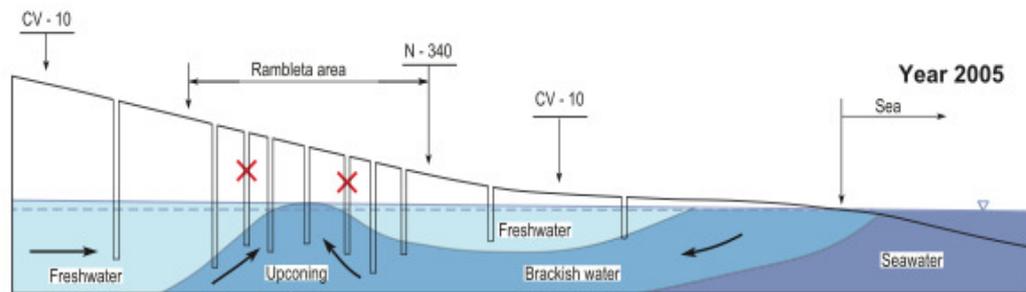


# Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)



*Fecha de inicio*                      01 septiembre 2011  
*Fecha de finalización*              30 septiembre 2012

## Informe final

Octubre 2012

Ignacio Morell  
Bruno J. Ballesteros  
Alejandra Renau-Llorens  
Olga García

Financiado por The Coca-Cola Foundation



*Esta memoria recoge los resultados obtenidos durante la fase I del proyecto titulado **Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water**, financiado por **The Coca-Cola Foundation** en el marco de la filosofía de **Water Neutrality** auspiciada por **The Coca-Cola Company***



## **Equipo de trabajo**

### **Unidad de Investigación de Acuíferos Costeros**

*Universitat Jaume I de Castellón – Instituto Geológico y Minero de España*

Ignacio Morell Evangelista

Bruno J. Ballesteros Navarro

Alejandra Renau-Llorens

Olga García Menéndez

Félix M. Rubio Sánchez-Aguililla

Pedro Ibarra Torres

Tomás Rodríguez Mauricio

Javier Company Carretero

---

Con el soporte de

**Coca-Cola España**

**Colebega S.A.**

Y la colaboración de

**Confederación Hidrográfica del Júcar**

**Generalitat Valenciana**

**Universitat Politècnica de Valencia**

**Grupo Xiob**

**Diputación Provincial de Castellón**

**Acuamed**

**Cooperativa de Riegos de Vall de Uxó**

**Comunidades de Regantes de Vall de Uxó, Nules y Moncófar**



## **Idea esencial**

*Establecer una metodología apropiada para realizar un proyecto piloto de recarga artificial con aguas residuales regeneradas para luchar contra la intrusión marina y contribuir a la recuperación de acuíferos costeros salinizados*



## **Agradecimiento**

*A las comunidades y sociedades de riegos de Vall de Uxó,  
Moncófar y Nules, por su ayuda desinteresada*

*A la Cooperativa de Riegos de Vall de Uxó, por  
facilitarnos la labor*

*A Vicente Ambou, por su interés y continuo apoyo*



## INDICE GENERAL

<b>Capítulo 1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Presentación	3
1.2. Antecedentes	3
1.3. Objetivos	5
1.4. Aspectos legislativos de la recarga artificial	5
<b>Capítulo 2. SELECCIÓN DEL ÁREA PILOTO</b>	<b>9</b>
2.1. Introducción	11
2.2. Hidrogeología de la Comunidad Valenciana	11
2.2.1. Introducción	11
2.2.2. Formación y génesis de las planas litorales	13
2.2.3. Modelo tectosedimentario. Aspectos litológicos y geométricos	13
2.2.4. Parámetros hidrodinámicos de las formaciones acuíferas	16
2.2.5. Modelo de funcionamiento hidrogeológico	17
2.2.6. Evaluación de recursos. Componentes del balance hídrico	19
2.2.7. Calidad de las aguas subterráneas	19
2.2.8. Consideraciones generales sobre los acuíferos litorales de la CV	22
2.3. La depuración de las aguas residuales en la Comunidad Valenciana	
2.3.1. Estado actual	23
2.3.2. Grado de reutilización	25
2.3.3. EDAR,s en zonas costeras	28
2.4. Fichas de masas de agua (MASub)	29
2.5. Criterios para la selección del área piloto	32
2.6. Sectores potencialmente favorables	35
2.6.1. Masa de agua subterránea 080.107 Plana de Vinaroz	35
2.6.2. Masa de agua subterránea 080.110 Plana de Oropesa - Torreblanca	35
2.6.3. Masa de agua subterránea 080.127 Plana de Castellón	36
2.6.4. Masa de agua subterránea 080.128 Plana de Sagunto	37
2.6.5. Masa de agua subterránea 080.151 Plana de Jaraco	37
2.6.6. Masa de agua subterránea 080.163 Oliva - Pego	37
2.6.7. Masa de agua subterránea 080.164 Ondara - Denia	38
2.6.8. Masa de agua subterránea 080.180 Jávea	38
2.7. Selección del área piloto	38
<b>Capítulo 3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA PILOTO</b>	<b>41</b>
3.1. Marco geográfico y datos socioeconómicos	43
3.2. Marco geológico de la Plana de Castellón	44
3.2.1. Características litoestratigráficas	45
3.2.2. Tectónica	49
3.3. Marco hidrogeológico. El acuífero de la Plana de Castellón	49
3.4. Caracterización del área piloto	52
3.4.1. Inventario de puntos de agua	52
3.4.2. Prospección geofísica. Tomografía eléctrica	52
3.4.3. Caracterización hidrogeológica	57
3.4.4. Red de observación	61
3.4.5. Estudio piezométrico	67

<b>Capítulo 4. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DEL ÁREA PILOTO</b>	79
4.1. Hidroquímica general de la plana de Castellón	81
4.2. Campañas de muestreo	81
4.3. Estudio de la salinidad en el área piloto	82
4.4. Registros verticales de conductividad	99
4.5. Iones minoritarios y traza	102
4.7. Análisis de sustancias prioritarias y contaminantes emergentes	103
<b>Capítulo 5. PROPUESTA DE ACTUACIONES</b>	109
5.1. Posibilidades de actuación	111
5.1.1. Introducción	111
5.1.2. Recarga en profundidad mediante pozos penetrantes	111
5.1.3. Recarga desde superficie por medio de balsas de infiltración	113
5.1.4. Recarga por infiltración desde el cauce del barranco Randero	114
5.1.5. Recarga mediante pozos no penetrantes	115
5.1.6. Conclusiones generales	116
5.2. Exigencia de calidad en las aguas para recarga artificial de acuíferos	116
5.2.1. Planteamiento del problema	116
5.2.2. Normativa aplicable	117
5.2.3. Otras consideraciones	120
5.2.4. Conclusiones	120
5.3. Calidad del agua disponible	122
5.4. Propuesta de actuación	124
5.4.1. Sistema de recarga elegido	124
5.4.2. Emplazamiento seleccionado	125
5.4.3. Caudales de recarga	126
5.4.4. Tratamiento terciario	127
5.4.5. Plan de seguimiento y control	128
<b>Capítulo 6. MISCELÁNEA</b>	133
6.1. Grado de cumplimiento de los objetivos previstos	135
6.2. Estimación de la cantidad de agua que se pretende recargar	136
6.3. Detalles sobre el sistema de recarga a implementar	137
6.4. Lecciones aprendidas y recomendaciones para aumentar el impacto	137
6.5. Resumen financiero	138
<b>Bibliografía</b>	139
<b>ANEXOS</b>	
Anexo 1. Fichas de las masas de agua subterránea	A1-1
Anexo 2. Inventario de puntos de agua	A2-1
Anexo 3. Columnas litológicas	A3-1
Anexo 4. Parámetros físico químicos de las aguas subterráneas	A4-1
Anexo 5. Parámetros físico químicos de las aguas residuales	A5-1

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de situación de la Comunidad Valenciana	3
Figura 2. Delimitación de las unidades hidrogeológicas en la Comunidad de Valencia.	12
Figura 3. Columna litoestratigráfica sintética del relleno Neógeno- Cuaternario de la cuenca valenciana (López et. al. 2003)	15
Figura 4. Corte hidrogeológico esquemático del sector meridional de la Plana de Castellón (Ballesteros, 2003)	16
Figura 5. Corte hidrogeológico del acuífero de la Plana de Valencia (López et al. 2003)	16
Figura 6. Esquema de un acuífero litoral de la Comunidad Valenciana asociado a una zona húmeda. (Ballesteros, 2003)	17
Figura 7. Mapa de isólinas de contenidos en cloruros (Octubre de 1998)	20
Figura 8. Mapa de distribución de las EDAR en funcionamiento en 2011	23
Figura 9. Evolución del volumen de agua depurada en los últimos años	24
Figura 10. Evolución de los rendimientos de eliminación de DBO <sub>5</sub>	24
Figura 11. Volumen de agua residual reutilizada en las provincias de la Comunidad Valenciana (Fuente: Prats et al., 2009)	26
Figura 12. Localización de las EDAR costeras de la Comunidad Valenciana	29
Figura 13. Masas de agua costeras preseleccionadas	32
Figura 14. Mapa de situación del área piloto seleccionada	43
Figura 15. Plana de Castellón. Límites del acuífero, red hidrográfica y zonas húmedas	44
Figura 16. Mapa geológico de la Plana de Castellón. Fuente: Boi, 2003	47
Figura 17. Columna litoestratigráfica sintética de la Plana de Castellón y su entorno	48
Figura 18. Superficie piezométrica del acuífero de la Plana de Castellón	51
Figura 19. Localización de los perfiles geoelectrónicos	54
Figura 20. Resistividades obtenidas en el Perfil 1	55
Figura 21. Resistividades obtenidas en el Perfil 2	55
Figura 22. Resistividades obtenidas en el Perfil 3	56
Figura 23. Resistividades obtenidas en el Perfil 4	56
Figura 24. Valores de cargabilidad obtenidos para el Perfil 1	57
Figura 25. Situación de los cortes geológicos	59
Figura 26. Cortes hidrogeológicos	60
Figura 27. Evolución de la piezometría entre abril y agosto de 2012	69
Figura 28. Evolución histórica de niveles piezométricos	70
Figura 29. Evolución de los niveles piezométricos (periodo febrero - julio 2012). a) Rambleta 5; b) Rambleta 5; c) Rambleta 6	72
Figura 30. Evolución de los niveles piezométricos en el periodo junio - julio 2012	73
Figura 31. Diagrama de Piper	83
Figura 32. Evolución de los bombeos en el área piloto	95
Figura 33. Evolución histórica de los cloruros en los pozos Santa Catalina y Santa Magdalena	96
Figura 34. Evolución histórica de los cloruros en los pozos Unión Agrícola y Villalba	97
Figura 35. Evolución del frente salino en el área Moncófar - Vall de Uxó	98
Figura 36. Registros verticales de temperatura (Junio 2012)	99
Figura 37. Registros verticales de conductividad eléctrica en el pozo Rambleta 5	100
Figura 38. Relación entre las concentraciones de litio y estroncio (Abril, 2012)	101
Figura 39. Proceso de preparación y análisis de muestras	103
Figura 40. Esquema de la cantera situada en el Camí de la Ratlla	113
Figura 41. Esquema de la infiltración a partir del Barranco Randero	115
Figura 42. Distribución de los piezómetros alrededor del pozo de recarga	129
Figura 43. Esquema de inyección a través de pozos no penetrantes	129

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Volúmenes de agua depurada y reutilizada en la provincia de Castellón	27
Tabla 2. Volúmenes de agua depurada y reutilizada en la provincia de Valencia	27
Tabla 3. Volúmenes de agua depurada y reutilizada en la provincia de Alicante	28
Tabla 4. Coordenadas UTM de las EDAR costeras	30
Tabla 5. Parámetros de calidad de las EDAR (Fuente: EPSAR, 2010)	34
Tabla 6. Balance hídrico de la Plana de Castellón (IGME-DGA)	51
Tabla 7. Características generales de los perfiles medidos	54
Tabla 8. Red de control	66
Tabla 9. Datos de la nivelación de los puntos de la red de control	67
Tabla 10. Pozos con divers	71
Tabla 11. Evolucide los bombeos en el periodo 2005-2010	95
Tabla 12. Contaminantes emergentes en los pozos Rambleta 2 y San Vicente	104
Tabla 13. Criterios de calidad para recarga artificial (RD 1620/2007)	117
Tabla 14. Lista de Sustancias Prioritarias (Directiva 2000/60/EU)	120
Tabla 15. Análisis del efluente de la EDAR de Vall de Uxó	122
Tabla 16. Sustancias prioritarias en el efluente de la EDAR de Vall de Uxó	123
Tabla 17. Compuestos emergentes en el efluente de la EDAR de Vall de Uxó encontrados mediante cromatografía líquida	123
Tabla 18. Compuestos emergentes en el efluente de la EDAR de Vall de Uxó encontrados mediante cromatografía de gases	124
Tabla 19. Características básicas de los pozos preseleccionados para recarga	125
Tabla 20. Equipamiento y frecuencia de análisis de cada parámetro	130
Tabla 21. Periodicidad del muestreo y análisis de cada parámetro	130

## ÍNDICE DE MAPAS

Mapa nº 1. Inventario de puntos de agua	53
Mapa nº 2. Mapa de isopropundidades del tramo superior detrítico	62
Mapa nº 3. Mapa de isopacas del tramo superior detrítico	63
Mapa nº 4. Mapa de caudales específicos	64
Mapa nº 5. Mapa de isopropundidades del substrato mesozoico	65
Mapa nº 6. Red de control	68
Mapa nº 7. Mapa piezométrico, abril 2012	74
Mapa nº 8. Mapa piezométrico, junio 2012	75
Mapa nº 9. Mapa piezométrico, agosto 2012	76
Mapa nº 10. Mapa de isovariaciones piezométricas, abril - agosto, 2012	77
Mapa nº 11. Relación SO <sub>4</sub> / Cl, abril 2012	85
Mapa nº 12. Mapa de isocontenidos en sulfatos, abril 2012	86
Mapa nº 13. Mapa de isocontenidos en nitratos, abril 2012	87
Mapa nº 14. Mapa de isocontenidos en estroncio, abril 2012	88
Mapa nº 15. Mapa de isoconductividad , abril 2012	89
Mapa nº 16. Mapa de isoconductividad eléctrica, junio 2012	90
Mapa nº 17. Mapa de isoconductividad eléctrica, agosto 2012	91
Mapa nº 18. Mapa de isocontenidos en cloruros, abril 2012	92
Mapa nº 19. Mapa de isocontenidos en cloruros, junio 2012	93
Mapa nº 20. Mapa de isocontenidos en cloruros, agosto 2012	94
Mapa nº 21. Mapa de isocontenidos en litio, abril 2012	105
Mapa nº 22. Mapa de isocontenidos en bromuro, abril 2012	106
Mapa nº 23. Mapa de isocontenidos en boro, abril 2012	107

**Capítulo 1**

**INTRODUCCIÓN**

**Final Report**

## 1.1. PRESENTACIÓN

Esta memoria recoge los resultados obtenidos durante la primera fase del proyecto titulado *Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water*, financiado por Coca-Cola Foundation.

El proyecto se enmarca en el contexto de la política de Water Neutrality auspiciada por The Coca Cola Company y desarrolla una idea propuesta en el proyecto *Methodological basis for Water Neutrality Projects. Case study: Colebega Plant (Valencia, Spain)* (Morell et al., 2010) para establecer un mecanismo de compensación (offset mechanism) del consumo de agua asociado a la actividad de la empresa embotelladora COLEBEGA S.A., sita en Quart de Poblet (Valencia), que abastece a la Comunidad Valenciana.

La idea esencial del proyecto es establecer una metodología apropiada para realizar un proyecto piloto de recarga artificial con aguas residuales regeneradas para luchar contra la intrusión marina y contribuir a la recuperación de acuíferos costeros salinizados.

## 1.2. ANTECEDENTES

La Comunidad Valenciana es una comunidad autónoma de España localizada al este de la Península Ibérica, a lo largo del Mar Mediterráneo, que comprende las provincias de Alicante, Valencia y Castellón. Limita al norte con Cataluña y Aragón, al oeste con Castilla-La Mancha y Aragón, y al sur con la región de Murcia. Tiene una superficie total de 23.255 km<sup>2</sup> y más de 5.110.000 de habitantes (figura 1).



Figura 1. Situación de la Comunidad Valenciana

La franja costera tiene una intensa actividad agrícola, especialmente dedicada al cultivo de cítricos, y también soporta la mayor parte de los núcleos urbanos y la actividad industrial. Las buenas condiciones climáticas favorecen la existencia de una creciente actividad turística. Casi la mitad de la demanda hídrica se satisface con agua subterránea extraída de los acuíferos costeros, los cuales han sufrido en las últimas décadas serios problemas de sobreexplotación y una salinización creciente como consecuencia de la intrusión marina provocada. Este proceso es indudablemente la mayor amenaza a la sostenibilidad de los recursos hídricos en zonas áridas o semiáridas, en general, y en la región de Valencia en particular.

**Final Report**

La reutilización de aguas residuales urbanas, con diferentes grados de tratamiento, es desde hace pocos años una práctica común para aliviar la escasez de agua de riego de calidad adecuada. El grado actual de reutilización es del 53% en Alicante, 32% en Valencia y sólo del 5% en Castellón. El resto del agua residual se vierte a cauces en las zona internas y al mar a través de emisarios submarinos.

La política de agua de los gobiernos central (estatal) y regional (autonómico) coincide en incrementar el uso del agua residual y diversificar sus aplicaciones. Los cultivos de regadío requieren agua en el periodo de abril a octubre, de manera que prácticamente la mitad del agua residual producida podría ser utilizada para riego mientras que la otra mitad, que actualmente se vierte al mar, a veces con alto grado de depuración, podría ser utilizada para otras aplicaciones.

Además de ejemplos mucho más antiguos, en las décadas recientes han sido llevadas a cabo en muchas partes del mundo actuaciones de recarga artificial con aguas depuradas a través de balsas de infiltración y, en algunos casos menos frecuentes, por medio de pozos de recarga. En muchas ocasiones el objetivo de estas acciones ha sido aprovechar la capacidad de depuración de los medios porosos para mejorar la calidad del agua infiltrada (Soil-Aquifer Treatment, SAT) e incrementar el almacenamiento del acuífero. Naturalmente, existen rígidas restricciones sanitarias para realizar estas acciones si el tratamiento dado al agua en las plantas de depuración no es suficientemente intenso. Las aguas residuales urbanas tienen generalmente alta salinidad, elevadas concentraciones de algunos iones nocivos (sodio, amonio, cloruro, fosfato, boro..), materia orgánica, microorganismos y los denominados contaminantes emergentes, los cuales son cientos de compuestos en buena parte relacionados con productos farmacéuticos y del cuidado personal (Protective Care and Pharmaceutical Products, PCPP,s), pesticidas, drogas, aditivos alimentarios y productos químicos utilizados en diferentes tipos de industrias.

Algunos de estos contaminantes son eliminados parcialmente o totalmente en la plantas de tratamiento pero otros permanecen en los efluentes. Si este agua llega al acuífero puede provocar su contaminación, lo que supone la principal restricción para ser utilizada en recarga artificial.

Actualmente, la demanda de agua para riego en los acuíferos costeros de la Comunidad Valenciana es significativamente menor que la existente hace veinte años. Esto es debido, principalmente, a la modernización de los sistemas de riego y a la instalación masiva de riego a goteo, pero también a la reducción neta de la superficie de cultivo a causa de la presión urbana e industrial sobre el territorio y al abandono de las tierras de cultivo por la mala calidad del agua de riego. El resultado conjunto es que el grado de explotación de los acuíferos costeros ha descendido notablemente en los últimos años y la presión debida a la intrusión marina se ha aliviado ligeramente. Consecuentemente, el principal problema de estos acuíferos es la elevada salinidad de sus aguas y no tanto su agotamiento.

En estas condiciones, es sugestiva la idea de recargar estos acuíferos con aguas residuales excedentarias regeneradas para combatir la intrusión marina y promover la recuperación de la calidad del agua del acuífero, desplazando hacia la costa el frente salino creado.

### **1.3. OBJETIVOS**

El objetivo principal del proyecto es contribuir a la recuperación de un acuífero costero salinizado mediante la recarga artificial con aguas residuales urbanas regeneradas para combatir la intrusión marina.

El proyecto está estructurado en tres fases bien definidas: aproximación teórica (fase I), experiencia piloto (fase II) y fase operacional (fase III).

Los objetivos parciales que se abordan en este informe, que sintetiza los resultados obtenidos en la fase I, son los siguientes:

- Establecer el estado del arte sobre la problemática de la recarga con aguas residuales
- Identificar objetivos potenciales
- Seleccionar el área piloto
- Caracterizar hidrogeológicamente el área piloto
- Diseñar los sistemas de recarga
- Establecer el plan de seguimiento y control

La fase II incluirá la construcción de los sistemas de recarga, la introducción de agua en el acuífero, el seguimiento hidrogeoquímico del proceso, la implementación de un modelo matemático de densidad variable y la elaboración de un plan master de operaciones y mantenimiento.

Finalmente, la fase III consistirá en la acción continuada de recarga. Las principales tareas serán de mantenimiento, gestión y servicio técnico.

### **1.4. ASPECTOS LEGISLATIVOS DE LA RECARGA ARTIFICIAL**

*El Reglamento del dominio público hidráulico que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/85, de 2 de agosto, de aguas, aprobado por Real Decreto 849/86 y modificado por el Real Decreto 606/03 de 23 de mayo* contiene las condiciones por las que un acuífero es considerado sobreexplotado y establece el procedimiento para declararlo como tal. Regula también las actividades de vertido a las aguas subterráneas entre las que se considera la recarga artificial.

La recarga artificial de acuíferos sólo podrán otorgarse cuando con ella no se provoque la contaminación de las aguas subterráneas (art. 257).

Los vertidos a las aguas subterráneas que no contengan sustancias peligrosas se autorizarán de acuerdo con el procedimiento regulado en los artículos 245 y siguientes del reglamento, si bien se exigirá un estudio hidrogeológico previo que demuestre la inocuidad del vertido.

En el art. 259 se establecen las condiciones para autorizar la recarga, que se refieren a: a) la técnica para llevar a cabo el vertido, b) las precauciones que resulten indispensables teniendo en cuenta la naturaleza y concentración de las sustancias presentes en los efluentes, las características del medio receptor, así como la proximidad de captaciones de agua, y, en particular, las de agua potable, termal y mineral, c) la cantidad máxima admisible de una sustancia en los efluentes, así como la concentración de dicha sustancia, d) Los dispositivos para controlar los efluentes

evacuados en las aguas subterráneas y e) las medidas que permitan la vigilancia de las aguas subterráneas y, en particular, de su calidad. *El Plan Hidrológico de la cuenca del Júcar publicado en el BOE el 27 de agosto de 1999 mediante Orden de 13 de agosto de 1999, de acuerdo con la disposición final del Real Decreto 1664/1998, de 24 de Julio, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de Cuencas, incluye la recarga artificial de acuíferos y el uso de aguas residuales convenientemente depuradas entre las acciones a tomar para satisfacer las distintas demandas, estableciendo prioridades de uso. En algunas áreas fomenta la recarga y recuperación de acuíferos e incluye como infraestructuras que constituyen los campos de pozos a las obras de recarga.*

En este Plan se prioriza el uso de las aguas regeneradas para el riego de parques, zonas ajardinadas e instalaciones deportivas de pequeño consumo, salvo en los casos en que sean asignadas para resolver problemas de sobreexplotación o intrusión (art. 8). Añade que, con independencia del orden de preferencia de usos definido anteriormente, dentro de cada clase se dará prioridad a las actuaciones que se orienten a:

- a) Una política de ahorro de agua, de mejora de la calidad de los recursos y de recuperación de los valores ambientales.
- b) La conservación de la calidad y la regulación de los recursos subterráneos, con base en una explotación racional de los mismos.
- c) La explotación conjunta y coordinada de todos los recursos disponibles, incluyendo aguas residuales depuradas, y las experiencias de recarga de acuíferos.

En el artículo 21 se especifica que en el caso del área de Nules, Vall de Uxó y Moncófar se fomentará la recarga del acuífero de la Rambleta con la aportación de las emergencias no reguladas en el manantial de las Grutas de San José, de posibles excedentes del río Mijares, a través del canal cota 100, y del río Palancia. Asimismo, se considera necesaria la reutilización de las aguas residuales depuradas.

Para asegurar en el futuro una adecuada calidad del agua de abastecimiento en la totalidad de poblaciones de la Plana, se considera necesario posibilitar la sustitución para el riego de aguas superficiales por subterráneas y procedentes de reutilización de aguas residuales depuradas, corriendo los usuarios del abastecimiento con los costes de instalación, explotación y mantenimiento asociados a dicha reasignación. En este sentido se establece para el primer horizonte en este Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar una reserva de 20 hm<sup>3</sup> anuales de los recursos superficiales del Mijares, que permita mediante sustitución de recursos asegurar la calidad del abastecimiento en el futuro. Esta reserva podrá incrementarse en otros 30 hm<sup>3</sup> anuales en el segundo horizonte de este Plan.

Es un objetivo de este Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar mantener unas salidas subterráneas al mar, estimadas en 74 hm<sup>3</sup> anuales, para evitar problemas de intrusión en el acuífero costero.

Para el mantenimiento de las necesidades medioambientales de los cauces del sistema se considera un volumen anual de 10 hm<sup>3</sup> que incluye el necesario para el mantenimiento de la zona húmeda de la desembocadura del río Mijares, para la cual se destinarían volúmenes provenientes de aguas residuales depuradas.

*El Real Decreto Legislativo 1/2001 de 20 de Julio. LEY DE AGUAS, BOE nº 176 de 24 de Julio de 2001, regula aspectos involucrados en la recarga artificial como son el dominio público de los acuíferos, los planes hidrológicos de cuenca, el estado de los acuíferos, los objetivos de protección del dominio público hidráulico, el concepto de obra*

hidráulica y la institución encargada del estudio y mejor conocimiento de los acuíferos. Los artículos que tratan estos temas son los siguientes:

En el artículo 42 se indica que los planes hidrológicos de cuenca comprenderán obligatoriamente: las directrices para recarga y protección de acuíferos.

Entre las propuestas de modificación de esta Ley se propone una disposición adicional específica sobre la utilización de la capacidad de almacenamiento subterránea y de la recarga artificial en las masas de agua subterránea.

*El Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica, establece los objetivos y criterios de la planificación hidrológica, el contenido de los planes hidrológicos de cuenca y nacional así como las disposiciones para su elaboración y aprobación. Se menciona la recarga artificial como una posible presión antropogénica sobre las masas de agua subterránea y se establecen directrices para su realización en los siguientes artículos:*

En el artículo 53 se especifica que el plan hidrológico recogerá, cuando existan, las áreas de recarga artificial de masas de agua subterránea, para las que se detallarán el objetivo de la recarga, así como la procedencia, cuantía y calidad de los recursos aplicados, incluyendo la autorización que permite la recarga. Las sucesivas áreas de recarga que vayan determinándose se incorporarán al Plan a medida que se autoricen.

Se indica, asimismo, que los recursos aplicados para la recarga artificial podrán obtenerse de cualquier agua superficial, subterránea, regenerada o desalada, siempre que el uso de la fuente no comprometa la consecución de los objetivos medioambientales establecidos para la fuente o la masa de agua recargada ni pueda generar situaciones de riesgo para la salud pública.

*Finalmente, el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, complementa el marco jurídico de la recarga artificial de acuíferos. Se destacan los siguientes artículos:*

En el artículo 4 se especifican los usos admitidos para las aguas regeneradas.

El capítulo IV de esta Ley determina el procedimiento a seguir para la reutilización de aguas depuradas, el anexo I.A. sienta los criterios de calidad para los distintos usos del agua entre los que se contempla la recarga artificial como uso ambiental y en el anexo II la solicitud para obtener la concesión o autorización de reutilización de aguas también incluye la recarga artificial.

**Final Report**

## **Capítulo 2**

# **SELECCIÓN DEL ÁREA PILOTO**



## 2.1. INTRODUCCIÓN

El ámbito regional escogido para llevar a cabo este proyecto es la Comunidad Valenciana, en la que existen numerosos acuíferos costeros, generalmente sobreexplotados, que requieren cambios importantes en su modelo de gestión para intentar recuperar la calidad del agua subterránea.

Por otra parte, también en la zona costera se concentran los núcleos de población más importantes y, por tanto se generan los mayores volúmenes de aguas residuales urbanas. El grado de depuración de las aguas residuales es elevado, sobretodo en el sector meridional (provincia de Alicante) en donde la reutilización alcanza cifras cercanas al 60%, en la ciudad de Valencia, cuyos efluentes se utilizan para el mantenimiento de la Albufera de Valencia, una zona húmeda de gran interés ecológico afectada por los bombeos del acuífero asociado y por la actividad agrícola e industrial del entorno, y también en la ciudad de Castellón, cuyos efluentes son prácticamente en su totalidad evacuados al mar.

La primera parte de la actividad de este proyecto se ha dedicado a actualizar los datos sobre la situación hidrogeológica de los acuíferos costeros de la Comunidad, singularmente en relación con los procesos de intrusión marina, así como a recopilar toda la información posible sobre la depuración de aguas urbanas en las zona costeras. Toda la información obtenida se sintetiza en fichas que se adjuntan en el Anexo 1 cuya estructura se comenta en el apartado 2.4.

## 2.2. HIDROGEOLOGÍA DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

### 2.2.1. Introducción

Según Ballesteros *et al.* (2004), en la zona litoral del Levante español existe un conjunto de acuíferos que disponen de un elevado volumen de recursos y cuya explotación supone casi la mitad de las extracciones de aguas subterráneas realizadas en la Cuenca Hidrográfica del Júcar, por lo que adquieren gran interés e importancia económica. Estos sistemas hidrogeológicos tienen unas características comunes tanto en su modelo físico y relación con las aguas superficiales, siendo habitual la presencia de humedales litorales (albuferas y marjalerías), como en los problemas que presentan. Entre ellos destacan los procesos de contaminación por elementos nitrogenados y la salinización de sus aguas por intrusión marina. En el origen de estos procesos se encuentra la intensa actividad agrícola practicada sobre su superficie y la inadecuada gestión de los recursos, debida, entre otras causas, a la concentración de captaciones, a su proximidad a la costa en algunos casos, y a su deficiente diseño y construcción, a lo que se puede añadir el drenaje artificial de zonas húmedas. La modificación y corrección de dichas causas, junto con la mejora de la gestión, puede mitigar en gran parte los problemas de estos acuíferos permitiendo incluso el incremento en sus aprovechamientos.

A lo largo del litoral de la Comunidad Valenciana existe una serie de llanuras costeras en las que se instalan un conjunto de acuíferos de gran interés hidrogeológico (figura 2) cuya naturaleza es esencialmente detrítica, y en las que es característica una morfología plana muy acusada que se extiende entre el nivel del mar y cotas máximas de 100 a 130 metros.

Final Report

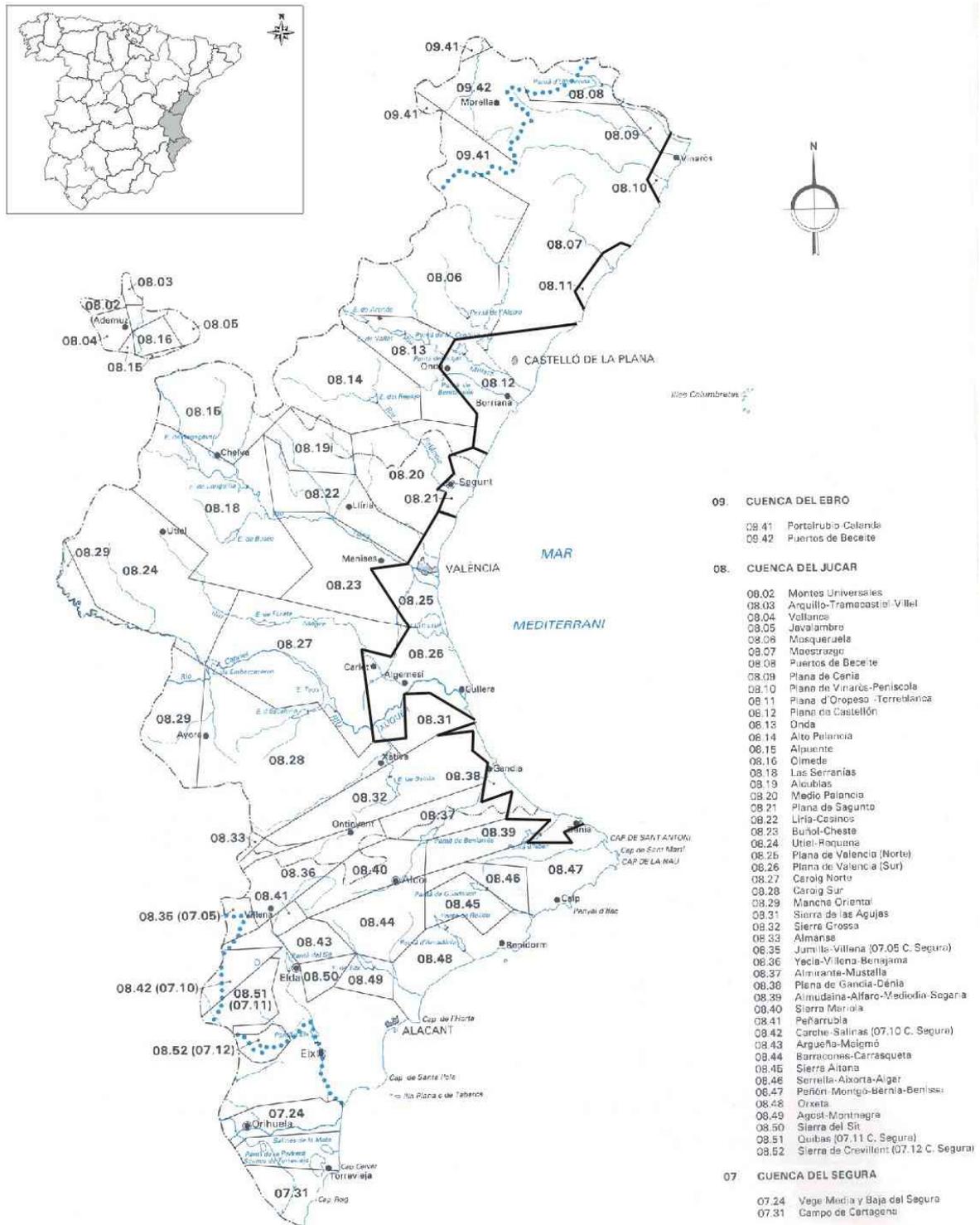


Figura 2. Delimitación de las unidades hidrogeológicas en la Comunidad de Valencia. En la figura se identifican las poligonales de las Unidades Hidrogeológicas correspondientes a los acuíferos de las planas litorales.

Estos elementos geomorfológicos, conocidos con el nombre genérico de “planas”, presentan una tendencia a distribuirse de forma longitudinal con respecto a la línea de costa, con un desarrollo espacial muy variable, tanto en superficie como en el espesor que adquieren los materiales que las forman, siendo el mar Mediterráneo el que define

su límite oriental. La mayor parte de ellas se localiza en las provincias de Castellón y de Valencia y ocupan la práctica totalidad de la zona litoral de la Comunidad Valenciana desde el límite de Cataluña hasta el cabo de la Nao, con la sola excepción de los sectores de las sierras de Irta en Castellón, Les Raboses en Valencia y el Montgó en Alicante, en donde las formaciones carbonatadas del interior, de edad mesozoica, alcanzan el Mediterráneo.

Las planas más extensas son la de Valencia, que alcanza los 1.300 km<sup>2</sup>, y la de Castellón, con 464 km<sup>2</sup>, a las que les siguen las de Vinaroz-Peñíscola, Oropesa-Torreblanca, Sagunto y Gandía-Denia. Con menor importancia se encuentra la Plana de Jávea, ya en la provincia de Alicante, con sólo 12 km<sup>2</sup>. Estas áreas adquieren una gran importancia, tanto desde el punto de vista humano como económico, ya que sobre ellas se asienta la mayor parte de la población de la región, así como de su actividad económica, agrícola, industrial y de servicios, a lo que ha contribuido en gran parte la presencia y explotación de un elevado volumen de recursos subterráneos. En ellas es también característica la presencia de humedales litorales, cuyo origen y funcionamiento hidrodinámico están íntimamente relacionados con las aguas subterráneas.

Todas estas “planas” responden a una genética común que les confiere características geológicas e hidrogeológicas similares, y constituyen acuíferos que, en conjunto, alcanzan una extensión de 2.361 km<sup>2</sup>, con unos recursos anuales de 1.147 hm<sup>3</sup>. De estos son aprovechados cerca del 60 %, es decir unos 668 hm<sup>3</sup>, lo que a su vez implica casi la mitad de los recursos subterráneos explotados en la cuenca hidrográfica del Júcar (DGOH-IGME, 1990), dato que da idea de su gran trascendencia e importancia.

### **2.2.2. Formación y génesis de las planas litorales**

Las llanuras o planas litorales del Levante español consisten, de forma general, en extensos campos de derrame fluvio-torrencial, de origen árido, que obedecen a un control geológico de tipo estructural y ocupan las fosas tectónicas formadas durante las fases distensivas del Mioceno medio-superior y del Plioceno medio, posteriores a los principales pulsos compresivos alpinos. Su morfología actual queda perfilada durante el Cuaternario gracias a la acción conjunta de procesos modeladores fluvio-litorales, condicionados por las variaciones climáticas pleistocenas, y alguna actividad neotectónica que da lugar a procesos subsidentes de cierta intensidad. Durante el Terciario y el Cuaternario se produce el relleno progresivo de estas fosas, que ocupan áreas topográficamente deprimidas, por materiales terrígenos transportados por los cursos de los ríos y producto, en la mayoría de los casos, de la erosión y desmantelamiento de los relieves circundantes y su posterior acarreo por las corrientes fluviales. En las formaciones más profundas es característica también la presencia de sedimentos lacustres, mixtos y de origen marino.

Como resultado de estos procesos es muy frecuente la formación y desarrollo de diversos tipos de humedales y lagunas litorales (marjalerías y albuferas), entre las que se encuentra La Albufera de Valencia, que constituyen el final de la etapa de relleno de sus cuencas sedimentarias (Ballesteros, 2003).

### **2.2.3. Modelo tectosedimentario. Aspectos litológicos y geométricos**

Como se ha comentado, las formaciones geológicas que forman las planas corresponden a depósitos aluviales, de pie de monte y sedimentos marinos y mixtos,

predominando en la zona más superficial materiales sueltos y muy heterométricos. Según esto se puede establecer un esquema geológico en el que se diferencian tres grandes conjuntos litológicos:

- Una formación detrítica superior de carácter permeable y edad pliocuaternaria.
- Una formación intermedia margo-arcillosa con cuerpos tabulares permeables de arenas y conglomerados de edad miocena, y que en conjunto constituyen el impermeable de base de la formación anterior.
- Un conjunto de formaciones de litología variable y edad mesozoica, que constituye el substrato geológico profundo.

La formación superior conforma acuíferos detríticos pliocuaternarios de tipo multicapa, con permeabilidad por porosidad, que están constituidos por arenas, gravas y conglomerados, a veces encostrados y susceptibles de sufrir karstificación, embutidos en una formación eminentemente arcilloso-limosa, con mayor o menor proporción de arcillas. También, de manera ocasional, pueden incorporarse a ellos formaciones de calizas lacustres del Mioceno terminal (Plana de Valencia), cuya morfología puede ser tanto lenticular como tabular (IGME, 1988).

El espesor de dichos sedimentos es creciente desde los bordes hacia la costa y sus potencias medias oscilan entre los 50 y los 150 m, dándose las más reducidas en Oropesa-Torreblanca y Jávea y las mayores en las planas de Castellón y de Valencia. En cuanto a potencias máximas, éstas se alcanzan en las planas con mayor desarrollo superficial, normalmente en áreas cercanas a los principales ríos que las atraviesan y en las cercanías de la línea costera. Así se obtienen máximos de 270 m en las inmediaciones del río Mijares en la Plana de Castellón, y de 200 m cerca de los ríos Palancia en la Plana de Sagunto, Turia en la Plana de Valencia (IGME, 1973) y Serpis en la de Gandía-Denia (IGME, 1986). Estos materiales constituyen los principales acuíferos, siendo los que disponen de la mayor parte de los recursos y los más intensamente explotados, tanto por sus buenas aptitudes hidrodinámicas como por su accesibilidad.

La formación intermedia corresponde al conjunto mioceno (Gutiérrez *et al.*, 1984), fundamentalmente margo-arcilloso, que separa el acuífero detrítico pliocuaternario del substrato mesozoico infrayacente. Está constituido esencialmente por margas y arcillas con horizontes de arenas y conglomerados, que localmente pueden dar lugar a acuíferos de cierto interés, como en la Plana de Valencia (figura 3) (acuífero mioceno), Plana de Castellón y Plana de Gandía-Denia, pero que normalmente son improductivas (IGME, 1988). El espesor, al igual que en la formación superior, aumenta desde los bordes interiores de las planas hasta valores normalmente por encima de los 200 metros, si bien en el caso de la Plana de Valencia se llegan a alcanzar potencias superiores a los 500 metros en la vertical del área metropolitana, lo que implica que puede alcanzar profundidades elevadas, incluso superiores a los 700 metros (IGME, 1988). Como se ha comentado, este conjunto de materiales constituye la base impermeable del acuífero detrítico superior.

El substrato geológico profundo corresponde a materiales de edad mesozoica, tanto de carácter permeable como impermeable, por lo que, en consecuencia, da lugar a la formación de acuíferos cuando está constituido por sedimentos carbonatados. Esto sucede en la Plana de Vinaroz-Peñíscola donde materiales calizos, de probable edad jurásica en el sector meridional y de edad cretácica en el septentrional, son captados y explotados con éxito al encontrarse a una profundidad de 25-50 metros en las zonas de borde, si bien en las inmediaciones de Vinaroz ya se localizan a 350-400 metros.

También en Oropesa-Torreblanca se da una circunstancia similar. Como sucede en otras planas, estas formaciones son en realidad prolongación en profundidad de los acuíferos carbonatados interiores, que en este caso correspondería al sistema acuífero del Maestrazgo.

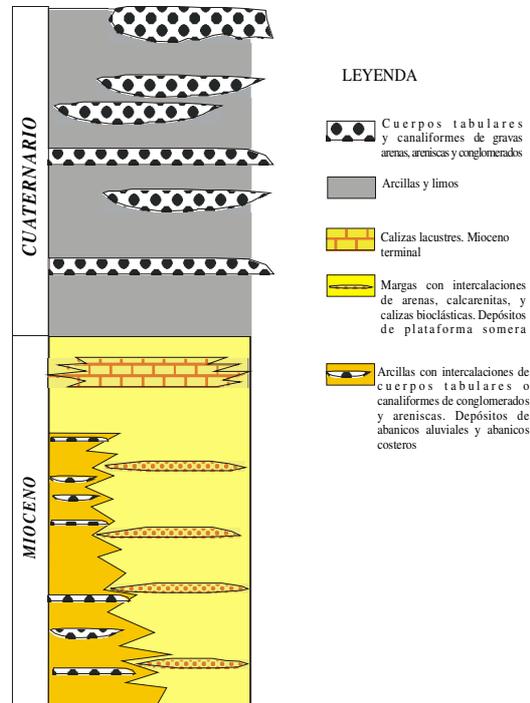


Figura 3. Columna litoestratigráfica sintética del relleno Neógeno- Cuaternario de la cuenca valenciana (López et. al. 2003)

En los casos de Castellón y de Sagunto el substrato mesozoico suele corresponder a formaciones triásicas, con la presencia de materiales permeables, que pueden constituir acuíferos (calizas y dolomías del Muschelkalk y ortocuarcitas del Buntsandstein), e impermeables (arcillas del Keuper y arcillitas del Buntsandstein). En menor medida se detectan formaciones jurásicas y cretácicas, localizadas en este caso en las inmediaciones de sus bordes más occidentales, sobre todo en la Plana de Castellón (IGME, 1973). Estos materiales muestran un progresivo escalonamiento o desaparecen hacia la costa, por lo que sólo son captados en los bordes interiores, donde se encuentran normalmente entre los 50 y 80 m de profundidad (figura 4).

En la Plana de Valencia (figura 5) el substrato mesozoico se encuentra por lo general a mayor profundidad, sin embargo, llega a aflorar en su sector meridional (Sierra de Cullera y Montañeta del Sants), estando representado por sedimentos carbonatados de edad cretácica que constituyen acuíferos explotables, si bien, por otra parte, algunos sondeos han detectado la presencia de arcillas del Keuper en otros sectores (Masalavés, Loriguilla, ...) (Gutiérrez et al., 1984). También en el caso de Gandía-Denia, especialmente en los sectores norte y sur, el substrato puede estar representado por formaciones cretácicas, que corresponden a la prolongación en profundidad de los acuíferos carbonatados existentes hacia el interior (IGME, 1988).

Los límites laterales de los acuíferos instalados en las planas vienen dados, además de por el mar Mediterráneo en su sector oriental, por las formaciones mesozoicas existentes en sus bordes, fundamentalmente de carácter permeable, y, en menor medida, por materiales de carácter impermeable de edad miocena o triásica. Entre los

critérios aplicados para su definición predominan los de tipo geomorfológico, estableciéndose normalmente en el punto de ruptura de la pendiente topográfica generada por el contraste entre los sedimentos detríticos y las formaciones carbonatadas.

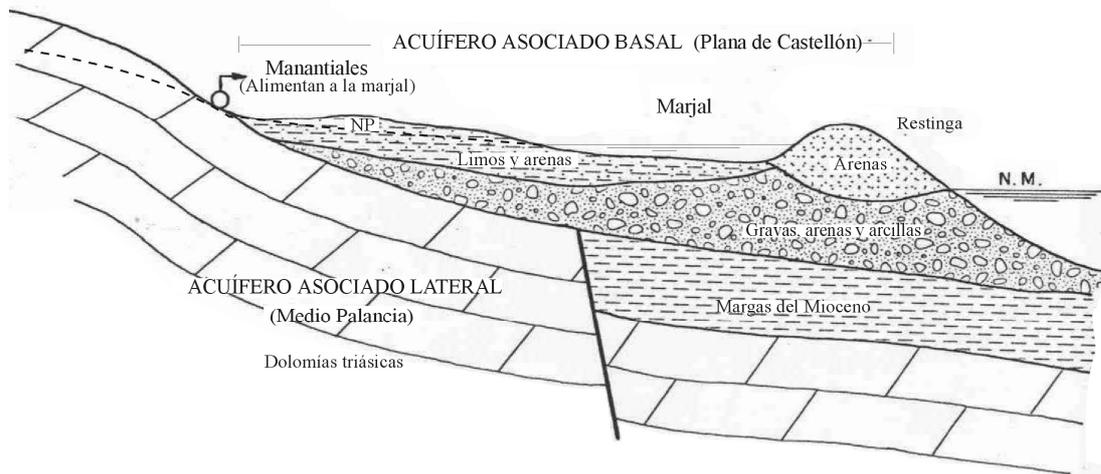


Figura 4. Corte hidrogeológico esquemático del sector meridional de la Plana de Castellón (Ballesteros, 2003)

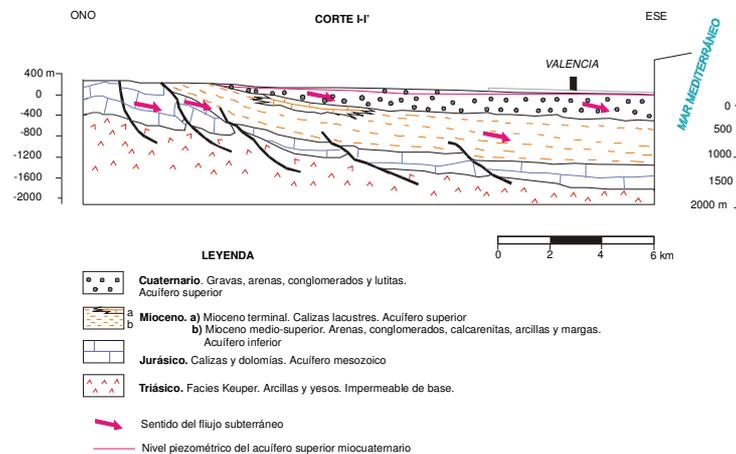


Figura 5. Corte hidrogeológico del acuífero de la Plana de Valencia (López et al. 2003)

#### 2.2.4. Parámetros hidrodinámicos de las formaciones acuíferas

Como se puede deducir, las principales formaciones productoras corresponden a los sedimentos detríticos que configuran los acuíferos miocuaternalios de las respectivas planas, en los que la transmisividad tiene valores comprendidos normalmente entre 500 y 1.200 m<sup>2</sup>/día, con mínimos inferiores a 200 m<sup>2</sup>/día en las zonas de borde. También se pueden alcanzar en algunos lugares de las Planas de Castellón, Sagunto y

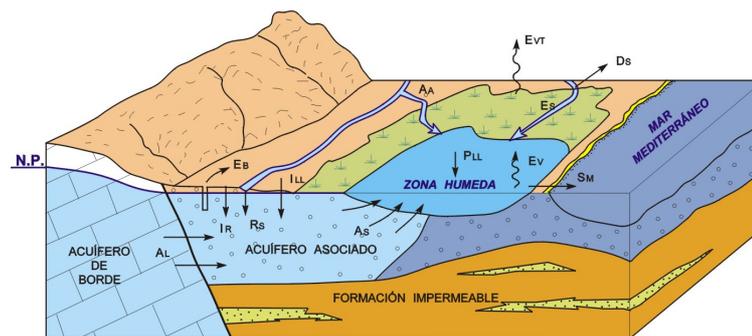
Valencia cifras superiores a los 6.000 m<sup>2</sup>/día, generalmente localizadas en las cercanías de los cauces de los ríos Mijares, Palancia, Turia y Júcar. La permeabilidad está en torno a los 30-120 m/día y se obtienen caudales específicos medios en los pozos productivos de 10 L/s/m (IGME, 1988).

El coeficiente de almacenamiento oscila entre el 2 y el 15 % como valores extremos, siendo valores frecuentes el 10 y el 12 %. Por otra parte, en el acuífero mioceno de la Plana de Valencia, que contiene niveles permeables confinados de cierto interés, el coeficiente de almacenamiento varía entre 0,1 y 0,01 (IGME, 1988).

En cuanto a las formaciones carbonatadas del substrato, se tienen algunos datos relativos a sus parámetros hidrodinámicos en la Plana de Vinaroz-Peñíscola donde existen numerosas captaciones que las explotan. En este lugar presentan transmisividades de 4.000 m<sup>2</sup>/día para las calizas jurásicas, de 2.000 m<sup>2</sup>/día para la calizas aptienses y del orden de 1.000 m<sup>2</sup>/día para las calizas del Cretácico superior. El coeficiente de almacenamiento es propio de acuíferos confinados y se estima que es del orden de 10<sup>-3</sup> a 10<sup>-4</sup>.

### 2.2.5. Modelo de funcionamiento hidrogeológico

En conjunto, se puede decir que estos sistemas hidrogeológicos se comportan como embalses reguladores que reciben las aportaciones laterales de las formaciones acuíferas carbonatadas de sus bordes y una infiltración vertical procedente de la lluvia y de las aguas de regadío, tanto de origen superficial como subterráneo. Además también son alimentados por la recarga de algunos de los ríos que discurren sobre ellas como es el caso del Mijares, Palancia, Turia, Júcar, Serpis, Girona y Gorgos. En régimen natural las descargas de estos acuíferos se producían sobre todo hacia el mar y hacia los manantiales y zonas húmedas litorales (albuferas y marjalerías), así como hacia los ríos más importantes como son el Turia y el Júcar. Sin embargo, en la actualidad la mayor parte de las salidas tiene lugar por medio de las extracciones realizadas por bombeo destinadas esencialmente a la agricultura (figura 6).



APORTES AL SISTEMA		SALIDAS DEL SISTEMA	
Directos	P.L.L. = Precipitación directa E.S. = Escorrentía superficial A.S. = Aportes subterráneos A.A. = Aportes de acequias y canales	Directas	E.V. = Evaporación directa E.V.T. = Evapotranspiración S.M. = Salidas al mar a través de golas
Indirectos	I.L.L. = Infiltración por agua de lluvia I.R. = Infiltración regadío A.L. = Aportes de acuíferos de borde R.S. = Recarga de cauces superficiales	Indirectas	E.B. Extracciones por bombeos D.S. Derramaciones de cauces

Figura 6. Esquema de un acuífero litoral de la Comunidad Valenciana asociado a una zona húmeda. (Ballesteros, 2003)

El funcionamiento de estos sistemas hidrogeológicos es asimilable al de un acuífero tipo multicapa, de potencial creciente con la profundidad, en el que la morfología de la superficie piezométrica pone generalmente de manifiesto la existencia de dos áreas diferenciadas: una, con un gradiente hidráulico muy bajo y que no suele superar los 10 msnm, ocupa la mayor parte del acuífero y se localiza en las zonas más cercanas a la línea de costa; y otra situada en las áreas más alejadas, donde puede alcanzar cotas de cierta importancia (entre 60 y 90 m s.n.m. en la Plana de Castellón, hasta 70 m s.n.m. en la de Valencia y entre 40 y 45 en la de Sagunto). El tránsito entre ambas zonas suele ser abrupto, posiblemente propiciado por una disposición más elevada hacia el interior de la formación impermeable miocena.

La circulación del agua subterránea sigue direcciones próximas a la O-E, ONO-ESE o NO-SE, es decir, desde el interior hacia el mar, excepto en áreas localizadas en las que las fuertes extracciones provocan una inversión del gradiente hidráulico, con piezometrías situadas casi de forma permanente por debajo del nivel del mar. Las más relevantes tienen lugar en las planas de Castellón (cotas de -3 msnm, con mínimos históricos de hasta -7 m s.n.m. en Moncófar, y de -1 m s.n.m. en el triángulo Villarreal-Bechí-Nules), Oropesa-Torreblanca (-2 m s.n.m.) y Sagunto (-2 m s.n.m. entre Puerto de Sagunto y Puzol y también al este de Faura). Otras zonas afectadas por depresiones piezométricas cercanas a la cota cero se localizan en Vinaroz y en las proximidades de Benicarló (P. Vinaroz-Peñíscola), en las cercanías de Benicasim (P. de Castellón), en Jaraco, Oliva y Vergel (P. Gandía-Denia) y al sur de Jávea (P. de Jávea). El único acuífero litoral que escapa realmente a esta situación es la Plana de Valencia donde no se da este fenómeno en las áreas costeras, aunque en algunos sectores interiores, especialmente en las cercanías de la sierra de Perenchiza, se constatan descensos cercanos a los 25 m, que alcanzan cotas de 2 a 3 m s.n.m. (López, *et al.* 2003; López, 2003).

La morfología de la superficie piezométrica puede ser muy variable de una época a otra del año, dependiendo de las explotaciones y de las zonas de recarga ligadas a los ríos, que suelen formar umbrales piezométricos (como sucede con el Mijares, Palancia, Serpis y Girona), si bien en los casos de los ríos Júcar y Turia se produce el efecto contrario y es el acuífero el que alimenta a éstos, por lo que se constituyen en elementos de drenaje del sistema acuífero. Dentro de dicho esquema, las oscilaciones estacionales suelen ser más reducidas en la línea de costa y varían entre 0,5 y 1 m, mientras que en las zonas interiores pueden superar los 10 m.

A escala hiperanual, y de forma general, el comportamiento de estos acuíferos es similar, si bien con algunas excepciones. Desde 1973, momento en el que se inició el control piezométrico, hasta los años 1985-86 se observa una clara bajada de la superficie piezométrica en todos ellos producida por la disminución considerable de las precipitaciones y el aumento de las extracciones de agua. En las áreas más interiores los descensos son del orden de 3 a 4 metros en las planas más pequeñas, y llega a ser de hasta 10-11 metros en la de Castellón, reduciéndose a 0,5-1 metros en las zonas costeras (IGME, 1988). Posteriormente, y después de una recuperación entre 1988 y 1991, debido al periodo húmedo registrado en esa época, los niveles vuelven a descender de nuevo, si bien en los últimos años esta tendencia se ha amortiguado y se produce una evolución de niveles más estable sólo afectada por las oscilaciones estacionales debidas a las precipitaciones. A escala local, se detecta un aumento de la recuperación de niveles piezométricos en algunos sectores previamente afectados por la explotación, como el de Benicasim en la Plana de Castellón y en algunos de las de

Gandía-Denia (Ballesteros, 2003) y Jávea (Ballesteros *et al.*, 2001), debido a la disminución de las extracciones en pozos previamente salinizados.

La menos afectada por las variaciones piezométricas es Plana de Valencia (López *et al.* 2003; López, 2003), donde en general los niveles no han sufrido variaciones importantes salvo en el sector próximo a Sierra Perenchiza (hasta -25 m), ya comentado, y en algunas de las zonas de descarga, persistiendo una gran estabilidad en el sistema.

### 2.2.6. Evaluación de recursos. Componentes del balance hídrico

Los acuíferos que integran las planas litorales, considerando sólo a los de carácter detrítico, tienen en conjunto, y estimado para el período 1948-83, unos recursos medios de 1.147 hm<sup>3</sup>/año de los que el 70 % corresponde a las Planas de Valencia (529 hm<sup>3</sup>/año) y Castellón (276 hm<sup>3</sup>/año), a las que le siguen las de Gandía-Denia (168 hm<sup>3</sup>/año) y Sagunto, con 104 hm<sup>3</sup>/año (IGME, 1988).

De los recursos totales, casi una cuarta parte (274 hm<sup>3</sup>/año) proceden de la infiltración directa del agua de lluvia, el 30 % de la alimentación de los acuíferos de borde (342 hm<sup>3</sup>/año), el 41 % corresponde a retornos de agua de riego (470 hm<sup>3</sup>/año), tanto de origen superficial como subterráneo, y el 5 % restante a la alimentación inducida por los ríos (61 hm<sup>3</sup>/año). De ellos son aprovechados para diversos usos 668 hm<sup>3</sup>/año, es decir el 60 % del total, por medio de bombeos, lo que permite unas salidas al mar de 174 hm<sup>3</sup>/año (el 15 %). Otros 131 hm<sup>3</sup>/año (11 %) son drenados de forma natural por las marjalerías y los manantiales relacionados con ellas. En el caso de la Plana de Valencia el acuífero es drenado también por los ríos Turia (20 hm<sup>3</sup>/año) y Júcar (150 hm<sup>3</sup>/año), lo que en conjunto supone casi el 15 % del total. Los restantes 4 hm<sup>3</sup>/año corresponden a descargas de la Plana de Vinaroz-Peñíscola hacia el acuífero carbonatado infrayacente.

Sin embargo, el aprovechamiento y grado de explotación de estos acuíferos es diferente, así existe o ha existido en algunos momentos una sobreexplotación generalizada en las planas de Sagunto (Gómez, 2003), Oropesa-Torreblanca y Jávea que ha dado lugar a que la mayor parte de su superficie tenga problemas de salinidad debido a procesos de intrusión marina, si bien en la de Jávea ha remitido bastante en los últimos años (Ballesteros *et al.*, 2001), mientras que en las planas de Castellón y Gandía-Denia esta sobreexplotación sólo se produce en ciertas áreas (sobreexplotación zonal) y en el caso de Vinaroz-Peñíscola en sectores todavía más reducidos (sobreexplotación local o puntual). Por último, la mayor de las planas y la que cuenta con unos recursos más elevados, la de Valencia, está exenta de este tipo de procesos.

### 2.2.7. Calidad de las aguas subterráneas

La calidad química de las aguas subterráneas de estos acuíferos se encuentra por lo general afectada por procesos antrópicos, con una mineralización normalmente elevada debido a la intensa actividad agrícola y urbano-industrial que se desarrolla sobre su superficie, siendo característica la presencia de altos contenidos en nitratos y cloruros. El origen de los primeros se debe especialmente al uso masivo de fertilizantes nitrogenados, cuyos elementos son incorporados las aguas subterráneas, siendo importante el efecto de recirculación, tal y como apunta Sanchis (1990), fenómeno por el cual éstas incrementan progresivamente su contenido en sales, especialmente las muy solubles como los nitratos, al incorporarse al flujo subterráneo aguas procedentes



una explotación citrícola mantiene constante la superficie piezométrica en torno a una cota de -2 m s.n.m. mediante un sistema de drenes tipo *polder*, lo que da lugar a contenidos en cloruros ampliamente superiores a 1.000 mg/L (Ballesteros, 2003) que pueden alcanzar los 3.000 mg/L en periodos de estiaje.

Dentro del esquema expuesto, es característica la presencia de facies bicarbonatada cálcica o cálcico-magnésica en las zonas interiores, que hacia el litoral evolucionan a facies clorurada sódica o cálcico-sódica. Si bien, en las Planas de Castellón y de Sagunto predomina la sulfatada cálcica y cálcico-magnésica (ITGE, 1990b; Gómez, 2003), en la mayor parte del acuífero en el primer caso y en las zonas interiores en el segundo, y cuya causa hay que buscarla en la conexión de estos últimos acuíferos con las formaciones permeables del Muschelkalk que constituyen parte de sus límites interiores o que se encuentran formando parte del substrato, en los que es característica la presencia de contenidos altos en sulfatos. También es frecuente la facies sulfatada sódica en las áreas litorales de la Plana de Gandía-Denia (ITGE, 1990a; Ballesteros, 2003). Como excepción, la Plana de Valencia (López *et al.*, 2003; López, 2003) es de nuevo la única donde las aguas no son habitualmente cloruradas en la costa, ya que evolucionan desde facies bicarbonatada cálcica en el interior a sulfatada cálcica en el litoral.

Como hecho generalizado se puede constatar la progresiva mineralización de las aguas en el sentido del flujo subterráneo, ya que en las zonas interiores el residuo seco está entre los 400 a 600 mg/L, con incremento progresivo hacia el mar de su contenido de sales hasta valores usuales de 1.500 mg/L, que pueden superar los 5.000 mg/L en las zonas más intensamente afectadas por la intrusión. A esto son excepción las áreas próximas a los ríos netamente influentes como el Mijares, Palancia y Serpis, donde se detectan aguas menos mineralizadas y de mejor calidad (cloruros entre 50 y 100 mg/L), aún en la cercanía de la línea de costa. En correspondencia con lo anterior, los sulfatos aumentan también su presencia desde valores inferiores a los 100 mg/L en las zonas de interior, hasta cerca de los 400 mg/L alcanzados en las áreas litorales de las planas mayores (Valencia y Castellón). Otra consecuencia de la actividad antrópica es la incorporación de sustancias tóxicas como nitritos, amoníaco, detergentes aniónicos y metales pesados, que eventualmente superan los límites fijados por la reglamentación Técnico-Sanitaria, circunstancia que ha sido detectada en las áreas más industriales del entorno metropolitano de Valencia (cromo hexavalente entre otros) y en algunos sectores de la Plana de Castellón (mercurio en el entorno del río Belcaire).

La evolución de la calidad de las aguas subterráneas en la mayor parte de estos acuíferos se puede concretar en una degradación importante con respecto a la calidad existente en 1973, momento en el que se iniciaron las redes de control, con un progresivo incremento de su contenido iónico, casi de forma continua, que ha afectado a la práctica totalidad de sus principales parámetros, si bien de manera particularmente intensa en el caso de los cloruros, nitratos y sulfatos. En cuanto al contenido en cloruro, sin embargo, se ha de hacer notar que después de obtenerse máximos en los años ochenta en algunos acuíferos como Vinaroz-Peñíscola y, especialmente, Jávea, se aprecian descensos y posterior estabilización del mismo (en este último acuífero es importante) debido a la reducción de las explotaciones como consecuencia de la alta salinidad del agua extraída y de la finalización del periodo seco que se dio en la primera mitad de los años ochenta (Ballesteros *et al.*, 2003a). Este hecho se produce también, aunque de forma menos ostensible, en algunos de los sectores intruidos en otros acuíferos.

Consideración aparte merecen los acuíferos instalados en las formaciones terciarias, como el acuífero mioceno de la Plana de Valencia, que presenta aguas de mejor calidad al encontrarse protegido de forma natural por tratarse de niveles confinados. En éstos se observan facies bicarbonatadas cálcicas con residuos secos que suelen ser inferiores a 600 mg/L, bajos contenidos en nitratos y concentraciones en ion cloruro y sulfato próximos a 100 mg/L (IGME, 1988). Circunstancias similares se aprecian también en los niveles productivos intercalados en la secuencia miocena de la Plana de Gandia-Denia, en los que es frecuente la presencia de captaciones surgentes. Sin embargo, cuando la profundidad de los sedimentos terciarios es importante, como en el entorno de la ciudad de Valencia, se detectan fenómenos de termalismo ligados a aguas muy mineralizadas, tal es el caso del sondeo del Paseo de la Alameda de Valencia, donde a partir de un nivel arenoso localizado a 663 metros de profundidad se obtuvo un caudal de 25 L/s con una temperatura de 43° C.

Por último, las formaciones acuíferas existentes en el substrato, compuestas esencialmente por materiales carbonatados, son escasamente conocidas y a menudo se ha obviado su estudio debido a su mayor profundidad y dificultad de acceso, por lo que se tienen escasos datos sobre la calidad de sus recursos. A pesar de estas limitaciones, se puede decir que el agua de estos acuíferos presenta ciertos problemas de calidad cuando no existe buena conexión hidráulica de las formaciones del substrato con los acuíferos interiores, por lo que entonces adquieren elevados contenidos en sulfatos (Plana de Castellón) y/o en cloruros (Plana de Valencia), siendo el caso más extremo el de la Plana de Jávea donde las calizas cretácicas infrayacentes, separadas del acuífero cuaternario por materiales impermeables de edad miocena, se encuentran totalmente salinizadas de forma natural. Sin embargo, cuando sí existe buena continuidad hidráulica, y en sectores algo alejados de la costa, sus aguas suelen ser también de buena calidad, como sucede en la Plana de Vinaroz-Peñíscola y en algún sector de la Plana de Valencia (Montañeta dels Sants) donde llegan incluso a ser captadas para consumo humano con bajos contenidos en cloruros y en nitratos.

### **2.2.8. Consideraciones generales sobre los acuíferos litorales de la Comunidad Valenciana**

Las planas litorales de la Comunidad Valenciana presentan una tipología y características hidrogeológicas comunes cuyo estudio sistemático puede ser aprovechado para comprender el funcionamiento de este tipo de sistemas hidrogeológicos, así como para el diseño de actuaciones con las que solventar o minimizar sus actuales problemas. A pesar de disponer de un elevado volumen de recursos cercano a los 1.150 hm<sup>3</sup>/año, de los que se explotan sólo el 58 %, la inexistencia de una gestión y planificación adecuadas genera la aparición de conflictos que limitan su capacidad para ser utilizados y para obtener una mejor calidad y un mayor volumen de recursos explotables de forma sostenible, o al menos de obtener los mismos recursos pero sin los efectos negativos generados.

Para conseguirlo se apuntan diferentes medidas, entre las que destaca la necesidad de proceder a la redistribución de captaciones y la reducción de los volúmenes explotados en las áreas donde los fenómenos intrusivos son más acusados. Estas actuaciones pueden complementarse, en aquellos sectores donde sea posible, con la sustitución de extracciones por aguas procedentes de los acuíferos de borde de mejor calidad, especialmente las que sean utilizadas para consumo humano. En otro orden de cosas se encuadran actuaciones tales como intensificar el aprovechamiento para riego de aguas residuales depuradas de los núcleos urbanos y promover proyectos de recarga a partir

de los recursos excedentarios, sin olvidar, dentro del capítulo de la ordenación del territorio, la mejora en las prácticas agrícolas y la minimización de los impactos causados por las actividades urbano industriales.

### 2.3. LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

#### 2.3.1. Estado actual

Según datos de la Entidad Pública de Saneamiento de la Comunidad Valenciana (EPSAR), el número de instalaciones de saneamiento y depuración en servicio a 31 de diciembre de 2011 ha sido de 460, las cuales trataron un volumen de agua de 474 hm<sup>3</sup>/año. En la figura 8 se muestra la distribución de las EDAR en la Comunidad Valenciana, resaltando en color rojo las de nueva instalación en el año 2011.

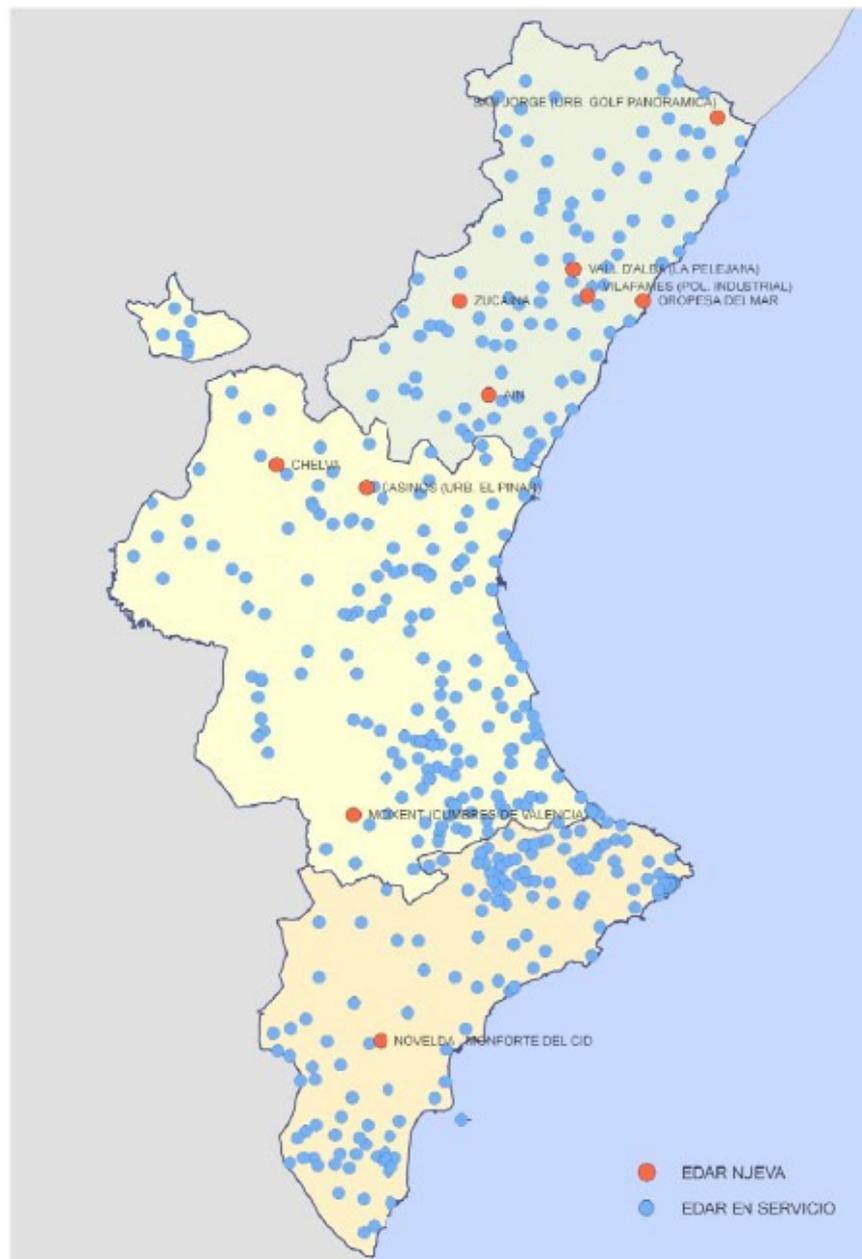


Figura 8. Mapa de distribución de las EDAR en funcionamiento en 2011 (Fuente: EPSAR, 2011)

En el siguiente gráfico (figura 9) se muestra la evolución del volumen de agua tratada en las EDAR de la Comunidad Valenciana en las últimas décadas, y se puede observar que el volumen anual tratado se mantiene alrededor de los 500 hm<sup>3</sup> anuales en los últimos 7 años.

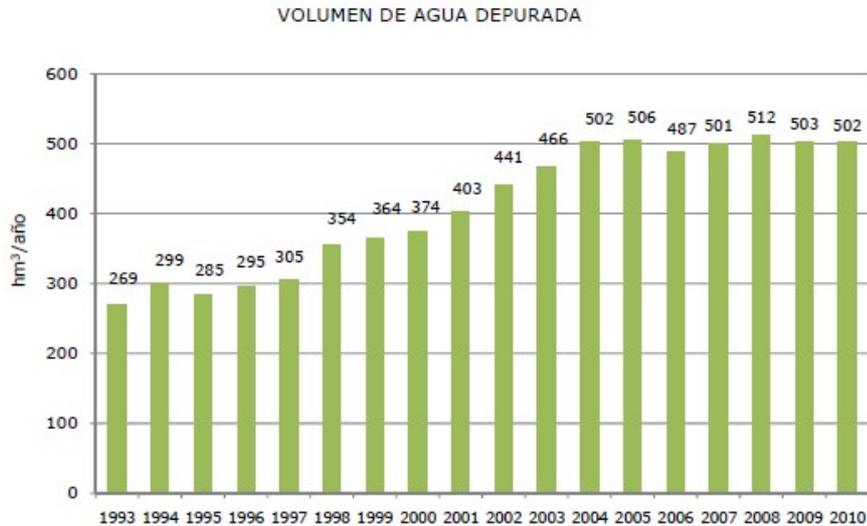


Figura 9. Evolución del volumen de agua depurada en los últimos años

Los rendimientos de eliminación de DBO<sub>5</sub> se mantienen estables por encima del 90 % desde el año 2003, y con valores muy superiores a los límites establecidos por la Directiva 91/271/CEE sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas (establecido en 70%). Dicha evolución se puede observar en la figura 10, donde en el año 2010 se ha alcanzado un rendimiento de eliminación de DBO<sub>5</sub> del 94%. Por otro lado, los fangos evacuados han superado las 425.000 toneladas. A estos valores hay que añadir los volúmenes tratados en pequeñas instalaciones de menos de 0,1 hm<sup>3</sup>/año.



Figura 10. Evolución de los rendimientos de eliminación de DBO<sub>5</sub>

La Comunidad Valenciana cuenta, en la actualidad, con 41 EDAR con tratamiento terciario o avanzado con una capacidad total de 331 hm<sup>3</sup>/año, de estas la mayoría se encuentran en la provincia de Valencia, seguida de Alicante. En Castellón, únicamente la de la capital, Castellón de la Plana, cuenta con tratamiento terciario, además de la de Oropesa (Torrebellver), aunque esta última tiene un caudal muy inferior, de 87 m<sup>3</sup>/día (datos de funcionamiento de 2011 proporcionados por la EPSAR).

En algunos casos, las aguas depuradas o regeneradas provenientes de las EDAR son vertidas de nuevo al medio, ya sea a través de cauces o directamente al mar mediante emisarios submarinos. Por tanto, se hace necesario el estudio de las posibilidades de aprovechamiento o reutilización de dichos efluentes.

### **2.3.2. Grado de reutilización**

El notable desarrollo alcanzado por la reutilización planificada del agua, especialmente en países con recursos hídricos insuficientes, se ha debido tanto a la necesidad de ampliar los abastecimientos de agua como a la exigencia de mejorar las formas de gestión de los vertidos de aguas depuradas. La reutilización puede incrementar los usos del agua ya utilizada, aumentando la disponibilidad de recursos hídricos. En este sentido, la mejora de la calidad de los efluentes es el elemento clave en el aprovechamiento y la gestión del agua (Melgarejo, 2009).

En la cuenca mediterránea, por lo que respecta a la gestión hídrica, hay que señalar que las aguas residuales han sido empleadas para riego durante milenios, ya que además de ser un recurso barato y localizado cerca de cualquier núcleo habitado, combina tres ventajas. La primera es que el empleo de las propiedades fertilizantes del agua residual tratada reduce o elimina totalmente la necesidad de emplear fertilizantes sintéticos y contribuye a reducir los niveles de nutrientes en las aguas superficiales. La segunda hace referencia a que se incrementan los recursos disponibles de agua para la agricultura, y la tercera a que puede reducir la necesidad de tratamientos avanzados del agua residual (Marecos do Monte et al, 1996).

La reutilización de las aguas regeneradas es uno de los objetivos prioritarios de la Comunidad Valenciana, dado el déficit hídrico de la misma y la necesidad de disponer de este recurso tan necesario para nuestro desarrollo (EPSAR, 2011).

Según datos de la EPSAR, en la Comunidad Valenciana se reutiliza actualmente el 67,1% del total de las aguas depuradas, es decir 337,1 hm<sup>3</sup> de los que 156,2 hm<sup>3</sup> se realizan de forma directa (EPSAR, 2010). El resto se reutiliza de forma indirecta, es decir, mediante vertidos a cauces que a posteriori son objeto de explotación. Las comarcas con mayor reutilización son las del sur de Alicante donde la escasez de recursos hídricos es mayor. Castellón es la provincia que menos volumen de agua reutiliza. El volumen de aguas residuales reutilizadas en las diferentes provincias se puede ver en la figura 11.

Final Report

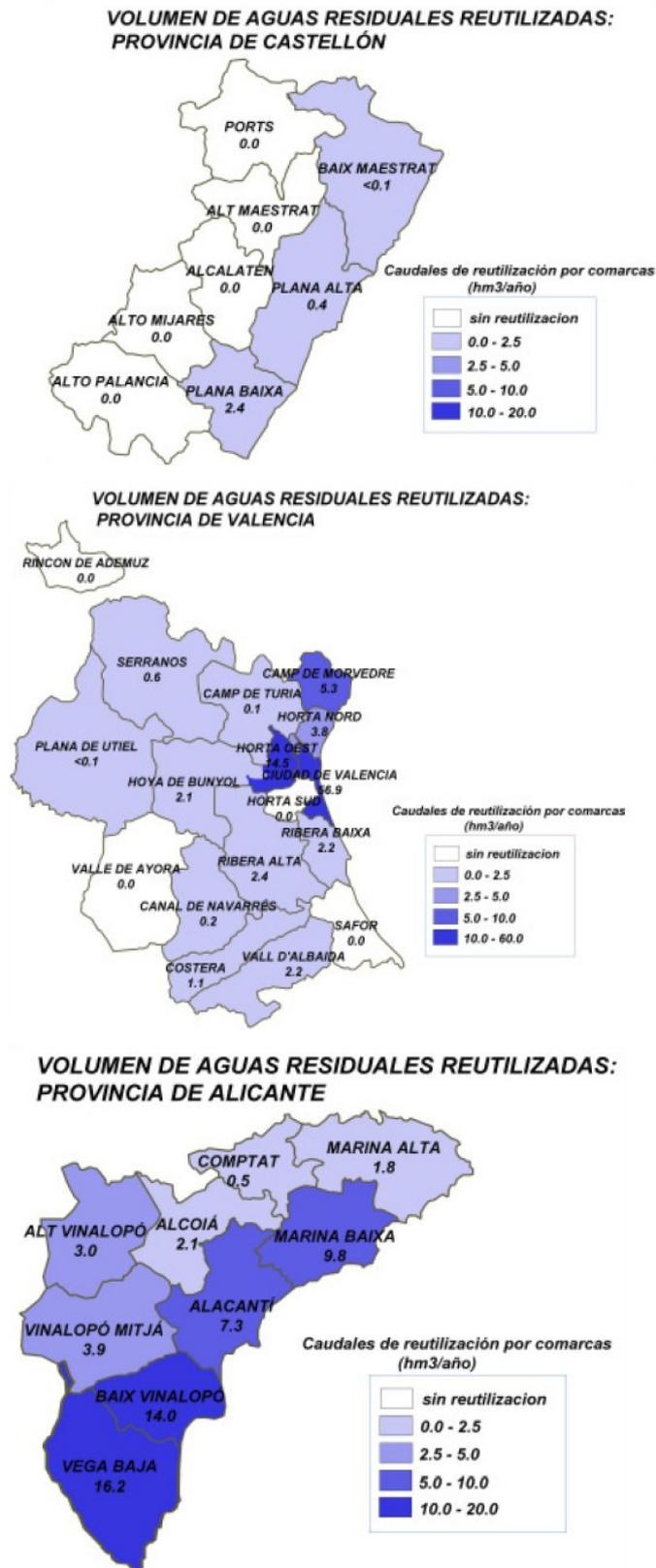


Figura 11. Volumen de agua residual reutilizada en las provincias de la Comunidad Valenciana (Fuente: Prats et al., 2009)

## Final Report

A continuación se presentan, para las diferentes provincias, los datos de volúmenes de agua depurada y reutilizada en las principales EDAR de la Comunidad Valenciana en el año 2009 (Fuente: CHJ). En la tabla 1 se muestran los datos correspondientes a la provincia de Castellón. En dicha tabla se observa que la reutilización del agua regenerada en la provincia de Castellón es mínima, reutilizándose tan solo agua de las EDAR de Castellón de la Plana, Moncofa y Almenara y en muy pequeña cantidad.

Tabla 1. Volúmenes de agua depurada y reutilizada en la provincia de Castellón

EDAR	Vol depurado (hm <sup>3</sup> /año)	Vol reutilizado (hm <sup>3</sup> /año)
Vinaroz	2,42	0
Benicarló	5,95	0
Peñíscola	4,18	0
Alcalà Xivert (Alcossebre)	0,67	0
Torreblanca		
Oropesa del Mar	2,22	0
Benicasim	3,02	0
Castellón de la Plana	16,19	0,26
Vila-real	1,67	0
Almazora	2,57	0
Burriana	5,34	0
Nules-Villavieja	1,14	0
Moncofar	1,26	0,16
Vall de Uxó	1,84	0,82
Almenara	0,49	0,39

En la tabla 2 se muestran los datos correspondientes a la provincia de Valencia.

Tabla 2. Volúmenes de agua depurada y reutilizada en la provincia de Valencia

EDAR	Vol depurado (hm <sup>3</sup> /año)	Vol reutilizado (hm <sup>3</sup> /año)
Sagunto	4,95	
Pobla de Farnals	10,81	
Cuenca del Carraixet	13,61	
Valencia (Pinedo-2)	88,54	
Valencia (El Saler)	0,63	
Valencia (Perellonet)	0,42	
Sueca (el Perelló)	0,69	
Sueca (Mareny de Barraquetes)	0,31	
Cullera	3,30	
Jaraco	0,89	
Gandía-La Safor	14,68	
Oliva	1,38	

En la tabla 3 se muestran los datos correspondientes a la provincia de Alicante.

Tabla 3. Volúmenes de agua depurada y reutilizada en la provincia de Alicante

EDAR	Vol depurado (hm <sup>3</sup> /año)	Vol reutilizado (hm <sup>3</sup> /año)
Dénia-Ondara-Pedreguer	6,12	
Jávea	1,77	
Calpe	2,05	
Altea	3,47	
Benidorm	13,03	
Vila Joyosa	3,51	
Alicante (Monte Orgegia)	8,60	
Alicante (Rincón de León)	21,10	
Elche (Arenales)	1,07	
Santa Pola	2,66	
Elche (Carrizales)	0,31	
S. Fulgencio-Daya Nueva-Daya Vieja	0,83	
Torrevieja	6,03	
Orihuela-Costa	2,55	

### 2.3.3. EDAR,s en zonas costeras

El objetivo principal de este estudio es la reutilización de aguas regeneradas para su introducción en un acuífero previamente seleccionado mediante recarga artificial. Al mismo tiempo se pretende contra la intrusión marina en estos sistemas hidrogeológicos, ya que la entrada de aguas regeneradas en el acuífero frenaría la interfase agua dulce-agua salada o incluso la retrasaría.

Se necesita una cierta proximidad al mar de las estaciones depuradoras de aguas residuales para utilizar sus aguas regeneradas con este doble objetivo. Así se han seleccionado algunas de las EDAR costeras de la Comunidad Valenciana, que por localización y/o tratamiento de las aguas se han considerado de interés. En la tabla 4 se detallan estas EDAR, por provincias, con sus coordenadas UTM.

En la figura 12 se puede observar la localización de las EDAR costeras elegidas para su estudio, diferenciando las que constan de tratamiento terciario, ya que son las más adecuadas para reintroducir en el acuífero mediante recarga artificial, tanto directa como indirecta.

Además de su ubicación, también es muy importante la calidad del efluente de salida de las diferentes EDAR, así como la estabilidad de los diferentes parámetros de calidad a lo largo del tiempo. En la tabla 5 se muestran los datos del caudal, la población servida y los rendimientos, es decir, la proporción eliminada (en %), de los parámetros de calidad del agua efluente en las EDAR, para el año 2010. Los parámetros de calidad son; los sólidos en suspensión (SS), la DBO<sub>5</sub> y la DQO. Los sólidos en suspensión son aquellos que se quedan retenidos en un filtro, separándose así del agua. La concentración de materia orgánica se mide con los análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO. La DBO es la demanda biológica de oxígeno, es decir, la cantidad de oxígeno requerido por los

organismos descomponedores aeróbicos para descomponer la materia orgánica disuelta o en suspensión. La DBO<sub>5</sub> es la cantidad de oxígeno empleado por los microorganismos a lo largo de un periodo de cinco días para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20 °C. De modo similar, la DQO, es la demanda química de oxígeno, es decir, la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de dicromato en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua.

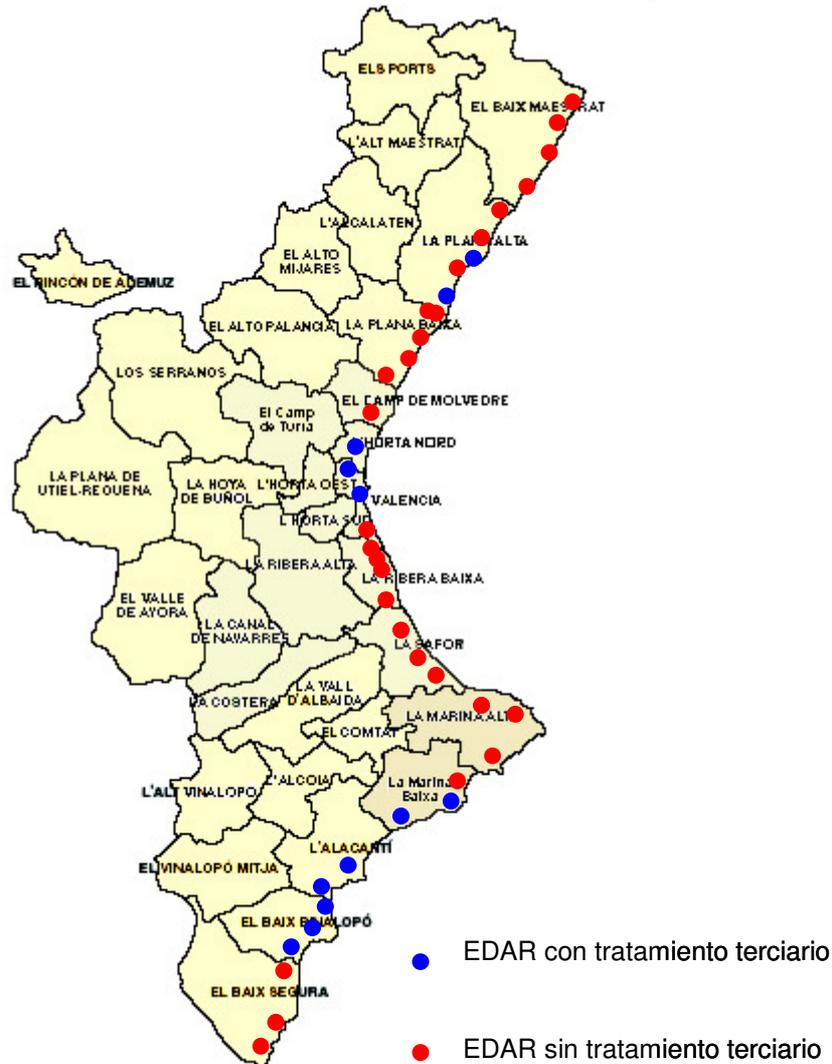


Figura 12. Localización de las EDAR costeras de la Comunidad Valenciana

#### 2.4. FICHAS DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA (MASub)

Con objeto de disponer de elementos de referencia que permitan el estudio comparativo de las diferentes zonas y, por tanto, la selección del área piloto se han realizado fichas descriptivas de las MASub que se han considerado potencialmente favorables para la realización del estudio. Los requisitos básicos que deben cumplir estas MASub son: soportar un cierto grado de presión por intrusión marina, que dicha intrusión sea de origen antrópico, que se trate de un acuífero con cierta entidad, y su naturaleza sea detrítica de modo que presenten cierta capacidad de autodepuración.

Tabla 4. Coordenadas UTM de las EDAR costeras

	EDAR	X	Y	Z
CASTELLÓN	Vinaròs	793744	4487520	20
	Benicarló	791507	4479824	4
	Peñíscola	788754	4473129	5
	Alcalà Xivert (Alcossebre)	780269	4461687	19
	Torreblanca	772939	4454993	4
	Oropesa del Mar	767879	4445047	12
	Orpesa (Torrebellver)	764444	4439663	70
	Benicàssim	759345	4436638	20
	Castellón de la Plana	755743	4430531	5
	Vila-real	750528	4425023	29
	Almassora	751440	4424354	32
	Burriana	749340	4416191	2
	Nules-Villavieja	743780	4413901	13
	Moncofa	745394	4410050	1
	La Vall d'Uixó	738462	4409997	68
Almenara	738621	4403524	5	
VALENCIA	Sagunt	736938	4393197	10
	Pobla de Farnals	731715	4382928	4
	Cuenca del Carraixet	729250	4375657	3
	Valencia (Pinedo-2)	728371	4368153	5
	Valencia (El Saler)	730154	4360263	2
	Valencia (Perellonet)	733502	4352890	1
	Sueca (el Perelló)	734548	4350705	5
	Sueca (Mareny de Barraquetes)	736281	4347850	5
	Cullera	737034	4337221	10
	Xeraco	741832	4324372	3
	Gandía-La Safor	745737	4318394	8
Oliva	751750	4312857	2	
ALICANTE	Dénia-Ondara-Pedreguer	763648	4301372	26
	Xàbia	775131	4296521	15
	Calp	765838	4283707	10
	Altea	756643	4278574	25
	Benidorm	754564	4270829	143
	la Vila Joiosa	739201	4267539	84
	Alacant (Monte Orgegia)	721453	4251379	54
	Alacant (Rincón de León)	716443	4245901	26
	Elx (Arenales)	716057	4237350	11
	Santa Pola	713391	4232969	68
	Elx (Carrizales)	704157	4226911	5
	S. Fulgencio-Daya Nueva	701386	4222827	3
	Torrevieja	701659	4205099	8
	Orihuela-Costa	697165	4198933	35

En una primera fase, por tanto, se tuvieron que seleccionar de las 19 MASub costeras (figura 13) de la Comunitat Valenciana aquéllas que cumplían estos requisitos. Así se identificaron las MASub de naturaleza kárstica (Maestrazgo Oriental, Montgó y Depresión de Benisa) y se consultó la bibliografía existente para evaluar de forma general el resto de requisitos (IGME, 1998; IGME-DPA, 2001; DPA, 2007).

Así, se caracterizaron como acuíferos de escasa entidad la MASub Cabo Roig, con un horizonte acuífero detrítico de 3-4 m (DPA, 2007), y la MASub San Juan-Benidorm, que reúne varios acuíferos de interés local.

Por otra parte, se identifica el origen de la intrusión marina de las MASub Bajo Vinalopó y Vega Media y Baja del Segura como natural.

También se consultaron las bases de datos referentes a la concentración de cloruros de las redes de control de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) y la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS) y se calcularon los valores medios del contenido en el ión para el periodo 2007-2011. De este modo, se caracterizó la situación general de las MASub respecto a la intrusión marina y se descartaron las que no sufrirían este tipo de presión como la Plana de Valencia Norte, la Plana de Valencia Sur y la Plana de Gandía.

De este modo, se han seleccionado un total de ocho MASub: Plana de Vinaroz, Plana de Oropesa-Torreblanca, Plana de Castellón, Plana de Sagunto, Plana de Jaraco, Oliva-Pego, Ondara-Denia y Jávea.

La información para la realización de las fichas se ha extraído fundamentalmente de las bases de datos de las redes de control del IGME, de la CHJ y de la CHS (redes de piezometría, de intrusión y de calidad general), así como de diversos informes y artículos que se refieren en dichas fichas. Por otra parte, la información concerniente al agua residual depurada y a las EDAR's se ha obtenido fundamentalmente de la EPSAR (EPSAR, 2011) y de la CHJ.

Las fichas se estructuran según los siguientes epígrafes:

- Caracterización general, que incluye información sobre los municipios ubicados en la MASub, extensión, red hidrográfica, etc., y un plano de situación.
- Caracterización hidrogeológica, que incluye una descripción de las formaciones acuíferas, la geometría de la MASub, los parámetros hidráulicos de los acuíferos detríticos, y mapas geológicos, de isopiezas y de espesor de la zona no saturada (periodo 2007-2011).
- Caracterización hidroquímica, que incluye valores medios de ciertos parámetros y un mapa de isocloruros para el periodo 2007-2011.
- Ficha técnica de las EDAR's, que incluye una descripción de las EDAR's que se han seleccionado como favorables para el proyecto, la disponibilidad de aguas depuradas y las previsiones de reutilización.
- Zonas potencialmente favorables, se resumen las características que las zonas potencialmente favorables para el proyecto dentro de la MASub.
- Zonas potencialmente favorables, se resumen las características que las zonas potencialmente favorables para el proyecto dentro de la MASub.

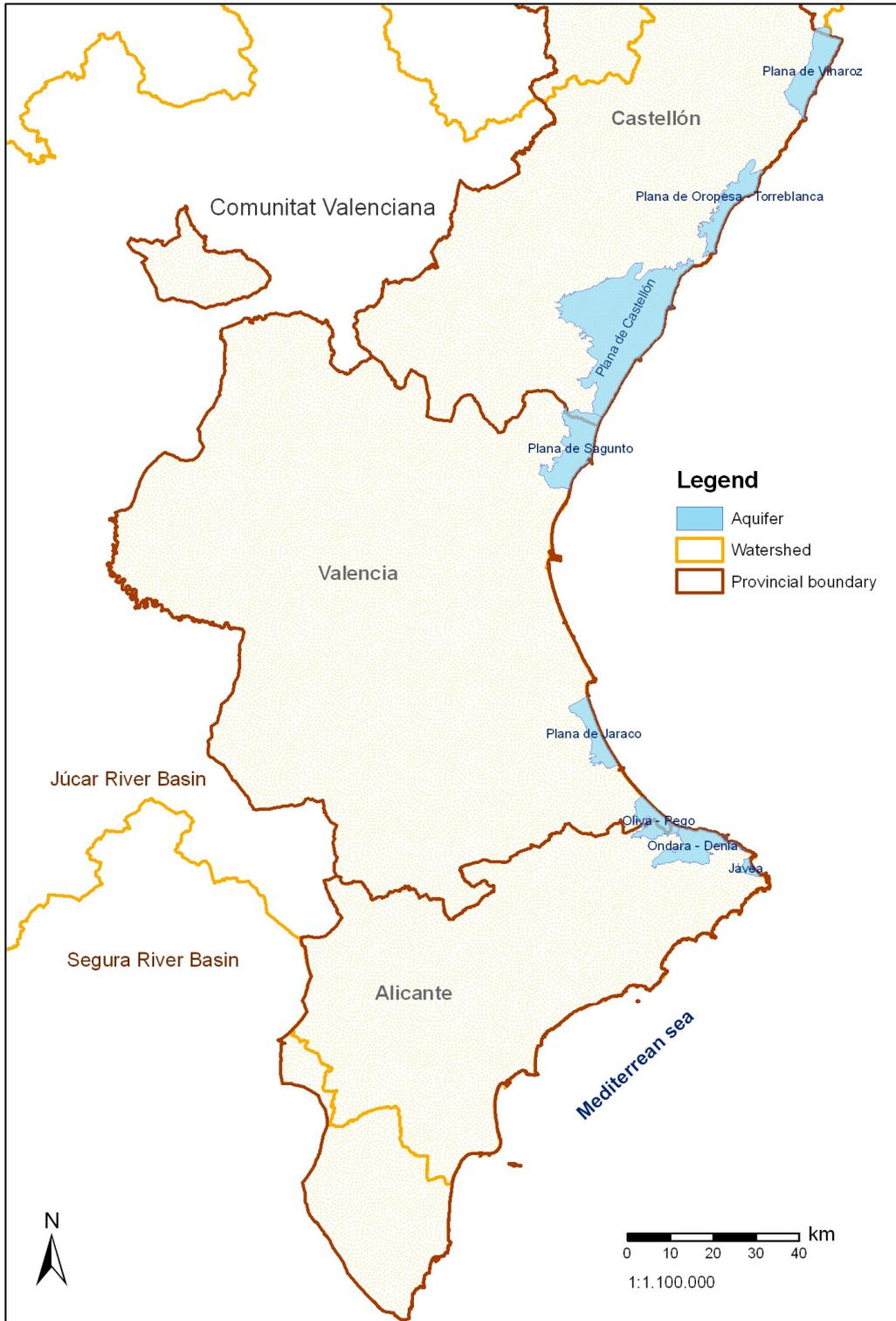


Figura 13. Masas de agua costeras preseleccionadas

## **2.5. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL ÁREA PILOTO**

La selección del área más adecuada para llevar a cabo actuaciones de recarga artificial con aguas residuales debe basarse en criterios operativos y técnicos muy diversos.

Los criterios operativos son aquellos de los que depende directamente la viabilidad del proyecto, como son la disponibilidad de espacio para la instalación de las infraestructuras necesarias, la distancia desde este espacio hasta el punto de toma de las aguas residuales y la distancia entre las instalaciones y el centro de trabajo donde se llevará el control y seguimiento del proceso.

Estos criterios inciden directamente en los costes asociados a las instalaciones necesarias para la distribución del agua así como a los necesarios para realizar el seguimiento in situ de las instalaciones.

Otro criterio operativo que debe tenerse en cuenta es la infraestructura hidrogeológica de control que exista en el entorno del área seleccionada, que pueda facilitar el conocimiento del acuífero y de su respuesta a la recarga.

Los criterios técnicos se refieren tanto a las características del agua de recarga como a las del acuífero receptor. En cuanto al agua de recarga, hay que prestar atención al volumen disponible, pero sobre todo a la calidad de la misma. En primera aproximación, se puede aceptar que los tratamientos secundarios y, en su caso, terciarios, aseguran una aceptable calidad bacteriológica y unos niveles de DQO, DBO, materia orgánica y sólidos en suspensión que cumplan con los criterios establecidos en el RD 1620/2007, que establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Sin embargo, existen otros parámetros, no específicamente indicados en dicho decreto, que pueden tener relevancia y limitar drásticamente las posibilidades de su utilización, como pueden ser los cloruros y el sodio, entre otros.

Realmente, el grado de limitación que impone la calidad del agua depende también de las características del acuífero receptor, básicamente de su capacidad de autodepuración y de su grado de contaminación.

La capacidad de autodepuración de los acuíferos detríticos está condicionada básicamente por la litología de la zona no saturada y del propio acuífero, ya que la litología determina en buena medida la permeabilidad del medio poroso que, a su vez, controla el tipo de flujo, los tiempos de tránsito y residencia e incluso condiciona los procesos de interacción agua - roca. También el espesor de la zona no saturada es un factor determinante cuando se recarga con métodos de superficie. En la zona saturada, además de la permeabilidad es necesario tener en cuenta el coeficiente de almacenamiento y, sobre todo, la relación entre ambos parámetros: la difusividad.

Además de estos parámetros, es necesario disponer de una adecuada caracterización del proceso de intrusión marina, lo que requiere previamente que el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero sea fiable y que se disponga de suficiente información sobre el origen de la salinidad y sobre su evolución; en otras palabras, que no existan dudas sobre cual sería el objetivo a alcanzar. Conviene recordar, sin embargo, que la primera fase de esta investigación presta especial atención al estudio detallado de la zona seleccionada, incluyendo prospección geofísica y construcción de piezómetros.

Tabla 5. Parámetros de calidad de las EDAR (Fuente: EPSAR, 2010)

				RENDIMIENTOS (%)		
	EDAR	Caudal (m <sup>3</sup> /día)	Población (he)	SS	DBO <sub>5</sub>	DQO
CASTELLÓN	Vinaròs	6066	32406	98	98	94
	Benicarló	11130	25615			
	Peñíscola	9375	15761			
	Alcalà Xivert (Alcossebre)	2049	5149			
	Torreblanca	1772	6496	98	96	95
	Oropesa del Mar	4254	15026	98	91	87
	Orpesa (Torrebellver)	87	279	98	97	95
	Benicàssim	5465	13779	94	95	90
	Castellón de la Plana	42748	202812	96	95	93
	Vila-real	4249	23499	97	97	92
	Almassora	6450	27729	98	97	94
	Burriana	14696	41735	96	94	87
	Nules-Villavieja	2583	7552	96	95	90
	Moncofa	3470	7070	92	89	77
	La Vall d'Uixó	4603	23203	95	95	88
	Chilches	975	2577	93	95	87
	La Llosa	299	898	93	90	85
	Almenara	1396	5250	97	96	93
VALENCIA	Sagunt	13734	67708	97	96	92
	Pobla de Farnals	32772	141962	97	96	91
	Cuenca del Carraixet	38962	141707	98	98	97
	Valencia (Pinedo-2)	263867	1021998	93	90	89
	Valencia (El Saler)	2196	4677	97	98	94
	Valencia (Perellonet)	1159	2198	93	95	90
	Sueca (el Perelló)	1957	4993	83	89	87
	Sueca (Mareny de Barraquetes)	1489	2492	76	86	82
	Cullera	10165	21027	95	94	93
	Xeraco	2820	14366	98	97	97
	Gandía-La Safor	46350	133300	96	93	91
	Oliva	3848	11770	97	96	94
ALICANTE	Dénia-Ondara-Pedreguer	17250	48564	97	95	93
	Xàbia	5831	20963	98	95	95
	Calp	6066	30088	98	97	94
	Altea	9811	33684	95	97	92
	Benidorm	37045	216759	97	99	95
	la Vila Joiosa	9808	62883	96	99	95
	Alacant (Monte Orgegia)	29104	191074	98	99	94
	Alacant (Rincón de León)	61821	406373	96	97	92
	Elx (Arenales)	2651	18005	73	88	79
	Santa Pola	7764	60022	98	99	95
	Elx (Carrizales)	846	3122	96	99	94
	S. Fulgencio-Daya Nueva-Daya Vieja	2326	11296	97	98	92
	Torrevieja	17303	151143	98	99	95
	Orihuela-Costa	7107	52046	96	99	95

## **2.6. SECTORES POTENCIALMENTE FAVORABLES**

En este epígrafe se sintetizan las características principales de las áreas que podrían ser objeto de estudio. En cada una de las masas costeras de agua subterránea se indican los sectores preseleccionados y sus características básicas relativas a las condiciones hidrogeológicas y a la disponibilidad de aguas residuales (figura 13).

Los mapas con la ubicación de la EDARs, y los mapas de isopiezas, espesor de la zona no saturada y isocloruros que se mencionan en los siguientes subapartados se pueden consultar en las fichas de las correspondientes Masas de Agua Subterránea (MASub) en el Anexo 1.

### **2.6.1. MASub 080.107 Plana de Vinaroz**

El carácter libre de este acuífero detrítico permite la recarga tanto en profundidad como desde superficie. Desde el punto de vista de la lucha contra la intrusión marina, se diferencian dos sectores en los que las concentraciones de cloruros son elevadas: Benicarló y Vinaroz.

#### *Área de Benicarló*

La zona seleccionada se sitúa al noroeste de la población de Benicarló, donde se superan los 1000 mg/L de cloruros. El espesor medio de la zona no saturada está comprendido entre 9 y 10 metros. Hay una disponibilidad hídrica estimada en 5,7 hm<sup>3</sup>/año, que corresponde a la totalidad de las aguas residuales generadas en la población de Benicarló, ya que no existe reutilización de aguas residuales en esta área, a pesar de tratarse de una zona agrícola con elevada demanda.

El agua residual sólo sufre un tratamiento primario y es evacuada al mar mediante emisario submarino.

#### *Área de Vinaroz*

El grado de intrusión es menor, con concentraciones máximas de cloruros del orden de 500 mg/L. El espesor medio de la zona no saturada se sitúa alrededor de 10 m.

La EDAR de Vinaroz produce 2,3 hm<sup>3</sup>/año de agua residual con tratamiento secundario.

### **2.6.2. MASub 080.110 Plana de Oropesa - Torreblanca**

La concentración de cloruros en esta MASub es significativamente alta. De hecho, la práctica totalidad del acuífero supera los 250 mg/L y más de dos tercios del mismo los 500 mg/L. Las zonas más afectadas por este fenómeno se sitúan inmediatamente al norte del río Chinchilla, donde se observa un cono de ascenso salino que supera los 1000 mg/L, y dos zonas con avance de la intrusión al suroeste de Torreblanca y en la desembocadura del río San Miguel, que se extiende río arriba, y que alcanzan contenidos de cloruros cercanos a 1000 mg/L.

El carácter libre de este acuífero detrítico permite la recarga tanto en profundidad como desde superficie.

#### *Área del río Chinchilla*

El área preseleccionada se localiza al norte del río Chinchilla donde se alcanzan concentraciones de cloruros superiores a 1000 mg/L.

Desde el punto de vista hidrogeológico se dan las condiciones idóneas para plantear sistemas de recarga, pero la calidad del agua residual disponible es muy baja debido a su elevada salinidad, del orden de 8000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , puesto que la red de colectores recoge aguas salobres de la zona húmeda de la Albufereta de Oropesa. La utilización de este agua requeriría la implantación de un sistema terciario que incluyese desalinización.

### 2.6.3. MAsub 080.127 Plana de Castellón

Se han preseleccionado tres áreas: EDAR de Castellón, la Rambleta y Moncófar.

#### *Área de la EDAR de Castellón*

La EDAR tiene tratamiento terciario y actualmente el grado de reutilización es muy bajo, limitado al riego parcial del campo de golf Costa de Azahar y a cubrir demandas puntuales de riego en épocas secas. Las administraciones con responsabilidad en la gestión de aguas residuales tienen previsto crear las infraestructuras necesarias para su reutilización en riego agrícola. Concretamente, la Conselleria de Agricultura está elaborando un proyecto para llevar las aguas regeneradas hacia el área de Vall de Uxó por medio de un canal a cota 99,5 y el cambio de uso del embalse del Belcaire.

El grado de intrusión es bajo en el entorno de la EDAR y del trazado actual del canal de evacuación de los efluentes, por lo que no parece existir un objetivo hidrogeológico claro de lucha contra la intrusión marina. Por otra parte, la EDAR está situada a una cota de 5 metros s.n.m., prácticamente junto a la marjalería del Cuadro de Castellón, donde la superficie piezométrica está prácticamente aflorante, lo que impide cualquier sistema de recarga.

#### *Área de la Rambleta (Vall de Uxó)*

El área de la Rambleta, al norte del río Belcaire, presenta desde hace décadas un elevado grado de salinización debido a la gran concentración de captaciones para usos agrícola y urbano. Actualmente, los bombeos se han reducido prácticamente a la mitad y, a pesar de ello, los contenidos de cloruros pueden superar los 500 mg/L.

Los efluentes de la EDAR son reutilizados en su mayor parte para riego, para lo que existe una balsa de regulación desde la que se distribuye el agua a varias balsas de riego, de forma que la red de distribución, junto con las redes de riego, cubren prácticamente toda el área. La conductividad eléctrica de los efluentes es del orden de 1400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Por otra parte, existen dos proyectos hidráulicos de relevancia que pudieran ser de interés. Uno de ellos es la existencia de una balsa de 2 hm<sup>3</sup> de capacidad diseñada para retener los excedentes del río Belcaire para su introducción en el acuífero a través de dos pozos de recarga ya construidos. El segundo proyecto está promovido por las asociaciones de regantes y consiste en habilitar esta balsa para albergar y regular efluentes de la EDAR de Castellón, que serían utilizados directamente para riego.

En cuanto al nivel piezométrico se sitúa entre 1 m b.n.m. y los 10 m s.n.m. mientras que, el espesor de la zona saturada varía entre los 20 y los 40 m.

#### *Área de Moncófar*

La intrusión marina en el área de Moncófar es bien conocida, aunque parece haber remitido en los últimos años a consecuencia de la drástica reducción de los bombeos. Las concentraciones de cloruros en las áreas más afectadas son ligeramente superiores a 500 mg/L.

El nivel piezométrico se sitúa alrededor de la cota cero o incluso ligeramente por debajo. El espesor de la zona no saturada es bajo, menor de 5 m.

El agua de la EDAR se envía directamente al mar ya que su elevada conductividad eléctrica (5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) impide su uso agrícola.

#### **2.6.4. Masa de agua subterránea 080.128 Plana de Sagunto**

La demanda agrícola e industrial en la Plana de Sagunto se ha reducido considerablemente en los últimos años y, en consecuencia, también la ha disminuido intensidad del proceso de intrusión marina, con la mayor parte del acuífero por debajo de 150 mg/L. No obstante, se observan cloruros superiores a 500 mg/L en la franja costera desde el Marjal dels Moros, donde la zona de máxima concentración se extiende unos tres kilómetros hacia el interior, hasta el norte de la desembocadura del río Palancia.

##### *Área del Puerto de Sagunto*

Al sur del Puerto de Sagunto se sitúa la EDAR del municipio con una disponibilidad hídrica estimada de 5,26 hm<sup>3</sup>. La calidad del efluente, con tratamiento primario y secundario, se sitúa alrededor de los 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

En la zona la concentración de cloruros es superior a 500 mg/L, el nivel piezométrico medio se establece entre 0,5-1 m s.n.m. y el espesor de la zona no saturada entre 5-10 m.

#### **2.6.5. Masa de agua subterránea 080.151 Plana de Jaraco**

La mayor parte del acuífero presenta una concentración del ión cloruro por debajo de los 250 mg/L si bien, se observa en la zona costera de la mitad norte de la MASub concentraciones superiores a los 500 mg/L. También se supera esta concentración en un área más pequeña, al noreste de la población de Jaraco, entre está y el río Jaraco.

##### *Área de la EDAR de Jaraco*

Al norte de la EDAR se sitúa un pequeño domo salino con una concentración de cloruros superior a 500 mL. Sin embargo, el espesor de la zona no saturada, que oscila entre 1 y 3 m invalida cualquier actuación de recarga.

#### **2.6.6. Masa de agua subterránea 080.163 Oliva - Pego**

Se observa una franja a lo largo de la mayor parte de la línea costera de la MASub con concentraciones de cloruros superiores a 750 mg/L, que se estrecha en la desembocadura del río Bullens y se ensancha en la zona de Molinell, donde se introduce 1,5 kilómetros. En esta última zona y en la pedanía de la Playa de Oliva se alcanzan concentraciones de 900 mg/L.

##### *Área de la Playa de Oliva*

En esta zona se sitúa la EDAR del municipio. Cerca de la misma se encuentra un punto control de la CHJ con un valor medio de la concentración del ión cloruro de 915 mg/L en el periodo 2007-2011.

Sin embargo, el espesor de la zona no saturada en esta área es menor al metro, lo que haría imposible la recarga.

### 2.6.7. Masa de agua subterránea 080.164 Ondara - Denia

Esta MASub presenta una intrusión marina muy localizada, zona de La Jara, con contenidos en cloruros superiores a 750 mg/L. De hecho, la mayor parte del acuífero presenta unas concentraciones inferiores a los 250 mg/L.

#### *Área de la EDAR-La Jara*

En la zona entre la EDAR de Denia-Ondara-Pedreguer y el municipio de La Jara se observa un domo salino que llega a alcanzar en un punto los 843 mg Cl<sup>-</sup>/L (concentración media para el periodo 2007-2010).

Por su parte, el nivel piezométrico se sitúa entre los 10 y los 20 m s.n.m., y el espesor de la zona no saturada se sitúa alrededor de los 15 m.

### 2.6.8 Masa de agua subterránea 080.180 Jávea

El acuífero de la Plana de Jávea fue sometido a comienzo de los años ochenta a una intensa explotación de sus recursos hídricos que llegó a provocar la salinización de la práctica totalidad del mismo. Ante esta situación, y debido a la mala calidad del agua extraída, se produjo el abandono de la mayor parte de las explotaciones, lo que ha permitido la recuperación parcial de la calidad de sus aguas en amplias zonas del acuífero.

Las concentraciones más elevadas del ión cloruro se observan en la zona costera central, avanzando la isolinia de 500 mg/L casi dos kilómetros y la isolinia de los 700 mg/L un kilómetro (periodo 2007-2011).

#### *Área Este de la EDAR de Jávea*

En esta zona la concentración de cloruros se sitúa entre los 500 y los 700 mg/L, el nivel piezométrico se sitúa entre los 0,5 m s.n.m. y 0,5 m b.n.m. y el espesor de la zona no saturada se encuentra entre los 10 y 15 m.

## 2.7. SELECCIÓN DEL ÁREA PILOTO

Teniendo en cuenta la información recopilada, el área seleccionada ha sido la partida de la Rambleta, en el término municipal de Vall de Uxó.

Las razones que han aconsejado esta elección han sido las siguientes:

#### *Razones relacionadas con las características hidrogeológicas del área*

- Se trata de un sector en el que se conoce que existe intrusión marina desde los años 60, por lo que se puede considerar como un área emblemática en el panorama de la salinización en España.
- Como consecuencia de ello, muy diversas organizaciones e instituciones han realizado estudios en esta zona, tales como la Confederación Hidrográfica del Júcar, Instituto Geológico y Minero de España, Generalitat Valenciana, Universitat Jaume I de Castelló y Universitat Politècnica de Valencia. Por consiguiente, se dispone de abundante información hidrogeológica e hidrogeoquímica del área.

**Final Report**

- El proceso de salinización que afecta al área de la Rambleta es peculiar, ya que no consiste sólo en el avance lateral de la denominada cuña salina sino que responde más bien al efecto conjunto de dicho avance y de la formación de un domo de agua salina generado por el efecto hidrodinámico de la concentración local de bombeo de agua subterránea. Esta situación es determinante para el diseño de las actuaciones de recarga porque no sólo se trata de establecer una barrera hidráulica para rechazar el frente salino sino de ejercer un efecto hidrodinámico capaz de deprimir el domo salino.

*Razones relacionadas con la EDAR*

- La salinidad del efluente de la EDAR es del orden de 1400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sensiblemente inferior a la de la mayoría de los efluentes. Esto es debido a que el agua de abastecimiento a la población de Vall de Uxó proviene fundamentalmente del manantial de Sant Josep, que es una surgencia kárstica que drena un acuífero de muy baja inercia y escaso tiempo de residencia, por lo que la salinidad del agua es muy baja. Si, como es previsible, fuera necesario someter el efluente a procesos terciarios de desalinización, el coste energético y económico sería reducido.
- Las cooperativas y comunidades de regantes de Vall de Uxó utilizan intensamente las aguas residuales procedentes de la EDAR. Para ello, disponen de una balsa de regulación y de una red de distribución capaz de llevar las aguas residuales a cualquier punto del área de interés, lo que facilita el problema de la entrega de aguas en los puntos que se seleccionen para la recarga.

*Razones relacionadas con la infraestructura hidrogeológica*

- En el área de estudio existe un número muy elevado de perforaciones, tanto en el acuífero cuaternario como en los acuíferos de borde, que permiten obtener abundante información para la reconstrucción de la geometría del acuífero así como de los parámetros hidrodinámicos básicos y de las características hidrogeoquímicas del área.
- De los numerosos pozos de riego construidos en la zona, algunos se han abandonado a causa de la elevada salinidad del agua que captaban. Cabe la posibilidad de que alguno de estos pozos abandonados ellos pueda ser utilizado para recarga.
- Muchos de los pozos del área, y especialmente los abandonados, pueden ser utilizados en la red de control que es necesario establecer.

*Razones relacionadas con la situación local*

- La Cooperativa de Regantes y la Comunidad de Regantes de Vall de Uxó están de acuerdo con la idea propuesta. Han mostrado su disposición a colaborar en la investigación proporcionando la información que tienen acumulada de sus pozos y prestando su apoyo en las tareas de muestreo y control.

*Razones relacionadas con los costes económicos*

- El área de estudio se encuentra a una distancia aproximadamente equidistante de Valencia y de Castellón, de manera que los costes asociados a las jornadas de campo son reducidos.

**Final Report**

- La opción ya mencionada de utilizar pozos abandonados para recarga o para la red de control y seguimiento puede reducir la necesidad de construir piezómetros.
- Asimismo, la existencia de una red de distribución de agua residual permite seleccionar el lugar más adecuado para la recarga sin que el coste de la distribución sea un factor limitante.

### **Capítulo 3**

## **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DEL ÁREA PILOTO**



### 3.1. MARCO GEOGRÁFICO Y DATOS SOCIOECONÓMICOS

El área de la Rambleta de Vall de Uxó se encuentra situada en el extremo suroccidental de la comarca natural denominada Plana de Castellón (figura 14). Este territorio, que ocupa el sector meridional de la provincia de Castellón en la costa oriental de la Península Ibérica, consiste en una llanura aluvial de forma aproximadamente triangular con una superficie de 464 km<sup>2</sup> y cotas comprendidas entre 0 y 130 msnm.

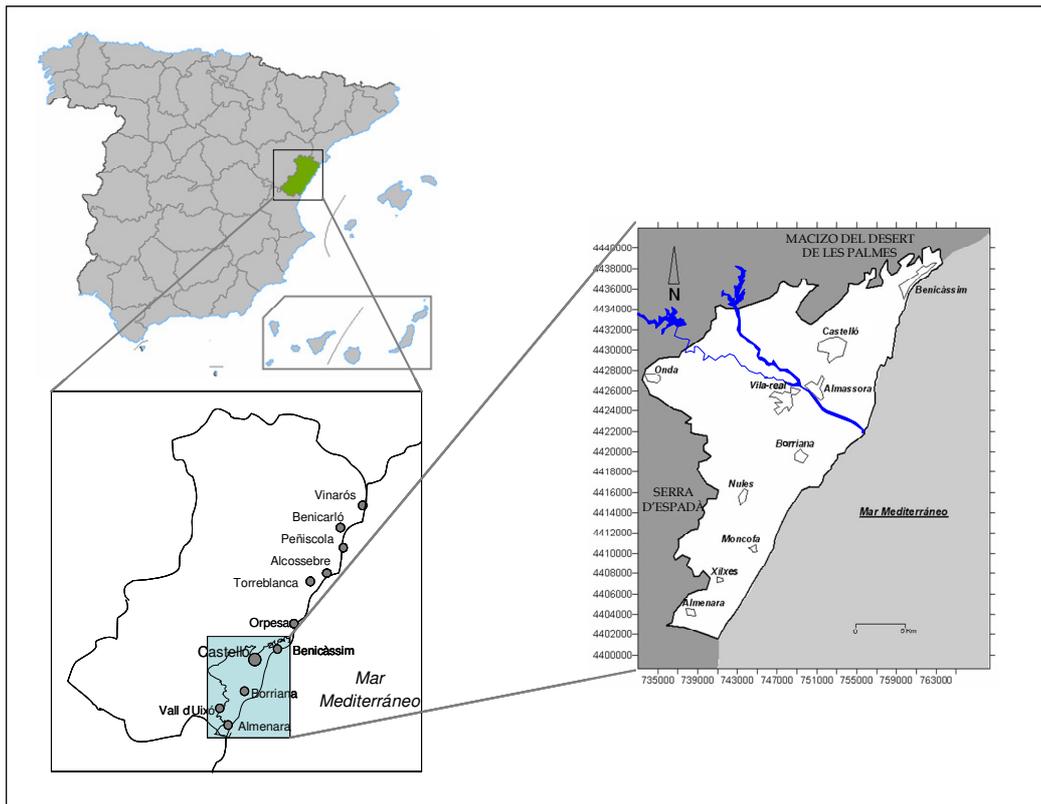


Figura 14. Mapa de situación del área piloto seleccionada

La red hidrográfica está constituida por el río Mijares (figura 15), único cauce de régimen permanente, que la atraviesa por su parte central. El resto de cauces superficiales son de régimen intermitente y entre ellos destacan el río Seco, en el norte de la Plana, el río Ana en la parte central, y los ríos Veo y Belcaire en el sector meridional. El río Mijares y su principal afluente, la Rambla de la Viuda, son regulados por los embalses de Sitjar y Ma<sup>a</sup> Cristina, respectivamente. Además de estos cauces, en la franja costera existen dos zonas húmedas en deficiente estado de conservación: la marjalería de Castelló, también denominada Cuadro de Castelló, en el extremo septentrional, y el marjal de Xilxes-Almenara, en el extremo meridional.

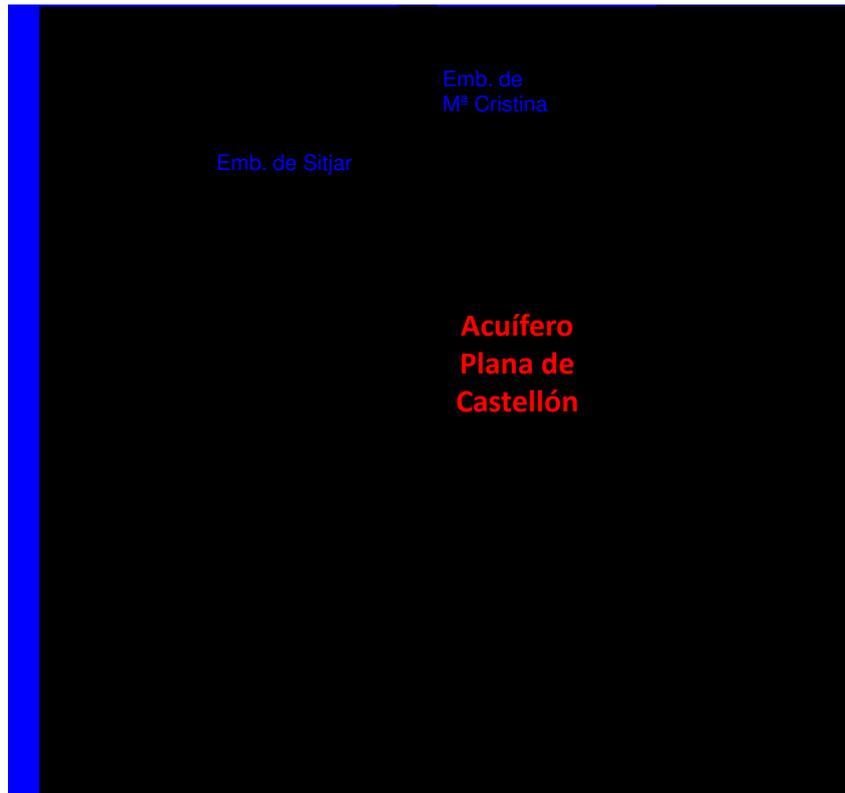


Figura 15. Plana de Castellón. Límites del acuífero, red hidrográfica y zonas húmedas

En lo que se refiere a las aguas subterráneas, toda la superficie definida por la comarca está ocupada por un acuífero de naturaleza detrítica denominado Acuífero de la Plana de Castellón. La superficie sobre la que se extiende este sistema hidrogeológico constituye un territorio de economía pujante que conjuga la agricultura, dedicada esencialmente al cultivo de cítricos, la industria, donde destaca el sector cerámico -con cerca del 85 % de la producción total de España, segundo país a nivel mundial- y el sector químico, con importantes fábricas de aceites esenciales, productos químicos, orgánicos, fitosanitarios y abonos. Dichas actividades se completan con una industria agroalimentaria y un sector de servicios muy desarrollado (López Gutiérrez *et al.*, 2010). El esquema económico descrito ha sido posible por el concurso de los recursos hídricos subterráneos del acuífero, imprescindibles para su sostenimiento. Así, los bombeos realizados, si bien han descendido hasta los 134 (Estrela *et al.*, 2004) con la implantación de sistemas de riego localizado, llegaron a alcanzar un volumen próximo a los 201 hm<sup>3</sup>/a en los años ochenta, de los que 32 hm<sup>3</sup>/a se destinaban a abastecimiento urbano, 11 hm<sup>3</sup>/a a uso industrial, 158 hm<sup>3</sup>/a a riego y 0,44 hm<sup>3</sup>/a a uso ganadero (López Geta *et al.*, 1988).

### 3. 2. MARCO GEOLÓGICO DE LA PLANA DE CASTELLÓN

El medio geológico constituye el soporte físico que permite definir y caracterizar las distintas formaciones que integran los sistemas hidrogeológicos, determinando la capacidad de los diversos materiales para almacenar, transmitir y facilitar o impedir la circulación de agua. Además el medio geológico es un elemento dinámico capaz de

interaccionar con el agua que alberga y, por tanto, influir en sus características hidroquímicas.

La Plana de Castellón es una unidad geomorfológica e hidrogeológica perfectamente definida, aunque integrada en un conjunto geológico más amplio, al que está estrechamente vinculada. El estudio de los materiales de borde que la limitan puede proporcionar datos de gran interés, y permite un acercamiento a la configuración del sustrato sobre el que reposan los sedimentos de este sistema geológico-geomorfológico- hidrogeológico.

### 3.2.1. Características litoestratigráficas

La Plana de Castellón está situada en la confluencia de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica con la Cordillera Costero-Catalana y, como se ha comentado, ocupa una llanura costera mediterránea. Su génesis obedece a la colmatación de una cuenca neógena-cuaternaria en la cual sedimentos de esta edad se han depositado sobre materiales terciarios y mesozoicos. Los materiales circundantes, que conforman a su vez el sustrato de los sedimentos neógeno-cuaternarios, corresponden a los de edad mesozoica y se encuentran intensamente plegados y fracturados. Estas formaciones abarcan la totalidad de dicho periodo geológico: Triásico, Jurásico y Cretácico.

El Triásico se presenta en tres facies asimilables al tipo germánico: *Buntsandstein*, *Muschelkalk* y *Keuper*, pero con grandes cambios laterales de litología y espesor (López-Gómez y Arche, 1992). Sus afloramientos predominan en la Sierra de Espadán, que configura la mitad septentrional del borde occidental de la Plana, mientras que el Jurásico y el Cretácico, básicamente de naturaleza carbonatada, afloran de forma dispersa en el Macizo del Desierto de las Palmas, al norte, y en los alrededores de Onda, al oeste. El Terciario, ligado al sistema de fosas mediterráneas, abarca la totalidad del periodo Neógeno y aflora en el límite del sector centro-septentrional donde constituye la base del relleno pliocuaternario en algunos sectores.

Los materiales de relleno de la cuenca, donde se instala el acuífero de la Plana de Castellón, están formados por sedimentos neógenos y cuaternarios poligénicos, continentales, litorales y mixtos, coronados por un suave glacis que se prolonga hacia la actual línea de costa. Al sur de la línea Onda-Burriana predominan los materiales procedentes de las formaciones triásicas de la Sierra de Espadán, mientras que al norte de dicha alineación los sedimentos pliocuaternarios proceden esencialmente de la denudación de las formaciones jurásicas, cretácicas y terciarias que circundan la depresión por el norte y oeste (figura 16). La secuencia litoestratigráfica tipo del área, así como las características generales de estas formaciones, son expuestas en los siguientes apartados y en la figura 17.

#### Triásico

Estos materiales predominan en la Sierra de Espadán, donde afloran según un antiforme de alineación NW-SE (IGME, 1985a), y se prolongan en profundidad bajo los depósitos miocenos y pliocuaternarios de la Plana, de los que conforma su base en la mayor parte de su mitad meridional. Se encuentran representados por tres facies diferentes.

**Facies *Buntsandstein* (Tb):** Presenta grandes variaciones de potencia en función de la morfología del zócalo, y básicamente están formadas por areniscas, areniscas ortocuarcíticas y arcillitas.

**Facies Muschelkalk (Tm):** En ella se diferencian tres formaciones, dos carbonatadas a techo y a muro respectivamente, y una de carácter siliciclástico-evaporítico intercalada entre ambas (Arche y López-Gómez, 1992; López-Gómez y Arche, 1992).

**Facies Keuper:** Está compuesta por arcillas y margas versicolores con intercalaciones de yesos. Es muy característica en todo el ámbito regional, y muy similar al tramo intermedio del Muschelkalk.

#### *Jurásico*

Los materiales jurásicos, fundamentalmente carbonatados, afloran de forma muy dispersa en la Sierra de Espadán, en las inmediaciones de Onda y en el Macizo del Desert de les Palmes, donde Canerot y otros (1985b) describe la serie jurásica con unos 400 m de potencia. Estos materiales aparecen bajo el Mioceno en el sustrato de la Plana de Castellón, tal como ponen de manifiesto diversas columnas litológicas de sondeos realizados por el ITGE (1989-90), y incluso llegan a aflorar en superficie en algunos puntos de la Plana.

#### *Cretácico*

En la zona de estudio aparecen retazos aislados de materiales cretácicos, que predominan en el borde centro-norte de la Plana de Castellón, siendo escasos en el sector meridional. Se trata, básicamente de sedimentos carbonatados, aunque también tienen cierta presencia los sedimentos margosos.

#### **Materiales Terciarios**

Aparecen ligados al sistema de fosas mediterráneas y corresponden a sedimentos de edad Mioceno inferior y medio. Sirven de base al relleno pliocuaternario de la Plana de Castellón en algunos sectores. En Mioceno inferior está formado, preferentemente, por conglomerados, areniscas y lutitas rojas o amarillentas con niveles de calizas con importantes cambios laterales de facies. Por su parte, el Mioceno medio está constituido por conglomerados, areniscas y lutitas rojas o pardo-amarillentas que se presentan con un buzamiento de 30° por basculación. En muchos casos se presenta discordante sobre el Mesozoico.

#### **Materiales cuaternarios**

Constituyen una unidad de acumulación donde los depósitos continentales son los que alcanzan mayor extensión, frente a la escasez de sedimentos propios de ambientes marinos o costeros. También abundan depósitos de ambiente mixto marino-continental, cordones litorales y áreas de marismas. Estos materiales se describen en los epígrafes posteriores atendiendo a la división morfogénica establecida por el estudio del IGME (1974).

*Depósitos Continentales:* Se trata de un conjunto de sedimentos generados por mantos aluviales encostrados, depósitos de piedemonte, mantos de arroyada, depósitos anastomosados, depósitos de aguas torrenciales y terrazas fluviales (Pérez, 1979), cuya composición es de conglomerados de cantos de calizas y areniscas redondeados, gravas de medias a gruesas, de clastos redondeados con buena o media clasificación y matriz predominantemente arenosa, aunque localmente sea arcillosa, brechas heterométricas y polimícticas con tamaño de canto variable entre 5-15 cm., todos ellos englobados dentro de una matriz arcillosa o arenosa rojiza y con cemento calcáreo.

*Depósitos Marinos:* Constituyen los cordones litorales formados por cantos conglomeráticos, aunque en ocasiones pueden constituir este tipo de depósitos arenas cuarcíticas y fragmentos de conchas.

## MAPA GEOLÓGICO DE LA PLANA DE CASTELLÓN (Comunidad Valenciana)

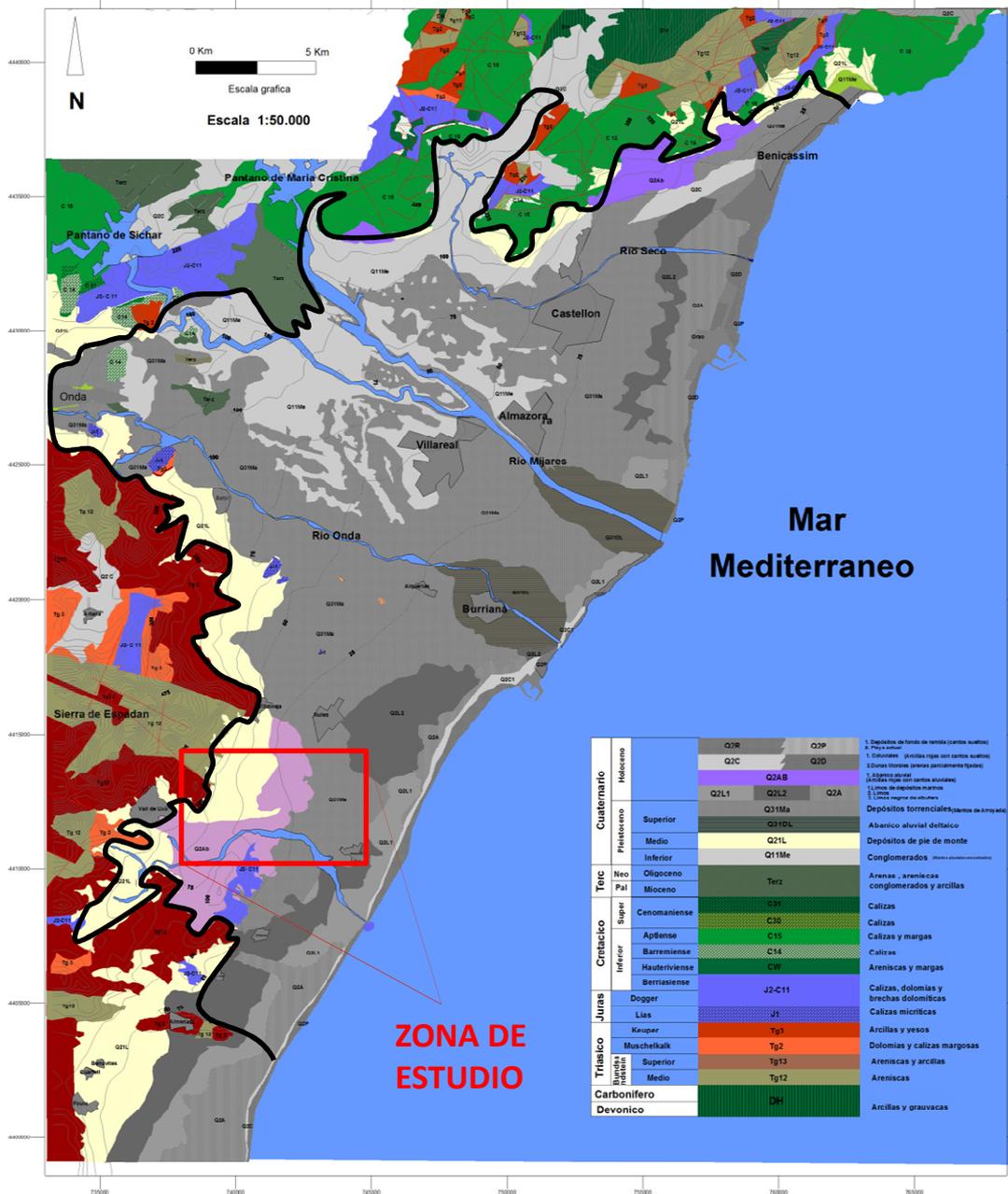


Figura 16. Mapa geológico de la Plana de Castellón. Fuente: Boi, 2003

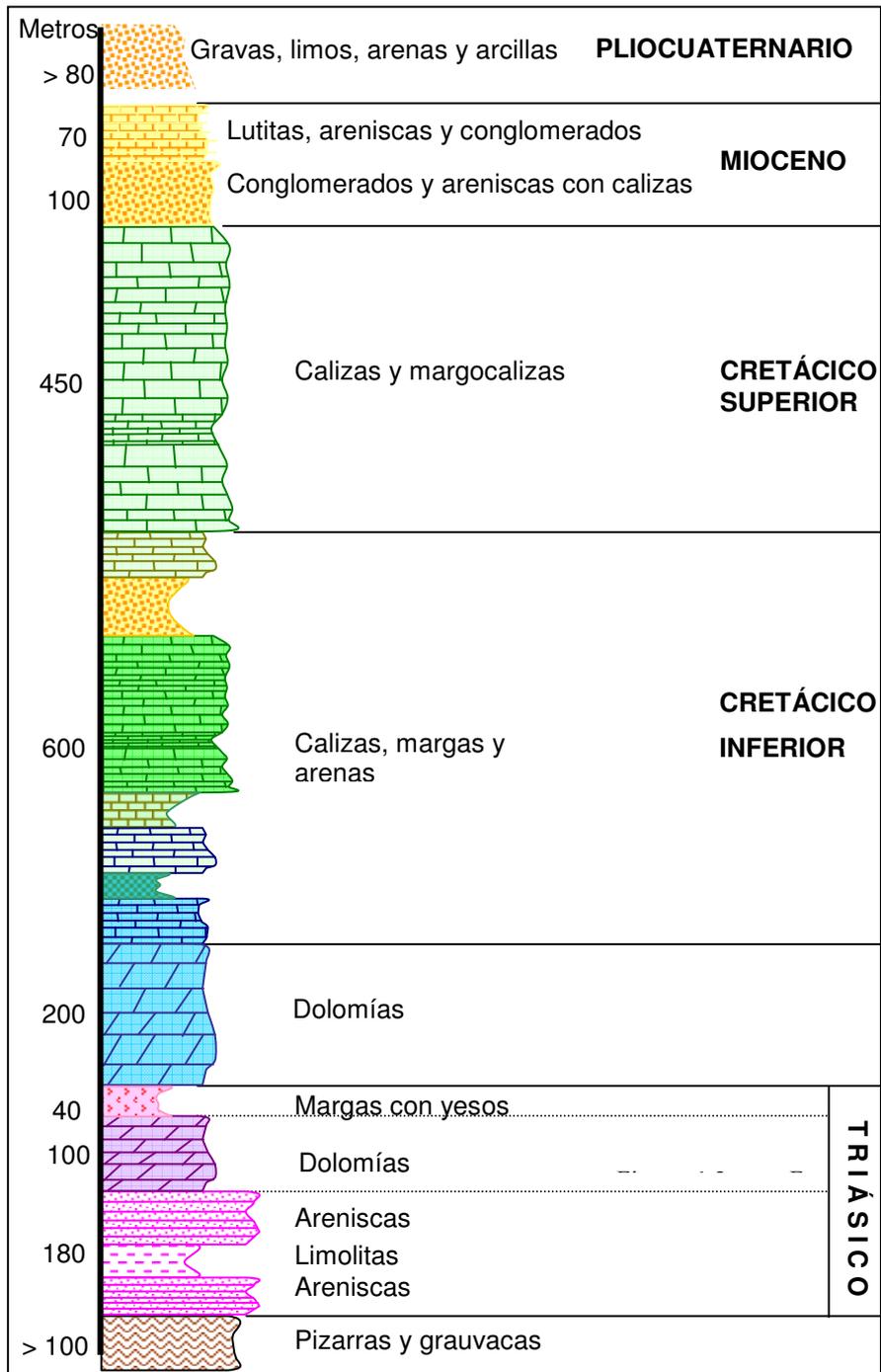


Figura 17. Columna litoestratigráfica sintética de la Plana de Castellón y su entorno

*Depósitos Mixtos:* Corresponden básicamente a abanicos aluviales de tipo deltaico, limos pardos y dunas litorales. Los primeros se desarrollan en las desembocaduras de los ríos Mijares y Veo, donde se obtiene una potencia de 150 m que refleja la fuerte subsidencia de la zona, así como la presencia de un régimen local de movimientos marinos sin corrientes litorales paralelas a la costa (Roselló, 1963). Por su parte, los Limos Pardos rodean las albuferas colmatadas, y su origen debe relacionarse con el

lavado de las arcillas rojas, mientras que Dunas Litorales están formadas por las arenas.

### **3.2.2. Tectónica**

La Plana de Castellón, al igual que las otras llanuras costeras mediterráneas, es una depresión de origen tectónico, formada durante el Terciario, fruto de la distensión neógena que determina la actual estructura de toda la franja costera, generando un complejo de horst y grabens que continúan bajo el mar. La sedimentación en la mayor parte de estas depresiones comienza en el Mioceno y continúa hasta el comienzo del Plioceno Superior, momento en el que se produce un impulso tectónico que deforma la superficie deposicional y genera las grandes morfoestructuras de la región. Posteriormente, tiene lugar un proceso de acumulación de material detrítico que finaliza con la formación del sistema de Glacis de edad Villafranquiense.

Los procesos de fracturación que originaron la Plana de Castelló y retocaron posteriormente su morfoestructura, debieron prolongarse a lo largo del Plioceno Superior. Y, pese a que ninguno de los sedimentos presenta síntomas claros de una tectónica reciente, hay que señalar la disparidad entre los cinco niveles escalonados de la red fluvial y la casi inexistencia de terrazas marinas levantadas. Esto induce a pensar en una la presencia de flexura continental que eleva los materiales hacia el continente y los hunde hacia la actual línea de costa. Paralelamente, se detecta un movimiento positivo del continente que colmata las albuferas y provoca la formación del cordón dunar subfósil y la elevación del cordón litoral (IGME, 1974).

### **3.3. MARCO HIDROGEOLÓGICO. EL ACUÍFERO DE LA PLANA DE CASTELLÓN**

Los depósitos pliocuaternarios de la Plana de Castellón dan lugar a un importante acuífero detrítico de carácter libre, permeable y con porosidad intergranular, que ocupa un área aproximada de 490 km<sup>2</sup> (CHJ, 2007) con una morfología superficial semejante a un triángulo cuyo lado mayor coincide con la línea costera.

#### *Características litológicas y geométricas*

La formación acuífera esta constituida por niveles y lentejones de conglomerados, arenas y gravas, que se intercalan y engloban dentro de un conjunto limo-arcilloso, conformando una única unidad acuífera de edad pliocuaternaria. Pueden reconocerse, sin embargo, dos formaciones: una superior constituida por conglomerados, arenas y gravas con una importante proporción de materiales finos; y otra inferior donde aumenta la proporción de arcillas. La permeabilidad de la formación superior es bastante elevada, mientras que los niveles inferiores son de permeabilidad mucho más reducida (IGME, 1983). El conjunto descansa indistintamente sobre materiales mesozoicos de permeabilidad variable que pueden constituir un segundo acuífero, o sobre sedimentos impermeables terciarios e incluso mesozoicos (ITGE, 1989-90) que, en este caso constituirían la base impermeable del sistema.

Los materiales que constituyen el acuífero presentan una gran heterogeneidad y escasa continuidad litológica, siendo muy frecuentes los cambios laterales de facies y los depósitos de geometría lenticular. Esta circunstancia da lugar a que el acuífero sea de tipo multicapa, con tramos alternantes de distinta permeabilidad que generan varios horizontes acuíferos superpuestos. Sin embargo, la conexión hidráulica entre los

diferentes horizontes permeables, bien natural o a través de las captaciones realizadas, hace que se trate al conjunto pliocuaternario como una única unidad acuífera, de permeabilidad elevada, aunque diferente en función del contenido de materiales finos y de la estructura sedimentaria.

La potencia de la formación detrítica es muy variable, como consecuencia de la morfología del substrato (ITGE-GIMARN, 1992), y normalmente aumenta hacia la costa. Los espesores más frecuentes están comprendidos entre 50 y 200 m, con el valor medio de 70 m (IGME, 1984).

#### *Parámetros hidrodinámicos*

En concordancia con las características litológicas, los parámetros hidrodinámicos del sistema son extraordinariamente variables. Los autores consultados coinciden en admitir que existen áreas de transmisividad muy diferente (SGOP, 1977; IGME, 1984; ITGE, 1989-90; ITGE-GIMARN, 1992) con un rango comprendido entre valores inferiores a 500 m<sup>2</sup>/día y 6.000 m<sup>2</sup>/día, y máximos en la zona costera y en el área comprendida entre Almazora, Vila-real y Vall de Uxó. En relación a otros parámetros hidráulicos, los valores del coeficiente de almacenamiento se sitúan entre 5 y 15 %, propios de un acuífero detrítico libre, siendo máximos en el entorno del río Mijares. Por otra parte, los caudales específicos oscilan entre 1 y 20 L/s/m, aunque normalmente están comprendidos entre 5 y 10 L/s/m, mientras la permeabilidad varía entre 30-50 y 100-120 m/día (IGME, 1987; ITGE, 1989-90).

#### *Características piezométricas*

En general, la piezometría del acuífero decrece de oeste a este, de las zonas de mayor cota topográfica hacia el mar Mediterráneo. Según esta disposición general la circulación del agua subterránea del sistema sigue una dirección W-E, desde el interior hacia la costa (figura 18).

En la zona costera se obtienen cotas entre 10 y 0 m.s.n.m., mientras que en los sectores más interiores se alcanzan los 60 m.s.n.m. A pesar de esta disposición general, en algunas zonas existen niveles piezométricos por debajo del nivel del mar, circunstancia que habitualmente se atribuye a la fuerte sobreexplotación que soportan estos sectores (Benicasim y Moncófar) (ITGE, 1989-90). Sin embargo, a lo largo de los años se producen oscilaciones que reflejan la alternancia de periodos secos y húmedos, coincidentes, a su vez, con incrementos y descensos de los bombeos. Las áreas que más acusan las épocas secas, y que llegan a alcanzar cotas por debajo del nivel del mar, se localizan en los extremos norte y sur del acuífero, especialmente en el sector comprendido entre Nules, Moncófar y Vall de Uxó (Giménez, 1994).

De acuerdo a los datos históricos, los niveles más bajos se registraron en el año 1978, donde en el sector de Moncófar las cotas llegaron a los 4 m b.n.m. Los datos más recientes apuntan, sin embargo, hacia una clara recuperación de los niveles, cuyas principales causas son el descenso de los bombeos en los últimos años y el incremento de las precipitaciones.

#### *Balance hídrico*

La recarga del sistema se produce por infiltración de agua de lluvia, retorno de regadíos, infiltración de embalses y ríos, y alimentación lateral de los acuíferos de borde. Por su lado, las descargas se deben tanto al bombeo directo de aguas subterráneas como a las surgencias naturales por manantiales, zonas de marjalería o salidas directas al mar.

En los distintos estudios que tratan el balance hídrico en el acuífero se obtienen importantes diferencias en la cuantificación de las distintas partidas que lo componen. El más reciente es el realizado mediante modelación matemática (Visual Modflow, 3.1.) por el IGME y el Grupo de Investigación de Recursos Hídricos del Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas de la Universitat Jaume I, considerando el almacenamiento constante (IGME-DGA, 2009), cuyos resultados se sintetizan en la tabla 6.

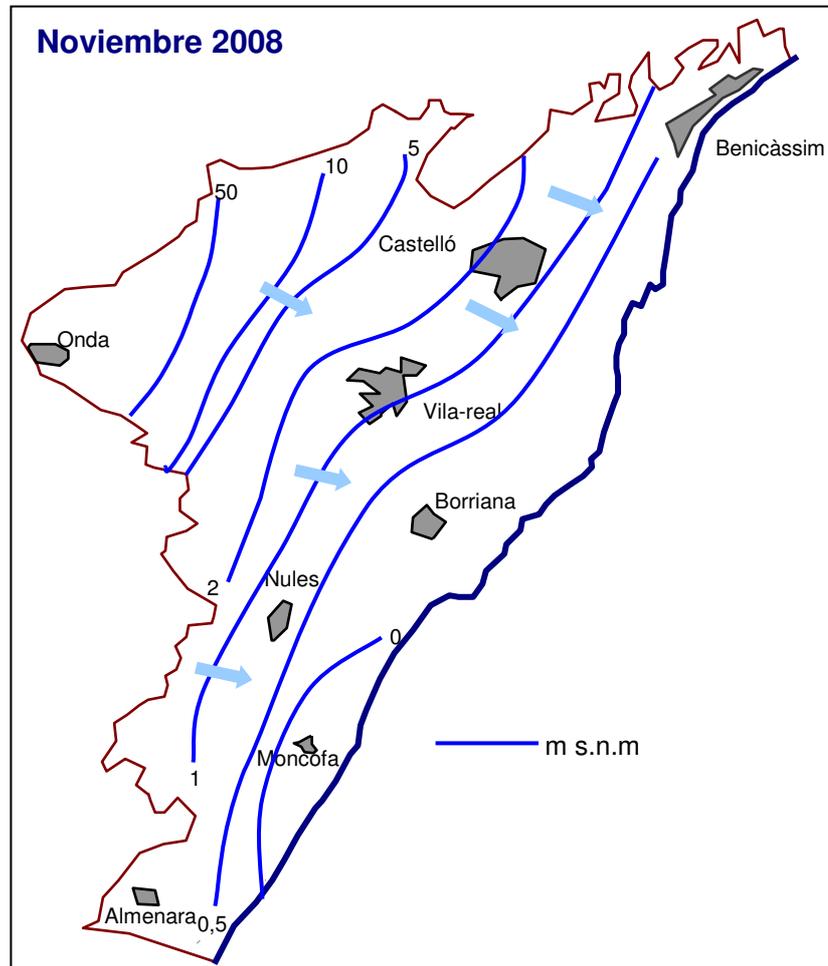


Figura 18. Superficie piezométrica del acuífero de la Plana de Castellón

Del balance expuesto se extrae como conclusión que el acuífero de la Plana de Castellón presenta un déficit hídrico que es compensado con la entrada de agua de mar necesaria para poder conseguir el equilibrio hidrodinámico del sistema, lo que se traduce en una salinización de las aguas subterráneas.

Tabla 6. Balance hídrico de la Plana de Castellón (IGME-DGA, 2009)

Entradas (hm <sup>3</sup> /año)		Salidas (hm <sup>3</sup> /año)	
Infiltración	51,3	Bombeos	114,4
Intrusión	14,5	Zona húmeda	19,3
Entradas laterales	79,0	Salidas al mar	11,1
<b>Total</b>	<b>144,8</b>	<b>Total</b>	<b>144,8</b>

### 3.4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA PILOTO

El conocimiento hidrogeológico pormenorizado del área de la Rambleta se ha conseguido, básicamente, por medio de la recopilación de toda la información existente sobre la zona, mediante la elaboración de un exhaustivo inventario de los pozos y sondeos, y de la realización de una campaña de tomografía eléctrica, además de la información proporcionada por las campañas piezométricas y de calidad de las aguas llevadas a cabo a lo largo del proyecto.

#### 3.4.1. Inventario de puntos de agua

El inventario de puntos de agua procedente de la base de datos AGUAS y del archivo de puntos acuíferos del IGME y de los archivos de la Universitat Jaume I se ha completado con la información facilitada por la Comunidad General de Regantes de Vall de Uxó, las bases de datos de las redes de control de la CHJ y, finalmente, mediante el trabajo de campo realizado durante los meses de febrero a agosto de 2012. La zona investigada se ha enmarcado en el rectángulo limitado en el oeste y en el este por las coordenadas X igual a 738.000 y 745.500, respectivamente, y en el sur y en el norte por las coordenadas Y 4.409.700 y 4.415.250, respectivamente.

El total se han inventariado 115 pozos (anexo 2 y mapa nº 1). Además de sus características generales (coordenadas, cota, profundidad, características constructivas, etc.) se ha recopilado la información litológica, con 33 de puntos con columna litológica; piezométrica, con 703 medidas de nivel; de concentración del ión cloruro, con 877 datos; y, finalmente, de calidad general, con un total de 193 análisis que incluyen iones mayoritarios y en ciertos casos compuestos minoritarios y metales pesados.

#### 3.4.2. Prospección geofísica. Tomografía eléctrica

En la zona de estudio se ha realizado una campaña de prospección geofísica por tomografía eléctrica (figura 19). Esta técnica permite determinar la distribución de la resistividad en el subsuelo mediante la realización de lecturas en superficie. Las medidas se obtienen inyectando corriente al terreno a través de un par de electrodos denominados de "corriente", y midiendo la diferencia de potencial creada mediante otro par de electrodos denominados de "potencial". La resistividad de las formaciones geológicas, básicamente, está relacionada con la litología, la porosidad, el fluido de relleno de poros, el grado de saturación de la roca y la temperatura, por lo que se puede establecer una correlación entre las resistividades obtenidas y la naturaleza de los materiales existentes en el subsuelo.

En la investigación realizada se ha utilizado el equipo Terrameter SAS4000 de ABEM, propiedad del IGME, empleando el sistema LUND Imaging. El espaciado interelectrónico ha sido de 15 m y el dispositivo el de Wenner, por consumir menos tiempo en la medición y ser muy robusto. El programa empleado para la inversión de los datos de campo ha sido el RES2DINV v. 3.46b de M.H. Loke y el algoritmo de inversión para la obtención de los perfiles de resistividad finales el *robust constrain*. La campaña ha consistido en la ejecución de 4 perfiles con una longitud total de 4.200 m (dos de 1.200 y dos de 900 m) (Tabla 7). En los perfiles 1 y 2 se han realizado, adicionalmente, medidas de polarización inducida (PI).

Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**

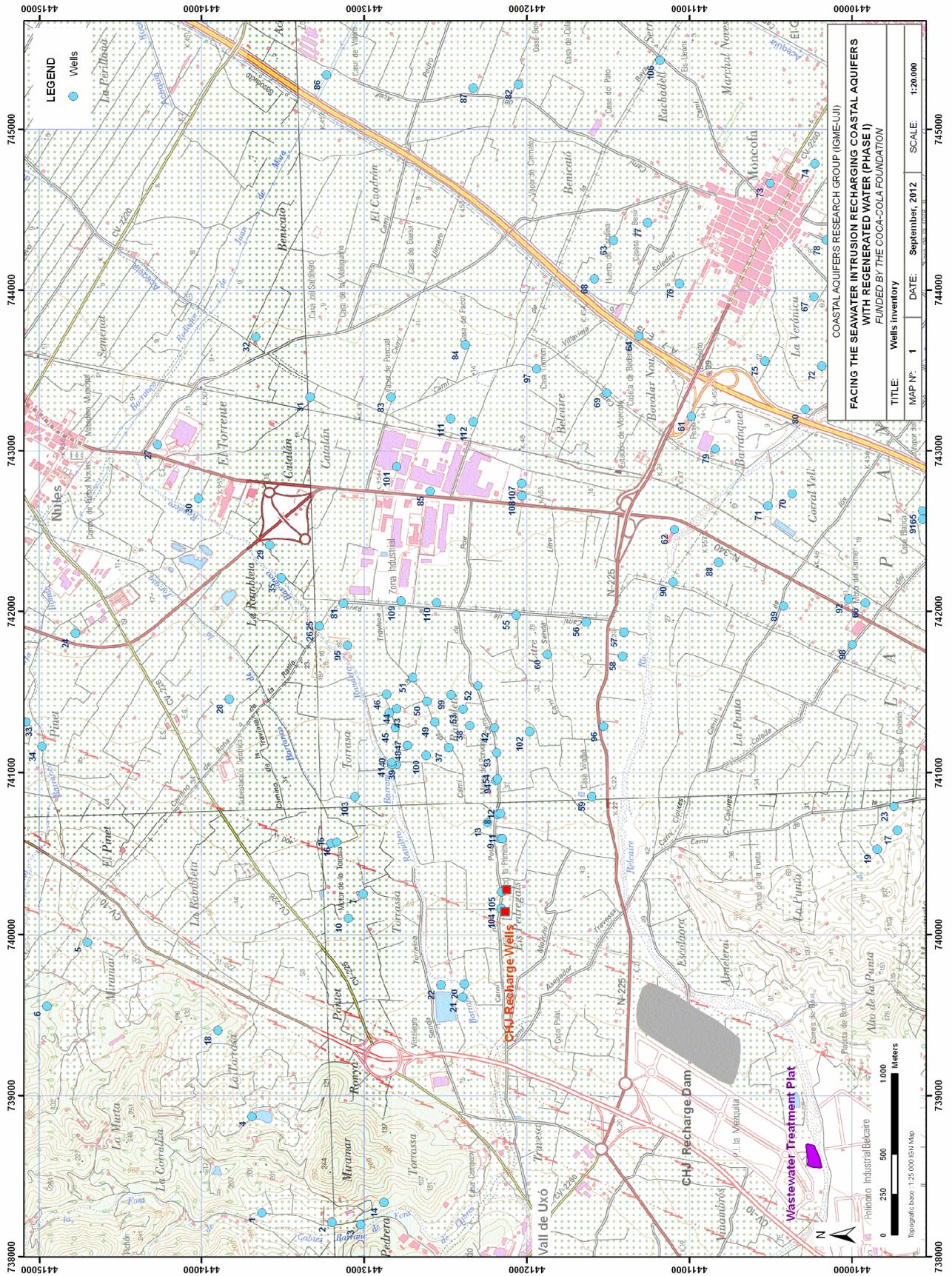


Tabla 7. Características generales de los perfiles medidos

1. Parámetros de medición			
Perfil	Dispositivo	Espaciado interelectrónico	Longitud
Perfil 1	Wenner/PI	15 m	1.200 m
Perfil 2	Wenner/PI	15 m	1.200 m
Perfil 3	Wenner	15 m	900 m
Perfil 4	Wenner	15 m	900 m

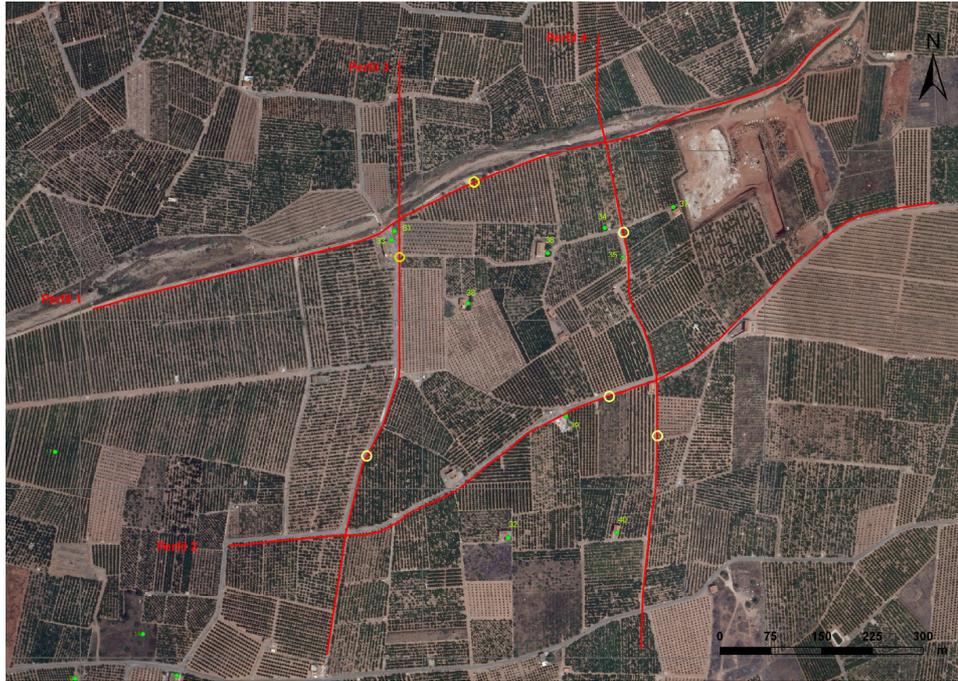


Figura 19. Localización de los perfiles geoelectrónicos. Los círculos amarillos indican el centro de cada uno de los dispositivos.

### Perfil 1

Con orientación oeste-este y una longitud de 1.200 este perfil discurre paralelo al barranco Randero. La inversión del perfil mediante ajuste por mínimos cuadrados ha conseguido un error cuadrático del 10.4 %. A partir de los valores obtenidos se ha seleccionado una paleta de colores que cubre el rango de resistividades entre 10 y 200 ohmxm, con el que se obtienen los resultados expuestos en la figura 20.

En este gráfico se ha incluido la columna litológica del sondeo 61 con objeto de establecer las correspondencias entre las resistividades obtenidas y las condiciones reales del subsuelo. Así los valores más resistivos observados en la zona más superficial, superiores a los 100 ohmxm, se atribuyen a materiales no saturados de elevada permeabilidad con predominio de gravas y arenas dentro de una matriz arcillosa. Los valores de baja resistividad (inferiores a 50 ohmxm) obtenidos a partir de los 25-30 m de profundidad, y hasta los 100 m, se asignan a sedimentos permeables de carácter detrítico afectados por la salinidad del agua de saturación. Estos corresponden a conglomerados, gravas, arenas y arcillas, saturados con agua de cierta salinidad. Por último, en los niveles más profundos, a partir de los 100-110 m, se detectan materiales más resistivos (60-100 ohmxm), atribuidos a limolitas, margas, arenas y conglomerados

saturados con agua dulce que, a su vez, corresponderían a un tramo acuífero más profundo, con flujos posiblemente ascensionales.

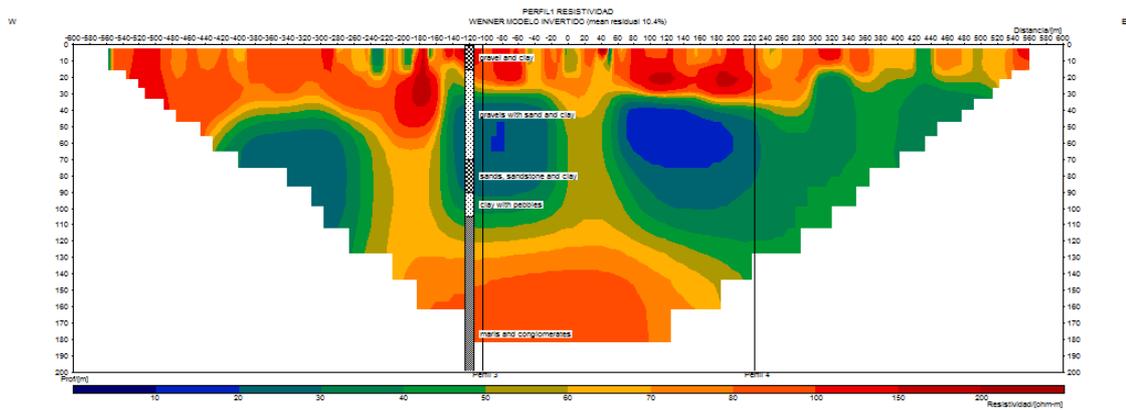


Figura 20. Resistividades obtenidas en el Perfil 1. Líneas verticales: cruces con perfiles 3 y 4

### Perfil 2

Este perfil, con una longitud de 1.200 y orientación oeste-este se sitúa al sur de la zona, más o menos paralelo al perfil 1. El resultado de la inversión de este perfil se observa en la figura 22, representada con la misma paleta de colores que en el perfil 1. Para su interpretación se ha seguido el mismo criterio que en el anterior.

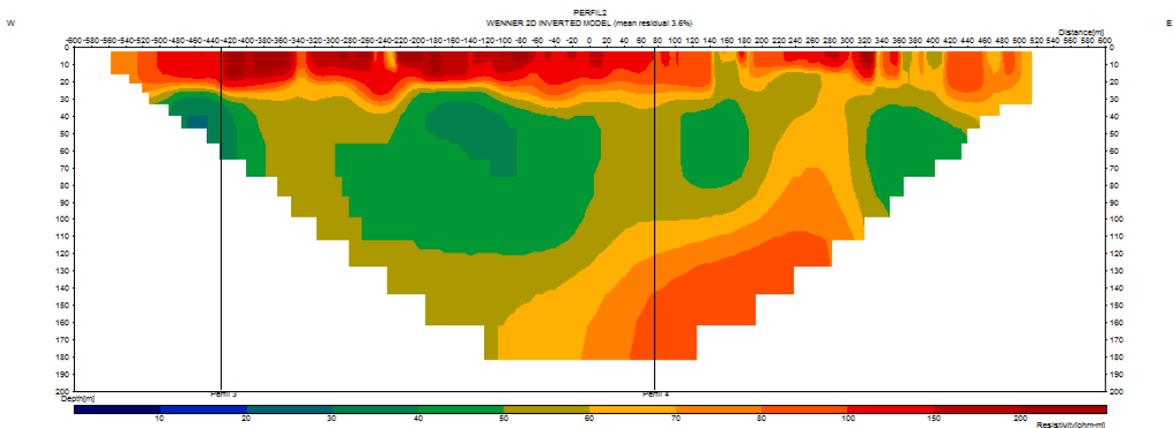


Figura 21. Resistividades obtenidas en el Perfil 2. Líneas verticales: cruces con perfiles 3 y 4

En la interpretación se observa el mismo nivel resistivo superficial, mientras que el nivel conductor subyacente muestra valores menos conductores que en el Perfil 1, lo que indica una menor salinidad del agua de saturación. Este nivel conductor presenta un mayor espesor en la parte occidental del perfil, disminuyendo hacia el este. El tramo resistivo inferior sigue esa misma tendencia, más profundo en la parte occidental y algo menos en la parte oriental, donde se detecta a una profundidad de 100-110 m.

### Perfiles 3 y 4

Son perfiles de 900 m longitud cada uno, con orientación norte-sur, perpendiculares a los dos anteriores, a los que cortan en su parte occidental (perfil 3) y oriental (perfil 4). Se ha medido con dispositivo Wenner y sólo con medidas de resistividad. Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 22 y 23.

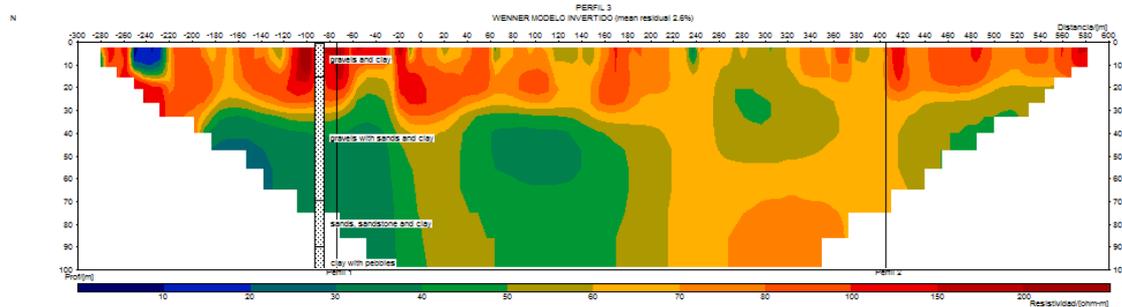


Figura 22. Resistividades obtenidas en el Perfil 2. Líneas verticales: cruces con perfiles 1 y 2

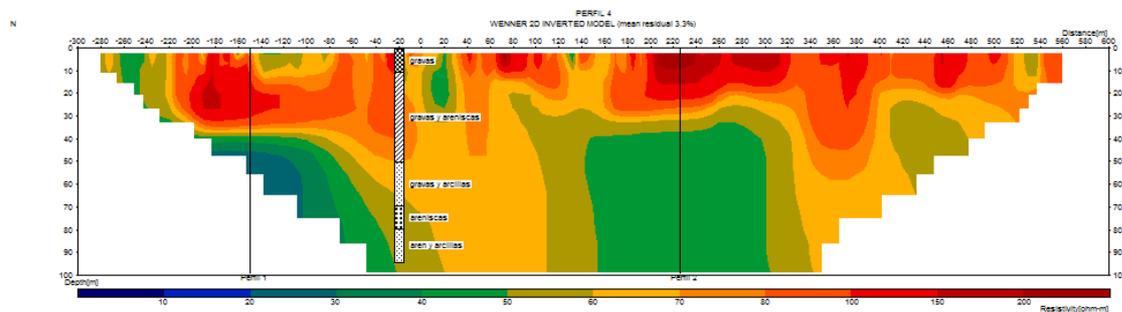


Figura 23. Resistividades obtenidas en el Perfil 3. Líneas verticales: cruces con perfiles 1 y 2

La interpretación de ambos perfiles ha seguido los criterios indicados en la interpretación de los anteriores. De esta manera el Perfil 3 muestra una buena coherencia con los 1 y 2 en las zonas de intersección, donde se confirma la mayor conductividad eléctrica detectada la zona norte del área de estudio. El Perfil 4 reproduce el mismo modelo, pero a diferencia de los anteriores se observan anomalías de mayor conductividad eléctrica en las zonas de corte más profundas.

### Perfiles de Polarización inducida (PI)

Como ya se ha comentado anteriormente, los perfiles 1 y 2 se han realizado también medidas de polarización inducida, con los mismos dispositivos y características que los de resistividad eléctrica. El objetivo de las medidas de PI era discriminar si los niveles de conductividad elevada son causados por la presencia de aguas salinas (bajo valor de cargabilidad) o debido a la existencia de arcillas (valor de cargabilidad más alto). Aunque se ha obtenido un alto nivel de ruido en las medidas de campo y su interpretación ha sido difícil, en los resultados obtenidos en Perfil 1 (figura 24) se aprecia claramente en casi toda su longitud valores bajos de cargabilidad (entre 0.5 y 1). Únicamente en su extremo oriental se observan valores altos, que parecen estar asociados a la presencia de un vertedero en este sector. La información proporcionada, a pesar de las dificultades, y, en este caso, de la baja calidad de los datos, confirma el modelo interpretativo expuesto.

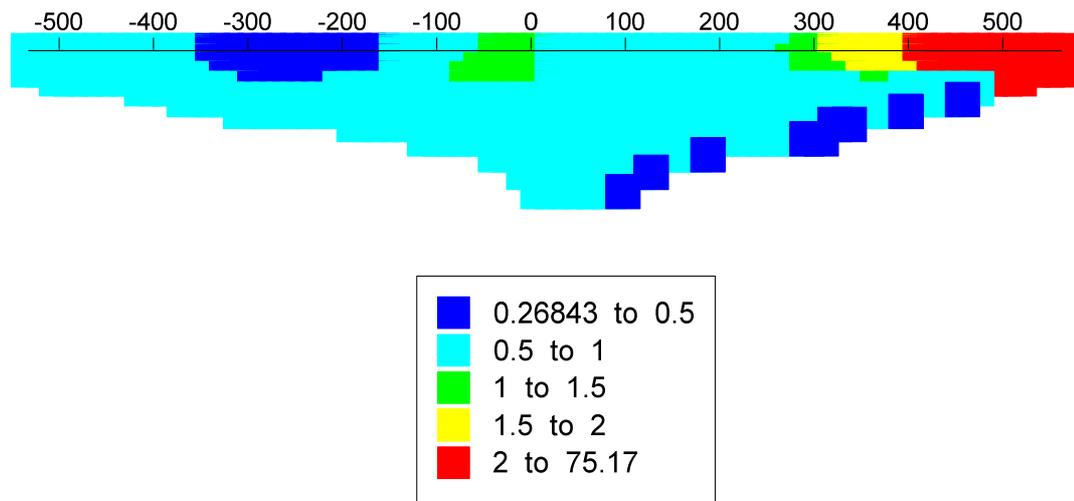


Figura 24. Valores de cargabilidad obtenidos para el Perfil 1

### Discusión y conclusiones

La interpretación de la campaña realizada ha permitido establecer la presencia en la zona investigada de sedimentos detríticos de relleno de cuenca, en los que se han podido distinguir tres tramos:

- Tramo resistivo superior, atribuido a gravas, arenas, areniscas, conglomerados y arcillas no saturadas de agua, que va desde la superficie hasta los 25-30 m de profundidad, donde se sitúa el nivel piezométrico de la zona.
- Tramo conductor intermedio, compuesto por materiales permeables saturados por agua de cierta salinidad, y con litologías similares a las del tramo superior, que se extiende entre los 25-30 m y los 100-110 m de profundidad. Este tramo es más conductor en la zona norte, probablemente debido a una mayor salinidad. En los perfiles norte-sur se muestra esta diferencia de conductividad hacia el sur.
- Tramo resistivo inferior con valores atribuidos a materiales compuestos por limolitas, margas, arcillas y conglomerados saturados con agua de baja salinidad.

### 3.4.3. Caracterización hidrogeológica

Las formaciones geológicas existentes en la zona de estudio corresponden a depósitos aluviales y coluviales pliocuaternarios dispuestos sobre sedimentos miocenos continentales, mixtos y de plataforma somera, bajo los que se encuentra un substrato mesozoico de naturaleza variable. A partir de los resultados obtenidos por la prospección geofísica realizada y de las columnas litológicas de los sondeos existentes, se ha podido establecer el esquema tectosedimentario del área investigada, en el que se diferencian cuatro conjuntos litológicos (figuras 25 y 26):

- Formación detrítica superior
- Nivel de arcillas con cantos
- Formación detrítica inferior
- Substrato mesozoico

### ***Formación detrítica superior***

Se trata de un conjunto de materiales de edad pliocuaternaria y origen continental constituido esencialmente por gravas de carácter poligénico, arcillas, arenas y areniscas, de unos 60 a 110 m de espesor. Corresponden a sedimentos producto de la erosión y denudación de los relieves localizados al oeste, que dan lugar a la formación de mantos aluviales, a veces encostrados, depósitos de pie de monte, mantos de arroyada, abanicos aluviales, coluviones y terrazas aluviales. Las gravas predominan en los metros más superficiales, así como en las áreas más occidentales, con un incremento en el contenido de arena con la profundidad.

Estos materiales constituyen el tramo acuífero detrítico superior (UDAS) que es un acuífero de tipo multicapa con permeabilidad por porosidad, de unos 85 m de potencia media, (mapa n° 2 y 3) y es el tramo acuífero explotado por las principales captaciones. Dentro de este conjunto, las mayores permeabilidades se dan en los niveles con proporción más elevada de gravas y arenas. Este tramo acuífero es el que presenta las mejores cualidades hidrodinámicas ya que en las captaciones productivas se pueden superar en algunos puntos transmisividades de 1.000 m<sup>2</sup>/día. No obstante las más habituales están entre los 100 y los 300 m<sup>2</sup>/día y la cifra anterior. Los rendimientos más elevados se dan en los pozos Rambleta, casi todos ellos con caudales específicos de 6 a 10 L/s/m (mapa n° 4). Esta formación también presenta una elevada porosidad eficaz, con valores que varían entre el 2 y el 8 %. Esta disposición hidrogeológica, por su morfología, parece estar relacionada genéticamente con un antiguo cono de deyección, resultado del depósito de los sedimentos transportados por el barranco Randero en épocas de gran energía, de manera que los sedimentos más groseros y, por tanto, más permeables, se localizan en las partes más proximales y centrales del paleocauce, que corresponde en este caso a la zona de la Rambleta.

### ***Nivel de arcillas con cantos***

En la base de todo el conjunto de materiales descrito, y con su misma edad, se puede diferenciar en la mayor parte del área de estudio un horizonte de arcillas con cantos. Su espesor máximo es de 20 m, con una media de unos 12 m, y un acuñamiento hacia el sur y oeste por cambio lateral de facies, donde pasa a gradualmente a areniscas, e incluso llega a desaparecer en las áreas más cercanas a los relieves occidentales.

Su naturaleza permite una cierta desconexión hídrica entre el tramo acuífero detrítico superior y el inferior.

### ***Formación detrítica inferior***

Bajo las litologías anteriores, en disposición subhorizontal y mediante superficie erosiva, se encuentra una formación atribuida al Mioceno compuesta por limolitas y arcillas con niveles de areniscas y conglomerados poligénicos. Su espesor, creciente hacia la costa, está entre los 50 y 100 m, aunque puede llegar a estar ausente en la zona meridional por efecto de la elevación del substrato mesozoico en este sector. Los conglomerados presentan una morfología en paleocanales que se erosionan entre sí, mientras que en las areniscas son comunes las formas estratificadas y lentejonares.

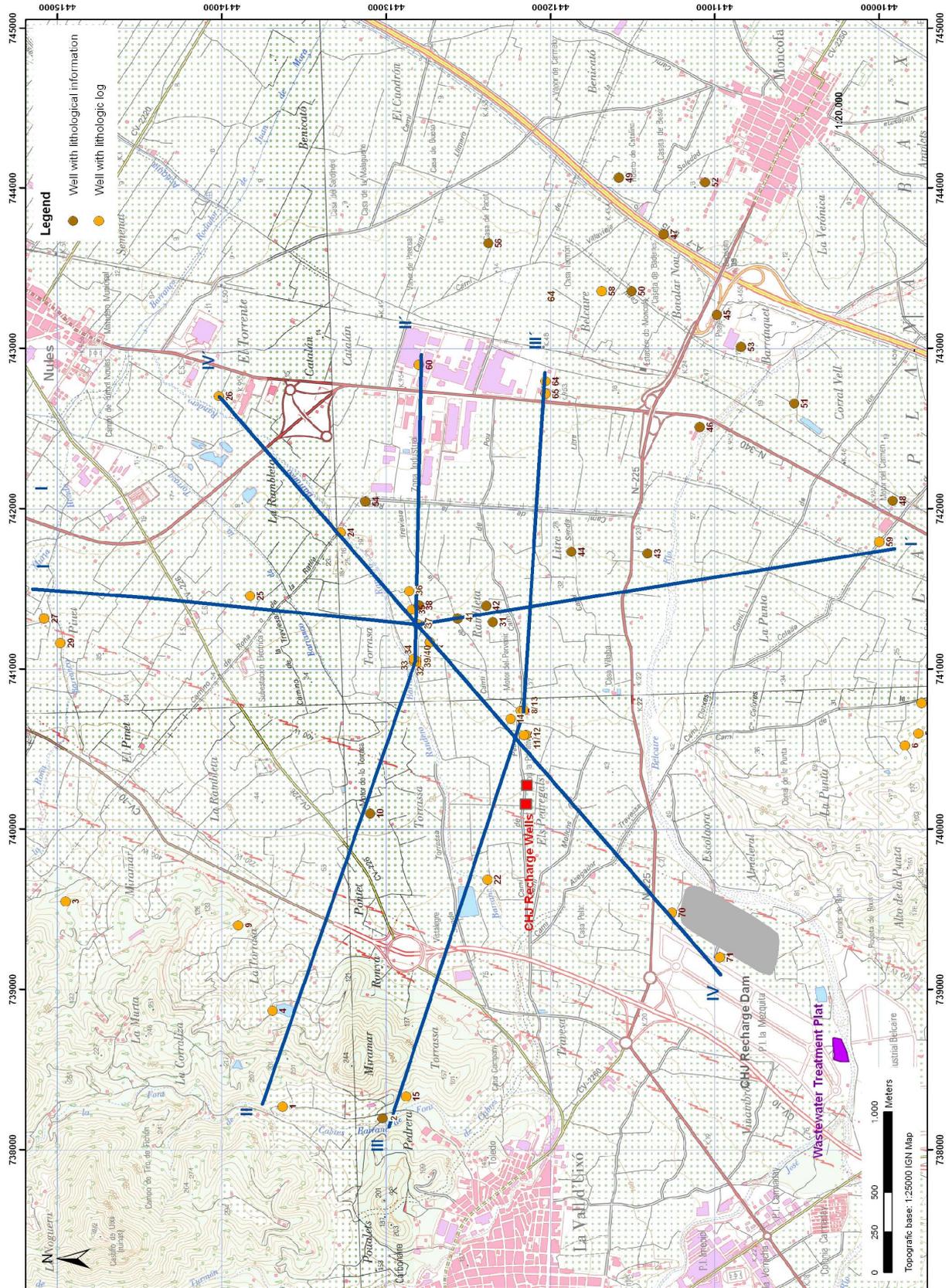


Figura 25. Situación de los cortes hidrogeológicos

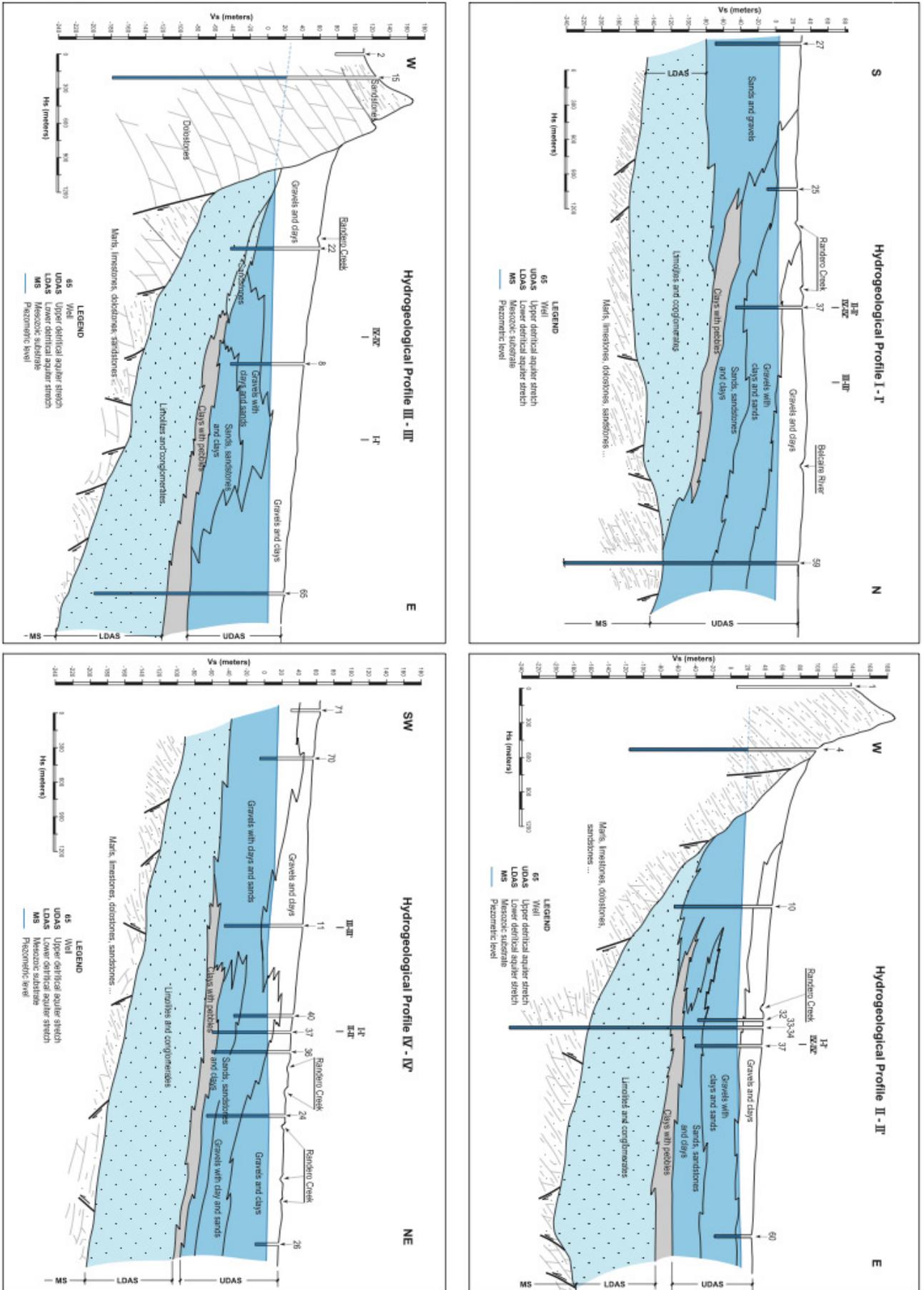


Figura 26. Cortes hidrogeológicas

Las limolitas y arcillas con niveles de areniscas y conglomerados conforman el tramo acuífero detrítico inferior (LDAS) que presenta permeabilidad por porosidad sólo en los tramos arenosos y conglomeráticos, por lo que su interés hidrogeológico es menor que el de la formación detrítica superior. Este conjunto de materiales, debido a la presencia de limolitas y margas, especialmente en su zona más elevada, constituye, junto con el nivel de arcillas con cantos, el impermeable de base de la formación detrítica superior.

#### *Materiales mesozoicos*

Infrayacente a todas las anteriores formaciones, y también mediante contacto erosivo, se localizan materiales de diferente naturaleza y edad mesozoica sometidos a intenso plegamiento y fracturación. Suelen corresponder a formaciones triásicas: calizas, margas y dolomías de la facies Muschelkalk, areniscas ortocuarcíticas y limolitas del Buntsanstein, y margas con yesos de facies Keuper. En menor medida se detectan formaciones jurásicas y cretácicas, integradas en este caso esencialmente por calizas dolomías y margas. Estas formaciones se encuentran a profundidad creciente en dirección a la costa, y van desde cotas próximas al nivel del mar en el borde occidental del área de estudio hasta los -200 m s.n.m. (mapa n° 5). En general conforman un paleorelieve fosilizado por las formaciones suprayacentes, por lo que, dentro de este contexto, pueden existir elevaciones respecto al resto, como en el borde nororiental del área de estudio.

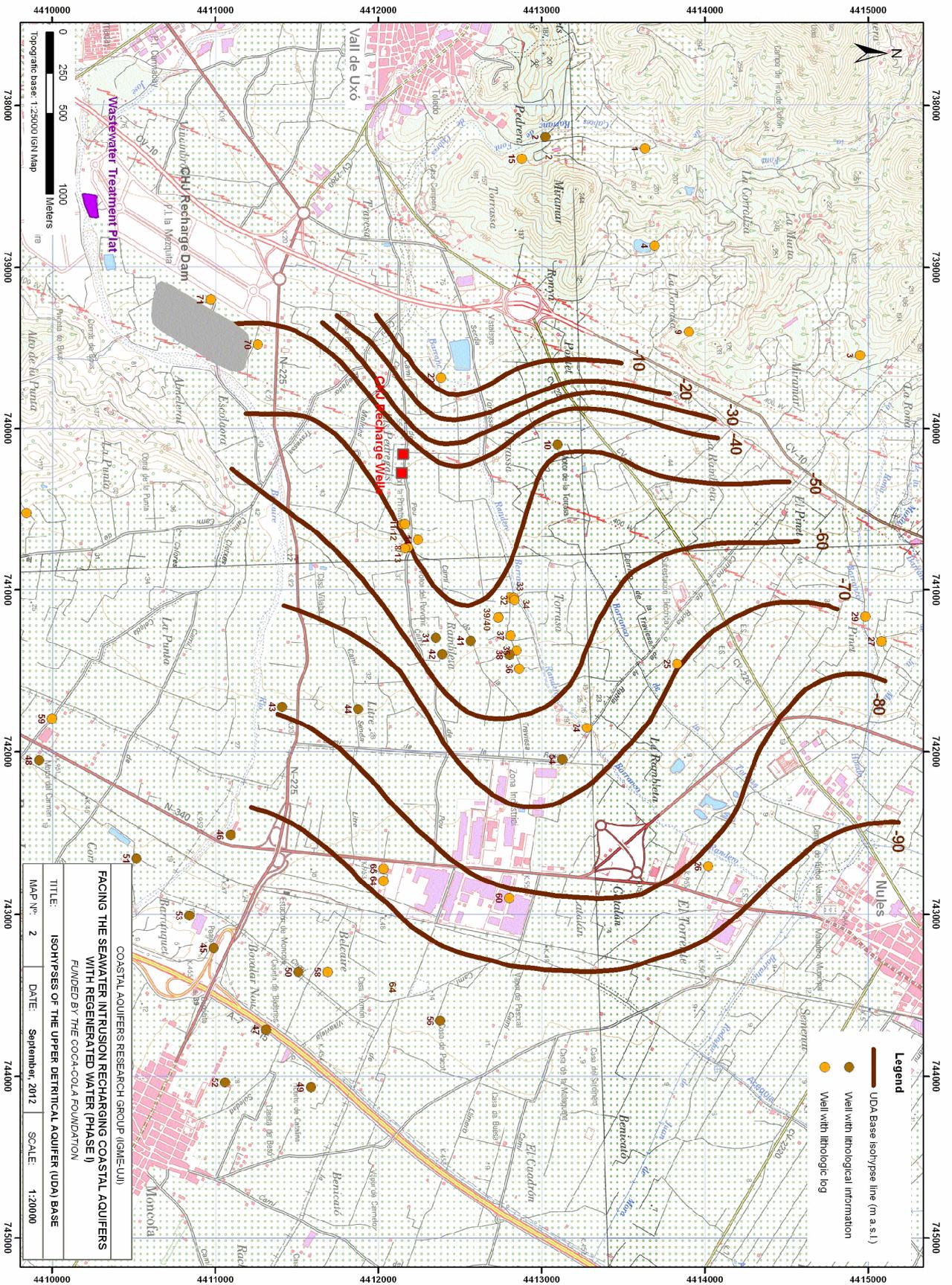
Este conjunto litológico, en el que quedan incluidas todas las formaciones geológicas pertenecientes al Mesozoico, puede constituir acuíferos cuando dichas formaciones son permeables. Esto sucede con las de edad triásica correspondientes a las calizas y dolomías del Muschelkalk, así como a las areniscas ortocuarcíticas del Buntsanstein. En estos casos existe conexión hidráulica con las formaciones permeables superiores. Cuando las formaciones son de carácter arcilloso: margas del Keuper y arcillitas del Buntsanstein, éstas hacen de substrato impermeable de los tramos acuíferos superiores.

#### **3.4.4. Red de observación**

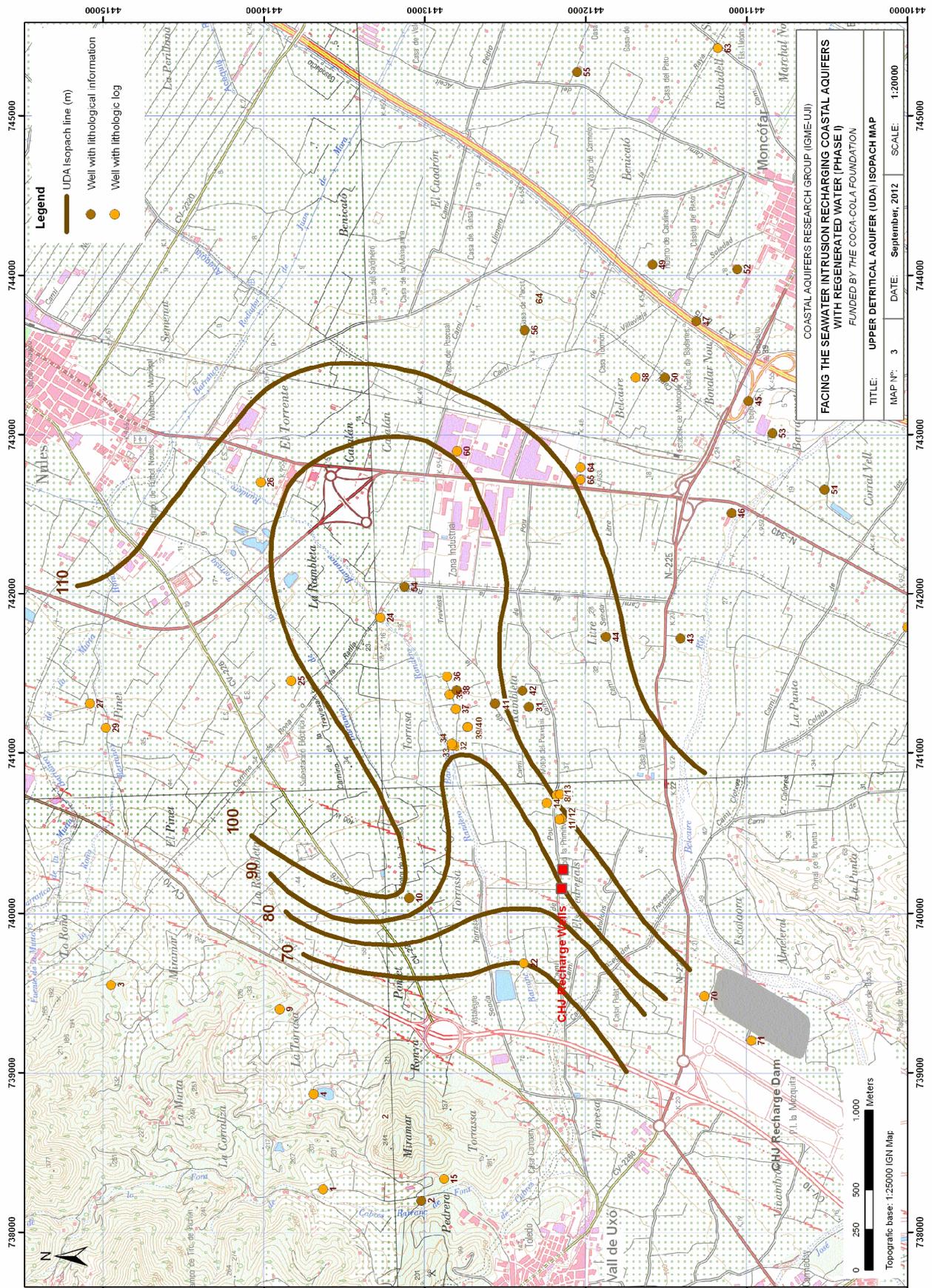
Para conocer el funcionamiento hidrodinámico y la composición química de un acuífero se debe tener la completa seguridad de que los datos obtenidos representan realmente el agua del acuífero y que presentan la máxima fiabilidad. No obstante, el establecimiento de la red de observación está supeditada a las limitaciones impuestas por el medio: condiciones del terreno, existencia o no de perforaciones, características del sondeo, equipamiento, accesibilidad a toma de muestra y medidas in situ, etc.

De este modo, se ha diseñado una red de control piezométrico y de calidad cuyas medidas proporcionan la información necesaria para la elaboración de mapas piezométricos y de isocontenidos. La red ha quedado constituida por 32 puntos (tabla 8 y mapa n° 6), en su mayoría pozos de riego de las diferentes cooperativas agrarias de la zona (29) y en desuso muchos de ellos (19).

Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**

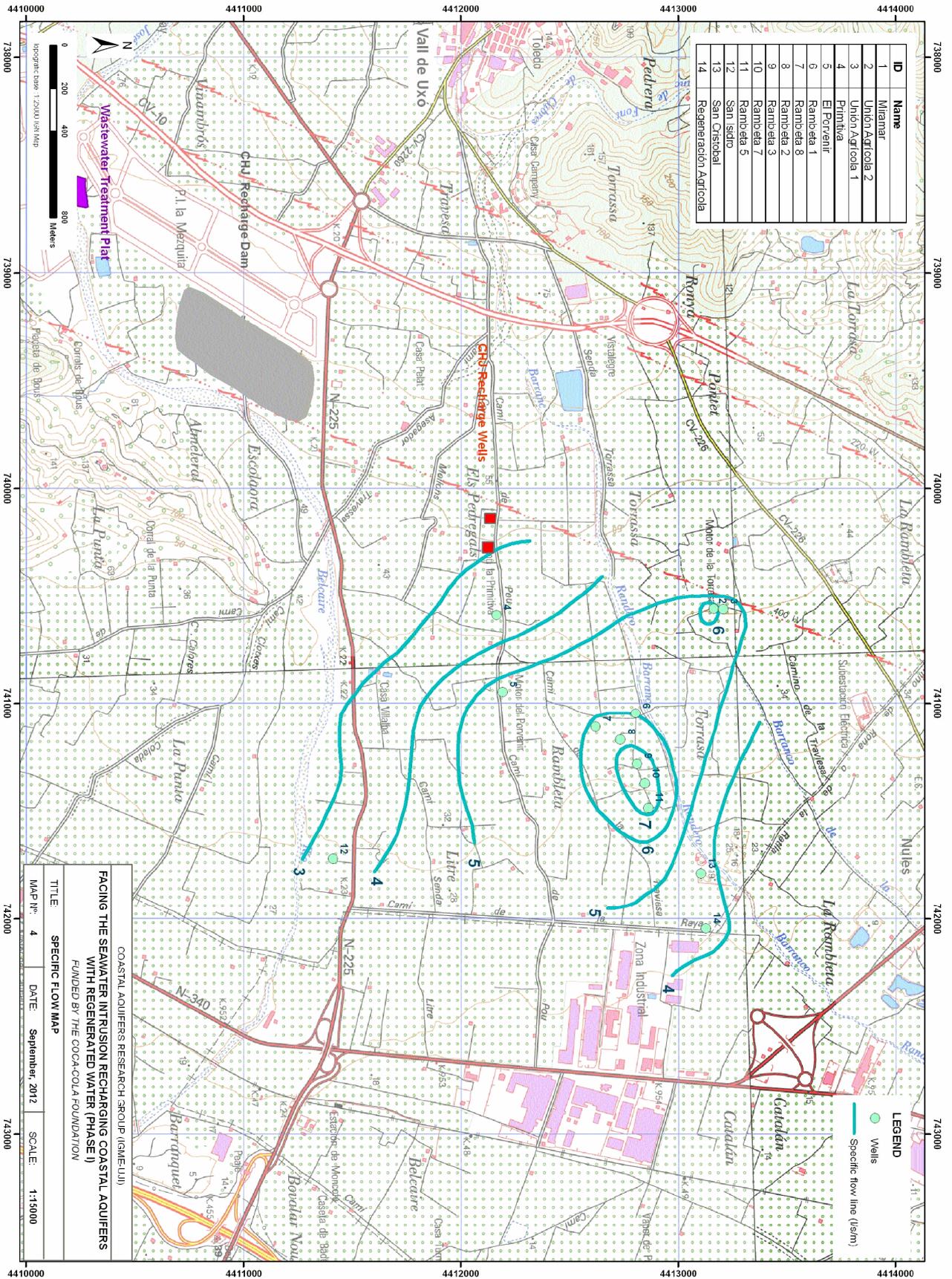


Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**



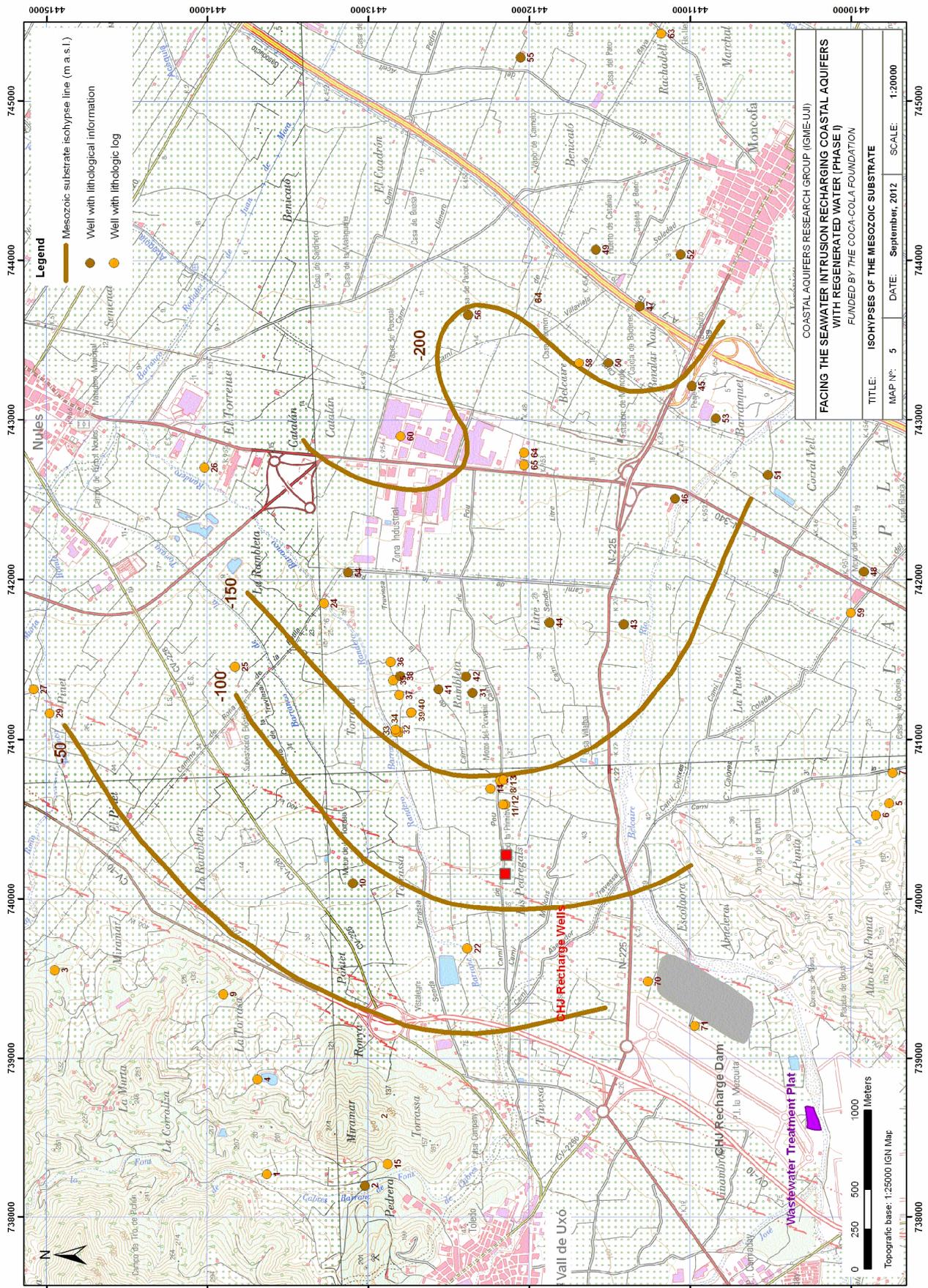
Mapa nº 3. Mapa de isopacas del tramo superior detritico

Final Report



Mapa 4. Mapa de caudales específicos

Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**



Mapa n° 5. Mapa de isopropfundidades del sustrato mesozoico

Tabla 8. Red de control

Nº Ref	Toponimia	UTM X	UTM Y	Municipio
1	Randero nº 1	739.686	4.412.375	Vall de Uxó
2	Unión Agrícola	740561	4.413.214	Vall de Uxó
3	La Rambleta			Vall de Uxó
4	Rambleta-SGOP			Vall de Uxó
5	Rambleta nº1	741.057	4.412.826	Vall de Uxó
6	Rambleta nº2	741.170	4.412.732	Vall de Uxó
7	Rambleta nº3	741.288	4.412.807	Vall de Uxó
8	Rambleta nº5	741.479	4.412.870	Vall de Uxó
9	San Cristóbal	741.789	4.413.103	Vall de Uxó
10	Regeneración agrícola	742.047	4.413.125	Vall de Uxó
11	La Traslación	741.158	4.412.479	Vall de Uxó
12	La Primitiva	740.590	4.412.175	Vall de Uxó
13	El Porvenir	740.960	4.412.180	Vall de Uxó
14	Nª Sª de Asunción	741.295	4.412.208	Vall de Uxó
15	Rambleta nº6	741.671	4.412.375	Vall de Uxó
16	Casa Villalba	740.850	4.411.600	Vall de Uxó
17	La Escolaora	741.257	4.411.969	Vall de Uxó
18	Condesa antigua			
19	La Paz	741.989	4.412.064	Vall de Uxó
20	San Vicente	741.948	4.411.639	Vall de Uxó
21	San Isidro	741.721	4.411.423	Vall de Uxó
22	San Antonio	741.838	4.411.372	Vall de Uxó
23	La Alqueria-Moncofar	742.178	4.411.088	Moncofar
24	Santa Magdalena	743.350	4.411.507	Moncofar
25	Santa Catalina	744.200	4.411.460	Moncofar
26	San Ildefonso	743.657	4.412.449	Nules
27	La Soledad	743.315	4.412.856	Nules
28	San Miguel Arcángel	743.322	4.413.320	Nules
29	Santísima Trinidad	742.205	4.413.508	Nules
30	San Vicente Ferrer	742.415	4.413.580	Nules
31	Ángel de la Guarda	742.710	4.414.000	Nules

Las campañas se llevan a cabo cada dos meses, habiéndose realizado hasta el momento las de abril, junio y agosto. En todas ellas, se ha medido la profundidad del nivel piezométrico, con una sonda SEBA-HYDROMETRIE D-8950 KAUFBEUREN de 200 metros, y se han determinado in situ la conductividad eléctrica, la temperatura y el pH. También se ha procedido a la toma de muestras a una profundidad de 5 m por medio de un hidrocaptor de apertura controlada.

Por otra parte, en once pozos en desuso se han instalado diferentes sondas de registro continuo, que se han programado para la toma de datos cada hora. En concreto, en la Rambleta 1, La Paz, San Vicente, Santa Catalina y San Ildefonso se han instalado

sondas Cera Diver, que registran datos de temperatura y profundidad de la lámina de agua. En los pozos Rambleta 2, Rambleta 5, San Cristóbal, El Porvenir, Rambleta 6 y San Antonio se han instalado CTD Diver, que miden además la conductividad eléctrica. Por último, en el Rambleta 6 también se ha instalado una sonda Baro Diver, que mide la presión atmosférica, y que sirve para ajustar las medidas de profundidad (tomadas en presión) de los Cera y CTD Diver.

Las campañas se completan con la realización de perfiles verticales de conductividad eléctrica y temperatura con la sonda AQUATROLL 200 de 300 metros de profundidad. En las campañas de abril y octubre se llevan a cabo seis perfiles (pozos La Rambleta, Rambleta SGOP, Rambleta 2, Rambleta 5, Rambleta 6 y San Antonio) mientras que, en el resto de campañas se realizan dos perfiles (Rambleta 5 y 6).

Por último se ha de referir la campaña de nivelación de precisión de los puntos de la red de control, a excepción del Miramar 1 que se incorporó posteriormente. Se ha utilizado un GPS diferencial Triumph de precisión centimétrica (errores calculados menores de 3 centímetros) y un teodolito Nikon AP-5. De este modo, se han obtenido para cada punto la cota del suelo y la cota en la referencia de medida (tabla 9).

Tabla 9. Datos de la nivelación de los puntos de la red de control

ID	NAME	X (ED_50) <sup>(1)</sup>	Y (ED_50) <sup>(1)</sup>	Z <sup>(2)</sup> GROUND	Z REFERENCE_MEASURE	Depth (m)	Municipality	Comments
1	Randero 1	739.688	4.412.383	57,55	55,72	100	Vall de Uxó	
2	Unión Agrícola	740.562	4.413.204	37,39	37,39	50	Vall de Uxó	
3	La Rambleta	741.049	4.412.829	32,52	32,66	350	Vall de Uxó	Logging of electrical conductivity and temperature (EC-T <sup>a</sup> )
4	Rambleta SGOP	741.064	4.412.832	31,89	32,47	200	Vall de Uxó	EC-T <sup>a</sup> Logging
5	Rambleta 1	741.047	4.412.801	32,45	32,65	75	Vall de Uxó	Cera Diver laid
6	Rambleta 2	741.170	4.412.732	30,54	30,70	42	Vall de Uxó	CTD Diver laid; EC-T <sup>a</sup> logging
7	Rambleta 3	741.282	4.412.808	28,80	28,84	73	Vall de Uxó	
8	Rambleta 5	741.486	4.412.860	26,75	26,91	78	Vall de Uxó	CTD Diver laid; EC-T <sup>a</sup> logging
9	San Cristobal	741.789	4.413.103	21,94	20,30	80	Vall de Uxó	CTD Diver laid
10	Regeneración Agrícola	742.047	4.413.125	20,14	18,85	77	Vall de Uxó	
11	La Traslación	741.158	4.412.479	30,53	31,21	54	Vall de Uxó	
12	La Primitiva	740.590	4.412.161	40,25	40,25	100	Vall de Uxó	
13	El Porvenir	740.948	4.412.190	34,97	34,97	57	Vall de Uxó	CTD Diver laid
14	Nº Sº de Asunción	741.282	4.412.197	31,43	32,57	37	Vall de Uxó	
15	Rambleta 6	741.396	4.412.391	30,04	30,28	67	Vall de Uxó	CTD Diver and Baro Diver laid; EC-T <sup>a</sup> logging
16	Casa Villalba	740.850	4.411.600	38,10	38,58	51	Vall de Uxó	EC-T <sup>a</sup> Logging
17	La Escolara	741.257	4.411.982	32,39	30,64		Vall de Uxó	
18	Condesa Antigua	741.733	4.411.873	29,93	29,97	48	Vall de Uxó	
19	La Paz	741.977	4.412.065	26,15	26,38	51	Vall de Uxó	Cera Diver laid
20	San Vicente	741.934	4.411.635	27,03	27,10	52	Vall de Uxó	Cera Diver laid
21	San Isidro	741.722	4.411.410	29,39	29,97	52	Vall de Uxó	
22	San Antonio	741.870	4.411.402	28,70	28,70	63	Vall de Uxó	CTD Diver laid; EC-T <sup>a</sup> logging
23	La Alquería-Moncofar	742.182	4.411.100	24,01	22,03	92	Vall de Uxó	
24	Santa Magdalena	743.359	4.411.507	13,67	12,99	25	Móncofar	
25	Santa Catalina	744.306	4.411.466	6,66	7,17	21	Móncofar	Cera Diver laid
26	San Ildefonso	743.660	4.412.378	9,99	12,57	54	Nules	Cera Diver laid
27	La Soledad	743.331	4.412.835	13,37	13,76	27	Nules	
28	San Miquel Arcangel	743.333	4.413.332	11,23	11,07	36	Nules	
29	Santísima Trinidad	742.205	4.413.508	17,65	17,93	74	Nules	
30	San Vicente Ferrer	742.415	4.413.580	16,35	17,06	49	Nules	
31	Ángel de la Guarda	742.704	4.414.018	13,83	13,97	26	Nules	
32	Miramar 1	740.850	4.413.057	34,00	34,00		Vall de Uxó	

(1) European Datum 1950 Zone 30N (GCS European 1950)

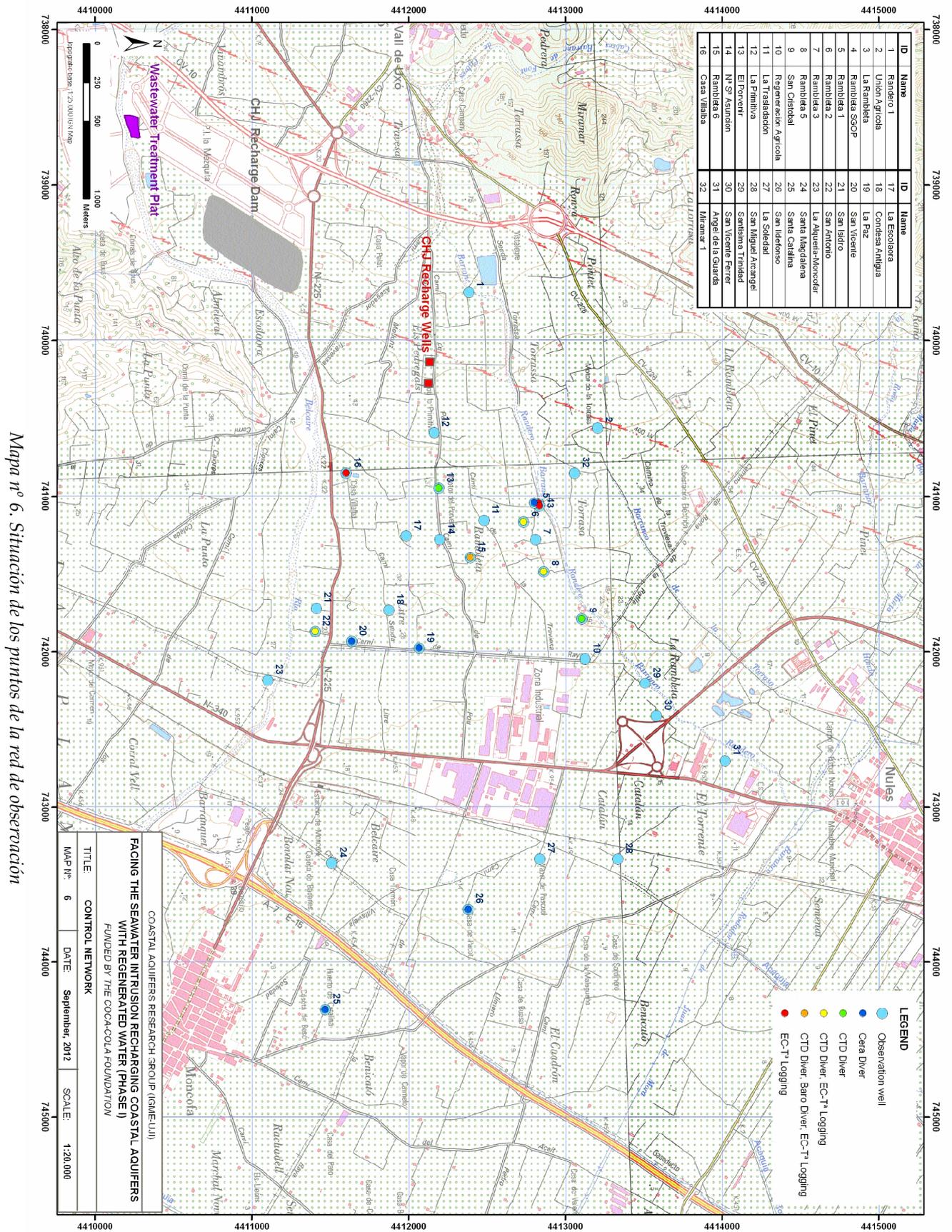
(2) Ortometric

### 3.4.5. Estudio piezométrico

#### *Campañas piezométricas*

Los resultados obtenidos entre los meses de abril y agosto de 2012 indican que los niveles del agua subterránea en la zona seleccionada son muy bajos y están próximos al nivel del mar, con un rango de valores mínimos ligeramente por debajo de 0,75 m s.n.m. (agosto) y máximos por encima de los 4 m s.n.m., lo que da lugar gradientes hidráulicos extremadamente bajos, entre el 0,05 % y el 0,1 %.

Final Report



Mapa nº 6. Situación de los puntos de la red de observación

De modo general, se puede establecer un esquema en el que la piezometría en condiciones naturales desciende progresivamente desde el oeste, donde el acuífero es alimentado por los acuíferos de borde, y el este, hacia el mar Mediterráneo, principal mecanismo de drenaje del sistema. En las referidas condiciones, el flujo subterráneo presenta un sentido oeste-este. Sin embargo, este esquema de flujo ha sido modificado por la acción humana, en concreto por los bombeos realizados en el acuífero, que ha generado una depresión de los niveles que alcanza su máxima expresión en el entorno de los límites municipales de Vall de Uxó y Nules. La depresión provocada ha modificado el flujo subterráneo, de forma que en el sector afectado se ha producido la inversión de las líneas de flujo, y en la actualidad presentan una componente radial hacia el centro de la depresión piezométrica. Debido al carácter costero del acuífero estos descensos del nivel de agua en el sistema están en el origen de la salinización de sus aguas.

Los niveles piezométricos más elevados corresponden al mes de abril, y descienden de manera general en toda el área hasta las últimas medidas realizadas en el mes de agosto, momento en el que se obtienen los valores más bajos. Aunque las cotas mínimas no siempre coinciden en los mismos puntos de control, en algunos de ellos la piezometría en el mes de abril sólo se encuentra ligeramente por debajo de los 2,25 m s.n.m. (mapa nº 7), mientras que en el mes de junio son algo inferiores a los 1,5 m s.n.m. (mapa nº 8). En cuanto al mes de agosto, los mínimos pasan a estar cerca de los 0,75 m s.n.m. (mapa nº 9). Comparadas las campañas entre sí, durante el periodo de control (abril-agosto 2012) se obtienen descensos máximos de hasta casi 2 m (mapa nº 10) en algunos puntos localizados dentro del área con niveles deprimidos, si bien, y a causa del gradiente hidráulico existente, con un incremento de la piezometría hacia las zonas de borde del acuífero, en el área más occidental las diferencias piezométricas también pueden alcanzar valores similares (figura 27).

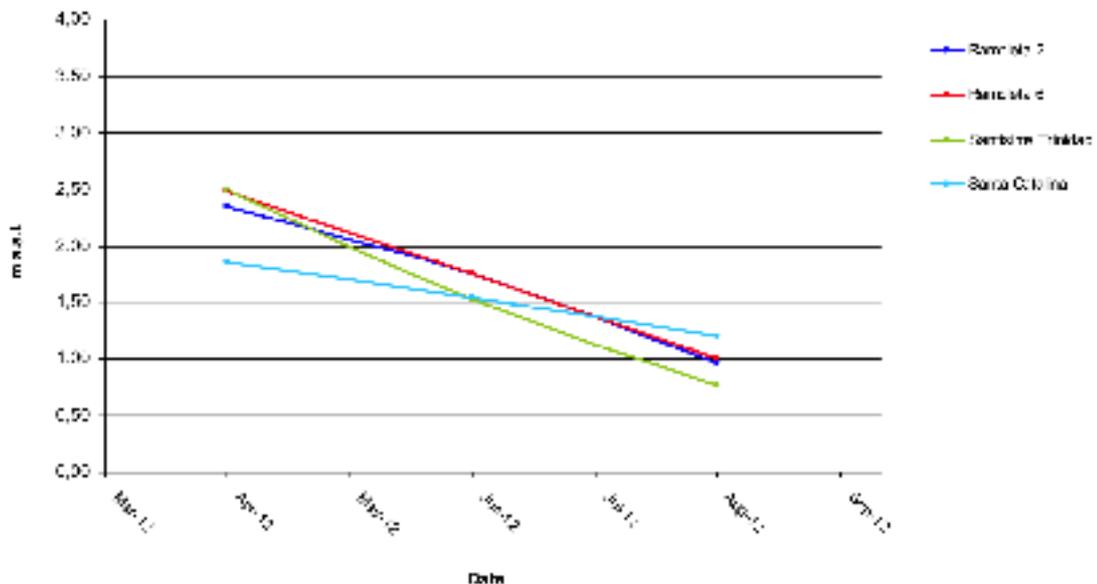


Figura 27. Evolución de la piezometría entre abril y agosto de 2012

No obstante, en épocas pasadas los niveles piezométricos han sufrido evoluciones mucho más importantes, motivadas por las condiciones climáticas y por las extracciones realizadas en cada periodo. Respecto a esto, los primeros datos de los que se dispone corresponden al inicio de los años setenta, cuando en la zona ya se realizaban importantes bombeos de aguas subterráneas. La situación, que en ese momento puede considerarse muy similar a la actual, con valores mínimos cercanos o algo por debajo de la cota del nivel del mar, se deteriora progresivamente hasta el año 1980, momento en el que los niveles piezométricos alcanzan mínimos históricos debido a la concatenación de un periodo especialmente seco y el incremento de las extracciones para compensar el déficit hídrico generado. Los mínimos llegan a ser entonces de más de 11 m b.n.m. en el sondeo S. Vicente Ferrer, siendo frecuentes cotas por debajo de los 5 m b.n.m. en numerosas captaciones, como en los pozos de Rambleta 3, con casi 8 m b.n.m., Trinidad, con casi 7 m b.n.m., Santa Catalina, con 5,5 m b.n.m., y Primitiva, en torno a los 6 m b.n.m. (figura 28). Este hecho trae como consecuencia un importante avance de la intrusión salina y el deterioro de las aguas subterráneas de la zona.

Posteriormente tiene lugar un ascenso continuado y paulatino de los niveles piezométricos hasta el año 1990, momento en el que se obtienen los registros históricos máximos, y toda la zona se coloca ampliamente con valores positivos. En este aspecto destaca el pozo de la Primitiva con incrementos de más de 30 m (25 m s.n.m.) respecto a los valores de 1980. También el pozo Trinidad consigue ascensos de más de 22 m (17 m s.n.m.).

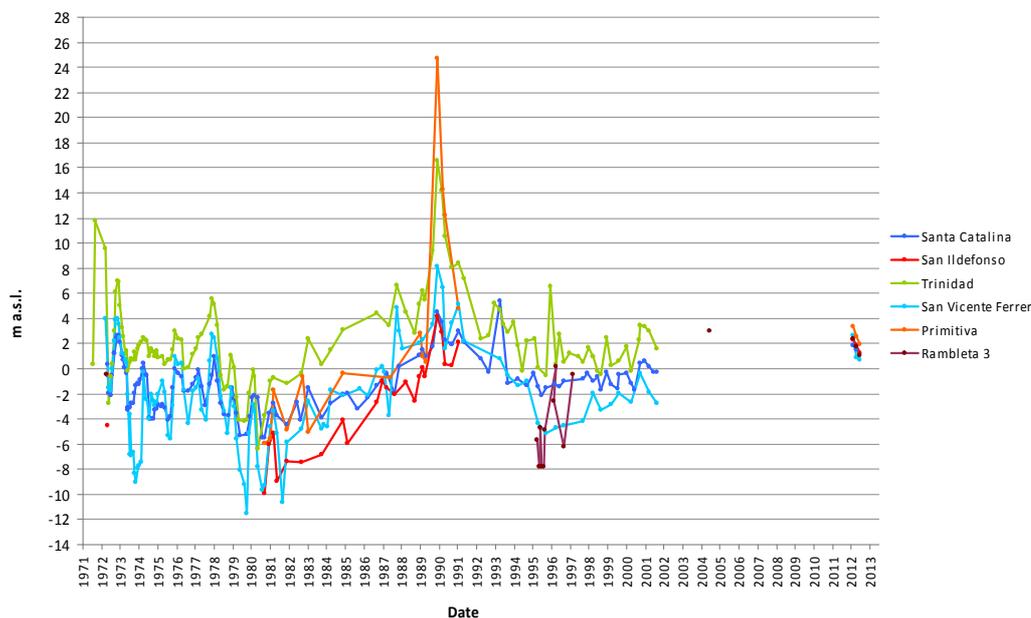


Figura 28. Evolución histórica de niveles piezométricos

Entre 1990 y 1996 se producen descensos importantes que colocan de nuevo al acuífero en una situación equivalente a la de inicios de los años setenta, mientras que a partir del último año mencionado tiene lugar, con carácter general, un moderado incremento de niveles que culmina con la piezometría actual.

**Registros continuos (divers)**

En febrero de 2012 se instalaron en cuatro pozos de observación dispositivos Cera Diver para el registro continuo de las variaciones del nivel piezométrico. Posteriormente, en junio de 2012, se amplió esta red de *divers* hasta colocar cinco Cera Divers y seis CTD Divers, en los pozos indicados en la tabla 10. Los Cera Divers registran nivel piezométrico y temperatura mientras que los CTD Divers registran, además, la conductividad eléctrica. Para corregir las medidas de nivel piezométrico se ha instalado también un Baro Diver en el pozo Rambleta 6.

Tabla 10. Pozos con divers

	<b>Febrero a Junio</b>	<b>Junio a actualidad</b>
Cera Diver	Rambleta 2 Rambleta 5 Rambleta 6 San Antonio	Rambleta 1 San Ildefonso San Vicente Santa Catalina La Paz
CTD Diver		Rambleta 2 Rambleta 5 Rambleta 6 Porvenir San Cristóbal San Antonio

Se han procesado los datos obtenidos en los *divers* instalados en los pozos Rambleta 2, Rambleta 5 y Rambleta 6, que abarcan el periodo de febrero a julio de 2012, si bien los primeros meses (febrero-junio) los datos fueron obtenidos con Cera Divers mientras que los dos últimos meses se obtuvieron con CTD Divers. Este cambio de dispositivo coincidió prácticamente con el inicio de la temporada de bombeos.

La evolución sufrida por el nivel piezométrico en los tres pozos de observación es muy similar (figura 29). Se distingue un periodo inicial desde febrero hasta finales de mayo en que los niveles prácticamente no varían salvo en respuesta a eventuales bombeos realizados en pozos cercanos. A partir de principios de junio los bombeos en el sector son diarios (prácticamente todos ellos en horario nocturno) y ello se refleja en un descenso continuado de los niveles que llega a ser de 1,3 metros al final del periodo registrado (finales de julio). Llama la atención que los valores obtenidos con los CTD *Divers* presentan pequeñas pero apreciables variaciones diarias (del orden de un centímetro) que se asocian a los descensos nocturnos provocados por los bombeos y a las recuperaciones diurnas.

En la figura 30 se muestra la evolución de los niveles en nueve pozos de observación. Es evidente que la respuesta del acuífero a los bombeos es muy homogénea en el sector considerado y se puede aceptar que los bombeos realizados en junio y julio han provocado un descenso generalizado de la superficie piezométrica del orden de 0,7 metros. En los pozos San Ildefonso (nº 26) y Santa Catalina (nº 25) el descenso ha sido apreciablemente menor (entre 0,5 y 0,6 metros).

Conviene apuntar que, como se comenta en el apartado 3.7.1, entre las medidas piezométricas realizadas en las campañas de abril y agosto se han detectado descensos de hasta dos metros que, sin embargo, no se han constatado en los registros continuos de los *divers*, probablemente por defectos de calibración de los antiguos, que están siendo sometidos a revisión.

Final Report

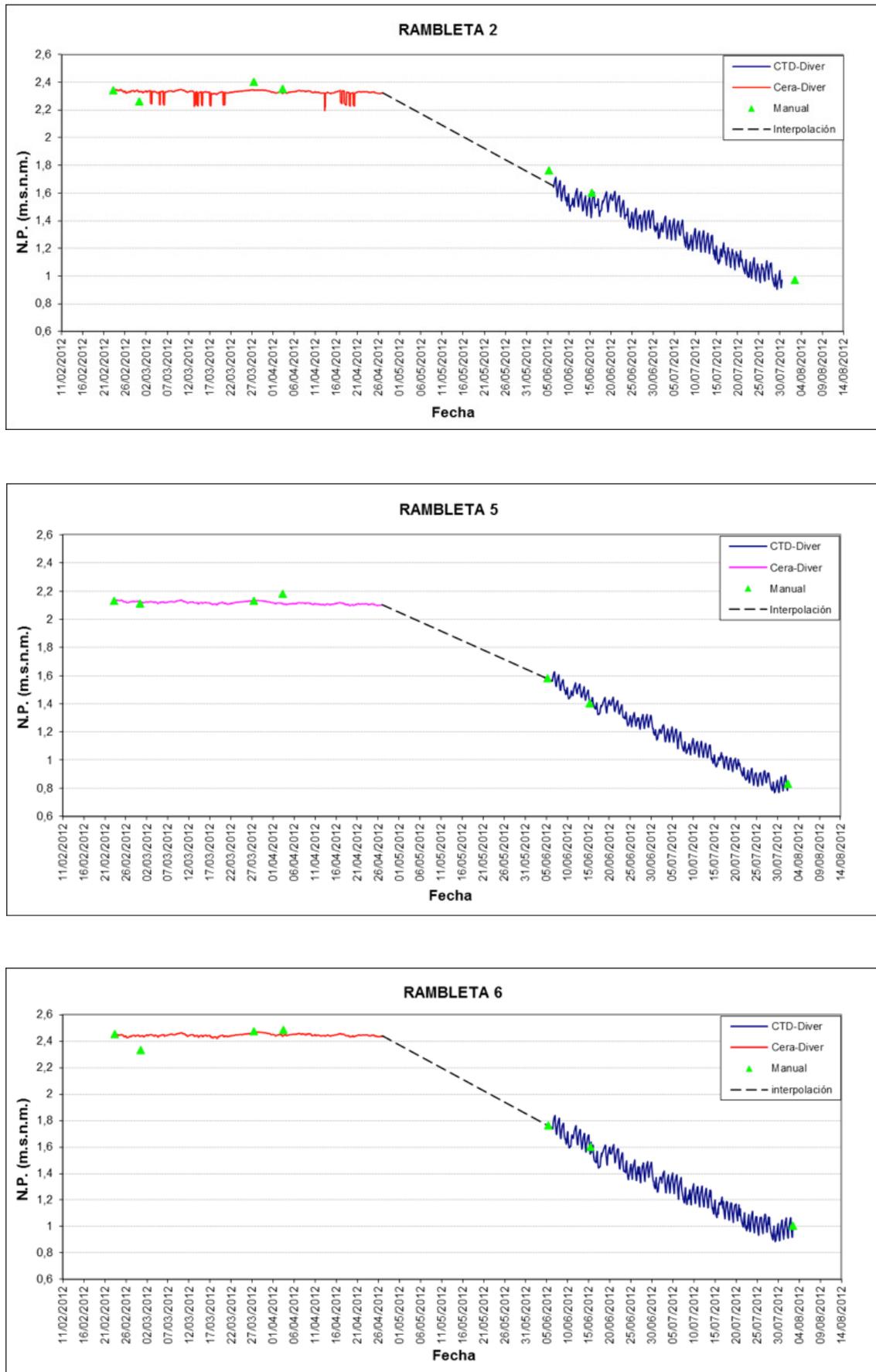


Figura 29. Evolución de los niveles piezométricos (periodo febrero – julio 2012). a) Rambleta 2; b) Rambleta 5; c) Rambleta 6

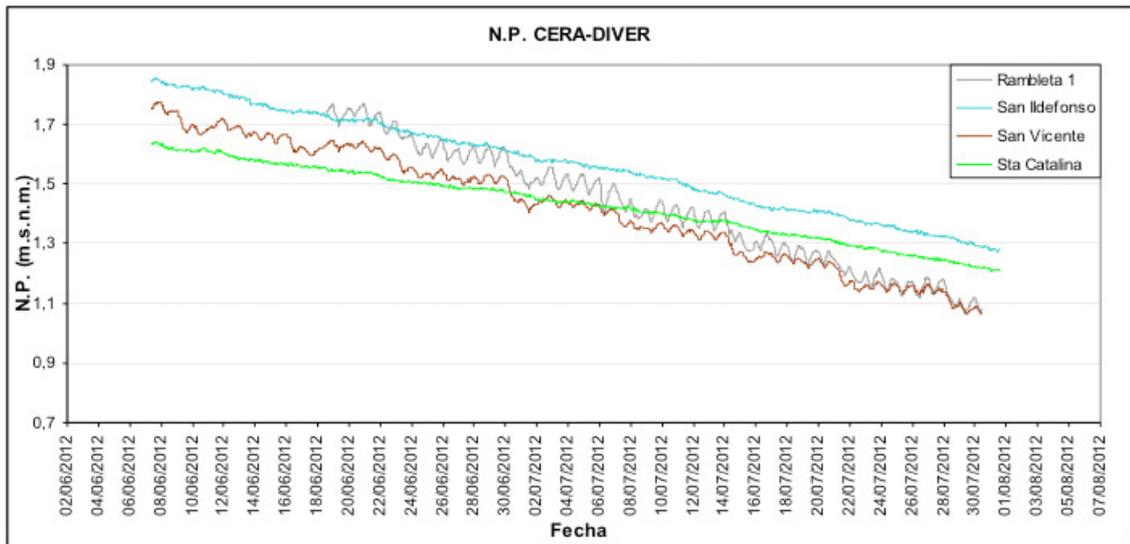
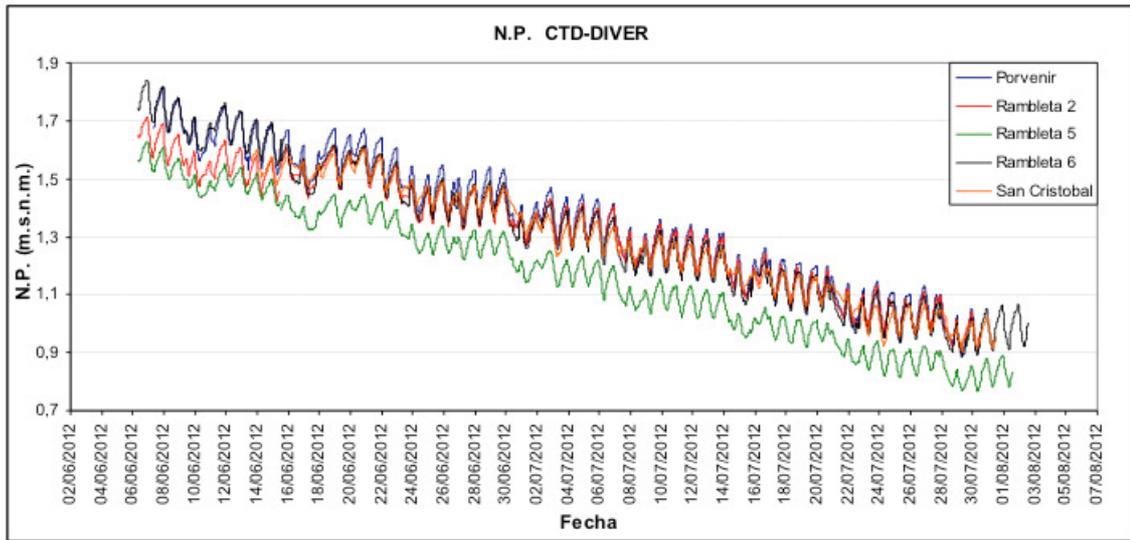
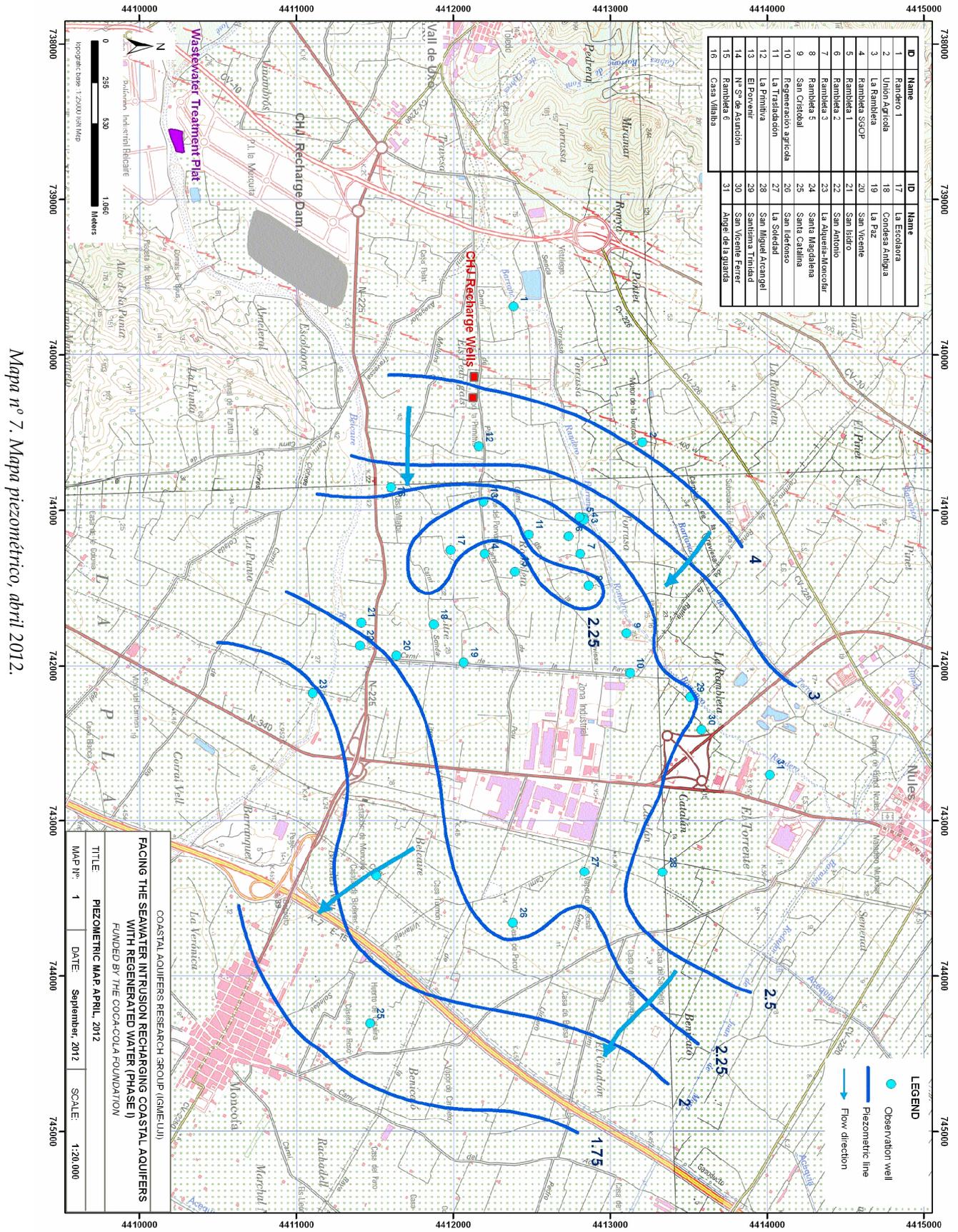


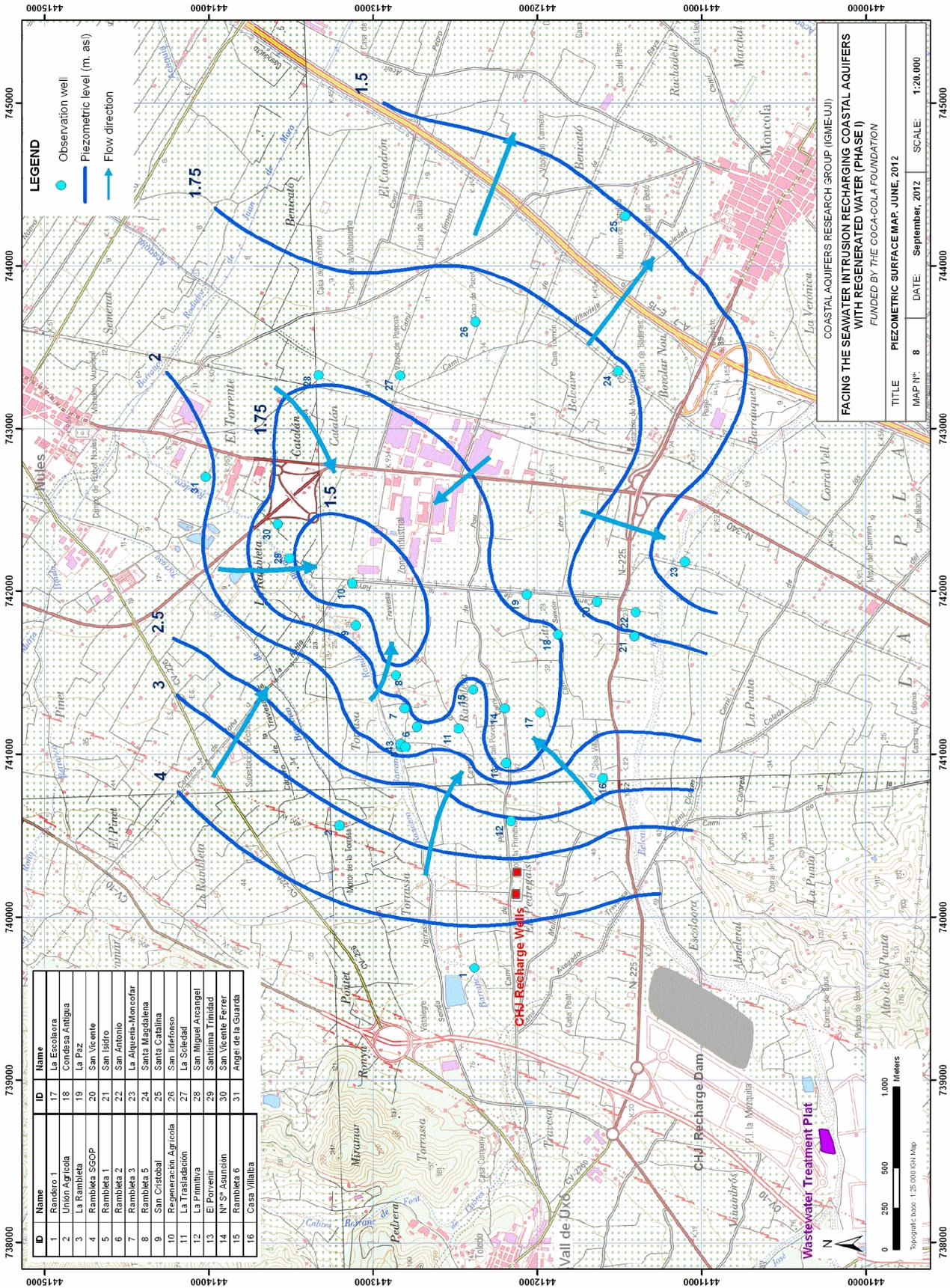
Figura 30. Evolución de los niveles piezométricos en el periodo junio – julio 2012

Final Report



Mapa nº 7. Mapa piezométrico, abril 2012.

Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**



ID	Name	ID	Name
1	Rancho 1	17	La Escalera
2	Unión Agrícola	18	Condessa Antigua
3	La Rambla	19	La Paz
4	Rambla SSCP	20	San Vicente
5	Rambla 1	21	San Antonio
6	Rambla 2	22	San Antonio
7	Rambla 3	23	La Alqueria-Moncofar
8	Rambla 5	24	Santa Magdalena
9	San Cristóbal	25	Santa Catalina
10	Regeneración Agrícola	26	San Isidoro
11	La Traslación	27	La Soledad
12	La Primavera	28	San Miguel Arcángel
13	El Porvenir	29	Santísima Trinidad
14	Nº 5 Asunción	30	San Vicente Ferrer
15	Rambla 6	31	Ángel de la Guardia
16	Casa Villalta		

**LEGEND**

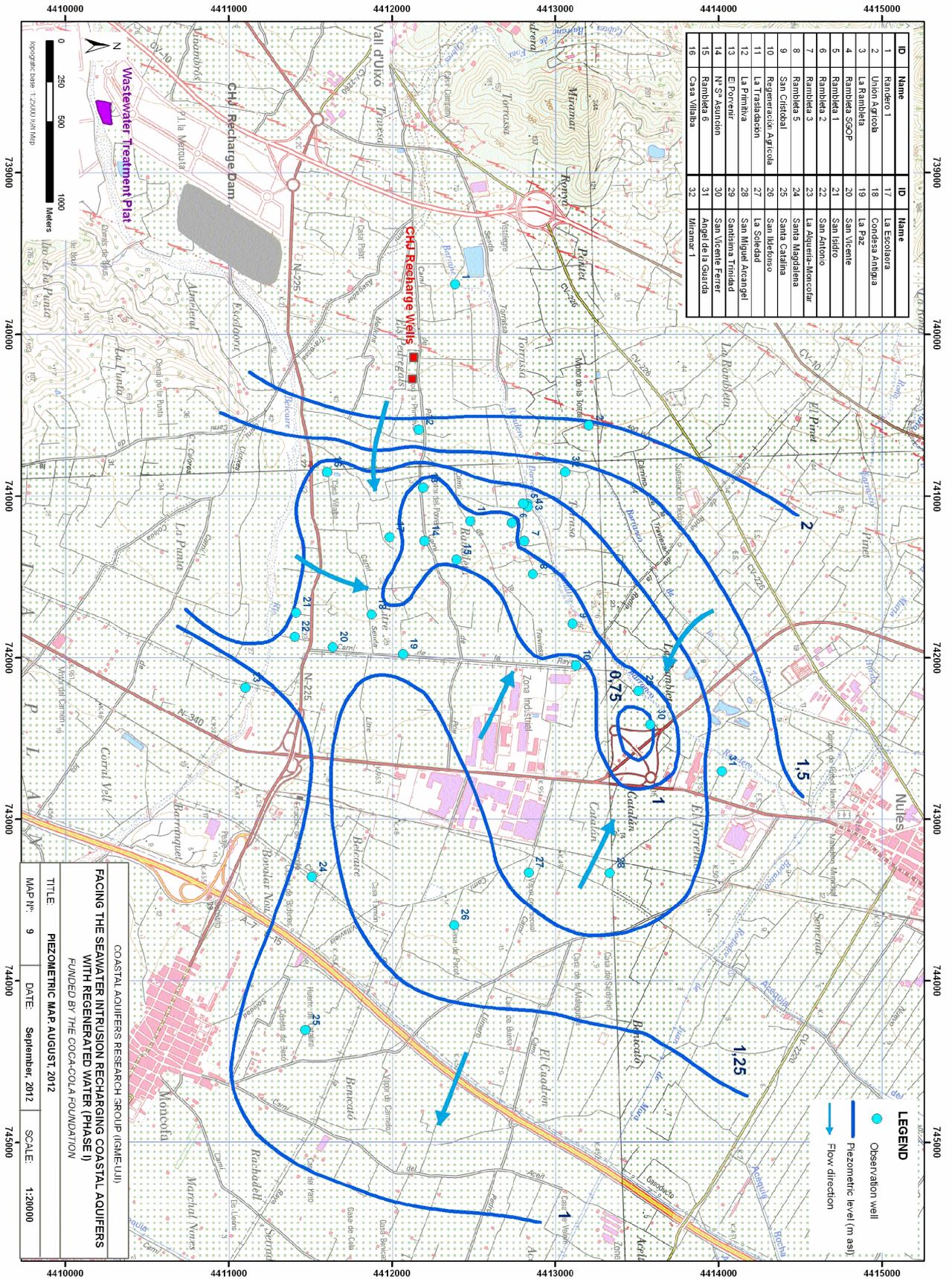
- Observation well
- Piezometric level (m. asl)
- Flow direction

COASTAL AQUIFERS RESEARCH GROUP (IGME/UJI)  
**FACING THE SEAWATER INTRUSION RECHARGING COASTAL AQUIFERS WITH REGENERATED WATER (PHASE I)**  
 FUNDED BY THE COCA-COLA FOUNDATION

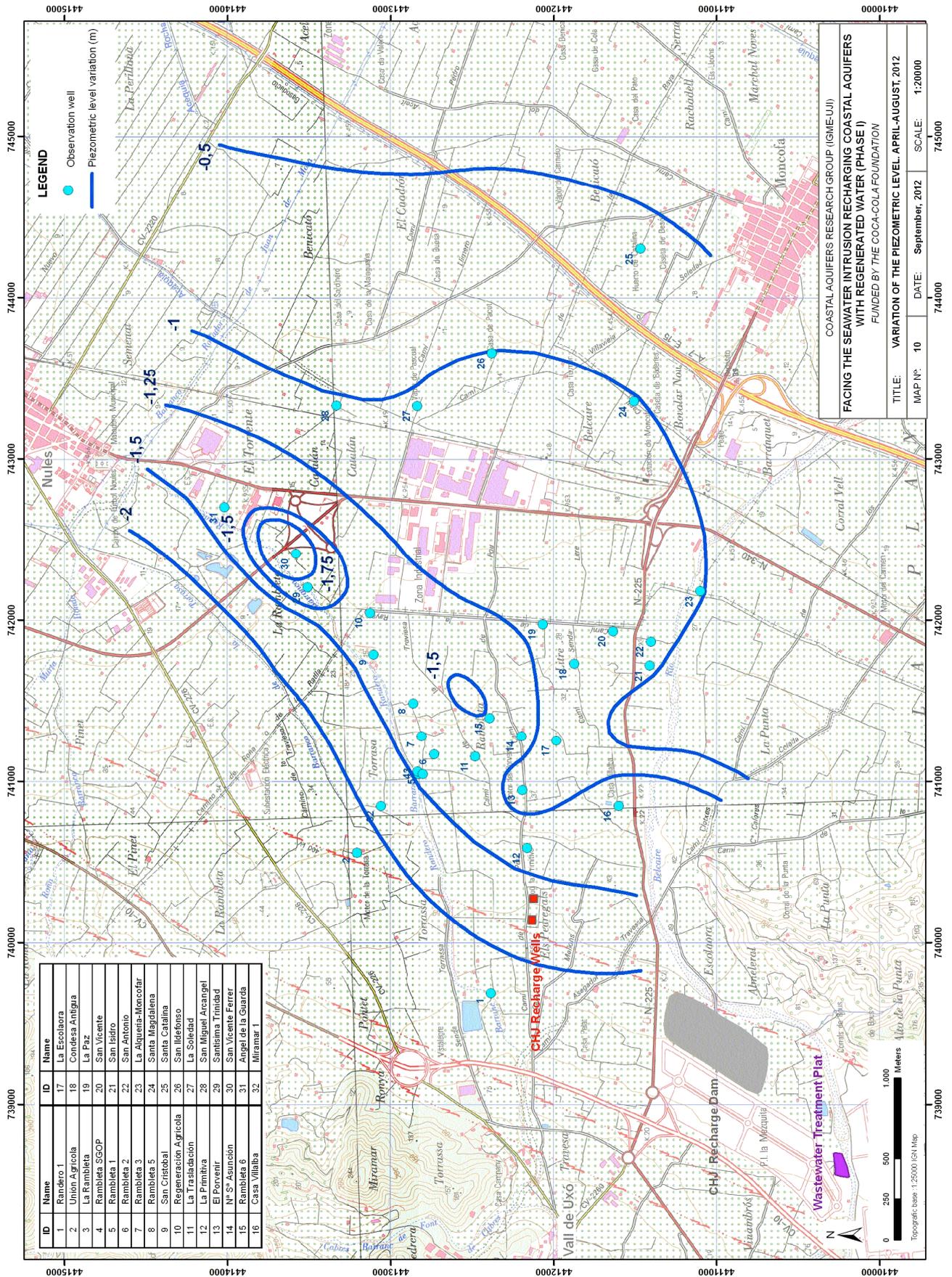
TITLE: PIEZOMETRIC SURFACE MAP, JUNE, 2012  
 MAP Nº: 8  
 DATE: September, 2012  
 SCALE: 1:20,000

Mapa nº 8. Mapa piezométrico, junio 2012

Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**



Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**



Mapa nº 10. Mapa de isovarriaciones piezométricas, abril – agosto 2012



**Capítulo 4**  
**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA**  
**DEL ÁREA PILOTO**



#### 4.1. HIDROQUÍMICA GENERAL DE LA PLANA DE CASTELLÓN

Existe una gran variedad de facies hidroquímicas en el acuífero de la Plana de Castelló, que incluye aguas de tipo bicarbonatadas cálcico-magnésicas, sulfatadas cálcico-magnésicas y cloruradas sódicas, aunque las más frecuentes son de facies sulfatada cálcica o cálcico-magnésicas.

En primera aproximación, se distinguen dos tipos de aguas: cloruradas y sulfatadas. Un estudio en profundidad de estas facies permite distinguir hasta cinco familias con características diferentes entre ellas, dos dentro de las cloruradas y tres en las sulfatadas. A estas familias se las denomina, según su localización, de norte a sur: Benicasim, Norte, Centro, Sur y Almenara (Renau-Llorens, 2010).

La familia Sur corresponde al área delimitada por las poblaciones de Nules, Vall de Uxó y Moncófar y se caracteriza por su elevada salinidad debido esencialmente a la existencia de un severo proceso de intrusión marina que afecta al área desde hace décadas, como consecuencia de la fuerte explotación que ha sufrido el acuífero en ese sector. El agua subterránea es clorurada, con concentraciones de cloruros comprendidas entre 200 y 750 mg/L, cuyo origen principal está relacionado con la mezcla de agua dulce y agua de mar, pero también es sulfatada, con concentraciones de sulfatos comprendidas entre 250 y 700 mg/L, muy superiores a las que cabría esperar si sólo se tratase de aportes asociados al agua de mar. Las concentraciones de magnesio son también muy elevadas (100–230 mg/L)

Otro rasgo hidroquímico notable de las aguas de este sector es la presencia de nitratos (190–520 mg/L) derivada de la intensa actividad agrícola desarrollada.

Finalmente, es necesario destacar la presencia de concentraciones notables de mercurio y arsénico, en algunos casos superiores a los límites establecidos para las aguas de consumo humano.

#### 4.2. CAMPAÑAS DE MUESTREO

Se han realizado tres campañas de muestreo, en abril (días 2 al 5), junio (días 5 al 7) y agosto (del 30 de julio al 2 de agosto) en los 32 pozos que conforman la red de control de calidad establecida.

La toma de muestras se realiza con un hidrocaptor de apertura controlada a 5 metros por debajo del nivel de agua. In situ se determinan los siguientes parámetros: conductividad eléctrica (CE), pH, temperatura y Eh.

En todas las campañas se toma una muestra, en botella de polietileno de 50 mL, para el análisis de la concentración del ión cloruro. Con periodicidad semestral, meses de abril y octubre, se realizan analíticas más completas, que incluyen el resto de iones mayoritarios, compuestos minoritarios (bromuros, estroncio, litio, flúor, boro, arsénico y sílice), sustancias prioritarias y contaminantes emergentes. Para ello se toman en cada pozo una botella polietileno de 100 mL para la determinación de iones mayoritarios, que se realizan en los laboratorios del Instituto Geológico y Minero, otra botella de polietileno de 50 mL para determinar los iones minoritarios y trazas y otra botella de topacio con tapón de teflón para el análisis de mercurio, a la que se añaden 2 mL de HNO<sub>3</sub> al 50%. Tanto los iones minoritarios y trazas como el mercurio se determinan en los laboratorios de los Servicios Centrales de Instrumentación Científica de la Universitat Jaume I.

Las muestras para la determinación de sustancias prioritarias y compuestos emergentes se toman en botellas de topacio de 500 mL con tapón de teflón. Las sustancias prioritarias se analizan en los laboratorios de la empresa IPROMA S.A., de Castellón, y los compuestos emergentes en el Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas, de la Universitat Jaume I.

El control de calidad del agua subterránea se completa con la realización de registros verticales de conductividad eléctrica y temperatura mediante una sonda AQUATROLL 200 y la instalación de *divers* en algunos pozos para determinar estos mismos parámetros.

En el anexo 3 se recogen los resultados obtenidos en los análisis de las diversas campañas.

#### 4.3. ESTUDIO DE LA SALINIDAD EN EL ÁREA PILOTO

En el área de la Rambleta se diferencian claramente dos familias de aguas, una de tipo clorurada cálcica y otra sulfatada cálcica o cálcica magnésica (figura 31). Giménez (1994) relacionó la coexistencia de estas dos familias con un doble origen de la salinidad: las aguas cloruradas corresponden a la mezcla de agua dulce y agua de mar, como consecuencia de la intrusión marina provocada por la sobreexplotación, y las aguas sulfatadas se deben a la descarga en el acuífero de flujos regionales procedentes de los acuíferos de borde.

La relación  $SO_4/Cl$  en el agua de mar es del orden de 0,11. En el área de estudio este índice está comprendido entre 0,5 y 2,7 (mapa nº 11), lo que significa que, independientemente de la afección debida a la intrusión marina, el agua del acuífero está claramente enriquecida en sulfatos. En el área de la Rambleta, donde se concentran la mayor parte de los bombeos, se registran los valores más bajos del índice, inferiores a 1, mientras que hacia el este, con bombeos mucho más reducidos, los valores son más elevados, hasta superar el valor de 2,5.

Las concentraciones de sulfatos aumentan desde el interior hacia la costa (mapa nº 12), con valores mínimos en el área de la Rambleta (300–500 mg/L) y máximos al este de la CN-340 (500–650 mg/L), lo que podría asociarse a un proceso de enriquecimiento de sulfatos a lo largo del flujo; probablemente, la aplicación de fertilizantes pueda ser una de las causas de la elevada presencia de sulfatos, ya que el bisulfato amónico ha sido abundantemente utilizado en las últimas décadas. La distribución del ión nitrato (mapa nº 13), con valores comprendidos entre 200 y 500 mg/L, corrobora la fuerte afección de la actividad agrícola en este sector del acuífero, pero el patrón de distribución espacial no coincide en absoluto con el del ion sulfato sino más bien al contrario ya que los valores más bajos de nitratos coinciden espacialmente con los más elevados de sulfatos, entre la CN-340 y la autopista A-7.

También en este último sector se encuentran las máximas concentraciones de estroncio (mapa nº 14), entre 1 y 3 mg/L, lo que está de acuerdo con la sugerencia de Giménez (1994) sobre el origen común del sulfato y del estroncio relacionados con la descarga lateral de flujos regionales procedentes de los acuíferos triásicos de borde.

En resumen, el agua subterránea del sector del acuífero estudiado es de tipo sulfatado y está afectada por un proceso de intrusión marina que se manifiesta de manera más notable en el área de la Rambleta.



cercana a la autopista AP-7, lo que configura una geometría en la que las aguas de mayor CE se concentran en el área de la Rambleta y están rodeadas por aguas menos salinas. A partir de la autopista, la CE vuelve a aumentar hacia la costa. Esta peculiar distribución de la salinidad está relacionada con el comportamiento hidrodinámico del frente salino que ha avanzado hacia el interior del acuífero. Conviene tener en cuenta que en el área de trabajo se superponen dos procesos de salinización, como ya se ha comentado, y que la CE del agua viene fuertemente determinada por el contenido en cloruros pero también por los sulfatos, que la afectan considerablemente. Por consiguiente, si el objetivo es evaluar la afección de la mezcla con agua de mar en el seno del acuífero es preferible utilizar los cloruros como trazadores de proceso.

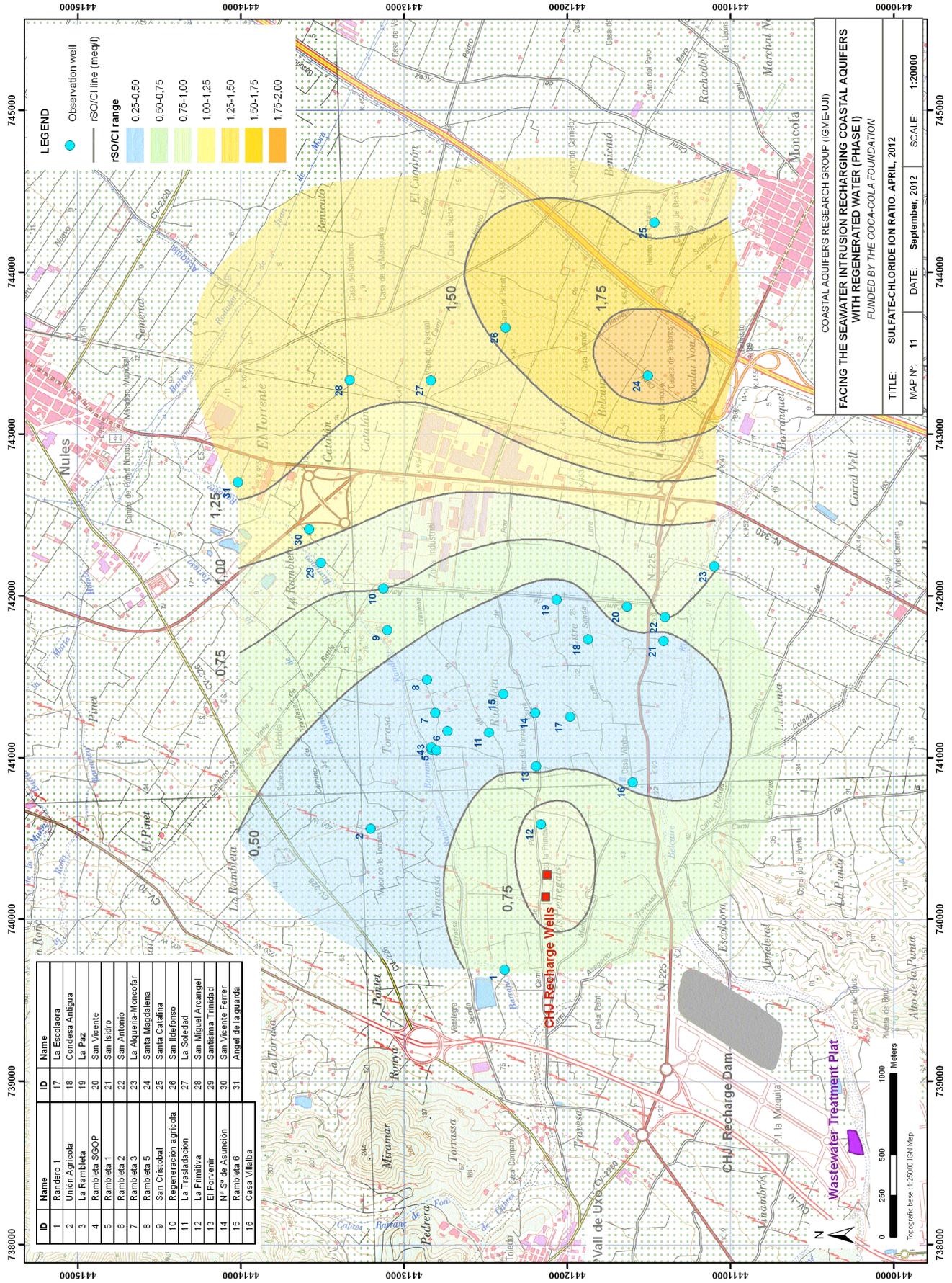
Los mapas nº 18, 19 y 20 muestran la distribución de los cloruros en abril, junio y agosto de 2012, respectivamente. En primera aproximación, se puede aceptar que existe notable similitud en la geometría de las isolíneas en las tres fechas consideradas aunque se aprecian algunas modificaciones en los valores que serán estudiadas con más detalle cuando se disponga de series de valores de un periodo más prolongado. Baste constatar que, en general, las concentraciones de cloruros han aumentado desde abril a agosto, como consecuencia de los bombeos intensivos del verano, que se iniciaron a principios de junio.

El rasgo más significativo de los mapas de isocloruros es que no se cumple el patrón habitual de los acuíferos afectados por intrusión marina según el cual la salinidad disminuye desde la costa hacia el interior, lo que se traduce en una progresiva reducción de la concentración de cloruros. En este caso, por el contrario, los valores más elevados de cloruros se encuentran en el sector de la Rambleta, donde se llegan a superar los 800 mg/L, coincidiendo con el área de mayor densidad de captaciones. Aproximadamente a partir de la traza de la CN-340 la concentración de cloruros disminuye hasta valores incluso inferiores a 200 mg/L en las cercanías de la autopista A-7, pero a la altura de la población de Moncófar vuelve a aumentar progresivamente.

Esta peculiar distribución de la concentración de cloruros responde bien a un modelo hidrogeoquímico en el que el avance del frente salino no tiene lugar exclusivamente mediante desplazamiento lateral sino que la explotación intensiva localizada da lugar a un proceso de ascenso vertical de un domo salino (*upconing*). Realmente, en el área de la Rambleta se concentran varias decenas de pozos en una superficie de apenas 2 km<sup>2</sup>, con separación entre pozos del orden de 100 a 200 metros y caudales unitarios del orden 50 litros/segundo. Durante años, estos pozos han bombeado de manera ininterrumpida provocando que la superficie piezométrica se situara varios metros bajo el nivel del mar lo que ocasionó la rápida salinización del sector, hasta tal punto que desde hace aproximadamente diez años algunos de los pozos tuvieron que ser clausurados y en otros se redujo apreciablemente el caudal de explotación. En la actualidad, el régimen de explotación en el área es sensiblemente menor ya que, además del abandono progresivo de tierras de cultivo, la modernización de los sistemas de riego y el aprovechamiento de aguas residuales depuradas han reducido considerablemente la dependencia de las aguas subterráneas. Paralelamente, el cierre de los pozos para el suministro urbano ha contribuido a la reducción de la explotación.

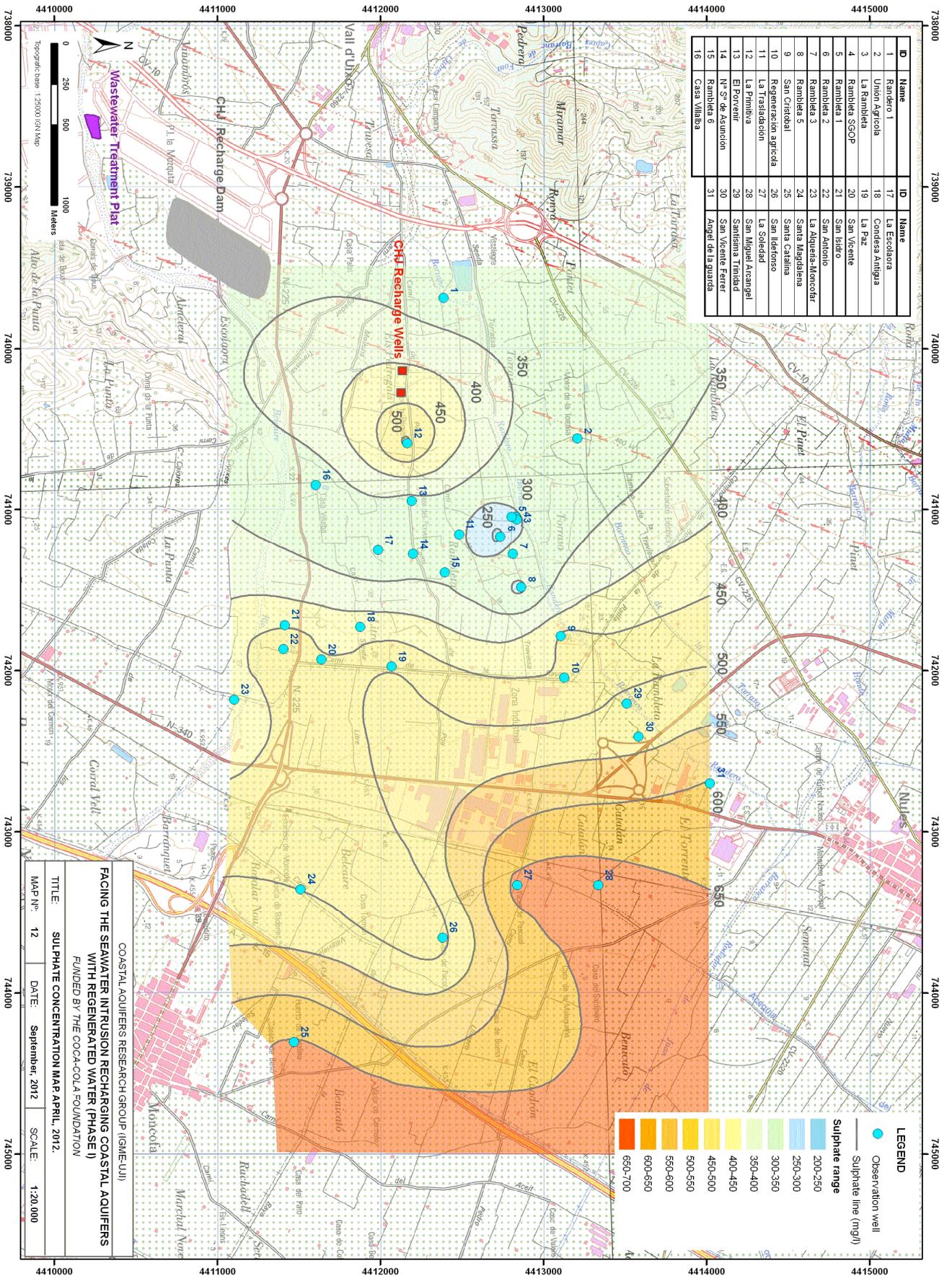
En la tabla 11 y figura 32 se indican los valores conocidos de los bombeos (en hm<sup>3</sup>/año) para uso agrícola desde el año 2005 hasta el año 2010 en el área de la Rambleta y en todo el término de Vall de Uxó.

Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**



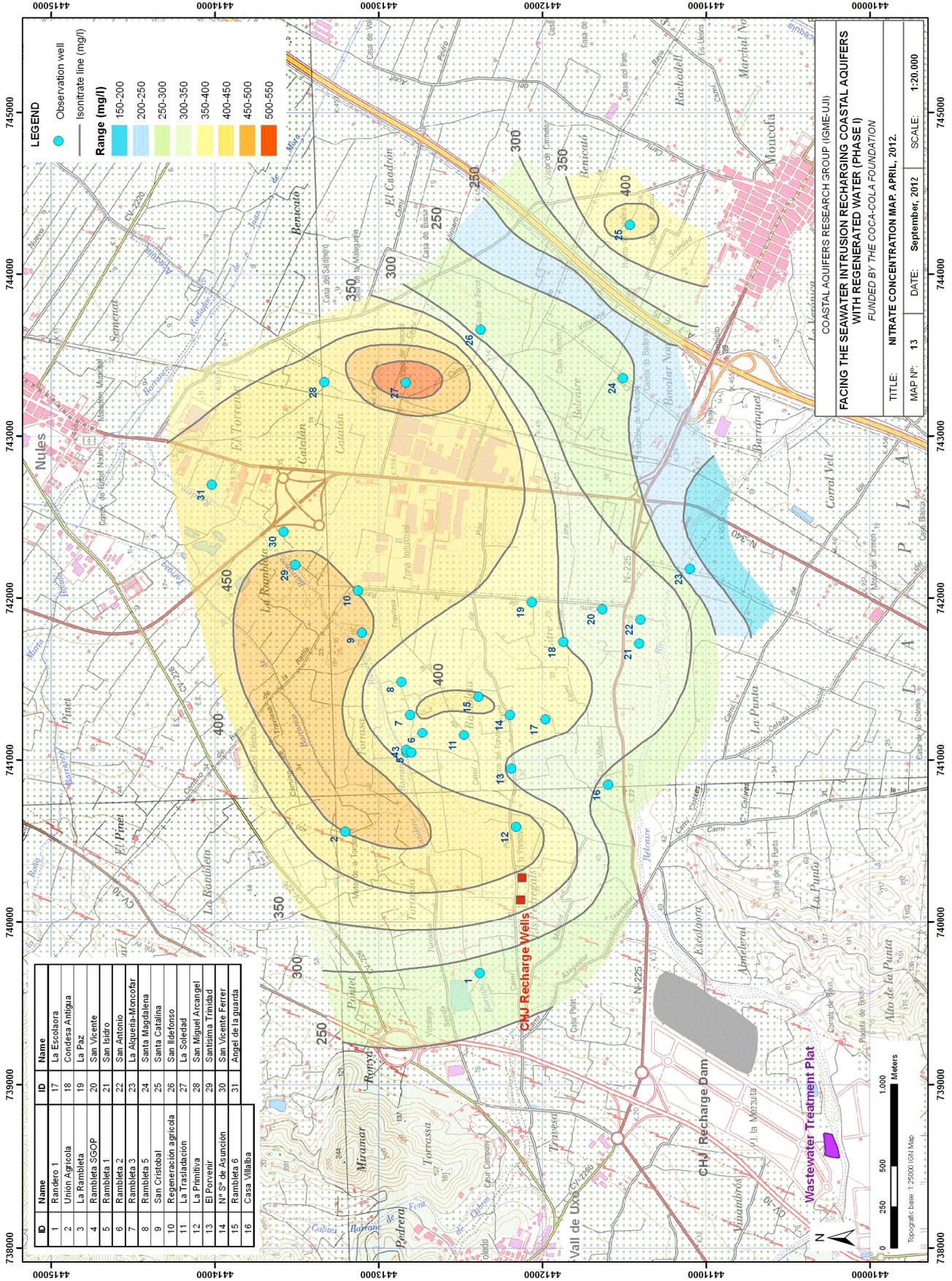
Mapa nº 11. Relación SO<sub>4</sub>/Cl, abril 2012

Final Report



Mapa nº 12. Mapa de isocontentidos en sulfatos. abril 2012

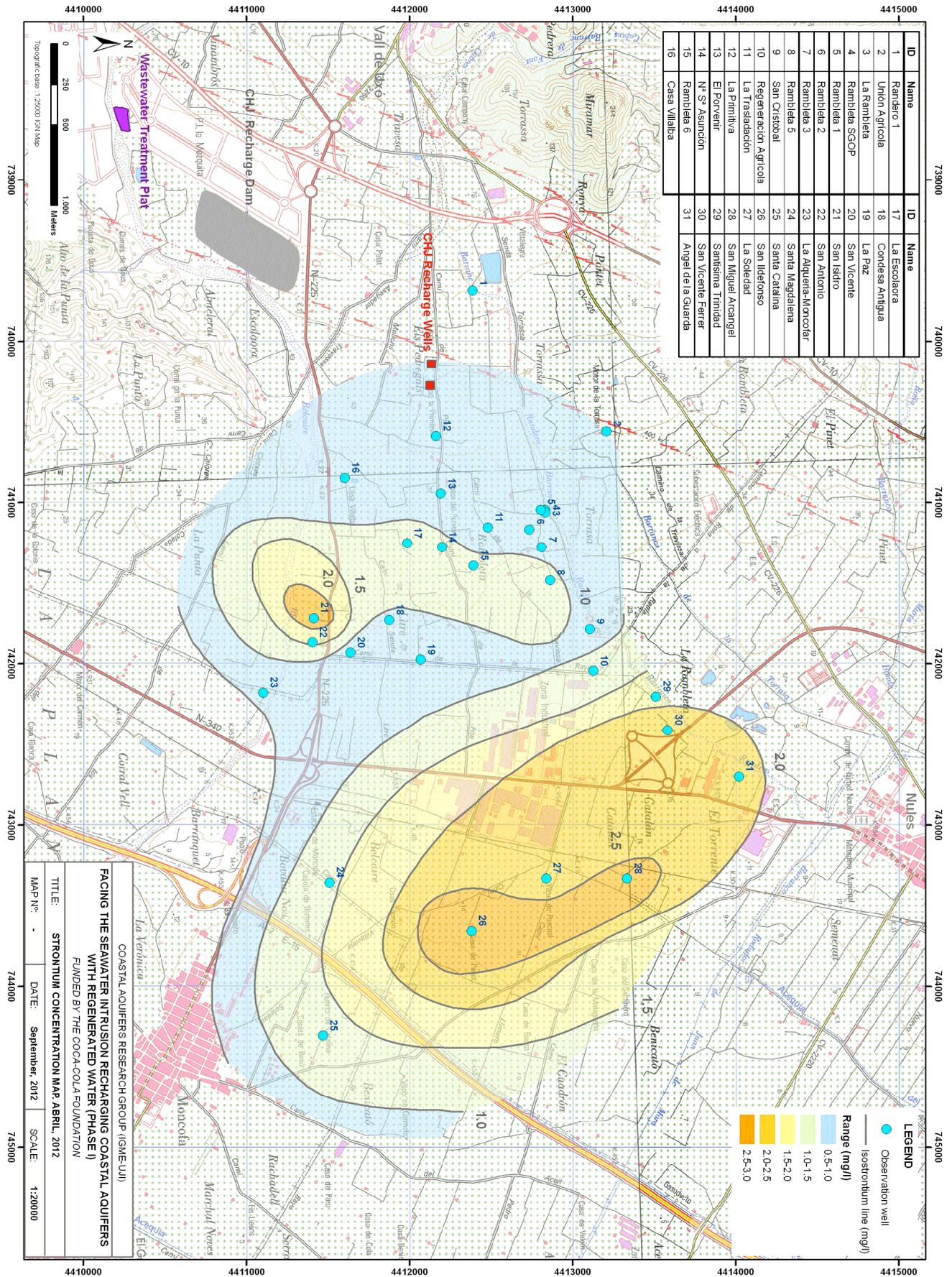
Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**



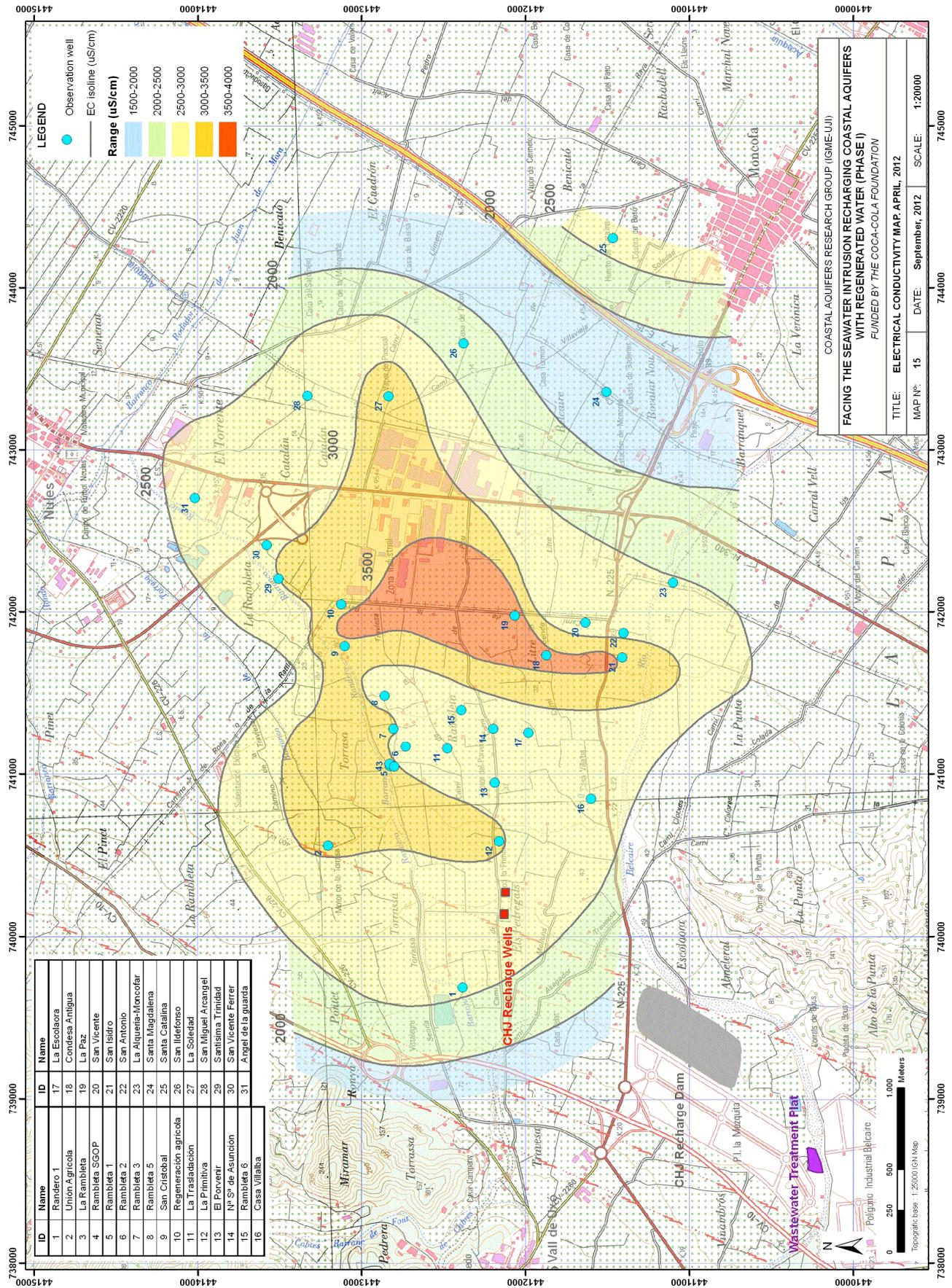
Mapa nº 13. Mapa de isocontenidos en nitratos, abril 2012

Final Report

Mapa nº 14. Mapa de isocóntenos en estroncio, abril 2012

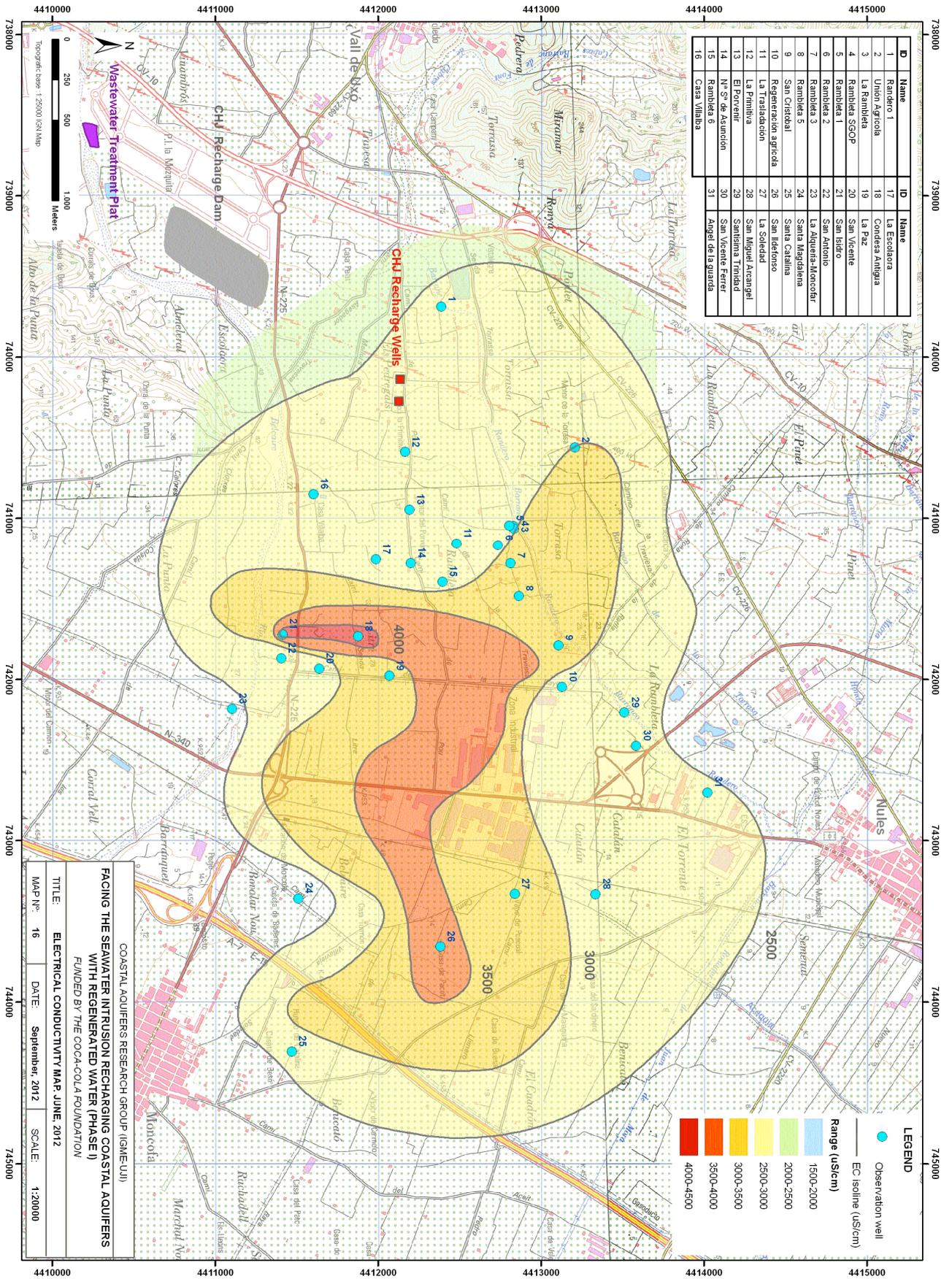


Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**



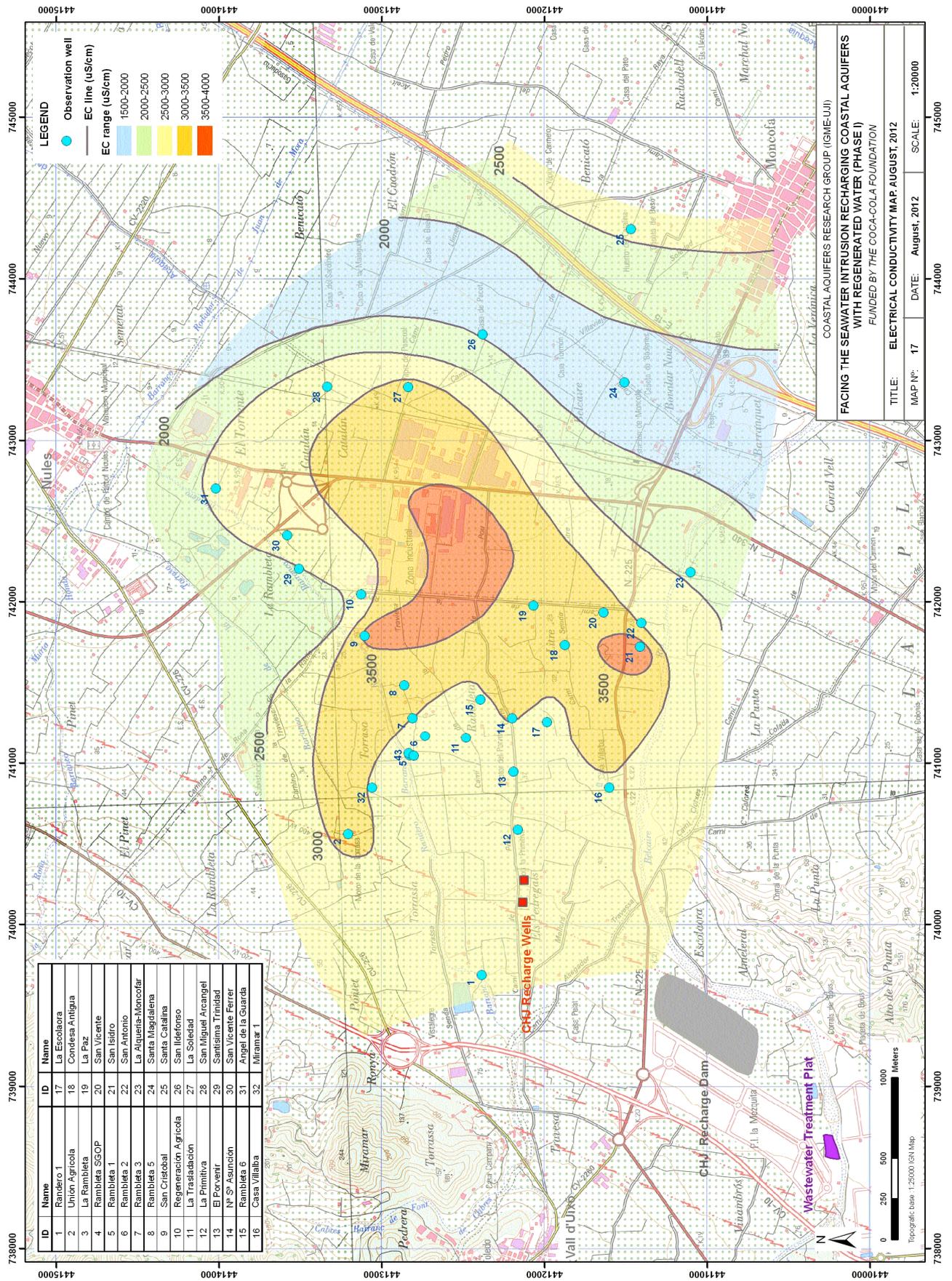
Mapa nº 15. Mapa de isoconductividad eléctrica, abril 2012

Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**



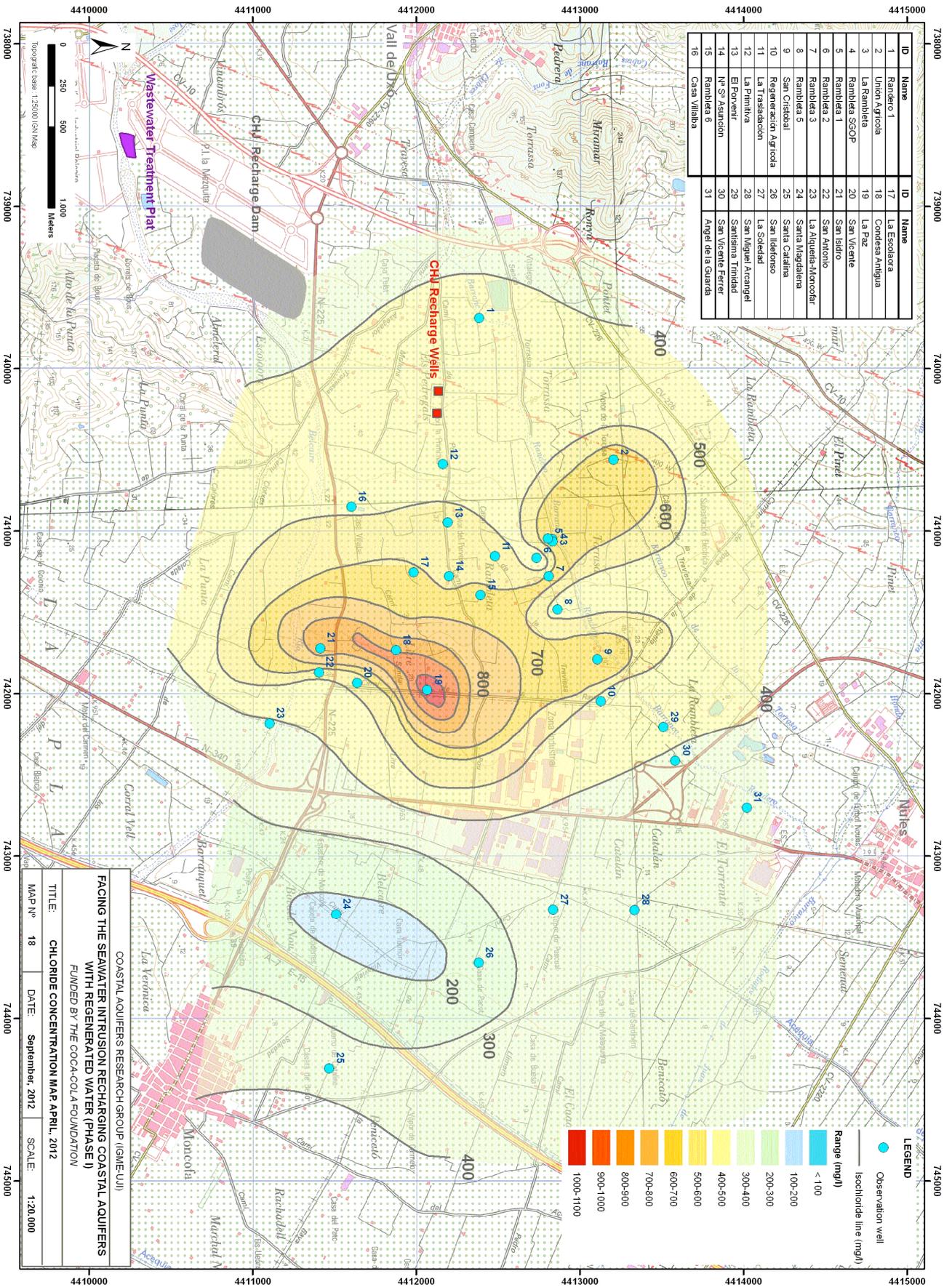
Mapa 16. Mapa de isoconductividad eléctrica, junio 2012

Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**



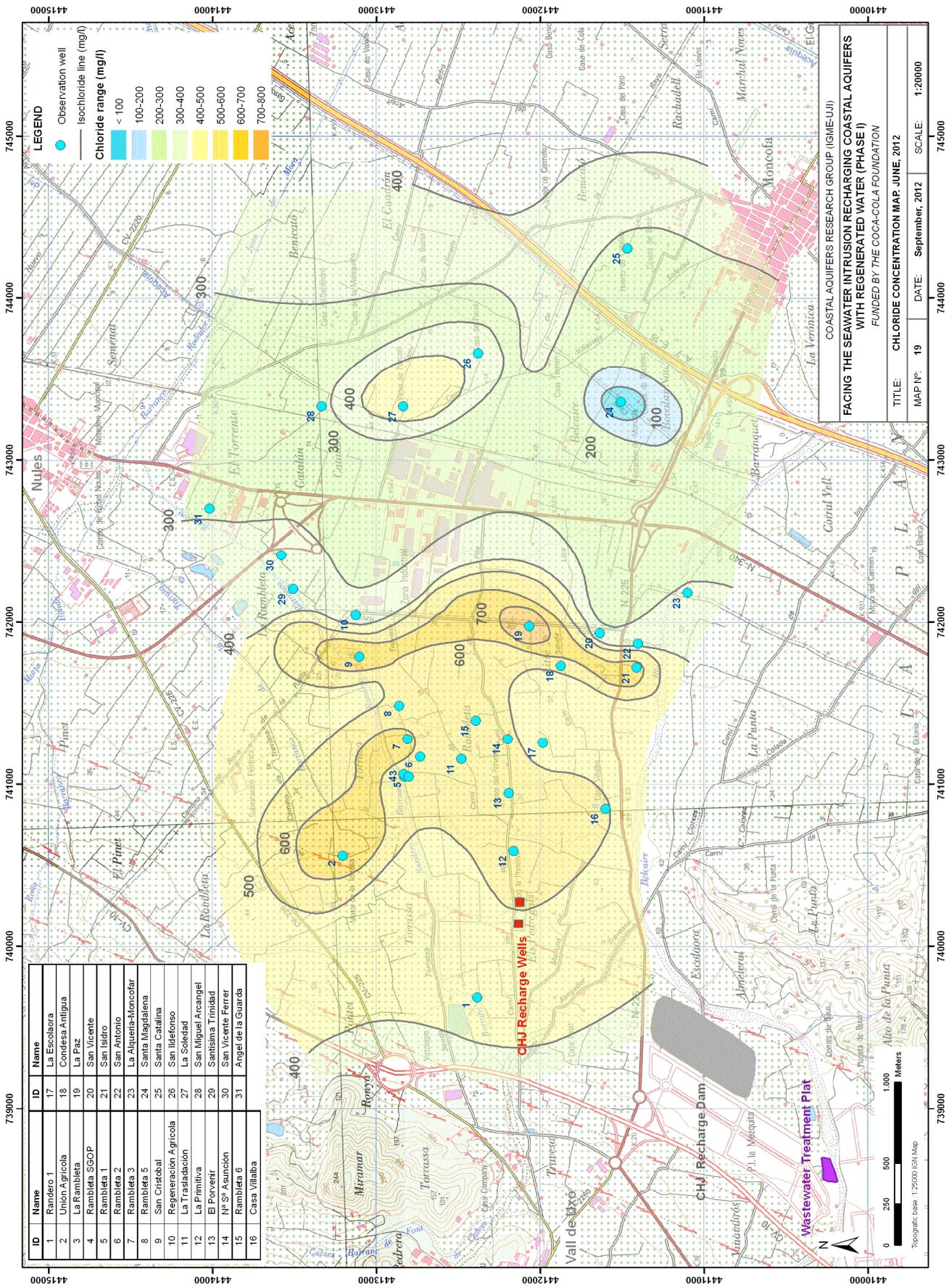
Mapa nº 17. Mapa de isoconductividad eléctrica, agosto 2012

Final Report



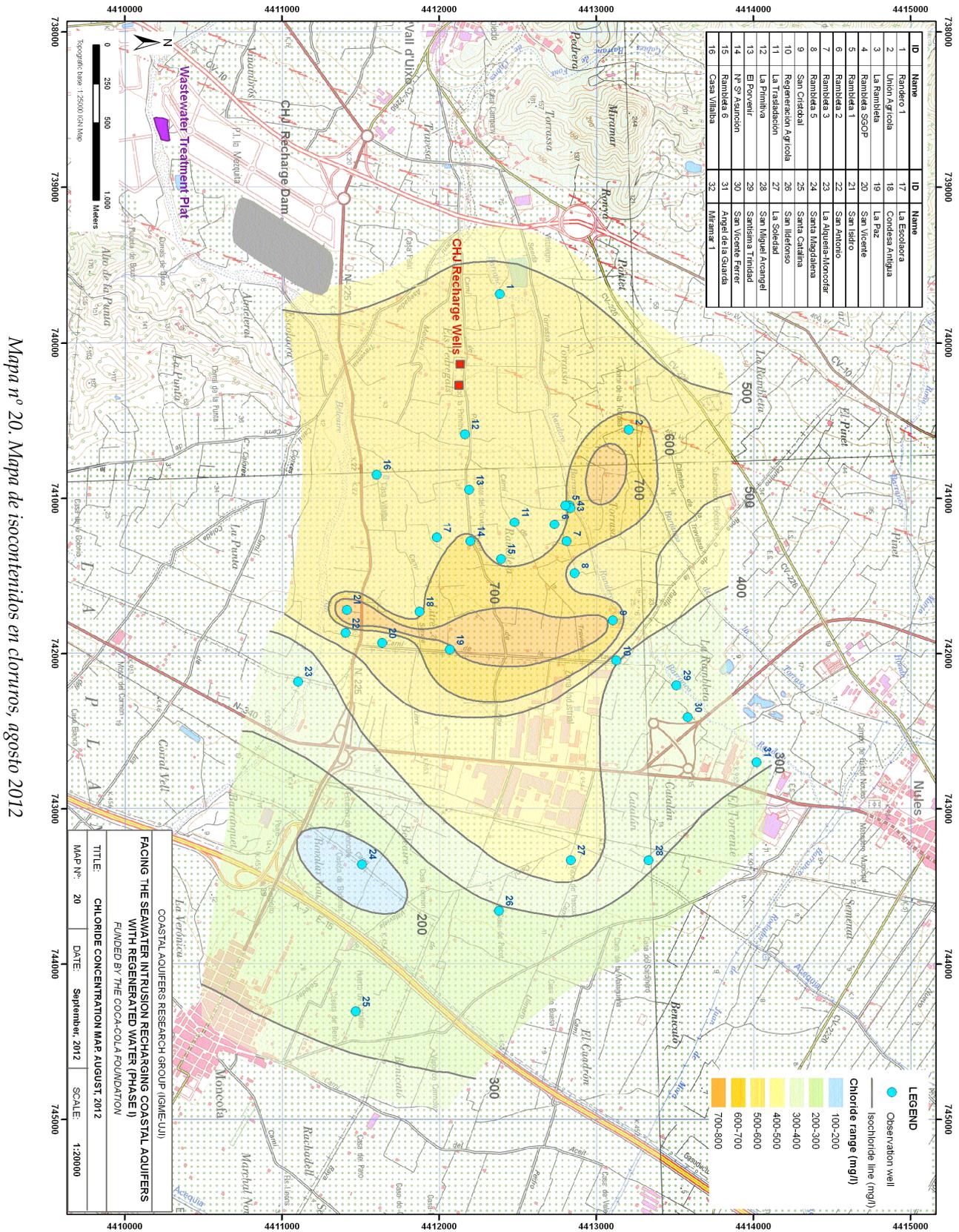
Mapa nº 18. Mapa de isocloridos en cloruros, abril 2012

Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**



Mapa nº 19. Mapa de isocontenidos en cloruros, junio 2012

Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**



Mapa n° 20. Mapa de isoconcentrados en cloruros, agosto 2012

Tabla 11. Evolución de los bombeos en el periodo 2005-2010

Año	Rambleta	Vall de Uxó	Total
2005	4,35	7,04	11,39
2006	3,71	6,86	10,57
2007	2,87	5,69	8,56
2008	2,57	5,96	8,53
2009	2,20	5,61	7,81
2010	2,19	5,60	7,79

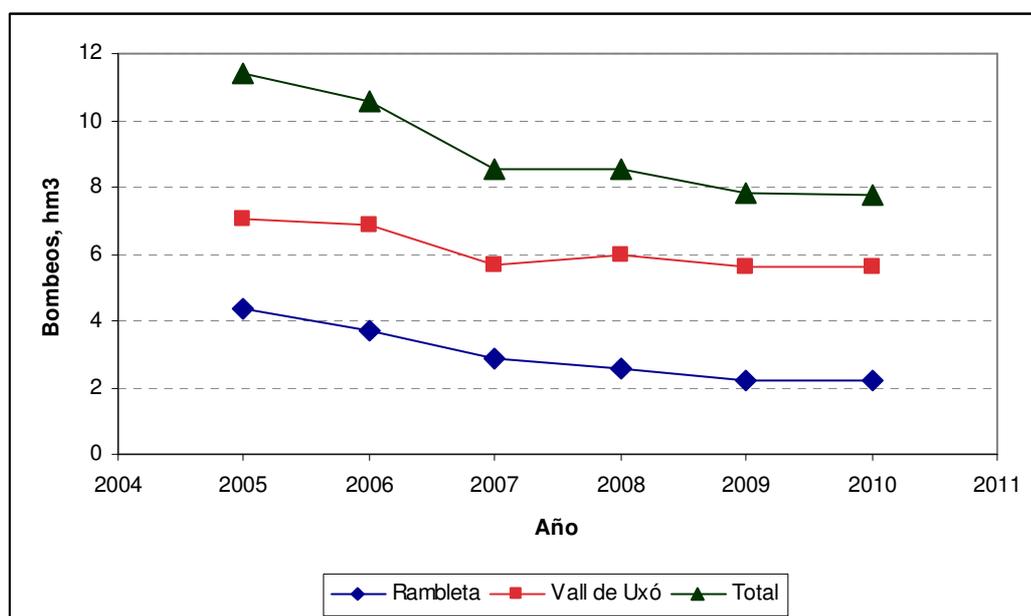


Figura 32. Evolución de los bombeos en el área piloto

No existen datos fiables de volúmenes de bombeo en los años precedentes, y mucho menos de la evolución sufrida por los mismos. En primera aproximación, si se considera que la superficie de riegos se ha reducido en un 15% debido a la presión urbana e industrial, así como a la construcción de infraestructuras y al abandono de tierras de cultivo, que la dosis unitaria de riego se ha reducido de 8500 a 5300 m<sup>3</sup>/ha/año, a consecuencia de la modernización de los regadíos, y que casi todos los bombeos se concentraban en el acuífero pliocuaternario, se puede aceptar que los bombeos en el área de la Rambleta en los años 80 y 90 del siglo pasado eran del orden de 21 hm<sup>3</sup>/año. A esta cifra se puede añadir que los destinados a consumo humano también se concentraban en el área de la Rambleta, por lo que la cifra se puede acercar a 24 hm<sup>3</sup>/año.

Esa situación de clara sobreexplotación se tradujo en un fuerte descenso del nivel piezométrico y en la rápida salinización del sector. Como se indica en el capítulo anterior, en todos los pozos del sector en los que se tiene registros piezométricos históricos los niveles estuvieron por debajo del nivel del mar entre los años 1972 y 1989, con valores que alcanzaron más 10 metros m b.n.m en los pozos San Vicente

Ferrer (n° 30) y San Ildefonso ( n° 26) y 5 m b.n.m en La Primitiva (n° 12) y Santa Catalina (n° 25), ninguno de ellos situado en el sector más explotado de la Rambleta; en este sector sólo se tiene constancia de la evolución piezométrica en el pozo Rambleta 3 (n° 7), donde los niveles se mantuvieron bajo el nivel del mar hasta 1990.

Con estas condiciones hidrodinámicas forzadas se produjo una continuada inversión del sentido del flujo, lo que provocó el avance tierra adentro del frente salino que alcanzó su máxima expresión en la década de los ochenta así como la formación de un domo salino en el área de la Rambleta, donde se concentraban las extracciones.

La intensidad de la salinización puede ser medida en función de la concentración de cloruros en el agua subterránea, de manera que sus variaciones pueden indicar la existencia de distintas etapas evolutivas.

La figura 33 muestra la evolución de los cloruros desde 1972 hasta la actualidad en los pozos n° 24 (Santa Magdalena) y 25 (Santa Catalina), situados al este de la carretera nacional N-340, en el sector donde la intrusión marina tiene lugar por avance lateral del frente salino.

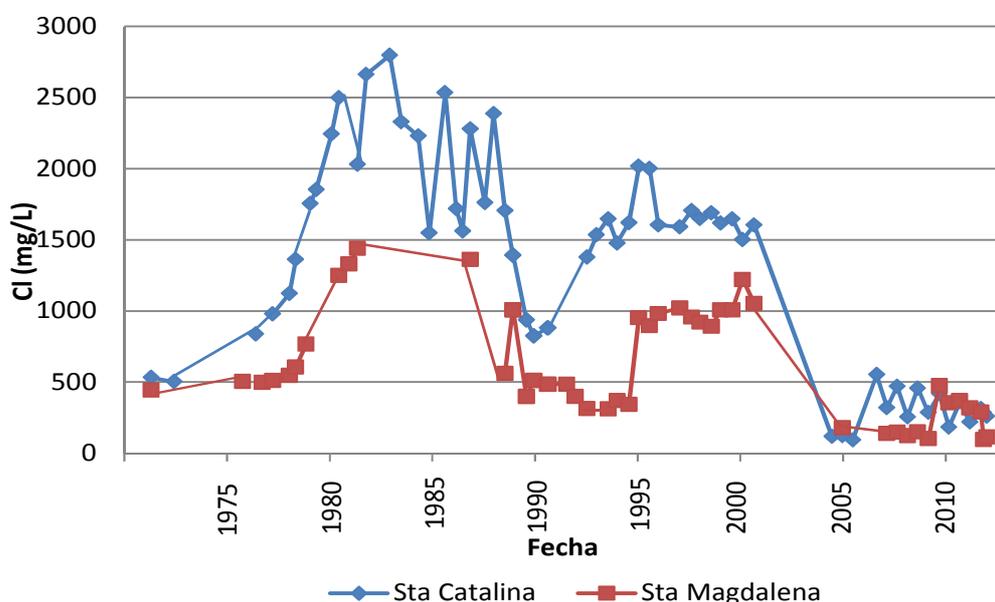


Figura 33. Evolución histórica del contenido en cloruros en los pozos Santa Catalina y Santa Magdalena

A grandes rasgos se pueden diferenciar cuatro etapas: la primera, de 1972 a 1984, en la que se produce un constante incremento de la salinidad hasta alcanzar valores de cloruros incluso superiores a 2500 mg/L (pozo Santa Catalina), se corresponde con un largo periodo de fuertes extracciones y lluvias escasas. El inicio del incremento de la salinidad corresponde con la fuerte sequía de los años 1978 y 1979. A partir de 1984 y hasta 1991 sucede un periodo húmedo (especialmente el año 1989) en el que el nivel de salinización desciende considerablemente. Posteriormente, y hasta 2001, otro periodo seco vuelve a elevar la salinidad, aunque esta vez de manera más sostenida debido a que coincide el tramo final de este periodo con el proceso de reconversión de los sistemas de riego y, por tanto, con la reducción paulatina de los bombeos. A partir de 2001, si bien las lluvias no son especialmente intensas, los niveles de salinidad descienden bruscamente como consecuencia de la implantación generalizada del riego a goteo, del abandono de todas las captaciones en ese sector (incluidos estos dos pozos)

y la reducción de los bombeos en todo el acuífero. La concentración de cloruros se mantiene por debajo de 500 mg/L, más de cinco veces inferior a la existente veinte años antes, poniendo de manifiesto que el frente salino ha retrocedido.

La evolución de los cloruros en los pozos nº 2 (Unión Agrícola) y 16 (Villalba) se muestra en la figura 34. Estos dos puntos se encuentran en el borde oeste del sector afectado por el proceso de *upconing*.

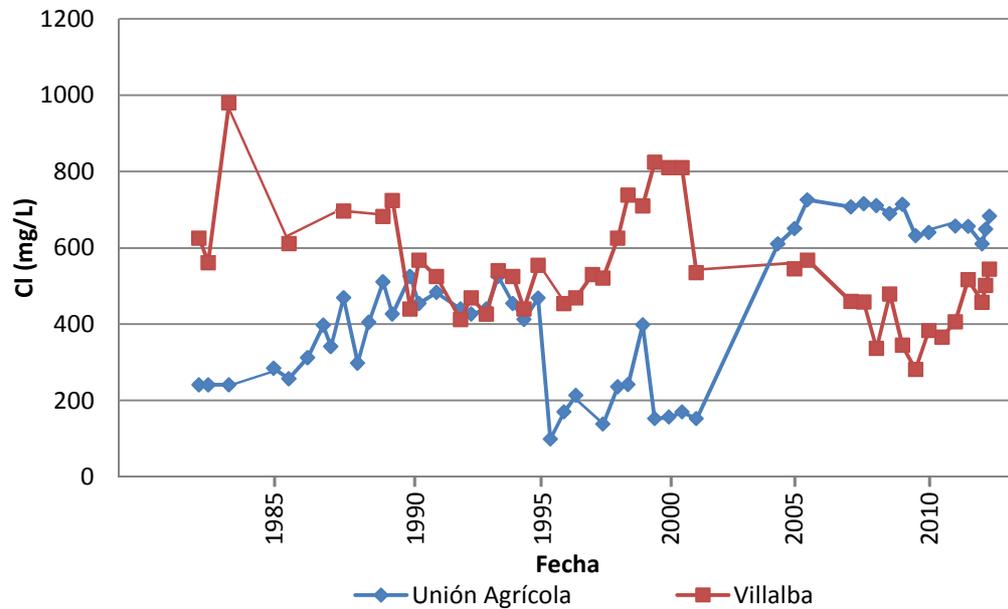


Figura 34. Evolución histórica de los cloruros en los pozos Unión Agrícola y Villalba

La evolución de los cloruros en el pozo Villalba coincide a grandes rasgos con la descrita anteriormente pero en el pozo Unión Agrícola, que sigue funcionando en la actualidad, el comportamiento es muy diferente. Aunque no existen datos anteriores, parece que la salinización a este punto no llegó hasta la década de los ochenta, y progresó lentamente incluso en periodos de relativa humedad. En la última década está alcanzando las concentraciones más elevadas, si bien es cierto que da lugar a una situación local que determina un máximo de cloruros en el sector.

La situación actual es que no existen depresiones piezométricas por debajo del nivel del mar en la Rambleta y que los máximos de salinidad parecen haberse desplazado hacia el mar, por lo que no coinciden exactamente con la vertical del área de máxima concentración de captaciones. Tentativamente, se puede asumir que este desplazamiento se debe al efecto del flujo de agua dulce que “empuja” el domo salino hacia el mar, según se representa en la figura 35.

Final Report

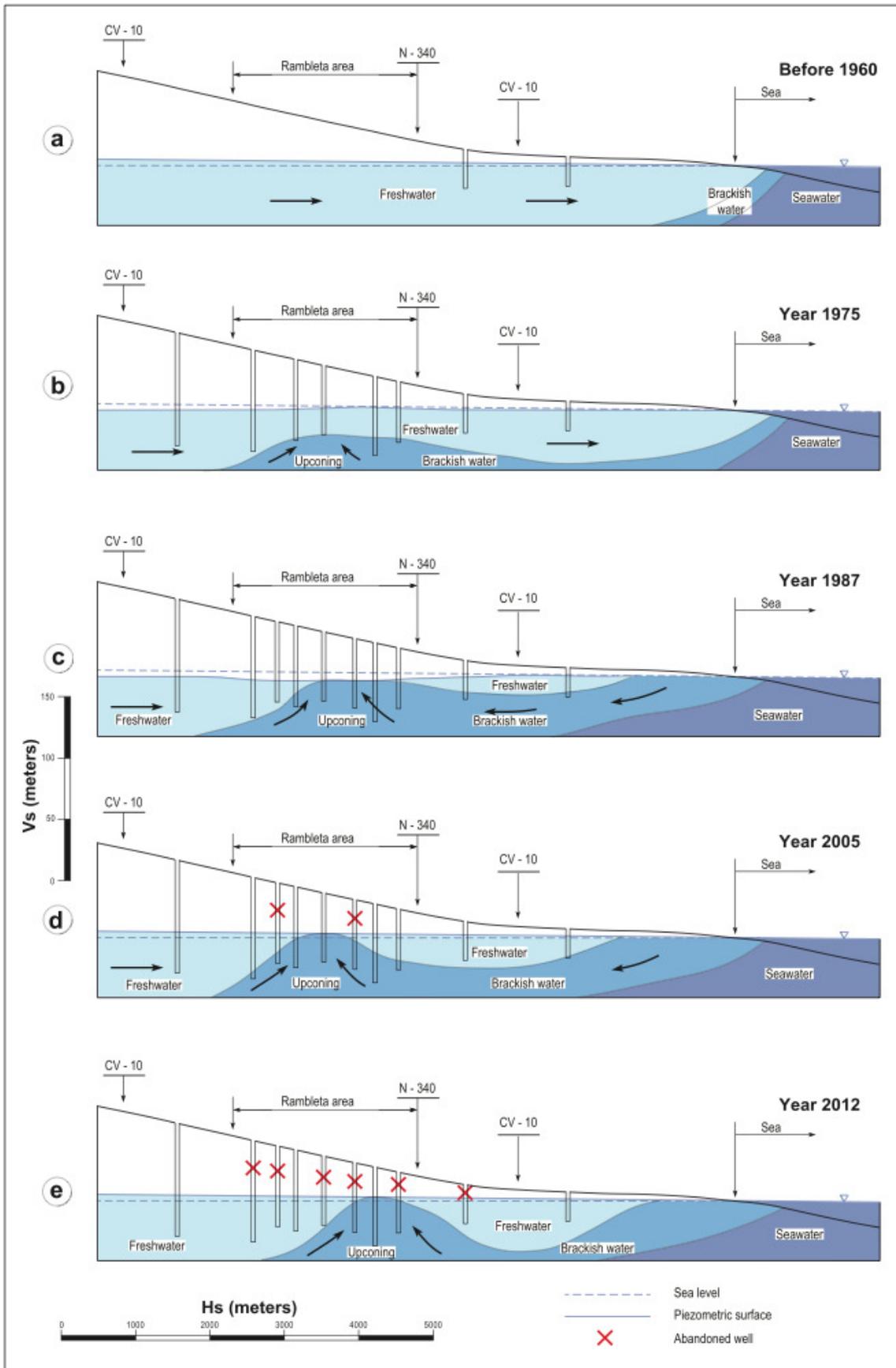


Figura 35. Evolución del frente salino en el área Moncófar - Vall de Uxó

#### 4.4. REGISTROS VERTICALES DE CONDUCTIVIDAD

En junio de 2012 se han realizado registros verticales de conductividad en cinco pozos, cuyos resultados se muestran en la figura 36.

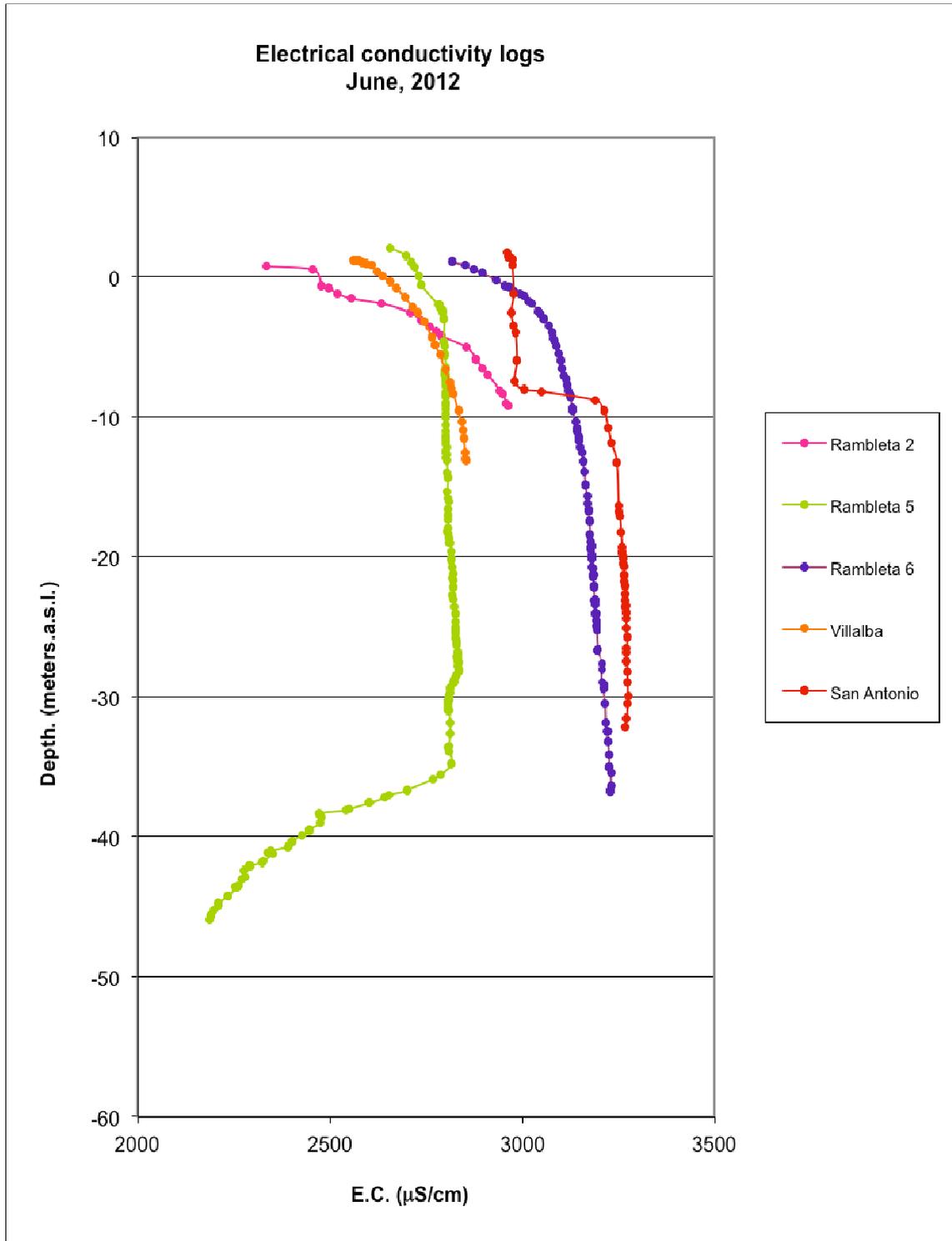


Figura 36. Registros verticales de temperatura (Junio 2012)

## Final Report

En general, la CE aumenta con la profundidad, de manera progresiva en algunos casos y brusca en otros (pozo San Antonio). El comportamiento más singular corresponde al pozo Rambleta 5, que es el de mayor profundidad, en el que a partir de unos 35 metros de profundidad de la lámina de agua se registra un claro descenso de la CE que debe corresponder a la presencia de un segundo nivel acuífero, parcialmente aislado del superior. Un nuevo registro realizado en agosto de 2012 pone de manifiesto que el patrón de perfil de CE se repite pero la salinidad ha aumentado ligeramente (figura 37).

Las próximas campañas de registros deben aportar información valiosa sobre la forma del cuerpo de agua salina y sobre su evolución hidrodinámica.

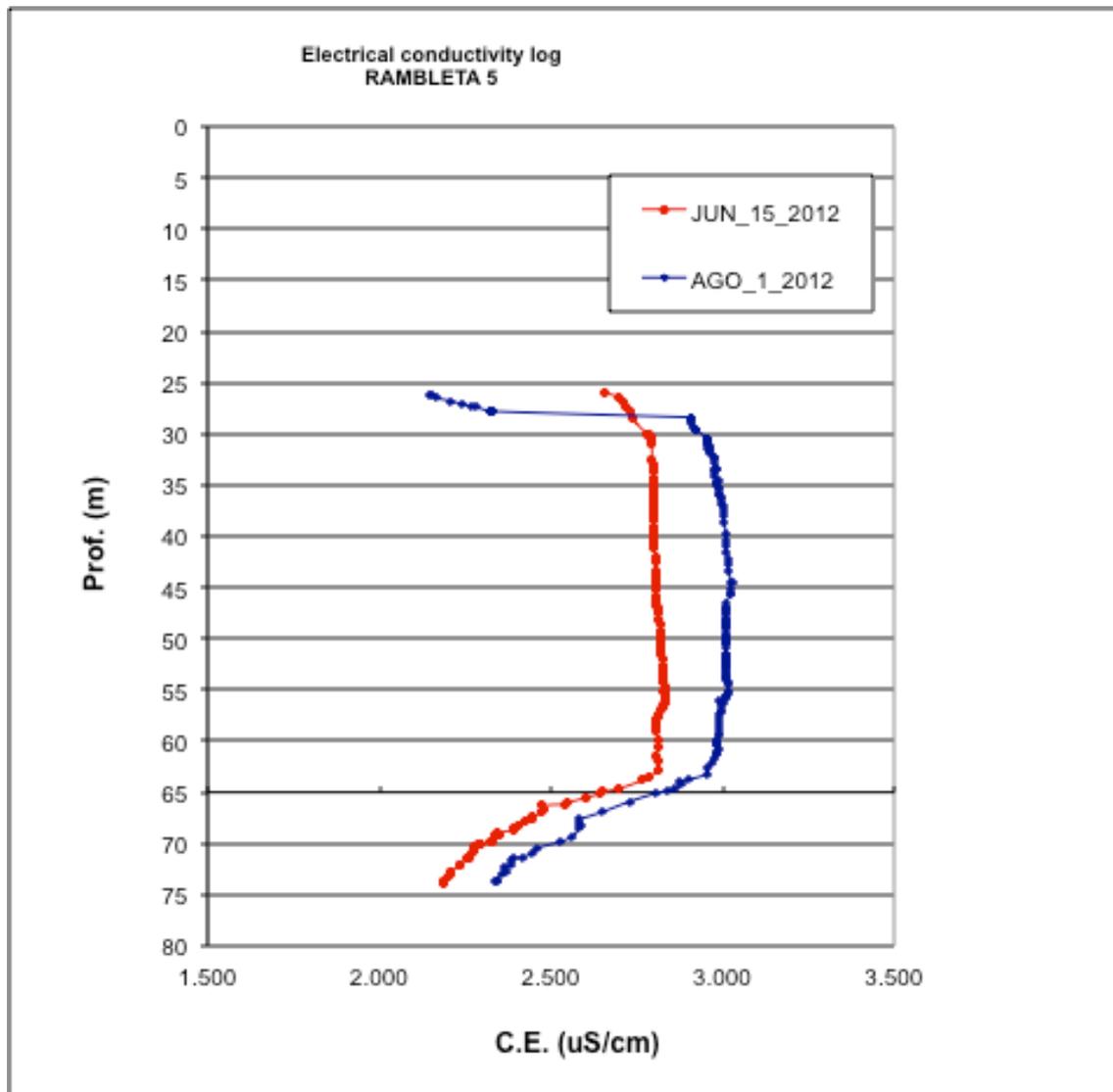


Figura 37. Registros verticales de conductividad eléctrica en el pozo Rambleta 5

#### 4.5. IONES MINORITARIOS Y TRAZA

Se han analizado los iones litio, bromuro, estroncio y boro porque pueden ser indicadores de procesos de salinización (Giménez, 1994, Renau-Llorens, 2010), así como cromo, arsénico, mercurio y flúor porque se ha relacionado su presencia en el acuífero con antiguos vertidos de origen industrial y, en algún caso, con procesos geoquímicos asociados a flujos regionales (Escrig, 1995, Renau-Llorens, 2010, López-Gutiérrez *et al.*, 2010). Los resultados obtenidos se recogen en el Anexo 3.

El litio se encuentra en concentraciones muy bajas, normalmente menores de 50 ppb, con las excepciones de los puntos n° 27 (La Soledad) con 117 ppb y el n° 21 (San Isidro) con 158 ppb. Esto se refleja en el mapa de isocontenidos de litio (mapa n° 21) en el que se observan dos máximos que coinciden espacialmente con los máximos ya comentados de estroncio (mapa n° 14). En la figura 38 se puede observar que existe una clara correlación entre las concentraciones de litio y estroncio, lo que sugiere un origen común. Dado que el estroncio está también claramente asociado al sulfato, como se explica en el apartado 4.3, hay que concluir que tanto el litio como el estroncio proceden de los aportes de agua sulfatada procedente de los relieves internos que alcanzan el acuífero a través de altos estructurales existentes en el substrato. Este mecanismo se superpone al proceso de intrusión marina provocado por la sobreexplotación, colaborando a la salinización del área y alterando los regímenes de flujo.

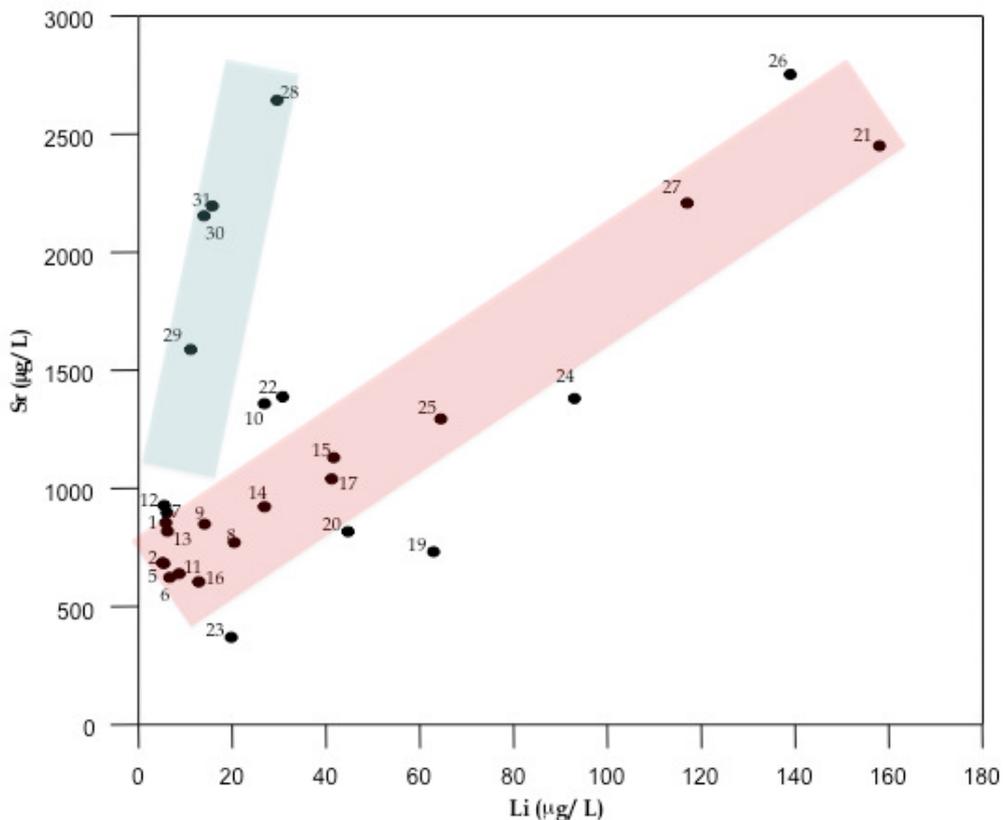


Figura 38. Relación entre las concentraciones de litio y estroncio (Abril, 2012)

Por el contrario, la distribución del ion bromuro (mapa nº 22) coincide a grandes rasgos con la del cloruro lo que pone de manifiesto que, como era de esperar, tienen un origen común. Las concentraciones están comprendidas entre 0,5 y 1,6 mg/L.

El boro se encuentra en concentraciones muy bajas, con máximos de 0,3 mg/L. Su distribución (mapa nº 23) sugiere que su origen está ligado al agua de mar.

En cuanto a los elementos traza, el cromo total se encuentra en concentraciones muy bajas, normalmente inferiores a 1 ppb, salvo en el pozo nº 9 (San Cristóbal) en el que se han determinado 37 ppb. Más interés tiene el mercurio, ya que existen abundantes antecedentes sobre la presencia de mercurio en el área de la Rambleta, que se ha asociado tanto a origen antrópico (vertidos al río Belcaire de residuos de fábricas de curtidos) como a origen natural (presencia de mercurio en los materiales triásicos).

El arsénico se encuentra entre 0,05 y 0,87 ppb. Su origen es natural y está asociado a la lixiviación de óxidos de hierro, abundantes en las areniscas triásicas.

#### **4.7. ANÁLISIS DE SUSTANCIAS PRIORITARIAS Y CONTAMINANTES EMERGENTES**

El estudio hidrogeológico previo exigido por el artículo 258 del RD 849/1986 se ha completado con el análisis de las sustancias prioritarias establecidas en la Directiva 2000/60/CE. Este análisis se ha llevado a cabo en dos muestras tomadas en la zona de estudio en junio de 2012: San Vicente y Rambleta 2. El análisis, de más de 60 compuestos orgánicos semivolátiles ha sido realizado por cromatografía de gases/espectrometría de masas (CG-MS), procedimiento interno CGM/019-a, por la empresa Investigación y Proyectos Medio Ambiente, S.L., IPROMA, acreditada por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), conforme a los criterios recogidos en la Norma UNE-EN ISO/IEC 17025: 2005 (CGA-ENAC-LEC). Como se puede observar en los informes de ensayo que se adjuntan, todos los parámetros analizados en los pozos San Vicente y Rambleta 2 se encuentran por debajo del límite de cuantificación, establecido para el cumplimiento de los requisitos legales y reglamentarios que afectan a sus muestras de ensayo. Estos resultados indican que, a fecha de junio de 2012, el agua del acuífero no está contaminada con las sustancias prioritarias analizadas.

Por otro lado, en el Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas (IUPA) de la Universitat Jaume I de Castelló, se ha llevado a cabo el análisis cualitativo de "contaminantes emergentes" en las dos mismas muestras. El análisis cualitativo es un método de análisis dedicado a la identificación de las sustancias presentes en una muestra, sin necesidad de cuantificarla, es decir, dar un valor numérico de la concentración de cada sustancia en la muestra. Las muestras han sido analizadas, tanto por cromatografía líquida como por cromatografía de gases, preconcentrando las muestras por 250 en el caso de cromatografía líquida y por 500 en el caso de cromatografía de gases, previa extracción en fase sólida con cartucho Oasis HLB. Tras la fase de preparación de muestra, éstas han sido inyectadas y analizadas por cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas con analizador híbrido cuadrupolo tiempo de vuelo (LC-QTOF-MS) y por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas con analizador híbrido cuadrupolo tiempo de vuelo (GC-QTOF-MS).

El método utilizado en el proceso de preparación y análisis de muestra, tanto para cromatografía líquida como para cromatografía de gases, se detalla en la figura 39.

Final Report

Respecto a los resultados obtenidos, como se puede observar en la tabla 12, en ambas muestras se han encontrado diversos plaguicidas, entre ellos están algunos herbicidas del grupo de las triazinas, como la simazina, terbutilazina, atrazina, etc, así como sus metabolitos y productos de degradación, otros herbicidas, como el terbacilo, bromacilo y diurón, fungicidas como el imazalil, el carbendazima y el tiabendazol e insecticidas como el imidacloprid y el aldicarb.

Además, en ambas muestras, se han encontrado productos utilizados habitualmente en las industrias cosmética y farmacéutica, como los parabenos.

Únicamente en el caso de la muestra de San Vicente se han encontrado algunos fármacos como el irbesantan, utilizado para el tratamiento de la hipertensión arterial, el venlafaxine, utilizado como antidepresivo, el fenazona, un analgésico antiinflamatorio, el sulfamethoxazole, un antibiótico para el tratamiento de infecciones causadas por bacterias, y dos fármacos antiepilépticos, el carbamazepina y el gabapentin. Estos fármacos se encuentran típicamente en los efluentes de las estaciones depuradoras de aguas residuales.

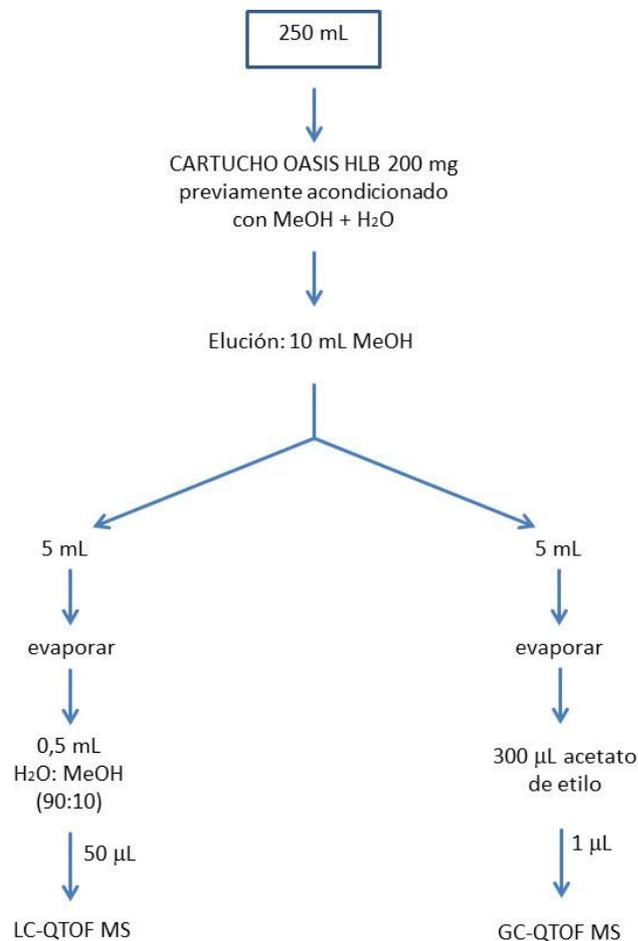


Figura 39. Proceso de preparación y análisis de muestras

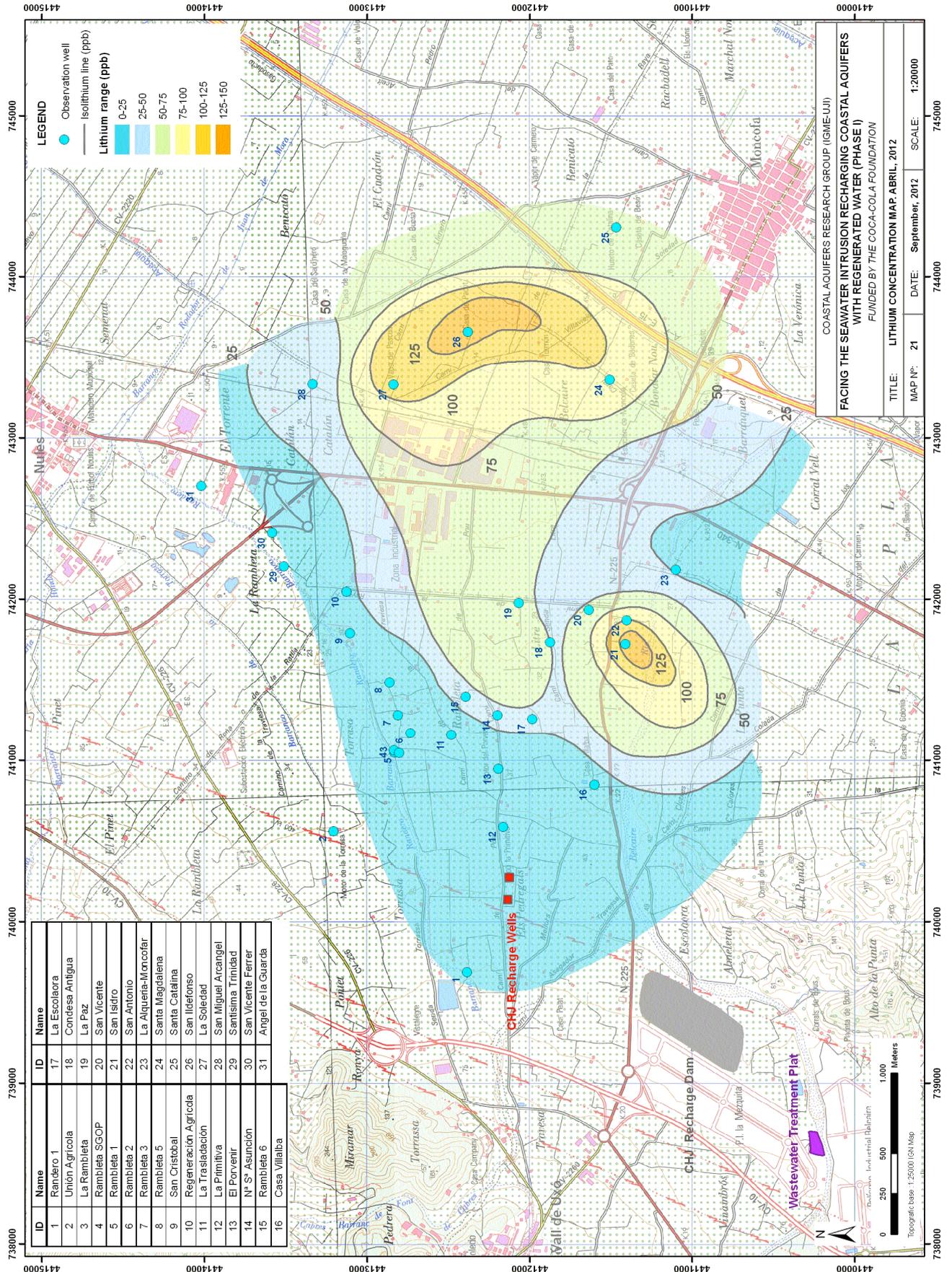
En la muestra del pozo de San Vicente también se han encontrado dos edulcorantes bajos en calorías, estos son la sucralosa, el único edulcorante que se obtiene a partir de

la sacarosa, y el acesulfame. Estos dos edulcorantes son considerados como edulcorantes no nutritivos, que no aportan calorías. En la muestra de San Vicente también se han encontrado dos agentes yodados de contraste para exploraciones de rayos-X, la iopromida y el iomeprol, ambas moléculas son hidrosolubles, es decir que se disuelven en agua y se eliminan por la orina.

Tabla 12. Contaminantes emergentes en los pozos Rambleta 2 y San Vicente

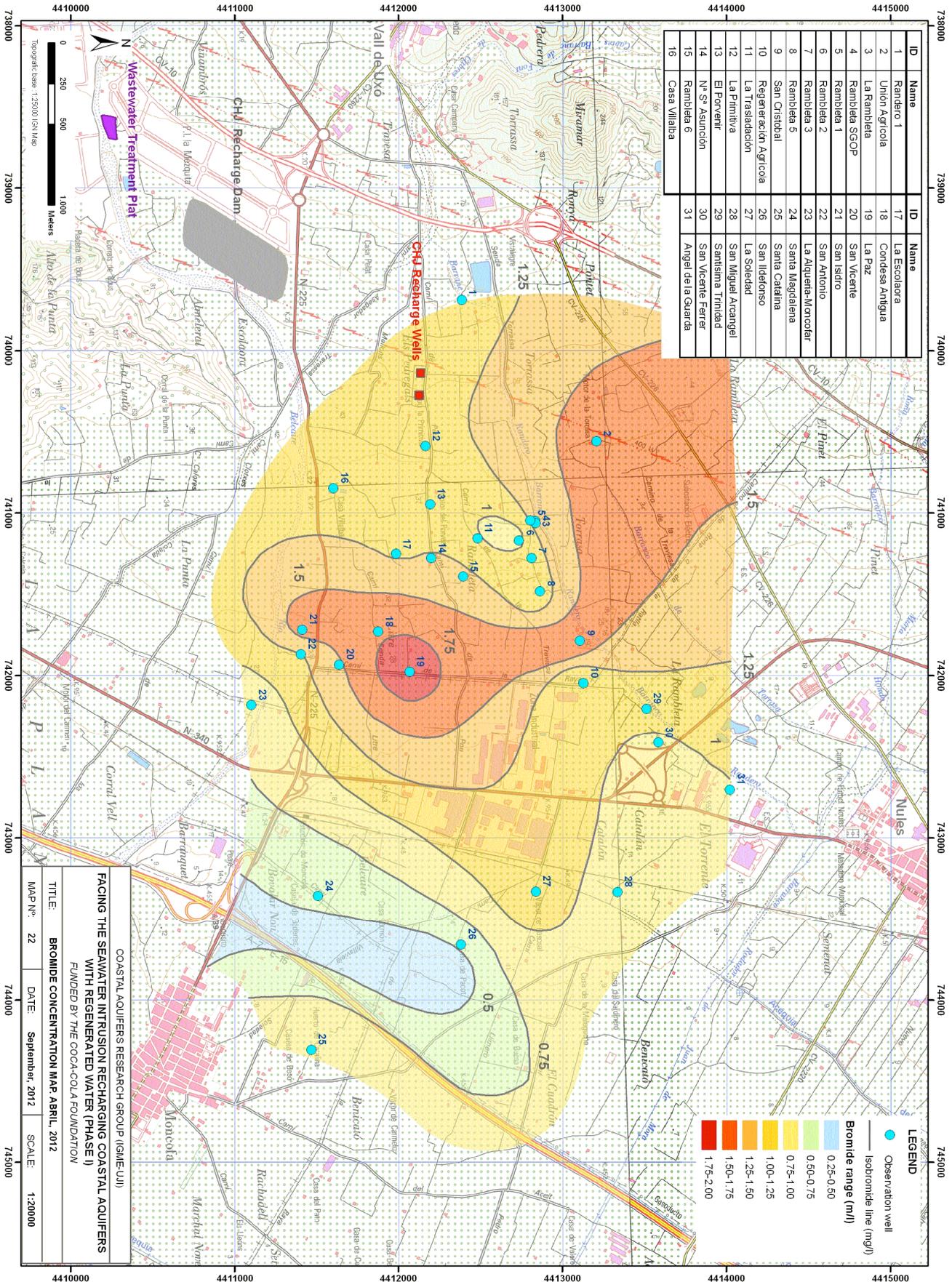
		AGUAS SUBTERRÁNEAS	
		RAMBLETA 2	SAN VICENTE
COMUESTO			
PLAGUICIDAS	SIMAZINA		X
	TERBUTILAZINA	X	X
	DESETILTERBUTILAZINA	X	X
	2-OH-TERBUTILAZINA		X
	DESETILTERBUMETONA	X	X
	TERBUTRINA		X
	ATRAZINA	X	
	DEA	X	X
	DIA	X	X
	CARBENDAZIMA	X	X
	IMAZALIL	X	X
	THIABENDAZOL	X	X
	DIURON	X	X
	BROMACILO	X	X
	TERBACILO		X
	IMIDACLOPRID		X
	ALDICARB SULFOXIDE	X	
FÁRMACOS	IRBESARTAN		X
	VENLAFAXINE		X
	CARBAMAZEPINA		X
	GABAPENTIN		X
	SULFAMETHOXAZOLE		X
	PHENAZONE		X
CUIDADO PERSONAL	METILPARABEN	X	X
	PROPILPARABEN	X	X
	BUTILPARABEN	X	X
EDULCORANTES	SUCRALOSE		X
	ACESULFAME		X
RAYOS X	IOPROMIDE		X
	IOMEPROL		X

Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**

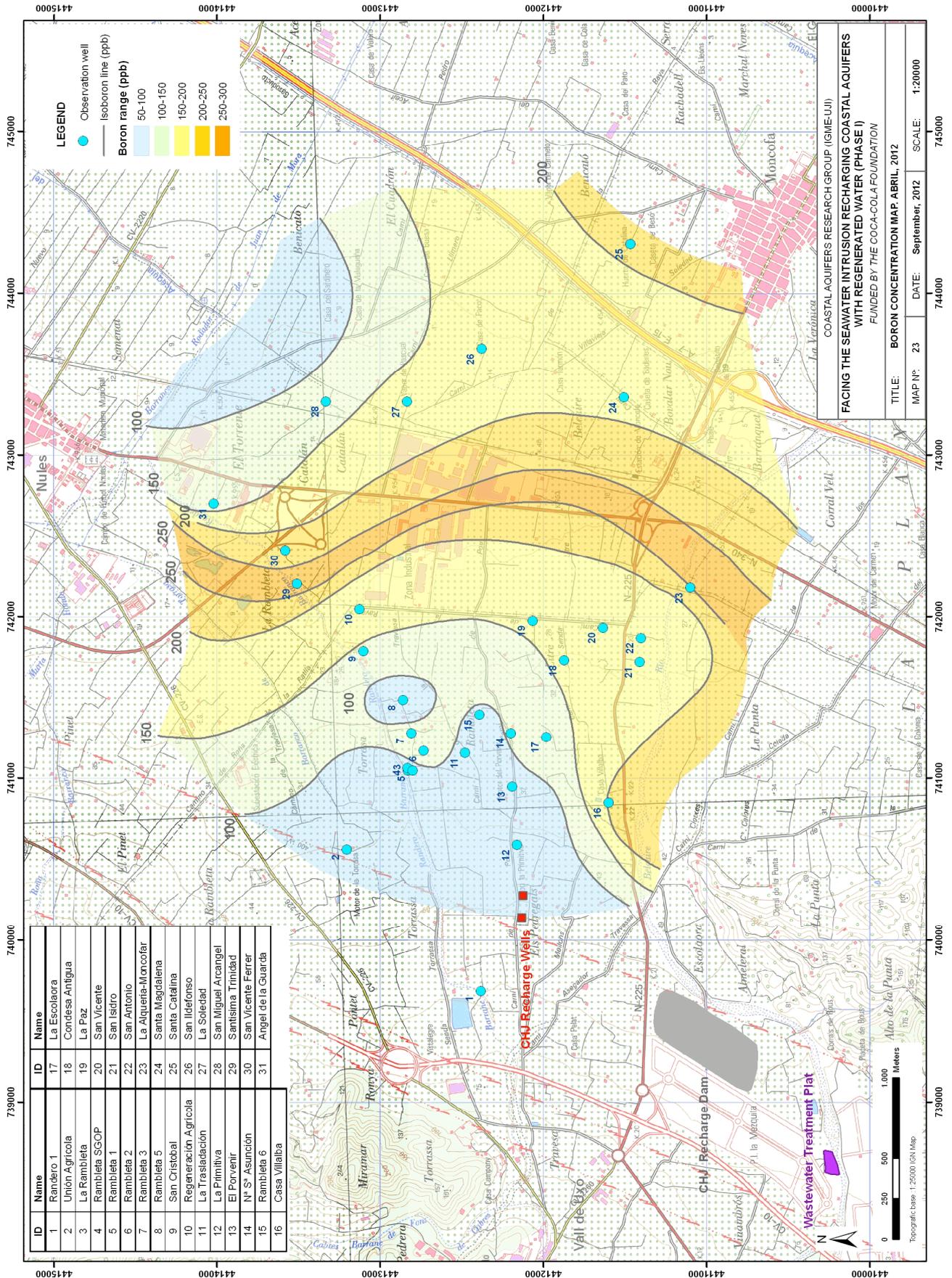


Mapa 21. Mapa de isocontenidos en litio, abril 2012

Final Report



Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)  
**Final Report**



Mapa nº 23. Mapa de isocontenidos en boro, abril 2012



**Capítulo 5**  
**PROPUESTA DE ACTUACIONES**



## 5.1. POSIBILIDADES DE ACTUACIÓN

### 5.1.1. Introducción

Uno de los objetivos que hay que alcanzar en esta fase de la investigación es definir el sistema más adecuado para llevar a cabo la recarga artificial. Las variables que hay que tener en cuenta para tomar esta decisión son de muy diversa índole, pero entre ellas destaca sin duda las condiciones hidrogeológicas locales.

Los primeros trabajos de reconocimiento hidrogeológico, basados en el estudio de las columnas litológicas de los pozos existentes y en la inspección *in situ*, han proporcionado datos que permiten perfilar diversas posibilidades de actuación, que deben ser sometidas a análisis riguroso, ya que de la selección previa del método más adecuado puede depender la orientación de los trabajos siguientes y, entre ellos, la prospección geofísica.

Aunque todavía quedan dudas por resolver sobre algunos parámetros hidrogeológicos que pudieran condicionar la eficiencia de la recarga, se puede asumir que, en primera aproximación, los tres factores que hay que tener en consideración son: a) el riesgo de introducir agentes contaminantes en el acuífero, b) la obtención de una tasa de infiltración adecuada, y c) la consecución del objetivo de luchar contra la intrusión marina.

Antes de analizar las diversas posibilidades existentes conviene distinguir entre dos tipos de aproximación al problema, que no son ni excluyentes ni contradictorios, pero que pueden realzar o potenciar las distintas opciones. El enfoque más pragmático sería seleccionar aquel sistema de recarga que de manera más eficaz provocase el retroceso del frente salino, superando tecnológicamente cualquier problema que pudiera presentarse. El otro enfoque tendería más a “crear conocimiento” sin renunciar a la eficiencia pero potenciando el estudio del proceso más que el de los resultados.

De acuerdo a la información recopilada hasta ahora, las posibilidades de actuación que pudieran ser objeto de estudio son las siguientes:

1. Recarga en profundidad mediante pozos penetrantes
2. Recarga desde superficie por medio de balsas de infiltración
3. Recarga desde superficie por infiltración desde el cauce del barranco Randero
4. Recarga mediante pozos no penetrantes

### 5.1.2. Recarga en profundidad mediante pozos penetrantes

#### *Ventajas*

Desde el punto de vista hidrodinámico, este parece ser el método que presenta la mayor ventaja, ya que asegura una tasa de infiltración muy elevada. Los caudales de bombeo en el área de la Rambleta son del orden de 60-80 litros/segundo con descensos dinámicos del orden de 10 metros, lo que significa que los caudales específicos están comprendidos entre 6 y 8 L/s/m. Se puede admitir que los caudales de infiltración serían, al menos, equivalentes a los de bombeo, e incluso ligeramente mayores ya que se aumenta la columna de agua y la longitud de la rejilla.

La existencia de pozos abandonados puestos a disposición del proyecto por la Cooperativa de Riegos es un factor de gran importancia ya que tiene repercusión sobre los costes de las instalaciones necesarias para llevar a cabo la recarga. Asimismo, la red

de distribución del agua de riego de la Cooperativa facilita la conducción del agua hasta cualquier punto de la misma.

En algunos casos, además, coexisten pozos de caja con sondeos realizados a pocos metros de los anteriores, que podrían constituir valiosos piezómetros de observación.

En la misma línea, conviene no olvidar que existen dos pozos construidos específicamente para recarga por ACUAMED para infiltrar aguas del río Belcaire.

#### *Inconvenientes*

Sin duda alguna, el principal inconveniente de este sistema es que los requisitos de calidad del agua de recarga son muy rigurosos.

Como se describe en el informe titulado Informe interno sobre la exigencia de calidad en las aguas para recarga artificial de acuíferos, no sólo se debe atender a lo estipulado en el RD 1620/2007 sino que, además, se debe tener en cuenta la probable presencia de algunas de las sustancias incluidas en las listas de sustancias prioritarias y preferentes del Anexo X de la Directiva 2000/60/CE, así como otros contaminantes emergentes no incluidos en dichas listas pero de cuya existencia en aguas residuales urbanas se tiene conocimiento.

La inyección directa del agua en el seno del acuífero supone que no se pueda contar con el poder autodepurador de la zona no saturada, cualquiera que sea la intensidad del mismo, por lo que cualquier agente contaminante contenido en el agua de recarga alcanzaría el agua subterránea en la que sólo se puede presumir un proceso de dilución y, quizás, de atenuación secundaria.

Si bien la calidad del agua del acuífero en el sector de la Rambleta no es buena para los usos convencionales (de hecho hay muchos pozos abandonados), no se trata de un área de recursos no utilizables, sino más bien lo contrario, ya que el objetivo del proyecto es, precisamente, regenerar el acuífero y restaurar una calidad adecuada para cualquier uso. Esta filosofía no parece compatible con el riesgo de introducir nuevos agentes contaminantes en el acuífero.

#### *Requisitos y líneas de trabajo*

El proceso de depuración a que se somete el agua residual en la EDAR no es suficiente para eliminar todos los agentes contaminantes cuya introducción en el medio ambiente está restringida por la normativa. Tampoco reduce la salinidad del agua, que es un parámetro básico para los objetivos del proyecto.

Para eliminar estos contaminantes y mejorar las condiciones de recarga parece necesario someter el agua residual depurada a un proceso terciario que incluya desinfección y desalinización. Los dos sistemas que a priori parecen más apropiados para llevar a cabo la regeneración del agua son la ósmosis inversa y la electrodiálisis reversible. En cualquier caso, no sólo se pretende conseguir la eliminación de contaminantes biológicos y la reducción de la salinidad sino que, además, se persigue eliminar los microcontaminantes que pudieran afectar al medio hídrico subterráneo.

Es necesario evaluar los costes asociados a esta operación de regeneración.

### 5.1.3. Recarga desde superficie por medio de balsas de infiltración

#### *Ventajas*

La principal ventaja asociada a la utilización de balsas de infiltración es aprovechar el poder autodepurador de la zona no saturada (ZNS).

El espesor de la ZNS en el área de estudio es del orden de 30 metros y tiene una litología razonablemente bien conocida por medio de las columnas litológicas de pozos y de la observación *in situ* en la cantera abandonada de áridos existente en el Camí de la Ratlla, junto al pozo La Paz. La interacción del agua infiltrada con los materiales presentes en la ZNS reduciría notablemente la carga contaminante general y la microbiológica en particular, si bien no alteraría el grado de salinidad, que podría incluso verse aumentado por procesos de disolución.

#### *Inconvenientes*

La construcción de balsas requiere la ocupación de una superficie apreciable de terreno, que tiene un coste elevado. El mantenimiento de la balsa para evitar la colmatación del fondo es otro capítulo a tener en cuenta.

Existen algunas dudas sobre la eficiencia del sistema. Aunque es notable la presencia de gravas y conglomerados en la serie estratigráfica, la matriz es francamente arcillosa con pasadas de arenas que pudieran imponer una velocidad de flujo lenta e incluso favorecer la existencia de derivas horizontales del flujo a favor de niveles de mayor permeabilidad diferencial formando aguas colgadas cuyo seguimiento y control no es sencillo.

#### *Requisitos y líneas de trabajo*

La cantera mencionada anteriormente proporciona información de gran interés y, al mismo tiempo, permite visualizar distintas opciones de recarga con balsas de infiltración. En la figura 40, realizada a escala arbitraria y aproximada, se ilustran dichas opciones.

La morfología actual de la cantera consiste en dos plataformas situadas a 10 y 20 metros de profundidad, aproximadamente. Si la superficie libre de agua en el acuífero se encuentra a unos 5 metros por debajo de la base de la cantera, el espesor de la zona no saturada en cada una de las dos plataformas es de 15 y 5 metros, respectivamente.

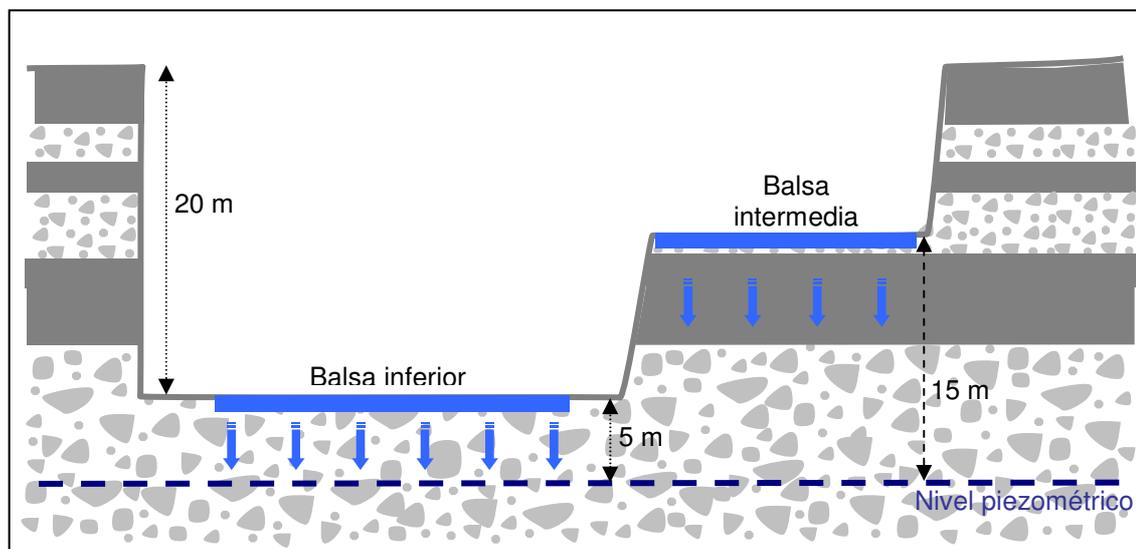


Figura 40. Esquema de la cantera situada en el Camí de la Ratlla

En la balsa inferior el agua de recarga sólo debe recorrer 5 metros hasta alcanzar la superficie piezométrica y, además, la litología de los materiales a atravesar, simbolizados como gravas y/o conglomerados, tienen elevada permeabilidad. En estas condiciones, la tasa de infiltración puede ser alta pero la depuración impuesta por la interacción agua-roca en la ZNS puede no ser muy intensa. Por el contrario, la denominada balsa intermedia, situada a unos 10 metros por debajo de la superficie del terreno, podría tener algún problema de admisión si entre el fondo de la balsa y el acuífero existiera algún nivel de baja permeabilidad (como se simboliza en la figura con un nivel arcilloso), aunque por otro lado la capacidad de depuración se vería incrementada no sólo porque el recorrido del agua de recarga sería de 15 metros sino también por la litología del terreno.

Naturalmente, también se puede contemplar la posibilidad de que la recarga se ubique en la superficie del terreno. En este caso, el espesor de la zona no saturada sería de 25 metros y la permeabilidad variable en función de la litología.

Para alcanzar la máxima eficiencia habría que encontrar un compromiso entre la capacidad de percolación y el poder de autodepuración.

En esta alternativa de actuación, además del objetivo básico de luchar contra la intrusión marina, hay que añadir un objetivo intermedio, de gran valor científico, que consiste en “medir” la capacidad de autodepuración para diversos agentes contaminantes.

La actividad que la fase II del proyecto (experiencia piloto) podría desarrollar sería la de construir dos balsas de infiltración a diferentes alturas de la serie estratigráfica y equiparlas adecuadamente para analizar las variaciones que la interacción agua-roca provoca en las concentraciones de algunos agentes contaminantes seleccionados de los recogidos en las listas de sustancias prioritarias y preferentes, así como de los contaminantes emergentes que pudieran ser detectados en el agua regenerada.

Esta actividad serviría para comprobar si la depuración impuesta por el terreno puede suplir a la necesidad de instalar un tratamiento terciario, sin perjuicio de que, en cualquier caso, se considere la conveniencia de rebajar la salinidad del agua de entrada.

#### **5.1.4. Recarga desde superficie por infiltración desde el cauce del barranco Randero**

##### *Ventajas*

El acuífero de la Plana de Castellón tiene carácter libre por lo que debe tener conexión hidráulica con los cauces superficiales. Esta conexión puede traducirse en que si se produce infiltración desde el cauce el agua puede llegar hasta el acuífero. Este podría ser el caso del barranco Randero en el que la observación ha puesto de manifiesto que se producen pérdidas de caudal por percolación. De hecho, la Cooperativa de Riegos ha aprovechado esta característica para realizar algún ensayo de recarga.

La capacidad de percolación se puede estimular mediante escarificación del lecho del río para aumentar la permeabilidad.

La ventaja de este sistema es que no se requiere realizar ninguna instalación compleja y, además, se aprovecha en su totalidad el poder autodepurador de la zona no saturada.

### *Inconvenientes*

El principal inconveniente de este sistema es la dificultad de controlar el flujo vertical, ya que la existencia de niveles de permeabilidad diferencial en el perfil de la ZNS podría inducir flujos de componentes horizontales del flujo y crear niveles saturados colgados que no llegaran a alcanzar el acuífero, o que lo hicieran en sectores distintos a los previstos (figura 41). Esta posibilidad se indica en la figura siguiente en la que con flechas continuas se indica el sentido del flujo vertical bajo el área de infiltración y con flechas discontinuas el flujo horizontal provocado por la presencia de baja permeabilidad relativa.

### *Requisitos y líneas de trabajo*

Sería interesante evaluar la capacidad de infiltración que, en régimen natural, tiene el cauce. La mencionada experiencia realizada por los regantes y la observación del comportamiento de los caudales que pudieran circular por el barranco a causa de eventos lluviosos de intensidad suficiente podrían ser datos indicativos de la viabilidad de esta alternativa.

Así mismo se podría realizar algún ensayo de recarga desde el cauce y comprobar la eficiencia mediante el control de pozos cercanos al área de recarga y, en su caso, mediante la instalación de piezómetros de observación.

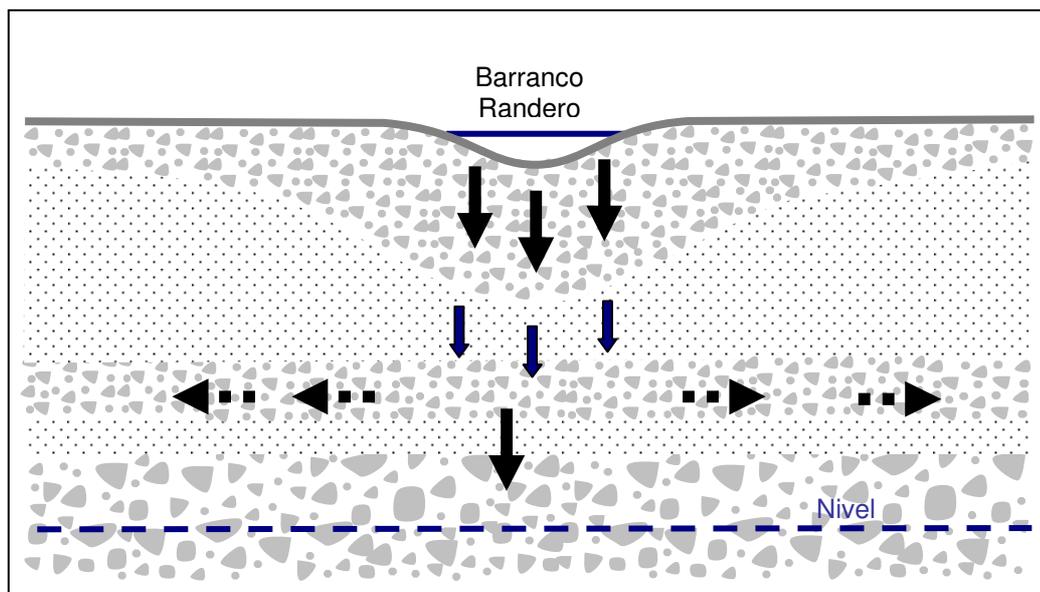


Figura 41. Esquema de la infiltración a partir del Barranco Randero

### **5.1.5. Recarga mediante pozos no penetrantes**

#### *Ventajas*

La recarga mediante pozos no penetrantes es un sistema mixto entre la infiltración desde la superficie (balsas o cauce) y la inyección directa.

Las principales ventajas que tiene este sistema son el escaso requerimiento de espacio en relación al de las balsas y la posibilidad de utilizar un cierto espesor de la zona no saturada para aprovechar su capacidad de depuración.

### *Inconvenientes*

La capacidad de admisión de un pozo no penetrante en la zona saturada puede ser muy reducida, salvo que su zona activa se localice en materiales de muy elevada permeabilidad y que estén en contacto directo con el acuífero. Con estas condiciones, la interacción agua-roca sería, en cualquier caso, muy limitada.

En el caso de que la admisión se realice a favor de tramos de permeabilidad diferencial elevada la tasa de infiltración puede ser muy superior a la de percolación a través de niveles de menor permeabilidad, lo que generaría flujos horizontales no deseados.

#### **5.1.6. Conclusiones generales**

Para conseguir el objetivo básico del proyecto, que es hacer retroceder el frente salino, se requiere:

- a) introducir en el acuífero la mayor cantidad posible de agua
- b) asegurarse de que el agua se recarga en el lugar más adecuado
- c) rebajar la salinidad
- d) evitar procesos contaminantes colaterales

A priori no se debe descartar ningún sistema de recarga de los mencionados en este informe porque cada uno de ellos tiene algún aspecto destacable, bien sea por su eficiencia o por su interés científico. Precisamente uno de los objetivos de la fase actual del proyecto es seleccionar el sistema más apropiado, o sistemas más apropiados. En la segunda fase se debe realizar la experiencia piloto, que no tiene por qué limitarse a un solo sistema de recarga.

Sea cual sea el sistema elegido, parece recomendable asumir la necesidad de someter el agua residual a procesos de depuración adicionales que, por una parte, aseguren el cumplimiento de los requisitos de calidad para el agua de recarga y, por otra, reduzcan en lo posible la carga salina.

La electrodiálisis reversible se presenta como la alternativa más adecuada.

## **5.2. EXIGENCIA DE CALIDAD EN LAS AGUAS PARA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS**

### **5.2.1. Planteamiento del problema**

El principal problema que es necesario afrontar para el adecuado desarrollo del proyecto es, sin duda, el asociado a los requisitos de calidad del agua utilizada y a las precauciones necesarias para evitar riesgos de contaminación.

Si bien es cierto que el área seleccionada para llevar a cabo la recarga está severamente salinizada, esta se encuentra a una distancia aproximada de cinco kilómetros de la línea de costa y entre dicha área y el mar existen numerosas captaciones (muchas de ellas abandonadas) que pudieran verse afectadas desde el punto de vista hidrogeoquímico si no se adoptan las medidas preventivas adecuadas.

Los efluentes de la EDAR de Vall de Uxó tienen baja mineralización pero el tratamiento secundario no es capaz de eliminar, parcial o totalmente, algunos

contaminantes específicos. Probablemente, si el sistema de recarga escogido fuera infiltración desde la superficie, bien a través de balsas o bien desde el lecho permeable del río Belcaire o el barranco Randero, la capacidad de autodepuración del terreno podría contribuir a remover la mayor parte de estos contaminantes, aunque de algunos de ellos no se tienen datos sobre su comportamiento hidrogeoquímico. Si, por el contrario, el sistema de recarga fuera la infiltración a través de pozos de inyección, como es previsible, ese efecto autodepurador de la zona no saturada no tendría lugar y los contaminantes llegarían hasta el acuífero donde sólo cabría esperar el efecto de la dilución y alguna depuración inducida difícil de prever y de caracterizar.

Estas mismas reflexiones son válidas si el efluente a utilizar fuera el procedente de la EDAR de la ciudad de Castellón que, aunque tiene tratamiento terciario, éste no es eficiente en la depuración de microcontaminantes orgánicos.

### 5.2.2. Normativa aplicable

En la normativa española, los criterios de calidad para la utilización de recarga artificial están recogidos en el **REAL DECRETO 1620/2007**, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. En el Anexo 1 A. Criterios de calidad para la reutilización de las aguas según su uso, se indican los valores máximos admisibles de algunos parámetros básicos para la recarga de acuíferos, tanto por percolación como por inyección directa (tabla 13).

Tabla 13. Criterios de calidad para recarga artificial (RD 1620/2007)

Uso del agua previsto	Valor máximo admisible				
	Nemátodos intestinales	Escheherichia Coli	Sólidos en suspensión	Turbidez	Otros criterios
Calidad 5.1 Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno	No se fija límite	1000 UFC / 100 mL	35 mg/L	No se fija límite	NT: 10 mgN/L NO3: 25 mg/L Art 257 al 259 del RD 849/1986
Calidad 5.2 Recarga de acuíferos por inyección directa	1 huevo / 10 L	0 UFC / 100 mg/L	10 mg/L	2 UNT	

Como es lógico, las restricciones son mucho mayores para la recarga por inyección, debido a la ausencia del poder autodepurador antes mencionado. En cualquier caso, los valores máximos admisibles son relativamente fáciles de cumplir con sistemas adecuados de filtración y desinfección. El problema mayor se refiere a los parámetros denominados "otros criterios" en los que además de los compuestos nitrogenados (eliminables mediante nitrificación-desnitrificación), se recogen sustancias descritas en el **REAL DECRETO 849/1986**, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, VI, VII y VIII del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el RD legislativo 1/2001 de 20 de julio

Según esta normativa, la recarga artificial con aguas depuradas se considera un vertido de sustancias peligrosas y, por tanto está sujeta al cumplimiento de normas muy restrictivas.

El **Artículo 257**, sobre Vertidos de sustancias peligrosas a las aguas subterráneas, establece que:

1. Los Organismos de Cuenca adoptarán las medidas necesarias para impedir que se introduzcan en las aguas subterráneas las sustancias que figuran en la relación I del anexo III, así como para limitar la introducción de las sustancias de la relación II del mismo anexo.
2. A efectos de lo previsto en el apartado anterior, se prohíbe el vertido directo de las sustancias de dicha relación I. La autoridad competente exigirá un estudio hidrogeológico previo, con el fin de evitar su introducción en las aguas subterráneas
3. Si se desprendiese de un estudio hidrogeológico previo que las aguas subterráneas en las que se prevé el vertido son inadecuadas de forma permanente para cualquier uso, se podrá autorizar el vertido de dichas sustancias
4. Para limitar la introducción de sustancias de la relación II, ....se podrá autorizar el vertido cuando el estudio hidrogeológico previo demostrase su inocuidad, sin perjuicio de incluir en el condicionado la adopción de las precauciones técnicas necesarias

#### ***Relación I de sustancias contaminantes***

1. Compuestos organohalogenados y sustancias que puedan dar lugar a compuestos de esta clase en el medio acuático
2. Compuestos organofosfóricos
3. Compuestos organoestánicos
4. Sustancias en las que está demostrado su poder cancerígeno en el medio acuático o por medio de él
5. Mercurio y compuestos de mercurio
6. Cadmio y compuestos del cadmio
7. Aceites minerales persistentes e hidrocarburos de origen petrolífero persistentes
8. Sustancias sintéticas persistentes que puedan flotar, permanecer en suspensión o hundirse causando con ello perjuicio a cualquier utilización de las aguas

#### ***Relación II de sustancias contaminantes***

1. Sustancias que forman parte de las categorías y grupos de sustancias enumeradas en la relación I para las que no se hayan fijado límites según el artículo 254 de este reglamento
2. Sustancias o tipos de sustancias comprendidos en el siguiente apartado y que, aun teniendo efectos perjudiciales, puedan quedar limitados en zonas concretas según las características de las aguas receptoras y su localización
- 3.

3a. Los metaloides y metales siguientes y sus compuestos:

Cinc, cobre, níquel cromo, plomo, selenio, arsénico, antimonio, molibdeno, titanio, estaño, bario, berilio, boro, uranio, vanadio, cobalto, talio, telurio, plata

3b. Biocidas y sus derivados no incluidos en la relación I

3c. Sustancia que tengan efectos perjudiciales para el sabor y/o olor de productos de consumo humano derivados del medio acuático, así como los compuestos susceptibles de originarlos en las aguas

3d. Compuestos organosilícicos tóxicos o persistentes y sustancias que puedan originarlos en las aguas, excluidos los biológicamente inofensivos o que dentro del agua se transforman rápidamente en sustancias inofensivas

3e. Compuestos inorgánicos de fósforo y fósforo elemental

3f. Aceites minerales no persistentes o hidrocarburos de origen petrolífera no persistente

3g. Cianuros, fluoruros

3h. Sustancias que influyen desfavorablemente en el balance de oxígeno, especialmente amoníaco y nitritos

El **Artículo 258** hace referencia al estudio hidrogeológico previo y señala que:

1. El estudio hidrogeológico previo a que se refiere el artículo anterior contemplará, como mínimo, el estudio de las características hidrogeológicas de la zona afectada, el eventual poder depurador del suelo y subsuelo y los riesgos de contaminación y de alteración de la calidad de las aguas subterráneas por el vertido. Asimismo, determinará si, desde el punto de vista medioambiental, el vertido en esas aguas es inocuo y constituye una solución adecuada.

2. Este estudio deberá estar suscrito por técnico competente y deberá aportarse en la declaración de vertido prevista en el artículo 246 o ser requerido por el Organismo de Cuenca cuando se presuma que el vertido puede ocasionar una contaminación de las aguas subterráneas. El estudio se incorporará al expediente de autorización de vertido, y sobre éste podrá solicitar el Organismo de Cuenca informe del Instituto Geológico y Minero de España.

Finalmente, el **Artículo 259** establece las condiciones de las autorizaciones de vertido a aguas subterráneas, de manera que:

1. En las autorizaciones de vertido se establecerán, además de las condiciones previstas en el artículo 251, las siguientes:

- a. La técnica para llevar a cabo el vertido.
- b. Las precauciones que resulten indispensables teniendo en cuenta la naturaleza y concentración de las sustancias presentes en los efluentes, las características del medio receptor, así como la proximidad de captaciones de agua, y, en particular, las de agua potable, termal y mineral.
- c. La cantidad máxima admisible de una sustancia en los efluentes, así como la concentración de dicha sustancia.
- d. Los dispositivos para controlar los efluentes evacuados en las aguas subterráneas.
- e. Las medidas que permitan la vigilancia de las aguas subterráneas y, en particular, de su calidad.

2. Las autorizaciones de vertido de sustancias peligrosas a las aguas subterráneas se otorgarán por un plazo de cuatro años renovables por períodos iguales.

3. En el caso de vertidos a aguas subterráneas transfronterizas, el Organismo de Cuenca que tramite la autorización lo notificará al Ministerio de Medio Ambiente, a fin de que pueda informar a los demás Estados afectados antes de otorgarse la autorización.

### 5.2.3. Otras consideraciones

Además del cumplimiento de los requisitos de calidad establecidos por los reales decretos mencionados, y dado el carácter de investigación aplicada que tiene el proyecto, también deben tenerse en cuenta otros parámetros, concretamente los recogidos en la Lista de sustancias prioritarias del Anexo X de la **Directiva 2000/60/CE**, de Política de Aguas, así como los denominados "contaminantes emergentes".

Algunas de la sustancias prioritarias están recogidas en las relaciones I y II de sustancias contaminantes del RD 849/1986 (Tabla 14).

En lo que se refiere a los contaminantes emergentes no recogidos en las listas anteriores, tales como antibióticos, hormonas de crecimiento, drogas de abuso, etc,... que no sean adecuadamente removidos en el proceso de depuración, deben ser objeto de control y, si es posible, de estudio detallado.

### 5.2.4. Conclusiones

El cumplimiento de la normativa existente, así como las cautelas que razonablemente deben ser adoptadas, obliga a dedicar esfuerzos específicos encaminados a evitar que determinadas sustancias contaminantes puedan alcanzar el acuífero. Estos esfuerzos deben dirigirse principalmente a:

- Reducir la carga contaminante del efluente utilizado para la recarga
- Llevar a cabo un exhaustivo control analítico

La reducción de la carga contaminante sólo puede ser conseguida mediante la instalación de un sistema terciario que incluya algún sistema de membranas, probablemente ósmosis inversa, cuya viabilidad debe ser analizada cuidadosamente. Otro método alternativo, y quizás complementario para reducir la carga contaminante podría ser la mezcla con aguas de tormenta. En este caso, convendría estudiar la posibilidad futura de conjuntar el proyecto de recargar con aguas regeneradas y el proyecto de infiltrar agua del río Belcaire mediante la infraestructura construida por ACUAMED.

En cualquier caso, e independientemente del sistema de regeneración utilizado, será necesario diseñar un exhaustivo sistema de control analítico que permita asegurar que los contaminantes prohibidos han sido removidos. Los dos problemas básicos que hay que tener en cuenta para el diseño de los mecanismos de control son la variabilidad química asociada a los efluentes y el coste económico de los análisis, que no son elementales.

La variabilidad química no sólo depende de la eficiencia en el proceso de depuración sino que obedece también a que la composición del agua bruta varía con la época del año, e incluso a nivel diario, en función de los usos y costumbres sociales. Por esta razón se hace necesario establecer campañas que permitan cubrir estas variaciones.

Tabla 14. Lista de Sustancias Prioritarias (Directiva 2000/60/EU)

ANEXO X. SUSTANCIAS PRIORITARIAS <sup>368</sup>				
	Número CAS(1)	Número UE (2)	Nombre de la sustancia prioritaria	Sustancia identificada como sustancia peligrosa prioritaria
(1)	15972-60-8	240-110-8	Alacloro	
(2)	120-12-7	204-371-1	Antraceno	(X) (***)
(3)	1912-24-9	217-617-8	Antrazina	(X) (***)
(4)	71-43-2	200-753-7	Benceno	
(5)	no aplicable	no aplicable	Difelinéteres bromados (**)	X (****)
(6)	7440-43-9	231-152-8	Cadmio y sus compuestos	X
(7)	85535-84-8	287-476-5	C <sub>10-13</sub> -cloroalcanos (**)	X
(8)	470-90-6	207-432-0	Colofenvinfos	
(9)	2921-88-2	220-864-4	Cloropirifos	(X) (***)
(10)	107-06-2	203-458-1	1,2-dicloroetano	
(11)	75-09-2	200-838-9	Diclorometano	
(12)	117-81-7	204-211-0	Di(2etilhexil)ftalato (DEHP)	(X) (***)
(13)	330-54-1	206-354-4	Diurón (X) (***)	
(14)	115-29-7	204-079-4	Endosulfán	(X) (***)
	959-98-8	ikke relevant	(alfa-endosulfán)	
(15)	206-44-0	205-912-4	Fluoranteno (****)	
(16)	118-74-1	204-273-9	Hexaclorobenceno	X
(17)	87-68-3	201-765-5	Hexaclorobutadieno	X
(18)	608-73-1	210-158-9	Hexaclorociclohexano	X
	58-89-9	200-401-2	(gamma-isómetro, lindano)	
(19)	34123-59-6	251-835-4	Isoproturón	(X) (***)
(20)	7439-92-1	231-100-4	Plomo y sus compuestos	(X) (***)
(21)	7439-97-6	231-106-7	Mercurio y sus compuestos	X
(22)	91-20-3	202-049-5	Naftaleno	(X) (***)
(23)	7440-02-0	231-111-4	Níquel y sus compuestos	
(24)	25154-52-3	246-672-0	Nonifenoles	X
	104-40-5	203-199-4	(4-(para)-nonifenol)	
(25)	1806-26-4	217-302-5	Octilfenoles	(X) (***)
	140-66-9	no aplicable	(para-ter-octilfenol)	
(26)	608-93-5	210-172-5	Pentaclorobenceno	X
(27)	87-86-5	201-778-6	Pentaclorofenol	(X) (***)
(28)	no aplicable	no aplicable	Hidrocarburos poliaromáticos	X
	50-32-8	200-028-5	(Benzo(a)pireno)	
	205-99-2	205-911-9	(Benzo(b)fluoranteno),	
	191-24-2	205-883-8	(Benzo(g,h,i)perileno),	
	207-08-9	205-916-6	(Benzo(k)fluoroanteno),	
	193-39-5	205-893-2	(Indeno(1,2,3-cd)pireno)	
(29)	122-34-9	204-535-2	Simazina	(X) (***)
(30)	688-73-3	211-704-4	Compuestos del tributiltín	X
	36643-28-4	no aplicable	(Tributiltín catión)	
(31)	12002-48-1	234-413-4	Triclorobencenos	(X) (***)
	120-82-1	204-428-0	(1,2,4-triclorobenceno)	
(32)	67-66-3	200-663-8	Triclorometano (cloroformo)	
(33)	1582-09-8	216-428-8	Trifuralina	(X) (***)

<sup>368</sup> El art.16 establece la necesidad de una estrategia de lucha contra la contaminación del agua, una de cuyas actuaciones es el establecimiento de una lista de sustancias prioritarias que constituiría, una vez aprobada, el Anexo X de la Directiva (art.16.11). En consecuencia, el texto original de la Directiva, publicado en diciembre de 2000, dejaba este Anexo pendiente de desarrollo.

Conforme a esta disposición, y tras diversas propuestas y dictámenes, con fecha 20 de diciembre de 2001 se tomó la Decisión nº 2455/2001/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DOCE 15.12.2001) por la que se aprueba la lista de sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas, y por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE. Esta Decisión consta de 21 Considerandos, los 5 artículos que siguen, y el mencionado anexo, que se incluye así a la Directiva.

## Final Report

*Artículo 1. Se aprueba la lista de sustancias prioritarias, incluidas las sustancias identificadas como sustancias peligrosas prioritarias, que se contempla en los apartados 2 y 3 del artículo 16 de la Directiva 2000/60/CE. Dicha lista, que se detalla en el anexo de la presente Decisión, se añade a la Directiva 2000/60/CE como anexo X.*

*Artículo 2. La lista de sustancias prioritarias establecida en virtud de la presente Decisión sustituirá a la lista de sustancias que figura en la Comunicación de la Comisión de 22 de junio de 1982.*

*Artículo 3. A fin de garantizar el examen de todas las sustancias potencialmente prioritarias, la Comisión y los Estados miembros garantizarán la puesta a disposición de los datos relativos a las sustancias y a las exposiciones necesarios para la ejecución del procedimiento COMMPS.*

*Artículo 4. La presente Decisión entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas.*

*Artículo 5. Los destinatarios de la presente Decisión serán los Estados miembros. Directiva 2000/60/CE. Análisis de trasposición y procedimientos de desarrollo. v1.0*

*(\*) En los casos en que se han seleccionado grupos de sustancias, se citan sustancias representativas típicas individuales como parámetros orientativos (entre paréntesis y sin número). Los controles que se establezcan irán dirigidos a estas sustancias individuales, sin perjuicio de que puedan incluirse, en su caso, otras sustancias representativas individuales.*

*(\*\*) Estos grupos de sustancias incluyen normalmente un número considerable de compuestos individuales. En la actualidad, no es posible establecer parámetros indicativos apropiados.*

*(\*\*\*) Esta sustancia prioritaria está sujeta a estudio para su identificación como posible "sustancia peligrosa prioritaria". La Comisión presentará al Parlamento Europeo y al Consejo una propuesta para su clasificación final en un plazo no superior a 12 meses tras la aprobación de esta lista. Esta revisión no afectará al calendario establecido en el artículo 16 de la Directiva 2000/60/CE para las propuestas de controles de la Comisión.*

*(\*\*\*\*) Sólo pentabromobifeniléter (número CAS 32534-81-9).*

*(\*\*\*\*\*) El fluoroanteno figura en la lista como indicador de otros hidrocarburos poliaromáticos más peligrosos.*

*(1) CAS: Número de registro del Chemical Abstract Services*

*(2) Número UE: Número de registro del catálogo europeo de sustancias químicas comercializadas o de la lista europea de sustancias químicas notificadas (ELINCS).*

### 5.3. CALIDAD DEL AGUA DISPONIBLE

El estudio detallado de las características físico-químicas de los efluentes de la Estación Depuradora de Vall de Uxó es una de las tareas previstas en la segunda anualidad de este proyecto; no obstante, se han realizado algunos análisis para tener una idea preliminar acerca de su naturaleza.

El 10 de febrero de 2012 se realizó un análisis (Laboratorio Aklabs) cuyos resultados más notables son los siguientes (tabla 15):

Tabla 15. Análisis del efluente de la EDAR de Vall de Uxó

Parámetro	Resultado	Unidades
Turbidez	1,77	NTU
pH	7,64	u pH
C.E. 25°	1408	µS/cm
Sólidos en suspensión	7,2	mg/L
DQO	72	mg O <sub>2</sub> /L
DBO <sub>5</sub>	16	mg O <sub>2</sub> /L
Nitratos	46,9	mg/L
Nitrógeno total	46,0	mg N/L
Cloruros	156	mg/L
Fósforo total	3,7	mg P/L
Sulfatos	204	mg/L
Plomo	0,27	mg/L
Cinc	2,42	mg/L
Boro	0,16	mg/L

## Final Report

Sodio	95	Mg/L
Calcio	102	mg/L
Magnesio	45	mg/L
Nematodos intestinales	Ausencia	
Escherichia Coli	3	ufc/100 mL

Los valores de turbidez, sólidos en suspensión, nematodos intestinales y Escherichia Coli cumplen con los límites establecidos en el RD 1620/2007 para usar el agua en recarga artificial, tanto por percolación localizada a través del terreno como por inyección directa. Por el contrario, las concentraciones de nitratos y de nitrógeno total superan lo establecido en ese mismo decreto.

El 9 de julio de 2012 se analizaron (Laboratorio IPROMA) 64 sustancias de las recogidas en las listas de sustancias prioritarias. Los positivos obtenidos (valores superiores al límite de cuantificación) fueron los siguientes (tabla 16):

Tabla 16. Sustancias prioritarias en el efluente de la EDAR de Vall de Uxó

	Parámetro	Lím. Cuant. (µg/L)	Resultado (µg/L)
Plaguicidas organoclorados	b - HCH	0,010	0,012
	Lindano	0,010	0,012
	p,p-DDE	0,010	0,012
	p,p-DDD	0,010	0,032
	p,p-DDT	0,010	0,030
	o,p-DDT	0,010	0,036
	Oxifluorfen	0,010	0,028
Plaguicidas organofosforados	Clorpirifos	0,010	0,60
	Clorveninfos	0,010	0,24
Plaguicidas nitrogenados	Molinate	0,020	2,6
	Terbutilazina	0,020	0,26
HPA	Criseno	0,010	0,014
	Pireno	0,010	0,020
	Fenantreno	0,010	0,036
	Fluoranteno	0,010	0,020
	Benzo (a) Antraceno	0,010	0,012

Asimismo, en julio de 2012 se han analizado contaminantes emergentes (IUPA, Universitat Jaume I) utilizando GC-QTOF-MS y LC-QTOF-MS.

Los compuestos encontrados mediante cromatografía líquida son los siguientes (tabla 17):

Tabla 17. Compuestos emergentes en el efluente de la EDAR de Vall de Uxó encontrados mediante cromatografía líquida

Familia	Compuesto
Plaguicidas	Simazina
	Terbutilazina
	Desetil-terbutilazina
	Terbutrina
	Carbendazima
	Thiabendazol
	Clorfenvinfos
	Propiconazole
Fármacos	Sulfamethoxazole (antibiótico bacteriostático)
	Ciprofloxacina (antibiótico)
	Diclofenac (analgésico e antiinflamatorio)
	Irbesartan (antihipertensivo)
	Valsartan (antihipertensivo)
	Carbamazepina (antiepiléptico)
	Ketoprofen (antiinflamatorio)
	Naproxen (antiinflamatorio)
	Phenazone (analgésico y antipirético)
	Ácido fenofibrato (reductor de triglicéridos)
	Diazepam (ansiolítico)
	Oxazepam (ansiolítico)
Gemfibrozil (reductor de triglicéridos)	
Rayos X	Iopromide (contraste)
Drogas	Benzoylcegonine (metabolito de la cocaína)

Los compuestos detectados mediante cromatografía de gases son los siguientes (tabla 18):

Tabla 18. Compuestos emergentes en el efluente de la EDAR de Vall de Uxó encontrados mediante cromatografía de gases

Familia	Compuesto
Plaguicidas	Desetil-terbutilazina
	Terbutilazina
	Terbutrina
	Etil clorpirifos
	Etil paration
	Diazinon
	Fipronil
	Propiconazole
	DEET
	Bayrepel

## 5.4. PROPUESTA DE ACTUACIÓN

### 5.4.1. Sistema de recarga elegido

Las pruebas piloto de recarga se realizarán mediante inyección en pozos, con dos modalidades: inyección profunda en pozos penetrantes e inyección en pozos no penetrantes.

La inyección profunda es de mayor rendimiento y, por tanto, los efectos hidrodinámicos pueden ser más pronunciados y mostrarse de manera más evidente. El principal inconveniente asociado es la elevada exigencia de calidad del agua de recarga, que se pretende resolver mediante tratamiento terciario consistente en desalinización mediante electrodiálisis reversible y posterior desinfección. Así se garantiza no sólo que se rebaja la salinidad del agua de recarga y se eliminan sustancias contaminantes sino que se consigue eliminar la turbidez que podría provocar colmatación y la consiguiente disminución de la eficiencia del sistema.

La inyección en pozos no penetrantes es una alternativa complementaria que pretende aprovechar parcialmente la capacidad de depuración de la zona no saturada. La profundidad de los pozos será del orden de 20 a 25 metros para tener al menos cinco metros de recorrido del agua a través de la zona no saturada. En este caso, las exigencias de calidad del agua de recarga no son tan elevadas pero persisten dos condiciones que deben cumplirse en cualquier caso: reducir la salinidad del agua de recarga para buscar mayor eficiencia y eliminar la turbidez para evitar procesos de *clogging* que pudieran colmatar los pozos.

### 5.4.2. Emplazamiento seleccionado

Se han preseleccionado dos pozos para llevar a cabo el ensayo de recarga en profundidad: pozo nº 6 de la red de observación (pozo Rambleta 2) y pozo de recarga de la CJH (mapa nº 15).

En la tabla 19 se resumen las características conocidas de ambos pozos.

Tabla 19. Características básicas de los pozos preseleccionados para recarga

		Rambleta nº 2	Pozo CHJ
Coordenadas	X	741.170	740.250
	Y	4.412.732	4.412.100
	Z	30,70	50
Profundidad (m)		42,16 / 65	100 ?
Caudal (L/s)		66,6	
Descenso dinámico (m)		11	
Profundidad al agua (m)		29,7	45
Penetración (m)		12,46	60
Caudal específico (L/s/m)		6,1	
Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)		610	

El pozo Rambleta 2 es propiedad de la Cooperativa de Regantes de Vall de Uxó. Realmente, existen dos pozos separados entre sí unos cinco metros. Uno de ellos, el más antiguo, es un pozo abierto, de 42 metros de profundidad, y el segundo es un sondeo perforado hasta unos 65 metros de profundidad. Desde hace años no se

utilizan debido a la elevada salinidad del agua, pero tienen la bomba instalada en ambos casos.

La columna litológica sintética del pozo más profundo es la siguiente:

0-45 Cantos de arenisca y gravas con arcilla

45-47 Grava suelta

47-57 Cantos blandos de arenisca

57-63 Cantos duros de arenisca

63-65 Grava suelta

No ha sido posible realizar testificación en el sondeo más profundo para mejorar el conocimiento de la columna litológica y de las características constructivas de la obra, sobre todo la posición de la rejilla.

Por razones de operatividad se tiene previsto introducir el agua de recarga en el pozo abierto, y utilizar la perforación como piezómetro de observación si se pudiera colocar un *diver* en su interior.

Estos pozos se localizan en el centro del área de mayor salinización donde, además, los niveles piezométricos están más deprimidos.

El denominado pozo de recarga de la CHJ es una de las dos perforaciones que se realizaron expresamente para recargar el acuífero con aguas excedentes del río Belcaire, almacenadas en la balsa de 2 hm<sup>3</sup> de capacidad situada en el polígono industrial La Mezquita. Por razones administrativas, estos dos pozos aún no han sido utilizados y no se descarta que pudieran reemplazar al pozo Rambleta 2 en la experiencia piloto si se obtuviera la autorización pertinente.

En este caso, la recarga no se haría sobre el área más salinizada sino en el borde occidental de la misma, de manera que se induciría un flujo lateral a lo largo de todo el espesor saturado del acuífero que aguas abajo alcanzaría los sectores más afectados por la salinización.

Sin perjuicio de que se construyan piezómetros cercanos al pozo de recarga, la ubicación del mismo permite esperar que en los pozos nº 12, 13 y 14, que se encuentran alineados a lo largo de una teórica línea de flujo, puedan observarse los efectos que la recarga causa en el seno del acuífero.

La recarga por medio de pozos no penetrantes tiene carácter experimental y, como ya se ha apuntado, se realizará con dos objetivos: evaluar la capacidad de admisión de los pozos y caracterizar los procesos modificadores que puede sufrir el agua de recarga en su corto tránsito a lo largo de la zona no saturada. Quiere esto decir que, al menos en sus fases iniciales, el volumen de recarga no será muy alto y que, por consiguiente, su efecto sobre el acuífero puede ser inapreciable. Por ello, el emplazamiento del pozo de recarga no es crítico y puede hacerse en cualquier lugar cuyas características no difieran excesivamente de las generales de la zona. Se considera que el principal factor a tener en cuenta para ubicar el pozo de recarga es la facilidad para conducir el agua hasta el propio pozo, evitando de esta manera la realización de obras que pudieran resultar gravosas y de baja eficacia en el caso de que los resultados obtenidos no fueran del todo satisfactorios. Por ello, provisionalmente se proyecta construir el pozo en algún lugar no determinado pero cercano a la posición de la planta de tratamiento terciario que estará en las inmediaciones de la EDAR de Vall de Uxó.

### 5.4.3. Caudales de recarga

Los caudales operativos de recarga están condicionados por el sistema de recarga escogido, por la disponibilidad de agua y por la capacidad de tratamiento terciario de la misma.

La recarga por inyección directa al acuífero no tiene apenas limitaciones para el caudal de recarga, ya que se puede asumir que los caudales de admisión en un pozo penetrante pueden ser del mismo orden que los caudales de bombeo de dicho pozo. Esto significa que se puede establecer que los caudales de admisión sean del orden de 50 L/s, que equivale a 180 m<sup>3</sup>/hora. Sin embargo, la planta de electrodiálisis reversible que se tiene previsto utilizar tiene una capacidad más reducida, del orden de 40 m<sup>3</sup>/hora. Por consiguiente, el caudal de recarga deberá ajustarse al caudal tratado en la planta. Eventualmente, el caudal de recarga podría ser superior si el agua tratada se mezclase con agua bruta o con agua de otra procedencia, como podría ser el agua existente en la balsa de acumulación de caudales excedentarios invernales situada junto al río Belcaire.

En el caso de que la recarga se llevara a cabo de manera ininterrumpida, el volumen diario infiltrado sería del orden de 960 m<sup>3</sup>/día. Por consiguiente, para alcanzar el volumen inicialmente previsto de 200.000 m<sup>3</sup> sería necesario prolongar la inyección de agua durante más de seis meses.

Tentativamente, el agua tratada podría mezclarse con agua procedente de la balsa de acumulación, en una relación aproximada 1:2, de manera que por cada metro cúbico de agua tratada se utilizaran dos metros cúbicos de agua superficial. Esto significa que el caudal de recarga podría incrementarse hasta 120 m<sup>3</sup>/hora (2880 m<sup>3</sup>/día), de manera que bastarían prácticamente dos meses para alcanzar el volumen total previsto en la experiencia piloto. Esta opción presenta claras ventajas, como son:

- Podría disponerse de aguas residuales depuradas en épocas de baja intensidad de riego
- Al aumentar los caudales de recarga el efecto hidrodinámico causado puede ser más evidente y, por tanto, se puede caracterizar mejor
- El tiempo de utilización de la planta de electrodiálisis reversible se reduce considerablemente (de seis a dos meses)
- El coste unitario del metro cúbico se rebaja notablemente

La recarga a través de pozos no penetrantes está seriamente limitada por la presumible reducida tasa de admisión de los mismos. Se tiene previsto ejecutar una perforación que no llegue a alcanzar la zona no saturada y cuyo extremo se sitúe en niveles de alta permeabilidad para facilitar así la penetración del agua. A falta de realizar las pruebas de admisión, se puede asumir que los caudales sean sensiblemente inferiores a los correspondientes a los pozos de inyección profunda y que los valores pueden estar comprendidos entre 2 y 4 litros /segundo. Si se acepta un caudal medio de admisión de 3 litros/segundo, el máximo caudal diario que se podría inyectar es de 260 m<sup>3</sup>. Para obtener un caudal significativo de recarga sería necesario disponer de varios pozos, cuatro para conseguir un caudal similar al del pozo profundo recargado con agua tratada y once para igualar al caudal recargado utilizando además agua superficial de la balsa.

#### 5.4.4. Tratamiento terciario

Como ya se ha comentado, las exigencias de calidad del agua de recarga requieren someter los efluentes a tratamientos que en unos casos eliminen sustancias no permitidas y en otros rebajen sus concentraciones hasta los niveles tolerados.

El estudio detallado de la calidad del agua de recarga y su variabilidad se tiene previsto realizar a partir de octubre de 2012, si bien ya se dispone de una información inicial que permite evaluar las necesidades futuras.

Se asume como premisa inicial la necesidad de rebajar la salinidad del agua disponible para recarga, que es del orden de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En el momento de redactar este informe parece que la opción más viable será la instalación de una planta móvil de electrodiálisis reversible de doble paso, que permite eliminar hasta el 75% de la salinidad, con una capacidad de producción de 40  $\text{m}^3/\text{hora}$ . De esta manera, la CE del agua de recarga sería del orden de 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

No puede despreciarse tampoco la alternativa ya apuntada en el epígrafe anterior de mezclar esta agua con el agua almacenada en la balsa de acumulación de la CHJ. La CE del agua de la balsa, que procede de la escorrentía superficial asociada a eventos lluviosos, es menor de 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que permitiría establecer distintos rangos de mezcla que, en todo caso, conseguirían agua de salinidad muy inferior a la existente en el acuífero.

Asimismo, será necesario someter al agua de recarga, sea cual sea su procedencia, a un proceso de desinfección para eliminar la presencia de microorganismos.

El diseño del tratamiento terciario que se va a aplicar está siendo objeto de estudio en el momento de redactar este informe y todavía no se tiene el detalle suficiente sobre el procedimiento a seguir.

#### 5.4.5. Plan de seguimiento y control

Con objeto de evaluar los efectos hidrodinámicos e hidrogeoquímicos que la recarga artificial va a provocar en el acuífero se ha diseñado un plan de seguimiento y control que incluye una red general y una red específica.

La red general está formada por los mismos puntos que hasta ahora han sido controlados (32) en las campañas previas. En ellos, y con periodicidad bimestral, se realizará una campaña piezométrica que estará apoyada por el registro continuo de niveles llevado a cabo mediante los *divers* instalados en doce pozos. También bimestralmente se tomarán muestras de agua para la determinación *in situ* de parámetros físico-químicos como el pH, la CE, la temperatura y el potencial redox (Eh). Asimismo se analizarán los cloruros, como ión conservativo indicador del grado de salinidad. En la campaña de la primera semana de octubre de 2012 y en abril de 2013 se analizarán, además, el resto de los iones mayoritarios y los iones minoritarios boro, bromuro, estroncio, litio y mercurio. En seis pozos se seguirá obteniendo registro continuo de temperatura y CE por medio de los *divers* instalados. Asimismo, en los pozos seleccionados se continuará con los registros verticales de CE y temperatura, con periodicidad también bimestral.

La red específica está diseñada para controlar el efecto de la recarga en el entorno más cercano al punto de infiltración durante el periodo de recarga. Sea cual fuere el pozo seleccionado para efectuar la recarga (Rambleta 2 o pozo CHJ) se construirá un

máximo de cuatro piezómetros a su alrededor, dispuestos en forma de cruz y a una distancia aproximada de diez metros del pozo de inyección (figura 42).

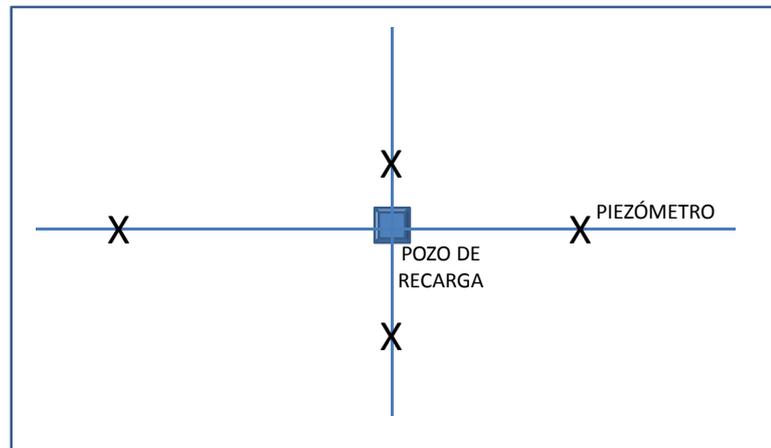


Figura 42. Distribución de los piezómetros alrededor del pozo de recarga

Los piezómetros tendrán 45–50 m de profundidad (aproximadamente 15-20 metros de columna de agua), con un diámetro de 250 mm y revestidos con tubería de PVC de 120 mm de diámetro. El espacio anular contendrá un empaque de gravas síliceas clasificadas.

En cada uno de los piezómetros se instalará un *diver* para obtener datos en continuo de CE, nivel del agua y temperatura. Con periodicidad quincenal se tomarán muestras a cinco metros bajo el nivel del agua en las que se analizará el ión cloruro. Mensualmente se analizarán iones mayoritarios, boro, microorganismos, sustancias prioritarias y contaminantes emergentes. También se realizarán mensualmente registros verticales de CE y temperatura en los diferentes piezómetros.

En la prueba piloto de inyección indirecta a través de pozos no penetrantes, además del propio pozo de unos 20– 25 metros de profundidad, se construirán dos piezómetros de control, uno a un metro del pozo y otro a 5 metros, alineados en la dirección del flujo (figura 43).

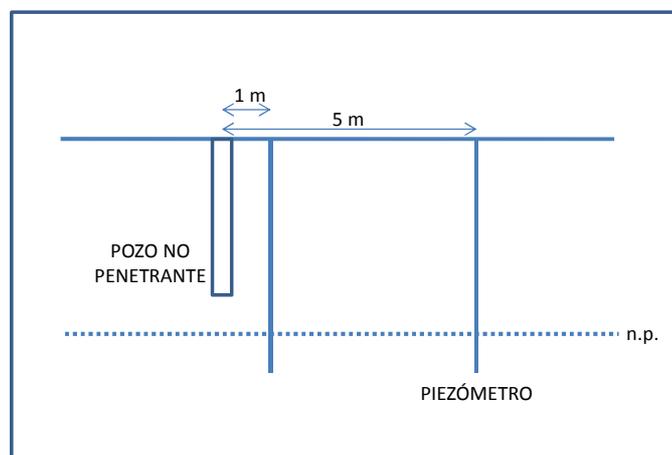


Figura 43. Esquema de inyección a través de pozos no penetrantes

En los piezómetros de control se va a realizar el mismo seguimiento que en el caso de los piezómetros de la recarga directa.

El plan de seguimiento y control se va a completar, en ambos casos, con un control constante del agua de recarga. Para ello, antes de la entrada en el pozo se va a colocar una sonda multiparamétrica HI 9829, para el control en continuo de temperatura, CE, turbidez, pH y oxígeno disuelto. Además, mensualmente se analizarán iones mayoritarios, boro, microorganismos, sustancias prioritarias y contaminantes emergentes. En la tabla 20 se esquematiza el plan de seguimiento y control, donde se indican los dispositivos instalados y la frecuencia de muestreo y análisis de cada parámetro en cada uno de los casos.

Tabla 20. Equipamiento y frecuencia de análisis de cada parámetro

	Red de observación	Agua de entrada	Piezómetros	
			Inyección directa	Inyección pozos no penetrantes
Instalación Diver	X		X	X
Instalación sonda HI 9829		X		
Ión cloruro	Bimestral		Quincenal	Quincenal
Iones mayoritarios	Bimestral	Mensual	Mensual	Mensual
Boro	Bianual	Mensual	Mensual	Mensual
Control microbiológico	Bimestral	Mensual	Mensual	Mensual
Sustancias prioritarias	Bimestral	Mensual	Mensual	Mensual
Contaminantes emergentes	Bimestral	Mensual	Mensual	Mensual
Iones minoritarios	Bianual			
Registros verticales	Bimestral		Mensual	Mensual

En la tabla 21 se muestra el cronograma de las actividades del plan de control y seguimiento.

Tabla 21. Periodicidad del muestreo y análisis de cada parámetro

		AÑO 2012			AÑO 2013								
		O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S
RED DE OBSERVACIÓN	Ión cloruro	X		X		X		X		X		X	
	Mayoritarios	X						X					
	Boro	X						X					
	Microbiológico							X					
	Sustancias prioritarias	X						X					
	Contaminantes emergentes	X						X					
AGUA DE ENTRADA	Ión cloruro												
	Mayoritarios		X	X	X	X	X	X					
	Boro		X	X	X	X	X	X					
	Microbiológico		X	X	X	X	X	X					
	Sustancias prioritarias		X	X	X	X	X	X					
	Contaminantes emergentes		X	X	X	X	X	X					
INYECCIÓN DIRECTA	Ión cloruro		X	X	X	X	X	X					
	Mayoritarios		X	X	X	X	X	X					
	Boro		X	X	X	X	X	X					
	Microbiológico		X	X	X	X	X	X					
	Sustancias prioritarias		X	X	X	X	X	X					
	Contaminantes emergentes		X	X	X	X	X	X					
INYECCIÓN POZOS NO PENETRANTES	Ión cloruro		X	X	X	X	X	X					
	Mayoritarios		X	X	X	X	X	X					
	Boro		X	X	X	X	X	X					
	Microbiológico		X	X	X	X	X	X					
	Sustancias prioritarias		X	X	X	X	X	X					
	Contaminantes emergentes		X	X	X	X	X	X					



**Capítulo 6**  
**MISCELÁNEA**



## 6.1. GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS PREVISTOS

La idoneidad del emplazamiento escogido para llevar a cabo la experiencia piloto de la segunda fase del proyecto ha permitido avanzar más de lo previsto en la consecución de los objetivos parciales.

Esto es debido básicamente a tres factores: existencia de una buena infraestructura hidrogeológica (elevado número de captaciones), notable grado de conocimiento previo del área y apoyo de los organismos colaboradores y, en especial, de las comunidades de usuarios agrícolas de la zona.

Los objetivos parciales que estaba previsto alcanzar en la fase I del proyecto eran los siguientes:

- Establecer el estado del arte sobre la problemática de la recarga con aguas residuales
- Identificar objetivos potenciales en el ámbito geográfico de actuación
- Seleccionar el área piloto
- Caracterizar hidrogeológicamente el área piloto
- Diseñar los sistemas de recarga
- Establecer el plan de seguimiento y control

Las técnicas de recarga artificial eran bien conocidas por el equipo de trabajo antes de comenzar este proyecto, pero ha sido necesario *actualizar los conocimientos* poniendo énfasis en las especificaciones inherentes a la utilización de aguas regeneradas para llevar a cabo la recarga. Aspectos técnicos como el mayor riesgo de colmatación de los sistemas de recarga, aspectos sanitarios como el manejo de agentes contaminantes específicos o aspectos normativos, especialmente exigentes, han sido objeto de estudio mediante la recopilación de literatura científica reciente y el contacto con grupos de investigación implicados en proyectos afines.

La *identificación de objetivos potenciales*, es decir, de áreas que reunieran las condiciones adecuadas para llevar a cabo el proyecto, ha requerido un considerable esfuerzo. Así, se ha recopilado información hidrogeológica de todas las masas de agua costeras existentes en la Comunidad Valenciana, con especial interés en la situación actual del proceso de intrusión marina y en la caracterización de parámetros hidrodinámicos que pudieran ser relevantes para llevar a cabo recarga artificial. Asimismo, se han considerado otros factores como el grado de conocimiento previo del área y la existencia de infraestructura hidrogeológica. Por otra parte, también se ha recopilado información sobre las instalaciones de depuración de aguas residuales, caudales depurados, calidad obtenida y disponibilidad de aguas regeneradas. Toda esta información se recoge en fichas, cuyo contenido está descrito en el epígrafe 2.4, que se incluyen en el Anexo 1 del presente informe.

La *selección del área piloto* se ha realizado a partir de los datos recogidos en las fichas de las masas de agua subterránea y se ha basado en criterios técnicos y operativos. La elección del área de la Rambleta, en el término municipal de Vall de Uxó (Castellón), ha obedecido a razones cimentadas en el buen conocimiento previo de las características hidrogeológicas del área, la existencia de una buena infraestructura hidrogeológica, la disponibilidad de aguas residuales de relativa baja salinidad y la

buena disposición de las comunidades agrarias locales y de los organismos de la administración hídrica local, regional y estatal.

La *caracterización del área piloto* ha consistido en la recopilación de información geológica, hidrogeológica e hidrogeoquímica sobre el área, tal como inventario de puntos de agua, columnas litológicas de pozos y sondeos, así como series históricas de medidas piezométricas y de calidad. Con los datos obtenidos ha sido posible establecer un modelo conceptual hidrogeológico de detalle así como emitir una hipótesis plausible sobre la hidrodinámica particular del proceso de intrusión marina que afecta a la zona. Para apoyar estas teorías y profundizar en el conocimiento pormenorizado se ha realizado una campaña de prospección geofísica por tomografía eléctrica y se han llevado a cabo, hasta la fecha, tres campañas piezométricas y de muestreo en la red de control diseñada al efecto con 32 puntos de agua, con nivelación de alta precisión. Asimismo se han instalado *divers* en once de esos puntos de agua para obtener medidas en continuo de niveles piezométricos, así como de la temperatura y de la CE del agua. En la campaña de abril de 2012 se analizaron iones mayoritarios, minoritarios y traza en las muestras de agua, que se repetirán en la próxima campaña de octubre. Con periodicidad mensual se realizan campañas de registros verticales de CE. Asimismo, se han analizado contaminantes emergentes y sustancias prioritarias en dos de los pozos de observación y en las aguas residuales urbanas locales.

La mejora del conocimiento del área ha permitido establecer el *diseño de los sistemas de recarga* más idóneos, que consisten en la inyección directa por medio de pozos y en la infiltración diferida a través de pozos no penetrantes construidos a tal efecto. Se han seleccionado a priori dos pozos para llevar a cabo la recarga, uno de ellos construido para ese fin por la administración hídrica y el otro un pozo agrícola actualmente en desuso. El pozo experimental no penetrante se construirá en las cercanías de la Estación Depuradora. En ambos casos, el agua residual utilizada para la recarga será sometida a un proceso terciario que incluye desalinización por electrodiálisis reversible y desinfección.

El *plan de seguimiento y control* consistirá en continuar con las campañas y las medidas ya programadas en la red de control y en la construcción de piezómetros junto a los pozos de recarga para estudiar con detalle los efectos hidrodinámicos e hidrogeoquímicos provocados.

## 6.2. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA QUE SE PRETENDE RECARGAR

En el epígrafe 5.4.3 (Caudales de recarga) se indica que el volumen de agua residual regenerada que se pretende introducir en el acuífero durante la experiencia piloto es de 200.000 m<sup>3</sup>. Para incrementar este volumen se tiene previsto utilizar también 400.000 m<sup>3</sup> de agua superficial almacenada en una balsa de 2 hm<sup>3</sup> de capacidad que tiene la administración hídrica en el área de trabajo. Esta agua superficial es de baja salinidad y su mezcla con el agua residual conseguiría rebajar sustancialmente el contenido salino del agua de recarga, lo que aumentaría la eficiencia del sistema. Por consiguiente, el volumen de recarga durante la segunda fase del proyecto será de 600.000 m<sup>3</sup>. El mencionado volumen de agua residual es cedido por los agricultores locales, que tienen la concesión administrativa de la misma, mientras que la disponibilidad de las aguas superficiales de la balsa requiere autorización expresa de la Confederación Hidrográfica del Júcar, todavía no solicitada oficialmente.

### **6.3. DETALLES SOBRE EL SISTEMA DE RECARGA A IMPLEMENTAR**

El sistema de recarga principal será la inyección a través de pozos penetrantes en el acuífero. Se han preseleccionado dos pozos de entre los existentes, uno de ellos construido para ese fin por la administración hídrica y el otro un pozo agrícola actualmente en desuso (Rambleta 2).

El pozo de recarga es uno de los dos que ha sido construido por ACUAMED para la Confederación Hidrográfica del Júcar en el marco del proyecto de recarga artificial con aguas del río Belcaire y separados entre sí 150 metros. Estos pozos están situados en la franja interior del área de la Rambleta, en la partida dels Pedregals.

Cada uno de estos pozos de recarga tiene una profundidad de 100 metros por lo que es totalmente penetrante en el acuífero. Tiene un diámetro de 500 mm y está entubado con tubería de PVC de 250 mm de diámetro, ciega hasta la profundidad de 45 metros y ranurada (luz = 2 mm) hasta los 95 metros de profundidad. Tanto los primeros cinco metros como los cinco últimos tienen el espacio anular cementado; el resto está empacado con grava silícea seleccionada. Están equipados con tubería piezométrica.

En el caso de utilizar uno de estos pozos para llevar a cabo la experiencia piloto de recarga se construirá un máximo de cuatro piezómetros alrededor del pozo de recarga a una distancia aproximada de diez metros del mismo (epígrafe 5.4.5). Los piezómetros tendrán 45 - 50 metros de profundidad (aproximadamente 15 - 20 metros de columna de agua), con un diámetro de 250 mm y revestidos con tubería de PVC de 120 mm de diámetro. El espacio anular contendrá un empaque de gravas silíceas clasificadas.

Si el pozo seleccionado para la experiencia fuera el Rambleta 2 el esquema de distribución de piezómetros sería semejante.

Complementariamente, se llevará a cabo un ensayo de recarga a través de pozos no penetrantes en el acuífero para aprovechar el poder autodepurador de la zona no saturada. Para ello se construirá un pozo de 500 mm de diámetro y entre 20 y 25 metros de profundidad, en función de su ubicación definitiva, con tubería de PVC ranurada de 300 mm de diámetro y empaque de gravas en el espacio anular. Para controlar el efecto de la recarga se construirán dos piezómetros de control, uno a un metro del pozo y otro a 5 metros, alineados en la dirección del flujo.

### **6.4. LECCIONES APRENDIDAS Y RECOMENDACIONES PARA AUMENTAR EL IMPACTO**

El elevado grado de cumplimiento de los objetivos del proyecto se debe sin duda a la conjunción de tres circunstancias bien definidas: la existencia de un equipo de trabajo estable y comprometido, el apoyo de las empresas, organismos e instituciones que colaboran en el proyecto y, sobre todo, la buena disposición y el compromiso de las comunidades agrarias locales que son, al fin y al cabo, los beneficiarios inmediatos del proyecto.

Si el proyecto alcanza el éxito que se pretende será debido al efecto sinérgico de la colaboración de los tres sectores implicados: organismos públicos de investigación, empresas e instituciones de la administración.

La primera fase del proyecto ha tenido el objetivo básico de construir la infraestructura científica necesaria para desarrollar la segunda fase de manera eficiente. En esta segunda fase que comienza en octubre de 2012 se llevarán a cabo las actuaciones de recarga y se

podrá, por tanto, evaluar cual es la repercusión real del proyecto en la mejora de la situación del acuífero y cual es el alcance y la repercusión de dicha mejora.

Asimismo, esta experiencia piloto permitirá evaluar la conveniencia de emprender en el futuro actuaciones de recarga de mayor envergadura.

En la medida en que la experiencia tenga éxito los impactos técnico, científico y social serán mayores.

## **6.5. RESUMEN FINANCIERO**

En el Resumen Ejecutivo se detalla cómo se han usado los fondos proporcionados por The Coca-Cola Foundation durante la primera anualidad.

Es necesario apuntar que ha existido un remanente económico ya que, por una parte, no se han contabilizado algunos gastos realizados en las últimas semanas y, por otra, se han preservado fondos para garantizar la viabilidad de la segunda fase, en la que se tiene que ejecutar obras costosas (piezómetros, un pozo y conducciones) y se debe someter el agua residual a tratamiento terciario.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arche, A y López-Gómez, J. (1992). Las unidades litoestratigráficas del Pérmico y Triásico inferior y medio en el sector SE de la Cordillera Ibérica Estudios Geológicos, Vol 48, 3-4
- Ballesteros, B. J. (2003). Estado y evolución de los procesos de intrusión marina en la UH 08.38. Plana de Gandia-Denia (Valencia-Alicante, España). Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: Países Mediterráneos. Madrid, I. 585-596.
- Ballesteros, B.J. (2003). Los humedales de la provincia de Castellón en el Catálogo de zonas húmedas. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de humedales: Litoral mediterráneo. Ed.: J.M. Fornés y M.R. Llamas. Fundación Marcelino Botín. ISBN: 84-95516-62-4. Ediciones Mundi-Prensa. ISBN: 84-8476-097-9. Madrid. pp 25-36.
- Ballesteros, B.J., López, J. Grima, J. (2003). Estado y evolución de los procesos de intrusión marina en la U.H. 08.47 Peñón de Montgó-Bernia (Alicante, España). Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: Países Mediterráneos. Madrid, I. 597-608.
- Ballesteros, B.J., López, J. Grima, J. García, O. Gago, M. (2001). Recuperación de la calidad del acuífero costero de la Plana de Jávea mediante la explotación sostenible de sus recursos. Investigación, gestión y recuperación de acuíferos contaminados. Madrid, I. 183-194.
- Ballesteros, B. J.; López Gutiérrez, J. C. y Martos, S. (2004). Tipología y características hidrogeológicas de las planas litorales del levante español. VIII Simposio de Hidrogeología, AEH. Zaragoza 18-22 de octubre de 2004. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Tomo XXVII. Madrid, pp. 235-249.
- Boi, M. (2003). Studio idrogeologico e strategie di gestione delle risorse idriche dell' acuífero della Piana di Castellón. Tesi di Laurea. Università degli Studi di Cagliari
- Canerot, J., Faure, Ph., Rahal, M. (1985). Massif du Desierto de las Palmas (Castellón). *Strata*, 2 (2):85-100
- CHJ (2007). Balances hídricos y evaluación del riesgo conforme al estado cuantitativo de las masas de agua subterránea de la Confederación Hidrográfica del Júcar: Informe interno. 66pp
- DGOH-IGME (1990). Unidades de la España peninsular e Islas Baleares. Informaciones y estudios nº 52. Centro de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid. 32 pp.
- DPA (2007). Estudio de la viabilidad del aprovechamiento de acuíferos costeros provinciales en usos urbanos.
- Escrig, I. (1995). Contaminación por metales pesados en la Plana de castellón. Tesis Doctoral. Universitat Jaume I
- EPSAR (2010). Memoria de gestión 2010. Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana. Conselleria de MediAmbient, Aigua, Urbanisme i Habitatge. Generalitat Valenciana.
- EPSAR (2011). Memoria de gestión 2011. Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana. Conselleria de MediAmbient, Aigua, Urbanisme i Habitatge. Generalitat Valenciana.
- Estrela, T., Maestu, J., Fidalgo, A., Pérez M.A., Fullana, J. y Pujante, A.M. (2004). *Júcar Pilot River Basin, Provisional Article 5. Report Pursuant to the Water Framework Directive*. CHJ, Valencia, 208 pp.
- Giménez, E. (1994). Caracterización hidrogeoquímica de los procesos de salinización en el acuífero detrítico costero de la Plana de Castellón. Tesis Doctoral. Universidad de Granada

- Gómez, J.D. 2003. Actualización del estado de la intrusión salina en la Plana de Sagunto (Valencia, España). *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: Países Mediterráneos. Madrid, I.* 87-93.
- Gutiérrez, G. Elizaga, E. Goy, J.L. Nieto, M. Robles, F. (1984). Memoria explicativa del mapa geológico de la provincia escala 1/200.000. Ed. Diputación Provincial de Valencia, Universidad de Valencia e Instituto geológico y Minero de España. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía. 298 pp.
- IGME (1973). Proyecto de investigación hidrogeológica del bajo y medio Júcar. Inédito.
- IGME, 1986. Proyecto para el establecimiento de las normas de explotación de los acuíferos en la zona de Gandía- Denia, Javea, y cabecera del Vinalopó (1984-1985). Inédito.
- IGME, 1988. Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización. Colección informe. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía. Madrid. 298 pp.
- ITGE, 1990. Estudio del proceso de contaminación del acuífero costero de Gandia-Denia por efecto de la intrusión del agua de mar. Tomo I. Memoria y Anejos. Inédito.
- IGME-DGA (2010). Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 8. Informe 8
- López Geta, J.A., Fernández, L., Navarrete, P., Ramos, G., Peinado, T., Barba-Romero, J., Rodríguez, L., Aragón, R., Azcón, A., Casas, S., Domingo, L., Bueno Bueno, D., Sobrino, J., García, J., Obartí, J. y Garay, P. (1988). *Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización.* Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 298 pp.
- López Gutiérrez J., Ballesteros, B.J. y García, O. (2010). *Identificación del origen del mercurio presente en las aguas subterráneas del acuífero detrítico costero de la Plana de Castellón* (2010). Boletín Geológico y Minero. 121 (3): 279-298
- López Gutiérrez, J. Ballesteros, B.J. y Grima J. 2003. Estado de la intrusión marina en la U.H. 08.26. Plana de Valencia Sur (sector oriental de la península Ibérica). *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: Países Mediterráneos. Madrid, I.* 575-584.
- López Gutiérrez, J.L. 2003. Estado de la intrusión marina en la U.H. 08.25. Plana de Valencia Norte (sector oriental de la península Ibérica). *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: Países Mediterráneos. Madrid, I.* 563-574.
- López Gómez, J. y Arche, A. (1992). Paleogeographical significance of the Röt (Anisian, Triassic) facies (Marines clays, muds and marfl Fm.) in the Iberian Ranges, Eastern Spain. *Pal. Pal.* 91:347-361
- Marecos do Monte, M.H., Angelakis, A.N., Asano, T. 1996. Necessity and basis for the establishment of European Guidelines on wastewater recycling and reuse in the Mediterranean Region. *WaterScience and Technology*, Vol. 33 (10-11): 303-316.
- Morell, I., Company, J., Morell, M. (2010). Methodological basis for Water Neutrality Projects. Case study: Colebega Plant (Valencia, Spain).
- Melgarejo, J. 2009. Efectos ambientales y económicos de la reutilización del agua en España. *Cim economía: Revista económica de Castilla-La Mancha*, Num. 15: 245-270.
- Pérez, A. (1979). El Cuaternario continental de la Plana de Castelló. *Cuad. Geogr.*, 24:39-54
- Prats, D., Melgarejo, J. 2006. Desalación y reutilización de aguas. Situación en la provincia de Alicante. Fundación Coepa para la formación.
- Prats, D., Melgarejo, J., Cases, V. 2009. Reutilización de aguas depuradas en la Comunidad Valenciana y la Región de Murcia. 4ª Reunión Programa ConsoliderTragua. Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales para la Gestión Sostenible. Alicante.
- Renau-Llorens, A. (2010). Elementos minoritarios y traza en la masa de agua subterránea 080.021 (Plana de Castellón). Origen y procesos asociados. Tesis Doctoral. Universitat Jaume I.

- Roselló, V.M. (1963). Notas preliminares a la morfología litoral del norte de Valencia. Saitabi, XIII
- Sáez, J. 2010. Caracterización físico-química de las aguas residuales. En: Reutilización de aguas regeneradas. Aspectos tecnológicos y jurídicos. Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua (IEA).
- Sanchis, E. (1990). Estudio de la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas de la provincia de Valencia. Origen, balance y evolución temporal. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. 332 pp.
- SGOP (1977). Estudio hidrogeológico de la Plana de Castellón. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo

**Anexo 1**

**Fichas de las masas de agua subterránea**



# CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRANEAS COSTERAS PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS CON AGUA DEPURADA COMO BARRERA HIDRÁULICA FRENTE A LA INTRUSIÓN MARINA

DEMARCACIÓN  
HIDROGRÁFICA **081 -  
JÚCAR**

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE  
RECURSOS  
**08.01 CENIA-MAESTRAZGO**

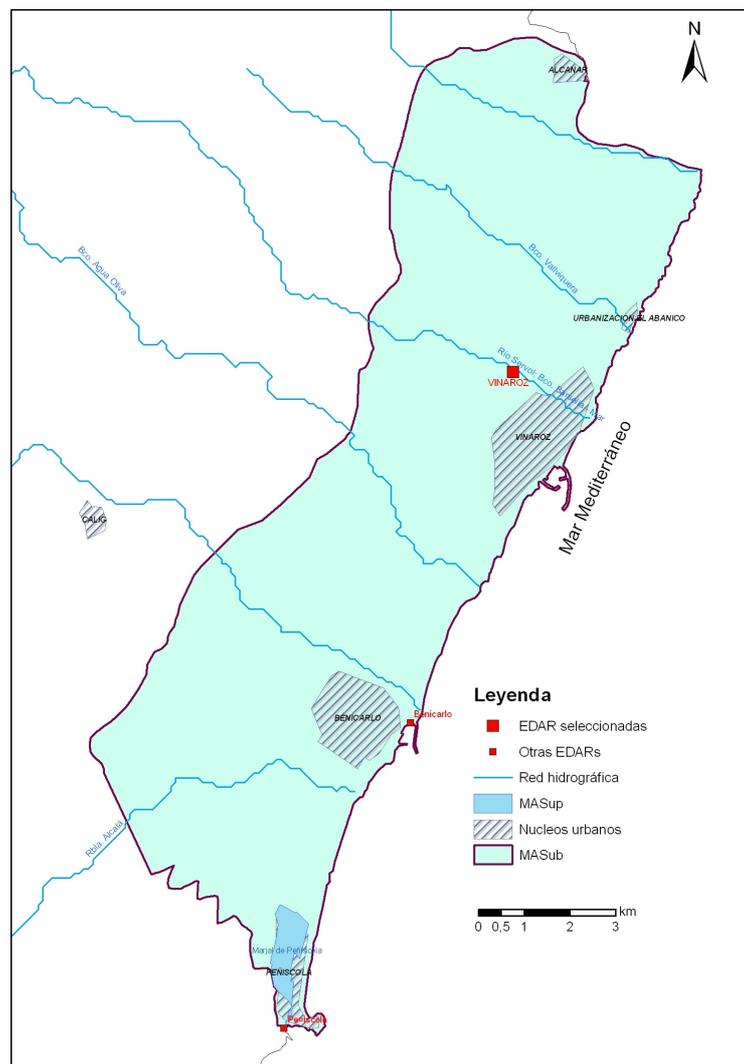
**MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA  
080.107 PLANA DE VINARÓZ**

## CARACTERIZACIÓN GENERAL

Comunidades Autónomas: Comunidad Valenciana  
Provincias: Castellón

Municipios: Vinaroz, Benicarló, Peñíscola

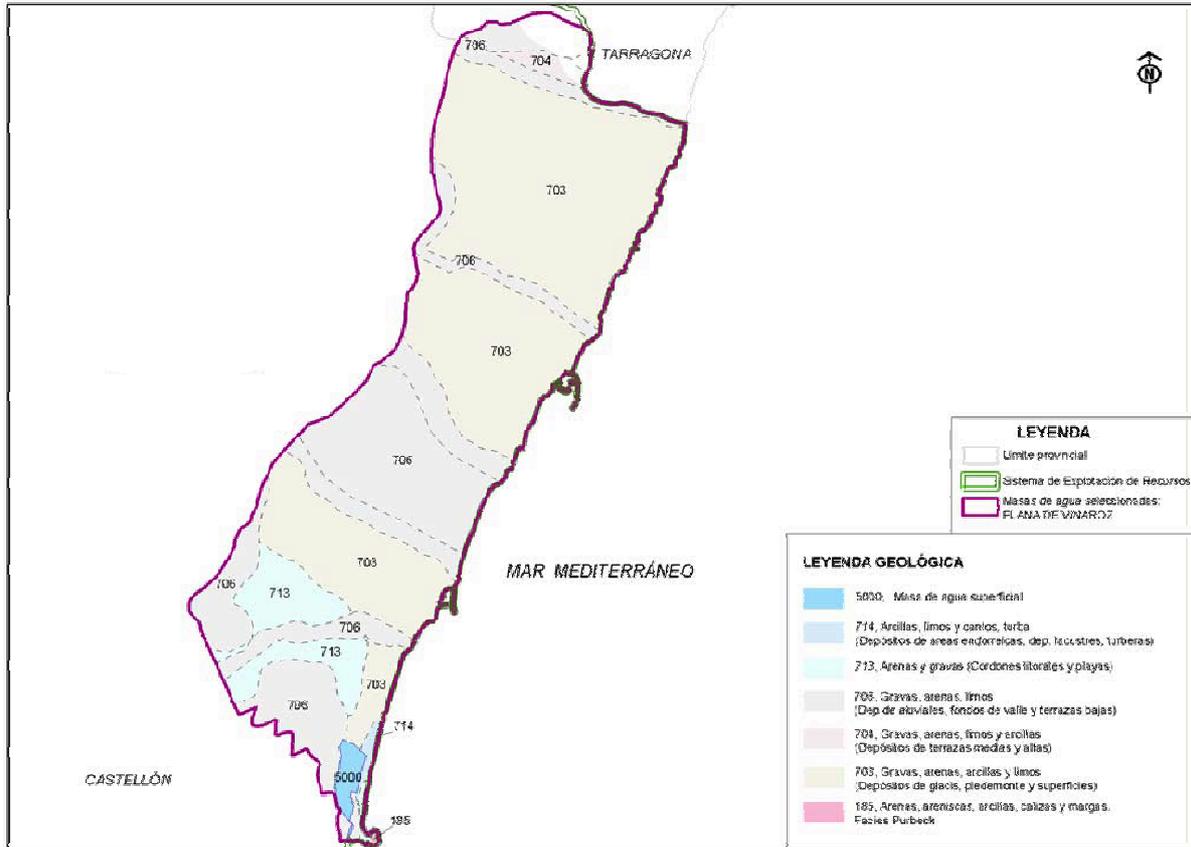
## PLANO DE SITUACIÓN:



La MASub Plana de Vinaroz tiene una extensión de 105,66 km<sup>2</sup> y una longitud de costa de 21 km. Se sitúa al norte de la provincia de Castellón, en el límite de esta provincia con Tarragona. Dentro de la MASub se ubican las poblaciones de Alcanar, Vinaroz, Benicarló y Peñíscola. Los principales ríos son: Cenia, Barranco de Vallviguera, Servol, Barranco de Agua Oliva, Cervera y Rambla Alcalá. En su parte sur, en la localidad de Peñíscola, se sitúa la Masa de Agua Superficial denominada Marjal de Peñíscola.

## CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

### PLANO GEOLÓGICO:



(IGME-DGA (2010). Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 8)

### ACUÍFEROS IMPLICADOS:

- Acuífero superior detrítico miocuatrnario, constituido por arenas, gravas y conglomerados con escasa proporción de arcillas. Su espesor oscila entre los 0-25 m en el área meridional del borde occidental y los 100-125 m en la zona de Vinaroz y sector nororiental.
- Acuífero inferior calizo mesozóico, constituido por calizas jurásicas (sector meridional) y cretácicas (sector norte). La profundidad a la que se encuentra está formación aumenta desde los bordes (25-50 m) hasta las inmediaciones de Vinaroz (350-400 m).
- Formación intermedia margocaliza miocena, constituida por margas y arcillas. El espesor aumenta desde 0 m en los bordes de la Plana a valores próximos a 250 m en las inmediaciones de Vinaroz, con un espesor medio del orden de 200-250 m.

(IGME. 1986. Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización.)

### Geometría acuífero detrítico Miocuatrnario (IGME, 1988; IGME-DGA, 2010)

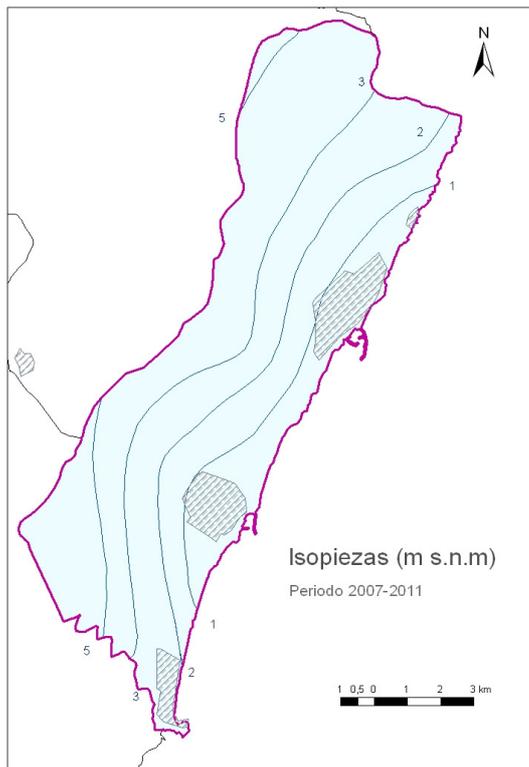
	(1)	(2)	(3)	
Norte	(a)		(p)	(1) Límites: abierto (a), cerrado (c), semipermeable (sp) (2) Flujos: entradas (e), nulo (n), salidas (s) (3) Tipo de contacto: permeable (p), mecánico (m), baja permeabilidad (bp)
Sur	(c)			
Este	(a)	(s)	mar	
Oeste	(a)	(e)	(bp)	

**Observaciones:** El acuífero detrítico miocuaternario queda limitado al norte por las calizas cretácicas de la Sierra de Montsiá que lo alimentan lateralmente. Por el Sur se encuentra desconectado de los macizos carbonatados de la Sierra de Irta y Valdanca por medio de la formación arcillosa miocena. En el sector occidental la plana limita con la M.A.S. 080.006 Plana de Cenja que la alimenta lateralmente, si bien los aportes deben ser reducidos dada la baja permeabilidad de los materiales miocuaternarios que constituyen ésta última.

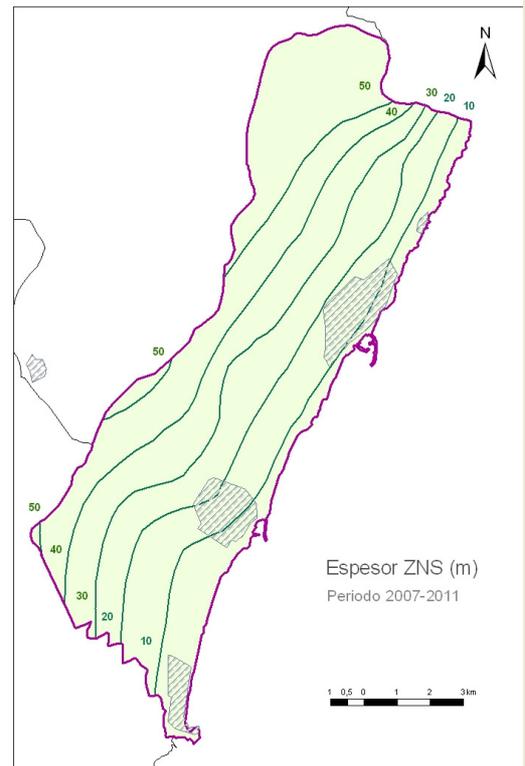
**Parámetros hidráulicos del acuífero detrítico:**

	mínimo	medio	máximo
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Porosidad</li> <li>▪ Permeabilidad o conductividad hidráulica (m/día)</li> <li>▪ Transmisividad (m<sup>2</sup>/día)</li> <li>▪ Coeficiente almacenamiento</li> <li>▪ Superficie piezométrica (m s.n.m.)</li> <li>▪ Espesor ZNS (m)</li> </ul>	<250	300-1.000	1.200
	<5%	5-10 %	15 %
	-4.51	2,63	27,42
	6,37	26,83	53,47

**Mapa piezométrico:**



**Mapa de la profundidad de la lamina de agua:**



## CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

**Parámetros físicoquímicos :** Valores medios (2007-2011)

C.E. (25°C): 1818  $\mu\text{S}/\text{cm}$  /  $T^{\circ}$ : 18,4 °C

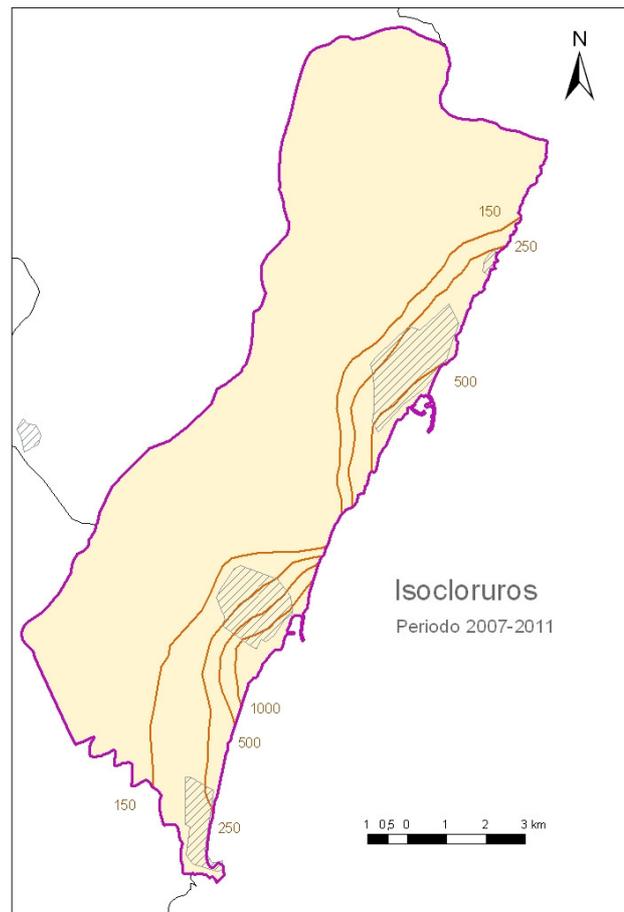
Bicarbonatos: 254 mg/L

Cloruro: 297 mg/L

Sulfato (2011): 159 mg/L

Nitrato: 121 mg/L

**Mapa de la concentración del ión cloruro:**



Se diferencian dos zonas con altos contenidos en cloruros: Benicarló, con contenidos superiores a 1.000 mg/L y Vinaroz con contenidos superiores a 500 mg/L.

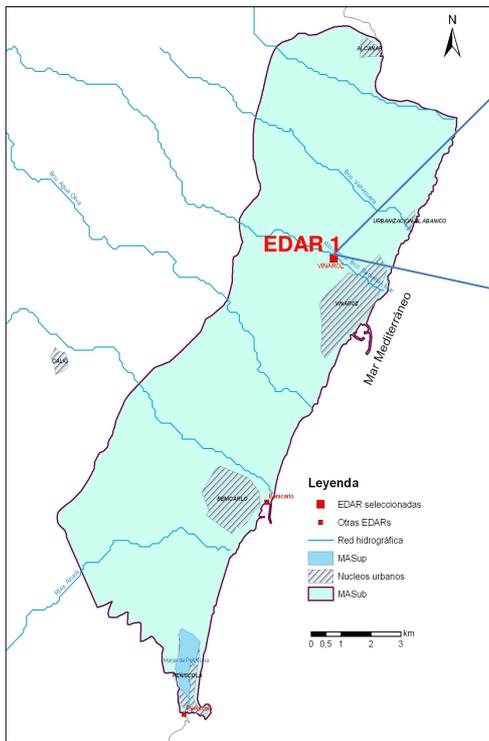
**FICHA TÉCNICA EDARs SELECCIONADAS (EPSAR, 2011)**

	<b>EDAR 1</b>
Nombre	VINAROSZ
Tipo tratamiento (*)	P,S, Compl.
Línea de agua	
Pretratamiento	Reja de gruesos Reja de finos Tamizado Desarenador Desengrasador
Tratamiento primario	-
Tratamiento secundario	Aireación prolongada Eliminación nitrógeno Eliminación fósforo
Tratamiento terciario	-
Desinfección	Cloración
Línea de fangos	Espesador por gravedad Deshidratación centrífuga

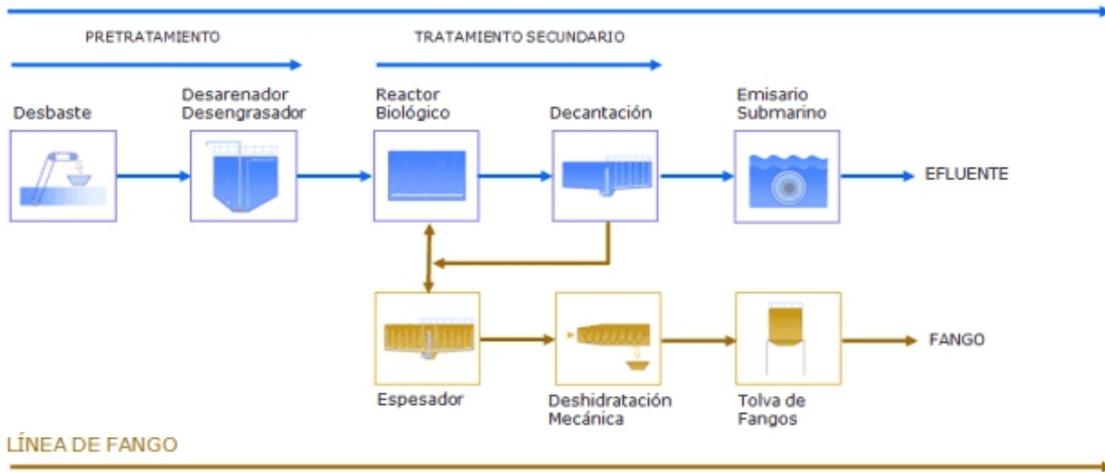
(\*) P- Tratamiento Primario; S- Tratamiento Secundario; T- Tratamiento Terciario; Compl. – Tratamiento Complementario.

## EDAR VINARÓZ (EPSAR, 2011)

**Nombre:** VINARÓZ  
**Comarca:** El Baix Maestrat  
**Coordenadas UTM (ETRS 89 huso 30):** X: 793744 Y: 4487520 Z: 20  
**Caudal de proyecto (m<sup>3</sup>/día):** 12000  
**Potencia total instalada (kW):** 1167  
**Empresa Explotadora:** UTE DEGREMONT-TECVASA  
**Asistencia técnica:** CIOPU, SL  
**Caudal funcionamiento 2011 (m<sup>3</sup>/día):** 6107  
**Población servida (he):** 33899



### LÍNEA DE AGUA



**DISPONIBILIDAD AGUAS DEPURADAS (CHJ, 2010)**

<b>Aguas depuradas (EDAR)</b>	<b>VINAROZ</b>
Volumen depurado 2009 (hm <sup>3</sup> /año)	2.42
¿Existe reutilización?	
Volumen reutilizado en 2009 (hm <sup>3</sup> /año)	0.00
Disponibilidad hídrica estimada (hm <sup>3</sup> /año):	2.42

**PREVISIONES DE REUTILIZACIÓN (CHJ, 2010)**

<b>EDAR</b>	<b>VINAROZ</b>
Volumen depurado 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	2.42
Volumen reutilizado en 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	2.34
Volumen reutilizado 2015 agrícola	2.34
Código UDA (*)	082005A
Nombre UDA	Regadíos de Vinaroz-Peñiscola
Volumen UDA-EDAR	2.34

**Calidad química de agua depurada:** Anexo I

## ÁREAS POTENCIALMENTE FAVORABLES

### **Zona seleccionada:**

#### **- Área de Benicarló**

- Concentración de cloruros superior a 1.000 mg/L.
- Nivel piezométrico medio alrededor de 1 m s.n.m.
- Espesor medio de la zona no saturada entre 9-12 m.
- EDAR con una disponibilidad hídrica estimada de 5,95 hm<sup>3</sup>/año.
- Tratamiento realizado al agua residual urbana: primario.

#### **- Área de Vinaroz**

- Concentración de cloruros máxima de 500 mg/L.
- Nivel piezométrico medio alrededor de 1 m s.n.m.
- Espesor medio de la zona no saturada alrededor de 10 m.
- EDAR con una disponibilidad hídrica estimada de 2.42 hm<sup>3</sup>/año.
- Tratamiento realizado al agua residual urbana: secundario.

### **ANEXO I (IGME-DGA, 2010): Calidad química de las aguas depuradas**

El agua procedente de las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas deberán cumplir la normativa vigente (Directiva 91/271/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas; Real Decreto 509/1996 de 15 de marzo de 1996 de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995 de 28 de diciembre de 1995 por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas; Orden de 13 de agosto de 1999 por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar, aprobado por el Real Decreto 1664/1998 de 24 de julio de 1998).

Parámetros (Orden de 13 de agosto de 1999, Artículo 34): Con independencia de los condicionantes que en cada caso se establezcan a los efluentes de las depuradoras, para conseguir los objetivos de calidad fijados en los tramos de río, se establecen los siguientes requisitos mínimos, referidos a concentración o reducción de contaminantes en los tratamientos secundarios:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
DBO <sub>5a</sub> 20° C sin nitrificación	25 mg/l.O <sub>2</sub>	70-90
DQO	125 mg/l.O <sub>2</sub>	75
S.S.	35 mg/l (> 10.000 h-e)	90
S.S.	60 mg/l (2.000-10.000 h-e)	70

Asimismo, se establecen los siguientes requisitos para los vertidos a zonas sensibles:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
P	2 mg/l (10.000-100.000 h-e) 1 mg/l (> 100.000 h-e)	80
N. total	15 mg/l (10.000-100.000 h-e) 10 mg/l (> 100.000 h-e)	70-80

## CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRANEAS COSTERAS PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS CON AGUA DEPURADA COMO BARRERA HIDRÁULICA FRENTE A LA INTRUSIÓN MARINA

DEMARCACIÓN  
HIDROGRÁFICA **081 - JÚCAR**

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE  
RECURSOS  
**08.01 CENIA-MAESTRAZGO**

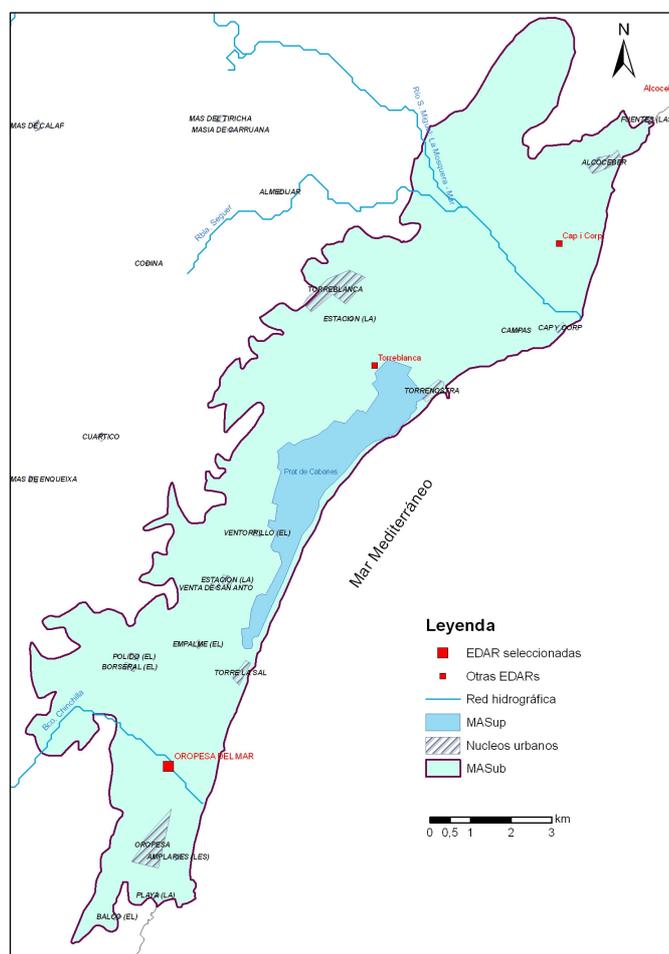
**MASA DE AGUA  
SUBTERRÁNEA  
080.108 PLANA DE  
OROPESA-TORREBLANCA**

### CARACTERIZACIÓN GENERAL

Comunidad Autónoma: Comunidad Valenciana  
Provincia: Castellón

Municipios: Alcalà de Xivert,  
Oropesa, Cabanes y Torreblanca

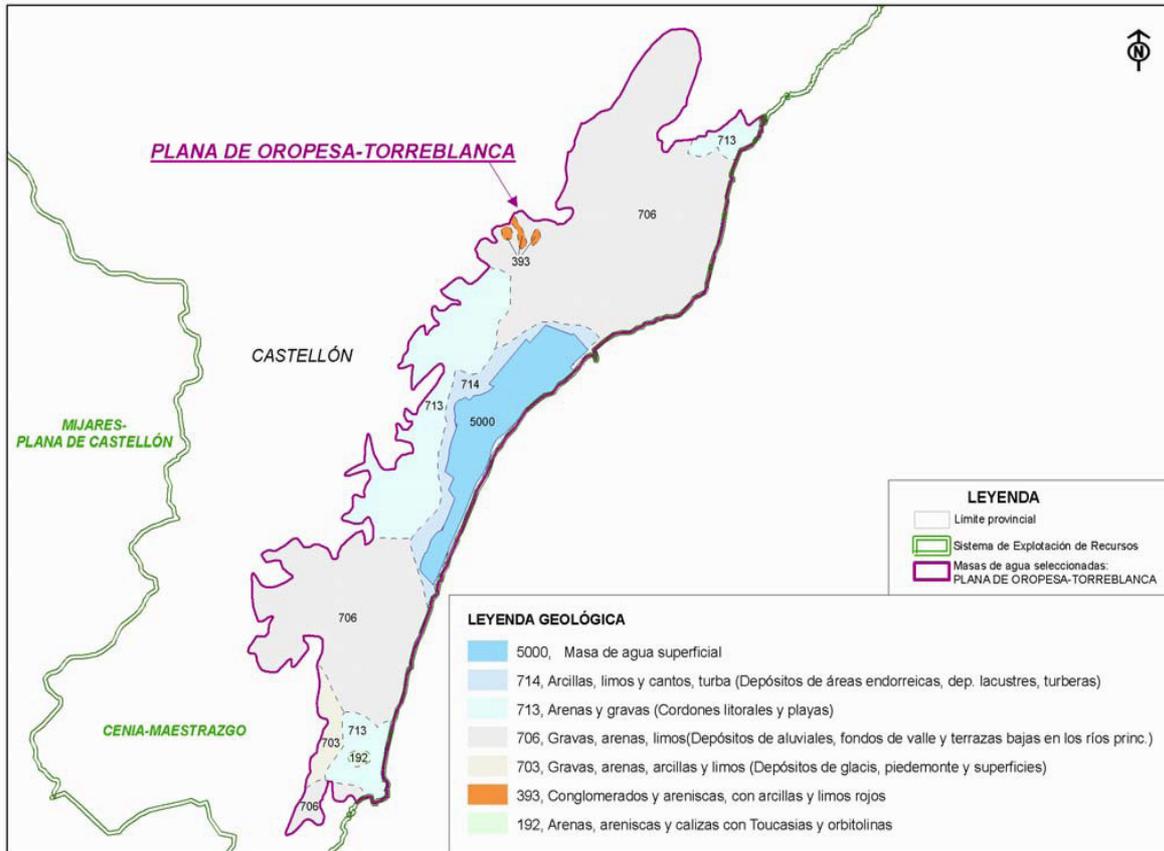
### PLANO DE SITUACIÓN:



La MASub Plana de Oropesa-Torreblanca tiene una extensión de 89,73 km<sup>2</sup>, una longitud de costa de 26 km y una anchura variable entre los 1,8 y 5,3 km. Se sitúa al norte de la ciudad de Castellón y constituye una llanura costera enmarcada hacia el interior por los relieves montañosos de las estribaciones orientales del Maestrazgo. Dentro de la MASub se ubican las poblaciones de Alcocebre, Torreblanca y Oropesa. Los principales cursos fluviales son: río San Miguel y Barranco Chinchilla. En su parte central se sitúa la Masa de Agua Superficial denominada Prat de Cabanes.

## CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

### PLANO GEOLÓGICO:



(IGME-DGA (2010). Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 8. Informe 8.)

### ACUÍFEROS IMPLICADOS:

El principal nivel acuífero está constituido por conglomerados, con intercalaciones de gravas, arenas, limos y arcillas, sobre los que se asientan depósitos detríticos más recientes (conos de deyección, colusiones, aluviones, dunas costeras, depósitos de marjal y turberas). Su espesor varía entre 0 metros en el interior y crece hacia la costa hasta los 85 metros de potencia.

El impermeable de base está constituido por margas y arcillas miocenas con eventuales conglomeráticas y calizas. Su espesor varía entre los 0 m., en el límite occidental de la Plana, y los 100 m. al norte de Oropesa.

(IGME. 1986. Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización.)

### Geometría acuífero (IGME, 1988; IGME-DGA, 2010)

	(1)	(2)	(3)	
Norte	(a)	(e)	(p)	(1) Límites: abierto (a), cerrado (c), semipermeable (sp) (2) Flujos: entradas (e), nulo (n), salidas (s) (3) Tipo de contacto: permeable (p), mecánico (m), baja permeabilidad (bp)
Sur	(a)	(n)	(p)	
Este	(a)	(s)	mar	
Oeste	(a)	(e)	(p)	

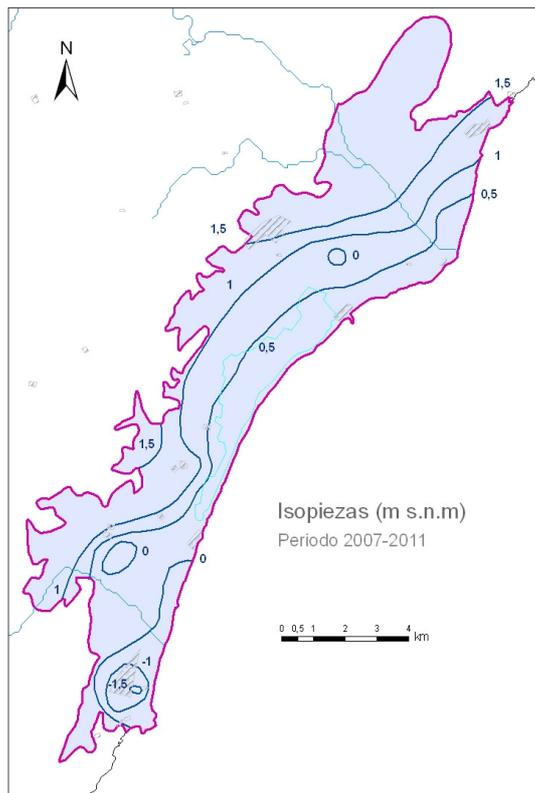
**Observaciones:** Todos los límites tienen un carácter hidrogeológico abierto, salvo en el límite occidental y únicamente en las inmediaciones del Bco. Chinchilla y del río San Miguel, donde aflora el sustrato impermeable.

En el límite sur, pese a ser abierto, la alimentación es prácticamente nula, por la pequeña área de alimentación de la sierra de Oropesa y por la imposibilidad de recibir alimentación de zonas más interiores al existir barreras impermeables (afloramientos triásicos y paleozoicos)

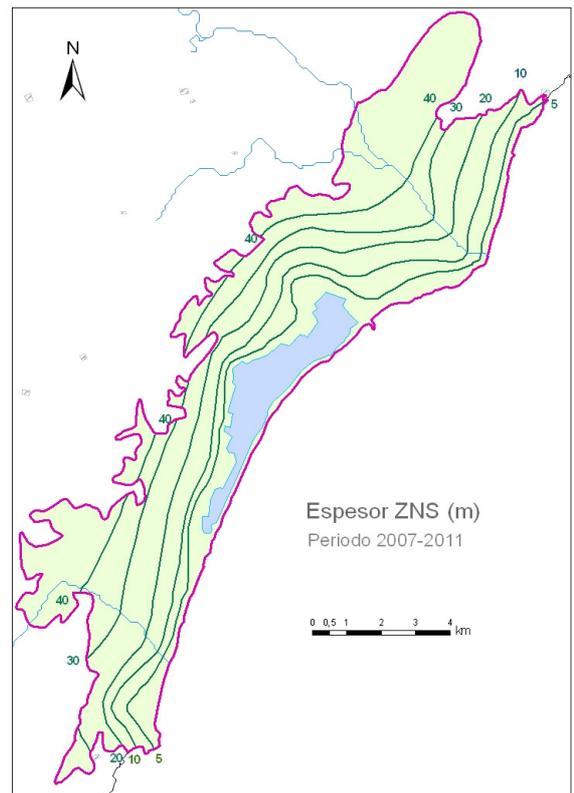
**Parámetros hidráulicos del acuífero detrítico:**

	mínimo	medio	máximo
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Porosidad</li> <li>▪ Permeabilidad o conductividad hidráulica (m/día)</li> <li>▪ Transmisividad (m<sup>2</sup>/día)</li> <li>▪ Coeficiente almacenamiento</li> <li>▪ Superficie piezométrica (m s.n.m.)</li> <li>▪ Espesor ZNS (m)</li> </ul>	100	300-1.000	2.500
	-3,66	2-10 %	4,77
	0,26	13,04	60,85

**Mapa piezométrico:**



**Mapa del espesor de la zona no saturada:**



La superficie piezométrica se sitúa, en la mayor parte de la MASub, entre los 1,5 m b.n.m y los 1,5 m s.n.m., mientras que el espesor de la zona no saturada se sitúa entre los 0-40 m.

## CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

**Parámetros físicoquímicos :** Valores medios (2007-2011)

C.E.(25°C): 3951  $\mu\text{S}/\text{cm}$  /  $T^{\circ}$ : 19,2 °C

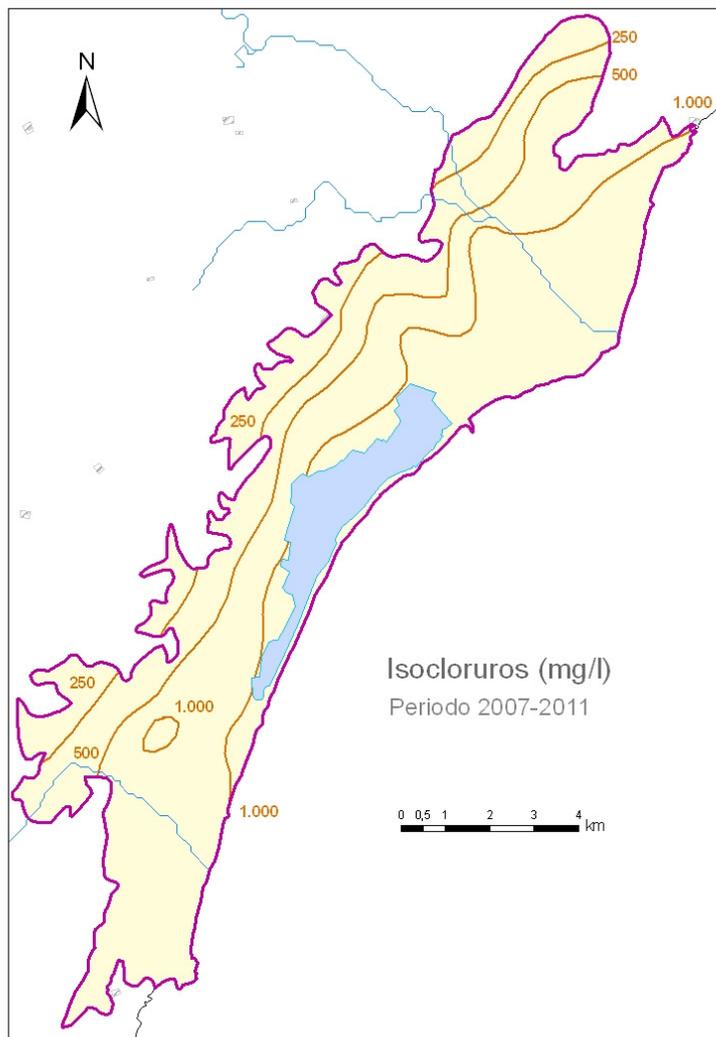
Cloruros: 1047 mg/L

Sulfatos (2011): 76 mg/L

Bicarbonatos: 256 mg/L

Nitratos: 44 mg/L

**Mapa de la concentración del ión cloruro:**



El contenido en cloruros de esta MASub es significativamente elevado. De hecho la mayor parte del acuífero presenta concentraciones superiores a los 500 mg/L y una gran zona, desde el norte del Bco. Chinchilla hasta Alcocebre con concentraciones superiores a 1.000 mg/L.

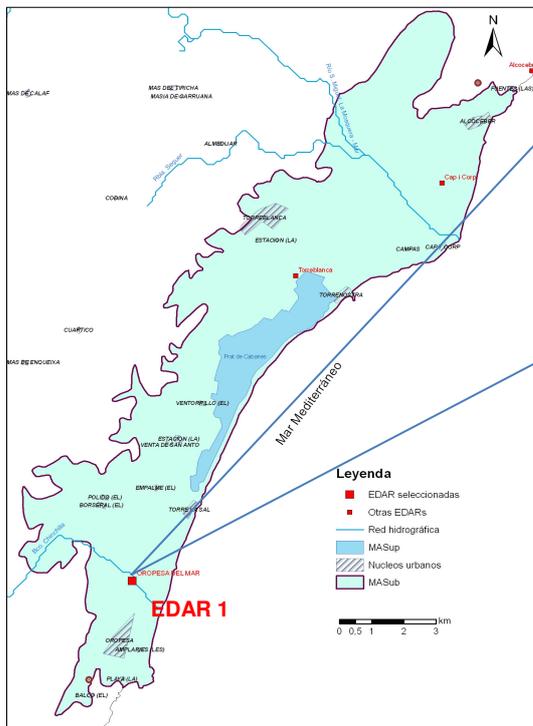
**FICHA TÉCNICA EDARs SELECCIONADAS (EPSAR, 2011)**

	<b>EDAR 1</b>
<i>Nombre</i>	<i>OROPESA DEL MAR</i>
<i>Tipo tratamiento (*)</i>	<i>P, S</i>
<i>Línea de agua</i>	
<i>Pretratamiento</i>	<i>Tamizado</i> <i>Desarenador</i> <i>Desengrasador</i>
<i>Tratamiento primario</i>	-
<i>Tratamiento secundario</i>	<i>Aireación prolongada</i> <i>Eliminación nitrógeno</i> <i>Eliminación fósforo</i>
<i>Tratamiento terciario</i>	-
<i>Desinfección</i>	<i>Cloración</i>
<i>Línea de fangos</i>	<i>Espesador por gravedad</i> <i>Deshidratación centrífuga</i>

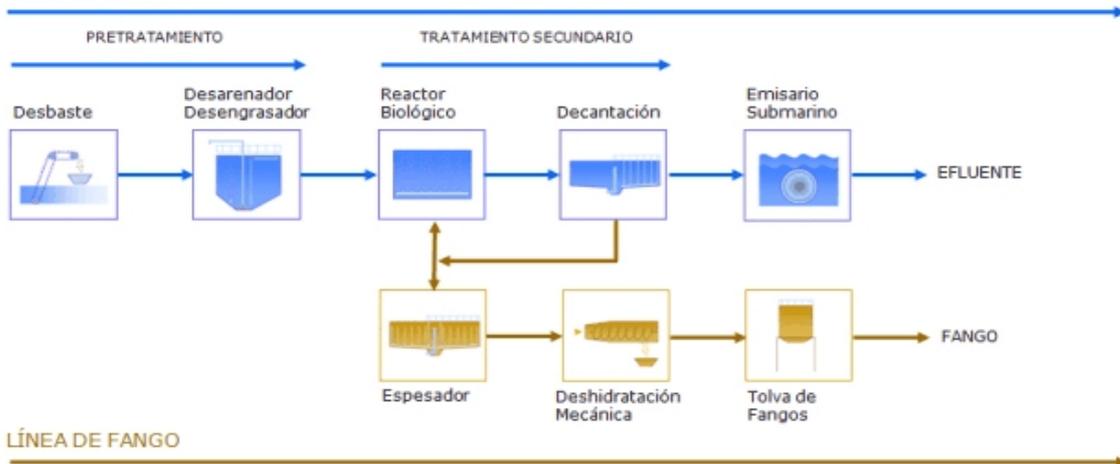
(\*) P- Tratamiento Primario; S- Tratamiento Secundario; T- Tratamiento Terciario; Compl. – Tratamiento Complementario.

## EDAR OROPESA DEL MAR (EPSAR, 2011)

**Nombre:** OROPESA DEL MAR  
**Comarca:** La Plana Alta  
**Coordenadas UTM (ETRS 89 huso 30);** X: 767879    Y: 4445047    Z: 12  
**Caudal de proyecto (m<sup>3</sup>/día):** 21000  
**Potencia total instalada (kW):** 1203  
**Empresa Explotadora:** UTE OHL-INIMA  
**Asistencia técnica:** CIOPU, SL  
**Caudal funcionamiento 2011 (m<sup>3</sup>/día):** 10192  
**Población servida (he):** 37345



### LÍNEA DE AGUA



**DISPONIBILIDAD AGUAS DEPURADAS (CHJ, 2010)**

<b>Aguas depuradas (EDAR)</b>	<b>OROPESA DEL MAR</b>
Volumen depurado 2009 (hm <sup>3</sup> /año)	2.22
¿Existe reutilización?	
Volumen reutilizado en 2009 (hm <sup>3</sup> /año)	0.00
Disponibilidad hídrica estimada (hm <sup>3</sup> /año):	2.22

**PREVISIONES DE REUTILIZACIÓN (CHJ, 2010)**

<b>EDAR</b>	<b>OROPESA DEL MAR</b>
Volumen depurado 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	-
Volumen reutilizado en 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	-
Volumen reutilizado 2015 agrícola	-
Código UDA (*)	-
Nombre UDA	-
Volumen UDA-EDAR	-

**Calidad química de agua depurada:** Anexo I

## ÁREAS POTENCIALMENTE FAVORABLES

### **Zona seleccionada: Área del barranco Chinchilla**

- Concentración de cloruros entre 500-1.000 mg/L
- Nivel piezométrico medio entre 1 m b.n.m y 0 m s.n.m.
- Espesor medio de la zona no saturada entre 5-20 m.
- EDAR con una disponibilidad hídrica estimada de 2.22 hm<sup>3</sup>/año.
- Tratamiento realizado al agua residual urbana: primario y secundario.

### **ANEXO I (IGME-DGA, 2010): Calidad química de las aguas depuradas**

El agua procedente de las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas deberán cumplir la normativa vigente (Directiva 91/271/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas; Real Decreto 509/1996 de 15 de marzo de 1996 de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995 de 28 de diciembre de 1995 por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas; Orden de 13 de agosto de 1999 por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar, aprobado por el Real Decreto 1664/1998 de 24 de julio de 1998).

Parámetros (Orden de 13 de agosto de 1999, Artículo 34): Con independencia de los condicionantes que en cada caso se establezcan a los efluentes de las depuradoras, para conseguir los objetivos de calidad fijados en los tramos de río, se establecen los siguientes requisitos mínimos, referidos a concentración o reducción de contaminantes en los tratamientos secundarios:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
DBO <sub>5a</sub> 20° C sin nitrificación	25 mg/l.O <sub>2</sub>	70-90
DQO	125 mg/l.O <sub>2</sub>	75
S.S.	35 mg/l (> 10.000 h-e)	90
S.S.	60 mg/l (2.000-10.000 h-e)	70

Asimismo, se establecen los siguientes requisitos para los vertidos a zonas sensibles:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
P	2 mg/l (10.000-100.000 h-e) 1 mg/l (> 100.000 h-e)	80
N. total	15 mg/l (10.000-100.000 h-e) 10 mg/l (> 100.000 h-e)	70-80

## CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRANEAS COSTERAS PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS CON AGUA DEPURADA COMO BARRERA HIDRÁULICA FRENTE A LA INTRUSIÓN MARINA

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA **081 - JÚCAR**

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE RECURSOS  
**08.01 CENIA-MAESTRAZGO**

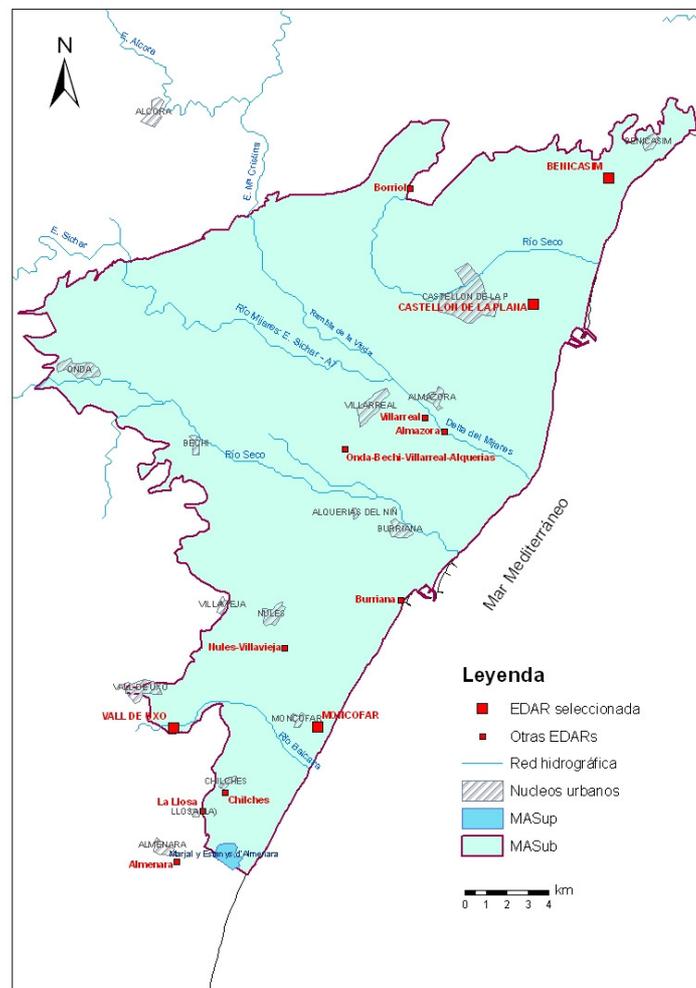
**MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 080.127 PLANA DE CASTELLÓN**

### CARACTERIZACIÓN GENERAL

Comunidad Autónoma: Comunidad Valenciana  
Provincia: Castellón

Municipios: Vall de Uxó, Benicasim, Borriol, Castellón de la Plana, Onda, Vila-real, Almazora, Bechí, Alquerías del Niño Perdido, Burriana, Villavieja, Nules, La Llosa, Chilches, Moncofar

### PLANO DE SITUACIÓN:

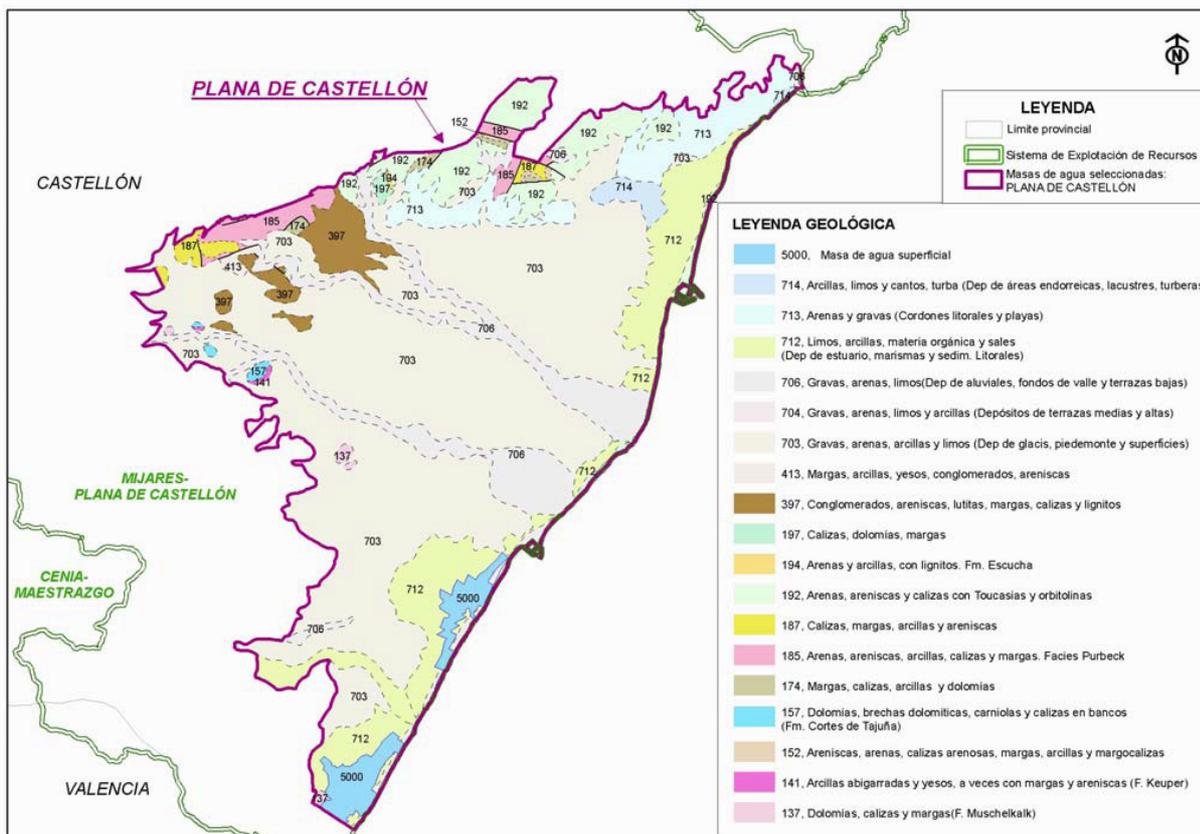


La MASub Plana de Castellón tiene una extensión de 495 km<sup>2</sup>, una longitud de costa de 42 km y una anchura variable entre 1 y 25 km. Se sitúa casi totalmente entre el nivel del mar y la cota 130, en cuyos extremos meridional y septentrional se encuentran la marjalería de Chilches-Almenara y el término municipal de Benicasim, respectivamente.

La red hidrológica está constituida por los ríos Belcaire, Seco (de Bechí), Seco (de Castellón) y Mijares, y su afluente la Rambla de la Viuda, que en sus tramos finales atraviesan la Plana.

## CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

### PLANO GEOLÓGICO:



(IGME-DGA (2010). Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 8)

### ACUÍFEROS IMPLICADOS:

La formación acuífera está constituida por un conjunto de sedimentos pliocuaternarios, compuestos por paquetes de gravas, arenas y conglomerados dentro de una formación arcillosa-limosa. Infrayacentes, y según zonas, se pueden encontrar materiales carbonatados mesozoicos, que constituyen un segundo acuífero, o sedimentados terciarios de muy baja permeabilidad.

(IGME. 1988. Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización).

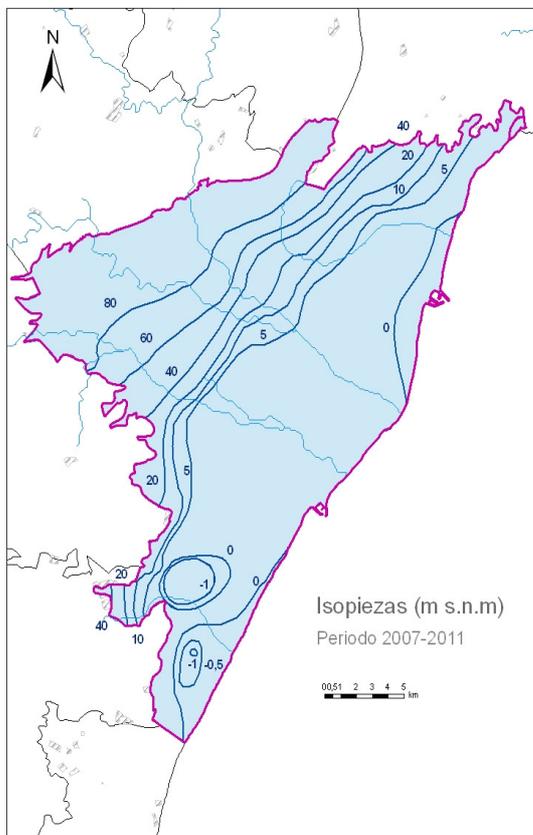
### Geometría acuífero (IGME, 1988; IGME-DGA, 2010)

Norte	(1) (a)	(2) (e)	(3) (p)	(1) Límites: abierto (a), cerrado (c), semipermeable (sp) (2) Flujos: entradas (e), nulo (n), salidas (s) (3) Tipo de contacto: permeable (p), mecánico (m), baja permeabilidad (bp)
Sur	(a)	(e)	(p)	
Este	(a)	(s)	mar	
Oeste	(a)	(e)	(p)	

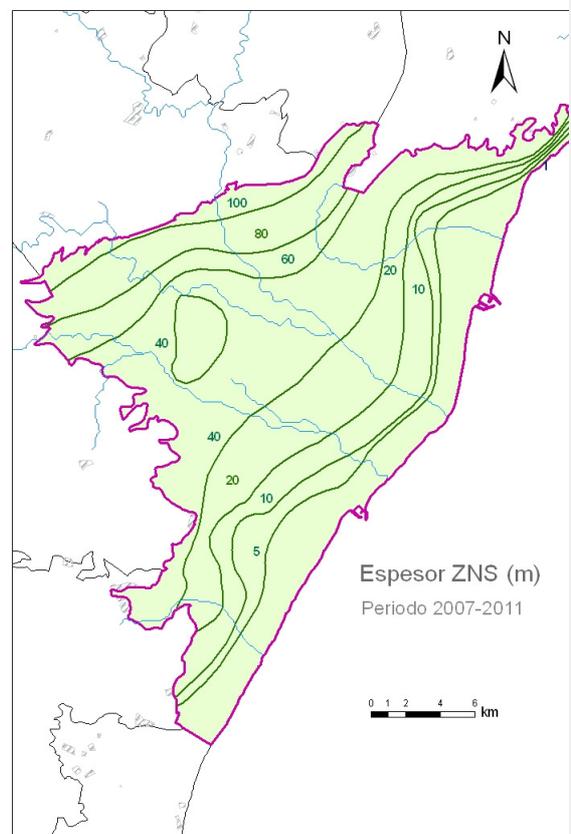
**Parámetros hidráulicos del acuífero detrítico:**

	mínimo	medio	máximo
▪ Porosidad			
▪ Permeabilidad o conductividad hidráulica (m/día)	30	50 - 100	120
▪ Transmisividad (m <sup>2</sup> /día)	500	1.500 - 6.000	> 6.000
▪ Coeficiente almacenamiento	5		15
▪ Superficie piezométrica (m s.n.m)	-12,43	12,23	96,50
Oscilación estacional (m):			
▪ Espesor ZNS (m) (1973-2011)	0,16	27,07	122,47
▪ Tiempo de residencia en el acuífero (día, mes o año)			

**Mapa piezométrico:**



**Mapa del espesor de la zona no saturada:**



La superficie piezométrica oscila en la mayor parte de la Plana entre los 20 m s.n.m. y el nivel del mar. En zonas interiores, como los cursos altos de los ríos Seco y Mijares, se alcanzan piezometrías superiores a 80 m s.n.m.

El espesor de la zona no saturada se sitúa entre los 0-40 m en la mayor parte de la Plana, en el interior oscila entre los 60-100m.

## CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

**Parámetros fisicoquímicos :** Valores medios (2007-2011)

C.E.: 2.199  $\mu\text{S}/\text{cm}$  /  $T^a$ : 18.8  $^{\circ}\text{C}$

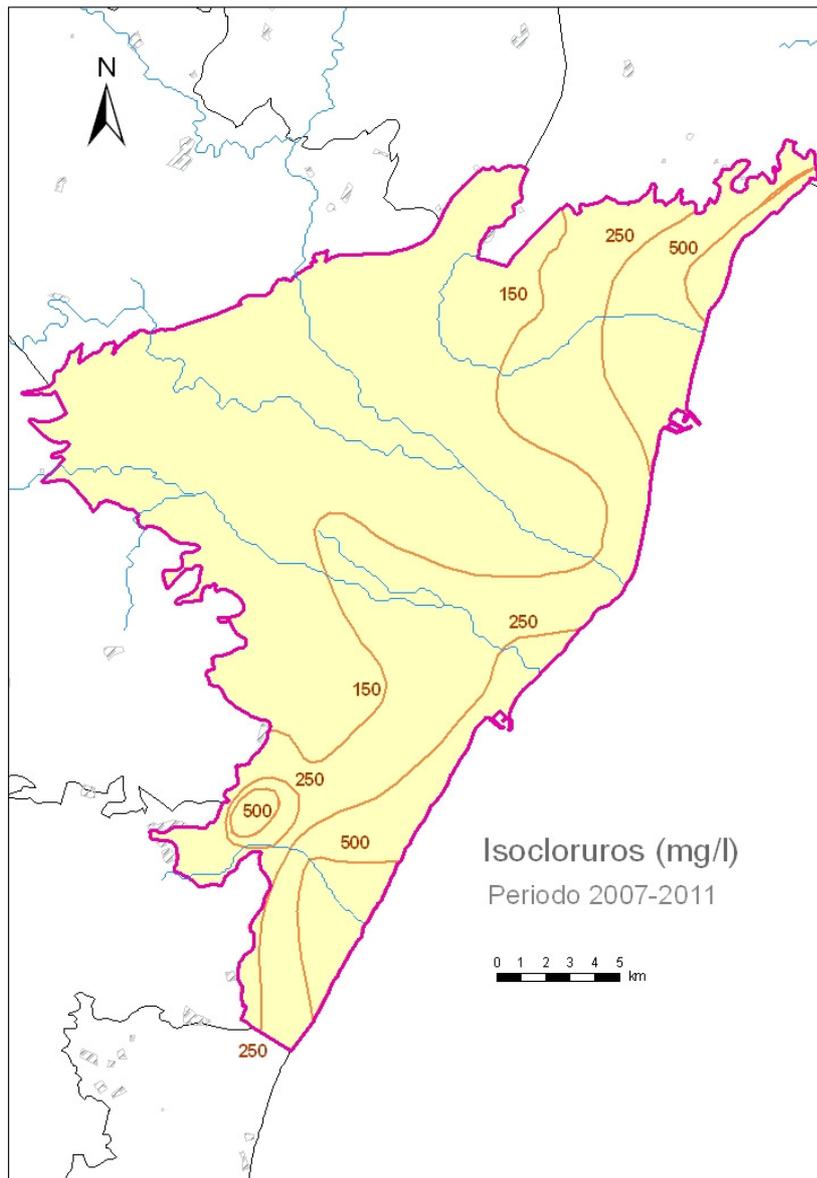
Bicarbonatos: 252 mg/L

Cloruro: 262 mg/L

Sulfato (2011): 429 mg/L

Nitrato: 194 mg/L

**Mapa de la concentración del ión cloruro:**



La mayor parte del acuífero presenta una concentración por debajo de los 250 mg/L, concentraciones superiores se encuentran únicamente en la parte sur, concretamente entre Vall de Uxó y Nules, y entre Moncofar, Chilches y la línea de costa.

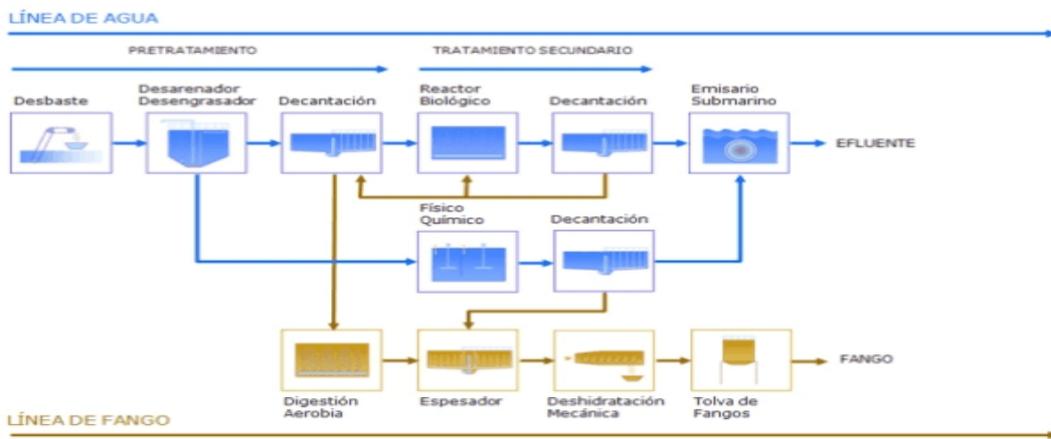
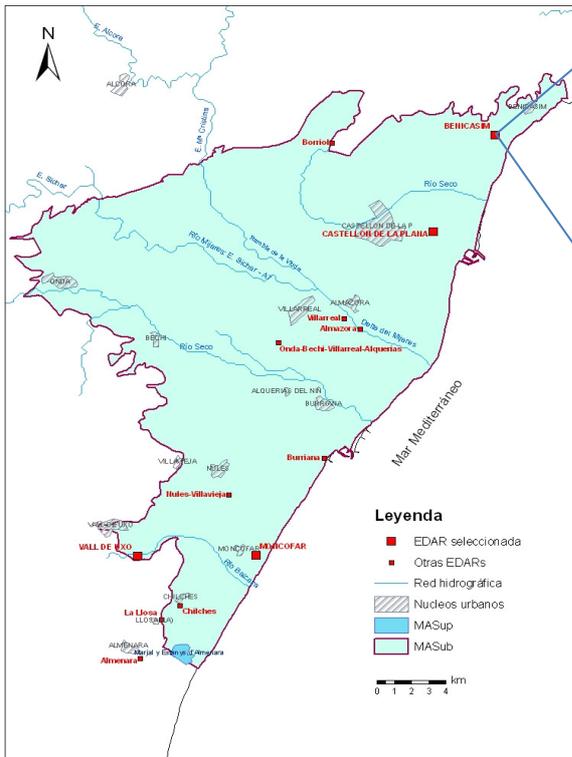
**FICHA TÉCNICA EDAR's SELECCIONADAS (EPSAR, 2011)**

<b>Nombre</b>	<b>BENICASIM</b>	<b>CASTELLÓN DE LA PLANA</b>
<i>Tipo tratamiento (*)</i>	<i>P, S</i>	<i>P, S, T, Compl</i>
<i>Pretratamiento</i>	<i>Tamizado Desarenador Desengrasador</i>	<i>Reja de gruesos Tamizado Tanque homogeneización Desarenador Desengrasador</i>
<i>Tratamiento primario</i>	<i>Físico-químico Decantación</i>	<i>Decantación</i>
<i>Tratamiento secundario</i>	<i>Fangos activados Eliminación nitrógeno Eliminación fósforo</i>	<i>Fangos activados Eliminación fósforo</i>
<i>Tratamiento terciario</i>	-	<i>Coagulación-Floculación Filtración</i>
<i>Desinfección</i>	-	<i>Ultravioleta</i>
<b>Nombre</b>	<b>MONCOFAR</b>	<b>VALL DE UXÓ</b>
<i>Tipo tratamiento (*)</i>	<i>P, S</i>	<i>P, S, Compl</i>
<i>Pretratamiento</i>	<i>Tamizado</i>	<i>Reja de gruesos Reja de finos Tamizado Tanque homogeneización Desarenador Desengrasador</i>
<i>Tratamiento primario</i>	-	<i>Físico-químico Decantación</i>
<i>Tratamiento secundario</i>	<i>Aireación prolongada</i>	<i>Fangos activados</i>
<i>Tratamiento terciario</i>	-	-
<i>Desinfección</i>	-	<i>Cloración</i>

(\*) P- Tratamiento Primario; S- Tratamiento Secundario; T- Tratamiento Terciario; Compl. – Tratamiento Complementario.

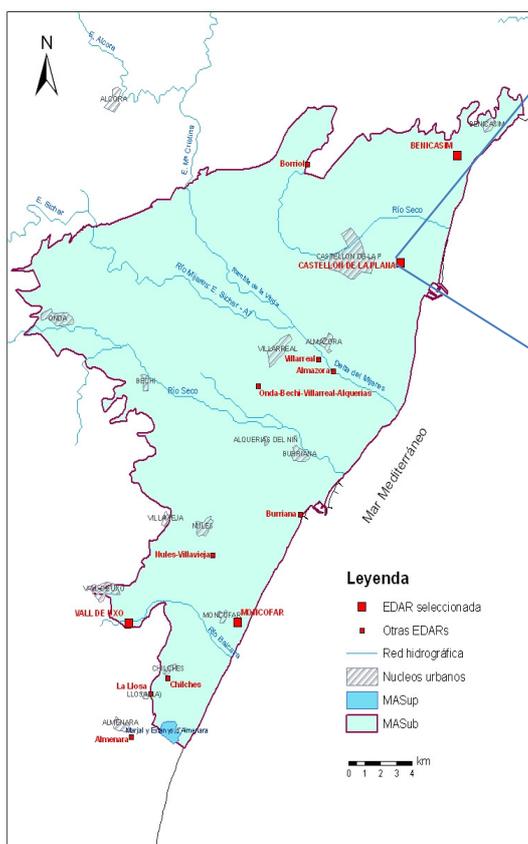
## EDAR BENICÀSSIM (EPSAR, 2011)

**Nombre:** BENICASIM  
**Comarca:** La Plana Alta  
**Coordenadas UTM (ETRS 89 huso 30);** X: 759345    Y: 4436638    Z: 20  
**Caudal de proyecto (m<sup>3</sup>/día):** 18000  
**Potencia total instalada (kW):** 595  
**Empresa Explotadora:** FACSA  
**Asistencia técnica:** CIOPU, SL  
**Caudal funcionamiento 2011 (m<sup>3</sup>/día):** 5524  
**Población servida (he):** 16232

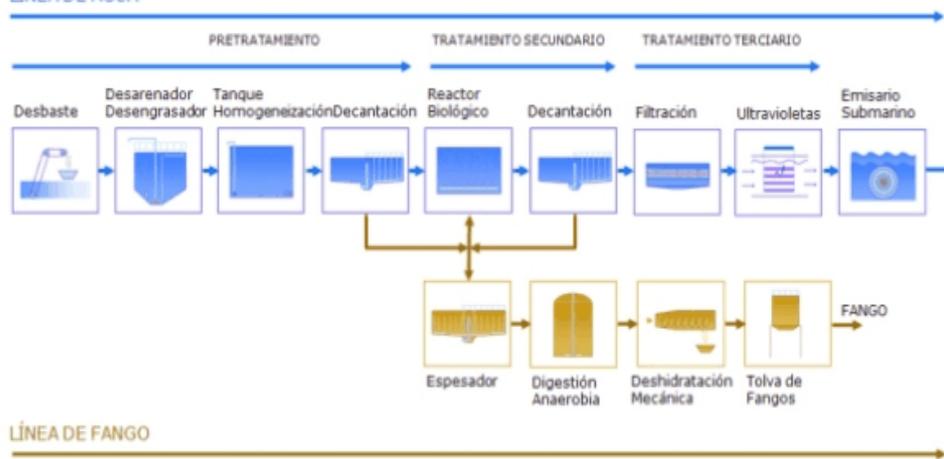


## EDAR CASTELLÓN DE LA PLANA (EPSAR, 2011)

**Nombre:** CASTELLÓN DE LA PLANA  
**Comarca:** La Plana Alta  
**Coordenadas UTM (ETRS 89 huso 30):** X: 755743    Y: 4430531    Z: 5  
**Caudal de proyecto (m<sup>3</sup>/día):** 45000  
**Potencia total instalada (kW):** 1369  
**Empresa Explotadora:** FACSA  
**Asistencia técnica:** CIOPU, SL  
**Caudal funcionamiento 2011 (m<sup>3</sup>/día):** 43247  
**Población servida (he):** 162805



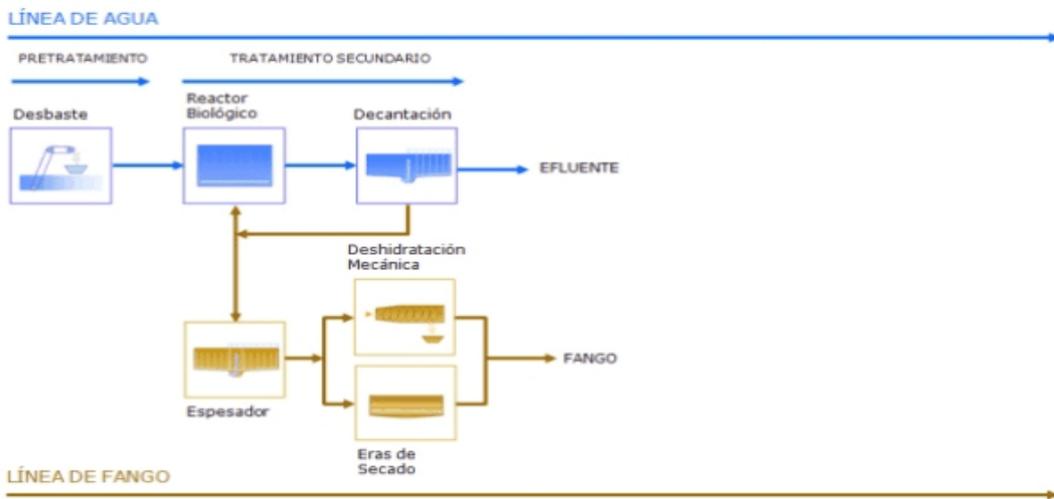
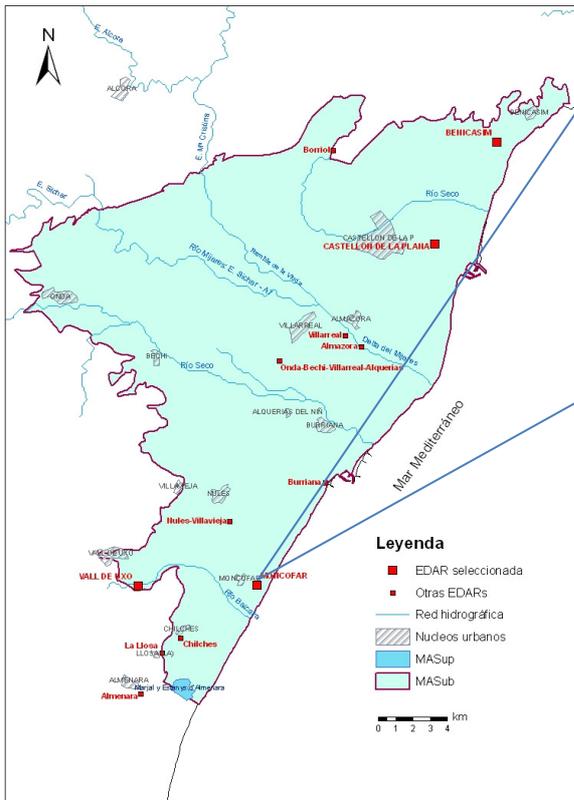
### LÍNEA DE AGUA



### LÍNEA DE FANGO

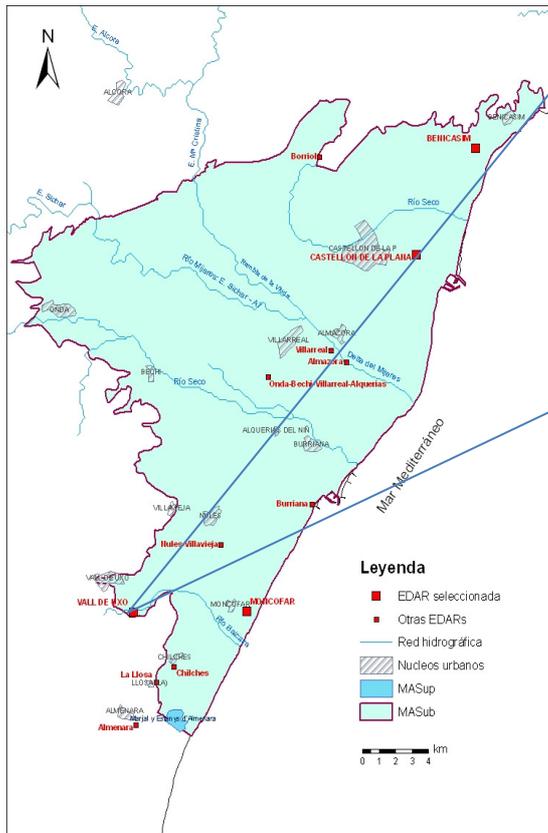
## EDAR MONCOFAR (EPSAR, 2011)

**Nombre:** MONCOFAR  
**Comarca:** La Plana Baja  
**Coordenadas UTM (ETRS 89 huso 30);** X: 745394 Y: 4410050 Z: 1  
**Caudal de proyecto (m<sup>3</sup>/día):** 4900  
**Potencia total instalada (kW):** 94  
**Empresa Explotadora:** FACSA  
**Asistencia técnica:** INTERCONTROL LEVANTE, SA  
**Caudal funcionamiento 2011 (m<sup>3</sup>/día):** 3208  
**Población servida (he):** 7464

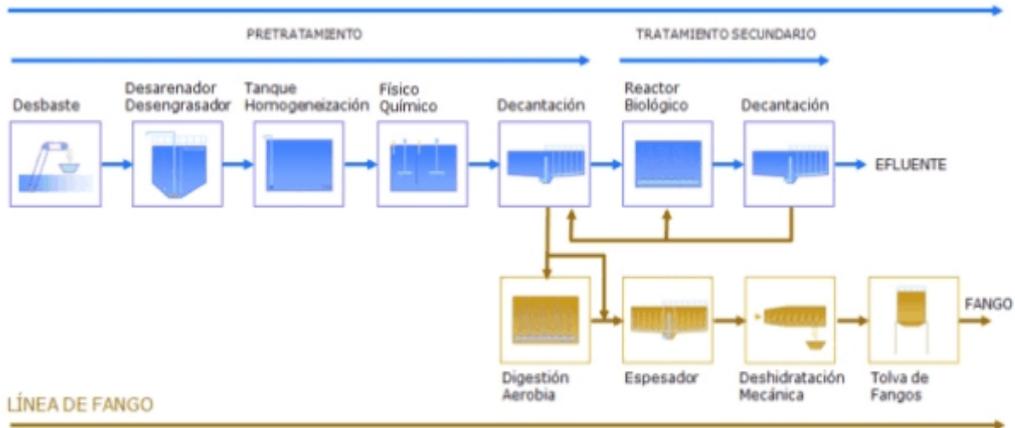


## EDAR VALL DE UXÓ (EPSAR, 2011)

**Nombre:** VALL DE UXÓ  
**Comarca:** La Plana Baixa  
**Coordenadas UTM (ETRS 89 huso 30);** X: 738462    Y: 4409997    Z: 68  
**Caudal de proyecto (m<sup>3</sup>/día):** 9000  
**Potencia total instalada (kW):** 526  
**Empresa Explotadora:** FACSA  
**Asistencia técnica:** INTERCONTROL LEVANTE, SA  
**Caudal funcionamiento 2011 (m<sup>3</sup>/día):** 4421  
**Población servida (he):** 23177



### LÍNEA DE AGUA



**DISPONIBILIDAD AGUAS DEPURADAS (CHJ, 2010)**

<b>Aguas depuradas (EDAR)</b>	<b>BENICÀSSIM</b>	<b>CASTELLÓN DE LA PLANA</b>	<b>MONCOFAR</b>	<b>VALL DE UXÓ</b>
Volumen depurado 2009 (hm <sup>3</sup> /año)	3.02	16.19	1.26	1.84
¿Existe reutilización?	NO	SI	SI	SI
Volumen reutilizado 2009 (hm <sup>3</sup> /año)	0.00	0.26	0.16	0.82
Disponibilidad hídrica estimada (hm <sup>3</sup> /año)	3.02	15.93	1.10	1.02

**PREVISIONES DE REUTILIZACIÓN (CHJ, 2010)**

<b>EDAR</b>	<b>BENICÀSSIM</b>	<b>CASTELLÓN DE LA PLANA</b>	<b>MONCOFA</b>	<b>LA VALL D'UXÓ</b>
<i>Volumen depurado 2015 (hm<sup>3</sup>/año)</i>	-	16.19	1.26	1.84
<i>Volumen reutilizado en 2015 (hm<sup>3</sup>/año)</i>	-	16.19	1.26	1.84
<i>Volumen reutilizado 2015 agrícola</i>	-	16.19	1.26	1.84
<i>Código UDA</i>	-	*	082019A	082019A
<i>Nombre UDA</i>	-	*	<i>Regadíos de La Vall D'Uxó y Moncofa</i>	<i>Regadíos de La Vall D'Uxó y Moncofa</i>
<i>Volumen UDA-EDAR</i>	-	*	1.56	1.84

\* La previsión del volumen de agua reutilizada en la EDAR de Castellón de la Plana en 2015 se divide en las siguientes Unidades de Demanda Agraria (UDA):

<b>Código UDA</b>	<b>Nombre UDA</b>	<b>Volumen UDA-EDAR</b>
082017A	Riegos tradicionales del Mijares	3.04
082015B	C.R. Canal de M <sup>a</sup> Cristina	8.12
082019A	Regadíos de la Vall d'Uxó y Moncofa	5.04

**Calidad química de agua depurada:** Anexo I

## ÁREAS POTENCIALMENTE FAVORABLES

### - Noreste de Castellón – EDAR de Castellón:

- Concentración de cloruros entre 250-500 mg/L.
- Nivel piezométrico medio entre 0-5 m s.n.m.
- Espesor medio de la zona no saturada entre 0-1 m.
- EDAR con una disponibilidad hídrica estimada de 16.19 hm<sup>3</sup>/año.
- Tratamiento realizado al agua residual urbana: primario, secundario y terciario.

### - Noreste de Vall de Uxó- suroeste de Nules (la Rambleta):

- Concentración de cloruros superior a 500 mg/L.
- Nivel piezométrico medio entre 1 m b.n.m y 10 m s.n.m.
- Espesor medio de la zona no saturada entre 20-40 m.
- EDAR's con una disponibilidad hídrica estimada de 1,84 hm<sup>3</sup>/año (EDAR Vall de Uxó) y de 1,14 hm<sup>3</sup>/año (EDAR Nules-Villavieja).
- Tratamiento realizado al agua residual urbana: primario, secundario y tratamiento complementario.

### - Este de Moncofar:

- Concentración de cloruros superior a 500 mg/L.
- Nivel piezométrico medio entre 0-2 m s.n.m.
- Espesor medio de la zona no saturada entre 0-1 m.
- EDARs con una disponibilidad hídrica estimada de 1.26 hm<sup>3</sup>/año.
- Tratamiento realizado al agua residual urbana: primario y secundario.

### ANEXO I (IGME-DGA, 2010): Calidad química de las aguas depuradas

El agua procedente de las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas deberán cumplir la normativa vigente (Directiva 91/271/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas; Real Decreto 509/1996 de 15 de marzo de 1996 de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995 de 28 de diciembre de 1995 por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas; Orden de 13 de agosto de 1999 por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar, aprobado por el Real Decreto 1664/1998 de 24 de julio de 1998).

Parámetros (Orden de 13 de agosto de 1999, Artículo 34): Con independencia de los condicionantes que en cada caso se establezcan a los efluentes de las depuradoras, para conseguir los objetivos de calidad fijados en los tramos de río, se establecen los siguientes requisitos mínimos, referidos a concentración o reducción de contaminantes en los tratamientos secundarios:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
DBO <sub>5a</sub> 20° C sin nitrificación	25 mg/l.O <sub>2</sub>	70-90
DQO	125 mg/l.O <sub>2</sub>	75
S.S.	35 mg/l (> 10.000 h-e)	90
S.S.	60 mg/l (2.000-10.000 h-e)	70

Asimismo, se establecen los siguientes requisitos para los vertidos a zonas sensibles:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
P	2 mg/l (10.000-100.000 h-e) 1 mg/l (> 100.000 h-e)	80
N. total	15 mg/l (10.000-100.000 h-e) 10 mg/l (> 100.000 h-e)	70-80

## CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRANEAS COSTERAS PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS CON AGUA DEPURADA COMO BARRERA HIDRÁULICA FRENTE A LA INTRUSIÓN MARINA

DEMARCACIÓN  
HIDROGRÁFICA  
**081 - JÚCAR**

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE  
RECURSOS  
**08.01 CENIA-MAESTRAZGO**

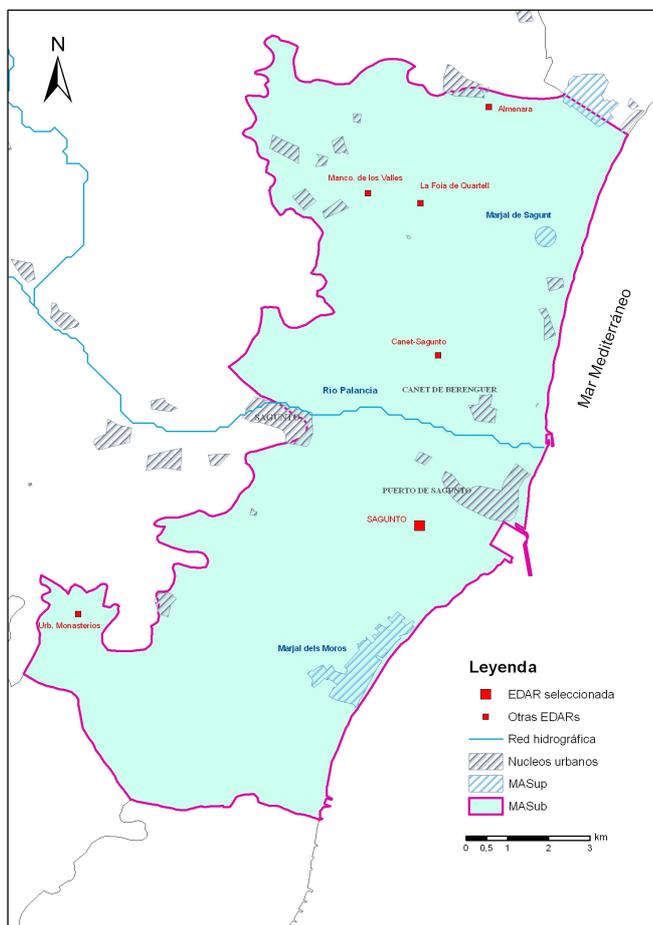
**MASA DE AGUA  
SUBTERRÁNEA  
080.108 PLANA DE SAGUNTO**

### CARACTERIZACIÓN GENERAL

Comunidad Autónoma: Comunidad Valenciana  
Provincia: Valencia

Municipios: Faura, Quartell, Benavites,  
Canet d'en Berenguer y Sagunto

### PLANO DE SITUACIÓN:



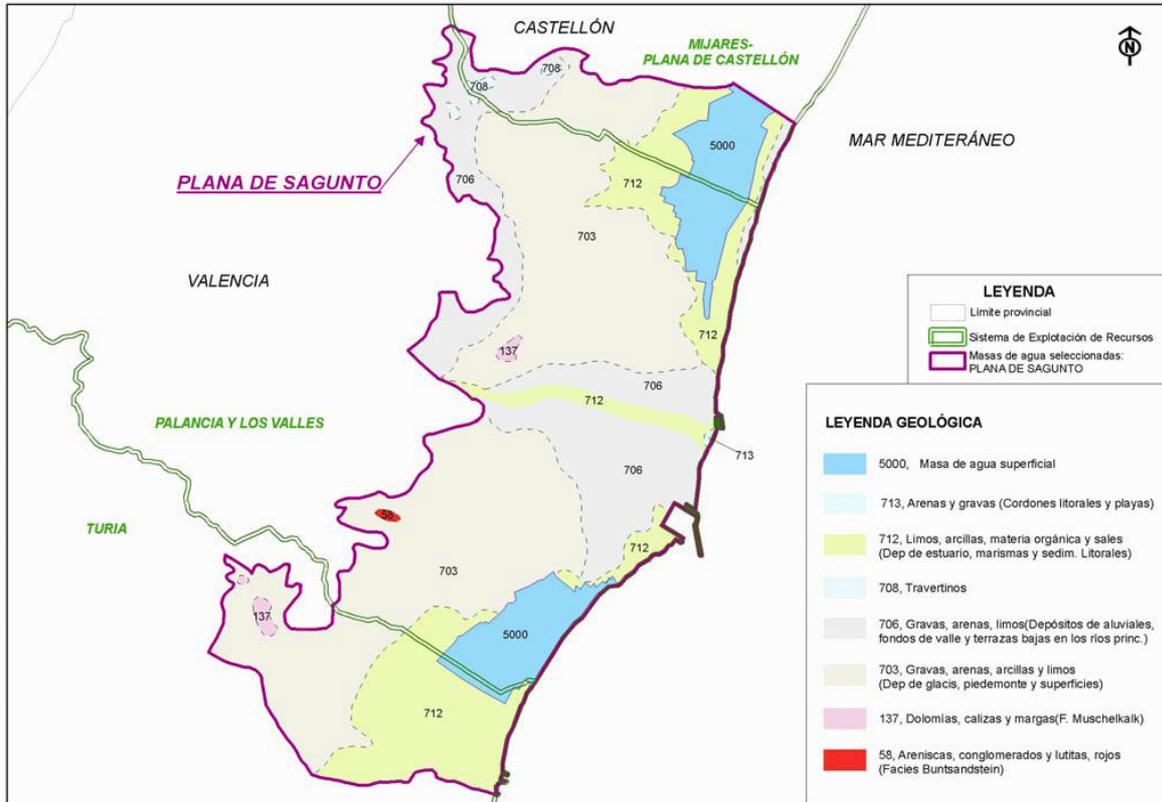
La MASub Plana de Sagunto tiene una extensión de 129 km<sup>2</sup>, una longitud de costa de 19 km y una anchura variable entre 5 y 9 km.

Desde el punto de vista morfológico se pueden diferenciar dos zonas: una llanura adyacente a la costa, que se extiende entre el nivel del mar y la cota 20, y a continuación una rampa de erosión que se prolonga hasta la base de los relieves hasta la base de los relieves montañosos circundantes, alcanzando hasta los 90 m s.n.m.

La red hidrológica está constituida por el río Palancia. Por otra parte, se distinguen dos MASup: la marjal de Sagunt y la Marjal dels Moros.

## CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

### PLANO GEOLÓGICO:



(IGME-DGA (2010). Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 8. Informe 8)

**ACUÍFEROS IMPLICADOS:** el acuífero de la Plana de Sagunto está constituido por una alternancia de gravas, arenas y conglomerados que pueden presentar una karstificación importante, dentro de una formación pliocuaternaria limo-arcillosa. Este tramo se asienta sobre arcillas triásicas y/o terciarias. Por debajo se asienta el acuífero mesozoico, constituido en general, por las calizas y dolomías del Muschelkalk. El acuífero detrítico está limitado hacia el interior por el afloramientos de estos materiales, en tanto que hacia el sur y el norte el límite está determinado por la presencia de materiales areniscosos del Buntsandstein medio, que lo individualizan parcialmente de la Plana de Castellón y Valencia Norte. Su máximo espesor se alcanza en Benavites e inmediaciones del río Palancia con espesores de 200 y 140 m, respectivamente.

(IGME. 1988. Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización).

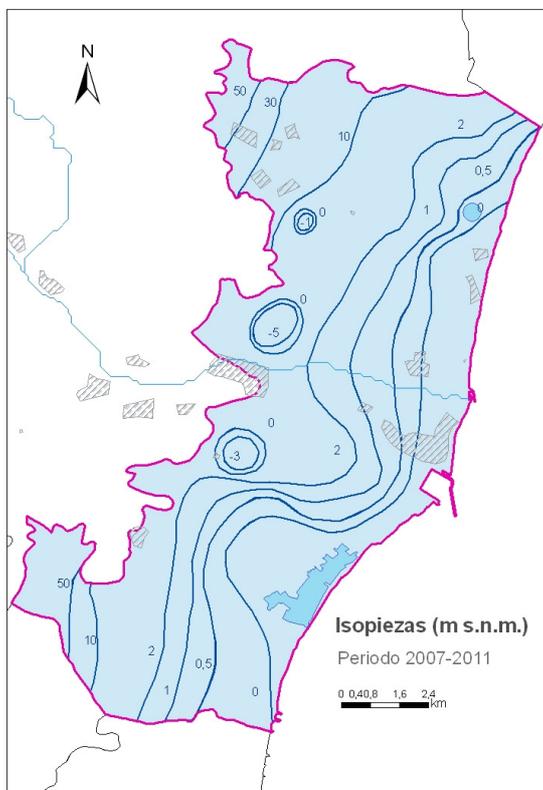
#### Geometría acuífero (IGME, 1988; IGME-DGA, 2010)

	(1)	(2)	(3)	
Norte	(a)	(e)	(p)	(1) Límites: abierto (a), cerrado (c), semipermeable (sp) (2) Flujos: entradas (e), nulo (n), salidas (s) (3) Tipo de contacto: permeable (p), mecánico (m), baja permeabilidad (bp)
Sur	(a)	(e)	(p)	
Este	(a)	(s)	mar	
Oeste	(a)	(e)	(p)	

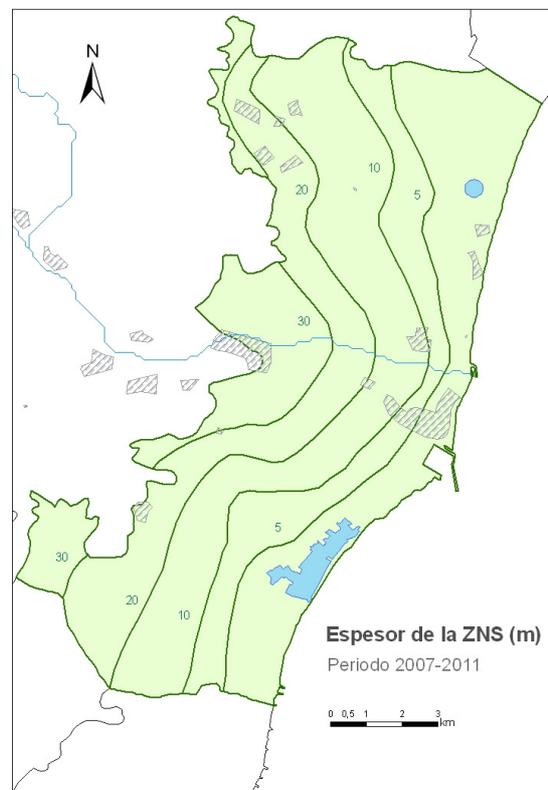
**Parámetros hidráulicos del acuífero detrítico:**

	mínimo	medio	máximo
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Porosidad</li> <li>▪ Permeabilidad o conductividad hidráulica (m/día)</li> <li>▪ Transmisividad (m<sup>2</sup>/día)</li> <li>▪ Coeficiente almacenamiento</li> <li>▪ Superficie piezométrica (m s.n.m) (1973-2011)</li> </ul>		10-12	> 7.000
Oscilación estacional (m): <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espesor ZNS (m) (1973-2011)</li> <li>▪ Tiempo de residencia en el acuífero (día, mes o año)</li> </ul>	-17,15	6,63	50,77
	0,83	16,13	114

**Mapa piezométrico:**



**Mapa del espesor de la zona no saturada:**



La superficie piezométrica oscila en la mayor parte de la Plana entre los 10 m s.n.m. y el nivel del mar. Se destacan zonas en el interior con piezometrías bajo el nivel del mar (noreste y sureste del municipio de Sagunto).

El espesor de la zona no saturada se sitúa entre los 0-30 m en la mayor parte de la Plana.

## CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

**Parámetros físicoquímicos :** Valores medios (2007-2011)

C.E. (25°C): 1920  $\mu\text{S}/\text{cm}$  /  $T_a$ : 18,5 °C

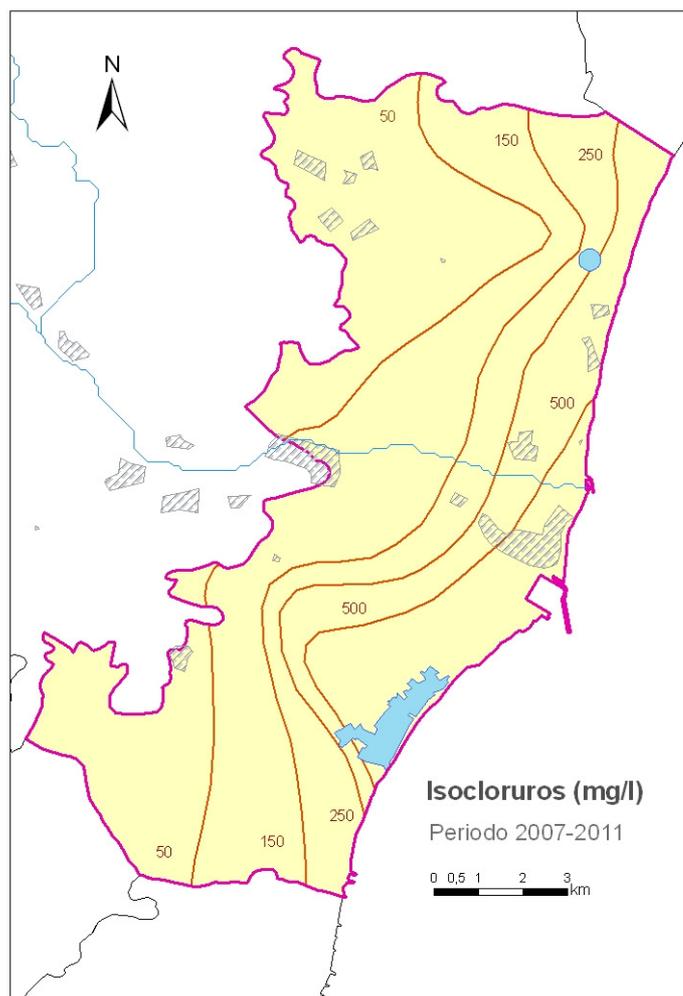
Cloruros: 222 mg/L

Sulfatos (2011): 426 mg/L

Bicarbonatos: 231 mg/L

Nitrato: 117 mg/L

**Mapa de la concentración del ión cloruro:**



La mayor parte del acuífero presenta una concentración por debajo de los 150 mg/L. No obstante, se observa franja costera con concentraciones superiores a los 500 mg/L, que se ensancha hacia el interior al noroeste del marjal dels Moros.

**FICHA TÉCNICA EDAR's SELECCIONADAS (EPSAR, 2011)**

<b>Nombre</b>	<b>SAGUNTO</b>
<i>Tipo tratamiento (*)</i>	<i>P, S</i>
<i>Pretratamiento</i>	<i>Reja de gruesos Reja de finos Desarenador Desengrasador</i>
<i>Tratamiento primario</i>	<i>Decantación</i>
<i>Tratamiento secundario</i>	<i>Fangos activados</i>
<i>Tratamiento terciario</i>	-
<i>Desinfección</i>	-

(\*) P- Tratamiento Primario; S- Tratamiento Secundario; T- Tratamiento Terciario; Compl. – Tratamiento Complementario.



**DISPONIBILIDAD AGUAS DEPURADAS (CHJ, 2010)**

<b>Aguas depuradas (EDAR)</b>	<b>SAGUNTO</b>
Volumen depurado 2009 (hm <sup>3</sup> /año)	
¿Existe reutilización?	
Volumen reutilizado en 2009 (hm <sup>3</sup> /año)	
Disponibilidad hídrica estimada (hm <sup>3</sup> /año):	

**PREVISIONES DE REUTILIZACIÓN (CHJ, 2010)**

<b>EDAR</b>	<b>SAGUNTO</b>
Volumen depurado 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	
Volumen reutilizado en 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	
Volumen reutilizado 2015 agrícola	
Código UDA (*)	
Nombre UDA	
Volumen UDA-EDAR	

**Calidad química de agua depurada:** Anexo I

## ÁREAS POTENCIALMENTE FAVORABLES

### Zonas seleccionadas: Sur del Puerto de Sagunto

- Concentración de cloruros superior a 500 mg/L.
- Nivel piezométrico medio entre 0,5-1 m s.n.m.
- Espesor medio de la zona no saturada entre 5-10 m.
- EDAR con una disponibilidad hídrica estimada de 5,26 hm<sup>3</sup>/año.
- Tratamiento realizado al agua residual urbana: primario y secundario.

### ANEXO I (IGME-DGA, 2010): Calidad química de las aguas depuradas

El agua procedente de las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas deberán cumplir la normativa vigente (Directiva 91/271/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas; Real Decreto 509/1996 de 15 de marzo de 1996 de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995 de 28 de diciembre de 1995 por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas; Orden de 13 de agosto de 1999 por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar, aprobado por el Real Decreto 1664/1998 de 24 de julio de 1998).

Parámetros (Orden de 13 de agosto de 1999, Artículo 34): Con independencia de los condicionantes que en cada caso se establezcan a los efluentes de las depuradoras, para conseguir los objetivos de calidad fijados en los tramos de río, se establecen los siguientes requisitos mínimos, referidos a concentración o reducción de contaminantes en los tratamientos secundarios:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
DBO <sub>5a</sub> 20° C sin nitrificación	25 mg/l.O <sub>2</sub>	70-90
DQO	125 mg/l.O <sub>2</sub>	75
S.S.	35 mg/l (> 10.000 h-e)	90
S.S.	60 mg/l (2.000-10.000 h-e)	70

Asimismo, se establecen los siguientes requisitos para los vertidos a zonas sensibles:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
P	2 mg/l (10.000-100.000 h-e) 1 mg/l (> 100.000 h-e)	80
N. total	15 mg/l (10.000-100.000 h-e) 10 mg/l (> 100.000 h-e)	70-80

## CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRANEAS COSTERAS PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS CON AGUA DEPURADA COMO BARRERA HIDRÁULICA FRENTE A LA INTRUSIÓN MARINA

DEMARCACIÓN  
HIDROGRÁFICA  
**081 - JÚCAR**

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE  
RECURSOS  
**08.06 SERPIS**

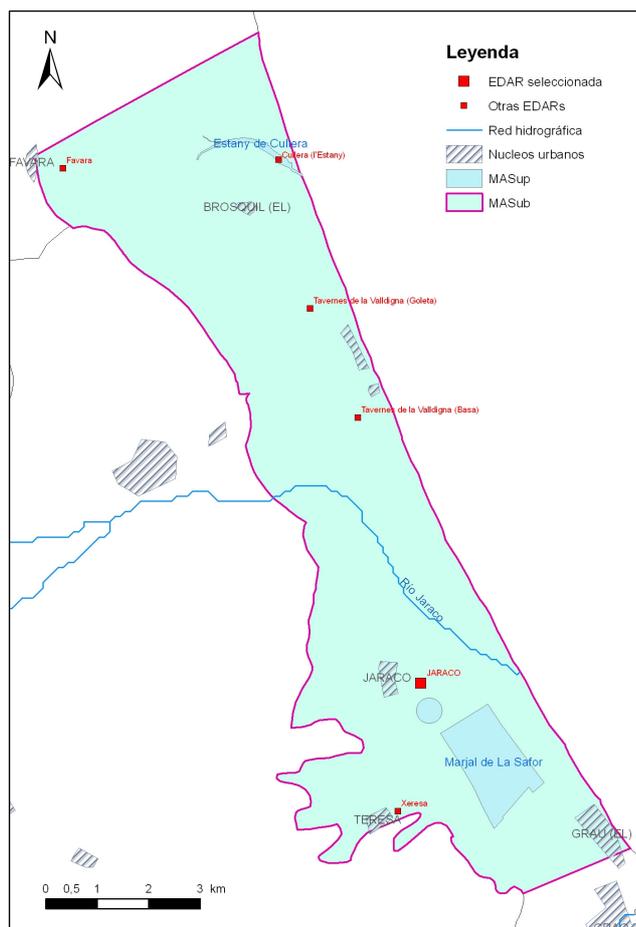
**MASA DE AGUA  
SUBTERRÁNEA  
080.151 PLANA DE JARACO**

### CARACTERIZACIÓN GENERAL

Comunidad Autónoma: Comunidad Valenciana  
Provincia: Valencia

Municipios: Tabernes de la Valldigna, Benifairo de la Valldigna, Simat de la Valldigna, Jeresa y Jaraco.

### PLANO DE SITUACIÓN:

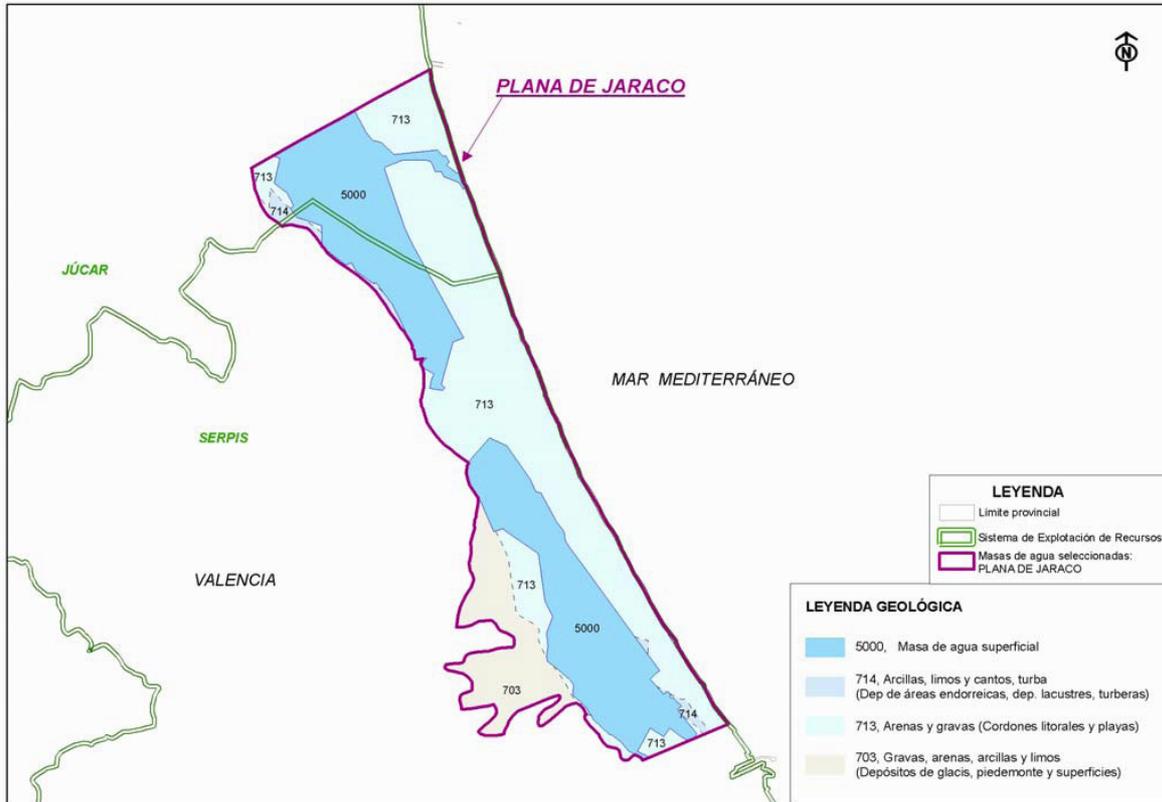


La MASub Plana de Jaraco tiene una extensión de 59,57 km<sup>2</sup>, una longitud de costa de 17,7 km y una anchura variable entre 2,2 y 5,2 km.

La red hidrográfica está constituida por el río Jaraco y se distinguen las marjalerías de La Sator y el Estany de Cullera.

## CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

### PLANO GEOLÓGICO:



(IGME-DGA (2010). Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 8. Informe 8)

**ACUÍFEROS IMPLICADOS:** El acuífero está formado por materiales cuaternarios y, eventualmente, pliocuaternarios correspondientes a depósitos aluviales de llanuras de inundación, de pie de monte y sedimentos de playa. Son materiales muy heterométricos constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas. En general los materiales se hacen cada vez más finos y potentes, a medida que nos alejamos del área de los afloramientos carbonatados (áreas de erosión). Las granulometrías son más gruesas en las proximidades de los cauces de los ríos, con una disminución gradual al alejarnos de éstos.

(IGME. 1988. Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización).

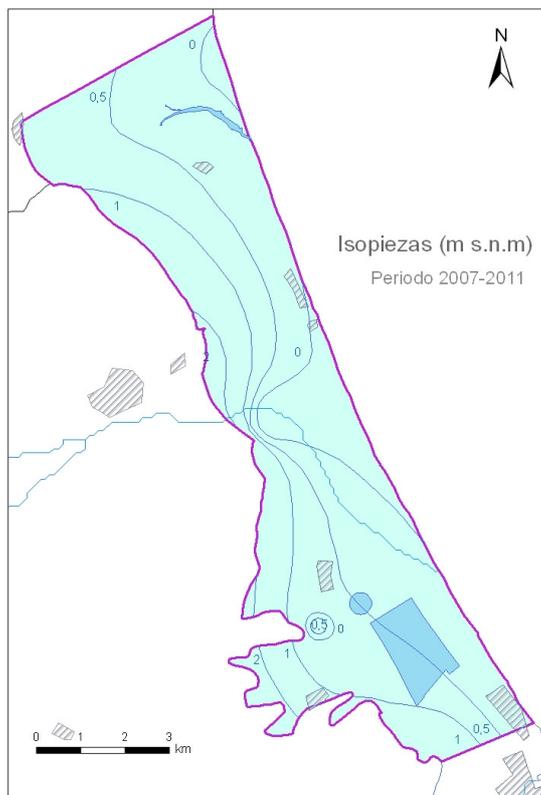
#### Geometría acuífero (IGME, 1988; IGME-DGA, 2010)

	(1)	(2)	(3)	
Norte	(a)	(n)	(p)	(1) Límites: abierto (a), cerrado (c), semipermeable (sp) (2) Flujos: entradas (e), nulo (n), salidas (s) (3) Tipo de contacto: permeable (p), mecánico (m), baja permeabilidad (bp)
Sur	(a)	(n)	(p)	
Este	(a)	(s)	mar	
Oeste	(a)	(e)	(p)	

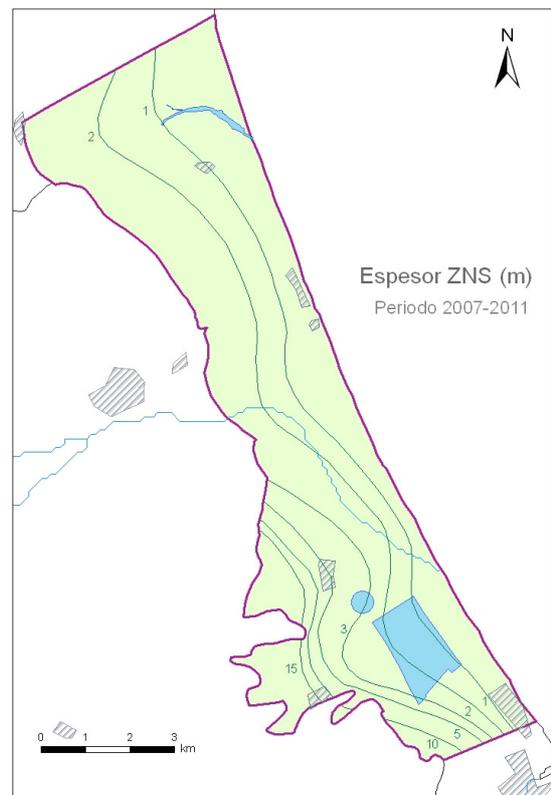
**Parámetros hidráulicos del acuífero detrítico:**

	mínimo	medio	máximo
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Porosidad</li> <li>▪ Permeabilidad o conductividad hidráulica (m/día)</li> <li>▪ Transmisividad (m<sup>2</sup>/día)</li> <li>▪ Coeficiente almacenamiento</li> <li>▪ Superficie piezométrica (m s.n.m) (1973-2011)</li> </ul>			
Oscilación estacional (m): <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espesor ZNS (m) (1973-2011)</li> <li>▪ Tiempo de residencia en el acuífero (día, mes o año)</li> </ul>	-8,01	0,42	8,48
	0,06	9,96	60,64

**Mapa piezométrico:**



**Mapa del espesor de la zona no saturada:**



La superficie piezométrica oscila en la mayor parte de la Plana entre los 0,5 m b.n.m. y los 2 m s.n.m. Se destacan dos zonas con piezometrías bajo el nivel del mar, una al sur de la población de Jaraco y otra, más amplia, en la mitad de la MASub, desde la costa al cauce del río Jaraco.

El espesor de la zona no saturada se sitúa entre los 0-3 m en la mayor parte de la Plana. Únicamente en la parte sur, en los municipios de Jaraco y Jeresa, los espesores oscilan entre los 5 y los 50 m.

## CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

**Parámetros físicoquímicos :** Valores medios (2007-2011)

C.E.(25°C): 1609  $\mu\text{S}/\text{cm}$  /  $T^{\text{a}}$ : 19,9 °C

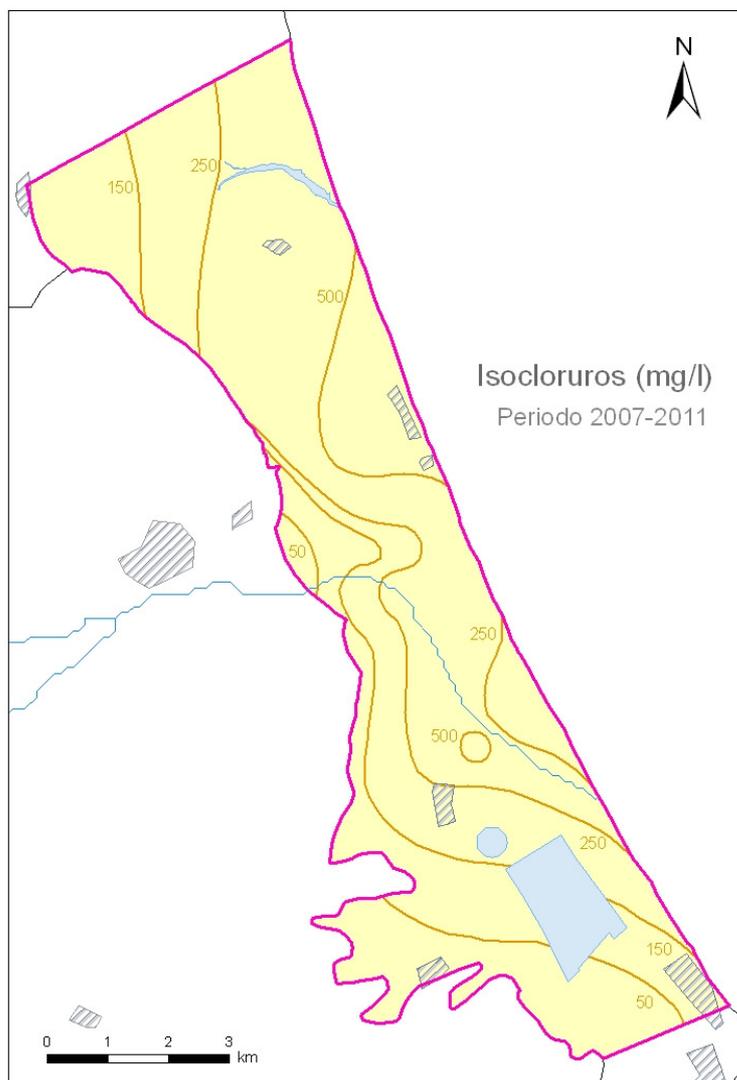
Cloruros: 246 mg/L

Sulfatos (2011): 219 mg/L

Bicarbonatos: 249 mg/L

Nitratos: 44 mg/L

**Mapa de la concentración del ión cloruro:**



La mayor parte del acuífero presenta una concentración por debajo de los 250 mg/L. No obstante, se observa en franja costera de la mitad norte de la MASub concentraciones superiores a los 500 mg/L, también se supera esta concentración en una zona más pequeña, al noreste de la población de Jaraco, entre está y el río Jaraco.

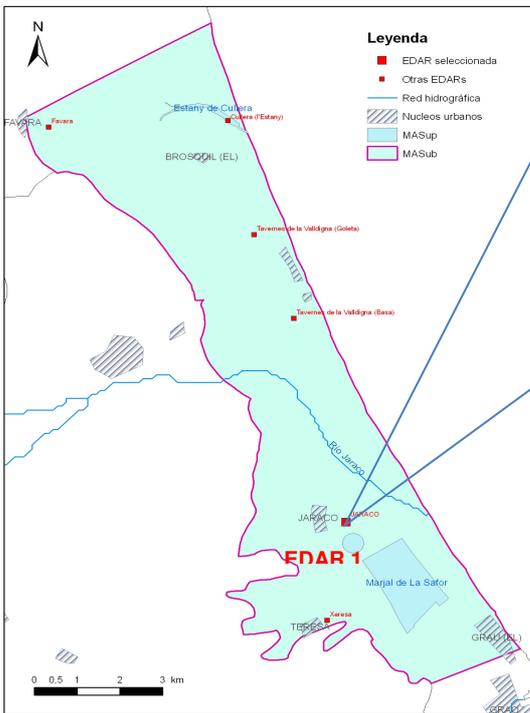
**FICHA TÉCNICA EDAR's (EPSAR, 2011)**

	<b>EDAR 1</b>
<i>Nombre</i>	JARACO
<i>Tipo tratamiento (*)</i>	P, S
<i>Línea de agua</i>	
<i>Pretratamiento</i>	<i>Tamizado</i> <i>Tanque homogeneización</i> <i>Desarenador</i> <i>Desengrasador</i>
<i>Tratamiento primario</i>	-
<i>Tratamiento secundario</i>	<i>Aireación prolongada</i> <i>Eliminación nitrógeno</i> <i>Eliminación fósforo</i>
<i>Tratamiento terciario</i>	-
<i>Desinfección</i>	<i>Cloración</i>
<i>Línea de fangos</i>	<i>Espesador por gravedad</i> <i>Deshidratación centrífuga</i>

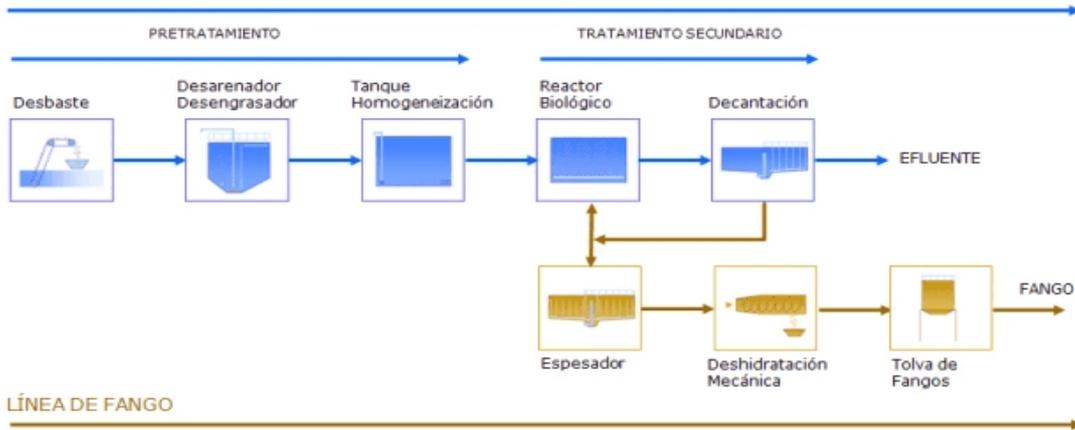
(\*) P- Tratamiento Primario; S- Tratamiento Secundario; T- Tratamiento Terciario; Compl. – Tratamiento Complementario.

## EDAR JARACO (EPSAR, 2011)

**Nombre:** JARACO  
**Comarca:** La Safor  
**Coordenadas UTM (ETRS 89 huso 30);** X: 741832 Y: 4324372 Z: 3  
**Caudal de proyecto (m<sup>3</sup>/día):** 6000  
**Potencia total instalada (kW):** 434  
**Empresa Explotadora:** AQUALOGY MEDIO AMBIENTE, S.A.  
**Asistencia técnica:** LABORATORIOS TECNOLOGICOS DE LEVANTE  
**Caudal funcionamiento 2011 (m<sup>3</sup>/día):** 2433  
**Población servida (he):** 13045



### LÍNEA DE AGUA



**DISPONIBILIDAD AGUAS DEPURADAS (CHJ, 2010)**

<b>Aguas depuradas (EDAR)</b>	<b>JARACO</b>
Volumen depurado 2009 (hm <sup>3</sup> /año)	
¿Existe reutilización?	
Volumen reutilizado 2009 (hm <sup>3</sup> /año):	
Disponibilidad hídrica estimada (hm <sup>3</sup> /año):	

**PREVISIONES DE REUTILIZACIÓN (CHJ, 2010)**

<b>EDAR</b>	<b>JARACO</b>
Volumen depurado 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	
Volumen reutilizado en 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	
Volumen reutilizado 2015 agrícola	
Código UDA	
Nombre UDA	
Volumen UDA-EDAR	

**Calidad química de agua depurada:** Anexo I

## ÁREAS POTENCIALMENTE FAVORABLES

### Zonas seleccionadas:

#### -Norte de la EDAR de Jaraco:

- Concentración de cloruros superior a 500 mg/L.
- Nivel piezométrico medio entre 0-0,5 m s.n.m.
- Espesor medio de la zona no saturada entre 1-3 m.
- EDAR con una disponibilidad hídrica estimada de 0.9 hm<sup>3</sup>/año.
- Tratamiento realizado al agua residual urbana: primario y secundario.

### ANEXO I (IGME-DGA, 2010): Calidad química de las aguas depuradas

El agua procedente de las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas deberán cumplir la normativa vigente (Directiva 91/271/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas; Real Decreto 509/1996 de 15 de marzo de 1996 de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995 de 28 de diciembre de 1995 por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas; Orden de 13 de agosto de 1999 por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar, aprobado por el Real Decreto 1664/1998 de 24 de julio de 1998).

Parámetros (Orden de 13 de agosto de 1999, Artículo 34): Con independencia de los condicionantes que en cada caso se establezcan a los efluentes de las depuradoras, para conseguir los objetivos de calidad fijados en los tramos de río, se establecen los siguientes requisitos mínimos, referidos a concentración o reducción de contaminantes en los tratamientos secundarios:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
DBO <sub>5a</sub> 20° C sin nitrificación	25 mg/l.O <sub>2</sub>	70-90
DQO	125 mg/l.O <sub>2</sub>	75
S.S.	35 mg/l (> 10.000 h-e)	90
S.S.	60 mg/l (2.000-10.000 h-e)	70

Asimismo, se establecen los siguientes requisitos para los vertidos a zonas sensibles:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
P	2 mg/l (10.000-100.000 h-e) 1 mg/l (> 100.000 h-e)	80
N. total	15 mg/l (10.000-100.000 h-e) 10 mg/l (> 100.000 h-e)	70-80

## CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRANEAS COSTERAS PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS CON AGUA DEPURADA COMO BARRERA HIDRÁULICA FRENTE A LA INTRUSIÓN MARINA

DEMARCACIÓN  
HIDROGRÁFICA **081 - JÚCAR**

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE  
RECURSOS  
**08.07 MARINA ALTA**

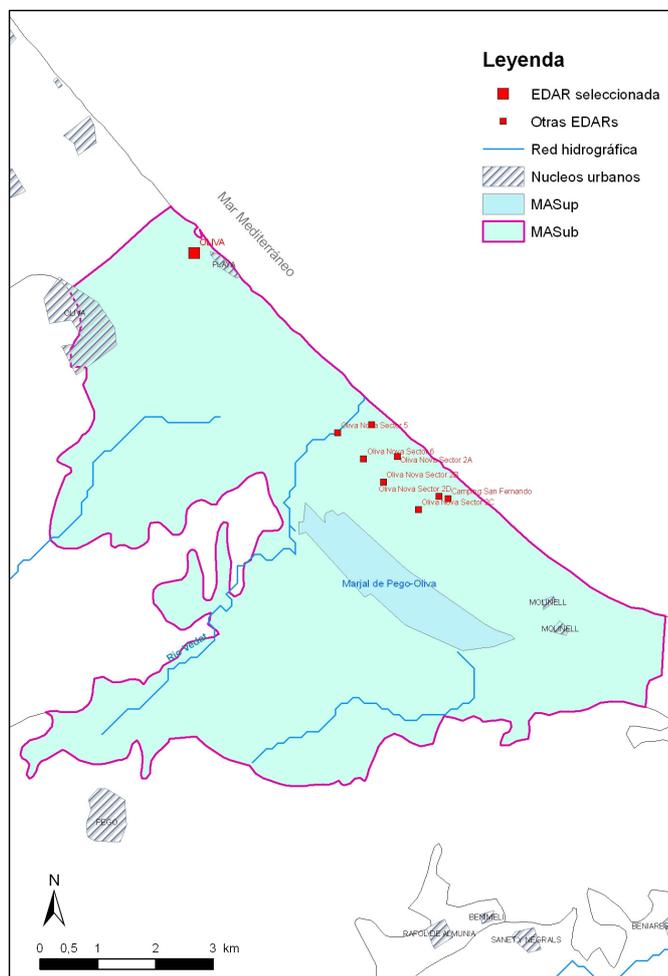
**MASA DE AGUA  
SUBTERRÁNEA  
080.163 Oliva-Pego**

### CARACTERIZACIÓN GENERAL

Comunidad Autónoma: Comunidad Valenciana  
Provincias: Valencia y Alicante

Municipios: Oliva y Pego

### PLANO DE SITUACIÓN:

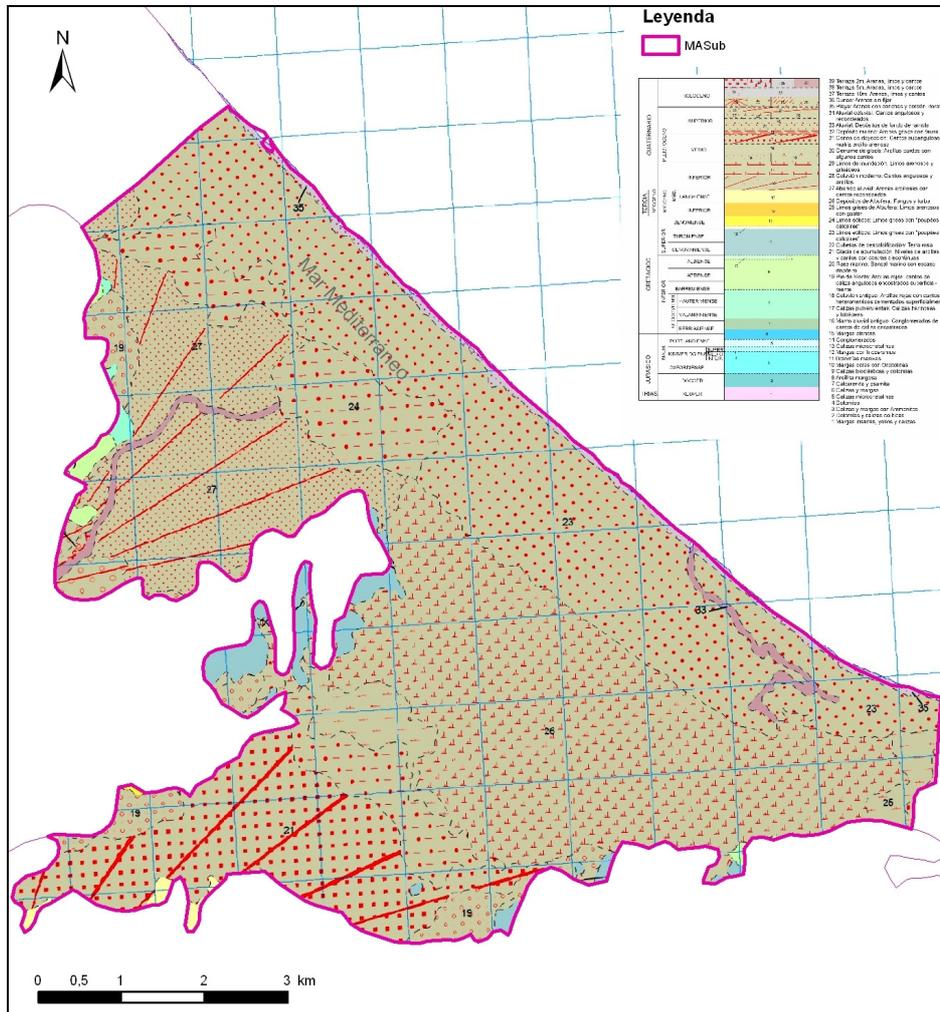


La MASub Oliva-Pego tiene una extensión de 54,64 km<sup>2</sup>, una longitud de costa de 11,4 km y una anchura variable entre 1,6 y 8,8 km. Se sitúa casi totalmente entre el nivel del mar y la cota 100. En su parte central se encuentra el marjal de Oliva-Pego, uno de los espacios naturales de la Comunidad Valenciana incluidos en el Convenio de Ramsar.

La red hidrológica está constituida por la rambla de la Gallinera, al norte, el río Vedat o Bullens, en el centro, y el río Racons, en el sur.

## CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

### PLANO GEOLÓGICO:



### ACUÍFEROS IMPLICADOS:

El Pliocuaternario de Oliva-Pego, integra un sistema litoral de tipo multicapas y permeabilidad por porosidad intergranular, dispuesto sobre un impermeable de base integrado por margas miocenas o por margas con yesos del Trías Keuper, sin embargo, en ciertos sectores la base del acuífero está formada por los materiales permeables carbonatados del acuífero Mesozoico de Pego.

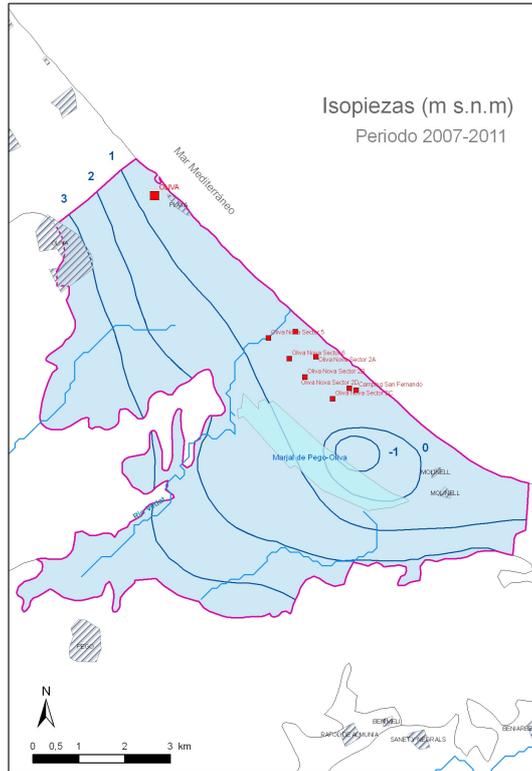
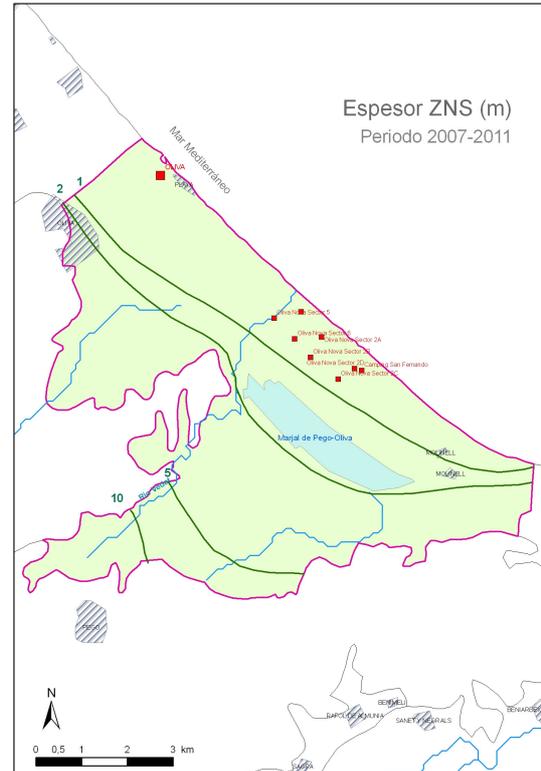
(Ballesteros, B.J. et al., 2009. Zonas húmedas mediterráneas y acuíferos asociados. Condicionantes hidrogeológicos del Marjal de Pego-Oliva (Alicante-Valencia). Boletín Geológico y Minero de España, 120 (3): 459-478).

### Geometría acuífero (IGME, 1988; IGME-DGA, 2010)

	(1)	(2)	(3)	
Norte	(a)	(e)	(p)	(1) Límites: abierto (a), cerrado (c), semipermeable (sp) (2) Flujos: entradas (e), nulo (n), salidas (s) (3) Tipo de contacto: permeable (p), mecánico (m), baja permeabilidad (bp)
Sur	(a)	(e)	(p)	
Este	(a)	(s)	mar	
Oeste	(a)	(e)	(p)	

**Características del acuífero detrítico:**

	mínimo	medio	máximo
▪ Superficie piezométrica (m s.n.m) (1973-2011)	-8,98	2,56	11,7
▪ Espesor ZNS (m) (1973-2011)	0,35	6,68	31,3

**Mapa piezométrico:****Mapa del espesor de la zona no saturada:**

La superficie piezométrica oscila, en el periodo 2007-2011, en la mayor parte de la Plana entre los 3 m s.n.m. y el nivel del mar. Entre el marjal de Oliva-Pego, en su parte sur, y la costa se observan valores por debajo del nivel del mar.

El espesor de la zona no saturada se sitúa entre los 0-10 m en la mayor parte de la MASub.

## CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

**Parámetros físicoquímicos :** Valores medios (2007-2011)

C.E. (a 25°C): 1939  $\mu\text{S}/\text{cm}$

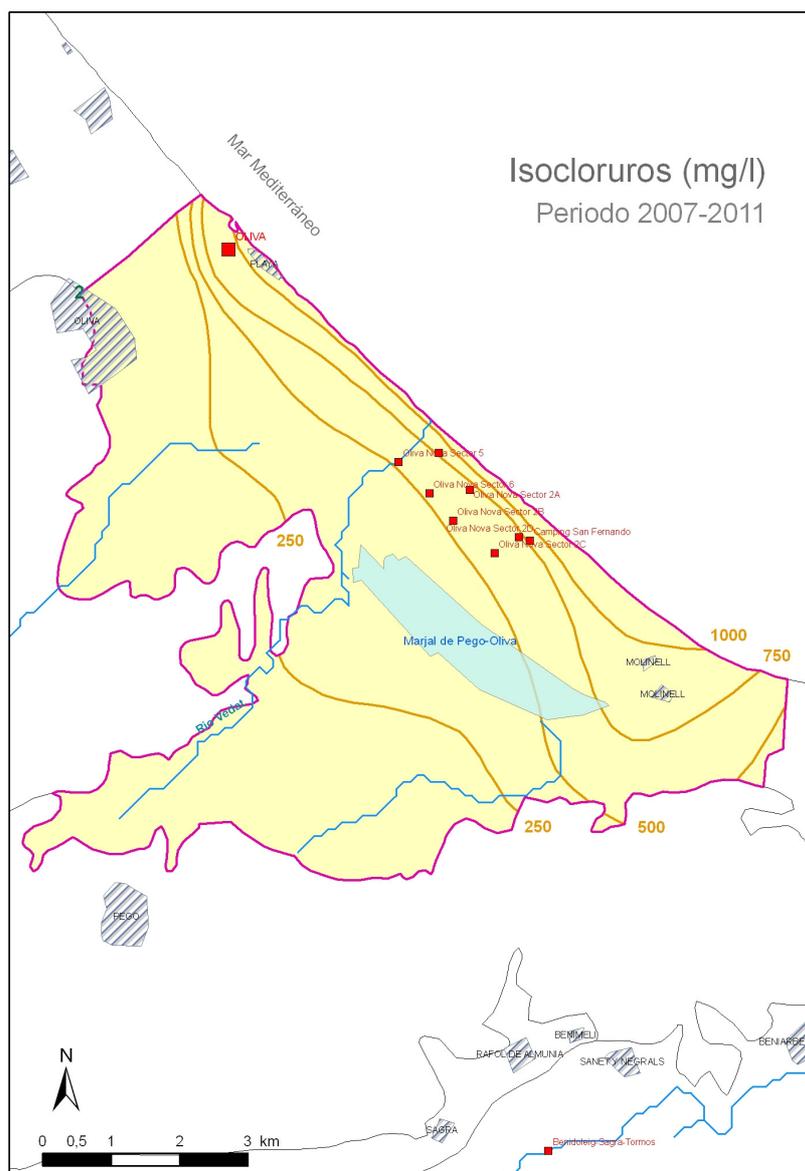
Cloruros: 404 mg/L

Sulfatos (2011): 84 mg/L

Bicarbonatos: 247 mg/L

Nitratos: 42 mg/L

**Mapa de la concentración del ión cloruro:**



La mayor parte del acuífero presenta una concentración por encima de los 250 mg/L. Las mayores concentraciones se encuentran en toda la franja costera, con concentraciones superiores a 750 mg/L. En la parte sur, pedanía de Molinell, la isolínea de cloruros de 750 mg/L se extiende hacia el interior 1,7 km.

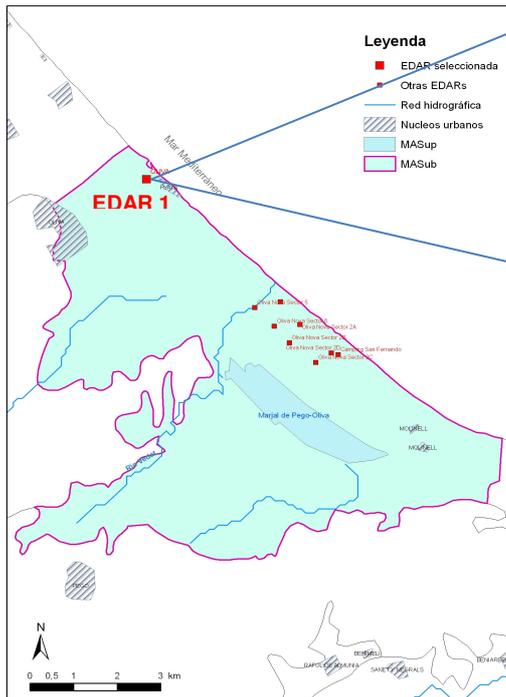
**FICHA TÉCNICA EDAR's (EPSAR, 2011)**

	<b>EDAR 1</b>
<i>Nombre</i>	<i>OLIVA</i>
<i>Tipo tratamiento (*)</i>	<i>P, S</i>
<i>Línea de agua</i>	
<i>Pretratamiento</i>	<i>Reja de gruesos</i> <i>Tamizado</i> <i>Desarenador</i> <i>Desengrasador</i>
<i>Tratamiento primario</i>	-
<i>Tratamiento secundario</i>	<i>Fangos activados</i>
<i>Tratamiento terciario</i>	-
<i>Desinfección</i>	<i>Cloración</i>
<i>Línea de fangos</i>	<i>Espesador por gravedad</i> <i>Estabilización aerobia</i> <i>Deshidratación por filtros</i> <i>Deshidratación por eras de secado</i>

(\*) P- Tratamiento Primario; S- Tratamiento Secundario; T- Tratamiento Terciario; Compl. - Tratamiento Complementario.

## EDAR OLIVA (EPSAR, 2011)

**Nombre:** OLIVA  
**Comarca:** La Safor  
**Coordenadas UTM (ETRS 89 huso 30);** X: 751750    Y: 4312857    Z: 2  
**Caudal de proyecto (m<sup>3</sup>/día):** 4000  
**Potencia total instalada (kW):** 300  
**Empresa Explotadora:** AYTO. OLIVA  
**Asistencia técnica:** LABORATORIOS TECNOLÓGICOS DE LEVANTE  
**Caudal funcionamiento 2011 (m<sup>3</sup>/día):** 3793  
**Población servida (he):** 12398



### LÍNEA DE AGUA



**DISPONIBILIDAD AGUAS DEPURADAS (CHJ, 2010)**

<b>Aguas depuradas (EDAR)</b>	<b>OLIVA</b>
Volumen depurado 2009 (hm <sup>3</sup> /año)	
¿Existe reutilización?	
Volumen reutilizado 2009 (hm <sup>3</sup> /año)	
Disponibilidad hídrica estimada (hm <sup>3</sup> /año)	

**PREVISIONES DE REUTILIZACIÓN (CHJ, 2010)**

<b>EDAR</b>	<b>OLIVA</b>
<i>Volumen depurado 2015 (hm<sup>3</sup>/año)</i>	
<i>Volumen reutilizado en 2015 (hm<sup>3</sup>/año)</i>	
<i>Volumen reutilizado 2015 agrícola</i>	
<i>Código UDA</i>	
<i>Nombre UDA</i>	
<i>Volumen UDA-EDAR</i>	

**Calidad química de agua depurada:** Anexo I

## ÁREAS POTENCIALMENTE FAVORABLES

### Zonas seleccionadas:

#### - Área de la Playa de Oliva:

- Concentración de cloruros superior a 750 mg/L.
- Nivel piezométrico medio entre 0-1 m s.n.m.
- Espesor medio de la zona no saturada entre 0-1 m.
- EDARcon una disponibilidad hídrica estimada de 1.4 hm<sup>3</sup>/año.
- Tratamiento realizado al agua residual urbana: primario y secundario.

### ANEXO I (IGME-DGA, 2010): Calidad química de las aguas depuradas

El agua procedente de las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas deberán cumplir la normativa vigente (Directiva 91/271/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas; Real Decreto 509/1996 de 15 de marzo de 1996 de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995 de 28 de diciembre de 1995 por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas; Orden de 13 de agosto de 1999 por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar, aprobado por el Real Decreto 1664/1998 de 24 de julio de 1998).

Parámetros (Orden de 13 de agosto de 1999, Artículo 34): Con independencia de los condicionantes que en cada caso se establezcan a los efluentes de las depuradoras, para conseguir los objetivos de calidad fijados en los tramos de río, se establecen los siguientes requisitos mínimos, referidos a concentración o reducción de contaminantes en los tratamientos secundarios:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
DBO <sub>5a</sub> 20° C sin nitrificación	25 mg/l.O <sub>2</sub>	70-90
DQO	125 mg/l.O <sub>2</sub>	75
S.S.	35 mg/l (> 10.000 h-e)	90
S.S.	60 mg/l (2.000-10.000 h-e)	70

Asimismo, se establecen los siguientes requisitos para los vertidos a zonas sensibles:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
P	2 mg/l (10.000-100.000 h-e) 1 mg/l (> 100.000 h-e)	80
N. total	15 mg/l (10.000-100.000 h-e) 10 mg/l (> 100.000 h-e)	70-80

**CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRANEAS COSTERAS PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS CON AGUA DEPURADA COMO BARRERA HIDRÁULICA FRENTE A LA INTRUSIÓN MARINA**

DEMARCACIÓN  
HIDROGRÁFICA  
A **081 -  
JÚCAR**

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE  
RECURSOS  
**08.07 MARINA ALTA**

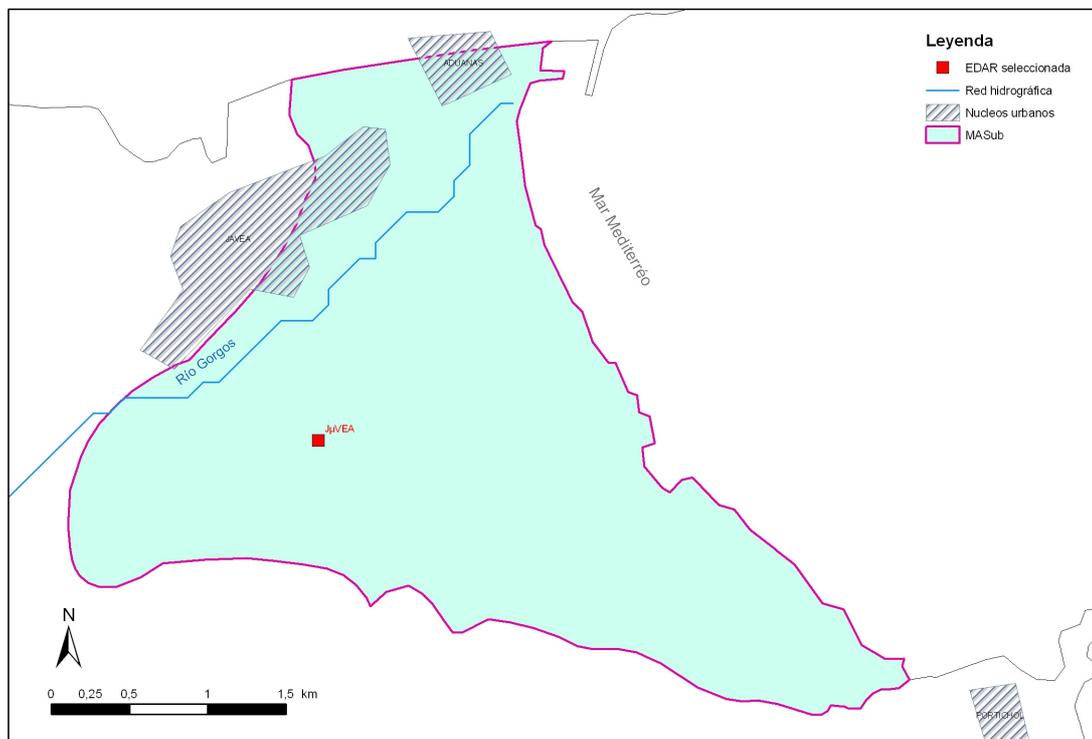
**MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA  
080.180 JÁVEA**

**CARACTERIZACIÓN GENERAL**

Comunidad Autónoma: Comunidad Valenciana  
Provincia: Alicante

Municipios: Jávea.

**PLANO DE SITUACIÓN:**

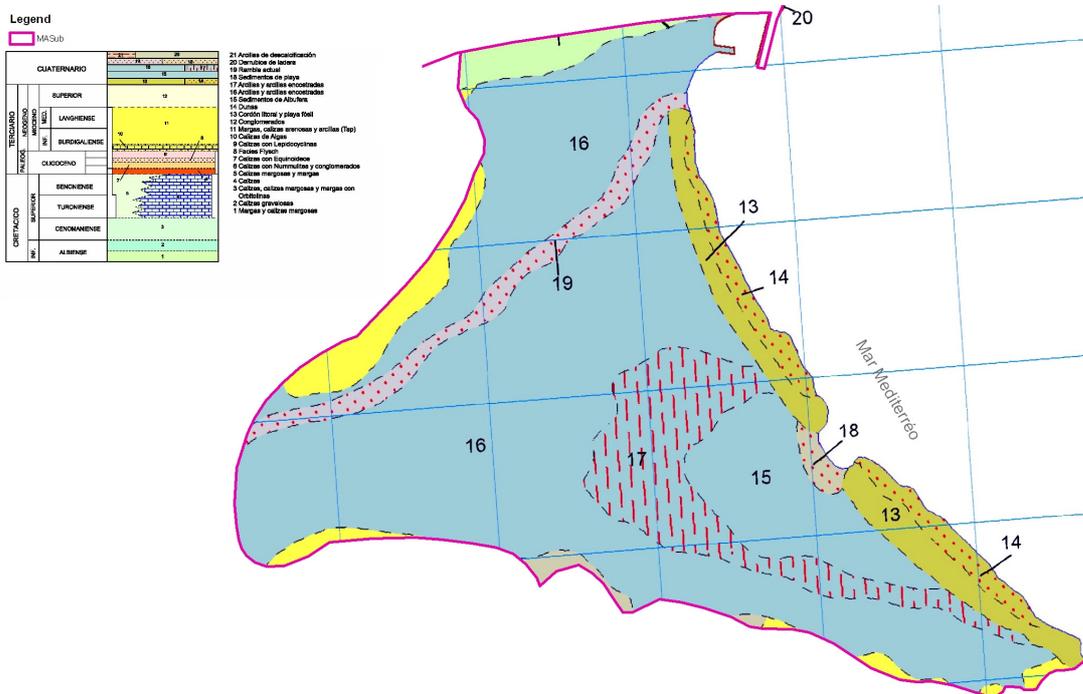


La MASub Plana de Jávea se sitúa al norte de la provincia de Alicante, en la comarca de la Marina Alta, que se extiende sobre el tramo final del río Gorgos. Tiene una extensión de 10,18 km<sup>2</sup>, una longitud de costa de 5,4 km y una anchura variable entre 1 y 4 km. Se sitúa casi totalmente entre el nivel del mar y la cota 60.

La red hidrográfica está constituida por el río Gorgos.

## CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

### PLANO GEOLÓGICO:



**ACUÍFEROS IMPLICADOS:** Las formaciones acuíferas del sistema de la Plana de Jávea corresponden a sedimentos detríticos de edad cuaternaria constituidos principalmente por gravas, arenas y limos, relacionados con los procesos de erosión y sedimentación del río Gorgos y la denudación de los relieves mesozoicos y cenozoicos circundantes. El conjunto de estos materiales ocupa las partes más bajas del valle aluvial por el que transcurre dicho río, según una alineación oeste-este. Dentro de este esquema, y a grandes rasgos, la geometría de los sedimentos presenta una forma ligeramente acunada, con espesores máximos en puntos cercanos a la línea de costa, donde alcanzan entre 30 y 50 metros, y valores mínimos, hasta desaparecer, en los bordes interiores. En la zona más litoral existen además arenas y areniscas de origen marino.

La base impermeable del conjunto acuífero está constituida por las margas del "Tap" pertenecientes al Mioceno, las cuales forman también la mayor parte de sus límites, con la excepción del límite este que corresponde al mar Mediterráneo y es, por tanto, abierto. En el sector meridional el límite es también abierto y existe conexión con el acuífero de la Depresión de Benisa. Bajo el Mioceno margoso, que como se acaba de decir actúa como impermeable de base, subyacen las calizas del Cretácico Superior. Recientes investigaciones han detectado la presencia de estas formaciones a 126 metros de profundidad en un lugar situado a 500 metros de la costa junto al cauce del río Gorgos, encontrándose totalmente invadidas por agua de origen marino.

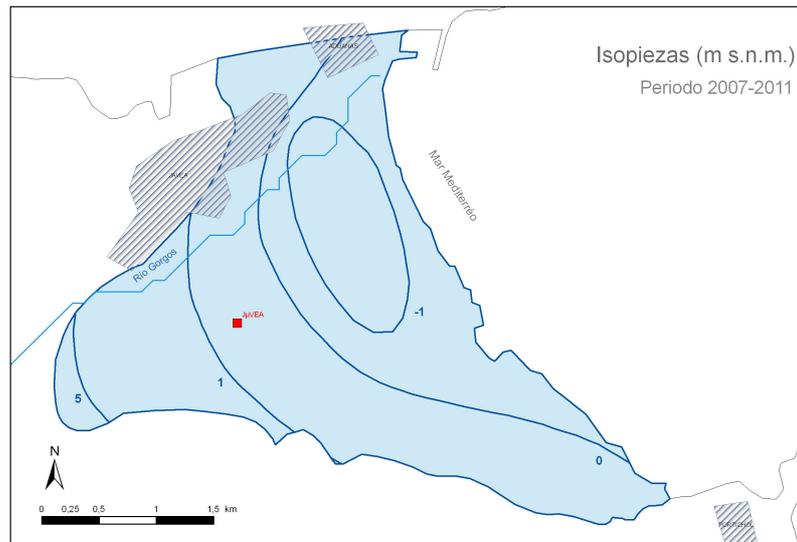
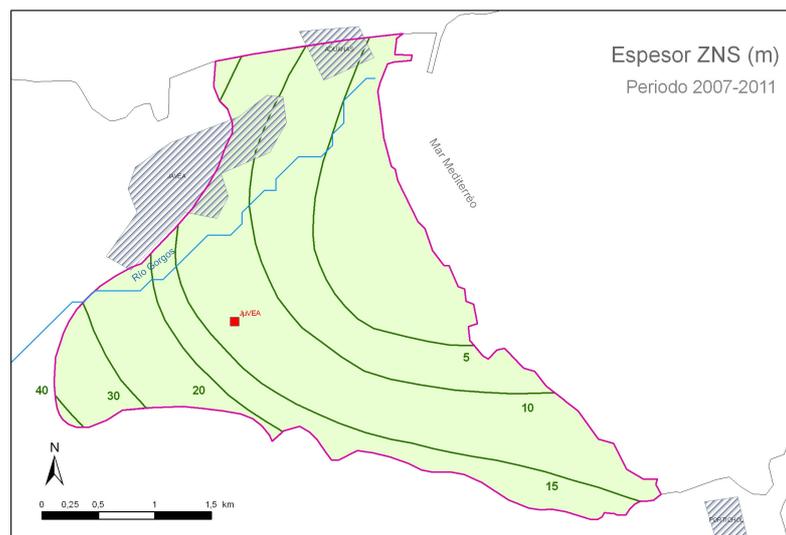
(Ballesteros Navarro, B.J. et al. 2001)

#### Geometría acuífero (Ballesteros Navarro, B.J. et al. 2001)

	(1)	(2)	(3)	
Norte	(c)	(n)	(bp)	(1) Límites: abierto (a), cerrado (c), semipermeable (sp)
Sur	(a/c)	(e/s)	(p/bp)	(2) Flujos: entradas (e), nulo (n), salidas (s)
Este	(a)	(s)	mar	(3) Tipo de contacto: permeable (p), mecánico (m), baja permeabilidad (bp)
Oeste	(c)	(n)	(bp)	

**Parámetros hidráulicos del acuífero detrítico:**

	mínimo	medio	máximo
▪ Gradiente hidráulico	0,3		1
▪ Transmisividad (m <sup>2</sup> /día)	750		7500
▪ Superficie piezométrica (m s.n.m) (1973-2011)	-3,30	2,04	10,83
Oscilación estacional (m):	1-2		2-3
▪ Espesor ZNS (m) (1973-2011)	2,51	20,96	38,72

**Mapa piezométrico:****Mapa del espesor de la zona no saturada:**

La superficie piezométrica oscila entre los 5 m s.n.m., en el sector interior, y niveles que se sitúan en su mayor parte por debajo de la cota cero en su mitad oriental, con mínimos habituales en torno a los 1-1.5 m b.n.m. al sureste de la población de Játiva.

El espesor de la zona no saturada se sitúa entre los 5-40 m en la mayor parte de la Plana.

## CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

**Parámetros físicoquímicos :** Valores medios (2007-2011, punto de control 08.47.112)

C.E.(25°C): 3689  $\mu\text{S}/\text{cm}$  /  $T^{\text{a}}$ : 19,1 °C

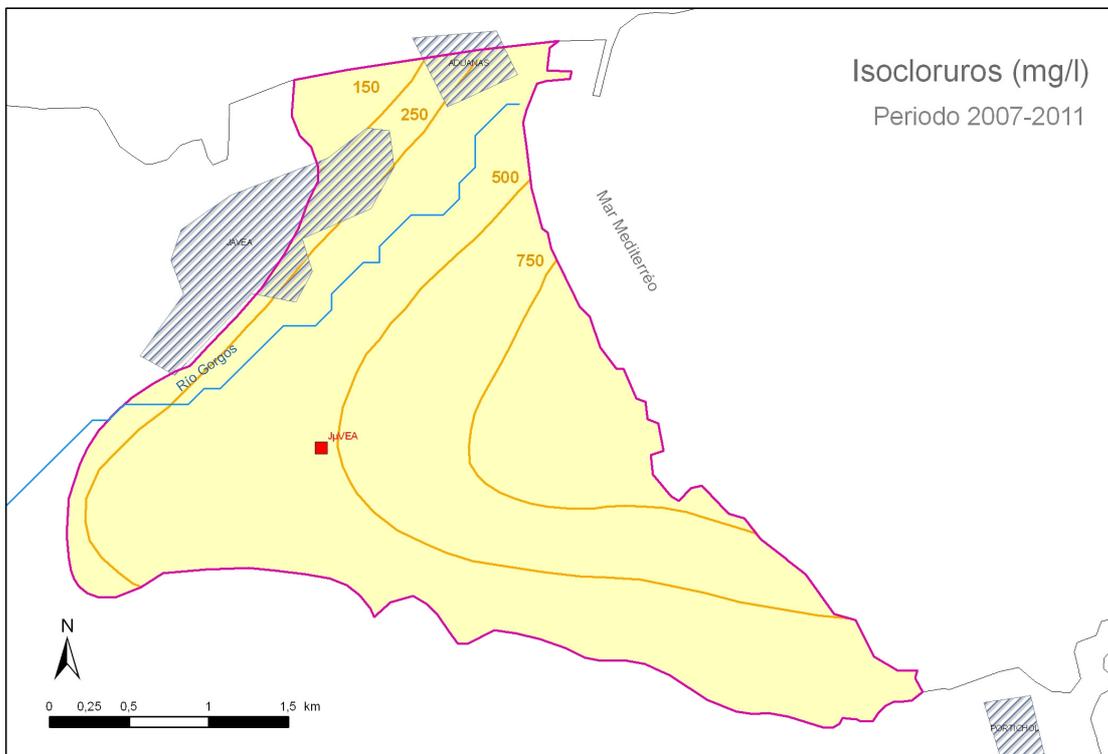
Cloruros: 750 mg/L

Sulfatos (2011): 582 mg/L

Bicarbonatos: 349 mg/L

Nitratos: 96 mg/L

### Mapa de la concentración del ión cloruro:



La mayor parte del acuífero presenta una concentración en cloruros por encima de los 250 mg/L, con una zona con contenidos máximos (por encima de los 750 mg/L) en la parte central meridional.

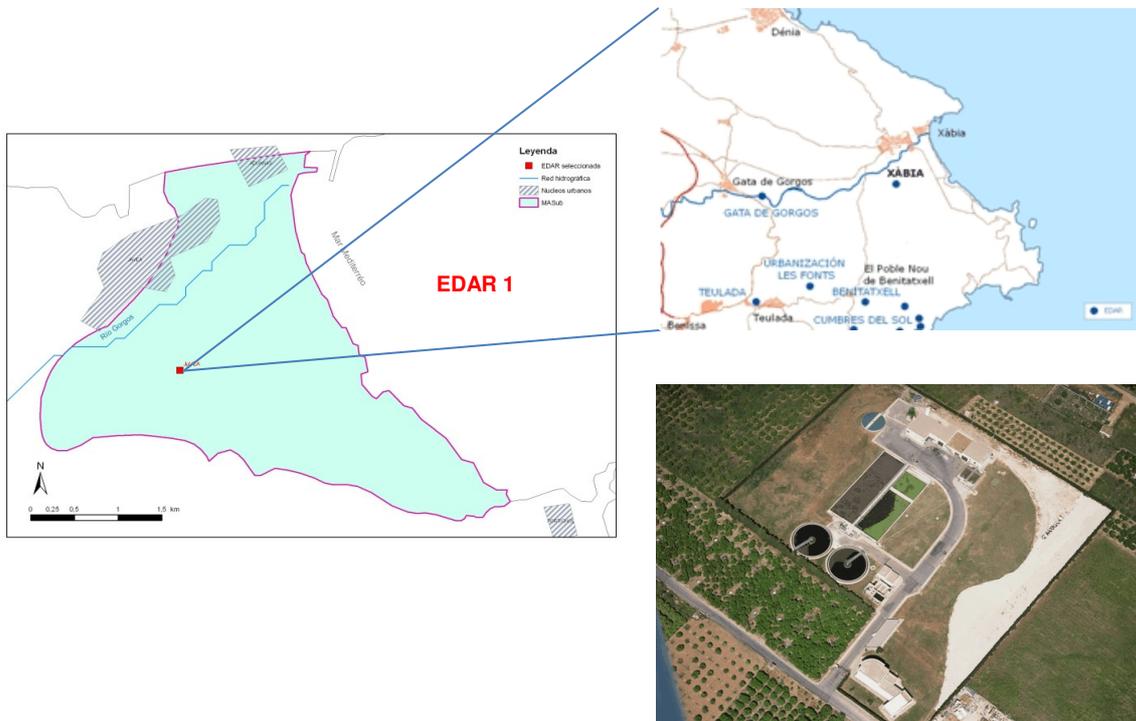
**FICHA TÉCNICA EDAR's SELECCIONADAS (EPSAR, 2011)**

	<b>EDAR 1</b>
<i>Nombre</i>	<i>JÁVEA</i>
<i>Tipo tratamiento (*)</i>	<i>P, S</i>
<i>Línea de agua</i>	
<i>Pretratamiento</i>	<i>Tamizado</i> <i>Desarenador</i> <i>Desengrasador</i>
<i>Tratamiento primario</i>	-
<i>Tratamiento secundario</i>	<i>Aireación prolongada</i> <i>Eliminación nitrógeno</i> <i>Eliminación fósforo</i>
<i>Tratamiento terciario</i>	-
<i>Desinfección</i>	<i>Cloración</i>
<i>Línea de fangos</i>	<i>Espesador por gravedad</i> <i>Estabilización con cal</i> <i>Deshidratación centrífuga</i>

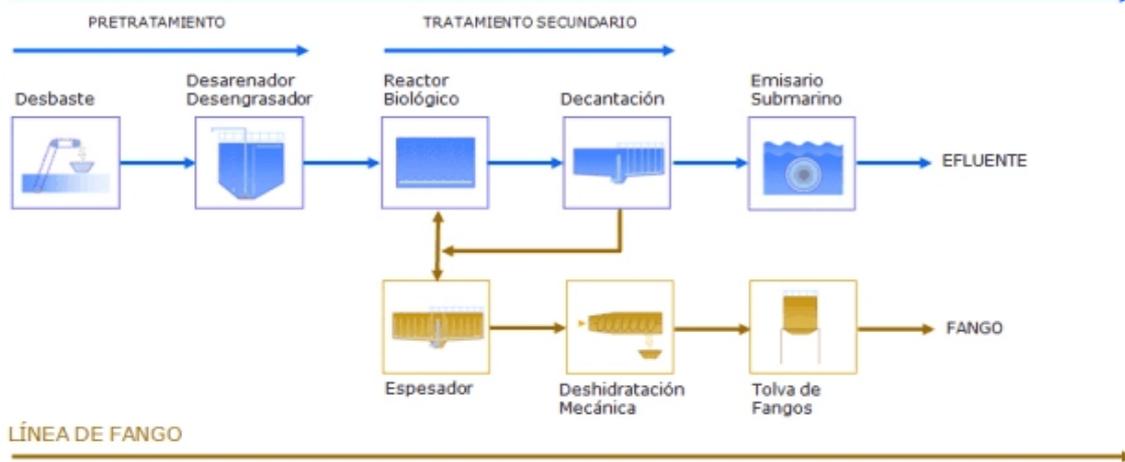
(\*) P- Tratamiento Primario; S- Tratamiento Secundario; T- Tratamiento Terciario; Compl. – Tratamiento Complementario.

## EDAR JÁVEA (EPSAR, 2011)

Nombre:	JÁVEA		
Comarca:	La Marina Alta		
Coordenadas UTM (ETRS 89 huso 30);	X: 775131	Y: 4296521	Z: 15
Caudal de proyecto (m <sup>3</sup> /día):	8400		
Potencia total instalada (kW):	649		
Empresa Explotadora:	UTE SAV-DAM		
Asistencia técnica:	LABORATORIOS TECNOLÓGICOS DE LEVANTE		
Caudal funcionamiento 2011 (m <sup>3</sup> /día):	4847		
Población servida (he):	22097		



### LÍNEA DE AGUA



**DISPONIBILIDAD AGUAS DEPURADAS (CHJ, 2010)**

<b>Aguas depuradas (EDAR)</b>	<b>JÁVEA</b>
Volumen depurado 2009 (hm <sup>3</sup> /año)	
¿Existe reutilización?	
Volumen reutilizado 2009 (hm <sup>3</sup> /año)	
Disponibilidad hídrica estimada (hm <sup>3</sup> /año)	

**PREVISIONES DE REUTILIZACIÓN (CHJ, 2010)**

<b>EDAR</b>	<b>JÁVEA</b>
<i>Volumen depurado 2015 (hm<sup>3</sup>/año)</i>	
<i>Volumen reutilizado en 2015 (hm<sup>3</sup>/año)</i>	
<i>Volumen reutilizado 2015 agrícola</i>	
<i>Código UDA</i>	
<i>Nombre UDA</i>	
<i>Volumen UDA-EDAR</i>	

**Calidad química de agua depurada:** Anexo I

## ÁREAS POTENCIALMENTE FAVORABLES

### Zonas seleccionadas:

#### -Este de la EDAR de Jávea:

- Concentración de cloruros entre los 500 y los 700 mg/L.
- Nivel piezométrico medio entre 0,5 m s.n.m y 0,5 m b.n.m.
- Espesor medio de la zona no saturada entre 10-15 m.
- EDAR con una disponibilidad hídrica estimada de 1.8 hm<sup>3</sup>/año.
- Tratamiento realizado al agua residual urbana: primario y secundario.

### ANEXO I (IGME-DGA, 2010): Calidad química de las aguas depuradas

El agua procedente de las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas deberán cumplir la normativa vigente (Directiva 91/271/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas; Real Decreto 509/1996 de 15 de marzo de 1996 de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995 de 28 de diciembre de 1995 por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas; Orden de 13 de agosto de 1999 por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar, aprobado por el Real Decreto 1664/1998 de 24 de julio de 1998).

Parámetros (Orden de 13 de agosto de 1999, Artículo 34): Con independencia de los condicionantes que en cada caso se establezcan a los efluentes de las depuradoras, para conseguir los objetivos de calidad fijados en los tramos de río, se establecen los siguientes requisitos mínimos, referidos a concentración o reducción de contaminantes en los tratamientos secundarios:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
DBO <sub>5</sub> a 20° C sin nitrificación	25 mg/L.O <sub>2</sub>	70-90
DQO	125 mg/L.O <sub>2</sub>	75
S.S.	35 mg/L (> 10.000 h-e)	90
S.S.	60 mg/L (2.000-10.000 h-e)	70

Asimismo, se establecen los siguientes requisitos para los vertidos a zonas sensibles:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
P	2 mg/L (10.000-100.000 h-e) 1 mg/L (> 100.000 h-e)	80
N. total	15 mg/L (10.000-100.000 h-e) 10 mg/L (> 100.000 h-e)	70-80

## CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRANEAS COSTERAS PARA LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS CON AGUA DEPURADA COMO BARRERA HIDRÁULICA FRENTE A LA INTRUSIÓN MARINA

DEMARCACIÓN  
HIDROGRÁFIC  
A 081 -  
JÚCAR

SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE  
RECURSOS  
08.07 MARINA ALTA

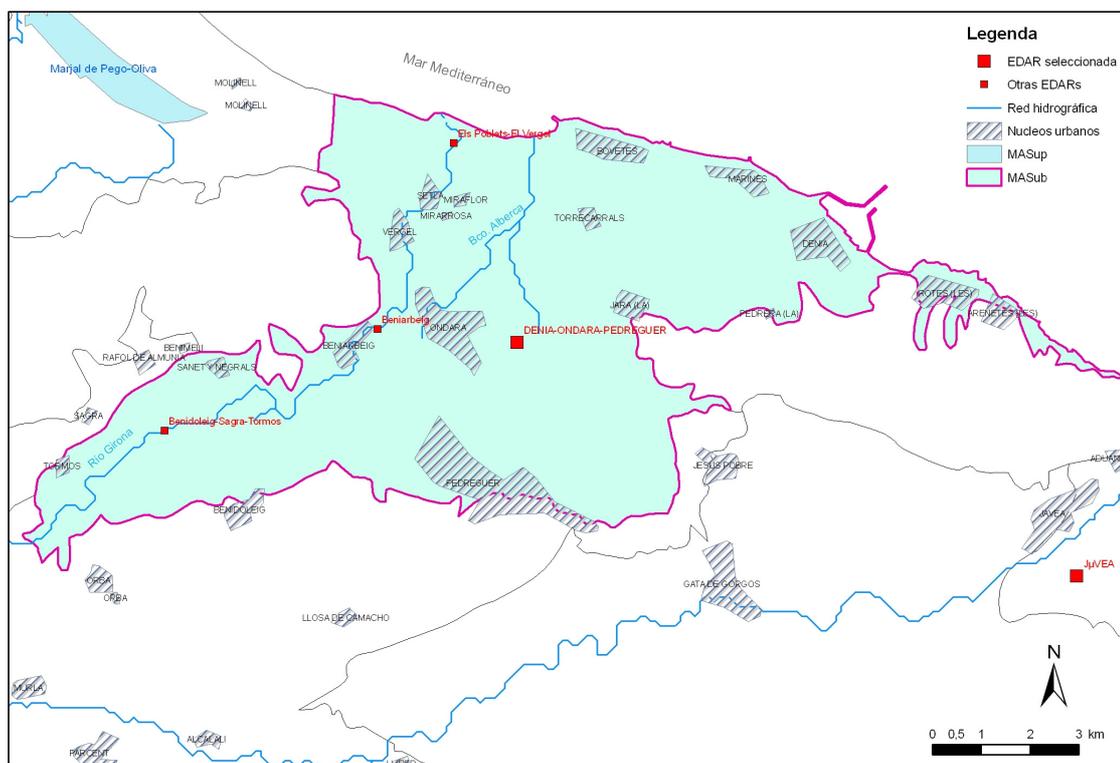
MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA  
080.164 ONDARA-DENIA

### CARACTERIZACIÓN GENERAL

Comunidad Autónoma: Comunidad Valenciana  
Provincia: Alicante

Municipios: Tormos, Benidoleig, Sanet y Negrals, Beniarbeig, Pedeguer, Ondara, Verger y Denia.

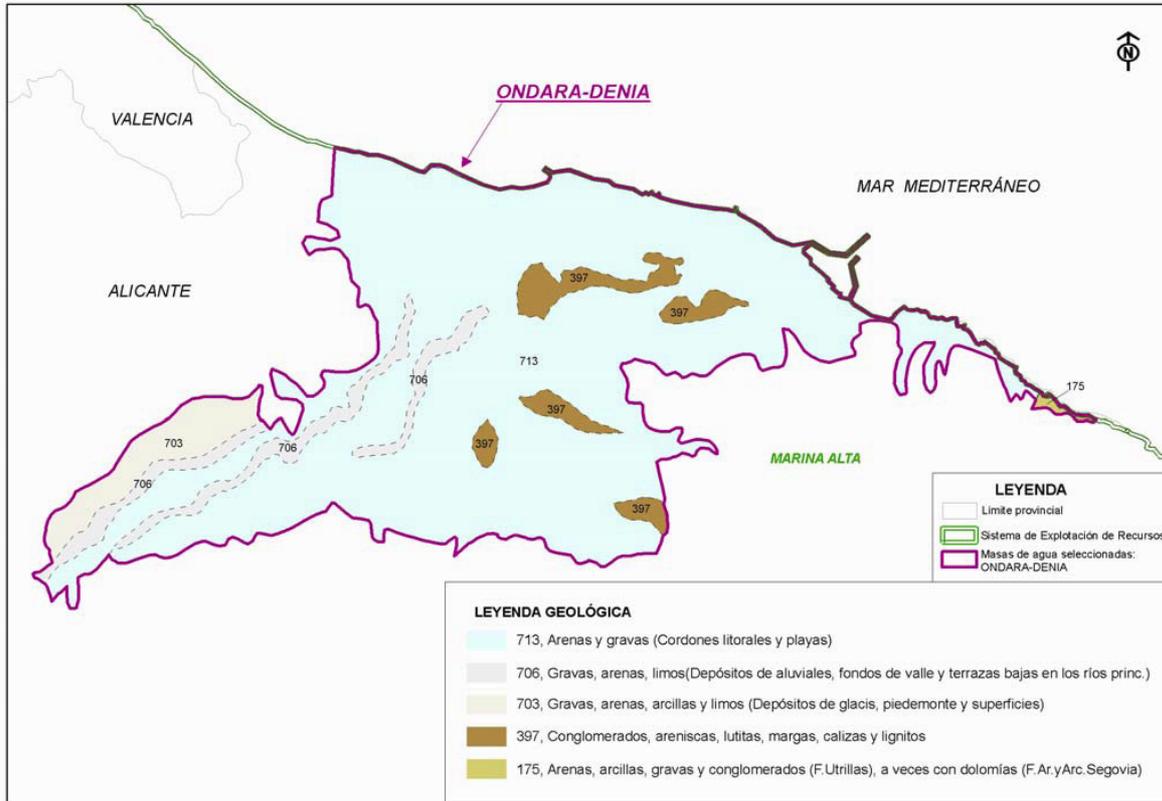
### PLANO DE SITUACIÓN:



La MASub Ondara-Denia se sitúa al norte de la provincia de Alicante, en la comarca de la Marina Alta. Tiene una extensión de 82,59 km<sup>2</sup>, una longitud de costa de 18,7 km y una anchura variable entre los 50 m y los 11 km. Se sitúa casi totalmente entre el nivel del mar y la cota 150. La red hidrográfica está constituida por el río Girona y el barranco Alberca.

## CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

### PLANO GEOLÓGICO:



(IGME-DGA (2010). Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 8. Informe 8)

### ACUÍFEROS IMPLICADOS:

Los niveles permeables que constituyen la masa de agua subterránea son detríticos de edad pliocuaternario constituidos por depósitos aluviales, de pie de monte y sedimentos marinos y mixtos. En definitiva, son materiales en general sueltos, muy heterométricos, constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas.

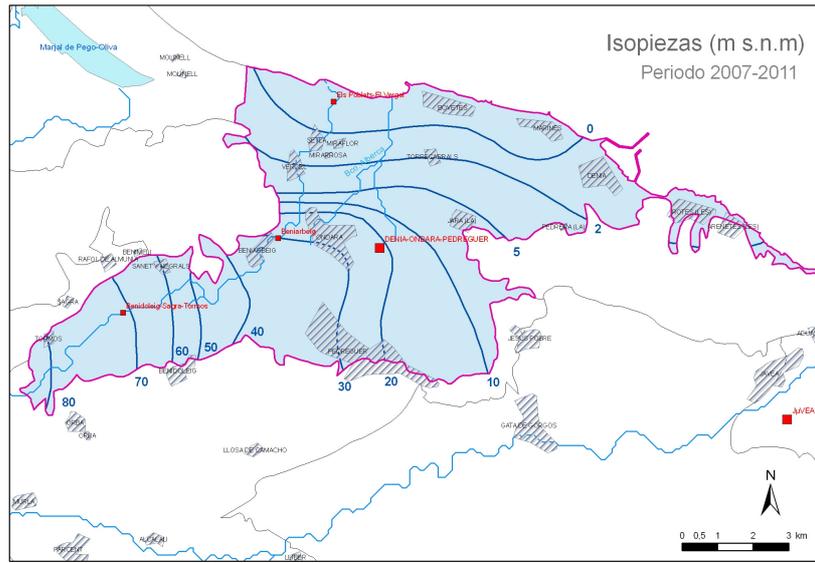
### Geometría acuífero

	(1)	(2)	(3)	
Norte	(a)	(s)	mar	(1) Límites: abierto (a), cerrado (c), semipermeable (sp) (2) Flujos: entradas (e), nulo (n), salidas (s) (3) Tipo de contacto: permeable (p), mecánico (m), baja permeabilidad (bp)
Sur	(a)	(e)	(p)	
Este	(a)	(e)	(p)	
Oeste	(a)	(e)	(p)	

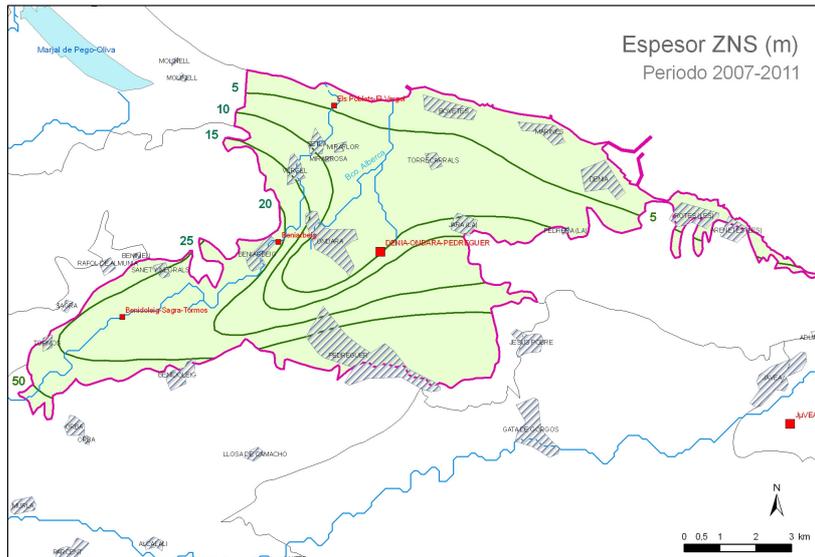
**Parámetros hidráulicos del acuífero detrítico:**

	mínimo	medio	máximo
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transmisividad (m<sup>2</sup>/día)</li> <li>▪ Superficie piezométrica (m s.n.m) (1973-2011)</li> </ul>	-7,39	32,26	150
<p>Oscilación estacional (m):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espesor ZNS (m) (1973-2011)</li> </ul>	-0,5	17,50	131,25

**Mapa piezométrico:**



**Mapa del espesor de la zona no saturada:**



La superficie piezométrica oscila entre los 80-90 m s.n.m., en el sector interior, y la cota cero en la franja litoral. Se observan niveles por debajo de dicha cota (entre 0 m s.n.m. y 0,5 m b.n.m.) en la parte central costera.

El espesor de la zona no saturada se sitúa entre los 5-50 m en la mayor parte de la MASub.

## CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

**Parámetros físicoquímicos :** Valores medios (periodo 2007-2011)

C.E.(25°C): 1939  $\mu\text{S/cm}$  /  $T^a$ : 19,36 °C

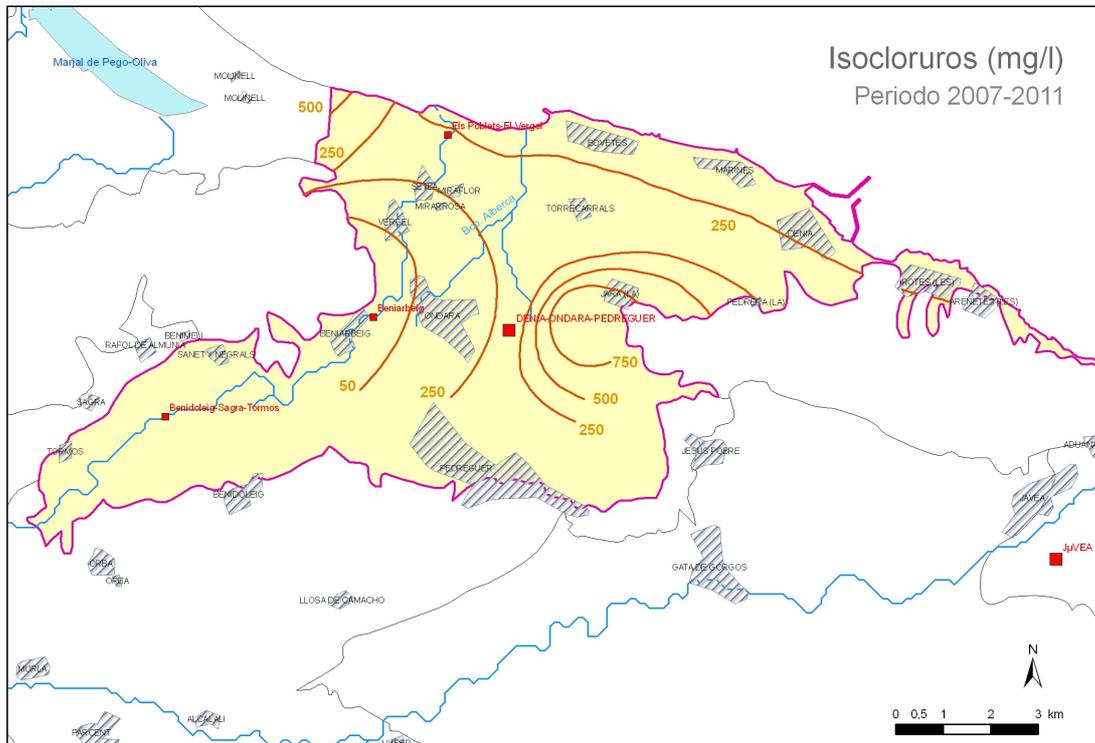
Cloruros: 401 mg/L

Sulfatos (2011): 31 mg/L

Bicarbonatos: 217 mg/L

Nitratos: 55 mg/L

### Mapa de la concentración del ión cloruro:



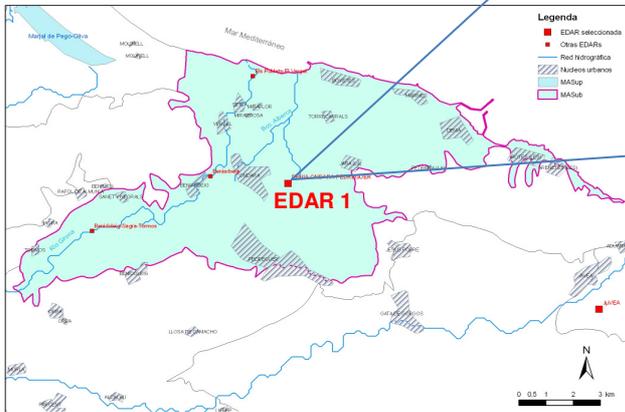
La mayor parte del acuífero presenta una concentración en cloruros por debajo de los 250 mg/L, con una zona con contenidos máximos (por encima de los 750 mg/L) en el suroeste de la población de La Jara.

**FICHA TÉCNICA EDAR's SELECCIONADAS (EPSAR, 2011)**

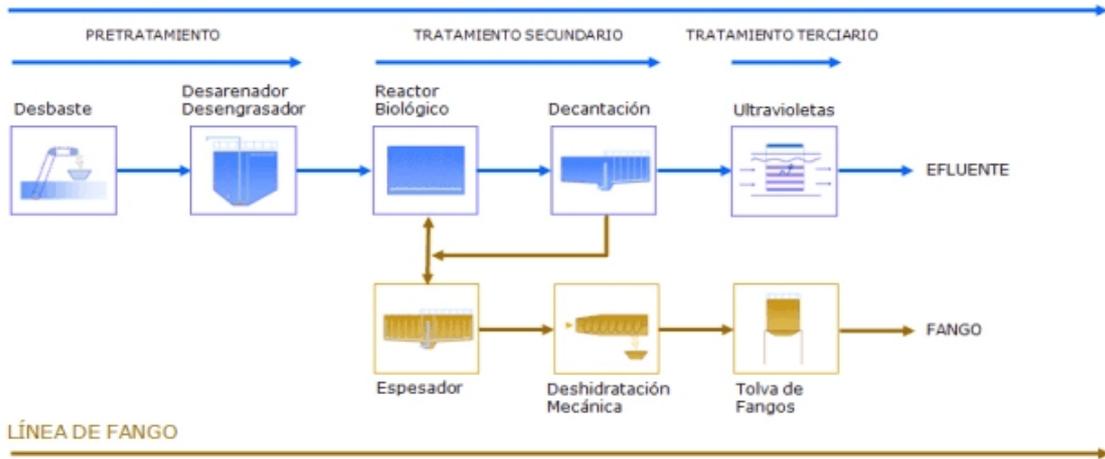
	<b>EDAR 1</b>
<i>Nombre</i>	<i>DÉNIA-ONDARA-PEDREGUER</i>
<i>Tipo tratamiento (*)</i>	<i>P, S</i>
<i>Línea de agua</i>	
<i>Pretratamiento</i>	<i>Reja de gruesos</i> <i>Tamizado</i> <i>Desarenador</i> <i>Desengrasador</i>
<i>Tratamiento primario</i>	<i>Físico-Químico</i>
<i>Tratamiento secundario</i>	<i>Aireación prolongada</i> <i>Eliminación nitrógeno</i> <i>Eliminación fósforo</i>
<i>Tratamiento terciario</i>	-
<i>Desinfección</i>	<i>Ultravioleta</i>
<i>Línea de fangos</i>	<i>Espesador por gravedad</i> <i>Deshidratación centrífuga</i>

## EDAR DÉNIA-ONDARA-PEDREGUER (EPSAR, 2011)

**Nombre:** DÉNIA-ONDARA-PEDREGUER  
**Comarca:** La Marina Alta  
**Coordenadas UTM (ETRS 89 huso 30);** X: 763648    Y: 4301372    Z: 26  
**Caudal de proyecto (m<sup>3</sup>/día):** 15400  
**Potencia total instalada (kW):** 798  
**Empresa Explotadora:** UTE OMS-CESMED  
**Asistencia técnica:** LABORATORIOS TECNOLÓGICOS DE LEVANTE  
**Caudal funcionamiento 2011 (m<sup>3</sup>/día):** 16778  
**Población servida (he):** 50106



### LÍNEA DE AGUA



**DISPONIBILIDAD AGUAS DEPURADAS (CHJ, 2010)**

<b>Aguas depuradas (EDAR)</b>	<b>DÉNIA-ONDARA-PEDREGUER</b>
Volumen depurado 2009 (hm <sup>3</sup> /año)	
¿Existe reutilización?	
Volumen reutilizado 2009 (hm <sup>3</sup> /año)	
Disponibilidad hídrica estimada (hm <sup>3</sup> /año)	

**PREVISIONES DE REUTILIZACIÓN (CHJ, 2010)**

<b>EDAR</b>	<b>DÉNIA-ONDARA-PEDREGUER</b>
Volumen depurado 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	
Volumen reutilizado en 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	
Volumen reutilizado 2015 agrícola	
Código UDA	
Nombre UDA	
Volumen UDA-EDAR	

**Calidad química de agua depurada:** Anexo I

## ÁREAS POTENCIALMENTE FAVORABLES

### Zonas seleccionadas:

#### - Área entre la población de La Jara y la EDAR del municipio:

- Concentración de cloruros superior a los 750 mg/L.
- Nivel piezométrico medio 10-20 m s.n.m.
- Espesor medio de la zona no saturada entre 10-15 m.
- EDAR con una disponibilidad hídrica estimada de 6.12 hm<sup>3</sup>/año.
- Tratamiento realizado al agua residual urbana: primario y secundario.

### ANEXO I (IGME-DGA, 2010): Calidad química de las aguas depuradas

El agua procedente de las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas deberán cumplir la normativa vigente (Directiva 91/271/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas; Real Decreto 509/1996 de 15 de marzo de 1996 de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995 de 28 de diciembre de 1995 por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas; Orden de 13 de agosto de 1999 por la que se dispone la publicación de las determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar, aprobado por el Real Decreto 1664/1998 de 24 de julio de 1998).

Parámetros (Orden de 13 de agosto de 1999, Artículo 34): Con independencia de los condicionantes que en cada caso se establezcan a los efluentes de las depuradoras, para conseguir los objetivos de calidad fijados en los tramos de río, se establecen los siguientes requisitos mínimos, referidos a concentración o reducción de contaminantes en los tratamientos secundarios:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
DBO <sub>5</sub> a 20º C sin nitrificación	25 mg/L.O <sub>2</sub>	70-90
DQO	125 mg/L.O <sub>2</sub>	75
S.S.	35 mg/L (> 10.000 h-e)	90
S.S.	60 mg/L (2.000-10.000 h-e)	70

Asimismo, se establecen los siguientes requisitos para los vertidos a zonas sensibles:

Parámetro característico	Concentración en el efluente	Reducción en porcentaje
P	2 mg/L (10.000-100.000 h-e) 1 mg/l (> 100.000 h-e)	80
N. total	15 mg/L (10.000-100.000 h-e) 10 mg/l (> 100.000 h-e)	70-80

**Anexo 2**

**Inventario de puntos de agua**



ID	Name	Coord_X (t)	Coord_Y (t)	Z	Depth (m)	Municipality	Lithology	Piezometric information (number measurements/dates)	Chloride concentration information (number measurements/dates)	Other major ions information (number measurements/dates)	Comments
1	Móncofar 1-2	738.270	4.413.630	140,00	134-120	Vailde Uxó	LC	1 (1983)			
2	Miramar	738.212	4.413.197	130,00	30	Vailde Uxó		2 (2004-05)	2 (2004-05)	2 (2004-05)	
3	Zorra 1-2-3	738.197	4.413.022	110,00	280	Vailde Uxó	L	2 (2004-05)	2 (2004-05)	2 (2004-05)	
4	Miramar-Corraiza	738.869	4.413.690	99,81	233	Vailde Uxó	LC	1 (2004)	2 (2004-05); 12 (2005-11)	2 (2004-05); 12 (2005-11)	
5	La Murta	739.950	4.414.700	60,00	240	Vailde Uxó		1 (1982)			
6	Miramar 2	739.550	4.414.950	100,00	316	Vailde Uxó	LC	1 (2000)			
7	Torrasa	740.248	4.413.006	44,00	44	Vailde Uxó		1 (1972)	33 (1982-2001); 9 (2007-2012)	9 (2007-11)	
8	Aguas Potables 1	740.740	4.412.180	39,00	100	Vailde Uxó	LC	1 (1972)	2 (1987)		Its belongs to the urban supply network but not used
9	La Primitiva	740.590	4.412.161	40,25	100	Vailde Uxó	LC	16 (1972; 1980-91)	35 (1982-2001); 2 (2004-05)	2 (2004-05)	
10	Sondeo negativo	740.099	4.413.096	50,00	110	Vailde Uxó	L				
11	La Primitiva 2	740.591	4.412.150	42,00	90	Vailde Uxó	LC	1 (1980)			Cemented
12	Aguas Potables Rambaleta 3	740.745	4.412.160	40,00	80	Vailde Uxó	LC	2 (1984, 1994)	1 (1988)	1 (1988)	Its belongs to the urban supply network but not used
13	Aguas Potables Rambaleta 2	740.690	4.412.240	40,00	80	Vailde Uxó	LC	1 (2004)			Its belongs to the urban supply network but not used
14	Ayuntamiento Miramar 2	738.335	4.412.878	120,00	299	Vailde Uxó	LC				
15	Unión Agrícola 1	740.562	4.413.204	37,39	50	Vailde Uxó			5 (2004-05)	5 (2004-05)	
16	Unión Agrícola 2	740.570	4.413.168	40,00	50	Vailde Uxó					
17	La Punta 2	740.642	4.409.719	35,00	213	Vailde Uxó	LC	1 (1995)			
18	Miramar D	739.400	4.413.900	85,02	284	Vailde Uxó	LC				
19	La Punta 1	740.524	4.409.843	55,00	140	Vailde Uxó	LC		1 (1995)	1 (1995)	
20	Randero 1	739.688	4.412.383	55,72	100	Vailde Uxó	LC				
21	Randero 2	739.606	4.412.393	60,00	100	Vailde Uxó					
22	Randero 3	739.682	4.412.528	57,00	100	Vailde Uxó					
23	La Punta (CAPA)	740.790	4.409.740	32,00	213	Vailde Uxó	LC				
24	Finca Tolliner	741.865	4.414.777	20,00	22	Nules		3 (1971-72)			
25	Aguas Potables Nules 1	741.908	4.413.275	21,53	80	Nules	LC	3 (1971-72)	32 (1972; 1977-89; 1991-92; 1995)	3 (1972; 1991-92)	
26	Aguas Potables Nules 2	741.908	4.413.275	21,53	80	Nules		1 (1972)			
27	Finca los Alemanes	743.037	4.414.270	16,00	15	Nules		3 (1971-72)	1 (1972)	1 (1972)	
28	Trinidad	741.457	4.413.828	24,43	34	Nules	LC	123 (1971-2001)	16 (1989-2001)	1 (1972)	
29	San Vicente Ferrer	742.415	4.413.580	17,06	49	Nules		113 (1972-2001)	1 (2005)	1 (2005)	
30	Ángel de la Guardia	742.704	4.414.018	13,97	26	Nules	LC	1 (1972)	1 (2005)	1 (2005)	
31	San Miguel Arcangel	743.333	4.413.332	11,07	36	Nules		1 (1972)	28 (1977-89; 2004); 12 (2005-12)	1 (2004); 12 (2005-12)	
32	San José de Benicaco	743.709	4.413.665	9,83	13	Nules		3 (1972-73)	49 (1972; 1977-2001; 2004-05); 9 (2007-2012)	3 (1972; 2004-05); 9 (2007-11)	
33	Ayuntamiento de Villavieja	741.316	4.415.080	30,00	100	Nules	LC	1 (1983)	1 (1983)	1 (1983)	
34	Pinet	741.165	4.414.981	36,00	100	Nules	LC	1 (1990)			
35	Santísima Trinidad	742.205	4.413.508	17,93	74	Nules					
36	Los Plans	741.772	4.409.319	14,61	19	Chilches	L	56 (1972-79)	18 (1973; 1977-85)	1 (1973)	
37	La Traslación	741.158	4.412.479	31,21	54	Vailde Uxó		2 (1972; 2004)	2 (2004-05)	2 (2004-05)	
38	San José de la Montaña	741.295	4.412.351	38,00	46	Vailde Uxó	L	1 (1972)			

ID	Name	Coord_X (ft)	Coord_Y (ft)	Z	Depth (m)	Municipality	Lithology	Piezometric information (number measurements/dates)	Chloride concentration information (number measurements/dates)	Other major ions information (number measurements/dates)	Comments
39	Ranblota 1	741.047	4412.801	32,65	75	Vall de Usó	LC	1 (1972)			
40	La Ranblota	741.049	4412.829	32,66	350	Vall de Usó	LC				Not used
41	Ranblota SGOP	741.064	4412.852	32,47	200	Vall de Usó	LC				Not used
42	Nº Sº de Asunción	741.282	4412.197	32,57	37	Vall de Usó		3 (1972-73)	1 (1972)	1 (1972)	
43	Ranblota 7	741.372	4412.844	30,00	95	Vall de Usó	LC	2 (1972, 1994)	26 (1972, 1976-89, 2004-05)	16 (1972, 1976-89, 2004-05)	
44	Ranblota 4	741.399	4412.801	30,50	42	Vall de Usó	L	1 (1972)			
45	Ranblota 3	741.282	4412.808	28,84	73	Vall de Usó	LC	12 (1972, 1995-97, 2004)	22 (1982-97, 2004)	5 (1991-92, 1996, 2004)	Not used, no motor
46	Ranblota 5	741.486	4412.860	26,91	78	Vall de Usó	LC	1 (1972)			Not used, no motor
47	Ranblota 2	741.170	4412.732	30,70	42	Vall de Usó		15 (1972-74, 2004)	4 (1972, 1995, 2004-05)	4 (1972, 1995, 2004-05)	
48	Ranblota 2bis	741.170	4412.732	30,72	67	Vall de Usó	LC				
49	Los Desamparados	741.315	4412.564	31,00	100	Vall de Usó	LC	2 (1972, 2004)	1 (2004)	1 (2004)	Dismantled and cemented
50	Miramar	741.445	4412.613	29,00	71	Vall de Usó		1 (1972)			Dismantled and cemented
51	El Pilar	741.590	4412.702	28,00	66	Vall de Usó		1 (1972)			Dismantled and cemented
52	San Pedro	741.540	4412.300	31,00	44	Vall de Usó		1 (1972)			Dismantled and cemented
53	Ranblota 6	741.396	4412.391	30,28	67	Vall de Usó	L	3 (1972-73)			Not used, no motor
54	El Porvenir	740.948	4412.190	34,97	57	Vall de Usó		2 (1972-73)	3 (1972, 2004-05)	3 (1972, 2004-05)	
55	La Paz	741.977	4412.065	26,38	51	Vall de Usó		1 (1972)	20 (1982-92)		Not used
56	San Vicente	741.934	4411.635	27,10	52	Vall de Usó		1 (1972)			Not used
57	San Antonio	741.870	4411.402	28,70	63	Vall de Usó		1 (1972)			Not used, no motor
58	San Isidro	741.722	4411.410	29,97	52	Vall de Usó	L	3 (1972-73)	3 (1972, 2004-05)	3 (1972, 2004-05)	Not used
59	Casa Villalba	740.850	4411.600	38,58	51	Vall de Usó		1 (1972)	29 (1989-2001), 14 (2005-12)	14 (2005-12)	Not used, no motor
60	La Condesa Antigua	741.733	4411.873	29,97	48	Vall de Usó	L	3 (1972-73)	1 (1972)	1 (1972)	Not used, no motor
61	Pozo Moncofense-Ayunta	743.212	4410.988	13,42	23	Moncofóar	L	2 (1972)	18 (1972, 1977-87)	1 (1972)	
62	San Cristóbal-Nules	742.512	4411.092	20,00	33	Nules	L	1 (1972)	20 (1977-80)		
63	Santa Catalina	744.306	4411.466	7,17	21	Moncofóar		130 (1972-2001)	46 (1972-74, 1977-2001), 12 (2005-12)	3 (1972-74), 12 (2005-12)	Not used, no motor
64	Sagrado Corazón Jesús/San Enrique	743.715	4411.311	7,00	17	Moncofóar	L	2 (1972, 1990)	32 (1977-94)		
65	Fuente Cisneros S.A./ Caserio del Mar	742.625	4409.564	15,89	29	Moncofóar		4 (1972-73, 1990)	33 (1972, 1977-91)	1 (1972)	
66	San Rafael	742.052	4409.918	21,31	31	Moncofóar	L	3 (1972-73)	2 (1972, 1977)	1 (1972)	
67	Moya 2	743.957	4410.232	6,00	26	Moncofóar		1 (1972)			
68	Santa Teresa de Jesús	744.068	4411.584	10,00	20	Moncofóar	L	1 (1972)	20 (1977-85)		
69	Santa Magdalena	743.359	4411.507	12,99	25	Moncofóar	L	4 (1972-73, 1990)	39 (1972-82, 1987-2001, 2005), 12 (2005-12)	13 (1972-82, -89, 2005), 12 (2005-12)	Dismantled
70	San Antonio-Moncofóar	742.732	4410.365	16,00	66	Moncofóar		1 (1972)	24 (1977-89)		
71	La Unión	742.658	4410.516	16,00	34	Moncofóar	L	13 (1972, 1980-89)	15 (1972, 1979-84)	1 (1972)	
72	Palazangur Barranquet	743.531	4410.185	10,32	25	Moncofóar		3 (1972-73)	3 (1972-73)		
73	Torno	744.661	4410.504	4,33	24	Moncofóar		2 (1972-73)	1 (1972)	1 (1972)	
74	Cebrian	744.784	4410.227	4,09	14	Moncofóar		82 (1972-85)	20 (1972-85)	1 (1972)	
75	Unión moncofense	743.559	4410.535	10,00	28	Moncofóar		1 (1972)	20 (1977-86)		
76	Motor de Pedro	744.039	4411.058	5,88	21	Moncofóar	L	3 (1972-73)	12 (1972, 1977-80)	1 (1972)	

ID	Name	Coord_X (t)	Coord_Y (t)	Z	Depth (m)	Municipality	Lithology	Piezometric information (number measurements/dates)	Chloride concentration information (number measurements/dates)	Other major ions information (number measurements/dates)	Comments
77	Hijos de Alas	744.416	4.411.256	7,00	19	Moncófar		1 (1972)	3 (1977-79)		
78	Motor del Mundo	744.307	4.410.155	4,56	12	Moncófar		3 (1972-73)	1 (1972)	1 (1972)	
79	Motor de Alfredo	743.011	4.410.839	16,00	47	Moncófar	L	1 (1972)	12 (1976-82, 1987-88)	9 (1976-82)	
80	La Alquería-Moncófar	743.257	4.410.287	10,00	21	Moncófar		1 (1972)	16 (1977-85)		
81	Regeneración agrícola	742.047	4.413.125	18,85	77	Vall de Uxó	L	1 (1972)			
82	Azeit-Vicente Ortiz	745.274	4.412.052	4,00	14	Nules	L	1 (1972)	20 (1972, 1977-84)	1 (1972)	
83	La Soledad	743.331	4.412.835	13,76	27	Nules		1 (1972)	2 (2004-05)	2 (2004-05)	
84	San Ildefonso	743.660	4.412.378	12,57	54	Nules	L	24 (1972, 1980-1991)	29 (1977-91)		Dismantled
85	Santa María	742.749	4.412.593	23,00	30	Nules		1 (1972)	1 (1972)	1 (1972)	
86	Las Almas	745.333	4.413.229	3,00	25	Nules		1 (1972)			
87	San Enrique	745.251	4.412.328	3,00	9	Nules		1 (1972)	2 (1986, 1989)	2 (1986, 1989)	
88	Com. Reg. Moncófar 3	742.309	4.410.818	23,00	110	Moncófar		1 (1983)	1 (1983)	1 (1983)	
89	Canyans	742.031	4.410.419	24,00	300	Moncófar		1 (1983)	2 (1983, 2005)	2 (1983, 2005)	Urban supply well
90	La Alquería de Moncófar	742.182	4.411.100	22,03	92	Moncófar		1 (1983)	27 (1981, 1987-2001)	1 (1981)	
91	Pe. Cisneros SA - sondeo	742.575	4.409.565	15,00	108	Moncófar		2 (1980, 1984)	14 (1986-91)		
92	San Rafael-sondeo nuevo	742.078	4.410.018	21,00	100	Moncófar		1 (1984)			
93	Agua potable Rambleta 4	741.125	4.412.184	38,00	75	Vall de Uxó		2 (1984-94)	12 (1987-91)		
94	El Poverir 2	740.960	4.412.180	35,00	35	Vall de Uxó					
95	San Cristobal	741.789	4.413.103	20,30	80	Vall de Uxó					
96	Cooperativa de riegos Uxo 1	741.288	4.411.526	31,00	90	Vall de Uxó					
97	Moncófar 2	743.512	4.411.938	17,00	300	Moncófar	LC	1 (1981)	2 (2004-05)	2 (2004-05)	
98	Moncófar 1	741.794	4.409.998	21,00	500	Moncófar	LC	1 (1981)	2 (2004-05)	2 (2004-05)	
99	Rambleta 9	741.484	4.412.465	30,00		Vall de Uxó					
100	Rambleta 8	741.110	4.412.618	32,00		Vall de Uxó					
101	La Mina	742.900	4.412.800	17,00	40	Nules	LC				
102	La Esolaora	741.257	4.411.982	30,64		Vall de Uxó					
103	Miramar 1	740.850	4.413.057	34,00		Vall de Uxó					
104	Recharge Well A	740.157	4.412.156	50,40	100	Vall de Uxó					
105	Recharge Well B	740.263	4.412.153	48,38	100	Vall de Uxó					
106	669-1-88 (SA-03)	745.424	4.411.179	4,50	203	Moncófar	LC				Artesian well
107	669-1-89 (SA-01)	742.797	4.412.030	19,00	241	Nules	LC				Destroyed
108	669-1-87 (SA-04)	742.720	4.412.030	15,03	216	Nules	LC				Destroyed
109	San Modesto de la Rambleta 1	742.065	4.412.772	24,00	37	Nules		1 (1972)			Destroyed
110	San Modesto de la Rambleta 2	742.053	4.412.553	26,00	66	Nules		1 (1972)			Destroyed
111	Com. Reg. Moncófar 2	743.199	4.412.468	15,00	110	Nules		1 (1983)	1 (1983)	1 (1983)	
112	Com. Reg. Moncófar 1	743.179	4.412.328	15,00	100	Nules		1 (1983)	1 (1982)	1 (1982)	Destroyed

(1) European Datum 1950 Zone 30N (GCS European 1950)

(2) LC: lithological column, L: lithology

**Anexo 3**  
**Columnas litológicas**



ID	Name	Coord_X (ft)	Coord_Y (ft)	Z	Depth (m)	Data type	Lithology	Lithological column
1	Móncofar-1	738270	4413630	140,00	134	CL	Areniscas	0-48: Arcillitas rojas micaceas con niveles intercalados de areniscas rojizas y blanquecinas. 48-134: Areniscas cuarcíticas rojizas-blanquecinas-amarillentas muy duras.
2	Zorra-1	738197	4413022	110,00	280	L	Areniscas	Emboquillado en areniscas y argilitas del Buntsandstein
3	Míramar 2	739550	4414950	100,00	316	CL	Dolomías, arcillas y areniscas	0-65 Dolomías (Musch.); 65-95: Arcillas facies Rot; 95-316: Areniscas.
4	Míramar-Corraliza	738869	4413690	99,81	233	CL	Areniscas y limonitas	0-220: Areniscas; 220-233: Limolitas
5	La Punta 2	740600	4409760	35,00	213	CL	Calizas, dolomías	0-130: Calizas muy karstificadas; 130-213: Dolomías con pasadas de calizas
6	La Punta 1	740524	4409843	55,00	140	CL	Calizas	0-21: Caliza micrítica; 21-29: Arcilla; 29-54: Caliza con intercalaciones de arcillas; 54-70: Caliza micrítica; 70-75: Caliza micrítica muy fisurada; 75-129: Caliza micrítica; 129-140: Margas.
7	La Punta (CAPA)	740790	4409740	32,00	213	CL	Dolomías, calizas dolomíticas y	0-213: Dolomías, calizas dolomíticas y camiolas muy fisuradas
8	Aguas Potables 1	740740	4412180	39,00	100	CL	Cantos arenisca, gravas, conglomerados	0-45: Cantos de arenisca y gravas con arcilla; 45-47: Grava suelta; 47-57: Cantos blandos de arenisca; 57-63 Cantos duros de arenisca; 63-65: Grava suelta; 65-80: Conglomerados con cantos de arenisca.
9	Míramar D	739400	4413900	85,02	284	CL	Arcillitas, Areniscas	0-8: Calizas; 8-80: Arcillitas; 80-284: Areniscas
10	Sondeo negativo	740099	4413096	50,00	110	L	Arcillas	
11	La Primitiva 2	740591	4412150	42,00	90	CL	Rodeno y gravas	0-45: Rodeno y gravas con arcilla; 45-47: Grava suelta; 47-57: Rodeno blando; 57-63: Rodeno duro; 63-65: Grava suelta; 65-90: Rodeno piñonado.
12	La Primitiva	740590	4412161	42,00	100	CL	Arcilla y gravas	0-57: Pozo excavado; 57-59: Arcilla y grava; 59-76: Gravas; 76-78: Grava y arcilla; 78-82: Gravas; 82-97: Grava suelta; 97-100: Rodeno piñonado.
13	Aguas Potables Rambleta 3	740745	4412160	40,00	75	CL	Arenas, gravas y arcillas	0-80: Arenas, gravas y arcillas
14	Aguas Potables Rambleta 2	740690	4412240	40,00	75	CL	Arenas, gravas y arcillas	0-80: Arenas, gravas y arcillas
15	Ayuntamiento Miramar 2	738335	4412878	120,00	299	CL	Arcillas, dolomías	0-39 Arcillas con cantos de areniscas; 39-299: Dolomías.
22	Randero 1	739688	4412383	57,78	100	CL	Arcillas, gravas y areniscas	0-10: Arcillas y tierra; 10-20: Gravas y arcillas; 20-50: Gravas con cantos de areniscas; 50-70: Gravas y arcillas; 70-80: Areniscas; 80-100: Areniscas y arcillas
24	Aguas Potables Nules 1	741853	4413275	21,53	80	CL	Conglomerados	0-4: Arcillas; 4-44: Gravas y cantos de areniscas con arcillas; 44-54: Arcillas y arenas; 54-80: Conglomerados muy cementados; 80-86: Arcillas
25	Santísima Trinidad 1	741457	4413828	24,43	34	CL	Arenas y gravas	0-20: Bolos y grava; 20-34: Arena
26	Angel de la Guardia	742704	4414018	15,00	26	CL	Arcilla, gravas y piñon	0-3: Arcillas; 3-25,5: Grava y piñon
27	Ayuntamiento de Villavieja	741316	4415080	30,00	100	CL	Arenas y gravas	0-100: Arenas y gravas
29	Pínet	741165	4414981	36,00	100	CL	Gravas, arenas y arcillas	0-100: Gravas, arenas y arcillas
31	San José de la Montaña	741295	4412351	38,00	46	L	Arcillas y gravas	
32	Rambleta 1	741047	4412801	34,50	75	CL	Gravas, arcillas y areniscas	0-20: Gravas y arcillas; 20-50: Gravas de cantos de areniscas; 50-65: Grava arcillosa; 65-75: Areniscas
33	La Rambleta	741049	4412829	34,50	350	CL	Arcillas, margas y dolomías	0-198: Arcillas rojas con niveles de conglomerados; 198-231: Marga petrificada; 231-284: Dolomías grises y margas petrificadas.
34	Rambleta SGOP	741064	4412832	34,00	200	CL	Conglomerados, arcillas; limolitas y conglomerados; margas	0-2,30: Limos, gravas y arenas; 2,30-29,65: Conglomerados; 29,65-41: Arcillas con cantos; 41-61,25: Conglomerados; 61,25-80: Arcillas con cantos; 80-85: Gravas y arenas; 85-104,8: Arcillas con cantos; 104,8-189,3: Capas alternas de limolitas y conglomerados; 189,3-192: Conglomerados, areniscas y arcillas;

ID	Name	Coord_X (1)	Coord_Y (1)	Z	Depth (m)	Data type	Lithology	Lithological column
35	Rambleta 7	741372	4412844	30,00	95	CL	Arcillas, gravas y arena	0-10: Gravas y arcillas; 10-50: Gravas con cantos de areniscas; 50-70: Gravas y arcillas; 70-80: Areniscas muy compactas; 80-95: Alternancia areniscas compactas y arcillas
36	Rambleta 5	741486	4412860	28,00	78	CL	Gravas, arcillas y areniscas	0-30: Gravas con arcillas; 30-45: Gravas con cantos de areniscas; 45-70: Gravas con arcillas; 70-78: Alternancia de areniscas y arcillas
37	Rambleta 3	741282	4412808	31,00	73	CL	Gravas, arcillas y areniscas	0-20: Gravas y arcillas; 20-50: Gravas; 50-65: Gravas y arcillas; 65-73: Alternancia de areniscas y arcillas
38	Rambleta 4	741399	4412801	30,50	42	L	Arcillas y gravas	
39	Rambleta 2	741170	4412732	30,72	40	L	Gravas y arenas	
40	Rambleta 2bis	741170	4412732	30,72	67	CL	Gravas, arcillas y areniscas	0-10: Grava arcillosa; 10-60 Gravas con arcillas y arenas; 60-67: Alternancia areniscas compactas y
41	Los Desamparados	741315	4412564	31,00	100	L	Gravas y arenas	
42	Rambleta 6	741396	4412391	30,09	43	L	Arcillas, gravas y arena	
43	San Isidro	741722	4411410	29,93	52	L	Arcillas, gravas y arena	
44	La Condesa Antigua	741733	4411873	30,94	48	L	Arcillas, gravas y arena	
45	Pozo Moncofense-Ayunta	743212	4410988	13,42	23	L	Arcillas, gravas y arena	
46	San Cristóbal-Nules	742512	4411092	20,00	33	L	Conglomerados de areniscas y	
47	Sagrado Corazón Jesús/San	743715	4411311	7,00	17	L	Gravas y arcillas	
48	San Rafael	742062	4409918	21,31	31	L	Arcillas y conglomerados	
49	Santa Teresa de Jesús	744068	4411584	10,00	20	L	Arcillas y conglomerados	
50	Santa Magdalena	743359	4411507	14,40	25	L	Gravas y arcillas	
51	La Unión	742658	4410516	16,00	34	L	Arcillas y conglomerados	
52	Motor de Pedro	744039	4411058	5,88	21	L	Gravas y arcillas	
53	Motor de Alfredo	743011	4410839	16,00	47	L	Arcillas y gravas	
54	Regeneración agrícola	742047	4413125	21,00	77	L	Conglomerado	
55	Azeit-Vicente Ortiz	745274	4412052	4,00	14	L	Arcillas, gravas y arenas	
56	San Ildefonso	743660	4412378	15,00	54	L	Conglomerados y arenas	
58	Moncofar 2	743360	4411688	17,00	300	CL	Conglomerados, arcillas	0-75: Conglomerados con arcillas; 75-250: Arcillas rojas con areniscas; 250-300: Arcillas rojas
59	Moncofar 1	741794	4409998	21,00	500	CL	Arcillas, margas	0-50: Arcillas con gravas; 50-90: Conglomerado; 90-150: Arcillas y areniscas; 150-200: Margas rojas; 200-220: Margas y areniscas; 220-250: Arcillas; 250-340: Margas rojas con areniscas; 340-400: Arcillas y arenas; 400-455: Calizas dolomíticas con margas; 450-500: Margas rojas oscuras.
60	La Mina	742900	4412800	17,00	40	CL		0-15: Arcillas con gravas; 15-22: Areniscas; 22-30: Conglomerados; 30-35: Gravas; 35-40: Arcillas
63	669-1-88 (SA-03)	745424	4411179	4,50	203	CL		104-154: Areniscas de grano medio con limolitas y conglomerados (Tb2); 154-200: Limolitas; 200,4-203,4: 0-8: Sin muestra; 8-9,95: Limolitas arenosas; 9,95-61,4: Conglomerados; 61,4-61,8: Limