zonas húmedas, por lo que se considera que los organismos con responsabilidades en esta materia deberían realizar importantes esfuerzos en mejorar este aspecto.

### **10.2.3.2. Relación masa de agua subterránea-humedal.**

Incluso si el humedal está sobre la masa acuífera, la mayor parte del intercambio de agua entre ellas acostumbra a realizarse sólo en áreas limitadas.

En los lugares donde se produce dicho intercambio, la hidroquímica de las aguas superficiales y subterráneas podrían mostrar variaciones locales que sirven como detectores de este proceso.

Aunque un humedal dependa en mayor o menor medida de la contribución de las aguas subterráneas de la masa, la composición química de las aguas superficiales de la zona húmeda acostumbra a presentar ciertas variaciones respecto a la de las aguas subterráneas dado que, en las primeras, además de la contribución de los recursos hídricos del subsuelo, se pueden presentar otros aportes (tales como la precipitación, desembocaduras de corrientes superficiales continentales y marinas, vertidos de origen antrópico, etc.) y procesos bioquímicos que alteran de forma apreciable la composición química de los aportes subterráneos. Asimismo, el agua superficial está sometida a procesos de evaporación que conllevan un enriquecimiento isotópico o aumento de  $\delta^D$  y  $\delta^{18}$ .

De esta manera, se deberá proceder al muestreo representativo, en la medida que los recursos económicos e infraestructuras del estudio lo permitan, de toda la superficie mojada de la zona húmeda, en especial de aquellos lugares donde se sospeche que se produce algún tipo de flujo vertical; allí donde se produzca un aporte de aguas del subsuelo hacia la superficie, las aguas superficiales tenderán a tener una composición

química mezcla con las aguas subterráneas y a ser algo más ligeras, isotópicamente hablando, que la media del humedal.

### **10.2.3.3. Flujos subterráneos.**

Las condiciones hidrodinámicas de la masa de agua subterránea y de la zona húmeda, así como las áreas de intercambio de recursos entre ambas, pueden variar al fluctuar sus niveles por causas naturales o antrópicas.

El estudio del funcionamiento hidráulico y de la calidad del sistema requerirá de tubos piezométricos y de muestreo con rejillas localizadas a diferentes profundidades que deben permitir el estudio individualizado de los diferentes tramos acuíferos, acuicludos y acuitardos que se disponen en la vertical del punto de control.

También se podrá gran cuidado, ya que puede ofrecer una información de considerable valor, en la nivelación topográfica, como mínimo en época seca y húmeda, de la superficie del mar y de la zona húmeda así como de cualquier indicio de salida natural de recursos subterráneos en zonas próximas al humedal tales como, emergencias, charcas, canales de drenaje, etc.

Además, los registros de conductividad eléctrica y temperatura han demostrado ser herramientas muy útiles para conocer el origen del agua y de cómo ésta se renueva en el interior del sondeo.

Los trabajos que comportan esta parte de la metodología permiten el estudio del flujo subterráneo no sólo en el plano horizontal sino también en el vertical, el cual, juega un importante papel, como mínimo, en las proximidades de las zonas húmedas con cierta dependencia de las aguas

subterráneas. La recopilación de los parámetros hidráulicos, calculados a partir de ensayos de bombeo realizados tanto en los puntos de agua ya disponibles como en los nuevos puntos de control que pudieran ejecutarse, complementaría de forma significativa el estudio de funcionamiento hidráulico.

Nuevamente se plantea el problema de la viabilidad práctica de este punto de la metodología puesto que el presupuesto y plazos de ejecución de los proyectos hidrogeológicos no acostumbra a permitir trabajos del calibre comentado.

#### **10.2.3.4. Edafología.**

Una vez conocida la naturaleza y geometría del subsuelo en las proximidades de la zona húmeda, se procederá a la cartografía y descripción de los diferentes tipos de suelos presentes en el área de influencia de este ecosistema.

Así mismo, se realizará un mínimo de una cata por cada uno de los diferentes tipos de suelos definidos. Dichas catas deberán alcanzar el nivel freático y servirán, además de para describir el perfil del suelo en cuestión, para: a) describir el perfil de la zona no saturada el cual será comparado con los perforados durante la ejecución de los diferentes puntos de agua disponibles, b) medir la elevación capilar del nivel freático y c) intuir posibles zonas de flujos principales y/o de posibles procesos geoquímicos, tales como el intercambio iónico, sorción, etc. Estos trabajos ayudarán a calcular la vulnerabilidad de la masa de agua en el entorno del humedal.

#### **10.2.3.5. Vulnerabilidad de la masa de agua subterránea.**

Para anticipar y prever problemas de contaminación en la masa de agua subterránea con la que se relaciona una zona húmeda, en el caso de que ésta última se vea afectada por procesos que impliquen el deterioro de la calidad química de sus aguas superficiales, se considera necesario realizar un estudio de vulnerabilidad que comprenda todo el área de influencia de la zona húmeda, siendo recomendable aplicar para ello el índice DRASTIC.

#### **10.2.3.6. Balance hídrico.**

Tan importante como la deducción del funcionamiento hidráulico de la masa acuífera, resulta el cálculo de los diferentes términos que intervienen en el balance hídrico del humedal.

Así, la identificación y cuantificación individual de cada uno de los procesos que introducen y extraen recursos de la zona húmeda también resulta imprescindible para llegar a un elevado grado de conocimiento del ecosistema que permita plantear un modelo conceptual de funcionamiento del mismo.

Por tanto, se deberá a) aforar, como mínimo, en periodo seco y húmedo, las desembocaduras y salidas de los canales que, respectivamente, aporten y extraigan recursos hídricos superficiales directamente del humedal, b) aforar también tanto esos mismos canales como cualquier otro sistema de distribución hídrica en aquellos puntos en los que se considere posible una pérdida o ganancia de caudal, por intercambio con el subsuelo, que pudiera afectar al balance de la masa de agua subterránea, c) realizar un inventario exhaustivo de los puntos de agua próximos al humedal y, si la viabilidad

económica del proyecto lo permite, de todos aquellos puntos que afecten a la masa de agua subterránea, d) analizar con detalle la información procedente de las estaciones meteorológicas más cercanas y calcular la recarga de la masa debida a la infiltración de agua de lluvia, siendo recomendable comparar los resultados deducidos tras aplicar diferentes métodos de cálculo, preferiblemente, con la ayuda de paquetes informáticos tales como HIDROBAS, VISUAL-BALAN, etc., e) deducir, a partir de los estudios hidroquímicos e hidráulicos ya tratados, un volumen anual neto de entrada o salida en el humedal procedente o con destino a la masa de agua subterránea y f) estimar los posibles volúmenes de recursos intercambiados entre la masa en cuestión y el mar a partir de los estudios realizados para determinar las posibles afecciones de tipo intrusión marina a la masa de agua subterránea, combinados con los relativos a piezometría, naturaleza y estructura 3D del subsuelo, etc.

#### **10.2.3.7. Modelo matemático.**

Llegados a este punto, se tendrá en gran medida caracterizada la zona húmeda considerada y se habrá conseguido proponer un modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico de la misma que permitirá plantear un diseño efectivo de una red de puntos de control, en y alrededor del humedal, conforme a la naturaleza tridimensional del flujo, a la composición química del agua subterránea, y a las características locales de intercambio entre la superficie y el terreno donde tomar, con cierta frecuencia, las medidas y muestras que indiquen si las diferentes acciones antrópicas están afectando en el funcionamiento hidráulico y/o en la calidad química de la masa acuífera.

La utilización de modelos matemáticos de flujo y transporte de contaminantes puede ser útil para corroborar o no el modelo conceptual planteado. En caso afirmativo, el grado de conocimiento adquirido sobre el ecosistema probablemente será el necesario para permitir su gestión eficaz, pues permitirá conocer el probable comportamiento de éste ante cualquier variación de alguno/os de los términos de su balance hídrico y/o ante la modificación de la calidad química de los mismos.

### **10.3. PLANA DE SAGUNTO. ZONAS HÚMEDAS.**

En la bibliografía existe abundante información que describe de forma precisa los sistemas terrestres asociados a los citados marjales, si bien, se produce un mayor déficit de información cuando se trata de identificar y cuantificar ciertos aspectos relacionados con la protección de estos parajes; así, en la información recopilada sólo se mencionan aspectos tales como la delimitación de zonas vulnerables, definición de perímetros de protección, delimitación de áreas de reserva de caudales, etc., que deberían ser tratados más ampliamente y con mayor detalle en futuros estudios.

La delimitación y caracterización de las masas de aguas superficiales y de los ecosistemas terrestres asociados en la Plana de Sagunto presentada en este informe se ha extraído del trabajo CONSELLERIA D'AGRICULTURA I MEDI AMBIENT DE LA GENERALITAT VALENCIANA-TEYGE, S.A. (1995).

Las masas de aguas superficiales consideradas en el presente informe son el "Marjal dels Moros", localizado en la mitad meridional de la Plana de Sagunto, y el "Marjal i Estanys d'Almenara" localizados en la mitad septentrional. En la Figura nº4 se muestra la delimitación de las citadas masas de agua superficiales y de sus respectivas cuencas de afección.

### 10.3.1. MARJAL DELS MOROS.

La zona que se propone proteger más activamente en el trabajo CONSELLERIA D'AGRICULTURA I MEDI AMBIENT DE LA GENERALITAT VALENCIANA-TEYGE, S.A. (1995), pues presenta elevada calidad para su conservación por la serie de valores naturales que alberga, ocupa una superficie de 213 ha que coincide aproximadamente con la zona de mayor probabilidad de inundación dado que se sitúa a cotas comprendidas entre 1 y 2 m bajo el nivel del mar.

Dicha zona de relativa fácil inundación se ubica mayoritariamente en el término municipal de Sagunto y, en mucha menor medida, en el término de Puçol donde sólo se dispone la "gola" del marjal, localizada en el extremo Sur del paraje.

La zona considerada se encuentra totalmente incluida en la hoja, escala 1/50000, de Burjassot (696, 29-27) dentro de las coordenadas UTM siguientes:

$$X_{\text{mínima}} = 734.000$$

$$X_{\text{máxima}} = 737.500$$

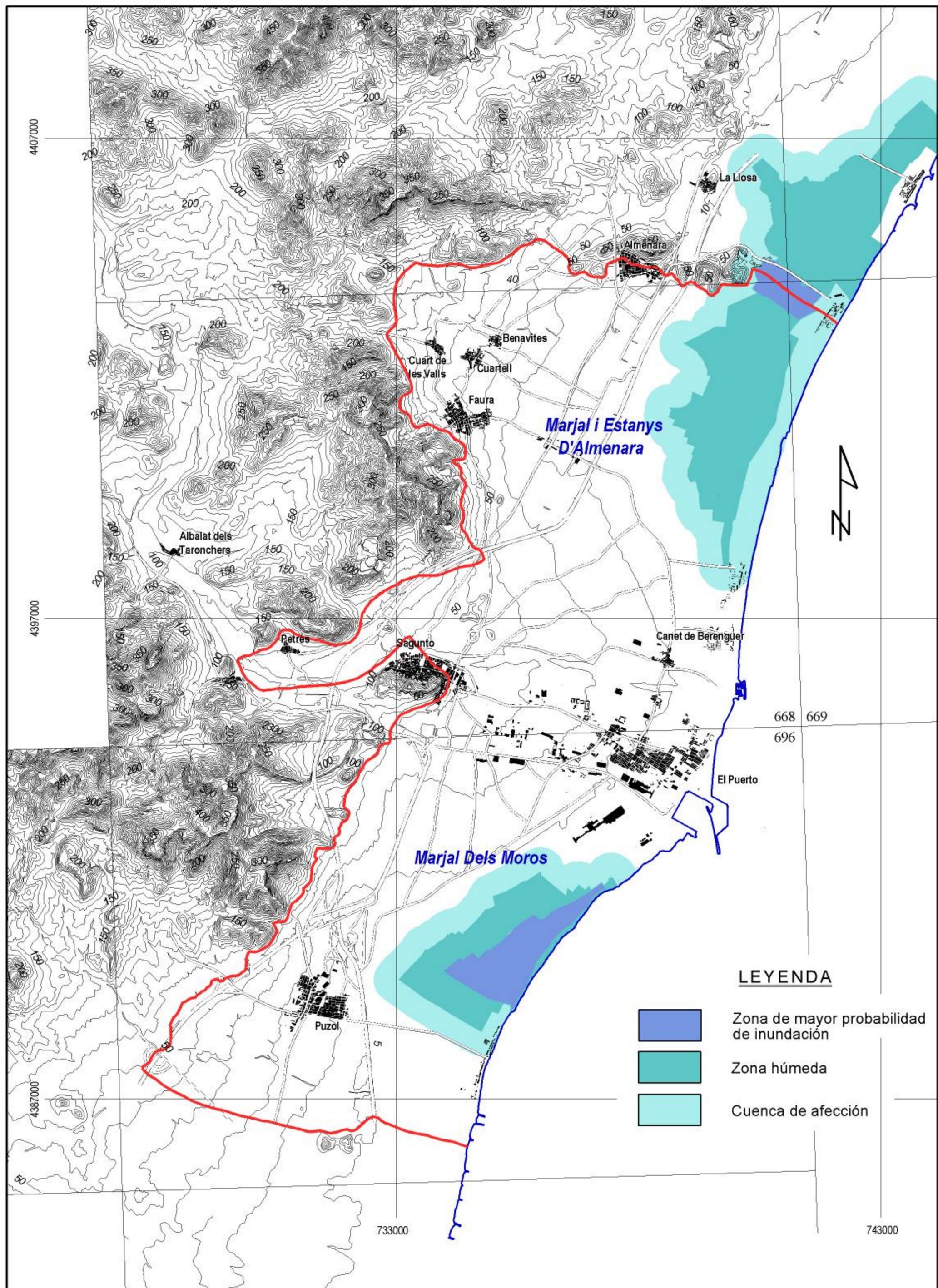
$$Y_{\text{mínima}} = 4.388.700$$

$$Y_{\text{máxima}} = 4.391.800$$

#### 10.3.1.1. Fauna y flora.

En una extensión de 213 ha se concentran numerosas singularidades biológicas, principalmente faunísticas, de elevado interés:

- Samaruc (*Valencia hispanica*), Fartet (*Aphanius iberus*) y Galápagos europeo (*Emys orbicularis*).



Escala: 1/75.000

Fig. nº 4.- Delimitación de las masas de aguas superficiales y de sus cuencas de afección en el ámbito de la Plana de Sagunto. Conselleria de Medi Ambient-TEYGE, S.A. (1.995).

- Existe también numerosa avifauna acuática nidificante e invernante, incluyendo especies en peligro de extinción, como la Cerceta pardilla (*Marmaronetta angustirostris*), la Canastera (*Glareola pratincola*) o el Morito (*Plegadis falcinellus*).

También se tiene una vegetación de elevado interés: carrizales, juncales y vegetación de saladar, destacando particularmente la presencia de una extensa comunidad de *Limonium dufourii*.

#### **10.3.1.2. Geomorfología.**

El conjunto palustre original de los marjales de las comarcas de l'Horta Nord y de El Camp de Morvedre, hoy ya prácticamente desaparecidos si se exceptúa el Marjal dels Moros, estaba constituido por distintos ambientes geomorfológicos que aún se pueden reconocer y que se muestran en la Figura nº5:

#### **Glacis, abanicos y mantos de arroyada pleistocenos.**

Se trata de una amplia superficie, formada con el concurso de diversos barrancos, comprendida entre la orla de relieves de la Sierra de La Calderona (desde Rafelbuñol a Marines Nuevo) y los desaparecidos marjales.

#### **Restinga litoral.**

Constituida por una franja de arenas en su tramo septentrional y meridional, encontrándose cantos y gravas en la parte central. Originariamente, tenía 16 km de longitud y una anchura comprendida entre los 100 y los 200 m que arrancaba en la parte distal del abanico del río Palancia para concluir en la

desembocadura del río Carraixet (cerca de la población de Alboraià). Su génesis se relaciona con la dinámica litoral.

### **Marjal.**

Se trata de un espacio palustre, hoy prácticamente colmatado y transformado salvo en el sector próximo a la partida "Dels Moros".

### **Llanura aluvial del río Carraixet.**

Constituida por limos de inundación del río pertenecientes al Pleistoceno superior.

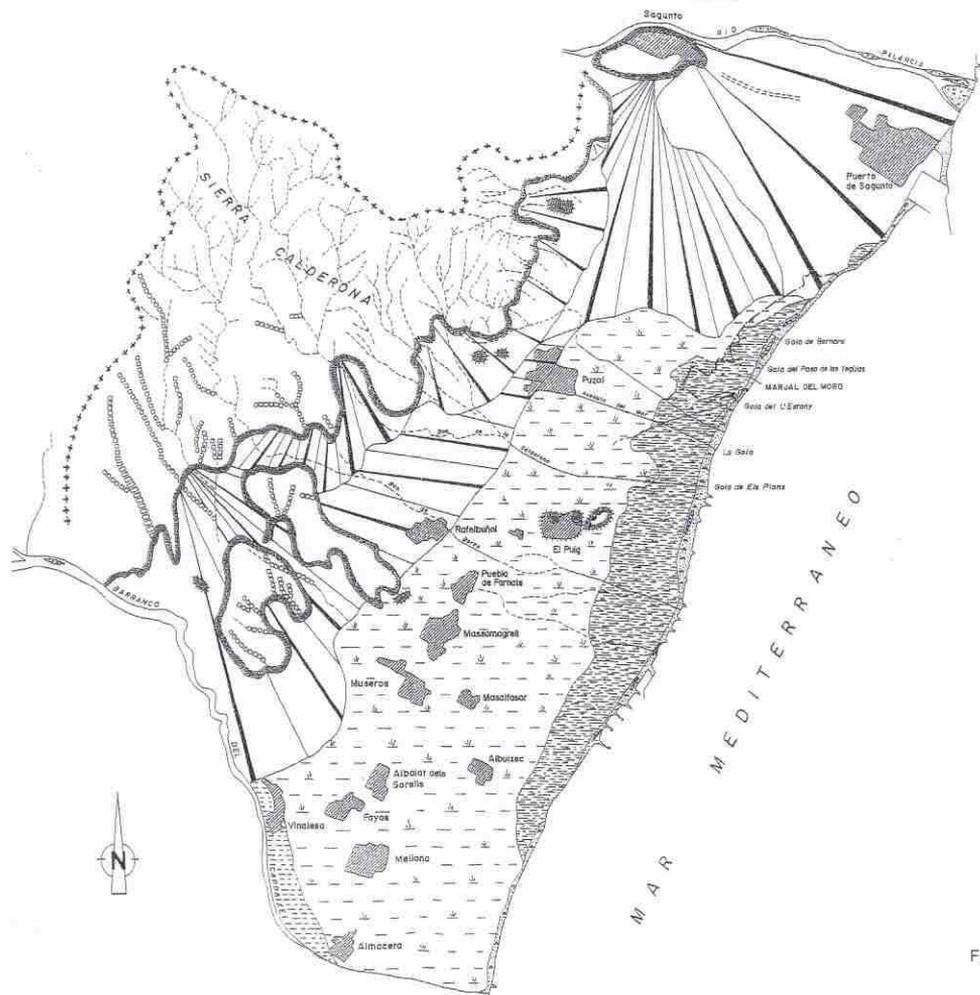
### **Transición mantos de arroyada-marjal.**

Zona mixta con características geomorfológicas a caballo entre los mantos de arroyada y el marjal en función de la intensidad de los procesos geológicos e hidrológicos que tengan lugar en cada punto.

#### **10.3.1.3. Impactos medioambientales.**

Los impactos más sobresalientes detectados en relación con el espacio natural del Marjal dels Moros son:

- Sobreexplotación de la masa de agua subterránea y, como consecuencia, disminución de los drenajes a través de las "golas" y aumento de la salinización de las aguas de la zona húmeda.
- Incremento de los procesos de erosión marina, que producen la alteración de la morfología de la restinga litoral debido a la construcción de espigones de defensa de la línea de costa y puertos deportivos. Procesos



**LEYENDA**

	DIVISORIA D'AIGÜES		LLANO ALUVIAL
	LIMITE RELIEVES		TRANSICION MANTOS DE ARROYADA - MARJAL
	RELIEVES RESIDUALES		MARJAL (AREA PALUSTRE)
	TERRAZAS Y BARRAS FLUVIALES		SURGENCIAS / ULLALS
	BARRANCOS EN 'n'		DUNAS
	BARRANCOS DE FONDO PLANO		PLAYAS ARENAS
	ANTIGUOS TRAZOS FLUVIALES		EJE DE ANTIGUOS CORDONES LITORALES
	ABANICOS Y ALACIS PLEISTOCENOS		CENTROS URBANOS
	MANTOS ARROYADA PLEISTOCENOS		ACEQUIAS Y CANALES
	CONOS ALUVIALES		ESCARPE CARRETERA

Fig. nº5.- Análisis geomorfológico del "Marjal dels Moros" y perímetro de protección. Conselleria d'Agricultura i Medi Ambient de la Generalitat Valenciana-TEYGE, S.A. (1.995).

que se ven incrementados por el descenso de aportes de sedimentos a través de las "golas" y de los ríos, cada vez más regulados.

- Colmatación de los marjales. Se trata de un proceso asociado con la disminución, de forma permanente, de las zonas encharcadas; ello favorece las actuaciones antrópicas tanto agrícolas como urbanísticas.
- Contaminación del agua, tanto por vertidos de aguas residuales procedentes de las poblaciones y zonas industriales próximas como por infiltración de aguas de regadío o de lluvia cargadas con abonos agrícolas.

#### **10.3.1.4. Perímetro de protección.**

En el trabajo CONSELLERIA D'AGRICULTURA I MEDI AMBIENT DE LA GENERALITAT VALENCIANA-TEYGE, S.A. (1995) se propone un preperímetro de protección para el Marjal dels Moros, ver Figura nº5; se acepta que su delimitación es provisional y que tendrá que ser precisada en el futuro.

Los criterios utilizados para la propuesta de dicho preperímetro están basados fundamentalmente en los puntos siguientes:

- Evitar la introducción en el humedal de aguas contaminadas por procesos industriales y/o urbanos.
- Evitar que aumente la concentración salina de las aguas de tal modo que ésta no pueda ser asumida por los hábitats existentes, a los cuales se pretende proteger.

Según CONSELLERIA D'AGRICULTURA I MEDI AMBIENT DE LA GENERALITAT VALENCIANA-TEYGE, S.A. (1995), debido a la inversión de

flujo que se ha producido en la masa de agua subterránea por el cono de bombeo establecido al SE de Sagunto, la interfase agua dulce-agua marina avanza hacia tierra adentro, no produciéndose prácticamente aportes de agua subterránea dulce al marjal, por lo que tampoco tiene lugar, en la zona húmeda, la introducción de productos contaminantes mediante el flujo subterráneo originados por actividades antrópicas fuera de la zona de máxima protección; sin embargo, esta situación está produciendo la paulatina salinización de este espacio natural. En consecuencia, el perímetro que se propone para este humedal también tiene en cuenta los aspectos citados.

#### **10.3.1.5. Aportes hídricos necesarios para la zona húmeda.**

En CONSELLERIA D'AGRICULTURA I MEDI AMBIENT DE LA GENERALITAT VALENCIANA-TEYGE, S.A. (1995) se considera que, en principio, los aportes hídricos necesarios para mantener esta zona húmeda con una renovación adecuada de sus aguas deberían ser del orden de 3 hm<sup>3</sup>/año de valor medio. Esto permitiría compensar las pérdidas por evaporación y tener un cierto drenaje por las "golas".

#### **10.3.2. MARJAL I ESTANYS D'ALMENARA.**

Originariamente, ocupaba una extensión más amplia que la actual, que afectaba a los términos municipales, de Norte a Sur, de Borriana, Nules, Moncofar, Chilches, La Llosa, Almenara, Faura, Benavites, Sagunto, Quartell, y Canet d'En Berenguer.

Actualmente, la zona menos degradada ocupa una superficie aproximada de unas 1305 ha de los municipios de Chilches, La Llosa, Almenara,

Benavites, Sagunto, Faura, Quartell y Canet d'En Berenguer distribuida entre las hojas, escala 1/50000, de Sagunto (668, 29-26) y de Moncofar (669, 30-26) y dentro de las coordenadas UTM siguientes:

$$X_{\text{mínima}} = 738.600$$

$$X_{\text{máxima}} = 744.500$$

$$Y_{\text{mínima}} = 4.398.000$$

$$Y_{\text{máxima}} = 4.408.000$$

Este conjunto palustre litoral constituye el segundo humedal en dimensiones e interés de la provincia de Castellón, conservando todavía algunos sectores de gran valor natural. Se extiende entre los abanicos del río Belcaire al N, el del Palancia al S, la Sierra del Espadán al W y la restinga litoral al E.

#### **10.3.2.1. Fauna y flora.**

Su área de mayor interés ambiental se distribuye entre los términos municipales de Chilches, La Llosa, Almenara, Benavites, Cuartell y Sagunto.

Los "estany" y la marisma circundante presentan una interesante vegetación acuática y helofítica, así como una rica fauna asociada a los mismos, si bien están fuertemente condicionadas por las extracciones de agua que se realizan en los acuíferos que alimentan al humedal, disminuyendo los recursos hídricos necesarios para éste, sobre todo en la estación seca. El intenso uso agrícola de las zonas circundantes comporta además una merma de sus valores naturales.

En lo que respecta a la ornitofauna presenta un elevado interés, sobre todo donde la gestión medioambiental favorece la capacidad de acogida del

área. Dicha capacidad podría incrementarse fácilmente si se redujeran las molestias.

#### **10.3.2.2. Geomorfología.**

El conjunto Marjal i Estanys d'Almenara es una ciénaga litoral en avanzado estado de colmatación. Los procesos marinos tuvieron gran protagonismo en su génesis pero el funcionamiento actual es bastante autónomo del mar. Los distintos ambientes que se pueden reconocer y que se muestran en la Figura nº6 son:

##### **Glacis y abanicos pleistocenos.**

Se trata de una amplia superficie, que se extiende entre la orla de relieves de la Sierra de La Calderona y el marjal, formada con el concurso de diversos barrancos que contribuyen a su colmatación natural como los de: Talavera, la Rambleta, la Rodana, etc.

##### **Restinga litoral.**

Constituida por una franja de arenas, de 13,5 km de longitud y una anchura 300-700 m, que arranca en la parte distal del abanico del río del Belcaire, al Norte, hasta concluir en la parte también distal del abanico del río Palancia, al Sur. Además, se ha constatado en la parte interna, Barri del Mar, la presencia de restos fósiles en calcarenitas pertenecientes a restingas pleistocenas.



## **Marjal.**

Se trata de un espacio palustre de unos 18 km<sup>2</sup> constituida por limos orgánicos y turbas que incluyen tres "estanys" relevantes que, en realidad, son "ullals" que proporcionan importantes caudales.

## **Transición glacis-marjal.**

Zona mixta con características geomorfológicas a caballo entre los glacis y el marjal en función de la intensidad de los procesos geológicos e hidrológicos que tengan lugar en cada punto.

### **10.3.2.3. Impactos medioambientales.**

Los impactos más sobresalientes que se han podido constatar en el espacio natural del Marjal i Estanys d'Almenara se indican a continuación:

- Se ha producido una explotación no equilibrada del acuífero del Salto del Caballo, situado en la unidad hidrogeológica del Medio Palancia (08.20), que ha repercutido en los aportes subterráneos que se transfieren de forma directa a la Balsa de Almenara y de forma indirecta al marjal. Esto produce, sobre todo en estiaje, el descenso del nivel en la citada balsa y el aumento de salinidad en los diferentes medios acuáticos que están integrados en la zona húmeda.
- Existen vertidos puntuales de aguas residuales que deberían eliminarse mediante la consiguiente depuración.
- Se ha constatado un incremento de los procesos de erosión marina, que producen la alteración de la morfología del litoral, debido a la construcción de espigones.

- Alteración de la morfología y del paisaje. La proliferación de urbanizaciones, sobre todo en el sector litoral, ha contribuido a la destrucción de la morfología original del litoral. El área palustre también se ha visto afectada, especialmente, por usos agrícolas.

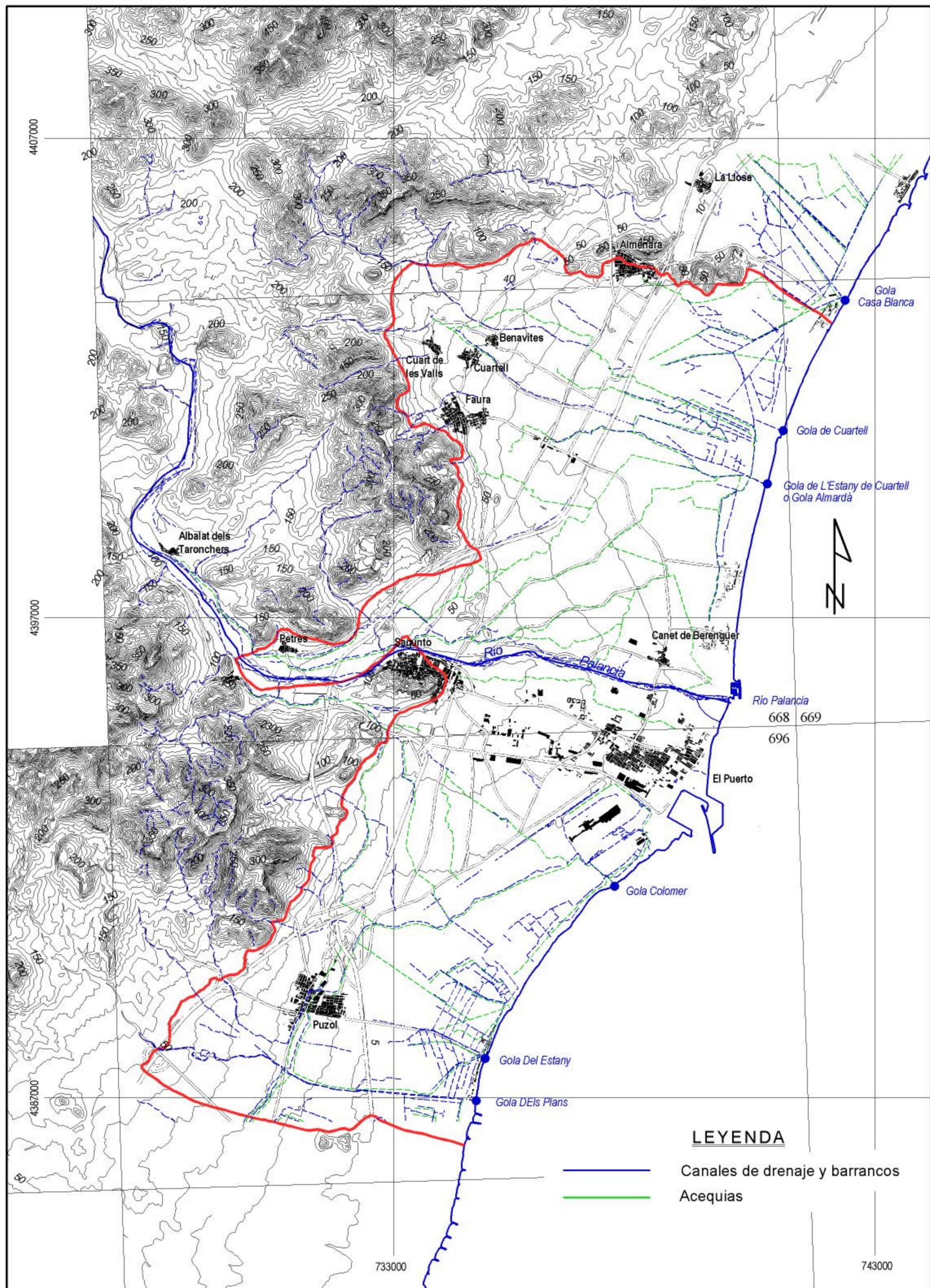
#### **10.3.2.4. Perímetro de protección.**

En el trabajo CONSELLERIA D'AGRICULTURA I MEDI AMBIENT DE LA GENERALITAT VALENCIANA-TEYGE, S.A. (1995) se propone un preperímetro de protección para el Marjal i Estanys d'Almenara, ver Figura nº7; se acepta que su delimitación es provisional y que tendrá que ser precisada en el futuro.

Los criterios utilizados para la propuesta de dicho preperímetro están basados fundamentalmente en los puntos siguientes:

- Evitar la introducción en el humedal de aguas contaminadas por procesos industriales y/o urbanos.
- Evitar que las aguas experimenten procesos bruscos en su concentración salina que no puedan ser asumidos por los hábitats que se pretende proteger.
- Evitar las disminuciones bruscas en la afluencia de recursos hídricos procedentes del acuífero Salto del Caballo (20.05) hacia la Balsa de Almenara.

Los elementos y sustancias químicas más nocivas para las cadenas tróficas son los oligoelementos metálicos que, en la mayor parte de los casos, se acumulan en distintos tejidos de los seres vivos. En consecuencia, será



**LEYENDA**

- Canales de drenaje y barrancos
- Acequias

necesario proteger la zona húmeda contra estos aportes, fundamentalmente evitando que se lleven a cabo vertidos de efluentes industriales, bien de forma directa a la misma y/o a los cauces que confluyen en ella, o de forma indirecta mediante inyección en los acuíferos que la alimentan.

Los vertidos de carácter urbano deberán ser convenientemente depurados previamente a su aportación.

Las variaciones bruscas de recursos hídricos en esta zona húmeda pueden influir fundamentalmente en la Balsa de Almenara, lugar donde se acumula el agua subterránea que cede de forma directa, mediante manantiales, el acuífero del Salto del Caballo.

Las aguas de los "ullals", zanjias de drenaje, y balsas no ligadas a la de Almenara disponen de mayor salinidad, ya que están alimentadas por los acuíferos detríticos costeros en los que la interfase agua continental-agua marina está relativamente próxima. Como este acuífero está en contacto con el mar, la explotación del mismo dentro de la zona a proteger o en sus inmediaciones no producirá la desecación del humedal sino más bien el aumento de salinidad al ascender la citada interfase.

#### **10.3.2.5. Aportes hídricos necesarios para la zona húmeda.**

En el trabajo CONSELLERIA D'AGRICULTURA I MEDI AMBIENT DE LA GENERALITAT VALENCIANA-TEYGE, S.A. (1.995) se considera que si el funcionamiento futuro de la zona húmeda es el habitual, será necesario reservar para ella, en principio, un caudal ecológico del orden de 15 hm<sup>3</sup>/año de valor medio.

Sin embargo, en este mismo trabajo también se acepta que, si este caudal ecológico pudiese ser controlado mediante operaciones tales como, por ejemplo, la programación del sistema de drenaje actual, el aporte de agua subterránea de acuíferos próximos mediante bombeo, el control de vertidos contaminantes, etc., probablemente este volumen podría ser reducido de forma muy sensible y, en consecuencia, lograr una utilización más equilibrada de los recursos hídricos sin que se produzca una degradación de la zona húmeda.

### **10.3.3. DIRECCIONES Y TASAS DE INTERCAMBIO DE FLUJOS CON LAS MASAS DE AGUA SUPERFICIAL Y CON LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES ASOCIADOS.**

Para el desarrollo del presente capítulo se ha consultado la siguiente bibliografía: IGME-EPTISA (1981), IGME (1986 b), CONSELLERIA D'AGRICULTURA I MEDI AMBIENT-TEYGE, S.A. (1995), CHJ-AQUATEC (2001), TEYGE, S.A. (2002 a).

#### **10.3.3.1. Marjal Dels Moros.**

Tan sólo en CONSELLERIA D'AGRICULTURA I MEDI AMBIENT DE LA GENERALITAT VALENCIANA-TEYGE, S.A. (1995) se han encontrado algunas alusiones a este tema en dicha zona húmeda.

El Marjal dels Moros constituía una antigua zona de drenaje de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto. Se caracterizaba por ser una zona permanentemente encharcada, al situarse la superficie topográfica por debajo de la piezométrica, que tenía que ser drenada por tres "golas": Estany, Pas de les Eugües y Bernat.

A medida que el acuífero se ha ido sobreexplotando-regulando, los caudales de drenaje por las citadas "golas" disminuyeron progresivamente, interrumpiéndose totalmente el flujo en las dos últimas, ya antes del año 1995, las cuales se encuentran obstruidas por escombros.

Las entradas de agua en el marjal proceden de: **a)** la aportación de lluvia caída directamente sobre su superficie, **b)** la escorrentía superficial, **c)** los bombeos desde la masa de agua subterránea de la plana realizados por la Conselleria de Medi Ambient a partir de los sondeos Fanega, Central, Pino y Valero, **d)** los aprovechamientos que esta misma conselleria realiza de los excedentes de la Acequia de Moncada que se vierten al mar a través de la "gola" del Estany y **e)** los aportes subterráneos que de forma natural se producen desde los materiales pliocuaternarios cuando el nivel piezométrico está lo suficientemente alto.

Las salidas tienen lugar por: **a)** evapotranspiración, **b)** drenaje por la "gola" del Estany y **c)** tal vez, infiltración hacia la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto.

En las primaveras de los años 2004 y 2005, TEYGE, S.A. llevó a cabo una inspección ocular de la zona y pudo comprobar como el nivel de los canales de drenaje, o lo que es lo mismo, del nivel piezométrico local, se encontraba por debajo del de la superficie de la zona inundada, situación que se mantenía un año después.

En la desembocadura de la "gola" del Estany se realiza un bombeo al mar de los recursos hídricos procedentes tanto de los excedentes de la Acequia de Moncada como del drenaje de la masa pliocuaternaria. Ello conlleva, un descenso local de la piezometría natural, lo que permite la instalación y

mantenimiento de actividades antrópicas, tales como la agricultura y el urbanismo, en las proximidades de la zona húmeda.

Esta situación implica un probable descolgamiento, como mínimo temporal, del Marjal dels Moros respecto a la masa subterránea que, si no fuera por las recargas artificiales realizadas por la Conselleria de Medi ambient mediante bombeos y/o aporte de excedentes de la Acequia de Moncada, se secaría en épocas de nivel piezométrico bajo, ya sea éste condicionado por motivos antrópicos y/o climáticos.

Dicho secado no se produce de forma instantánea, sino que el sistema experimenta una cierta inercia debida a la posible baja permeabilidad del fondo de la zona inundada, donde dominan los sedimentos lutíticos.

Se carece por completo de cualquier tipo de cuantificación de los términos que deberían considerarse en un balance hídrico local del marjal.

#### **10.3.3.2. Marjal i Estanys d'Almenara.**

##### **Régimen natural.**

L'Estany d'Almenara se sitúa en el contacto entre los materiales carbonatados del Muschelkalk, del extremo oriental del afloramiento triásico de Almenara, y los detríticos pliocenos de la plana. El contacto entre ambos materiales es discordante y retocado por pequeñas fracturas de escasa entidad pero de gran importancia hidrogeológica.

IGME-EPTISA (1981) considera que el origen del manantial que mantiene, en gran medida la zona inundada próxima a la población de Almenara, tiene lugar cuando el agua que circula hacia el mar, con una dirección ENE-OSO,

a través de los materiales carbonatados triásicos encuentra obstaculizado su tránsito cuando contacta con los materiales pliocuaternarios menos permeables, lo que produce un salto piezométrico.

Así, debido a la barrera de permeabilidad existente, parte del agua circula por los materiales detríticos y el resto es evacuada en el contacto dando lugar al manantial de la Font d'Almenara y a su zona inundada asociada.

Además del aporte superficial de recursos hídricos a la laguna, se produce otro subterráneo lateral desde los materiales pliocuaternarios de tal manera que, sobre el terreno, es imposible precisar los puntos por donde éste tiene lugar. Existen también, como mínimo de forma temporal, aportes verticales igualmente procedentes de los materiales pliocuaternarios infrayacentes, que producen los denominados "ullals" observables en la laguna como removilizaciones puntuales del sedimento.

En ausencia de bombeos, el nivel de la laguna se sitúa, como mínimo temporalmente, ligeramente por encima del nivel piezométrico de la plana, debido al salto piezométrico introducido por el aumento de gradiente en el contacto entre los acuíferos carbonatado y detrítico.

En épocas de elevada pluviometría esta diferencia de nivel se acentúa, lo que puede indicar la estrecha relación entre el acuífero carbonatado y el estanque, sin que implique una desconexión entre éste y el acuífero de la plana, ya que hay que tener en cuenta que la relativamente baja permeabilidad del último dota al sistema de una elevada inercia que lo hace reaccionar mucho más lentamente a las variaciones piezométricas que sufre el acuífero carbonatado.

La laguna, a su vez, se comunicaba libremente con el mar mediante diversos canales que actuaban también de reguladores del nivel de la misma en función del que tuviese lugar en el Mediterráneo local.

### **Régimen influenciado.**

Al bombear en pozos cercanos que captan el acuífero carbonatado se ha observado, IGME-EPTISA (1981), como éstos afectan a la laguna, de tal manera que su nivel llega a situarse por debajo del nivel piezométrico de la plana.

IGME (1986 b) consideraba el Marjal i Estanyes d'Almenara como una gran balsa de recarga de la masa de agua subterránea pliocuaternaria puesto que, durante los meses invernales se solía mantener las "golas" de drenaje cerradas para elevar el nivel en la misma, en tanto que además recibía aportes superficiales importantes provenientes de los sobrantes de los manantiales Font de Quart y Font de la Llosa, así como escorrentía superficial, si bien, este mismo autor también reconocía que el desconocimiento hidrogeológico del marjal era todavía muy importante.

En la actualidad, la "gola" Casablanca y, por lo tanto, la relación directa laguna-mar, no se encuentra regulada.

Para CONSELLERIA D'AGRICULTURA I MEDI AMBIENT-TEYGE, S.A. (1995) y TEYGE, S.A. (2001), la historia evolutiva de este ambiente sedimentario tendría una cierta complejidad ya que, por una parte, tuvo lugar el cierre de una albufera debido al desarrollo de un cordón litoral y, por otra, la contribución a su llenado a partir del manantial de la Font d'Almenara, que constituye parte de la descarga de las formaciones

mesozoicas del interior.

En esta laguna se depositaron materiales arrastrados por las corrientes superficiales, lo que dio lugar al desarrollo de una intensa vegetación que, en ocasiones, quedó sepultada por los sedimentos, formándose los niveles de turbas que hoy en día se explotan en algunos lugares. En la actualidad la historia continúa, habiendo quedado colmatada por materiales continentales una gran parte del marjal.

El funcionamiento hidráulico del humedal se sintetiza a continuación según los conceptos extraídos de CONSELLERIA D'AGRICULTURA I MEDI AMBIENT (1995), TEYGE, S.A. (2001) y CHJ-AQUATEC (2001):

Las entradas de agua proceden de: **a)** aportación de agua de lluvia caída directamente sobre su superficie, **b)** esorrentía subterránea cedida directamente por el Acuífero del Salto del Caballo a través del manantial de la Font d'Almenara, **c)** aportes subterráneos desde la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto previamente alimentada, en esa zona, mediante transferencia subterránea de los acuíferos de Algart-Cuart y Salto del Caballo y **d)** esorrentía superficial de cauces y canales tributarios procedentes del exterior del marjal. En CHJ-AQUATEC (2001) también se considera que las acequias de uso regadío y los canales de salida del agua desde la plana al mar podrían contribuir en la recarga de la masa de agua subterránea.

Las salidas tienen lugar por: **a)** evapotranspiración, **b)** drenaje del marjal efectuado mediante bombeos y sistemas de canalizaciones, destacando el que se efectúa mediante la "gola" de Casablanca, **c)** infiltración hacia la masa de agua subterránea pliocuaternaria dependiendo de la relación entre

el nivel piezométrico y el de la laguna y **d)** salidas subterráneas a mar.

La superficie topográfica del marjal se sitúa, en ciertas épocas del año por debajo de la superficie piezométrica del acuífero detrítico en la zona de Les Valls, dando lugar a su encharcamiento periódico.

A través del marjal emergen parte de las aguas subterráneas que ceden los acuíferos del interior (Salto del Caballo y Algar-Cuart) al acuífero detrítico y que originan las surgencias verticales denominadas "ullals".

A la hora de considerar el funcionamiento hidráulico del Marjal i Estanys d'Almenara debe considerarse el equilibrio entre los siguientes niveles: el mar, el nivel piezométrico pliocuaternario y el nivel de la propia zona inundada del marjal.

Mediante la red de canales y la "gola" Casablanca, hoy en día no regulados, se compensan con relativa rapidez los niveles del mar y de la laguna, mientras que la compensación entre ésta y el nivel freático presenta una mayor inercia debido a la relativamente baja permeabilidad de los sedimentos pliocuaternarios.

Debe decirse que esta relación se complica todavía más si se tiene en cuenta que las variaciones del nivel freático pliocuaternario dependen a su vez de gran cantidad de procesos, tanto naturales como artificiales no siempre fácilmente evaluables tales como: infiltración de lluvia o de excedentes de regadío, bombeos, etc.

Finalmente, todo el sistema descrito depende, a su vez, de los niveles piezométricos presentes en los acuíferos de Salto del Caballo y de Algar-Cuart ya que son los que suministran gran parte de los recursos hídricos

involucrados en el sistema hidráulico de la masa subterránea de la Plana de Sagunto.

En TEYGE, S.A. (2001) se destaca el hecho de que la disminución de los aportes hídricos procedentes de los acuíferos mesozoicos se ha ido reduciendo año tras año debido al aumento de las extracciones que en éstos se realizan; esta disminución de aportes hídricos ha producido, en la plana, un fuerte impacto en los ecosistemas de la zona húmeda ya que, por una parte, se ha reducido la superficie de encharcamiento y, por otra, se ha variado la composición química del agua existente en los diferentes hábitats.

Se remite al lector al capítulo que trata el balance hídrico de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto si desea información referente a los balances hídricos recopilados para el entorno del Marjal i Estanys d'Almenara, siendo especialmente recomendables CONSELLERIA D'AGRICULTURA I MEDI AMBIENT (1995), TEYGE, S.A. (2001) y CHJ-AQUTEC (2001).

#### **10.4. METODOLOGIA PROPUESTA. CANALES DE DRENAJE.**

Existe muy poca información sobre el funcionamiento exacto del sistema de drenaje de la Plana de Sagunto, por lo que se considera oportuno la realización de las siguientes labores:

- Inventario exhaustivo de las acequias y de los canales de drenaje propiamente dichos, nivelación de los mismos y determinación de cuáles presentan un nivel asimilable al nivel piezométrico.

- Campañas de aforos diferenciales en los canales de drenaje no cementados que confirmen o desmientan la posibilidad de infiltraciones relevantes hacia la masa de agua subterránea.
- Campañas de aforos en las "golas", como mínimo dos al año (en las épocas seca y húmeda) que ayuden a ajustar el balance hídrico de la masa.

#### **10.5. PLANA DE SAGUNTO. CANALES DE DRENAJE.**

En la Plana de Sagunto existe una complicada red de canales de drenaje utilizados para provocar el descenso del nivel piezométrico de los materiales saturados pliocuaternarios que constituyen la plana.

En régimen natural, gran parte de la superficie del terreno ocupado por la masa de agua objeto de este estudio se encontraba inundado al disponerse el nivel freático por encima de la topografía, situación que comportó el desarrollo de un ecosistema palustre de gran interés ecológico.

La necesidad de expansión, primeramente, de las áreas de cultivo y, posteriormente, de las residenciales y turísticas motivó, en la segunda mitad del siglo XIX, la implantación de un sistema de drenaje de la Plana de Sagunto consistente en un sistema de canales, que cortaban el nivel piezométrico, en los que se instalaron gran número de turbinas que elevan el agua subterránea al nivel de las acequias y canales de desagüe que finalizaban en las "golas", relativamente bien impermeabilizadas, que vierten por gravedad los excedentes de aguas superficiales al mar; así mismo, también existen motores que ayudan al drenaje de los recursos

subterráneos, los cuales vierten en el sistema de drenaje comentado o directamente a mar.

En la Figura nº7 se muestra la red de canales de drenaje y acequias que configuran el sistema de conducciones hidráulicas de la Plana de Sagunto; información extraída de la cartografía digital escala 1/50000 de la CONSELLERIA D'OBRES PÚBLIQUES, URBANISME I TRANSPORTS DE LA GENERALITAT VALENCIANA (1998).

Existe muy poca bibliografía que incluya información actualizada sobre este tema y, mucho menos, que cuantifique el volumen drenado de la masa subterránea y las salidas al mar a través de las diversas "golas" activas que se localizan en la zona de estudio. La "gola" Casablanca se controló por el IGME durante el periodo 1973-81, no existiendo control oficial conocido a partir de ese momento.

En este sentido, tan sólo CHJ-AQUATEC (2001) ofrece información precisa sobre el funcionamiento hidráulico y balance de este sistema de canales pero, tan sólo, en el ámbito del Marjal i Estanys d'Almenara (datos utilizados en el balance hídrico presentado en el capítulo correspondiente), mientras que en CONSELLERIA D'AGRICULTURA I MEDI AMBIENT DE LA GENERALITAT VALENCIANA-TEYGE, S.A. (1995) se ofrece también cierta información del Marjal dels Moros aunque sin cuantificación de los recursos hídricos implicados.

No se dispone tampoco de información sobre la composición química de las aguas de los canales de desagüe, si bien, ésta es el resultado de la mezcla de las de procedencia externa con las de la propia masa acuífera de la

Plana de Sagunto y, en ocasiones, con el agua de mar dependiendo del nivel de éste y del sistema de regulación de las "golas".

Se tiene escasa información referente al caudal de drenaje a través de las "golas" Casablanca y Estany de Quartell medida por el IGME (en el periodo 1973-1981, únicamente en Casablanca) y por CHJ-AQUATEC (2001) para las dos "golas" citadas, presentándose a continuación, en la Tabla nº2, la relación de caudales expuesta en éste último trabajo por ser la más reciente y completa.

<b>CAUDALES DE SALIDA A MAR POR LAS "GOLAS"</b>		
<b>Fecha</b>	<b>Gola</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
14/01/02	Casablanca	1,11
	Estany de Quartell	0,34
28/01/02	Casablanca	0,78
	Estany de Quartell	0,37
11/02/02	Casablanca	1,47
	Estany de Quartell	0,34
22/02/02	Casablanca	0
	Estany de Quartell	0,54
21/03/02	Casablanca	0,24
	Estany de Quartell	0,45
18/04/02	Casablanca	0,55
	Estany de Quartell	0
13/05/02	Casablanca	0,58
	Estany de Quartell	0,29
14/06/02	Casablanca	0,29
	Estany de Quartell	0
28/06/02	Casablanca	0,21
	Estany de Quartell	0,36

**Tabla nº2.-Caudales de salida a mar por las "golas" de Casablanca y Estany de Quartell (CHJ-AQUATEC, 2001).**

## **11. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.**

### **11.1. TRATAMIENTO LEGISLATIVO.**

El artículo 8 de la DMA obliga a los Estados miembros a velar por el establecimiento de programas de seguimiento del estado de las aguas con objeto de obtener una visión general coherente y completa en cada demarcación hidrográfica. Este artículo afecta a las aguas superficiales, a las subterráneas y a las zonas protegidas.

En el caso de las aguas subterráneas los programas incluirán el seguimiento del estado químico y cuantitativo. En el caso de las zonas protegidas, los programas se completarán con las especificaciones contenidas en la norma comunitaria en virtud de la cual se haya establecido cada zona protegida.

En esa misma línea, el artículo 17 expresa que el Parlamento Europeo y el Consejo adoptarán medidas específicas para prevenir y controlar la contaminación de las aguas subterráneas con el objetivo de conseguir su buen estado químico.

### **11.2. METODOLOGIA PROPUESTA.**

Nuevamente se plantea empezar el desarrollo del capítulo insistiendo en la necesidad de dedicar importantes esfuerzos y tiempo a la recopilación y análisis de información bibliográfica disponible en este sentido, tanto perteneciente a Organismos Públicos como a empresas privadas.

La caracterización de la situación hidroquímica en régimen natural de la Plana de Sagunto se podrá llevar a cabo en función de la calidad de la información que se consiga. Por el contrario, la caracterización en régimen influenciado admitirá que no se localice abundante información bibliográfica si se dispone, finalmente, de una red de control de puntos de agua adecuada.

El muestreo de los diferentes niveles acuíferos, que constituyen la masa multicapa objeto de estudio, a partir de los piezómetros de que conste la red, preferentemente múltiples, totalmente penetrantes y con rejillas limitadas sólo a cada nivel permeable para evitar mezcla de aguas de diferentes niveles, permitirá analizar la evolución horizontal y vertical de los diferentes elementos y compuestos analizados. Ello podrá conducir a la realización de representaciones 2 y 3D de la situación hidroquímica medida.

De esta manera podrán analizarse procesos tales como:

- Evolución de la intrusión marina.
- Evolución de la contaminación urbana, industrial y agrícola a partir de elementos y compuestos que las caractericen.
- Relaciones con las masas de agua superficiales.
- Relaciones con las masas de agua subterránea limítrofes.
- Evolución de la contaminación puntual que pudiera darse si se instala alguno de los piezómetros en las proximidades de posibles focos de contaminación susceptibles de afectar negativamente a la calidad química de los recursos de la masa de agua subterránea, como por

ejemplo, el vertedero situado en las proximidades de la Font d'Almenara.

De forma complementaria, se aconsejan series de campañas de muestreo isotópico, con la finalidad de obtener más información sobre procesos tales como: **a)** procedencias de las aguas subterráneas de la masa, **b)** reacciones hidroquímicas entre el medio rocoso permeable y las aguas subterráneas, **c)** lugares por los que se produce recarga y la descarga de las zonas húmedas, **d)** evaporación de la lámina de agua en las zonas inundadas, etc.

Además de los trabajos bibliográficos y de muestreo comentados, se tratará de localizar posibles focos de contaminación, tanto puntuales como difusos, que ayuden a interpretar los resultados hidroquímicos obtenidos y determinar las zonas de mayor riesgo de contaminación.

Finalmente, se tratará de conseguir información hidroquímica de las aguas tanto del río Palancia como de las importadas de otras cuencas hidrográficas, especialmente de las dedicadas al uso de abastecimiento y regadío.

Para la representación de los resultados obtenidos se elaborarán mapas en los que se mostrarán los valores de los iones cloruro, nitrato, sulfato y bicarbonato además de la conductividad eléctrica, como mínimo, para el año de referencia y la actualidad. Dependiendo de la información disponible, en los citados mapas se mostrarán datos puntuales o se trazarán líneas de isocontenidos; finalmente, se incluirán nuevos mapas, para los mismos tiempos comentados, en los que se presenten diagramas de Stiff modificado homogéneamente distribuidos y facies hidroquímicas acompañadas con su correspondiente diagrama de Piper.

Sin duda alguna, muchas de las masas de agua subterránea costeras, como la Plana de Sagunto, presentan una serie de particularidades respecto a otras masas situadas en zonas interiores, que implican unos estudios adicionales que requieren metodologías particulares. En este sentido, los procesos de intrusión marina que tienen lugar en muchas de las masas costeras merecen propuestas específicas de metodologías de trabajo que pueden ser parcialmente aprovechadas también para su caracterización hidroquímica a partir de especies químicas no directamente relacionadas con la intrusión de agua marina.

### **11.3. METODOLOGIA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE INTRUSIONES MARINAS.**

#### **11.3.1. INTRODUCCIÓN.**

Se expondrá a continuación una metodología útil para caracterizar, de forma precisa, la distribución y grado de afección provocado por el fenómeno de intrusión marina en un acuífero detrítico y libre con influencia litoral.

En primer lugar, se deberá proceder a determinar un nivel inicial de referencia de calidad química de las aguas subterráneas. De forma ideal, dicho nivel debería ser el que tenía lugar en la masa de agua en régimen natural. Sin embargo, es bastante habitual que los primeros datos hidroquímicos disponibles de la masa a estudiar pertenezcan ya a periodos en los que la explotación y/o la afección química estuviera relativamente avanzada. En este caso, se tomarán como nivel de referencia las medidas hidroquímicas más antiguas y representativas disponibles.

### **11.3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA INTRUSIÓN MARINA.**

La metodología de estudio orientada al conocimiento del funcionamiento hidrogeológico de las masas sometidas a procesos de intrusión marina considerará de forma más precisa, además de los temas habituales tratados en la mayoría de estudios de hidrología subterránea, los siguientes aspectos:

- El ion cloruro.
- Las relaciones hidroquímicas.
- La estratificación hidroquímica de las aguas subterráneas.
- La realización de diagramas hidroquímicos y de mapas de facies hidroquímicas.
- El estudio de la recarga de la masa de agua subterránea.
- Los estudios geofísicos.
- La medida de la piezometría.
- Los modelos matemáticos.

#### **11.3.2.1. Ion cloruro.**

Obviamente, el síntoma que primero delata el inicio de un proceso de intrusión marina es el progresivo y relativamente rápido aumento de la concentración del ion  $\text{Cl}^-$  respecto a las concentraciones de referencia.

En condiciones normales, este ion se va adquiriendo lentamente, por disolución a partir del material atravesado al circular el agua subterránea por

el subsuelo; además, una vez en la solución, el ion cloruro no reacciona químicamente y difícilmente precipita. Por esto, incrementos fuertes en la concentración de este ion indican procesos de contaminación debidos a varios posibles procesos: **a)** mezcla con agua fósil, **b)** disolución de materiales evaporíticos (especialmente en contextos geológicos sometidos a temperaturas superiores a las habituales) o **c)** mezcla con agua marina.

Además, dado lo común y lo relativamente económico que representa la medida del ion cloruro en el laboratorio, constituye éste un parámetro de importancia capital en el estudio del fenómeno de la intrusión marina.

### **Mapas tipo.**

De esta manera, la elaboración de grupos de mapas tipo de ion cloruro representa una herramienta de gran valor para la caracterización de la cuña de agua salina en aquellos lugares donde ésta haya podido empezar a desarrollarse.

Una vez acabados los grupos de mapas tipo, comparando la información mostrada en ellos con la adquirida en otros apartados del estudio hidrogeológico (por ejemplo, balances hídricos y mapas de permeabilidades, transmisividades y estructurales) podrán determinarse las zonas más propicias para el desarrollo del proceso de intrusión marina y conocer, así mismo, en qué grado son debidas a la acción antrópica propiamente dicha y/o a causas naturales relacionadas con la hidrogeología de la masa de agua subterránea tratada.

La ejecución de este tipo de mapas involucra tener muy en cuenta y tratar diferentes tipos de datos que deberán ser convenientemente relacionados:

### **A) Periodos representados.**

Los grupos de mapas tipo que deberán considerarse preferentemente y estudiarse con mayor interés tendrán las siguientes denominaciones y mostrarán las situaciones hidroquímicas pertenecientes a los siguientes periodos:

<b>GRUPOS</b>	<b>PERIODO</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
<b>A</b>	Año de referencia	Realizado para el año en el que se estableció el nivel inicial de referencia de calidad
<b>B, C</b>	Año seco y año húmedo	Elaborados para los años más seco y húmedo respectivamente de la serie de Datos climatológicos disponible
<b>D</b>	Año actual	Trazado para el año de realización del estudio o con información más próxima a éste; incluso, si se dispone de información suficiente, se realizarán mapas separados para la época del año más seca y para la más húmeda

Tabla nº3.-Grupos de mapas tipo atendiendo al periodo que representan.

Por supuesto, disponer de un mayor número de mapas correspondientes a periodos intermedios siempre ayudará a tener un mejor conocimiento de la evolución del proceso de intrusión marina, en el caso de que éste haya tenido lugar.

Si la información disponible lo permite, además de considerarse unos periodos prioritarios en la caracterización de una intrusión marina, también será necesario estudiar la evolución del ion cloruro con la profundidad en cada uno de los citados periodos tratados en los mapas tipo de ion cloruro.

### **B) Profundidades de trabajo.**

Idealmente, para cada uno de los periodos de tiempo considerados en los grupos de mapas tipo, se debería proceder a realizar, como mínimo, un

mapa de isocloruros cada 10 m de profundidad hasta alcanzar el muro de la masa de agua subterránea, lo que proporcionaría una visión 3D de dicha masa; la profundidad a la que se encuentra el muro de la masa de agua subterránea deberá haberse determinado en fases previas del estudio hidrogeológico de ésta. Sin embargo, en la realidad, a la hora de tomar datos en la naturaleza, resulta prácticamente imposible que, en una misma masa de agua subterránea, se tenga una distribución espacial homogénea y/o representativa de sondeos que capten todas las profundidades interesantes para la realización del estudio; por tanto, la disposición y tipo de los puntos de control existentes son los que realmente acabarán de determinar la metodología final de trabajo.

Se debe considerar además que, en la franja litoral (comprendida aproximadamente entre la línea costa y los 2 km tierra adentro) de las masas de agua costeras y, especialmente, en aquellas masas que presentan zonas húmedas que dependen total o parcialmente de la contribución de las aguas subterráneas, las captaciones suelen ser de relativa baja profundidad puesto que:

- El nivel freático suele estar bastante próximo a la superficie topográfica, por lo que no se requieren obras de gran profundidad para explotar los recursos hídricos subterráneos.
- Se intenta evitar la interfase agua dulce-agua marina.
- Muchas captaciones son pozos excavados, técnica que habitualmente no proporciona perforaciones demasiado profundas.

- Los recursos hídricos de las masas de agua subterránea situadas en zonas costeras detríticas suelen presentar una baja calidad química y los parámetros hidráulicos globales del subsuelo no suelen permitir, a escala general de la masa, que se transfieran importantes flujos subterráneos. Ello conlleva que las grandes captaciones de abastecimiento para usos urbanos, agrícolas e industriales se ejecuten en las masas adyacentes a la costera.

Así, resultará mucho más realista plantear las profundidades a las que se deben realizar los grupos de mapas tipos de isocloruros como limitadas a aquellas más acordes con las profundidades más frecuentes en las captaciones situadas en este tipo de masas las cuales que, como ya se ha comentado, acostumbran a tener el nivel piezométrico a relativa baja profundidad respecto a la superficie del terreno:

- Captaciones de hasta 10 m de profundidad.
- Captaciones entre 10 y 20 m de profundidad.
- Captaciones de más de 20 m de profundidad.

En el caso de que el nivel piezométrico no se localice próximo a la superficie topográfica se pueden plantear otros rangos de profundidad dependiendo, por supuesto, de la información disponible; de esta manera, podría ser admisible aumentar en 5 o más metros la profundidad de los términos indicados anteriormente.

Para la realización del estudio hidrogeológico de la Plana de Sagunto, se contó principalmente con el inventario de puntos de agua elaborado por el IGME; en mucha menor medida, se dispuso también de alguna información

complementaria sobre algunos puntos de agua más, inventariados por otros organismos y empresas.

Dicho inventario realizado por el IGME, entre los años 1972 y 2001, ha sido introducido en una serie de bases de datos que permiten la rápida consulta de la información deseada. De esta manera, se tiene rápido acceso a la posición, código identificador y profundidad de la mayoría de las perforaciones inventariadas en la plana (en total 339) siendo, por tanto, posible calcular inmediatamente cuántas de éstas se encuentran entre los rangos de profundidad anteriormente propuestos:

- Número de captaciones de hasta 10 m de profundidad: 43.
- Número de captaciones entre 10 y 20 m de profundidad: 56.
- Número de captaciones de más de 20 m de profundidad: 208; de las que 54 se sitúan entre los 20 y los 30 m, 30 entre los 30 y los 40 m y 124 presentan profundidades superiores a los 40 m.
- Número de captaciones de profundidad desconocida: 32.

A pesar de todo, estos nuevos rangos de profundidades propuestos requieren un volumen de información no siempre disponible por lo que, en muchos casos, se deberá optar por una versión abreviada de la metodología descrita.

Una manera de abreviar los trabajos a realizar, en aquellos estudios en los que se justifique dicha simplificación, consiste en realizar los grupos de mapas tipo referidos tan sólo a una única profundidad de referencia en la

masa de agua subterránea, si bien, en esta situación se sacrificará el conocimiento 3D de la misma.

La profundidad de trabajo que deberá ser entonces estudiada, si se conoce la profundidad de los pozos inventariados, será la equivalente a la mitad del espesor saturado medio del acuífero en la costa, medido en el periodo más seco disponible.

Del mismo modo, de no disponerse de información de calidad para estudiar todos y cada uno de los periodos de tiempo incluidos en los diferentes grupos de mapas tipo, se permitirá, obviamente, la no realización de la serie de mapas tipo que impliquen a los periodos que adolecen de la suficiente información.

En cualquier caso, todas aquellas desviaciones que se realicen respecto a la metodología ideal deberán ser convenientemente justificadas.

La consulta de la base de datos con los 43 puntos de agua pertenecientes a la red de control de intrusión IGME se distribuyen de la siguiente forma:

- Número de puntos de la red de control de hasta 10 m de profundidad: 4.
- Número de puntos de la red de control entre 10 y 20 m de profundidad: 4.
- Número de puntos de la red de control de más de 20 m de profundidad: 30; de los que 13 se sitúan entre los 20 y los 30 m, 4 entre los 30 y los 40 m y 13 presentan profundidades superiores a los 40 m.

- Número de puntos de la red de control de profundidad desconocida:  
5.

El rango de profundidades de los puntos de agua que constituyen la red IGME disponible no permite, para la realización de esta memoria, el ajustarse a la metodología ideal de trabajo planteada. Del mismo modo, la profundidad media del espesor saturado en la costa de la plana se sitúa en torno a los 20 m, ver Plano 2A4, por lo que trabajar con los puntos de agua indicados en la segunda alternativa de esta misma metodología, los que tomen recursos a unas profundidades próximas a la mitad del espesor saturado en la costa durante el periodo más seco (es decir unos 10 m), tampoco es posible dado que tan sólo un total de un máximo de 8 puntos, desigualmente distribuidos, cumplirían este requisito.

Se ha optado, por tanto, realizar los mapas hidroquímicos que se presentarán en esta memoria teniendo en cuenta el valor de todos los puntos de agua disponibles sin tener en cuenta su profundidad; esta solución restará algo de precisión al estudio pero ganará en representatividad dada la información con que se cuenta.

### **C) Red de control.**

Las captaciones, piezómetros, manantiales, etc., situados de forma homogénea y/o representativa, que sirven de red de control de las aguas subterráneas permitirán:

- **Medir la piezometría de la masa objeto de estudio.** De forma ideal, en una masa detrítica costera homogénea se tiene una superficie freática con un suave gradiente hacia mar que se traduce en un flujo

subterráneo subhorizontal que con frecuencia, cerca del límite de ésta con el mar, se modifica según una circulación con velocidades crecientes y aparición de componentes verticales, relativamente paralelas a la interfase agua dulce-agua salada, debido a la sucesiva menor sección de salida de los recursos hídricos de la masa costera, proceso que explica que, en algunos cordones litorales, se aprecie una cierta elevación de la superficie freática y la aparición de manantiales costeros de agua dulce. Sin embargo, en la naturaleza se dan diferentes procesos que alteran la distribución piezométrica teórica complicando su interpretación.

- **Tomar muestras de agua subterránea**, para control de la calidad química de la misma, la cual será analizada en un laboratorio homologado donde, como mínimo, se realizará el análisis de iones mayoritarios, conductividad y pH. En aquellas masas donde se sospeche la presencia de otros contaminantes se efectuarán análisis específicos.

- **Controlar la posible intrusión marina.** Durante la toma de la muestra se procurará medir "in situ" la conductividad, el pH y la temperatura; así mismo, el punto de control será del diámetro suficiente y se mantendrá libre para poder introducirse una sonda de registro continuo en el caso de ser necesario; de esta manera, se contará con información adicional de gran importancia para el estudio de la estratificación química y del flujo del agua en la masa.

#### **D) Densidad de puntos que integran la red de control.**

La densidad de puntos necesarios para la realización de un adecuado estudio hidrogeológico de una masa de agua subterránea será la necesaria para que, como mínimo, de cada 5 km<sup>2</sup> de superficie de ésta, se tenga información piezométrica, de calidad química y de intrusión marina para cada una de las tres profundidades propuestas; en aquellas zonas donde se intuyan problemas más concretos, se tratará de aumentar la densidad de los puntos que proporcionen información al respecto. Además, las medidas y muestreos se llevarán a cabo no menos de dos veces al año, en épocas seca y húmeda.

Se resalta el hecho de que, en aquellos estudios en los que el número y/o la representatividad de los puntos de control no fuese la deseable, y si la viabilidad técnica y económica del proyecto lo permitiese, se procederá a la construcción de piezómetros múltiples con rejillas situadas a diferentes profundidades que permitan estudiar tanto la estratificación vertical de las aguas subterráneas como sus flujos.

Así pues, en el caso de la Plana de Sagunto deberá plantearse la necesidad de buscar más puntos de control, o en su defecto su ejecución, especialmente con profundidades tanto de menos de 10 m como del intervalo entre los 10 y los 20 m. Dado la abundancia de captaciones en la zona, disponer de al menos 25 puntos de control homogéneamente distribuidos para cada uno de los tres rangos de profundidades propuestos en la metodología, ayudará de forma considerable a la comprensión del funcionamiento de la masa de agua subterránea.

Se debe destacar además, que el número de puntos control de la red IGME localizados medianamente cerca de la costa es prácticamente nulo, el más próximo se sitúa a unos 700 m de ésta y el resto a no menos de 1200 m, por lo que la caracterización de la intrusión salina en esta franja, a partir de las captaciones inventariadas, resultará prácticamente imposible.

Debido a la improbable presencia de suficientes perforaciones que puedan utilizarse para la red de control en las proximidades del área más litoral, ya que éstas no se construyen tan cerca del mar para evitar la intrusión de agua salina, deberá plantearse la ejecución de no menos de 10 piezómetros compuestos con rejillas independientes localizadas en los tres rangos de profundidades siguientes: a) hasta los 10 m, b) entre los 10 y los 20 y c) entre los 20 m y el muro de la masa de agua subterránea.

#### **E) Interpolación de isovalores de concentración de cloruros.**

En esta situación, para cada uno de los periodos y profundidades de trabajo propuestos en esta metodología se deberá realizar, en función de la información disponible, un mapa de distribución de isovalores de concentración del ion cloruro.

Se recuerda que se tenían, atendiendo al periodo implicado, cuatro grupos de mapas tipo a elaborar, A, B, C y D (ver Tabla nº3) y, que cada uno de ellos incluye mapas de isovalores de concentración del ion cloruro para tres profundidades diferentes: a) hasta los 10 m, b) entre los 10 y los 20 y c) entre los 20 m y el muro de la masa de agua subterránea ó, en el caso de aquellos trabajos en los que se justifique una simplificación de la metodología debido a la ausencia de información, se considerará tan sólo

una profundidad de trabajo d) equivalente a la mitad del espesor saturado medio del acuífero en la costa, medido en el periodo más seco disponible.

En el caso de la Plana de Sagunto, no se dispone de una dispersión de puntos de control de la intrusión que resulte representativa de la zona de trabajo para algunos de los periodos considerados en la metodología, por lo que se ha optado por presentar Planos más acordes con dicha metodología para aquellos años, 1974 y 2001 relativamente próximos al año de referencia (1972) y a la actualidad respectivamente, en los que existe mayor representatividad en la información disponible de la plana. Para los periodos intermedios se introducirán y comentarán Figuras complementarias.

Los procesos matemáticos que impliquen cálculos de líneas de isovalores de concentración del ion cloruro, se deberán realizar mediante el empleo del método geoestadístico de interpolación "Kriging", sobre una zona de estudio con una densidad de información que, como ya se ha indicado, no será inferior a 1 punto de control por cada 5 km<sup>2</sup> de superficie de masa de agua subterránea y, en la medida de lo posible, considerándose un mínimo de tres puntos con valores conocidos en el cálculo de la interpolación en un punto de valor desconocido.

#### **F) Cálculo del índice superficial de afección de la intrusión marina.**

En los mapas realizados de isovalores de concentración del ion cloruro para cada uno de los periodos y profundidades propuestos en esta metodología, se considerará con especial cuidado la distribución sobre la masa de la línea de isovalor correspondiente a 250 mg/L, límite de potabilidad según la Reglamentación Técnico-Sanitaria, que servirá como tope por encima del cual se considerará que se tiene iniciado un proceso de intrusión marina.

Además, sobre dichos mapas se llevará a cabo el procesado y presentación de la información disponible según las profundidades de trabajo que se adopten, las tres ideales o una sola justificada por la falta de información disponible.

*F.1.) Profundidades: a) hasta los 10 m, b) entre los 10 y los 20 y c) entre los 20 m y el muro de la masa de agua subterránea.*

Se realizarán las siguientes tareas:

- Para cada grupo de mapas tipo se calcularán tres índices ( $I_{S1}$ ,  $I_{S2}$  e  $I_{S3}$ ) expresados en tanto por ciento, uno para cada profundidad especificada, con el que se relacionará la superficie total ocupada por las posibles áreas afectadas, con concentraciones de ion cloruro igual o superior a 250 mg/L, respecto a la superficie total de la masa de agua subterránea afectada. Como ya se comentó, la superficie ocupada por la intrusión en cada periodo y profundidad dados se calculará a partir de los mapas de isovalores de concentración del ion cloruro ya realizados. Los índices ( $I_{Sn}$ ) así deducidos se utilizarán, a su vez, como criterio de clasificación del tipo de intrusión de agua marina que afecta a la masa objeto de estudio en un periodo dado.

- En la Tabla adjunta nº4 se presenta, en función de los índices ( $I_{Sn}$ ) obtenidos, la terminología y código asignado a cada tipo de intrusión marina, atendiendo al tamaño relativo de la superficie total de masa afectada, así como la leyenda de colores para las áreas ocupadas por cada uno de los tipos propuestos; dichas superficies, que quedarán limitadas por el isovalor de 250 mg/L, se colorearán según los rangos del índice ( $I_{Sn}$ ) propuestos en la Tabla nº4, y deberán ser incluidas en

tres nuevos mapas, para cada uno de los grupos de mapas tipo, que muestren la distribución de este parámetro en las tres profundidades de trabajo consideradas para el estudio de la masa de aguas subterránea en cuestión:

ÍNDICE ( $I_{sn}$ ) (%)	TIPO DE INTRUSIÓN	CÓDIGO	COLOR DE LA SUPERFICIE AFECTADA ( $[Cl^-] > 250$ mg/L)
< 5	Intrusión puntual	P	Amarillo
5 - 15	Intrusión local	L	Naranja
15 - 33	Intrusión zonal	Z	Rojo
> 33	Intrusión general	G	Morado

Tabla n°4.-Tipo de intrusión según la proporción de superficie de masa afectada.

• Finalmente, también para cada una de las tres profundidades consideradas en cada uno de los grupos de mapas de tipo, representativos de la situación de la masa en los cuatro periodos diferentes, se presentarán los correspondientes mapas de superficies afectadas atendiendo a la intensidad del proceso de intrusión, expresada en mg/L de ion cloruro, obtenida de las analíticas y/o ensayos realizados. En la Tabla adjunta n°5 se presenta la terminología y código asignado a cada proceso intrusivo, según la intensidad del mismo, para una profundidad y tiempo dados, así como la leyenda de colores para las zonas afectadas por los rangos de isoconcentración del ion cloruro indicados en la Tabla n°5.

<b>RANGO DE ISOVALORES MÁXIMOS EN [Cl<sup>-</sup>] (mg/L)</b>	<b>INTENSIDAD DE LA INTRUSIÓN</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>COLOR DE LA SUPERFICIE AFECTADA</b>
250 - 500	Intrusión baja	B	Amarillo
500 - 1.000	Intrusión moderada	M	Naranja
1.000 - 5.000	Intrusión elevada	E	Rojo
> 5.000	Intrusión muy elevada	ME	Morado

**Tabla nº5.-Tipo de intrusión según la intensidad de la afección.**

Así, cada grupo de mapas tipo de ion cloruro A, B, C y D, representativos de la situación de la masa en cuatro periodos diferentes, constará de nueve mapas: a) tres, uno para cada profundidad de trabajo, en los que se mostrará mediante el trazado de las líneas de isovalores la distribución de la concentración del ion cloruro y donde se resalte espacialmente la isolínea perteneciente a los 250 mg/L, b) tres más que mostrarán los diferentes tipos de intrusión atendiendo al tamaño relativo del total de las áreas afectadas para cada una de las profundidades de trabajo y c) tres mapas más que presentarán la intensidad de la intrusión marina también para cada una de las profundidades especificadas, los cuales representarán las diferentes superficies ocupadas por los rangos de isovalores máximos del ion cloruro indicados en la Tabla nº5.

En orden a conseguir un ahorro de trabajo, los mapas equivalentes, en cuanto a periodo y profundidad se refiere, descritos en el párrafo anterior como a) y b) podrán presentarse juntos, con lo que se reducirá el número total de mapas de nueve a seis.

*F.2.) La profundidad de trabajo equivalente a la mitad del espesor saturado medio del acuífero en la costa, medido en el periodo más seco disponible.*

En el caso de aquellos estudios en los que quede justificado el considerar, en cada uno de los grupos de mapas tipo, sólo una profundidad de trabajo equivalente a la mitad del espesor saturado medio del acuífero en la costa medido en el periodo más seco disponible, se seguirá la misma metodología de trabajo que se ha descrito en el epígrafe anterior aunque, obviamente, con la diferencia de que los planos sólo se realizarán para una única profundidad en vez de tres.

Si algún trabajo optase por tratar absolutamente todas las profundidades de trabajos propuestas en esta metodología, es decir, a) hasta los 10 m, b) entre los 10 y los 20, c) entre los 20 m y el muro de la masa de agua subterránea y d) la equivalente a la mitad del espesor saturado medio del acuífero en la costa, medido en el periodo más seco disponible, deberá comparar la diferencia de conclusiones a las que se podrían llegar en dos estudios diferentes de tal manera que uno considerase las profundidades a), b) y c) y el otro sólo considerase la profundidad d).

### **G) Cálculo del índice volumétrico de afección de la intrusión marina.**

Según la metodología explicada, la elaboración de los grupos de mapas tipo de ion cloruro, con tres profundidades de trabajo, permitirá caracterizar y conocer la evolución temporal y espacial, en 3D, de la cuña de intrusión marina en el seno de la masa de agua subterránea considerada.

De esta manera, podrá calcularse, de forma aproximada, utilizando técnicas informáticas y/o de cálculo de gabinete, el volumen de masa de agua

subterránea afectado por la intrusión marina el cual, podrá compararse con el volumen total ocupado por esa misma masa (que habrá sido calculado en fases previas del estudio hidrogeológico) y obtenerse un índice porcentual ( $I_v$ ) que relacione ambos volúmenes.

El índice ( $I_v$ ) así deducido podrá ser directamente comparado con un índice, que denominaremos ( $I_{sm}$ ), calculado como media aritmética de tres índices ( $I_{s1}$ ,  $I_{s2}$  e  $I_{s3}$ ) parciales representativos de la superficie de masa afectada por el proceso de intrusión marina en las tres profundidades de trabajo tratadas por cada grupo de mapas tipo para una fecha dada

En el caso de que ambos índices difieran de una forma considerable se deberá justificar convenientemente dicha divergencia ya que es probable que, en el caso de producirse ésta, se deba a la incorrecta selección de las profundidades de trabajo. Las conclusiones a las que lleguen los diferentes estudios hidrogeológicos que se realicen utilizando esta metodología podrán confirmar o desmentir este término y, en el caso de ser necesario, contribuirán de forma notoria al planteamiento de una mejor propuesta de profundidades de trabajo a considerar.

Obviamente, en los estudios en los que se haya optado por considerar sólo una profundidad de trabajo equivalente a la mitad del espesor saturado medio del acuífero en la costa, medido en el periodo más seco disponible, la concepción 3D de la masa se pierde y difícilmente podrán desarrollar el presente epígrafe.

### **11.3.2.2. Relaciones hidroquímicas.**

El estudio de ciertas relaciones hidroquímicas entre los iones normalmente involucrados en un proceso de intrusión marina, resulta ser un complemento ideal al estudio del ion cloruro.

#### **A) Relaciones hidroquímicas entre iones mayoritarios.**

El estudio de las relaciones hidroquímicas basadas en iones mayoritarios tiene la ventaja de que éstos son normalmente medidos en las analíticas más comunes, las cuales tienen un coste relativamente bajo que puede asumirse por la mayoría de los estudios hidrogeológicos.

El agua de mar se caracteriza por su bajo contenido en bicarbonatos, lo que motiva que la relación  $rCl/rCO_3H$ , donde  $r$  significa en meq/L, se emplee como índice cuyo rápido aumento indica un proceso de intrusión marina, puesto que las aguas contaminadas en cloruros por acciones antrópicas acostumbran a ser también bicarbonatadas; si el aumento de la concentración del ion cloruro en una zona fuera debido a una concentración de sales motivada por actividades agrícolas, la relación aumentaría de forma mucho menos importante que si la misma concentración de cloruros fuera debida a un proceso de intrusión marina. El valor de esta relación en aguas continentales presenta un rango que oscila entre 0,1 y 5 mientras que en el agua de mar lo hace entre 20 y 50.

En aguas algo salinas, el contenido en ion  $SO_4^-$  tiende a hacerse más o menos constante, por lo que relación  $rSO_4/rCl$  puede tener un interés similar a la relación  $rCl/rCO_3H$ . Sin embargo, la relación  $rSO_4/rCl$  no tiene utilidad cuando ocurre una reducción de sulfatos aunque sí que podría usarse como

detección de este proceso. En aguas poco o moderadamente salinas, la relación  $rSO_4/rCl$  puede ser similar a la de la roca acuífera y su valor tiende a permanecer constante al irse concentrando el agua. Cuando se alcanza el punto de saturación en  $SO_4^{=}$ , la relación deja de ser útil en este sentido, aunque esto sólo sucede cuando la salinidad es ya muy elevada.

Dado que el agua de mar presenta una relación  $rMg/rCa$  próxima a 5 mientras que en las continentales ésta oscila normalmente entre 0,3 y 1,5, un incremento de la concentración del ion cloruro y una alta relación  $rMg/rCa$  pueden ser unos buenos indicadores de intrusión marina.

El índice de cambio de bases (icb) queda definido mediante la relación  $rCl-r(Na+K)/rCl$ , la cual presenta un valor normalmente negativo en aguas relacionadas con áreas plutónicas, especialmente graníticas, y volcánicas. En el caso del agua de mar, el valor de esta relación toma un valor entre 1,2 y 1,3, mientras que en las salmueras que tengan una  $rCl$  superior a 500 el valor de la relación es siempre positivo. Para aguas poco salinas, el valor del icb puede ser tanto negativo como positivo y, al ir creciendo la salinidad de un agua, el valor de éste tiende a ir aumentando lentamente.

### **B) Relaciones hidroquímicas entre iones minoritarios.**

Existen, así mismo, otras posibles relaciones hidroquímicas que pueden aportar información adicional en la caracterización de una intrusión marina, sin embargo, al estar basadas en iones minoritarios, frecuentemente ausentes en las analíticas comúnmente realizadas, su aplicación práctica resulta ser mucho más restringida.

La relación  $r_{Br}/r_{Cl}$  presenta un valor próximo a  $1,7 \times 10^{-3}$  en el agua de mar, pudiendo tener valores muy dispares en las aguas continentales aunque, salvo excepciones, el ion bromuro es prácticamente inexistente en las segundas; las aguas relacionadas con rocas orgánicas marinas y de disolución de depósitos de sales pueden llegar a tener una relación sensiblemente más alta y las derivadas de salmueras residuales de lagunas la tienen menos elevada.

La relación  $r_{I}/r_{Cl}$  es bastante característica del origen de aguas salobres y salmueras; varía entre  $2 \times 10^{-6}$  y  $6 \times 10^{-8}$  en el agua marina, valores bajos debido a la fijación preferente del yodo por diversos organismos, mientras que en las aguas subterráneas acostumbran a ser mayores. Así, las rocas fosilíferas contienen aguas con la relación más elevada, mientras que las relacionadas con las rocas evaporíticas dan valores menores.

La relación  $r_{Sr}/r_{Ca}$ , presenta valores próximos a 0,014 para el agua marina y de  $10^{-3}$  para los terrenos calizos. Cuando no crece el contenido de calcio en las aguas subterráneas por haber alcanzado éste su punto de saturación, puede seguir aumentando el contenido en estroncio, creciendo así el valor de la relación, la cual se convierte así en un índice de cierto interés, aunque es necesaria cierta prudencia a la hora de interpretar los resultados a causa de la posible presencia del efecto del intercambio iónico.

### **C) Representación de los resultados obtenidos en los estudios de relaciones hidroquímicas. Mapas tipo.**

Así pues, en la caracterización hidroquímica de un proceso de intrusión marina, basada en el estudio de las relaciones hidroquímicas entre iones, se deberá:

- Considerar de forma precisa el campo de aplicación y limitaciones de cada una de las relaciones hidroquímicas comentadas.
- Obtener conclusiones a partir del uso del mayor número posible de las citadas relaciones, especialmente de las asociadas a iones mayoritarios  $rCl/rCO_3H$ ,  $rSO_4/rCl$ ,  $rMg/rCa$ , y  $rCl-r(Na+K)/rCl$ , puesto que ceñirse sólo a la información proporcionada por alguna de ellas puede inducir a error, dado que la acción enmascarada de ciertos procesos reactivos entre el agua subterránea y el sustrato pueden alterar los valores teóricos de estas relaciones.
- Comprobar la coherencia de las conclusiones obtenidas a partir de las relaciones hidroquímicas con el resto de las conclusiones obtenidas en otras fases del estudio hidrogeológico de la masa tales como la geología, mapas de isocloruros, vulnerabilidad, áreas contaminadas, etc.

Siguiendo una metodología de trabajo relativamente parecida a la llevada a cabo para la realización de los grupos de mapas tipo de ion cloruro, especialmente para las relaciones iónicas  $rCl/rCO_3H$ ,  $rSO_4/rCl$ ,  $rMg/rCa$ , y  $rCl-r(Na+K)/rCl$ , se podrán elaborar nuevos mapas tipo que ayudarán a confirmar o desmentir si las posibles concentraciones de ion cloruro detectadas en una masa de agua subterránea son debidas, total o parcialmente, o no a procesos de intrusión marina.

Así, para las mismas fechas y profundidades en las que se realizaron los diferentes mapas pertenecientes a cada uno de los grupos A, B, C y D de mapas tipo de ion cloruro, se podrán presentar los correspondientes mapas de líneas de isovalores de relaciones hidroquímicas de iones mayoritarios y,

opcionalmente, dependiendo del volumen de información disponible, también los mapas de relaciones de iones minoritarios.

Resultará entonces especialmente interesante comparar la disposición de las líneas de isovalores en ambos tipos de mapas; de esta manera, si por ejemplo, se toma como referencia la isolínea de valor de concentración de ion cloruro 250 mg/L de los mapas tipo ya realizados, valor considerado como límite superior a partir del cual se hablaría de intrusión marina, y se encuentra una línea con distribución similar en cada uno de los mapas de relaciones iónicas, podrá pensarse en que la concentración de ion cloruro en la masa de agua subterránea se debe exclusivamente al proceso de intrusión marina pero, si por el contrario, esta coincidencia no se produjera en algún lugar de la masa, se deberá pensar en que, como mínimo localmente, existe algún tipo de distorsión hidroquímica que deberá ser analizada con mayor detalle.

Por supuesto, la comparación de los mapas tipo de ion cloruro y de relaciones iónicas no se ceñirá exclusivamente a la línea de isovalor de concentración del ion cloruro equivalente a los 250 mg/L, sino a todo el conjunto de líneas que abarca la masa aunque se mostrarán, como mínimo, las isocontenidos de cloruros que delimitan los rangos indicados en la Tabla nº5. Para ello, resultará práctico superponer ambos modelos de mapas marcando con diferentes colores tanto las isolíneas que muestran información sobre la concentración del ion cloruro como las que muestran información sobre cada una de las relaciones hidroquímicas representadas; en la tabla adjunta se presenta la leyenda de colores a utilizar.

ISOVALOR	COLOR DE LA ISOLÍNEA
[Cl <sup>-</sup> ] (mg/L)	Rojo
rCl/rCO <sub>3</sub> H	Azul
rSO <sub>4</sub> /rCl	Verde
rMg/rCa	Marrón
RCl-r(Na+K)/rCl	Naranja
rBr/rCl	Amarillo
rI/rCl	Morado
rSr/rCa	Gris

Tabla n°6.-Leyenda de colores para los diferentes isovalores.

Las zonas con distorsión hidroquímica importante serán mostradas en un mapa y, al menos, se presentará una relación de las posibles causas que expliquen dichas distorsiones para cada una de las áreas afectadas.

Por tanto, a cada uno de los grupos de mapas tipo de ion cloruro ya definidos, A, B, C y D se les añadirán, como mínimo, los siguientes seis mapas: a) tres, uno para cada una de las profundidades, en los que se muestren conjuntamente la distribución de las isolíneas tanto con el contenido en ion cloruro de la masa como con los valores de las relaciones hidroquímicas utilizadas y b) si procediese, tres mapas en los que se indique, también para cada una de las profundidades, la disposición de las zonas observadas con distorsión hidroquímica.

### 11.3.2.3. Estratificación hidroquímica de las aguas subterráneas.

En aquellos puntos en los que no se haya producido homogeneización química de la columna de agua, por ejemplo, debido a que no son

sometidos a bombeos, será necesaria la ejecución, de forma generalizada en un futuro cercano, de registros continuos de conductividad, pH y temperatura para determinar la evolución vertical de hidroquímica de la masa; herramienta que ya ha demostrado su eficiencia en estudios de intrusión marina y de flujos de agua subterránea pero que, sin embargo, no es demasiado habitual en los estudios hidrogeológicos.

Como ya se ha comentado, una de las formas más directas de conocer la posición, más o menos exacta, de la interfase agua dulce-agua salada es mediante el análisis químico de muestras tomadas a diferentes profundidades en puntos de agua donde no exista ningún tipo de proceso que altere la estratificación natural del agua; sin embargo, las diferentes metodologías existentes de toma de muestras alteran fácilmente dicha estratificación natural.

Una manera eficiente de localizar la posición de la intrusión marina en una perforación, evitando la toma de muestras, consiste en efectuar un registro vertical continuo de la salinidad mediante una sonda conductivimétrica sumergible calibrada.

En este caso, sólo serán representativas de la masa de agua subterránea aquellas medidas tomadas en la zona filtrante de la perforación siempre y cuando ésta no se sitúe demasiado cerca de su fondo, lugar donde la presencia de lodos y/o sedimentos puede falsear el valor de la salinidad real.

Así mismo, se deberá trabajar con sondas que compensen el efecto de la temperatura o que, como mínimo, cuenten con registro de temperatura ya que, para una misma concentración salina, el valor de la conductividad

aumenta con la temperatura en un orden de magnitud del 2%/°C; por ello se acostumbra a trabajar con temperaturas de referencia que pueden ser 18 o 25 °C.

Los resultados obtenidos por este método se compararán especialmente tanto con los obtenidos de los estudios del ion cloruro y de las relaciones hidroquímicas como con la información litoestratigráfica disponible de la masa de agua subterránea y, en aquellas posibles situaciones en las que no exista una aparente coherencia entre ellos, se procederá, en la medida de las posibilidades, a un estudio específico del tema o, al menos, se propondrá una relación de posibles causas que puedan explicar el fenómeno.

#### **11.3.2.4. Diagramas hidroquímicos y mapas de facies hidroquímicas.**

Sin duda alguna, las técnicas gráficas constituyen una de las herramientas más potentes tanto para procesar la información hidroquímica disponible como para clasificar y comparar las muestras analizadas e ilustrar los resultados conseguidos.

Se tratará a continuación cada uno de los diagramas hidroquímicos que deberán considerarse durante la aplicación de la presente metodología.

En un diagrama de Piper (Hill-Langèlier) se pueden representar, de forma clara, varios análisis de muestras de agua de tal manera que, aquellas que sean geoquímicamente similares, queden agrupadas en áreas bien diferenciadas; además, procesos tales como las mezclas de aguas, precipitaciones, disoluciones, reducciones; cambios de base y otros fenómenos modificadores del agua, quedan reflejados.

El diagrama de Stiff modificado sólo considera el análisis de una sola muestra de agua pero son muy aptos para hacer comparaciones con ellos y a ser introducidos en los mapas hidroquímicos; permite, además, apreciar rápidamente los valores de las relaciones iónicas respecto a la unidad y la variación de las relaciones iónicas entre cationes o entre aniones.

Se realizará entonces un diagrama de Piper (Hill-Langèlier) para cada grupo de muestras disponibles de cada una de las profundidades y tiempos considerados en los grupos de mapas tipo de ion cloruro A, B, C y D ya descritos.

Posteriormente, se marcarán en los diagramas elaborados las envolventes de las principales facies hidroquímicas reconocidas y se asignará un color de relleno diferente a cada una de ellas, evitando identificar un número excesivo de facies lo que provocaría una pérdida de claridad de los diagramas.

Seguidamente, la información representada en cada uno de los diagramas se plasmará en un mapa en el que se mostrará la localización y codificación de los puntos de agua en los que se tomaron las muestras de agua analizadas y se indicará, con los mismos colores utilizados en los diagramas, la distribución zonal de las facies reconocidas.

Finalmente, se añadirán a esos mismos mapas una serie de diagramas de Stiff modificado homogéneamente distribuidos y/o ilustrando las hidroquímicas puntuales más representativas de la masa de agua subterránea.

Las conclusiones que se desprendan de este apartado deberán ser coherentes con las obtenidas en los previos; cualquier desavenencia que apareciera será comentada y, en la medida de lo posible, justificada.

En general, las aguas subterráneas con circulación regional tienden a ir aumentando su mineralización hasta irse saturando en los diferentes iones. De forma resumida se puede decir que, salvo no pocas excepciones, se tiende a que primero se produzca, entre los aniones, la saturación del  $\text{CO}_3\text{H}^-$  incluso ya desde la infiltración, posteriormente, la saturación se produce en el  $\text{SO}_4^-$  y, finalmente, las aguas subterráneas se van concentrando en  $\text{Cl}^-$  aunque muy extrañamente se llega a su saturación. Entre los cationes primero satura el  $\text{Ca}^{2+}$ , seguidamente, aunque más difícilmente el ion,  $\text{Mg}^{2+}$  y, finalmente, el  $\text{Na}^+$  difícilmente llega a saturarse.

Sin embargo, como ya se ha comentado, esta tendencia puede verse alterada por diversos motivos:

- Se ha supuesto que en el agua infiltrada dominan los iones  $\text{CO}_3\text{H}^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , cosa no necesariamente cierta, y entonces puede empezarse la secuencia desde posiciones más avanzadas o sufrir un retroceso para luego retomar la tendencia general.
- Si el medio es fuertemente reductor se puede tener una reducción bacteriana del  $\text{SO}_4^-$  mucho más rápida que su disolución en cuyo caso, este ion se encontrará en una muy pequeña cantidad.
- Si en la masa se tiene un aporte de  $\text{CO}_2$ , el contenido en  $\text{CO}_3\text{H}^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$  puede aumentar aunque siempre de forma limitada.

- Al ir aumentando la concentración de sales del agua subterránea, aumenta también su fuerza iónica y, por lo tanto, las solubilidades se van aumentando ligeramente; de esta manera, los iones que antes saturaban pueden aumentar ligeramente su concentración.
- Los cambios de base pueden alterar la evolución de los cationes, tanto en la relación alcalinos y alcalinotérreos como también entre el  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{Mg}^{2+}$ .

Las aguas subterráneas de la masa de agua de la Plana de Sagunto, en régimen no influenciado, se caracterizaban por presentar, principalmente, una facies hidroquímica del tipo sulfatada cálcico-magnésica, con ciertas tendencias bicarbonatadas en aquellos lugares más próximos al sector Oeste de la plana, relacionado con los aportes subterráneos procedentes de las sierras interiores, mientras que la franja más litoral presenta términos algo más clorurados. A medida que la explotación y el estrés sobre la masa han sido más importantes, la influencia de las facies cloruradas ha aumentado sensiblemente, tanto en distribución geográfica como en concentración del ion  $\text{Cl}^-$ .

#### **11.3.2.5. Geofísica de superficie.**

Tanto en aquellos lugares donde el volumen de información recopilada a partir de los puntos de agua disponibles sea escaso como en los que existe una mayor cantidad de datos, la combinación de diferentes técnicas geofísicas de superficie resulta ser un complemento importante, y relativamente asequible, que debe tenerse muy en cuenta.

En especial, se destaca el uso conjunto de las técnicas de calicteo electromagnético y de tomografía eléctrica para conseguir estimar la posición de la interfase agua dulce-agua salada, dado el fuerte contraste de comportamiento que tiene lugar entre ambos tipos de aguas ante un estímulo electromagnético.

Los resultados obtenidos mediante el uso de las citadas técnicas se mostrarán en forma de mapas que, en la medida de lo posible, se realizarán para las mismas profundidades que los de los grupos de mapas tipo de ion cloruro, por lo que la comparación entre ambas representaciones se podrá hacer de forma directa.

#### **11.3.2.6. Medida de la piezometría.**

De forma ideal, en una masa detrítica costera homogénea se tiene una superficie freática con un suave gradiente hacia mar que se traduce en un flujo subterráneo subhorizontal que con frecuencia, cerca del límite de ésta con el mar, se modifica según una circulación con velocidades crecientes y aparición de componentes verticales, relativamente paralelas a la interfase agua dulce-agua salada, debido a la sucesiva menor sección de salida de los recursos hídricos de la masa costera, proceso que explica que, en algunos cordones litorales, se aprecie una cierta elevación de la superficie freática y la aparición de manantiales costeros de agua dulce.

Sin embargo, los niveles reales observados en la naturaleza pueden complicarse enormemente, tanto en el espacio como en el tiempo, debido a diversas causas:

- Los diferentes procesos de recarga de recursos hídricos que tienen lugar a partir de la superficie topográfica de la masa, tales como la infiltración de: a) agua de lluvia, b) excedentes de regadío, c) aguas superficiales procedentes de lagos, embalses, ríos, barrancos, zonas húmedas, etc. y d) pérdidas de obras antrópicas, pueden provocar en la morfología de la superficie freática, como mínimo localmente, una cierta elevación o convexidad.

- Alrededor de las captaciones por donde se extraen o inyectan cantidades relativamente importantes de recursos hídricos se generarán también distorsiones cónicas, de mayor o menor tamaño, en la morfología de la superficie freática y la aparición de flujos radiales independientes del flujo subterráneo general de la masa.

- Estratigráficamente, las masas litorales detríticas acostumbran a estar constituidas por niveles relativamente groseros y permeables, de extensión y potencia limitada, incluidos en una matriz fina de relativa baja permeabilidad que limita a zonas muy concretas la conexión hidráulica, normalmente vertical, entre los materiales más groseros. Así, se tiene una masa de aguas subterráneas multicapa en el que cada nivel acuífero puede presentar una piezometría diferente complicando, de forma muy importante, la interpretación del funcionamiento hidrogeológico general de la masa en cuestión; dependiendo del nivel o niveles atravesados por las perforaciones que se utilicen en la red de control, la información piezométrica obtenida de ellos podría indicar ciertas anomalías en algunas zonas.

- Al tratarse de masas de aguas subterráneas con niveles acuíferos muy superficiales que se recargan, en gran medida, a partir de procesos que tienen lugar sobre la superficie topográfica, la temporalidad de dichos procesos puede motivar variaciones importantes tanto en el nivel freático como de su morfología.

Dado que las características hidrogeológicas locales juegan un papel dominante en la disposición de la piezometría de la masa resulta preciso estudiar en detalle la naturaleza y estructura de los sedimentos que la integran. La geometría tridimensional y naturaleza del subsuelo deberán ser conocidas lo mejor posible mediante la ejecución de sondeos con recuperación de testigo, diagráfias y prospecciones geofísicas de superficie.

Además, el estudio del funcionamiento hidráulico y de la calidad de las masas requerirá de tubos piezométricos y de muestreo con rejillas localizadas a diferentes profundidades que deben permitir el estudio individualizado de los diferentes tramos acuíferos, acuícludos y acuitardos que se disponen en la vertical del punto de control. Los trabajos que comportan esta parte de la metodología permiten el estudio del flujo subterráneo no sólo en el plano horizontal sino también en el vertical, el cual, juega un importante papel, como mínimo, en las proximidades de las zonas húmedas con cierta dependencia de las aguas subterráneas. La recopilación de los parámetros hidráulicos, calculados a partir de ensayos de bombeo realizados tanto en los puntos de agua ya disponibles como en los nuevos puntos que pudieran ejecutarse, complementaría de forma significativa el estudio de funcionamiento hidráulico.

Para que la metodología descrita pueda aplicarse de forma adecuada, se deberá contar con la información hidrogeológica y piezométrica especificada para, como mínimo, cada 5 km<sup>2</sup> de superficie de la masa. Lamentablemente, en la mayoría de los estudios hidrogeológicos que se realizan, la densidad de información disponible dista mucho de ser la deseable, por lo que se considera necesario que las Administraciones Públicas con competencias en la materia deberían realizar inversiones encaminadas a solventar dicha falta de información.

#### **11.3.2.7. Modelos matemáticos.**

Los modelos matemáticos orientados a estudiar procesos de intrusión marina deben superar las dificultades que suponen tanto simular el comportamiento de dos líquidos diferentes y miscibles como, en especial, la simulación de la interfase.

Afortunadamente, cada vez se van haciendo más asequibles paquetes informáticos que permiten modelar diferentes contextos hidrogeológicos, entre los que se incluye el tratamiento conjunto de diversos líquidos con diferentes densidades y, en ocasiones, temperaturas.

El uso de los modelos matemáticos ayudará a corroborar o no el modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico de una masa de agua subterránea; en caso afirmativo, esta herramienta puede tener, además, un destacado papel en la eficaz gestión de dicha masa, pues permitirá conocer el probable comportamiento de ésta ante cualquier variación de alguno/os de los términos de su balance hídrico y/o ante la modificación de la calidad química de los mismos.

#### **11.4. PLANA DE SAGUNTO.**

La bibliografía consultada para la redacción de este capítulo ha sido la siguiente: IGME-EPTISA (1981), IGME (1986 b y c), CHJ (1988), AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990), TEYGE, S.A. (1990) y CHJ-AQUATEC (2001). Además, parte de la información adicional disponible en este sentido, procede de las fichas de inventario elaboradas tanto por el IGME como por TEYGE, S.A.

Se seguirá aceptando el convenio, no estrictamente correcto, consistente en considerar la información disponible tomada en la década de los setenta, como la representativa del régimen natural y que constituirá el referente para las informaciones y conclusiones obtenidas en épocas posteriores, las cuales serán consideradas como representativas de la evolución del sistema en régimen influenciado.

##### **11.4.1. CALIDAD QUÍMICA DE REFERENCIA.**

Como podrá apreciarse durante la redacción de todo este epígrafe, la disposición de los puntos de agua desde donde se tomaron las primeras muestras de recursos hídricos subterráneos en la Plana de Sagunto para ser analizados por parte del IGME durante el año 1972 (año de referencia), se concentraban básicamente en la mitad septentrional de la masa.

##### **11.4.1.1. Mapa de diagramas Stiff.**

En el Plano 6A se ha representado la distribución de las perforaciones objeto de muestreo en el mes de junio del año 1972 y, junto a ellas, se ha trazado su correspondiente diagrama de Stiff modificado.

De la observación de dicho Plano se desprende que:

- Los cationes calcio y magnesio son los más abundantes en las aguas subterráneas de la masa de agua de la Plana de Sagunto.
- El ion sulfato es claramente el anión más abundante en las muestras de agua consideradas.
- Salvo en la zona situada al Sur de la población de Faura, donde parece que se daba una cierta anomalía hidroquímica probablemente debida a causas antrópicas, parece que existía una tendencia a que las aguas subterráneas de la plana se iban mineralizando a medida que se acercaban a la costa. Por el contrario las aguas menos mineralizadas tenían tendencia a situarse en las proximidades del límite occidental de la masa, ya que se trata de los recursos subterráneos, de relativa alta calidad, procedentes de los acuíferos situados en las sierras interiores.
- La mineralización de las aguas subterráneas de la zona más meridional de la Plana de Castellón era muy alta respecto a la detectada en los recursos hídricos de la Plana de Sagunto, por lo que el límite entre ambas masas puede constituir una zona de paso de aguas de baja calidad desde la primera a la segunda.

#### **11.4.1.2. Ion cloruro.**

En el Plano 6B1A se presenta el mapa de distribución de isoconcentraciones del ion cloruro realizado a partir de los resultados de los primeros análisis disponibles llevados a cabo durante el año 1972, año de referencia, concretamente los pertenecientes al mes de junio.

Como ya se había comentado en apartados anteriores, la representatividad de los datos hidroquímicos disponibles para la redacción de esta memoria es deficiente para algunos de los periodos incluidos en la metodología de trabajo desarrollada en el epígrafe "*11.3. Metodología para la caracterización de intrusiones marinas*". Dicha deficiencia afecta, tal y como se irá apreciando a lo largo del desarrollo del presente capítulo, no sólo a la distribución geográfica y temporalidad de la información, sino también al número de muestras y mediciones realizadas.

Del análisis de Plano 6B1A se desprenden las siguientes conclusiones:

- Existía una tendencia general a producirse un aumento gradual de la salinidad a medida que se está más cerca de la costa, especialmente hacia la zona situada al Norte de la población de Canet de Berenguer, probablemente debido al aumento de las explotaciones en este sector para satisfacer la demanda turística.
- Sin embargo, los valores de concentración de ion cloruro se producían en el área situada más al Noreste de la masa y que puede justificarse por la entrada de aguas subterráneas de baja calidad procedentes de la masa de agua subterránea de la Plana de Castellón.
- Finalmente, se ha detectado una cierta anomalía en la concentración de cloruros de las aguas subterráneas en el sector localizado inmediatamente al Sur de la población de Faura. El estudio de la evolución de este ion demuestra que dicha perturbación continuó hasta, como mínimo, el año 1977 y puede ser debida a algún tipo de acción antrópica no determinada. En el Plano 6A puede apreciarse

como, en esa misma zona, el punto de agua 80089 presentaba una mineralización algo superior a la de los puntos que le rodeaban.

Los primeros datos representativos de toda la extensión de la plana referidos a la concentración del ion cloruro en sus aguas subterráneas datan del mes de septiembre del año 1974 y se ilustran en los Planos 6B1B y 6B1C; en el primero de ellos puede comprobarse como, ya en esta fecha, podía hablarse de un proceso de "intrusión general" de acuerdo con la terminología tratada en el epígrafe "*11.3. Metodología para la caracterización de intrusiones marinas*", puesto que se tenían concentraciones de ion cloruro en las aguas subterráneas superiores a los 250 mg/L en el 36,2% de la superficie de la masa. Así mismo, en el segundo Plano, considerando también la misma metodología comentada, puede apreciarse como el proceso de intrusión adquirió una "intensidad elevada" en el 3,7% de la superficie de la masa, concretamente en las proximidades de la población del Puerto de Sagunto, debido al incremento de los bombeos para uso industrial, y en el extremo Noreste de la plana, debido a la ya comentada entrada subterránea de recursos de baja calidad procedentes de la Plana de Castellón.

En los Planos 6B1B y 6B1C puede apreciarse además que:

- La distribución de valores de concentración del ion cloruro en el año 1977 era relativamente parecida a la conocida del año 1974; sin embargo, se aprecian diferencias relativamente notorias entre las isolíneas trazadas en ambos mapas en buena parte de la mitad septentrional de la plana, circunstancia que probablemente se atribuye al hecho de haberse utilizado series de puntos de agua diferentes para

la elaboración de cada uno de ellos que afectan, por tanto, directamente en el proceso de interpolación de las isólineas.

- En la mitad inferior de la plana, la isólinea de 250 mg/L englobaba una parte importante del sector entonces más explotado de la masa, comprendido entre las poblaciones de Puçol y de El Puerto de Sagunto.

Además, a partir del inventario de puntos de agua realizado también por el IGME en la Plana de Sagunto durante la década de los setenta, se ha realizado otra Figura adicional que trata de caracterizar la situación hidroquímica de la masa de agua subterránea durante este periodo de referencia.

Con dicha información, se procedió a elaborar el mapa de isocloruros mostrado en la Figura nº8 para el mes de enero del año 1977. Se debe decir que el número de puntos de agua controlados, en la fecha indicada, en los sectores Sur y Noroccidental de la plana fue nulo o muy escaso respectivamente; de aquí la ausencia de isólineas en el sector Sur y la baja densidad de las mismas en el Noroccidental.

En la Figura nº8 pueden destacarse las siguientes circunstancias:

- El sector con mayor concentración de isocloruros se seguía localizando entre las poblaciones de Puçol y El Puerto de Sagunto, lugar donde se producían las extracciones más importantes de los recursos subterráneos de la plana, pareciendo que los valores de concentración del ion cloruro se mantenían más o menos constantes

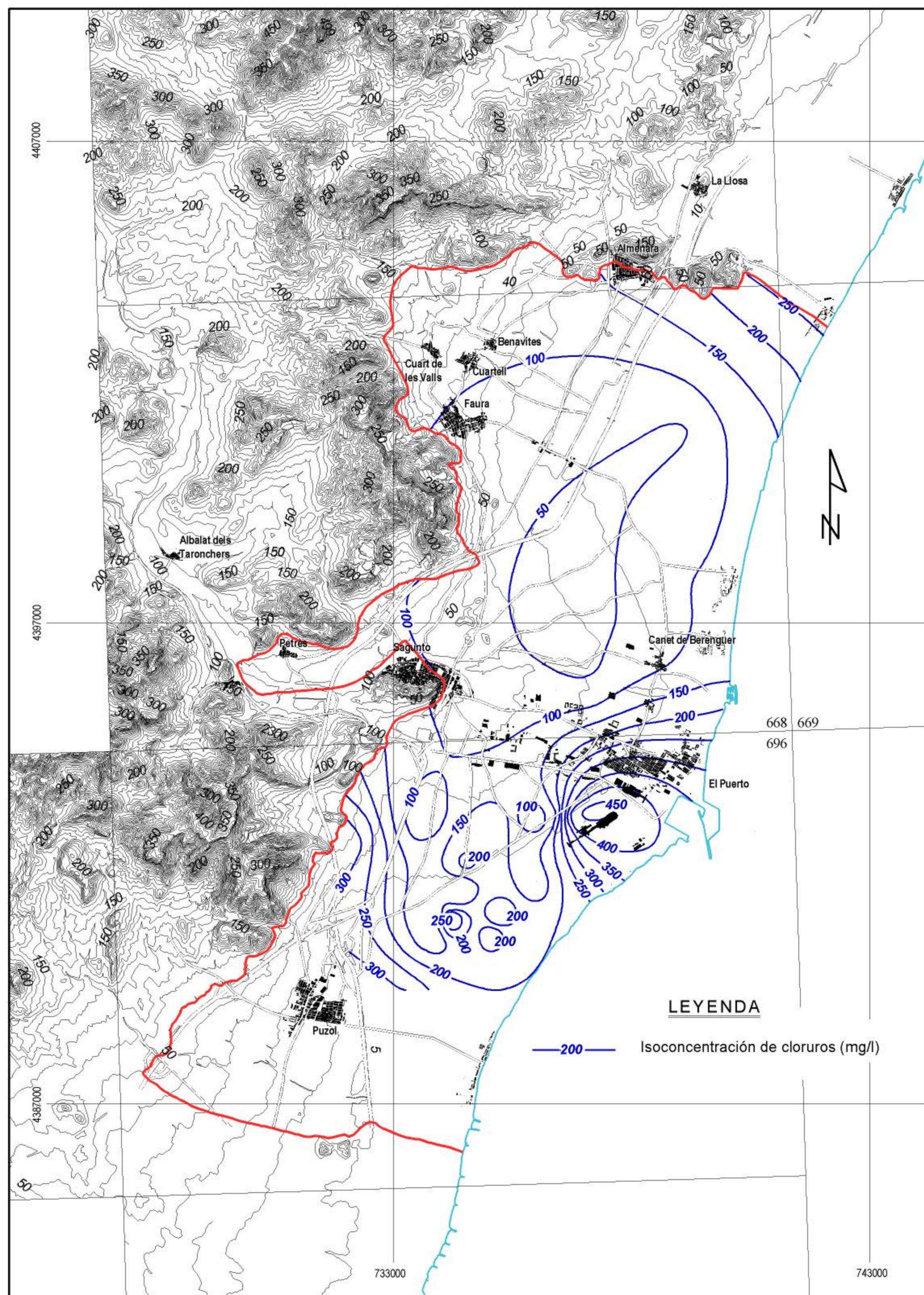
salvo en la población de El Puerto de Sagunto donde se aprecia una cierta mejoría.

- Por el límite más Nororiental de la masa de agua subterránea también se encontraban valores anómalos en los contenidos en cloruros que podrían indicar entrada subterránea de agua de peor calidad desde la Plana de Castellón, aunque en menor cantidad y/o con mejor calidad que en los años anteriores.

- La diferente distribución de líneas de isoconcentraciones de cloruros en la mayor parte de la mitad Norte de la masa respecto a los mapas elaborados para años anteriores vuelve a obedecer, probablemente, a la escasez de puntos de interpolación utilizados. Sorprende, no obstante, la aparente baja salinidad del centro de la mitad septentrional de la plana, también respecto a los años anteriores, y que podría responder a un mayor aporte, por transferencia lateral desde los acuíferos dispuestos en las sierras interiores, y/o a una disminución de las extracciones en la zona por tratarse de una situación acontecida en el mes de enero, mucho más húmedo que los meses de junio y septiembre, tiempos en los que se elaboraron los anteriores mapas tratados.

#### **11.4.1.3. Conductividad.**

En el Plano 6B2 se muestra la distribución de la conductividad para el mes de junio del año 1972, la misma fecha en que se realizaron los Planos 6B1A y 6B4 (el cual se presentará en el epígrafe "*11.4.1.6. Ion sulfato*") orientados a mostrar las isoconcentraciones del ion cloruro y del ion sulfato respectivamente. Además, los tres mapas se han elaborado a partir de las



Escala: 1/75.000

Fig. nº 8.- Mapa de isocloruros de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto para enero de 1.977. Fuente: Inventario IGME.

analíticas realizadas por el IGME en exactamente los mismos puntos de agua.

Así de la comparación de los Planos 6B1A, 6B2 y 6B4 se concluye que la distribución de isolíneas es prácticamente idéntica en todos ellos existiendo, por tanto, una relación directa entre el contenido en los iones cloruro y sulfato con la conductividad, no existiendo otra sustancia que, como mínimo de forma general, afecte a la citada relación.

#### **11.4.1.4. Ion nitrato.**

Se presenta el Plano 6B3 en el que se muestra la distribución de las concentraciones de nitratos para el mes de septiembre del año 1973, primera fecha para la que se disponen analíticas de este ion aunque, como puede comprobarse, sólo existe información de calidad en el sector central de la masa. De este mapa se desprende que:

- El lecho del río Palancia constituía una zona en donde se producía, como mínimo de forma temporal, la infiltración de parte de sus recursos hídricos superficiales, los cuales presentaban concentraciones en ion nitrato sensiblemente menores a los de la masa subterránea de la Plana de Sagunto contaminados por la intensa actividad agrícola que se desarrollaba en su superficie. De esta manera, en puntos cada vez más alejados del río las concentraciones de las aguas subterráneas eran mayores pues están menos diluidas por las aguas, relativamente limpias, infiltradas desde el Palancia.
- La influencia del río Palancia también es apreciable en los Planos 6B1A y 6B1B en los que se mostraba la distribución de

concentraciones de cloruros, aunque no en el resto de mapas presentados en referencia a este mismo ion, hecho que se explica, probablemente, por el déficit de medidas en ese sector.

- Ya a principios de los años setenta se superaba con frecuencia la concentración de nitratos disueltos en el agua permitida, para el consumo humano, por la Reglamentación Técnico-Sanitaria, fijada en 50 mg/L.

#### **11.4.1.5. Ion sulfato.**

Seguidamente, se presenta el Plano 6B4 en el que se muestra la distribución de las concentraciones del ion sulfato para el mes de junio del año 1972. Como puede comprobarse, tal y como también sucedía con el ion cloruro, para esas fechas sólo existe información de calidad en el sector meridional de la masa. De este Plano se puede desprender que:

- La casi total coincidencia en la distribución de las isolíneas con los mapas elaborados, para esa misma fecha y con los mismos puntos de agua, para el estudio del ion cloruro y de la conductividad (Planos 6B1A y 6B2) existiendo, por tanto, una estrecha relación entre ellos.
- Parece confirmarse la hipótesis de una entrada lateral subterránea de recursos hídricos contaminados desde la Plana de Castellón a través del límite más Nororiental de la Plana de Sagunto.
- Las zonas próximas al lecho del río Palancia presentan ciertas morfologías y valores relativamente bajos de concentración de ion sulfato, que podrían corroborar el ya comentado proceso de dilución de los recursos subterráneos en este sector a partir de los volúmenes

infiltrados desde el lecho del río, tal y como también se apreciaba en los Planos 6B1B, 6B1C, 6B2 y 6B3.

#### **11.4.1.6. Ion bicarbonato.**

En el Plano 6B5 se muestra la distribución de las concentraciones medidas en la Plana de Sagunto también en el mes de junio del año 1972.

De la observación de dicho Plano se desprende que la esperada distribución de isolíneas, consistente en términos más bicarbonatados cerca de las sierras interiores que se van sulfatando-clorurando hacia la costa, se ve truncada por el hecho de tener un máximo de concentraciones de este ion dispuesto entre el Sureste de la población de Faura y el Norte de la población de Canet de Berenguer; existen dos posibilidades que podrían explicar esta circunstancia:

- La primera posibilidad consiste en que el agua utilizada para el regadío de esta zona procediera de fuera de la plana, concretamente del río Palancia, más bicarbonatado tras su paso por las sierras interiores y derivada por la C.R. Acequia Real de Sagunto a partir de la población de Sot de Ferrer hacia las zonas de cultivo.
- La segunda posibilidad consistiría en la existencia de una zona preferente de drenaje de la Plana de Sagunto que transportaría con mayor facilidad hacia el mar los recursos hídricos bicarbonatados procedentes de los acuíferos que se disponen sobre las sierras interiores y que limitan lateralmente a la masa estudiada.

#### **11.4.1.7. Mapa de facies hidroquímicas.**

Con las analíticas realizadas de las muestras de agua disponibles en el mes de junio del año 1972, se ha realizado la Figura nº9 en la que se representa un diagrama de Piper que ha permitido determinar la facies hidroquímica de cada una de las muestras consideradas en la mitad Septentrional de la Plana de Sagunto.

De esta manera, se ha podido deducir que la facies hidroquímica de los recursos hídricos de la plana era básicamente sulfatada cálcica-magnésica, en algunos casos, con tintes bicarbonatados y clorurados.

En el Plano 6B6 puede apreciarse la distribución de los puntos de agua de los que se obtuvo muestra y la facies hidroquímica de cada una de ellas.

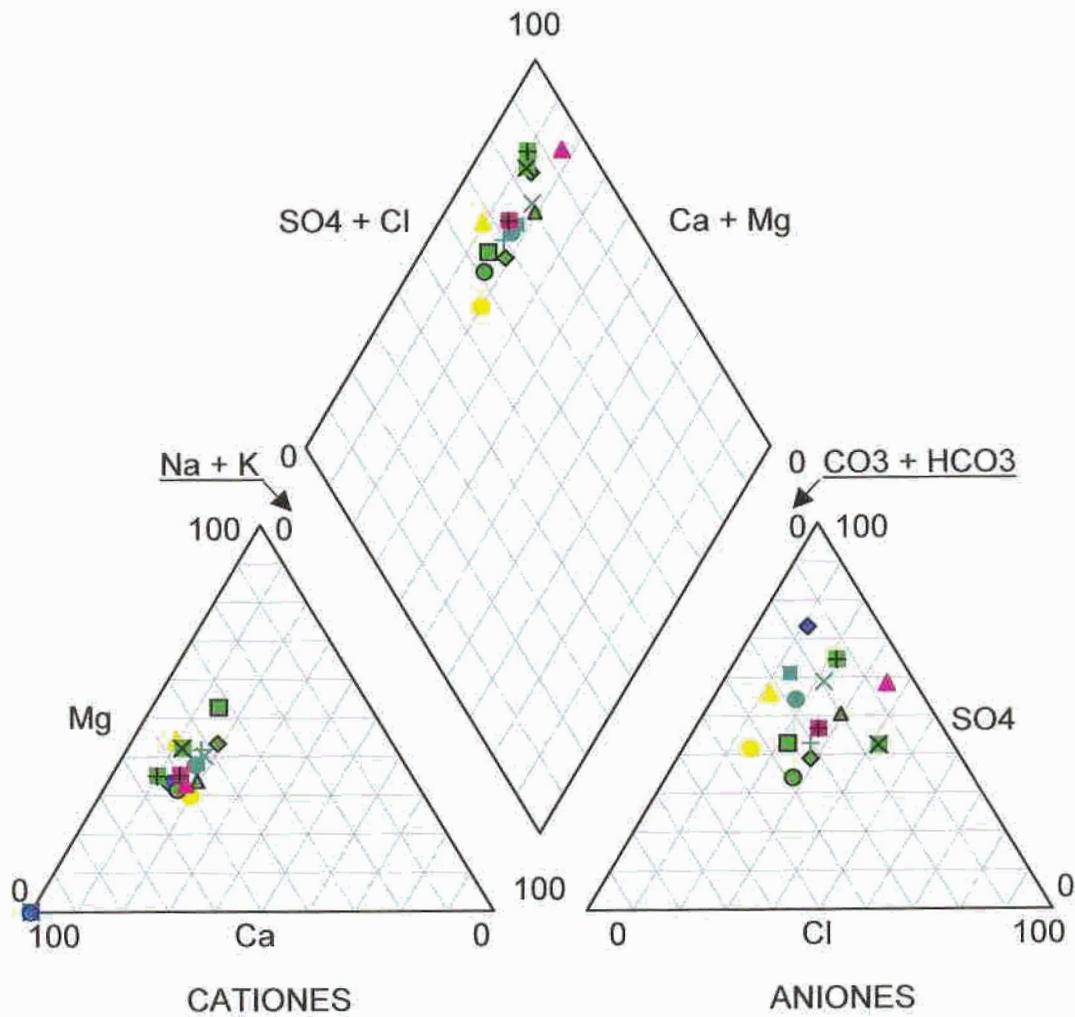
#### **11.4.2. EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

En IGME-EPTISA (1981), las analíticas de las muestras de agua tomadas en los materiales pliocuaternarios localizados en la franja más septentrional de la plana denotaron una facies hidroquímica sulfatada cálcica-magnésica, muy similar a la del acuífero calizo-dolomítico del Muschelkalk en el área de Les Valls, donde el acuífero detrítico recibe la mayor parte de los aportes.

En este sector, no sólo no había indicios de intrusión salina, sino que incluso se daba un mínimo de contenido en ion cloruro en las proximidades de la costa que se explicaba por su baja transmisividad y por la reducida explotación existente cerca de la misma.

## DIAGRAMA DE PIPER

Facies hidroquímica (Junio 1.972)



● 292640013	◆ 292670009	▲ 292670017	■ 292680002	× 292680009
+ 292680015	● 292680021	◆ 292680041	■ 292680073	▲ 292680083
× 292680089	■ 292680096	● 292680110	■ 292740020	▲ 302650005

**Fig. n°9.-Facies hidroquímica de las muestras analizadas en junio de 1.972. Fuente: Inventario IGME.**

El acuífero triásico aflorante en el límite Norte de la plana presentaba facies sulfatada calcica-magnésica con progresivo enriquecimiento en NaCl a medida que el agua circulaba hacia el mar, alcanzándose el máximo en el manantial Font d'Almenara, con un contenido en cloruros de 220 mg/L. El origen de este enriquecimiento era atribuible a la existencia de un fenómeno de intrusión salina a través de su contacto con los materiales detríticos más permeables situados al Norte de dichos afloramientos triásicos, pertenecientes a la masa de agua subterránea de la Plana de Castellón, donde el efecto de la intrusión marina estaba mucho más desarrollado.

Finalmente, en este mismo trabajo se resaltaba el alto contenido en sulfatos observables en l'Estany d'Almenara, mayores que los observados en el acuífero triásico, aunque no se daba una explicación concluyente a esta observación.

En IGME (1986 b) se consideraba que el estado de la plana, desde un punto de vista de salinización de sus aguas subterráneas, se caracterizaba por la existencia de tres zonas bien diferenciadas: una central, perteneciente al término municipal de Sagunto, que presentaba gravísimos problemas de calidad por intrusión marina, y dos zonas adyacentes que interesaban respectivamente a los sectores septentrional y meridional de dicho término, así como a los de Benavites, Almenara y Puçol, en los cuales la salinización de las aguas no era entonces preocupante.

Según ese mismo autor, esta situación era consecuencia lógica de la morfología de la superficie piezométrica, caracterizada por la existencia de numerosas depresiones en la zona más afectada por el proceso de intrusión marina, donde el nivel piezométrico se encontraba frecuentemente bajo el

nivel del mar en tanto que, al Norte y Sur de la misma, la piezometría era normalmente positiva, por lo que se solía mantener el gradiente hacia el mar.

La intrusión de agua marina quedaba entonces restringida a un amplio frente situado en el área de influencia del delta del río Palancia.

Este esquema de funcionamiento hidráulico era también debido a la confluencia de dos factores: **a)** la alimentación subterránea procedente de la masa de agua mesozoica del interior y **b)** la desigual disponibilidad de aguas superficiales para la dotación de regadíos.

En lo que a la alimentación lateral respecta, ésta era especialmente importante en los sectores de Les Valls y de Puçol; en éste último además de la procedencia mesozoica debía destacarse la de la Plana de Valencia.

Por su parte, los regadíos con agua superficial sólo eran importantes en el término de Puçol, en donde se regaba con aguas de la Acequia de Moncada (procedente del Turia), lo que propiciaba una menor densidad de captaciones y unas entradas adicionales al acuífero en concepto de infiltración de excedentes de regadío, en tanto que en el resto de la plana, a pesar de estar cubierta por la red de acequias con recursos procedentes del río Palancia (Acequia Mayor de Sagunto) y de la Font de Quart, tenía que satisfacer la mayor parte de su demanda mediante fuertes extracciones. El hecho de que éstas no provocasen problemas importantes de intrusión en el sector de Les Valls era debido a las importantes entradas laterales subterráneas que en estos sectores se producían y, quizás, debido también al papel que jugaban el Marjal d'Almenara, que durante los meses invernales solía tener las "golas" de drenaje cerradas para elevar el nivel en

la misma, en tanto que recibía aportes superficiales importantes provenientes de los sobrantes de los manantiales Font de Quart y Font de la Llosa, así como escorrentía superficial, por lo que su funcionamiento durante los años húmedos era, en cierto modo, asimilable al de una gran balsa de recarga.

Lamentablemente, el modelo matemático elaborado por IGME (1986 b) no ofrece información sobre la concentración salina de las aguas subterráneas de la masa.

En IGME (1986 c) y CHJ (1988) ya se declaró abiertamente que la calidad química de las aguas subterráneas en la Plana de Sagunto se encontraba muy degradada por factores antrópicos, siendo no apta para el consumo humano en muchos puntos y aceptable para el regadío salvo la procedente de zonas litorales salinizadas.

El agua presentaba, en las zonas interiores, una facies sulfatada cálcica o cálcico-magnésica, que hacia el litoral evoluciona a facies clorurada sódica o cálcico-sódica. La mineralización de las aguas era normalmente muy elevada y variaba entre los siguientes márgenes:

Magnesio	50-130 mg/L
Calcio	140-500 mg/L
Sodio	24-120 mg/L
Cloruros	45-2.400 mg/L
Sulfatos	170-650 mg/L
Bicarbonatos	200-335 mg/L
Nitratos	20-135 mg/L
Residuo seco	1100-5120 mg/L

Desde el punto de vista químico, IGME (1986 c) también diferenciaba claramente dos grandes áreas:

- La primera, limitada aproximadamente entre los paralelos de Almenara y Canet de Berenguer, se caracteriza por un contenido salino moderadamente bajo (entre 1000 mg/L y 1500 mg/L).
- La segunda, que abarcaba el resto de la plana, en cambio, se caracterizaba por una mineralización del agua muy alta, superándose ampliamente, en la inmensa mayoría de los puntos, los límites máximos de potabilidad en alguno de los componentes químicos, especialmente en el sector del Polígono Industrial de Sagunto, con residuo seco superior a 5000 mg/L.

La facies clorurada sódica era dominante en todo el litoral y en esporádicas zonas del interior, como en el Sureste de Faura, provocada por la formación de domos salinos en zonas con fuertes extracciones. El sector más afectado por la intrusión marina correspondía a la franja situada entre el Polígono Industrial de Sagunto y el límite Norte del término municipal de Puçol, donde existen puntos acuíferos cuyas aguas presentaban concentraciones en ion cloruro superiores a 2000 mg/L.

La evolución de la calidad de las aguas subterráneas, desde el año 1974 hasta el 1986, se efectuó en el sentido de un progresivo incremento de su contenido iónico, que abarcaba la práctica totalidad de los parámetros observados, aunque de manera particularmente intensa en el caso de los cloruros, nitratos y sulfatos.

La calidad de las aguas subterráneas utilizadas en abastecimientos urbanos era muy deficiente, ya que son frecuentes los puntos acuíferos destinados a tal fin en donde se sobrepasaban en varios elementos los límites de potabilidad fijados por la Reglamentación Técnico-Sanitaria.

Así, en Canet de Berenguer se superaban los límites de potabilidad en el contenido en nitratos (112 mg/L), magnesio (94 mg/L), calcio (27,6 mg/L) y residuo seco (1850 mg/L). Estas cifras se refieren al año 1985 y en el caso de, los tres últimos parámetros suponían un incremento próximo al 80% con respecto a las concentraciones del año anterior. En contraposición, el contenido de nitratos suponía una apreciable reducción con respecto a la existente en 1981 (163 mg/L).

En Benavites se observaba un aumento progresivo de un año para otro del contenido iónico de las aguas. En el análisis del año 1985, se superaba el límite de potabilidad en lo que respecta a sulfatos (470 mg/L), nitratos (120 mg/L) y magnesio (51 mg/L). En el abastecimiento a Puçol se superaba habitualmente el límite de potabilidad también de los tres iones citados.

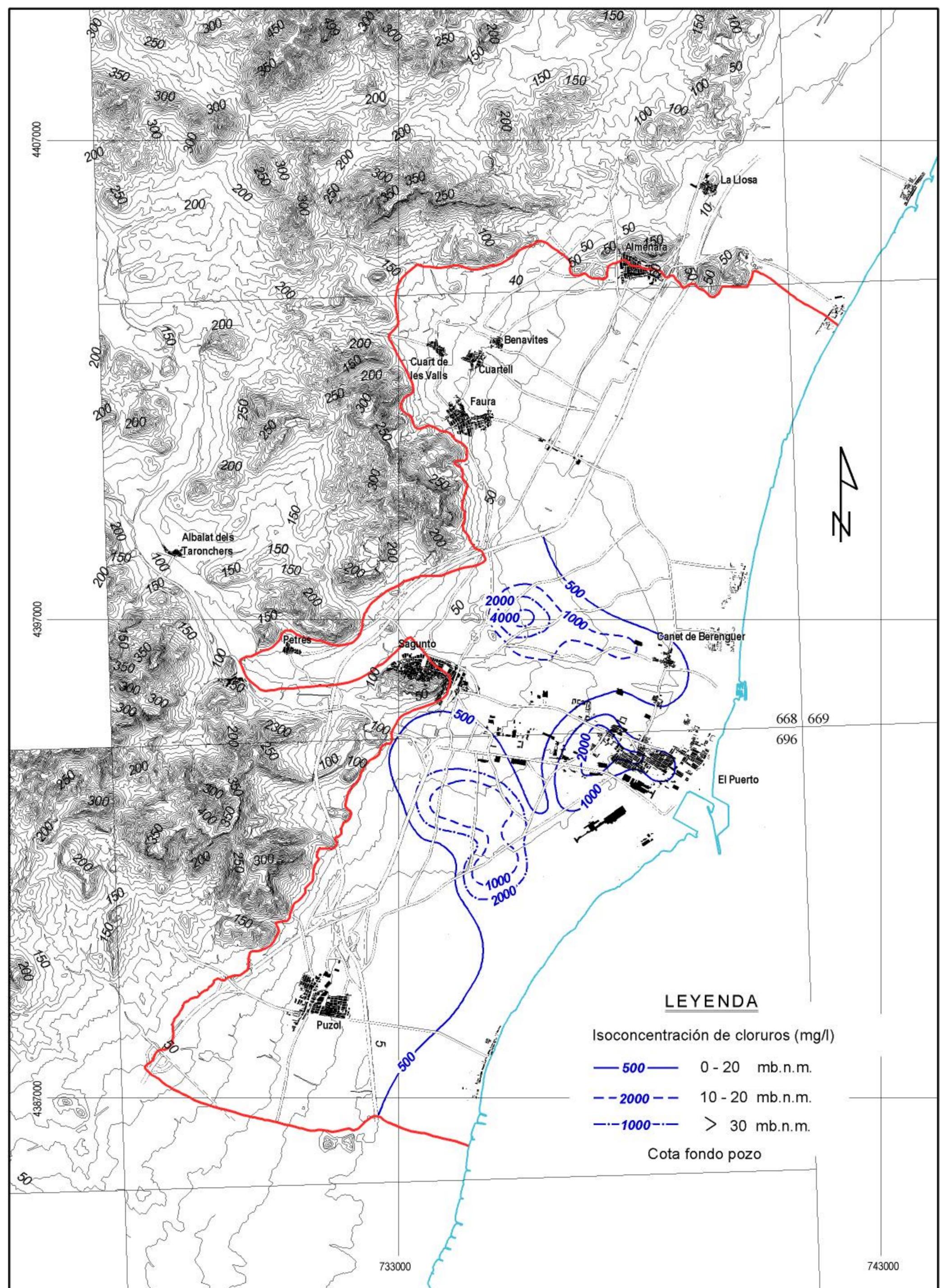
La presencia de nitritos, amoníaco, materia orgánica y metales pesados está restringida a eventuales apariciones, normalmente a nivel de trazas. No obstante, ocasionalmente se ha superado el límite de potabilidad respecto al contenido en plomo, en el abastecimiento a Puçol, así como en el contenido en nitritos.

En AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990) también se reconoce que la calidad química de las aguas subterráneas era baja y con residuos secos entre 1000 y 5125 mg/L, aumentando el mismo de Oeste a Este; las facies hidroquímicas reconocidas fueron las sulfatadas cálcicas, en

la zona Oeste de la plana y, en ciertos sectores, clorurada sódica como consecuencia de un proceso de intrusión marina. Este proceso de intrusión que afectaba a la masa subterránea de la Plana de Sagunto puede apreciarse en las Figura nº10 donde se representa un mapa de isocontenidos en cloruros para el mes de septiembre del año 1984, con datos del IGME, y en el que se tienen en cuenta las profundidades de las captaciones en las que se realizó el muestreo. En dicho mapa puede observarse un sensible incremento de la salinización de las aguas subterráneas respecto a la situación que tenía lugar en el mes de septiembre del año 1974, ver Planos 6B1B y 6B1C, en el sector central de la plana (zona de gran actividad extractiva). En tan sólo 10 años, en el área situada al Noreste de la población de Sagunto la concentración en ion cloruro pasó a ser de algo más de 150 mg/L, en el año 1974, a 4000 mg/L en el año 1984.

Según AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990) este proceso de intrusión tuvo lugar como consecuencia de la sobreexplotación de la masa de agua subterránea, lo cual deprimió el nivel piezométrico por debajo del nivel del mar permitiendo su entrada. Esta sobreexplotación fue evaluada en 9,6 hm<sup>3</sup>/año.

En TEYGE, S.A. (1990) se expresa que la calidad química natural del agua subterránea mostraba una elevada dispersión según los sectores. Característica común a la mayoría de ellos era su carácter sulfatado cálcico-magnésico, si bien diferían notablemente en cuanto a su grado de mineralización, habiendo algunos casos aislados en los que, por su alto contenido salino, no eran aptas ni para uso agrícola.



Escala: 1/75.000

Fig. nº 10.- Mapa de isocloruros de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto para enero de 1.984. Fuente: Inventario IGME.

TEYGE, S.A. (1990) considera diversos puntos de agua que se describirán brevemente a continuación y cuya localización puede verse en la Figura nº11:

- La **Font de Quart (2926/7/0038)** está ubicada en el término municipal del mismo nombre. Su cota de surgencia se encuentra a 55 m.s.n.m. y, aunque emerge dentro de la Plana de Sagunto, sus recursos hídricos proceden del drenaje del acuífero de Algar-Cuart. La calidad química de estos recursos era adecuada para el consumo humano, no superándose, excepto ligeramente los sulfatos, ninguno de los límites fijados por la Reglamentación Técnico-Sanitaria para abastecimiento de agua potable en la fecha de realización del citado trabajo aunque se reconocía el posible progresivo deterioro de la misma.

- El **Pozo nº1 de la Partida de la Cosa (2926/8/0058)** está ubicado en el término municipal de Almenara. Capta recursos hídricos pertenecientes al pliocuaternario de la Plana de Sagunto sin embargo, su calidad química, según datos del Ayuntamiento, no es adecuada para abastecimiento público, como consecuencia de las altas concentraciones en  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Mg}^{2+}$ .

- El **Pozo nº2 de la Partida de la Cosa (2926/8/0130)** está localizado en las proximidades del anterior, atravesando también los materiales permeables de la plana y, como él, se dejó de utilizar por problemas de calidad química.

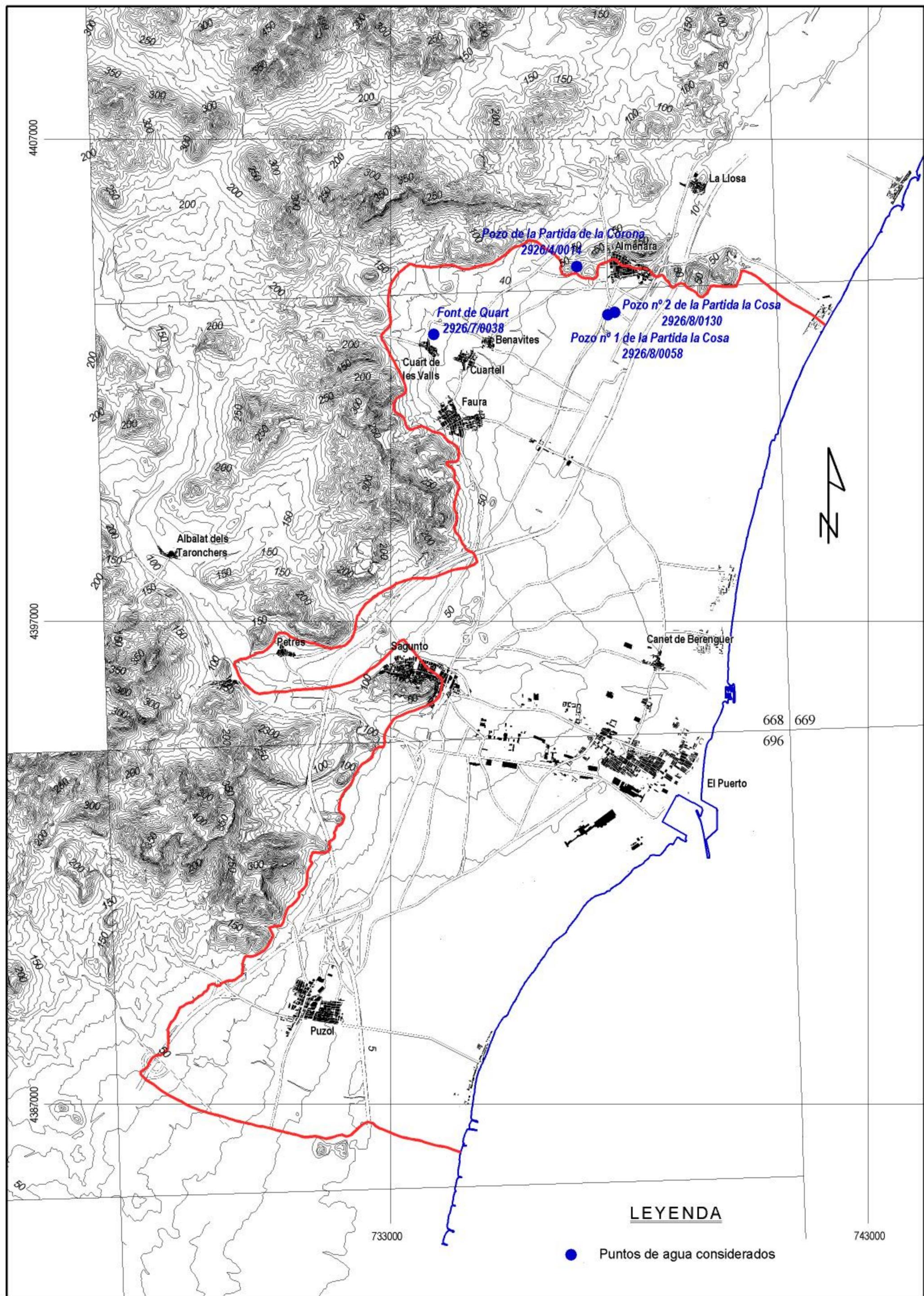
- El **Pozo de la Partida de la Corona (2926/4/0014)** es un pozo sondeo que se encuentra dentro del término municipal de Almenara. Durante la redacción de TEYGE, S.A. (1990) no se utilizaba debido a

su reducido caudal y probablemente también por problemas de calidad química, sin embargo, en este caso, la litología atravesada es la del Buntsandstein.

TEYGE, S.A. (1990) confirma, coincidiendo con otros autores, que los focos potenciales de contaminación de las aguas subterráneas son tanto la utilización de fertilizantes en la práctica agrícola, nitrogenados principalmente, como la salinización de la masa de agua por procesos de intrusión marina. Además, se citan otros focos de contaminación más puntual constituidos por los vertidos sólidos y/o líquidos de tipo urbano e industrial:

- Los residuos sólidos urbanos de la población de Almenara son evacuados en un vertedero incontrolado situado en una antigua cantera ubicada al Este de la población de Almenara, muy cerca del Marjal i Estany d'Almenara.
- Existía la posibilidad de pérdidas en las infraestructuras de conducción de las aguas residuales generadas por Almenara hacia la planta depuradora, estimadas en unos 300000 m<sup>3</sup>,

En CHJ-AQUATEC (2001) se realizaron dos campañas de muestreo de aguas superficiales y subterráneas, en invierno y verano, para evaluar la calidad físico-química de las mismas determinando el alcance de los problemas de contaminación, vertidos, posible eutrofización y, además, para establecer el origen salino o no de algunas aguas subterráneas y determinar fenómenos de salinización o intrusión marina.



Escala: 1/75.000

Fig. nº 11.- Localización de los puntos de agua considerados en TEYGE, S.A. (1.990).

Sobre los resultados obtenidos, se destacan las siguientes apreciaciones en cuanto a las muestras de agua subterránea se refiere:

- Tres fueron los puntos de agua con muestras que corresponden a aguas subterráneas procedentes del sector de Les Valls y del Marjal de Almenara, ver Figura nº12: Font de Quart (muestra 19), Font d'Almenara (muestra 9) y pozo agrícola (muestra 14).
- En todas ellas, los valores de nitrito oscilaban entre 0,2 y 23 mg/L. Las concentraciones de nitrato oscilaban entre 20 y 51 mg/L, siendo la Font d'Almenara la que presentaba los valores máximos en época estival.
- Por el contrario, la Font de Quart (muestra 19) es la que presentaba un menor grado de mineralización, con valores de  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$ , respectivamente, de 0,22 y 20,7 mg/L.
- Con todo, a partir de las dos campañas de muestreo realizadas, también se detectó una cierta variabilidad en las concentraciones de dichos compuestos nitrogenados que, en el caso de la Font d'Almenara (muestra 9) llegó casi a doblar la concentración de nitrato hasta 92,9 mg/L y a casi desaparecer la de nitritos, indicando contaminación de las aguas subterráneas por las prácticas agrícolas.
- Las concentraciones de cloruros de las muestras de agua subterránea obtenidas oscilaban entre 36 y 450 mg/L, siendo otra vez la Font de Quart (muestra 19) la que mostraba una menor salinidad y la Font d'Almenara (muestra 9) la que más. El grado de variabilidad era aquí mucho menor que en el caso del nitrato o nitrito.

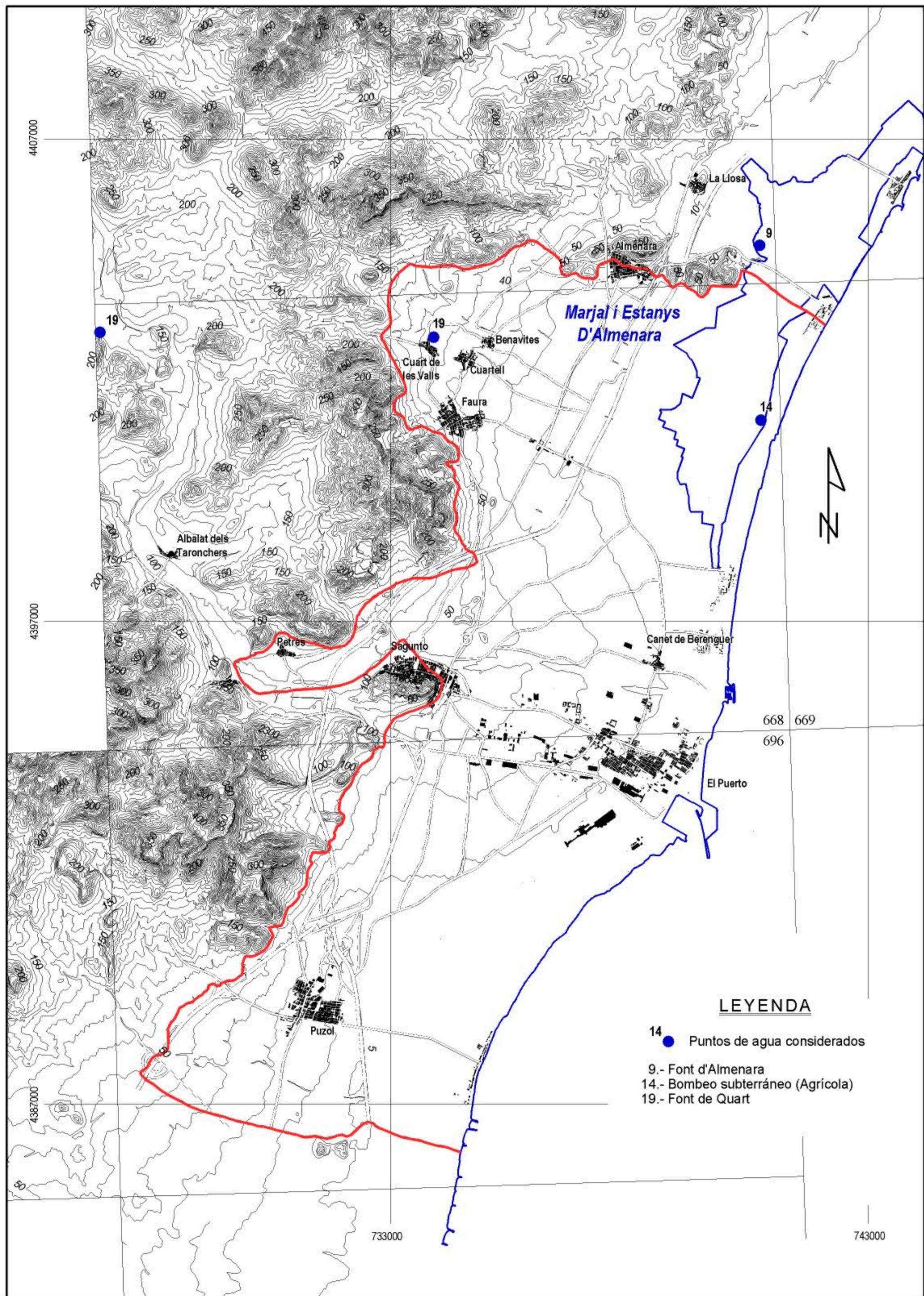
- En conjunto, era posible apuntar la existencia de un cierto grado de degradación, por compuestos nitrogenados, del agua aportada a partir de las fuentes. Dichas concentraciones eran, de acuerdo con los datos obtenidos y hasta el año 2001, generalmente inferiores al límite establecido en el Reglamento Técnico Sanitario. Las salinidades eran, sin embargo, relativamente bajas en todas las surgencias.

Además, en CHJ-AQUATEC (2001) también se consideraron los valores de conductividad aportados por una red de observación de intrusión ya que se consideró a la conductividad como el parámetro más representativo de la calidad de las aguas subterráneas.

La variación de la conductividad mostraba un comportamiento muy similar al que presentan los cloruros. En este caso, los rangos máximos de variación oscilaban entre 250 y 6000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con una mayoría de valores entre 1000 y 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

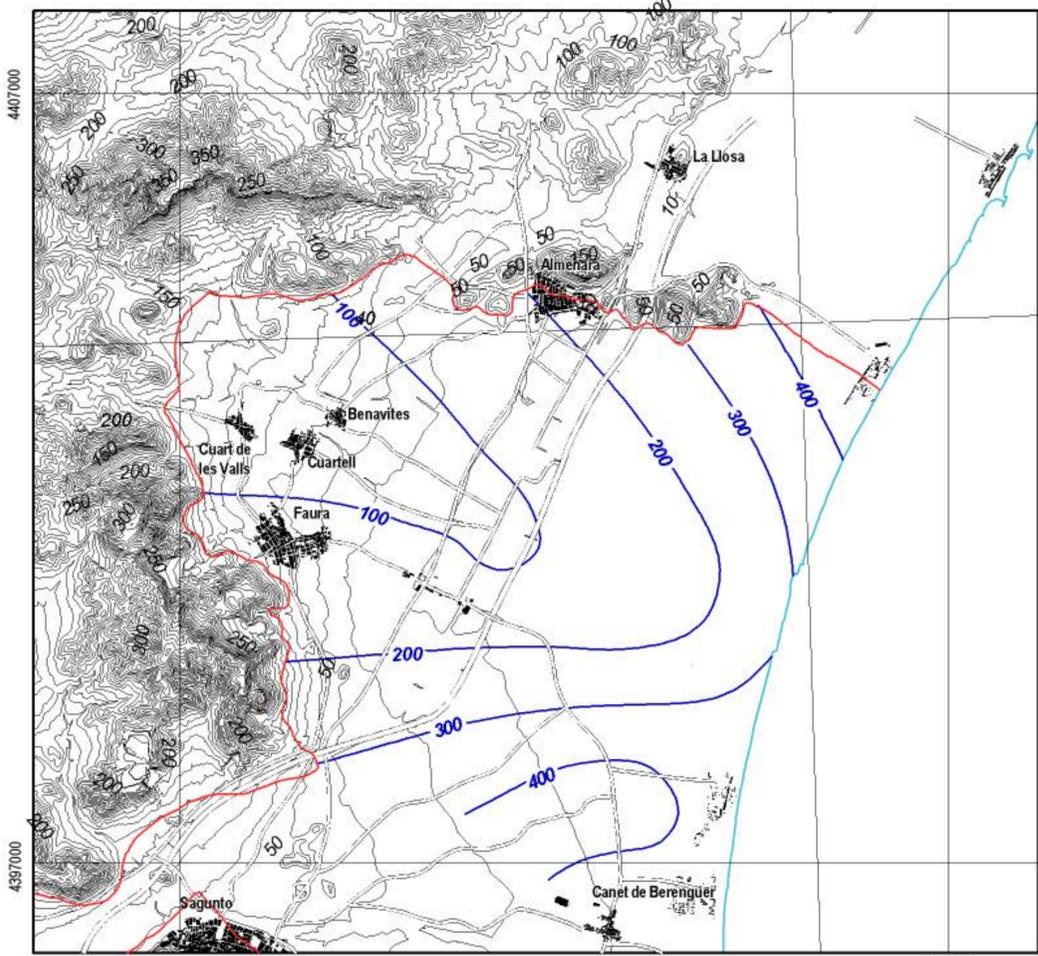
Son los puntos de control más cercanos a la línea de costa y sobre todo, los ubicados en los márgenes del marjal, los que mostraban conductividades mayores, mientras que aquellos puntos de control ubicados en la parte central del marjal y en posiciones más alejadas al mar, los que ostentaban una menor conductividad.

La evolución de la salinización en los puntos de control considerados en CHJ-AQUATEC (2001) mostró un rango máximo de variación en el periodo 1985-2000 entre 150 y 700 mg/L de cloruros, con una mayoría de valores ubicados entre los 100 y los 500 mg/L, ver Figura nº13.



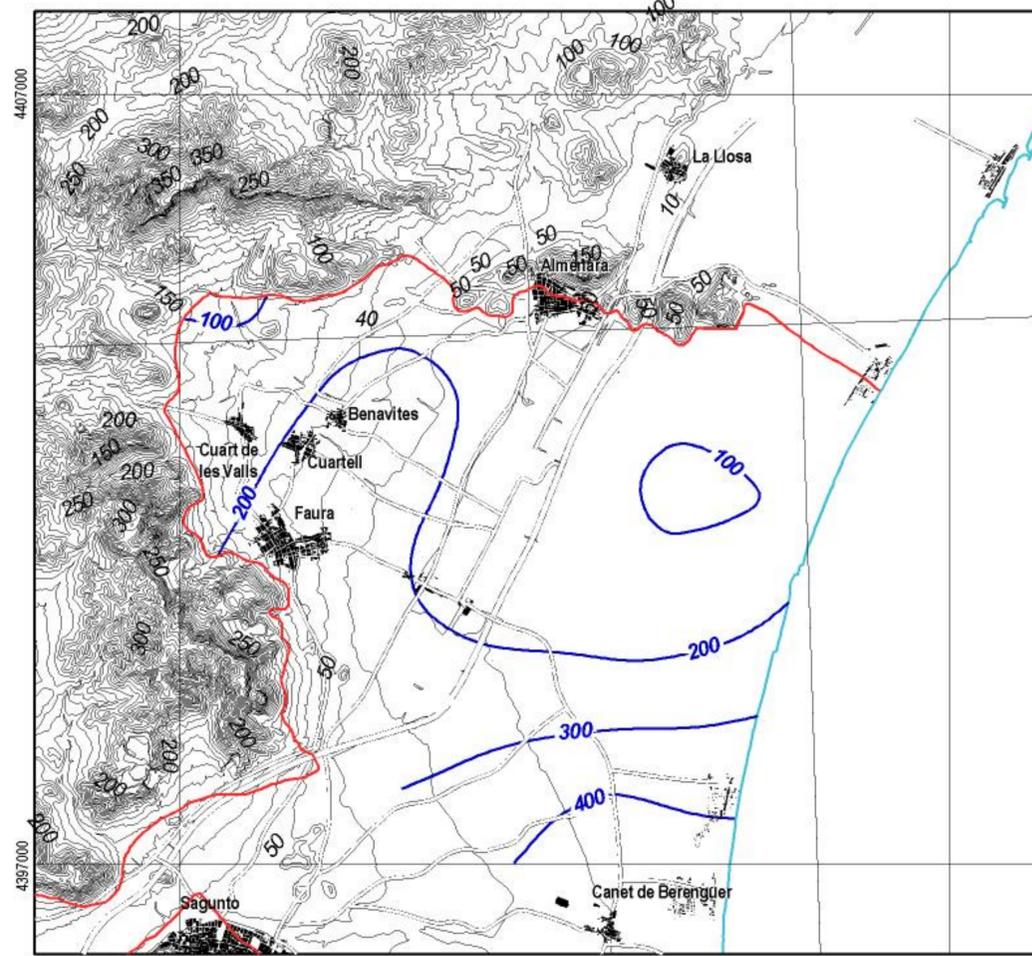
Escala: 1/75.000

Fig. nº 12.- Localización de los puntos de agua considerados en CHJ - AQUATEC (2.001).



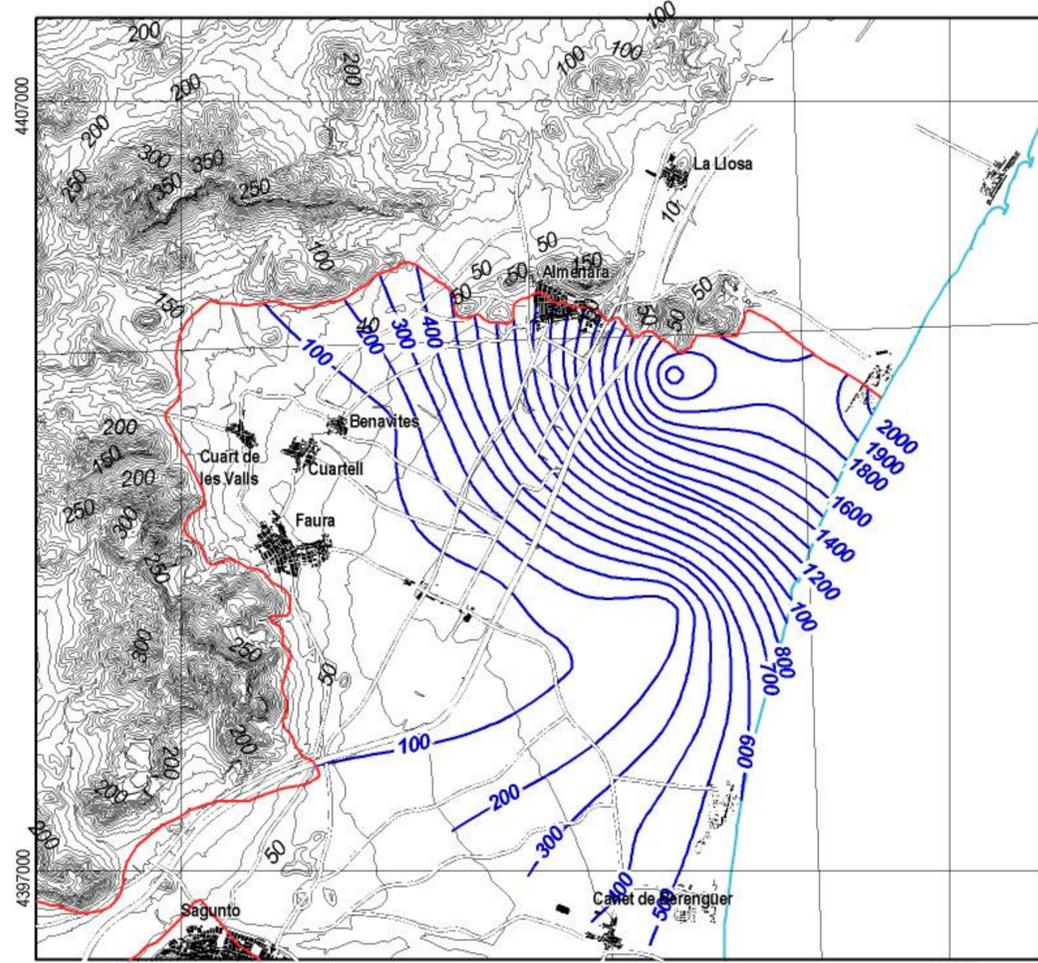
AÑO 1.985

743000



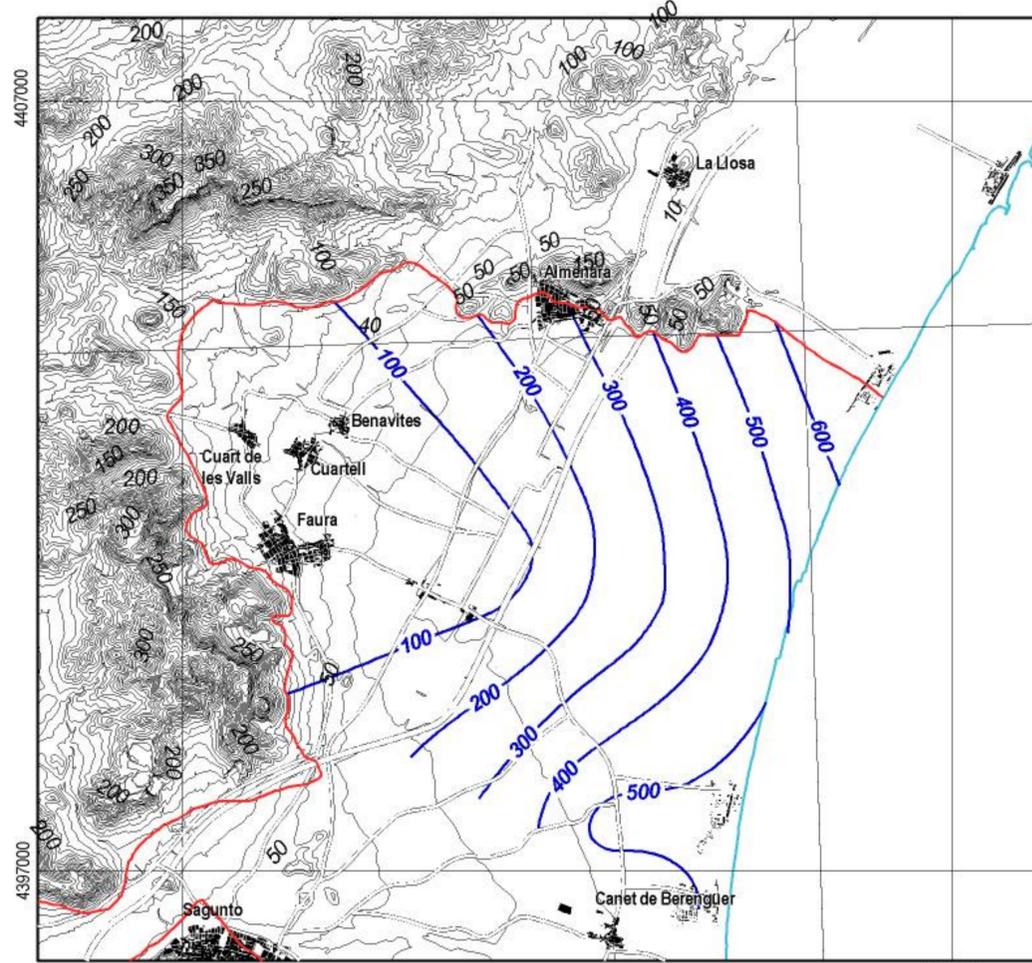
AÑO 1.990

743000



AÑO 1.995

743000



AÑO 2.000

743000

**LEYENDA**

— 300 — Isoconcentración de cloruros (mg/l)

Escala: 1/100.000

Fig. nº 13.- Mapa de evolución de isocloruros en el sector les Valls-Marjal d'Almenara según CHJ-AQUATEC (2.001).



En los distintos mapas se observa que existe un frente de salinización que desde la línea de costa, entre las playas de Chilches y Moncófar, avanza hacia el límite Norte del marjal. En 1995, dicho frente muestra un comportamiento más complejo, con la presencia de una segunda zona con valores de  $\text{Cl}^-$  anormalmente elevados ( $>2000 \text{ mg/L Cl}^-$ ), en uno de los puntos de control fuera del marjal, frente a la localidad de Almenara, que desaparece en la situación del año 2000.

Paralelamente, aunque con un carácter mucho menos intenso (200-500 mg/L de  $\text{Cl}^-$ ), aparece un segundo frente en el límite Sur, desde la Playa de Canet hacia Sagunto.

El agua de recarga lateral de la masa de agua subterránea pliocuaternaria en el sector de Les Valls procedente de las unidades carbonatadas, mostraba bajas concentraciones en cloruros que progresivamente se van incrementado al aproximarse a la línea de costa. Sin embargo, a partir de 1995, parece existir un proceso secundario de salinización, que afectaba a algunos puntos de control alejados del mar, entre Faura y Benavites, que pueden tener un origen diverso, no marino.

La evolución del contenido en cloruros en diferentes piezómetros localizados en los sectores interno y central del marjal mostraba que, en la zona central del marjal, no existía intrusión marina significativa, siendo probablemente los contenidos de cloruros y de salinidad hallados en las aguas superficiales productos de aportes de agua procedentes de EDAR o de actividades agrícolas con una relativa mineralización. Los penachos de intrusión se ubican en sus límites, fuera de la zona de influencia de los

canales o en zonas donde esta influencia está muy limitada (zona del marjal de la Playa de Chilches-Moncófar).

La distribución de salinidad dada en CHJ-AQUATEC (2001) era también coherente con los mapas de vegetación expuestos en ese mismo trabajo, donde se muestra una regresión de las comunidades de aguas salobres, quedando restringidas a los límites de las zonas donde la influencia de la salinidad era mayor y donde menor influencia tenían los canales de drenaje.

Por último, dentro del análisis temporal, se observa un cierto incremento de los valores de salinidad a partir del año 1995, donde de valores máximos de 250-300 mg/L se pasa a valores que superan episódicamente los 700 mg/L de Cl<sup>-</sup> únicamente en los puntos de control más cercanos a la línea de costa.

Dicha evolución es coherente con el contexto climático de dicho período, que genera un descenso de las aportaciones subterráneas y, por tanto, una disminución de la salida de agua dulce hacia el mar, provocando una ligera modificación de la interfase agua dulce-agua marina e incrementando las concentraciones de cloruros en los piezómetros de los límites externos del marjal, más cercanos al mar.

#### **11.4.3. CALIDAD QUÍMICA ACTUAL.**

Como podrá apreciarse durante la redacción de todo este epígrafe, tanto el número como la distribución espacial de las analíticas disponibles, procedentes del inventario realizado por el IGME entre los años 1972 y 2001, es claramente insuficiente, por lo que ha sido necesaria la realización

de una nueva campaña de muestreo hidroquímico de la cual todavía no se dispone de los resultados analíticos.

De esta manera, se ha optado por redactar la presente memoria con la información disponible hasta la fecha de entrega de la misma.

#### **11.4.3.1. Mapa de diagramas de Stiff.**

En el Plano 7A se ha representado la distribución de las perforaciones objeto de muestreo en el mes de mayo del año 2000 y, junto a ellas, se ha trazado su correspondiente diagrama de Stiff modificado.

De la observación de dicho Plano se desprende que:

- Los cationes calcio y magnesio son los más abundantes en las aguas subterráneas de la masa de agua de la Plana de Sagunto.
- El ion sulfato y en menor orden el ion cloruro son los aniones más abundantes en las muestras de agua consideradas.
- Aunque no se dispone de información hidroquímica de la mitad meridional de la Plana de Sagunto para el mes de junio del año 1972 (año de referencia), ver Plano 6A, que permita corroborar la siguiente afirmación, parece ser que en la actualidad existe una mayor tendencia a que, salvo en el sector más Noroccidental de la masa, las aguas subterráneas de la plana están más mineralizadas debido, más que probablemente, a causas antrópicas.
- Así mismo, la influencia relativa del ion cloruro también parece sensiblemente mayor en la actualidad que la registrada durante el año de referencia, ver Plano 6A.

### **11.4.3.2. Ion cloruro.**

A partir de la información contenida en la base de datos de inventario de puntos de agua del IGME, se ha procedido a realizar el Plano 7B1A en el que se representa la distribución de concentraciones del ion cloruro para el mes de mayo del año 2000, aunque sólo para aquellos sondeos de los que también se posee información referente a los iones nitrato, sulfato y bicarbonato, ver Planos 7B3, 7B4 y 7B5 respectivamente. Por desgracia, dicha información sólo hace referencia a cinco puntos de control que no permiten deducir demasiadas conclusiones; existen algunos datos más referentes a los citados iones para el año 2001 aunque, dado que el número de los mismos es todavía inferior al del año 2000, se ha decidido trabajar sólo con los de éste último.

Así, de la consulta del Plano 7B1A se puede decir que:

- Como era de esperar, el sector donde la concentración del ion cloruro es menor es el localizado en el extremo más Noroccidental de la masa; lugar por donde tiene lugar la mayor transferencia subterránea de recursos hídricos, de relativa buena calidad, procedentes de los acuíferos localizados en las sierras interiores.
- El área comprendida entre las poblaciones de Puçol y el Puerto de Sagunto continúa siendo altamente rica en ion cloruro e, incluso, con una situación empeorada respecto a la medida en el mes de septiembre del año 1974, ver Planos 6B1B y 6B1C.

- La única muestra disponible tomada en la Plana de Castellón parece indicar una evolución independiente de este ion a la que tiene lugar en la Plana de Sagunto.

Afortunadamente, si sólo se tiene en cuenta los registros de concentración del ion cloruro y de la conductividad, sin pretender compararlos con los de otros iones, la base de datos con el inventario de puntos de agua del IGME tiene importante información que, entre otros mapas, ha permitido la elaboración de los Planos 7B1B y 7B1C para el mes de mayo del año 2001; en el primero de ellos puede comprobarse como podía hablarse de un proceso de "intrusión general" de acuerdo con la terminología tratada en el epígrafe "*11.3. Metodología para la caracterización de intrusiones marinas*", puesto que se tenían concentraciones de ion cloruro en las aguas subterráneas superiores a los 250 mg/L en el 50,5% de la superficie de la masa, frente al 36,2% que se tenía en el año 1974, ver Plano 6B1B. Así mismo, en el Plano 7B1C, considerando también la misma metodología comentada, puede apreciarse como el proceso de intrusión no alcanza en ninguna zona de la plana el carácter "intensidad elevada" que sí adquiriría en el 3,7% de la superficie de la masa en el año 1974, ver Plano 6B1C, concretamente en las proximidades de la población del Puerto de Sagunto y en el extremo Noreste de la plana.

Este hecho se explica por la redistribución de las explotaciones que fue necesaria realizar en la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto ya que, debido a las excesivas extracciones que antaño tenían lugar en puntos cercanos a la costa, se produjeron tales grados de salinidad en algunas captaciones que las hicieron inviables obligando, por tanto, a sus propietarios a realizar nuevas captaciones tierra adentro o a conectarse a

las redes de suministro municipales. El descenso de las explotaciones en áreas cercanas a la costa favoreció una cierta recuperación química de los recursos hídricos subterráneos en dichas áreas.

En los Planos 7B1B y 7B1C puede apreciarse además que:

- Las áreas más afectadas por el proceso de salinización de las aguas subterráneas son, en orden decreciente de importancia atendiendo a su intensidad, la comprendida entre las poblaciones de Puçol y el Puerto de Sagunto, la Sur de la Población de Sagunto y la situada al Noroeste de la población de Canet de Berenguer.
- En las tres zonas citadas, salvo en el mismo Puerto de Sagunto, se ha producido un sensible aumento de la concentración del ion cloruro respecto a la situación descrita en el año 1974, consultar los Planos 6B1B y 6B1C.
- Por el contrario, se ha producido un descenso en la concentración de este ion en, como ya se ha indicado, en el Puerto de Sagunto, debido a la redistribución de las extracciones en detrimento de la zona localizada algo más al Sur, y en el límite Nororiental de la masa, donde parece que la entrada de agua de baja calidad procedente de la Plana de Castellón se ha reducido de forma más que apreciable, recordar los Planos 6B1B y 6B1C.
- Así, a pesar del citado incremento del contenido del ion cloruro en las áreas comentadas en el año 2001 respecto a 1977, la bibliografía consultada correspondiente a los años intermedios cita valores mucho más elevados, superando los 4000 mg/L frente a los 680 mg/L de

máxima introducidos en la base de datos de IGME para el 2001, por lo que parece ser que se está ante una situación consistente en el deterioro moderado de la mayor parte de la masa, a cambio de no tener zonas más pequeñas con afecciones muy importantes.

- No es de extrañar el aumento de la salinidad dentro del triángulo constituido por las poblaciones de Sagunto, Puçol y el Puerto de Sagunto ya que es una zona donde clásicamente se han venido realizando importantes extracciones dedicadas básicamente a usos agrícola e industrial. Sin embargo, es más reciente la progresión de la intrusión marina en la zona situada al Noroeste de Canet de Berenguer y que, con toda seguridad, se relaciona con la necesidad de aumentar las extracciones para satisfacer la creciente actividad turística que se está desarrollando en la zona.

#### **11.4.3.3. Conductividad.**

Se ha elaborado el Plano 7B2 en el que se muestra la distribución de la conductividad para el mes de mayo del año 2001, la misma fecha para la que se realizaron los Planos 7B1B y 7B1C orientados a mostrar las concentraciones del ion cloruro.

De la comparación de ambos tipos de Planos se puede deducir que:

- La disposición de las isolíneas es muy similar en el mapa de conductividad respecto a los de concentración de cloruros por lo que la relación entre dicha propiedad y este ion es directa. Tan sólo en el quinto más septentrional de la masa, la distribución de isovalores varía de un tipo de mapa al otro, si bien, es probable que se deba a la menor

concentración de puntos de medida que tiene lugar en esta zona, cosa que afecta directamente al proceso de interpolación.

- Salvo en el límite más Nororiental de la masa, el valor general de la conductividad ha aumentado de forma apreciable en el año 2001 respecto al año 1974, ver Plano 6B2. Tal y como ya se ha comentado anteriormente, en la Plana de Sagunto se ha podido apreciar un deterioro más o menos generalizado de la calidad química de sus aguas subterráneas, lo que explicarían el aumento regional del valor de la conductividad; al mismo tiempo, también parece haberse reducido en los últimos años la transferencia lateral de recursos de relativa baja calidad procedentes de la Plana de Castellón por lo que, como consecuencia, también se ha visto reducido el valor de conductividad en la zona más Nororiental de la masa estudiada.

#### **11.4.3.4. Iones nitrato, sulfato y bicarbonato.**

Tan sólo se dispone de cinco muestras tomadas en el mes de mayo del año 2000 en las que se analizaron las concentraciones de los iones nitrato, sulfato y bicarbonato, cuyas distribuciones y concentraciones correspondientes se han representado respectivamente en los Planos 7B3, 7B4 y 7B5 de los que se desprenden las siguientes conclusiones:

- Se puede apreciar un sensible aumento, de hasta 10 veces superior, en el valor de la concentración del ion nitrato en el año 2000 respecto al que tenía lugar en el año 1973, ver Plano 6B3, en el sector central de la masa. Esta circunstancia puede ser debida a varias causas o incluso a la combinación de varias de ellas: **a)** presencia de una actividad agrícola cada vez más estresante para el sistema acuífero, **b)** regulación del río Palancia

dificultando la infiltración de agua de mejor calidad y **c)** cambio en la composición química del agua utilizada en los regadíos.

- La concentración de los iones sulfato y bicarbonato tiende también a ser mayor en el año 2000 que en el 1972, observar Planos 6B4 y 6B5.
- Las distribuciones de los iones considerados indican que los recursos hídricos subterráneos de mejor calidad se encuentran en el sector Noroccidental de la masa, mientras que los de peor calidad se localizan en la zona próxima a la población de Puçol.

#### **11.4.3.5. Mapa de facies hidroquímicas.**

Con las analíticas realizadas de las muestras de agua disponibles en el mes de mayo del año 2000, se ha realizado la Figura nº14 en la que se representa un diagrama de Piper que ha permitido determinar la facies hidroquímica de cada una de las muestras consideradas en la Plana de Sagunto.

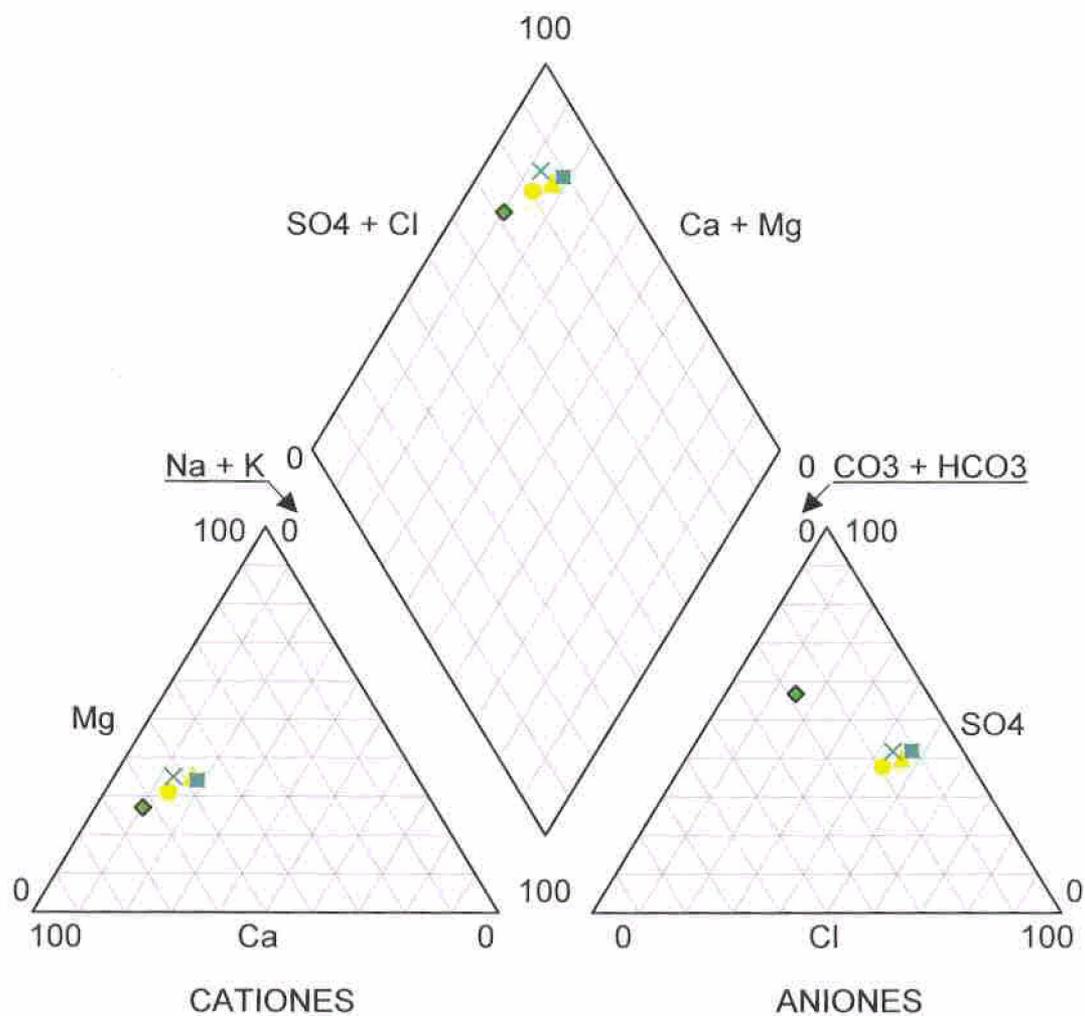
A pesar de la probable poca representatividad de las muestras, puede decirse que las muestras consideradas presentaban facies cloruradas-sulfatadas cálcica o cálcica-magnésica (40069, 80001, 30022 y 30036) y sulfatada cálcica (70003), lo que confirma una tendencia casi general al aumento de los cloruros respecto la situación que tenía lugar en el mes de junio del año 1972.

En el Plano 7B6 puede apreciarse la distribución de los puntos de agua de los que se obtuvo muestra y la facies hidroquímica de cada una de ellas.



## DIAGRAMA DE PIPER

Facies hidroquímica (Mayo 2.000).



● 292640069    ◆ 292670003    ▲ 292680001    ■ 292730022    × 292730036

Fig. nº14.-Facies hidroquímica de las muestras analizadas en mayo de 2.000. Fuente: Inventario IGME.

## **12. IDENTIFICACIÓN DE LAS PRESIONES O FOCOS DE CONTAMINACIÓN POTENCIAL SOBRE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA.**

### **12.1. TRATAMIENTO LEGISLATIVO.**

El Artículo 5 de la DMA dispone que los Estados miembros deberán efectuar, en cada demarcación hidrográfica, un análisis de las características ambientales y un estudio de las repercusiones de la actividad humana en el estado de las aguas superficiales y subterráneas, cuyo objetivo es identificar el riesgo de que una masa de agua no alcance los objetivos medioambientales previstos en el Artículo 4 de la DMA.

Para ello es necesario analizar la presión a la que está sometida cada una de estas masas y valorar el impacto producido.

### **12.2. METODOLOGIA PROPUESTA.**

Se procederá a la consulta de la documentación disponible, elaborada tanto por los diferentes Organismos Públicos como por empresas privadas, que ofrezca la posibilidad de conocer la localización de las diferentes infraestructuras antrópicas y posibles focos de contaminación susceptibles de afectar negativamente a la calidad de las aguas subterráneas.

La información así recopilada será contrastada en el campo para verificar la bondad de la misma y, si es preciso, se incluirán todas aquellas nuevas situaciones adversas no tratadas en la bibliografía consultada.

Así, se llegará a la obtención de un inventario detallado de los focos de contaminación puntual y de las zonas de contaminación difusa (cultivos, campos de golf, etc.).

Se recomienda la utilización de las diferentes ortofotos en color y mapas editados, ambos preferiblemente a escala 1:10.000, para situar la totalidad de las zonas inventariadas.

Para efectuar una precisa evaluación de algunos focos de contaminación puede ser necesario, además de analizar muestreos históricos, efectuar otros específicos (como por ejemplo los destinados a detectar metales pesados).

### **12.3. PLANA DE SAGUNTO.**

Se comentarán a continuación los principales focos y procesos susceptibles de afectar negativamente a la calidad de las aguas subterráneas detectados sobre la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto.

#### **12.3.1. FOCOS DE CONTAMINACIÓN PUNTUAL.**

Se muestra en el Plano 8 la situación de los puntos considerados como focos potenciales de contaminación puntual identificados tras la consulta de la bibliografía disponible y el inventariado realizado "in situ".

Como puede apreciarse de la observación de dicho Plano, sobre la superficie de la masa existe una enorme cantidad y variedad de puntos susceptibles de conllevar procesos hidroquímicos que fácilmente podrían provocar la pérdida de calidad química de las aguas subterráneas de la plana.

Se han detectado como focos potenciales de contaminación puntual: depósitos de chatarra, estercoleros, escombreras, gasolineras, instalaciones eléctricas, cuadras y establos, centros turísticos (especialmente cámpings), cementerios, vertederos, viveros, estadios deportivos y canteras de arenas y gravas. En algunos de estos lugares, se ha observado la acumulación directamente sobre el suelo, sin ningún tipo de medidas aislantes, de materiales susceptibles de producir lixiviados, tales como compuestos orgánicos, hacia las aguas subterráneas.

Adicionalmente, existe bibliografía que cita la existencia de otros posibles focos potencialmente contaminantes. Así, en IGME (1985) se comenta el vertido de aguas residuales en diversos puntos de la masa y la existencia de antiguos vertederos incontrolados, hoy no localizados ya que pueden estar cubiertos y en TEYGE, S.A. (1990) se citan dos fuentes puntuales de vertidos, la primera de ellas sí incluida en el Plano 8:

- Algunos residuos sólidos urbanos de naturaleza variada de la población de Almenara son evacuados en un vertedero incontrolado situado en una antigua cantera ubicada al Este de la población de Almenara, muy cerca del Marjal i Estany d'Almenara. Este foco contaminante fue modelado matemáticamente en CHJ-AQUATEC (2001) resultando como conclusión principal la posible dispersión de los lixiviados, incluso en sentido opuesto al del flujo, debido al efecto llamada de los conos de bombeo de captaciones destinadas a uso de abastecimiento urbano y agrícola situadas aguas arriba.

- Existía la posibilidad de pérdidas en las infraestructuras de conducción de las aguas residuales generadas por Almenara, estimadas en unos 300000 m<sup>3</sup>, a la planta depuradora.

En cualquier caso, resultan especialmente susceptibles de ser focos contaminantes más o menos puntuales los sistemas de evacuación de aguas residuales urbanas e industriales, amén de los vertidos incontrolados que de éstas pudieran realizarse.

### **12.3.2. FOCOS DE CONTAMINACIÓN DIFUSA.**

Sin duda alguna, la principal fuente de contaminación difusa detectada en la Plana de Sagunto es la intensa aplicación de abonos para uso agrícola especialmente, aunque no sólo, los constituidos por compuestos nitrogenados.

La amplia superficie de la masa ocupada por áreas de cultivo, ver Plano 9, la permeabilidad de los materiales y la poca profundidad a la que se encuentra habitualmente el nivel piezométrico favorecen que los lixiviados generados tanto por los abonos como por cualquier otro agente contaminante llegan fácilmente a alcanzar la zona saturada.

### **12.3.3. OTRAS ALTERACIONES ANTROPOGÉNICAS.**

Se procederá también a exponer y comentar aquellos procesos antrópicos susceptibles de alterar los parámetros medioambientales de los recursos hídricos de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto y/o el funcionamiento hidráulico del sistema:

- El drenaje constante de los materiales pliocuaternarios, con la finalidad de mantener secas las zonas de cultivo y urbanizadas, junto con los bombeos realizados para desarrollar las diversas actividades socioeconómicas de la zona, han motivado el descenso del nivel freático, lo que ha conllevado la desaparición de numerosas áreas húmedas y el avance de la intrusión marina.
- El descenso de nivel de las aguas subterráneas y la pérdida de calidad química de las mismas se ve potenciada por la disminución de la entrada lateral de recursos hídricos desde las sierras interiores ya que las extracciones en éstas también se han visto incrementadas en los últimos años.
- Del mismo modo, la regulación del río Palancia antes de su entrada en la plana, ha supuesto también una pérdida de la posibilidad de infiltración, a través de su lecho, de aguas de mejor calidad que las de la masa subterránea.



## **13. USOS DEL SUELO.**

### **13.1. METODOLOGIA PROPUESTA.**

Para conocer y representar los usos del suelo realizados en las diferentes masas de agua subterránea a estudiar se deberá utilizar la capa de información digital Corine Land Cover más reciente que exista; posteriormente se completará dicha información con la específica que pueda haber en cada zona.

### **13.2. PLANA DE SAGUNTO.**

De la manipulación directa de la capa de información Corine Land Cover se ha procedido a la elaboración del Plano 9 en el que se muestran los usos catalogados de los suelos localizados sobre la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto.

De la observación de dicho Plano puede apreciarse como:

- El principal uso al que se destina el suelo de la plana es a la producción de diferentes cultivos, aunque destacando especialmente el de cítricos, los cuales están relegando a los paisajes naturales originales (zonas húmedas, vegetación, restinga litoral, etc.) a los cuadrantes más Nororiental y Suroriental de la masa.
- En las últimas décadas se está desarrollando una importante actividad inmobiliaria, tanto en la costa como entre las poblaciones de Sagunto y Puerto de Sagunto.



## **14. CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA.**

### **14.1. TRATAMIENTO DELEGISLATIVO.**

La vulnerabilidad es la susceptibilidad que presenta un acuífero a la contaminación del agua subterránea debido a las actividades humanas (Foster, 1987). En el marco de la U.E. se distingue entre vulnerabilidad intrínseca y específica. La vulnerabilidad intrínseca depende de las características geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas de un área y es independiente de la naturaleza del contaminante. La vulnerabilidad específica es la susceptibilidad del agua subterránea a un contaminante o grupo de contaminantes concreto en función de las propiedades de éstos y sus relaciones con los componentes de la vulnerabilidad intrínseca.

### **14.2. METODOLOGIA PROPUESTA.**

La vulnerabilidad intrínseca se evaluará en función del procesado de una serie de parámetros hidrogeológicos en cada una de las celdas en las que debe ser discretizada la superficie ocupada por la masa de agua subterránea. La utilización de las herramientas SIG resulta de gran utilidad para la realización de este tratamiento de la información y posterior elaboración de mapas.

Existen diferentes métodos para evaluar la vulnerabilidad intrínseca, por lo que se efectuará una selección del método que se considere más adecuado para estudiar la masa de agua subterránea objeto de estudio, debiéndose considerar en dicha selección, al menos los siguientes:

- COP: Acuíferos carbonatados.
- PI: Acuíferos carbonatados y acuíferos con porosidad intergranular.
- EPIK: Acuíferos carbonatados.
- DISCO: Acuíferos fisurados.
- DRASTIC: Acuíferos con porosidad intergranular y acuíferos carbonatados.
- SINTACS: Acuíferos con porosidad intergranular y acuíferos carbonatados.
- GOD: Acuíferos con porosidad intergranular y acuíferos carbonatados.
- VULK: Acuíferos carbonatados.
- LEA: Acuíferos carbonatados.
- Time Input: Acuíferos carbonatados.

La vulnerabilidad intrínseca está referida a un contaminante universal conservativo sobre el que sólo se consideran las reacciones dispersivas de advección, dispersión hidrodinámica y dilución; al no contemplarse la atenuación ni la degradación química se está evaluando el peor escenario posible y sobrevalorando, por tanto, la vulnerabilidad.

Cuando sea posible se considerará además la vulnerabilidad específica de la masa de agua frente a contaminantes concretos, la cual incorpora tanto las características físico químicas de los materiales que actúan protegiendo

los recursos hídricos de la masa como los procesos asociados al retardo en el transporte de los contaminantes.

### **14.3. PLANA DE SAGUNTO.**

Para el cálculo de la vulnerabilidad de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto se ha escogido el método DRASTIC (Aller et al., 1987), el cual expresa mediante un índice el grado de vulnerabilidad de la masa estudiada tras valorar, ponderar y operar con siete parámetros intrínsecos, reflejo de las condiciones naturales del medio: profundidad del agua subterránea (D), recarga (R), litología del acuífero (A), naturaleza del acuífero (S), pendiente del terreno (T), zona no saturada (I) y permeabilidad del acuífero (C).

Sin embargo, este método tiene ciertas limitaciones relativamente importantes:

- La subjetividad al valorar los parámetros intrínsecos.
- Los tamaños de las celdas utilizados durante el procesado "raster", que en el caso de la Plana de Sagunto son de 0,6 km<sup>2</sup>, pueden distorsionar los resultados si se trabaja con ArcView ya que este software asigna a toda la celda el valor de cada parámetro encontrado en el centro de la misma.

Dado que DRASTIC está perfectamente estandarizado y descrito en la bibliografía citada, no se dedicará más tiempo a la descripción del método y se pasará a la presentación de los resultados.

Como ya se ha comentado, el primer paso para calcular la vulnerabilidad de una masa consiste en valorar, de uno a diez, cada uno de los siete parámetros intrínsecos en cada una de las celdas en las que se ha discretizado la zona de trabajo siguiendo los criterios explicados en (Aller et al., 1987).

Seguidamente, se ha procedido a geoprocesar, después de ponderar cada uno de los siete parámetros intrínsecos con un índice comprendido entre uno y cinco, las capas "raster" anteriormente calculadas, de lo que resulta el mapa de vulnerabilidad final de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto mostrado en el Plano 10A.

De la observación del citado Plano se deduce que:

- El cauce del río Palancia constituye una de las zonas más vulnerables de la masa, puesto que en su lecho se tienen sedimentos poco consolidados y de gran granulometría, por tanto de alta permeabilidad, a través de los cuales podría infiltrarse con facilidad cualquier contaminante que pudiera llegar a esta área.
- Las zonas arenosas (dunas, playas, etc.) que constituyen el frente litoral favorecerán también la infiltración de contaminantes que, además, se encontrarían muy próximos al nivel piezométrico.
- El Marjal i Estanys d'Almenara y el Marjal dels Moros constituyen zonas muy vulnerables debido a que el nivel freático aflora o se encuentra muy próximo a la superficie, pudiendo constituir una entrada directa de contaminantes en el sistema.

- Las áreas de menor vulnerabilidad se asocian a terrenos limosos localizados en posiciones por donde antaño se extendían las actuales zonas húmedas.



## **15. ESPESOR DE LA ZONA NO SATURADA.**

### **15.1. METODOLOGIA PROPUESTA.**

Se recomienda un tratamiento digital de la información para determinar el espesor de la zona no saturada dado que se dispone de:

- Un modelo digital de la topografía.
- Información suficiente de la piezometría como para crear también un modelo digital de la superficie piezométrica.

Ambos modelos digitales se transformarán en sus respectivas capas de información "raster" con mallas totalmente coincidentes, con lo que estará en disposición de realizar operaciones entre ellas; concretamente, se deberá restar al "raster" de topografía el de piezometría. El resultado de esta operación proporciona el valor del espesor no saturado de la mapa.

En ocasiones, como por ejemplo durante la realización de estudios de vulnerabilidad, edafológicos, etc. puede interesar saber qué suelos y litologías se encuentran dispuestas en el espesor saturado calculado, por lo que acompañar dicha información con mapas geológicos y edafológicos, así como descripciones de testigos de sondeos y catas e, incluso, resultados de posibles ensayos de permeabilidad realizados en ellos puede resultar muy interesante

### **15.2. PLANA DE SAGUNTO.**

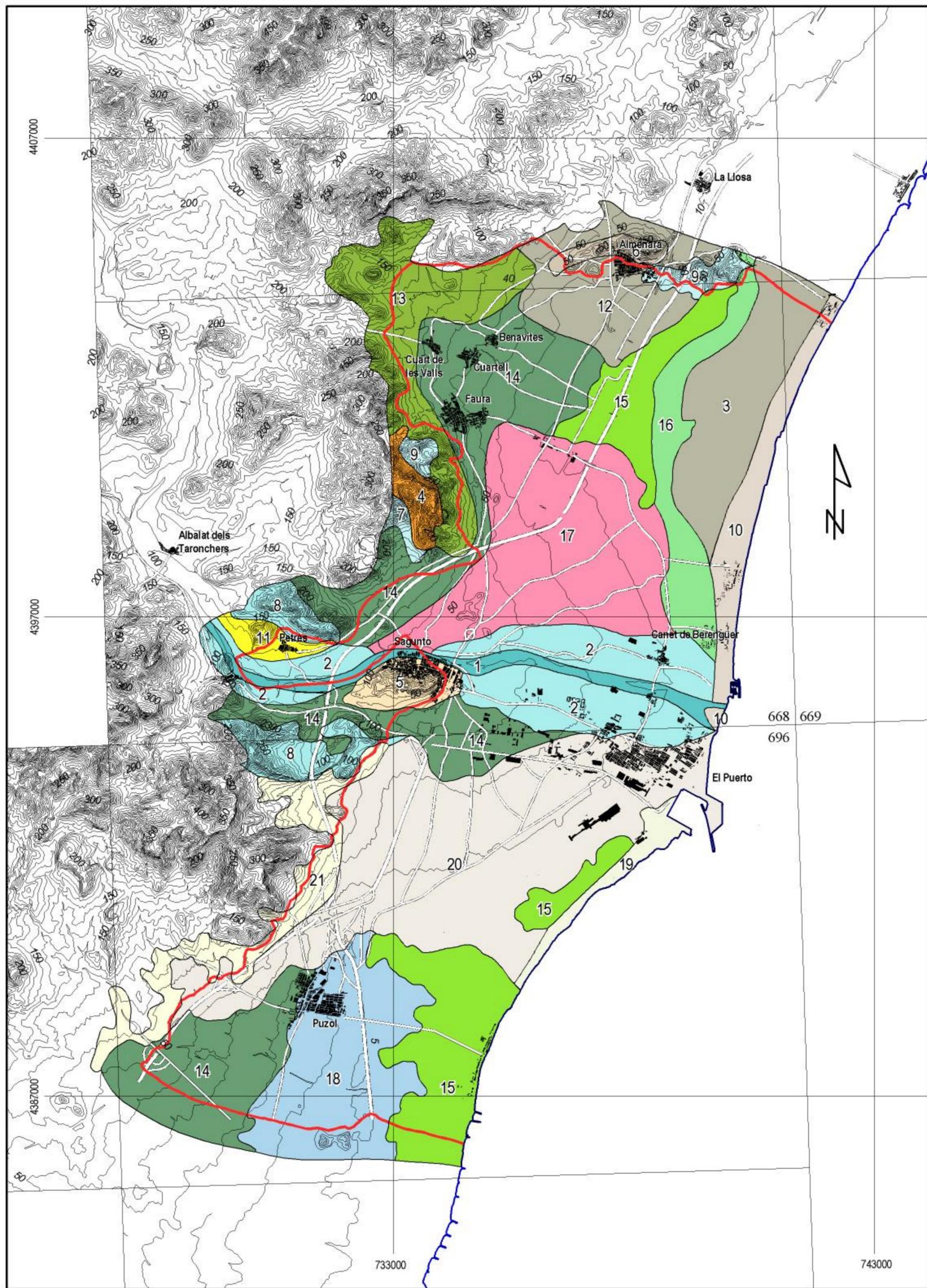
El Plano 10B se ha realizado según la metodología descrita para la piezometría mediada en el mes de junio del año 1972 (año de referencia) y de su observación se desprende que:

- Existía una tendencia general a producirse espesores no saturados cada vez menos potentes hacia la costa y hacia las zonas húmedas, especialmente por donde antiguamente se desarrollaba el Marjal dels Moros y que abarcaba gran parte del sector Suroriental de la Plana de Sagunto.
- Al Norte de la población de Puçol y en la zona localizada al Este de las poblaciones de Quartell y Benavites se tienen áreas de espesores no saturados muy reducidos en los que, incluso en la actualidad, se producen pequeñas surgencias o "ullals" en las periodos más húmedos.
- En la zona comprendida entre las poblaciones de Sagunto y Petrés existe la duda de si se ha trabajado con el nivel piezométrico perteneciente a de la plana o al perteneciente a las sierras interiores ya que, en régimen influenciado, los niveles que estaban en continuidad hidráulica se descolgaron.

De acuerdo con lo comentado en la metodología se aconseja, si se considera necesario, tanto la revisión del mapa geológico mostrado en el Plano 1 como la Figura nº15 con la distribución de los suelos cartografiados en la plana junto con su correspondiente descripción:

### **1.-FLc-FLe. Asociación Fluvisol calcáreo y Fluvisol eútrico.**

Se encuentran a lo largo de la rambla del río Palancia, en las zonas donde se depositan los arrastres. Son suelos que dependen, por tanto, de los



**LEYENDA**

**SUELOS DOMINANTES**

**INCLUSIONES**

	1	Fluvisol calcáreo. Fluvisol eútrico	
	2	Fluvisol calcáreo. Luvisol crómico	
	3	Gleisol cálcico. Solonchak calcáreo	
	4	Regosol eútrico. Cambisol crómico	
	5	Regosol calcáreo. Calcisol háplico	
	6	Leptosol rendzínico. Leptosol eútrico	
	7	Leptosol lítico. Cambisol calcáreo	
	8	Leptosol lítico. Cambisol crómico	
	9	Leptosol lítico. Luvisol háplico	Acrisol háplico
	10	Arenosol calcáreo. Arenosol háplico	
	11	Cambisol calcáreo. Cambisol crómico	
	12	Cambisol calcáreo. Luvisol crómico	
	13	Cambisol crómico. Calcisol háplico	
	14	Cambisol crómico. Luvisol crómico	
	15	Cambisol gléico. Cambisol calcáreo	
	16	Cambisol gléico. Solonchak calcáreo	
	17	Luvisol crómico. Luvisol cálcico	Luvisol crómico. Luvisol cálcico
	18	Fluvisol calcáreo	
	19	Arenosol álbico	
	20	Calcisol háplico	
	21	Calcisol háplico. Luvisol cálcico	Calcisol pétrico
	22	Luvisol háplico	Cambisol crómico. Arenosol álbico

materiales arrastrados y en los que predominan las fracciones gruesas (gravas y cantos) y las muy finas.

## **2.-FLc-CMc. Asociación Fluvisol calcáreo y Cambisol calcáreo.**

Se hallan en el barranco del Doctor, barranco de la Fuente y rambla de la Cerverola. Son suelos formados por arrastres de las calizas del Muschelkalk que los rodean y que, en las zonas más distantes, han evolucionado hacia Cambisol calcáreo por lavado de carbonatos en el horizonte B. Son suelos agrícolas, principalmente de secano.

## **3.-FLc-LVx. Asociación Fluvisol calcáreo y Luvisol crómico.**

Se encuentran en las márgenes del tramo final del río Palancia, sobre el abanico aluvial de tipo deltaico, formado por arcillas arenosas rojas con cantos, en las que debido a las transformaciones para su puesta en cultivo, los suelos evolucionan hacia Luvisoles crómicos por un lixiviado de arcillas y lavado de carbonato. Son suelos que se dedican intensivamente al cultivo de cítricos.

## **4.-GLk-SCc. Asociación Gleisol cálcico y Solonchak cálcico.**

Se encuentran en la zona de marjal, sobre limos negros de albufera. Son suelos que están influenciados por una capa freática alta, así como por una concentración de sales debido a la interfase del agua marina, dependiendo que se dé una unidad o la otra, por la microtopografía del terreno y por la proximidad al mar. Suelos que antes se dedicaban al cultivo del arroz y que en la actualidad se dedican al cultivo de plantas que toleran las concentraciones de sales: melón, alfalfa, etc.

### **5.-RGe-CMx. Asociación Regosol eútrico y Cambisol crómico.**

Se encuentran repartidos en la zona montañosa, en laderas, sobre arcillas arenosas rojas (argilitas). Esta asociación requiere de grandes cambios topográficos y de vegetación, de manera que donde se acumulan los sedimentos se encuentran los Regosoles, mientras que en los demás sitios aparecen los Cambisoles crómicos sobre las argilitas. Son suelos con dedicación forestal, si bien, donde hay mayor profundidad de suelo, han sufrido transformaciones para la puesta en cultivo.

### **6.-RGc-CLh. Asociación Regosol calcáreo y Calcisol háplico.**

Suelos que se desarrollan sobre las margas y arcillas del Keuper, en áreas con topografías suaves, donde se han acumulado gran cantidad de carbonatos formando un horizonte cálcico con nódulos o concentración de caliza pulverulenta, debido a las aguas cargadas de bicarbonato en disolución y posterior evaporación. Son suelos fuertemente erosionables y con dedicación agrícola.

### **7.-LPk-LPe. Asociación Leptosol rendzínico y Leptosól eútrico.**

Suelos con escasa representación, formados sobre afloramientos aislados de calizas duras del Muschelkalk, con topografía variable y con vegetación desigualmente repartida por causa de los afloramientos. Los Leptosoles eútricos provienen de la degradación de los Leptosoles rendzínicos, por causa de la erosión. Son suelos delgados, muy erosionados, con dedicación de monte bajo.

#### **8.-LPq-CMc. Asociación Leptosol lítico y Cambisol calcáreo.**

Se encuentran poco representados. Aparecen sobre algunas areniscas y arcillas de la facies Rot, que han sido recarbonatadas por calizas y aguas carbonatadas provenientes de cotas superiores formando, en los casos más favorables, los Cambisoles calcáreos. Son suelos de topografía abrupta y con dedicación forestal, delgados y erosionados.

#### **9.-LPq-CMx. Asociación Leptosol lítico y Cambisol crómico.**

Suelos formados sobre dolomías y calizas duras. Son suelos esqueléticos, en los que los Cambisoles crómicos se pueden formar por degradación de los Luvisoles crómicos y por evolución de materiales de derrubio en la base de las laderas y asentamiento de la vegetación. Son suelos erosionados, delgados, con gran cantidad de piedras y con dedicación de matorral y forestal abierto.

#### **10.-LPq-LVh (ACh). Asociación Leptosol lítico y Luvisol háplico con inclusión de Acrisol háplico.**

Suelos formados sobre las areniscas del Buntsandstein en zonas con topografías variables. Son materiales silíceos muy meteorizables por la vegetación que soportan y muy erosionables. La formación del horizonte argílico es consecuencia del lavado de arcilla, por un lado y, por la meteorización de las areniscas en zonas blandas, por otro. Dada la naturaleza silícea de la roca, unido al intenso lavado, por ser materiales arenosos y muy permeables en superficie, la capacidad de intercambio de cationes llega a ser muy baja, dando inclusiones de Acrisoles háplicos, en áreas donde las condiciones mencionadas son más extremas. Son suelos

muy erosionados, profundos en zonas con gran desarrollo de vegetación forestal, siendo normalmente los alcornocales los enclaves donde se desarrollan.

#### **11.-ARc-ARh. Asociación Arenosol calcáreo y Arenosol háplico.**

Se encuentran en la zona de playa y en los cordones dunares que la bordean. Son suelos de textura gruesa, no evolucionados, sin diferenciación de horizontes y sin incorporación de materia orgánica al sustrato mineral. Sus propiedades físicas son las que condicionan sus relaciones con la vegetación, que a su vez es muy escasa. La carbonatación es secundaria debido a la abundante presencia de conchas y restos de moluscos.

#### **12.-CMc-CMx. Asociación Cambisol calcáreo y Cambisol crómico.**

Se encuentran repartidos sobre distintos materiales, casi siempre en zonas bajas donde se recogen las aguas cargadas de carbonatos y en zonas de acumulación de materiales erosionados de las zonas superiores, estas últimas dan lugar a los Cambisoles crómicos. Son suelos con dedicación forestal, que han sufrido transformaciones para puesta en cultivo de frutales de secano.

#### **13.-CMc-LVx. Asociación Cambisol calcáreo y Luvisol crómico.**

Se encuentran en la parte oriental de la hoja, asentados sobre mantos de arroyada formados por arcillas rojas con cantos de costras. Son suelos que por efectos de las labores y los riegos de los cultivos sufren alteraciones originando horizontes árgicos para formar los Luvisoles. Los suelos de esta unidad tienen dedicación agrícola intensiva en regadío, con cultivo de cítricos.

#### **14.-CMx-CLh. Asociación Cambisol crómico y Calcisol háplico.**

Se encuentran sobre todo, en zonas bajas llanas, principalmente sobre coluviones, arcillas rojas con cantos y depósitos de piedemonte formados por arcillas rojas con cantos encostrados superficialmente. Los contenidos en carbonatos, así como la profundidad a la que se encuentran éstos, darán una unidad u otra. Son suelos con dedicación agrícola, tanto en secano como en regadío.

#### **15.-CMx-LVx. Asociación Cambisol crómico y Luvisol crómico.**

Se encuentran en la zona llana cuaternaria, principalmente sobre depósitos de piedemonte formados por arcillas rojas con cantos encostrados, pero que debido a las transformaciones efectuadas para su puesta en cultivo y por los intensos riegos a los que se ven afectados, han sufrido evolución con formación de horizontes árgicos.

#### **16.-CMg-CMc. Asociación Cambisol gléico y Cambisol calcáreo.**

Se encuentran en el Cuaternario sobre limos pardos de la zona de albufera. Son suelos que se ven afectados por la capa freática alta que existe en la zona, y que dependiendo de la profundidad de ésta y de la microtopografía, así como de las obras realizadas para la desecación de la marjal, pueden dar una u otra unidad. Son suelos de cultivo intensivo en regadío, cítricos y hortalizas, dependiendo de la capa freática.

#### **17.-CMg-SCK. Asociación Cambisol gléico y Solonchak cálcico.**

Se encuentran junto a la asociación anterior; sobre limos pardos con cantos de albufera, en zona de capa freática alta y con mayor influencia entre la

interfase del agua marina y agua dulce, que incide en una mayor concentración de sales, originando las propiedades sálicas de estos suelos. Debido a la capa freática alta y a la concentración de sales, estos suelos se dedican al cultivo hortícola de plantas con tolerancia a la salinidad.

#### **18.-LVx-LVk. Asociación Luvisol crómico y Luvisol cálcico.**

Se encuentran situados sobre mantos de arroyada cuaternarios, formados por arcillas rojas con niveles de cantos zonales, arcillas que sufren evolución por lavado o descarbonatación, favorecido por el intenso laboreo a que se ven sometidos estos suelos, dependiendo de la formación del horizonte cálcico el que se de una unidad u otra. Son suelos arcillosos utilizados ampliamente en el cultivo de cítricos.

#### **19.-FLc.-Fluvisol calcáreo.**

La unidad descrita como Fluvisol calcáreo ocupa una gran superficie en la zona de estudio. El Fluvisol calcáreo se desarrolla sobre depósitos aluviales del Holoceno. Es una unidad llana, de pendientes no superiores al 2%, con dedicación agrícola intensiva de regadío, desde cultivos de huerta a cítricos. No se observan afloramientos rocosos ni pedregosidad. La erosión hídrica es la laminar moderada.

#### **20.-ARa. Arenosol álbico.**

La unidad definida como Arenosol álbico corresponde a la playa con materiales de arenas, principalmente, y cantos. La topografía es llana con pendientes inferiores al 1 %, y en las que la erosión más evidente es la eólica y la marina.

La dedicación es la de esparcimiento y recreo, aunque hay que señalar su evidente estado de degradación debido a la gran proliferación de urbanizaciones que han deteriorado totalmente su estado natural.

#### **21.-CLh. Calcisol háplico.**

Es una unidad muy homogénea desde el punto de vista geológico y climático, ya que los suelos se desarrollan sobre materiales cuaternarios constituidos por mantos de arroyada y mantos aluviales encostrados en clima semiárido. La topografía es llana con pendientes entre 2-5%, con ausencia de afloramientos rocosos y con poca pedregosidad. Se dedican en su mayoría al cultivo intensivo del regadío, cítricos principalmente, y la erosión hídrica observada es laminar moderada.

#### **22.-CLh-LVh (CLp). Asociación Calcisol háplico Luvisol cálcico con inclusión de Calcisol pétrico.**

El material de partida se localiza en cubetas de descalcificación cuaternarias constituidas por arcillas que provienen de la descalcificación lenta de las calizas, aunque actualmente están recarbonatadas. Los suelos tienen un espesor superior a 50 cm. La topografía de las unidades es llana con utilización agrícola de regadío ya que han sido transformadas a lo largo de los años. Se dedican principalmente al cultivo de cítricos y la erosión hídrica es laminar moderada.

#### **23.-LVh (CMx-ARa). Luvisol háplico con inclusión de Cambisol crómico y Arenosol álbico.**

La asociación de suelos Luvisol háplico con inclusión de Cambisol crómico y Arenosol álbico, caracteriza las formaciones montañosas de Monte Picayo,

Montaña Negra y Loma del Pardalot. La pendiente de la unidad oscila entre el 20-35%, con una cobertura vegetal del 35-40% con pinar y matorral. La pedregosidad es abundante (70-80%). La erosión hídrica observada es laminar intensa y en surcos moderados. Los suelos se desarrollan sobre materiales del Buntsandstein, constituidos por areniscas y argilitas, por tanto son no calcáreos. El Espesor de estos suelos es superior a 50 cm.

## **16. ZONAS DE EXTRACCIONES.**

### **16.1. METODOLOGIA PROPUESTA.**

Para realizar un mapa en el que se muestre la distribución de las explotaciones a partir de los puntos de agua considerados, en el caso de la Plana de Sagunto a partir de inventario realizado por el IGME, se procederá a la realización una nueva capa de información "raster" en la que cada celda contenga la suma de las extracciones anuales que tienen lugar dentro de su ámbito territorial.

### **16.2. PLANA DE SAGUNTO.**

La información disponible en la base de datos de IGME, respecto a los caudales de extracción realizados por las captaciones inventariadas, se refiere sólo a los años concretos 1980 y 2001.

Se ha optado por realizar un mapa, ver Plano 11A, en el que se muestran las zonas de concentración de explotación localizadas en la plana durante el año 1980.

Se debe recordar, antes de extraer conclusiones del citado mapa, que la información de partida se considera, a pesar de todo, escasa, por lo que la realidad podría estar enmascarada de forma considerable.

Así, de la observación del Plano 11A y teniendo en cuenta la limitación comentada, se extraen las siguientes conclusiones:

- Las áreas de mayor concentración de explotación se localizaban alrededor de la población de El Puerto de Sagunto y al Suroeste, donde se concentra gran actividad industrial.

- Al mismo tiempo, se empezaba a apreciar incrementos significativos de las extracciones en la zona localizada al Norte de la población de Canet de Berenguer, dado que se debía soportar la actividad inmobiliaria y turística cada vez más importante.
- No resulta difícil comprobar como en las proximidades de las poblaciones localizadas dentro de la plana existían celdas con valores relativamente altos de explotación destinadas a, como mínimo, uso urbano.
- Existían también extracciones importantes en las zonas agrícolas localizadas al: **a)** Sur y Sureste de la población de Almenara y **b)** Este de la población de Sagunto dedicadas.
- La zona agrícola localizada al Sur de la plana presentaba en general una menor concentración de explotaciones puesto que se abastecía, en una parte importante, a partir de las aguas superficiales procedentes del río Turia mediante la acequia de Moncada.
- Entre las poblaciones de Sagunto y Puçol, y pegadas al límite Occidental de la Plana se tenían algunas celdas con relativamente altos valores de extracción que correspondían a captaciones destinadas a uso agrícola y que, probablemente estaban captando recursos hídricos de los acuíferos localizados en las sierras interiores y no los de la masa pliocuaternaria propiamente dicha. Al Este de la población de Puçol se tenía una situación similar aunque con captaciones destinadas a usos urbano e industrial.

## **17. VOLÚMENES Y USOS DE LAS EXTRACCIONES.**

### **17.1. METODOLOGIA PROPUESTA.**

Es posible mostrar los dos aspectos considerados en el título del capítulo en un solo mapa en el que se represente:

- La localización de los puntos inventariados.
- Un color diferente para cada punto de agua según el uso al que sean destinados los recursos hídricos obtenidos a partir de él.
- Un tamaño que irá en función de: **a)** el volumen de agua conseguido a partir de cada uno de los aprovechamientos y **b)** del rango total de tamaños que podamos representar en el mapa a realizar para que este sea de fácil comprensión. El tamaño de los símbolos que representen los puntos de agua trabajados y sus rangos dependerán, por tanto, de cada estudio de caracterización.

Se deberán además indicar los volúmenes extraídos por las principales captaciones dedicadas a satisfacer el abastecimiento urbano.

### **17.2. PLANA DE SAGUNTO.**

Siguiendo la metodología comentada, se ha elaborado el Plano 11B a partir del inventario IGME en el que puede apreciarse:

- La mayor parte de las extracciones se realizan para satisfacer las necesidades de los regadíos que ocupan la mayor parte de la Plana de Sagunto.

- Los sondeos destinados a satisfacer las necesidades industriales de la zona se concentran básicamente dentro o en la zona localizada al Suroeste de la población conocida como el Puerto de Sagunto.
- Si bien existen captaciones dedicadas al abastecimiento urbano en el interior de la masa, existe una cierta tendencia a situar los sondeos de abastecimiento cerca del límite con las sierras interiores para poder captar sus recursos hídricos, dado que son de mejor calidad que los del pliocuaternario de la Plana de Sagunto.

## **18. TASA MEDIA ANUAL DE RECARGA A LARGO PLAZO.**

### **18.1. METODOLOGIA PROPUESTA.**

La consulta de los balances hídricos calculados por otros autores acostumbra a ser un buen punto de partida sobre el cual trabajar e ir ajustando cada uno de los términos del balance en función de las mediciones y conclusiones a las que se vayan llegando durante el desarrollo del estudio hidrogeológico propio.

En cada estudio, los términos del balance hídrico que contribuyen a recargar las distintas masas de agua susceptibles de estudiarse serán diferentes, por lo que resultará de vital importancia identificar primeros cuales son los procesos que tienen lugar y que implican una entrada de recursos en la masa acuífera considerada.

En el caso de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto, los términos del balance hídrico que deben ser especialmente tratados son:

**a)Transferencias laterales desde las masas de agua localizadas en las sierras interiores y en Las Planas de Castellón y Valencia.**

La recopilación de información piezométrica, hidroquímica y tecto-sedimentaria ayudará a determinar los lugares por donde éstas se producen y a estimar sus volúmenes anuales.

Se debe tener muy presente que los bombeos realizados en las masas de agua adyacentes a la de la Plana de Sagunto se han visto incrementados, de forma notable, en los últimos años. Ello habrá motivado, casi con total seguridad, el descenso de los aportes subterráneos procedentes

principalmente desde las sierras interiores hacia los materiales pliocuaternarios; de esta manera, es muy probable que el balance hídrico aceptado en el presente estudio deba ser modificado en futuras caracterizaciones de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto.

#### **b)Infiltración de agua de lluvia.**

La consulta de la información meteorológica de las estaciones más representativas de las condiciones climáticas que tienen lugar en la zona objeto de estudio, junto con los resultados obtenidos en trabajos previos en los que se incluyan valoraciones sobre el balance hídrico en el suelo, permitirá una mayor precisión en la estimación de este término del balance.

#### **c)Infiltración de excedentes de regadío.**

La cartografía de las zonas agrícolas, en la que se indiquen las especies cultivadas, el sistema de riego y las dotaciones reales aplicadas, junto con el un estudio de suelos, serán informaciones vitales para el cálculo de excedentes en los suelos donde tienen lugar prácticas agrícolas.

#### **d)Intrusión marina.**

La recopilación de información piezométrica, hidroquímica y tecto-sedimentaria ayudará a determinar los lugares por donde ésta se produce y a estimar su volumen anual. Se debe poner especial atención a este término del balance puesto que ha sido muy poco considerado en la bibliografía consultada la cual, salvo excepciones, sólo hablaba de **descarga subterránea a mar**.

Sin embargo, la evidente salinización de la masa subterránea hace imprescindible plantearse seriamente este nuevo término que cada día va ganando mayor importancia en el balance hídrico de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto.

Es por ello, que en el presente documento se ha desarrollado ampliamente una metodología de trabajo que permita caracterizar el proceso de intrusión marina a la que está expuesta una llanura litoral detrítica similar a la Plana de Sagunto en el epígrafe "*11.3. Metodología para la caracterización de intrusiones marinas*".

## **18.2. PLANA DE SAGUNTO.**

Se mostrará a continuación la Tabla nº7 en la que se presenta, a modo de resumen, la información bibliográfica recopilada acerca de la recarga que recibe la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto.



## METER TABLA RECARGA



## METER TABLA RECARGA



## METER TABLA RECARGA



A la vista de la información presentada, se considera que las recargas calculadas por IGME (1986 b), IGME (1986 c), TEYGE, S.A. (1990) y AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990) merecen especial consideración.

Todos los elementos de recarga tratados por los diferentes autores destacados son relativamente parecidos si bien, se deben comentar dos aspectos fundamentales que los diferencian en sendos grupos:

- En IGME (1986 b) sólo se considera un periodo de tiempo de cuatro años, entre el año 1980 y 1983, que "a priori" no parece ser lo suficientemente largo como para considerarse representativo, sin embargo, se debe resaltar el hecho de que entre los procesos de recarga considerados tiene en cuenta la entrada de agua marina dentro de la masa de agua subterránea.
- En IGME (1986 c), TEYGE, S.A. (1990) y AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990) se considera un periodo de tiempo de treinta y seis años, entre el año 1948 y 1983, que puede considerarse representativo pero, no considera la entrada de agua marina como un proceso de recarga de la masa de agua subterránea.

Es por ello que, aunque se tomarán los **104 hm<sup>3</sup>/año** calculados por IGME (1986 c), TEYGE, S.A. (1990) y AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990) como valor más adecuado para la **recarga media anual a largo plazo**, se considera oportuno que futuras revisiones del balance hídrico de la masa de agua subterránea tengan en cuenta el ajuste del mismo teniendo muy presente el proceso de intrusión marina.

Dado que la superficie ocupada por la Plana de Sagunto es de 127 km<sup>2</sup> y que la longitud de límite abierto es de 26,4 km puede establecerse:

- Una **tasa media anual de recarga a largo plazo a través de la superficie de la masa de agua** de 448,8 L/m<sup>2</sup>/año.
- Una **tasa media anual de recarga a largo plazo a través de límite permeable de la masa de agua** de 1779,9 L/m/año.

## **19. BALANCE HÍDRICO DE LA MASA DE AGUA.** **EVALUACIÓN DE LA DESCARGA.**

### **19.1. METODOLOGIA PROPUESTA.**

En cada estudio, los términos del balance hídrico que contribuyen a descargar las distintas masas de agua susceptibles de estudiarse serán diferentes, por lo que resultará de vital importancia identificar primeros cuales son los procesos que tienen lugar y que implican una salida de recursos en la masa acuífera considerada.

La consulta de los balances hídricos propuestos por otros autores acostumbra a ser un buen punto de partida sobre el cual trabajar e ir ajustando cada uno de los términos del balance en función de las mediciones y conclusiones a las que se vayan llegando durante el desarrollo del estudio hidrogeológico propio.

En el caso de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto, los términos del balance hídrico que deben ser especialmente considerados son:

#### **a) Extracciones mediante bombeos.**

La consulta bibliográfica de los volúmenes extraídos por las diferentes captaciones en la base de datos de los Organismos Públicos con competencia en la materia y la actualización del inventario de los puntos de agua de la llanura costera son las dos únicas maneras de conseguir, con la mayor exactitud posible, el volumen total de las extracciones anuales y el uso a que se destinan.

### **b) Manantiales y "ullals".**

Algunas surgencias como la Font de Quart, Font d'Almenara y algunos "ullals" se podrán aforar en diversas campañas anuales. Sin embargo, otros surgencias verticales más dispersas e, incluso, las que tienen lugar dentro de las propias zonas húmedas deberán ser estimadas mediante cálculos hidroquímicos (a partir de estudios de mezcla e isotopía) y/o matemáticos (a partir de las mediciones de cargas hidráulicas entre las diferentes masas de agua).

### **c) Drenaje del acuífero.**

El agua drenada de la masa pliocuaternaria es elevada hasta los canales de desagüe que conducen el agua al mar a través de las "golas". Por tanto, resulta necesario realizar aforos periódicos en todas las "golas" activas presentes en la zona, así como controlar los motores o cualquier otra infraestructura también utilizada para drenar el acuífero y verter los recursos extraídos directamente al mar.

Se controlará también, mediante estaciones de aforo dispuestas a tal efecto, el posible volumen de agua que se reinfiltraría nuevamente en el acuífero a partir del lecho de los canales de drenaje.

### **d) Descarga subterránea hacia mar.**

La recopilación de información piezométrica, hidroquímica y tecto-sedimentaria ayudará a determinar los lugares por donde ésta se produce y a estimar su volumen anual.

## **19.2. PLANA DE SAGUNTO.**

### **19.2.1. EVALUACIÓN DE LA DESCARGA.**

Se mostrará a continuación la Tabla nº8 en la que se presenta, a modo de resumen, la información bibliográfica recopilada acerca de la descarga que tiene lugar a partir de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto.



## METER TABLA DESCARGA



## METER TABLA DESCARGA



A la vista de la información presentada, se considera que la recargas calculadas por IGME (1986 b), IGME (1986 c), TEYGE, S.A. (1990) y AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990) parecen ser las que más se ajustan a la realidad de la masa subterránea de la Plana de Sagunto.

Así, aunque todos los elementos de descarga tratados por los diferentes autores destacados son relativamente parecidos entre sí, se debe volver a recordar que IGME (1986 b) sólo considera un periodo de tiempo de cuatro años, entre el año 1980 y 1983, que "a priori" no parece ser lo suficientemente largo como para considerarse representativo mientras que en IGME (1986 c), TEYGE, S.A. (1990) y AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990) se considera un periodo de tiempo de treinta y seis años, entre el año 1948 y 1983, que sí puede considerarse representativo.

Así, a partir de los valores de las extracciones dadas en la bibliografía a la que se da más credibilidad, se obtienen unas **tasas medias anuales de extracción para uso de abastecimiento urbano, industrial y regadío** de 14,4, 69,6 y 566,9 L/m<sup>2</sup>/año respectivamente para el conjunto de la masa subterránea de la Plana de Sagunto y, por tanto, una **tasa media anual de extracción total** de 649,9 L/m<sup>2</sup>/año.

Considerando una longitud de costa de 23,3 km, la **tasa media anual de descarga subterránea al mar**, tomando como referencia el valor dado en IGME (1986 c), TEYGE, S.A. (1990) y AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990), es de 643,7 L/m/año con las salvedades que se explicarán con mayor detalle en el próximo epígrafe "*19.3. Balance hídrico de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto*".

Finalmente, considerando una superficie total ocupada por marjales de 14 km<sup>2</sup> la **tasa media anual de descarga a marjales** calculada es de 457,1 L/m<sup>2</sup>/año.

### **19.3. BALANCE HIDRICO DE LA MASA DE AGUA SUBTERRANEA DE LA PLANA DE SAGUNTO.**

A continuación se expone, en la Tabla nº 9 el balance hídrico, seleccionado de la bibliografía consultada, como el más representativo de la situación que tiene lugar en la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto.

## METER BALANCE HÍDRICO



A pesar de considerarse este balance próximo a la realidad, se considera muy necesaria la revisión del mismo por diferentes motivos:

- El incremento de los bombeos en las sierras interiores ha sido notable en los últimos años, por lo que la recarga lateral subterránea desde las masas de agua subterráneas allí localizadas hacia la de la Plana de Sagunto se debe haber visto negativamente afectada.
- La infiltración de excedentes procedentes de regadíos también deberá someterse a revisión puesto que se está haciendo un gran esfuerzo en la zona por implantar el riego por goteo.
- La calidad química de las aguas subterráneas de la plana se ha visto reducida debido a un importante proceso de intrusión marina que obliga a replantearse, como mínimo localmente, el término del balance dedicado a la **descarga subterránea a mar** ya que, es posible, que deba empezar a considerarse como de **entrada desde el mar** que ya planteaba IGME (1986 b) en la recarga de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto presentada en el capítulo "18. *Tasa media anual de recarga a largo plazo*".
- No se dispone de un inventario de puntos de agua actualizado que permita asegurar que el valor tomado para los bombeos sea el correcto en la actualidad.
- Tampoco se dispone de un registro preciso de salidas a mar, a través de las diversas "golas", de aguas superficiales procedentes del drenaje de los marjales y de la masa de agua subterránea.



## **20. CRITERIOS y METODOLOGÍA APLICABLES PARA EVALUAR SI UNA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DEBE CONSIDERARSE EN RIESGO DE NO AJUSTARSE A LOS OBJETIVOS MEDIOAMBIENTALES DE LA DMA.**

En el mantenimiento o en el logro del buen estado de las masas confluyen casi todos los objetivos de la Directiva, siendo la propia la masa la que constituye la unidad básica de verificación de dicho estado. En buena ejecutoria, la delimitación de masas debe ser tal que la evaluación de su estado sea representativa de la realidad, que no oculte problemas significativos mediante su dilución en agregados espaciales amplios y que exista una cierta homogeneidad en la calidad química de la masa.

### **20.1. TRATAMIENTO LEGISLATIVO.**

Tal como se describe en el Anexo II de la DMA, una vez realizado la caracterización inicial de las masas, los Estados miembros realizarán una caracterización adicional de las masas o grupos de masas de agua subterránea que presenten un riesgo con el objeto de evaluar con mayor exactitud la importancia de dicho riesgo y de determinar con mayor precisión las medidas que se deben adoptar de conformidad al Artículo 11 para ajustarse a los objetivos de calidad medioambiental establecidos en el Artículo 4 de la DMA. En consecuencia, esta caracterización deberá incluir, entre otros aspectos, información pertinente sobre la incidencia de la actividad humana.

Teniendo en cuenta los objetivos fijados por la DMA para las masas de agua subterránea, los riesgos de su incumplimiento podrían derivar de alguno o algunos de los motivos siguientes:

- Afección significativa al flujo aportado por la masa de agua subterránea a masas de agua superficial o ecosistemas asociados.
- Afección significativa a la calidad de masas de agua superficial o ecosistemas asociados.
- Desequilibrio entre la extracción y la alimentación de la masa de agua subterránea.
- Deterioro significativo del estado químico de la masa de agua subterránea.
- Afección significativa a captaciones de agua subterránea utilizadas para suministro de agua potable.
- Afección significativa a otras zonas protegidas de las establecidas en el Artículo 6 y Anexo IV de la DMA.

## **20.2. METODOLOGIA PROPUESTA.**

De esta manera, podrían clasificarse las masas de aguas subterráneas en tres categorías según su riesgo de no cumplimiento de los objetivos de la DMA:

- Masas de agua para las cuales ya está claro que los objetivos no serán alcanzables.

- Masas de agua donde, debido a lagunas de información, no es posible saber actualmente si están en riesgo de no cumplir los objetivos y, en consecuencia, se requiere la realización de trabajos adicionales para efectuar la caracterización inicial.
- Masas de agua para las cuales ya está claro que cumplen los objetivos, y que no están en riesgo.

La primera y tercera de estas categorías corresponderían, respectivamente, a las denominadas anteriormente como "Mal estado" y "Buen estado", mientras que la segunda lo sería a la categoría "Sin datos". En consecuencia, sería conveniente incorporar una cuarta para calificar a las masas de agua "En riesgo", que serían aquellas que hallándose sometidas a presiones significativas, no reflejan en su estado el impacto de las mismas.

La presentación de resultados consistirá entonces en una relación de todas las masas de agua subterránea de la cuenca, clasificadas en las cuatro categorías que se describen a continuación:

- **Masas de agua en mal estado:** aquéllas en las que resulta claro que los objetivos medioambientales de la DMA no serán alcanzables y que, por tanto, deberán ser objeto de una caracterización adicional.
- **Masas de agua en riesgo:** las que hallándose sometidas a presiones significativas, no reflejan en su estado químico el impacto de las mismas
- **Masas de agua en buen estado:** se trata de masas sin riesgos que cumplen los objetivos medioambientales de la DMA.

- **Masas sin datos:** aquéllas en las que, debido a lagunas de información, no es posible determinar si se hallan o no en riesgo y, en consecuencia, precisan de la realización de trabajos adicionales para efectuar, al menos, la caracterización inicial.

En los dos primeros casos deberá incluirse una relación de las presiones que han propiciado su inclusión en las respectivas categorías.

Los criterios empleados para asignar las masas de agua a esas cuatro categorías consideran los siguientes casos:

- Masas con presión significativa comprobada (respecto a calidad y/o cantidad) en la que se ha comprobado el impacto. El riesgo es seguro y debe calificarse como en "Mal estado".
- Masas con presión significativa comprobada en la que no se ha detectado su impacto, que probablemente, podría producirse en el futuro. El riesgo está en estudio y debe calificarse como masa de agua "En riesgo". En este caso deberán implementarse redes de control para comprobar si se llega a producir ese impacto.
- Masas con un impacto comprobado pero se desconoce la presión que lo causa. El riesgo estará en estudio y debe calificarse como masa de agua "En riesgo" debiéndose efectuar una caracterización adicional.
- Masas sin presión significativa y sin impacto. El riesgo es inexistente y debe calificarse como masa de agua en "Buen estado".

- Masas sin información sobre la presión ni el impacto, por lo que no se puede evaluar el riesgo y debe calificarse como masa de agua "Sin datos".

### **20.3. PLANA DE SAGUNTO.**

La información recopilada durante la realización de este trabajo resulta ser más que suficiente para conseguir una definición relativamente buena de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto. Sin embargo, al pretender profundizar en el conocimiento de la hidrogeología de la zona, se aprecia como dicha información es insuficiente si se quiere conseguir una caracterización exhaustiva de dicha masa de agua subterránea.

Así y todo, con el conocimiento que actualmente se dispone del área objeto de este estudio, **se puede afirmar con toda rotundidad que la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto debe ser clasificada como en "Mal Estado"** dado que:

- Se ha producido un sensible deterioro de la calidad química de las aguas subterráneas desde el año 1972 (año de referencia) hasta nuestros días, debido al amplio e intensivo desarrollo de actividades urbanísticas-turísticas, agrícolas e industriales. Circunstancia que motiva el desarrollo de abundantes y potentes fuentes difusas y puntuales de contaminación.
- Se han apreciado también importantes descensos piezométricos en gran parte de la masa debidos a las explotaciones cada vez más intensas extracciones producidas tanto en la plana como en las masas de agua limítrofes que las alimentan mediante transferencias laterales.

En algunos lugares, la mejora de la eficiencia en los sistemas de regadío y la regulación de los cursos de aguas superficiales también ha contribuido a reducir la recarga por infiltración.

- La disminución de la presión del agua subterránea dulce en la masa, debida al aumento de las explotaciones y a la reducción de la recarga, ha provocado el desarrollo general y moderado del proceso de intrusión marina.

- La expansión de las actividades urbanísticas-turísticas, agrícolas e industriales está relegando a cada vez espacios más pequeños los espacios naturales originales y las áreas protegidas como Marjal i Estany d'Almenara y el Marjal dels Moros, este último mantenido artificialmente por la Conselleria de Medi Ambient de la Generalitat Valenciana ya que, de lo contrario, su secado en época estival sería seguro.

## **21. BIBLIOGRAFÍA.**

- IGME-EPTISA (1973). "Proyecto de investigación hidrogeológica del Bajo y Medio Júcar. Zone de Sagunto. Réinterprétation des sondages électriques".
- IGME-EPTISA (1981). "Informe hidrogeológico sobre la posible afección a los acuíferos de la zona de Almenara por la implantación de una explotación de turba".
- IGME-EPTISA (1982). "Modelo conceptual de La Plana de Castellón-Sagunto".
- IGME (1985). "Proyecto para el inventario de focos potenciales de contaminación de las aguas subterráneas y evaluación de la situación en calidad de las mismas en las cuencas media y baja del Júcar. 1983-1984. Sistema nº56.- Sierra de Espadán, Plana de Castellón y Plana de Sagunto". Tomo II.
- IGME (1986 a). "Estudio hidrogeológico para abastecimiento de Almenara (Castellón)".
- IGME (1986 b). "Modelo de intrusión de la Plana de Sagunto".
- IGME (1986 c). "Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización".
- ALLER, L.; BENNET, T.; ET AL. (1987): "DRASTIC, a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting". U.S. Environmental Protection Agency, Ada, OK, EPA, Report 600/2-87-035: 1-455.

- FOSTER ,S. (1987). "Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy". En: Vulnerability of soil and groundwater to pollutants, W. Van Duijvenbooden and H.G. Van Waegeningh (Eds.). TNO Committee on hydrological research, 38: 69-86.
- CHJ (1988). "Unidades hidrogeológicas de la España peninsular e Islas Baleares. Cuenca del Júcar. Fichas".
- AYUNTAMIENTO DE SAGUNTO-EVREN, S.A. (1990). "Estudio de evaluación de impacto ambiental de la revisión del Plan General de Ordenación Urbana de Sagunto".
- TEYGE, S.A. (1990). "Estudio de la garantía de abastecimiento con agua subterránea a la población de Almenara".
- CONSELLERIA D'AGRICULTURA I MEDI AMBIENT DE LA GENERALITAT VALENCIANA-TEYGE, S.A. (1995). "Catálogo de zonas húmedas de la Comunidad Valenciana".
- CONSELLERIA D'AGRICULTURA, PESCA I ALIMENTACIÓ DE LA GENERALITAT VALENCIANA (1995 a). "Mapa de suelos de la Comunidad Valenciana. Sagunto (668)". E: 1:100000. Proyecto Lucdeme.
- CONSELLERIA D'AGRICULTURA, PESCA I ALIMENTACIÓ DE LA GENERALITAT VALENCIANA (1995 b). "Mapa de suelos de la Comunidad Valenciana. Burjasot (696)". E: 1:100000. Proyecto Lucdeme.
- CONSELLERIA D'OBRAS PÚBLIQUES, URBANISME I TRANSPORTS DE LA GENERALITAT VALENCIANA, (1998). "Planeamiento urbanístico".

- TEYGE, S.A., (2001). "Informe preliminar sobre los trabajos necesarios para la definición del modelo conceptual de funcionamiento hidráulico del marjal de Almenara".
- CHJ-AQUATEC (2001). "Plan de protección de recursos hídricos de la zona húmeda de Almenara. TT.MM. Varios. Castellón".
- TEYGE, S.A. (2002 a). "Definición de las condiciones de contorno del acuífero de la Plana de Sagunto en la zona de contacto con el acuífero de Algart-Quart".
- TEYGE, S.A. (2002 b). "Definición de las isohipsas de muro del acuífero detrítico de la Plana de Sagunto".
- CHJ-TEYGE, S.A. (2003). "Asistencia técnica para la delimitación y caracterización de los acuíferos en las unidades hidrogeológicas de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Estimación del recurso disponible".
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, MIMAM (2003). "Criterios para identificación y delimitación de masas de agua subterránea".

**PROPUESTA DE FICHA DE CARACTERIZACIÓN ADICIONAL  
DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA. Versión 22-11-2005**

**PLANA DE SAGUNTO**

## PROPUESTA DE FICHA DE CARACTERIZACIÓN ADICIONAL DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA. Versión 22-11-2005

### 1.- DELIMITACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA

#### Identificación de la masa de agua subterránea:

Demarcación hidrográfica	Código	Nombre
<b>Cuenca Hidrográfica del Júcar</b>	<b>8022</b>	<b>Plana de Sagunto</b>

#### Ámbito administrativo:

- Comunidad/es autónoma/s: Comunidad Valenciana.
- Provincia/s: Valencia.
- Municipio/s: Almenara, Canet de Berenguer, Benavites, Benifairó de les Valls, Faura, Petrés, Puçol, Quart de les Valls, Quartell y Sagunto.

#### Población:

	Población (número de habitantes)		
	Incluida en la masa	Abastecida por captaciones ubicadas en la masa	De los núcleos urbanos ubicados en la masa
Derecho (censada)	<b>90000</b>		
Hecho (estimada)			

#### Marco geográfico:

- Red hidrográfica (citar los principales ríos): río Palancia.
- Vías de comunicación: N-234, N-340, A7-E-15, CV-10 y RENFE.

#### Topografía:

Altitud máxima	Altitud mínima
<b>110</b>	<b>0</b>

#### Modelo digital de elevaciones:

Distribución de altitudes	
Rango considerado (m s.n.m.)	Superficie de la masa (%)
<b>0-40</b>	<b>89</b>
<b>40-80</b>	<b>10</b>
<b>80-110</b>	<b>1</b>

**Información gráfica:**

- Base cartográfica. Mapa 0A.
- Mapa digital de elevaciones. Mapa 0B.

## 2.- GEOLOGÍA

### Situación geológica:

Dominio geológico	Superficie de la masa (%)
<b>Llanura litoral sobre terminación oriental del Sistema Ibérico</b>	<b>100</b>

### Serie litoestratigráfica sintética:

Litología	Rango de espesor estratigráfico (m)	Edad
<b>Conglomerados, gravas, arenas y arcillas</b>	<b>20-200</b>	<b>Cuaternario-Pliocuatrnario</b>

### Estructura: (cortes geológicos):

**Zócalo Mesozoico con estructura basada en bloques de tipo horst y grabens que condicionó la sedimentación de los materiales miocenos que constituyen el muro impermeable de la masa y de los pliocuatrnarios que integran propiamente la masa. Las mayores potencias de materiales detríticos sobre el zócalo están asociadas a las zonas de grabens y a procesos de subsidencia tectónica.**

### Suelos:

Tipo	Espesor medio (m)	Superficie de la masa (%)
<b>Fluvisol calcáreo</b>	<b>1,25</b>	<b>16</b>
<b>Gleisol cálcico</b>	<b>0,45</b>	<b>5</b>
<b>Regosol eútrico</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>
<b>Regosol calcáreo</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>
<b>Leptosol rendzínico</b>	<b>0,4</b>	<b>1</b>
<b>Leptosol lítico</b>	<b>0,4</b>	<b>4</b>
<b>Arenosol calcáreo</b>	<b>0,25</b>	<b>3</b>
<b>Arenosol álbico</b>	<b>0,25</b>	<b>1</b>
<b>Cambisol calcáreo</b>	<b>0,8</b>	<b>6</b>
<b>Cambisol crómico</b>	<b>0,8</b>	<b>21</b>
<b>Cambisol gléico</b>	<b>0,8</b>	<b>12</b>

Tipo	Espesor medio (m)	Superficie de la masa (%)
<b>Luvisol crómico</b>	<b>1,15</b>	<b>10</b>
<b>Calcisol háplico</b>	<b>0,8</b>	<b>19</b>

**Información gráfica:**

- Mapa geológico (Mapa 1)
- Leyenda litoestratigráfica
- Cortes geológicos y su ubicación (Mapa 2A4)

### 3.- ACUÍFEROS EXISTENTES EN LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SU GEOMETRÍA

#### Materiales que los constituyen:

Acuífero	Detrítico (no aluvial)	Detrítico aluvial	Carbonático	Volcánico	Metamórfico	Igneo	Otros (especificar)
Plana de Sagunto		X					

Observaciones: Acuífero multicapa.

#### Geometría del acuífero:

Acuífero	Geometría (*)
<b>Plana de Sagunto</b>	<b>Tabular</b>

(\*) Tabular, plegado, sinclinal, anticlinal, compleja.

Observaciones: De tabular a cóncavo sobre las zonas de grabens.

#### Límites:

Acuífero	Límite (*)	Tipo (**)	Sentido de flujo (***)	Naturaleza (****)
<b>Plana de Sagunto</b>	<b>Oeste</b>	<b>Abierto y semipermeable</b>	<b>Entrada</b>	<b>Impermeable de base</b>
<b>Plana de Sagunto</b>	<b>Norte</b>	<b>Abierto y semipermeable</b>	<b>Entrada</b>	<b>Convencional</b>
<b>Plana de Sagunto</b>	<b>Sur</b>	<b>Abierto y semipermeable</b>	<b>Entrada</b>	<b>Convencional</b>
<b>Plana de Sagunto</b>	<b>Este (Mar Mediterráneo)</b>	<b>Abierto</b>	<b>Entrada-Salida dependiendo circunstancias</b>	<b>Convencional</b>

(\*) Límite: De forma geográfica (norte, sur, este, oeste, sureste...)

(\*\*) Tipo: Abierto, cerrado, semipermeable

(\*\*\*) Sentido del flujo: Entrada, salida, flujo nulo, condicionado. Entrada-salida dependiendo de circunstancias (precipitaciones, bombeos, funcionamiento cursos fluviales)

(\*\*\*\*) Naturaleza: Contacto mecánico, impermeable de base, impermeable de techo, umbral piezométrico, convencional

**Superficie del acuífero:**

Acuífero	Superficie (km <sup>2</sup> )		
	Total	De afloramiento	Confinada
<b>Plana de Sagunto</b>	<b>127</b>	<b>127</b>	

Observaciones:

**Espesor:**

Acuífero	Espesor de la zona saturada (esté o no plegada o fracturada)		
	Rango de espesor (*)	% masa de agua	Extensión (km <sup>2</sup> )
<b>Plana de Sagunto</b>	<b>0-50</b>	<b>48</b>	<b>61</b>
<b>Plana de Sagunto</b>	<b>50-250</b>	<b>52</b>	<b>66</b>

(\*) 0-50, 50-250, 250-500, &gt;500 (metros)

Acuífero	Espesor total del acuífero		
	Rango de espesor	% masa de agua	Extensión (km <sup>2</sup> )
<b>Plana de Sagunto</b>	<b>0-50</b>	<b>41</b>	<b>52</b>
<b>Plana de Sagunto</b>	<b>50-250</b>	<b>59</b>	<b>75</b>

(\*) 0-50, 50-250, 250-500, &gt;500 (metros)

**Comportamiento hidrogeológico:**

Acuífero	Litología	Comportamiento hidráulico (*)	Tipo de porosidad (**)
<b>Plana de Sagunto</b>	<b>Detrítica</b>	<b>Libre y semiconfinado</b>	<b>Intergranular</b>

(\*) *Libre, confinado, semiconfinado, predominantemente libre, predominantemente confinado, Otros (detallar)*(\*\*) *Intergranular, fisuración, karstificación*

Observaciones: acuífero multicapa con niveles permeables superiores libres e inferiores semiconfinados con frecuente producción de flujos verticales ascendentes..

**Información gráfica:**

- Mapa de acuíferos incluidos en la masa de agua (Mapa 2A1)
- Isopacas del acuífero (Mapa 2A2)

#### 4.- INVENTARIO DE APROVECHAMIENTOS ACTIVOS (EN EXPLOTACIÓN) EN LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA

Fecha: Año 2001							
Procedencia de la información: Inventario IGME							
Naturaleza del aprovechamiento y profundidad	Número de puntos de agua según su uso						
	Consumo humano	Agricultura	Ganadería	Industria	Deportivos y recreativos	Otros	Total
Manantiales		1				1	2
Galerías	5	52		1		7	65
Pozos y sondeos	23	164		21		64	272
Profundidad captación Mínima	47,75	2,2				27	
Profundidad captación Media	109	103				133	
Profundidad captación Máxima	176	225				200	
Otros							

Observaciones:

#### **Información gráfica:**

- Mapa de inventario de puntos de agua (Mapas 2B)

## 5.- PIEZOMETRÍA

### Análisis de la piezometría:

	Año	Número puntos agua	Cota del nivel piezométrico (m s.n.m.)		Diferencia (max-min) (m)	Rango de oscilación estacional (m)	Sentidos principales de flujo	Gradiente medio (*)
			Máximo	Mínimo				
Isopiezas de referencia (Régimen no modificado)	1972	71	48	-1	49		ESE	0,8%
Isopiezas actuales	2001	8	40,57	-1	41,57		ESE	0,6%
Isopiezas año seco	1978	17	45,42	-1,89	47,31		ESE	1%
Isopiezas año húmedo	1989	9	49,02	-0,1	49,12	5-7	ESE	0,6%

(\*) Gradiente: Gradiente medio representativo en el sentido del flujo principal

Observaciones:

### Redes de observación:

Tipo de red de observación	Número de puntos	Distribución areal de los puntos	Serie histórica	Frecuencia de medidas	Fechas principales de optimización	Organismo que opera la red
Piezometría	20	Aceptable	1972-2002	Variable (mensual-semesteral)	1972-2001	IGME
Intrusión	32	Aceptable (*)	1972-2001	Variable (mensual-semesteral)	1972-2001	IGME
Calidad	4	Muy deficiente	1972-2001	Variable (mensual-Anual)	1972-1974	IGME

Observaciones: (\*) Debería mejorarse en el extremo Nororiental de la Plana de Sagunto. Destaca por su deficiencia la red de control de calidad química.

### Información gráfica:

- Mapa de isopiezas iniciales (Mapa 2C)
- Mapa de isopiezas año seco (Mapa 2D1)
- Mapa de isopiezas año húmedo (Mapa 2D2)

- Mapa de isopiezas actuales (Mapa 2E)

## 6.- RECARGA

### - Recarga natural:

Periodo considerado	Precipitación anual (mm)	Lluvia útil		Valor de recarga anual, en hm <sup>3</sup> y % respecto a la precipitación					Método empleado
		Valor (mm)	Método empleado	<20 hm <sup>3</sup>	20-40 hm <sup>3</sup>	40-60 hm <sup>3</sup>	60-80 hm <sup>3</sup>	>80 hm <sup>3</sup>	
1948-1983	481	107	Bibliograf	13,6 hm <sup>3</sup> - 22,24%					Bibliografía

Observaciones:

### - Evaluación conjunta de la recarga natural y otras recargas:

Procedencia de la recarga	Valor (hm <sup>3</sup> /año)	Método empleado
Infiltración de precipitación	13,6	Bibliografía
Retorno de riego	43,4	Bibliografía
Recarga desde cursos fluviales		Bibliografía
Aportación lateral de otras masas de agua subterránea	47	Bibliografía
Otros		

Observaciones:

### Información gráfica:

- Mapa de zonas de recarga natural (Mapa 3A)

## 7.- PARÁMETROS HIDRÁULICOS

### Permeabilidad:

Litología	Rango de permeabilidad			
	Muy alta > 10 <sup>-3</sup> m/s	Alta 10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-6</sup> m/s	Media 10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-9</sup> m/s	Baja < 10 <sup>-9</sup> m/s

Observaciones: El rango de valores encontrados en la bibliografía, sin especificación de la litología atravesada, se encuentra entre 0,1 y 434 m/día. Para la realización del mapa 4A se ha atribuido a cada litología cartografiada un valor relativo no numérico.

### Transmisividad:

Litología	Valor de transmisividad				
	Rango	Valor medio	Valor más frecuente	Valor más alto	Valor más bajo

Observaciones: Los valores medios encontrados en la bibliografía, sin especificación de la litología atravesada, se encuentran entre 1000 y 10000 m<sup>2</sup>/día, los valores mínimos entre 750 y 1000 m<sup>2</sup>/día y los máximos hasta 17000 m<sup>2</sup>/día.

### Caudal específico:

Litología	Valor de caudal específico				
	Rango	Valor medio	Valor más frecuente	Valor más alto	Valor más bajo

Observaciones: Los valores medios encontrados en la bibliografía, sin especificación de la litología atravesada, se encuentran entre 1 y 20 l/s/m, los valores mínimos por debajo de 1 l/s/m y los máximos en torno a 20 l/s/m.

### Coefficiente de almacenamiento:

Litología	Valor de coeficiente de almacenamiento				
	Rango	Valor medio	Valor más frecuente	Valor más alto	Valor más bajo

Observaciones: Los valores medios encontrados en la bibliografía, sin especificación de la litología atravesada, se encuentran entre 0,05 y 0,18, los valores mínimos por de bajo de 0,05 y los máximos de 0,4.

**Información gráfica:**

- Mapa de permeabilidad según litología (Mapa 4A)
- Mapa de valores de transmisividad (Mapa 4B)

## 8.- ZONAS PROTEGIDAS

Cuenca hidrográfica	Código	Nombre
<b>Cuenca hidrográfica del Júcar</b>	<b>LIC 22</b>	<b>Marjal i Estanys d'Almenara</b>
<b>Cuenca hidrográfica del Júcar</b>	<b>LIC 29</b>	<b>Cova del Sardinier-Sagunt</b>
<b>Cuenca hidrográfica del Júcar</b>	<b>LIC 32</b>	<b>Marjal dels Moros</b>
<b>Cuenca hidrográfica del Júcar</b>	<b>ZEPA 8</b>	<b>Marjal dels Moros</b>

Nombre del espacio protegido	Figura de protección (*)	Superficie total del espacio protegido	Superficie del espacio protegido incluida en la masa de agua subterránea	% de superficie que representa frente al total de la masa de agua subterránea
<b>Marjal i Estanys d'Almenara</b>	<b>LIC</b>	<b>13 km<sup>2</sup></b>	<b>7,8 km<sup>2</sup></b>	<b>6,1</b>
<b>Cova del Sardinier-Sagunt</b>	<b>LIC</b>	<b>0,1 km<sup>2</sup></b>	<b>0,1 km<sup>2</sup></b>	<b>0,07</b>
<b>Marjal dels Moros</b>	<b>LIC</b>	<b>6,1 km<sup>2</sup></b>	<b>6,1 km<sup>2</sup></b>	<b>4,8</b>
<b>Marjal dels Moros</b>	<b>ZEPA</b>	<b>6,1 km<sup>2</sup></b>	<b>6,1 km<sup>2</sup></b>	<b>4,8</b>

Observaciones:

(\*) Figura de protección:

Zonas vulnerables contempladas en la Directiva 91/676/CEE

Zonas sensibles contempladas en la Directiva 91/271/CEE

Perímetros de protección de aguas destinadas al consumo humano (abastecimiento a poblaciones) aprobados

Perímetros de protección de aguas destinadas al consumo humano (aguas minerales y termales) aprobados

Áreas de protección de hábitat o especies incluyendo la red Natura 2000 (Directiva Hábitat)

Reservas hidrológicas por motivos ambientales

RAMSAR

Zonas de especial protección para las aves (ZEPAS)

Lugares de interés comunitario (LIC)

Espacios naturales protegidos de las Comunidades Autónomas

Zonas protegidas en Planes provinciales

Figuras de protección que contemplen los Planes Generales de Ordenación urbana de los municipios

Áreas o lugares catalogados como puntos de interés geológico por cualquier institución con corresponsabilidad medioambiental

Otras (detallar)

### **Información gráfica:**

- Mapa de zonas protegidas (Mapa 5)

## 9.- CALIDAD QUÍMICA DE REFERENCIA

Calidad química de referencia								
Parámetro	Número de puntos	Valor				Fecha o Período de referencia	Procedencia de la información	Observaciones
		Máximo	Medio	Mínimo	Mediana			
Conductividad eléctrica (µS/cm)	22	4730	1470	895	1290	Junio (1972)	Inventario IGME	
Bicarbonatos (mg/L)	22	328	230	142	229	Junio (1972)	Inventario IGME	
Cloruros (mg/L)	22	744	142	35	99	Junio (1972)	Inventario IGME	
Sulfatos (mg/L)	22	1663	415	147	355	Junio (1972)	Inventario IGME	
Nitratos (mg/L)	19	181	99	17	99	Septiembre (1973)	Inventario IGME	
Calcio (mg/L)	22	581	153	73	125	Junio (1972)	Inventario IGME	
Sodio (mg/L)	22	209	54	26	46	Junio (1972)	Inventario IGME	
Potasio (mg/L)	22	35	5	2	3	Junio (1972)	Inventario IGME	
Magnesio (mg/L)	22	231	80	37	74	Junio (1972)	Inventario IGME	
DQO	22							
pH	22	8,2	7,8	7	7,9	Junio (1972)	Inventario IGME	
Otros ( Detallar)	22							

Observaciones: No se dispone de información sobre la DQO de referencia.

### **Información gráfica:**

- Mapas de la calidad química de referencia: mapa de diagramas Stiff (6A) y de valores de cloruros (Mapa 6B1A), conductividad eléctrica (Mapa 6B2), nitratos (Mapa 6B3), sulfatos (Mapa 6B4), bicarbonatos (Mapa 6B5) y mapa de facies hidroquímica (Mapa 6B6).

## 10.- CALIDAD QUÍMICA ACTUAL

Calidad química actual								
Parámetro	N° puntos	Valor				Fecha o Periodo de referencia	Procedencia de la información	Observaciones
		Máximo	Medio	Mínimo	Mediana			
Conductividad eléctrica (µS/cm)	27	3900	2421	1400	2500	Mayo (2001)	Inventario IGME	
Bicarbonatos (mg/L)	5	364	252	213	260	260 Mayo (2000)	Inventario IGME	
Cloruros (mg/L)	27	680	343	99	341	Mayo (2001)	Inventario IGME	
Sulfatos (mg/L)	5	784	533	326	568	Mayo (2000)	Inventario IGME	
Nitratos (mg/L)	5	450	225	54	220	Mayo (2000)	Inventario IGME	
Calcio (mg/L)	5	353	267	184	289	Mayo (2000)	Inventario IGME	
Sodio (mg/L)	5	153	88	33	84	Mayo (2000)	Inventario IGME	
Potasio (mg/L)	5	5	3,4	3	3	Mayo (2000)	Inventario IGME	
Magnesio (mg/L)	5	152	104	48	123	Mayo (2000)	Inventario IGME	
Nitritos (mg/L)	5	0,06	0,01	0	0	Mayo (2000)	Inventario IGME	
Amonio (mg/L)	5	0	0	0	0	Mayo (2000)	Inventario IGME	
Pesticidas (µg/L)								
Metales. (Detallar)								
Temperatura (°C)								
pH	5	8,1	7,7	7,4	7,7	Mayo (2000)	Inventario IGME	
Dureza (mg/L)								
DQO	5	1,3	1,24	1,1	1,3	Mayo (2000)	Inventario IGME	
Oxígeno disuelto (mg/L)								
Derivados del petróleo (Detallar)								
Elementos minoritarios (Detallar)								
Otros (Detallar)								

Observaciones: Salvo para los cloruros y la conductividad, el número de muestras disponible no resulta ser representativo de la zona de estudio.

### **Estratificación del agua subterránea:**

Rango de profundidad (m)	Nitratos (mg/L)	Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Contaminantes orgánicos. (Detallar)	Otros.( Detallar)

Observaciones: Aspecto del estudio no desarrollado por falta de representatividad de la distribución de las profundidades de las perforaciones disponibles.

### **Información gráfica:**

- Mapas de la calidad química de referencia: mapa de diagramas Stiff (7A) y de valores de cloruros (Mapa 7B1A), conductividad eléctrica (Mapa 7B2), nitratos (Mapa 7B3), sulfatos (Mapa 7B4), bicarbonatos (Mapa 7B5) y mapa de facies hidroquímica (Mapa 7B6).

## 11.- FUENTES SIGNIFICATIVAS DE CONTAMINACIÓN

Fuentes puntuales	Nº de actividades	Magnitud	
		Umbral	Parámetro
Vertederos de residuos no peligrosos	2		
Vertederos de inertes			
Vertedero de residuos peligrosos			
Instalaciones de gestión de residuos			
Depuradoras de aguas residuales			
Lagunas de efluentes líquidos			
Vertido en pozos			
Fosas sépticas			
Vertidos autorizados urbanos			
Vertidos autorizados agrarios			
Vertidos autorizados industriales			
Estaciones de servicio (gasolineras)	3		
Industrias IPPC			
Efluentes térmicos (generación de electricidad)	14		
Escombreras mineras			
Balsas mineras			
Agua de drenaje de minas			
Agua de lavado de minerales			
Explotaciones ganaderas			
Acuicultura			
Residuos de proceso de industrias agropecuarias			
Cementerios	10		
Polideportivos	12		
Depósitos de chatarra	5		
Centros turísticos (Cámpings)	6		
Viveros	3		
Cuadras y establos	7		
Depósitos de escombros	2		
Estercoleros	4		
Canteras de arenas y gravas	1		

Observaciones: No se dispone de información suficiente para valorar la magnitud ni de los umbrales ni de los parámetros.

## Parámetros y valores umbral para la caracterización de presiones significativas procedentes de fuentes puntuales

TIPO	MAGNITUD	
	Umbral	Parámetro
Vertidos urbanos	2000 h-e	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal (m<sup>3</sup>/año; m<sup>3</sup>/mes y m<sup>3</sup>/día);</li> <li>- Carga orgánica ( DQO,DBO, COT), compuestos de fósforo y nitrógeno(mg/L y g/año)</li> </ul>
Vertidos biodegradables	4000 h-e	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal (m<sup>3</sup>/año; m<sup>3</sup>/mes y m<sup>3</sup>/día</li> <li>- Carga orgánica( DQO,DBO, COT) , compuestos de fósforo y nitrógeno(mg/L y g/año)</li> </ul>
Vertidos industriales de actividades IPPC	Ser actividad IPPC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal (m<sup>3</sup>/año; m<sup>3</sup>/mes y m<sup>3</sup>/día)</li> <li>- Contaminantes autorizados (mg/l y g/año)</li> <li>- Sustancias prioritarias y otros contaminantes significativos (Anexo VIII de la DMA) (mg/L y g/año)</li> </ul>
Residuos mineros y aguas de agotamiento de mina	100 l/seg	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal (m<sup>3</sup>/año; m<sup>3</sup>/mes y m<sup>3</sup>/día)</li> <li>- Naturaleza del sector de producción</li> <li>- Sustancias prioritarias y otros contaminantes significativos (Anexo VIII de la DMA) (mg/L y g/año)</li> </ul>
Vertidos de sales	100 t/día TSD	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal (m<sup>3</sup>/año; m<sup>3</sup>/mes y m<sup>3</sup>/día)</li> <li>- Sales (mg/l y g/año)</li> <li>- Sustancias prioritarias y otros contaminantes significativos (Anexo VIII de la DMA) (mg/L y g/año)</li> </ul>
Vertido térmicos	Producción 10 MW	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal (m<sup>3</sup>/año; m<sup>3</sup>/mes y m<sup>3</sup>/día)</li> <li>- Temperatura del vertido (°C)</li> <li>- Sustancias prioritarias y otros contaminantes significativos (Anexo VIII de la DMA) (mg/l y g/año)</li> </ul>
Vertederos de residuos no peligrosos	Población 10.000 h.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal lixiviado</li> <li>- Sustancias prioritarias y otros contaminantes significativos (Anexo VIII de la DMA) (mg/L y g/año)</li> </ul>
Vertederos de residuos peligrosos	Ser vertedero de residuos peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal lixiviado</li> <li>- Sustancias prioritarias y otros contaminantes significativos (Anexo VIII de la DMA) (mg/L y g/año)</li> </ul>
Vertederos de residuos no peligrosos	Considerar si existe evidencia de presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal lixiviado</li> <li>- Carga orgánica( DQO,DBO, COT).</li> <li>- Compuestos de Nitrógeno y Fósforo</li> <li>- Sustancias prioritarias y otros contaminantes significativos (Anexo VIII de la DMA) (mg/L y g/año)</li> </ul>
Gasolineras	Año de construcción	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Derivados del petróleo</li> <li>- Sustancias prioritarias y otros contaminantes significativos (Anexo VIII de la DMA)</li> </ul>

<b><u>Fuentes difusas</u></b>	<b>Superficie ocupada (ha)</b>
Aeropuertos (1)	
Vías de transporte (2)	277
Suelos contaminados (3)	
Infraestructura industria del petróleo (4)	
Áreas urbanas (5)	866
Zonas mineras (6)	5
Áreas recreativas (7)	41
Zonas de regadío (8)	10411
Zonas de secano (9)	
Zonas de ganadería extensiva (10)	

Observaciones: Aspecto del estudio no desarrollado por falta de representatividad de la distribución de las profundidades de las perforaciones disponibles.

(1) PAHs, hidrocarburos. Sustancias prioritarias y otros contaminantes significativos (Anexo VIII de la DMA) (mg/L y g/año).

(2) PAHs, hidrocarburos, plomo. Sustancias prioritarias y otros contaminantes significativos (Anexo VIII de la DMA) (mg/L y g/año).

(3) Sustancias prioritarias y otros contaminantes significativos (Anexo VIII de la DMA) (mg/L y g/año).

(4) Hidrocarburos, PAHs. Sustancias prioritarias y otros contaminantes significativos (Anexo VIII de la DMA) (mg/L y g/año).

(5) Sustancias prioritarias y otros contaminantes significativos (Anexo VIII de la DMA) (mg/L y g/año).

(6) Elementos y compuestos en función de la naturaleza de la explotación. Sustancias prioritarias y otros contaminantes significativos (Anexo VIII de la DMA) (mg/L y g/año).

(7) Carga orgánica(DQO, DBO, COT), compuestos de fósforo y nitrógeno (mg/L y g/año), plaguicidas. Sustancias prioritarias y otros contaminantes significativos (Anexo VIII de la DMA) (mg/L y g/año).

(8) PO<sub>4</sub>, P total, NO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub> ,N total Plaguicidas.

(9) PO<sub>4</sub>, P total, NO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub> ,N total Plaguicidas.

(10) N° de cabezas /ha. Carga orgánica (DQO, DBO, COT), NO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, N total

## 12.- USOS DEL SUELO

Actividad	Corine Land Cover 2000
	Descripción
Aeropuertos	Aeropuertos
Vías de transporte	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados
Zonas de regadío	Terrenos regados permanentemente
	Cultivos herbáceos en regadío
	Otras zonas de irrigación
	Arrozales
	Viñedos en regadío
	Frutales en regadío
	Cítricos
	Frutales tropicales
	Otros frutales en regadío
	Olivares en regadío
	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en regadío
	Mosaico de cultivos en regadío
	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en regadío
	Mosaico de cultivos permanentes en regadío
	Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en regadío
Mosaico de cultivos agrícolas en regadío con espacios significativos de vegetación natural	
Zonas de secano	Tierras de labor en secano
	Viñedos en secano
	Frutales en secano
	Olivares en secano
	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en secano
	Mosaico de cultivos en secano
	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en secano
	Mosaico de cultivos permanentes en secano
	Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en secano.
	Mosaico de cultivos mixtos en secano y regadío
	Mosaico de cultivos agrícolas en secano con espacios significativos de vegetación natural
Cultivos agrícolas con arbolado adhesado	
Zonas quemadas	Zonas quemadas
Zonas urbanas	Tejido urbano continuo
	Tejido urbano discontinuo
	Estructura urbana abierta
	Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas
	Zonas en construcción
Zonas verdes urbanas	
Zonas mineras	Zonas de extracción minera
Zonas recreativas	Instalaciones deportivas y recreativas
	Campos de golf
	Resto de instalaciones deportivas y recreativas
Praderas	Prados y praderas
	Mosaico de prados o praderas con espacios significativos de vegetación natural y semi-nat
	Pastizales, prados o praderas con arbolado adhesado

Observaciones: Imposible ofrecer la información requerida respecto a contaminación a partir de los datos disponibles.

### Información gráfica:

- Mapa de usos del suelo (Mapa 9).

### 13.- VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN

#### Zona no saturada:

Litología	Rango de espesor			
	Fecha o Periodo	Máximo	Medio	Mínimo
Toda la masa	Junio (1972)	35	10	0

Observaciones:

#### Vulnerabilidad:

Clase de vulnerabilidad (*)	Rango de valores del índice empleado	% de la superficie de la masa ocupada por cada clase de vulnerabilidad	Método de estimación de la vulnerabilidad empleado
<b>Insignificante</b>	<b>&lt;100</b>	<b>3</b>	<b>DRASTIC</b>
<b>Muy baja</b>	<b>101-119</b>	<b>14</b>	<b>DRASTIC</b>
<b>Baja</b>	<b>120-139</b>	<b>19</b>	<b>DRASTIC</b>
<b>Moderada</b>	<b>140-159</b>	<b>20</b>	<b>DRASTIC</b>
<b>Alta</b>	<b>160-179</b>	<b>24</b>	<b>DRASTIC</b>
<b>Muy Alta</b>	<b>180-199</b>	<b>3</b>	<b>DRASTIC</b>
<b>Extrema</b>	<b>&gt;200</b>	<b>17</b>	<b>DRASTIC</b>

(\*) Muy alta, alta, moderada, baja, muy baja

Observaciones: Según DRASTIC, la clasificación de la vulnerabilidad es diferente a la ofrecida en (\*)

#### Información gráfica:

- Mapa de vulnerabilidad (Mapa 10A)
- Mapa de espesores de la zona no saturada (Mapa 10B)

## 14.- EXPLOTACIÓN O EXTRACCIÓN

Año	Tipo de gestión del abastecimiento de agua (*)	Usos del agua (hm <sup>3</sup> /año)					
		Abastecimiento humano	Agricultura	Ganadería	Industria	Deportivos y recreativos	Otros
1983		4,2	72,3		6,1		

(\*) Público, privado, mixto, otros

Observaciones:

### **Información gráfica:**

- Mapa de explotación o extracción de aguas subterráneas (Mapas 11A y 11B).

## 15.- RECARGA ARTIFICIAL

Periodo de funcionamiento	Sistema de recarga	Volumen total recargado	Origen agua recargada

Observaciones: No se produce esta tipo de recarga en la masa de aguas subterránea de la Plana de Sagunto.

**Información gráfica:**

## 16.- PROCESOS DE INTRUSIÓN MARINA

Rango prof. (m)	Num puntos agua	Ión cloruro y parámetros hidroquímicos															
		Cloruros (mg/L)				Conductividad eléctrica (μS/cm)				Temperatura (°C)							
		Periodos (*)				Periodos (*)				Periodos (*)							
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D				
<b>Todo el ac.</b>	<b>22</b>	<b>99</b>				<b>1290</b>											
<b>Todo el ac.</b>	<b>27</b>				<b>341</b>				<b>2500</b>								

(\*) Periodo: A, Año de referencia; B, Año seco; C, Año húmedo; D, Año actual.

Observaciones: Valores introducidos correspondientes a los de las muestras con contenidos en cloruros más próximos a los de las correspondientes medianas de cada periodo.

Rango prof. (m)	Num puntos agua	Relaciones hidroquímicas (meq/L)															
		r Cl / r CO <sub>3</sub> H				r Mg / r Ca				r SO <sub>4</sub> / r Cl <sup>-</sup>				ICB			
		Periodos (*)				Periodos (*)				Periodos (*)				Periodos (*)			
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
<b>Todo el ac.</b>	<b>22</b>	<b>0,71</b>				<b>0,6</b>				<b>1,24</b>				<b>0,42</b>			
<b>Todo el ac.</b>	<b>5</b>			<b>2,34</b>				<b>0,73</b>				<b>1,19</b>					<b>0,49</b>

(\*) Periodo: A, Año de referencia; B, Año seco; C, Año húmedo; D, Año actual.

Observaciones: Valores introducidos correspondientes a los de las muestras con contenidos en cloruros más próximos a los de las correspondientes medianas de cada periodo.

Tipo de intrusión		
Rango de profundidad (m)	I <sub>s</sub> (**)	Intrusión
<b>Todo el acuífero (referencia)</b>	<b>36,2</b>	<b>Intrusión general</b>
<b>Todo el acuífero (actualidad)</b>	<b>50,5</b>	<b>Intrusión general</b>

(\*\*) I<sub>s</sub> Índice superficial: Relación, para cada profundidad de trabajo, entre la superficie ocupada por la intrusión y la superficie total de la masa de agua subterránea afectada.

I<sub>s</sub> < 5: Intrusión puntual; 5 < I<sub>s</sub> < 15: Intrusión local; 15 < I<sub>s</sub> < 33: Intrusión zonal; I<sub>s</sub> > 33 Intrusión general.

Intensidad de la intrusión			
Rango de profundidad (m)	Rango isovariación máx Cl <sup>-</sup> (mg/L) (***)	Intrusión	% Superficie respecto a la superficie total de la masa de agua subterránea
<b>Todo el acuífero (referencia)</b>	<b>250-500</b>	<b>Baja</b>	<b>27,4</b>
<b>Todo el acuífero (referencia)</b>	<b>500-1000</b>	<b>Moderada</b>	<b>5,1</b>
<b>Todo el acuífero (referencia)</b>	<b>1000-5000</b>	<b>Elevada</b>	<b>3,7</b>
<b>Todo el acuífero (actualidad)</b>	<b>250-500</b>	<b>Baja</b>	<b>46,4</b>
<b>Todo el acuífero (actualidad)</b>	<b>500-1000</b>	<b>Moderada</b>	<b>4</b>

(\*\*\*) Rango de isovalores máximos Cl<sup>-</sup> (mg/L)

- 250 - 500: Intrusión baja.
- 500 - 1000: Intrusión moderada.
- 1000 – 5000: Intrusión elevada.
- 5000: Intrusión muy elevada.

Índice volumétrico de la intrusión	
I <sub>V</sub> (***)	Intrusión

(\*\*\*) I<sub>V</sub> : Relación entre el volumen ocupado por la intrusión y el volumen total de la masa de agua subterránea afectada.

I<sub>V</sub> < 5: Intrusión puntual; 5 < I<sub>V</sub> < 15: Intrusión local; 15 < I<sub>V</sub> < 33: Intrusión zonal;  
I<sub>V</sub> > 33 Intrusión general.

Observaciones: Aspecto del estudio no desarrollado por falta de representatividad de la distribución de las profundidades de las perforaciones disponibles.

### **Información gráfica:**

- Mapas de isovalores de concentración de cloruros con los tipos de intrusión para cada uno de los periodos considerados (Mapas 6B1B y 7B1B)
- Mapas de intensidad de la intrusión para cada uno de los periodos considerados (Mapas 6B1B y 7B1C)

## 17.- OTRAS PRESIONES

Actividad	Descripción y efecto en masa de agua subterránea
Modificaciones morfológicas de los cursos fluviales	
Otras (Definir)	La expansión, principalmente de las actividades urbano-turístico y agrícola, está limitando las zonas húmedas (en teoría protegidas) y los espacios naturales a áreas cada vez más reducidas

Observaciones:

**18.- ECOSISTEMAS QUE DEPENDAN TOTAL O PARCIALMENTE DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

	Nombre	Fecha o periodo	Zona de intercambio	Tasa de intercambio anual (hm <sup>3</sup> )	Edad aguas surgentes	Observaciones
Cursos fluviales						
Lagos						
Ecosistemas terrestres						
Zonas húmedas	Marjal dels Moros y Marjal i Estanys d'Almenara					
Aguas de transición						
Otros						

Observaciones: Existe gran incertidumbre sobre el funcionamiento de las zonas húmedas a nivel cuantitativo.

***Información gráfica:***

- Mapa de ecosistemas dependientes de aguas subterráneas (Figuras nº5 y 6)

## 19.- EVALUACIÓN DEL ESTADO CUANTITATIVO

Valoración del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea efectuado en la caracterización inicial (Síntesis)	
Criterio analizado	Evaluación efectuada
Balance hídrico (Entradas y salidas). Desequilibrio entre extracción y recarga	
Variaciones del nivel piezométrico	Descensos generalizados del orden de los 5 m
Variación significativa del flujo aportado por la masa de agua subterránea a las masas de agua superficiales y ecosistemas asociados	
Intrusión marina	
Otros	

Observaciones: Se ha apreciado, aunque no cuantificado, **a)** desequilibrio entre extracción y recargas, **b)** disminución en la recarga de las zonas húmedas y **c)** fenómeno de intrusión marina.

Valoración del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea efectuada en la caracterización adicional	
Criterio analizado	Evaluación efectuada
Balance hídrico (Entradas y salidas). Desequilibrio entre extracción y recarga	
Variaciones del nivel piezométrico	Descensos generalizados del orden de los 5 m
Variación significativa del flujo aportado por la masa de agua subterránea a las masas de agua superficiales y ecosistemas asociados	
Intrusión marina	
Otros	

Observaciones: Se ha apreciado, aunque no cuantificado, **a)** desequilibrio entre extracción y recargas, **b)** disminución en la recarga de las zonas húmedas y **c)** fenómeno de intrusión marina.

## 20.- EVALUACIÓN DEL ESTADO QUÍMICO

Síntesis de la valoración del estado químico de la masa de agua efectuado en la caracterización inicial	
Criterio analizado	Evaluación efectuada
Deterioro significativo del estado químico	Todos los parámetros hidroquímicos analizados han mostrado un deterioro significativo de la calidad química general de los recursos hídricos de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto, en especial la conductividad cloruros, nitratos y sulfatos, así como una pérdida de la influencia de las aguas de procedencia externa, con mejor calidad química, que recargan por transferencia subterránea la masa.
Afección a captaciones de agua subterránea utilizadas para consumo humano	
Afección a zonas protegidas	

Observaciones:

Evaluación respecto a los parámetros:

- pH:
- Conductividad:
- Oxígeno disuelto:
- Cloruros:
- Sulfatos:
- Especies nitrogenadas:
  - Nitratos
  - Nitritos
  - Amonio
- Fitosanitarios:
- Disolventes halogenados:
- Metales:
- Derivados de hidrocarburos:
  - Aceites minerales
  - BTEX
  - PAH
- Otros contaminantes:
- Nivel de confianza en la evaluación del riesgo

Valoración del estado químico de la masa de agua subterránea efectuada en la Caracterización adicional	
Criterio analizado	Evaluación efectuada
Deterioro significativo del estado químico	Todos los parámetros hidroquímicos analizados han mostrado un deterioro significativo de la calidad química general de los recursos hídricos de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto, en especial la conductividad cloruros, nitratos y sulfatos, así como una pérdida de la influencia de las aguas de procedencia externa, con mejor calidad química, que recargan por transferencia subterránea la masa.
Afección a captaciones de agua subterránea utilizadas para consumo humano	
Afección a zonas protegidas	

Observaciones:

Evaluación respecto a los parámetros:

- pH:
- Conductividad:
- Oxígeno disuelto:
- Cloruros:
- Sulfatos:
- Especies nitrogenadas:
  - Nitratos
  - Nitritos
  - Amonio
- Fitosanitarios:
- Disolventes halogenados:
- Metales:
- Derivados de hidrocarburos:
  - Aceites minerales
  - BTEX
  - PAH
- Otros contaminantes:
- Nivel de confianza en la evaluación del riesgo

## 21.- DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE LA MASA DE AGUA POR EFECTO DE LAS PRESIONES

Tipo de presión	Diagnóstico de la situación de la masa de agua subterránea
Fuentes difusas de contaminación	Sin duda alguna, la principal fuente de contaminación difusa detectada en la Plana de Sagunto es la intensa y generalizada aplicación de abonos para uso agrícola especialmente, aunque no sólo, los constituidos por compuestos nitrogenados.
Fuentes puntuales de contaminación	Se tienen abundantes y variados focos potenciales de producir contaminación puntual: depósitos de chatarra, estercoleros, escombreras, gasolineras, instalaciones eléctricas, cuadras y establos, centros turísticos (especialmente cámpings), cementerios, vertederos, viveros, estadios deportivos, canteras de arenas y gravas y vertidos de aguas residuales.
Extracción de aguas subterráneas	El aumento de las extracciones y el descenso de la recarga por transferencias laterales procedentes de otras masas, también cada vez más explotadas, conlleva un descenso piezométrico generalizado
Recarga artificial	
Intrusión salina y otras intrusiones	Se ha detectado un proceso de intrusión marina clasificado como general y de intensidad baja-moderada

Observaciones:

### Criterios que justifiquen aplicar a la masa de agua subterránea objetivos medioambientales menos rigurosos por su estado de deterioro

Factor o parámetro considerado	Valor representativo		Origen o causa del elevado deterioro	Motivo por el que no se puede rebajar el estado de deterioro hasta lograr el buen estado de la masa de agua subterránea
	Actual	Al que debería tenderse		

Observaciones: un aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos disponibles mejoraría sensiblemente la situación de baja calidad química de la masa de agua subterránea de la Plana de Sagunto, por lo que no existe criterio alguno que justifique la aplicación de objetivos medioambientales menos rigurosos.

## 22.- MEDIDAS RECOMENDADAS PARA REVERTIR LAS TENDENCIAS

Programa de medidas contempladas	Medidas correctoras o preventivas a implementar	Fases de ejecución	Sistema de evaluación de las medidas propuestas en el estado de las masas de agua subterránea
Disminución de volúmenes extraídos en captaciones	Reutilización de los recursos drenados a través de las "golas", 27,5 hm <sup>3</sup> /año, para usos agrícola, industrial y urbano después de potabilizarlos. Eliminación de captaciones según volumen de extracción equivalente. Se desaconseja la reutilización de las aguas residuales depuradas en este acuífero con tan poco espesor no saturado	Cinco años	Inspección oficial y controles piezométrico y de calidad con una frecuencia mínima semestral
Supresión de extracciones existentes			
Redistribución areal de captaciones			
Cambio de usos del suelo			
Cambio de cultivos			
Modificación de las prácticas agrícolas	Implantación total del riego por goteo y optimización de los métodos de abonado	Dos años	Inspección oficial y controles piezométrico y de calidad con una frecuencia mínima semestral
Eliminación de determinadas presiones	Revisión individual de todas las infraestructuras y actividades clasificadas como potencialmente contaminantes	Dos años	Inspección oficial y controles piezométrico y de calidad con una frecuencia mínima semestral
Aplicación de métodos de descontaminación "in situ"			
Aplicación de métodos de descontaminación "ex situ"			
Otras (Detallar)	Recargar artificialmente, entre los meses de octubre y marzo, el acuífero con 10-12 hm <sup>3</sup> procedentes del río Turia	Dos años	Inspección oficial y controles piezométrico y de calidad con una frecuencia mínima semestral
Otras (Detallar)	Prohibición de ejecutar nuevos aprovechamientos	Inmediata	Inspección oficial
Otras (Detallar)	Depuración y reutilización parcial, por parte de las propias empresas, de las aguas rechazadas por la industria	Tres años	Inspección oficial

Observaciones: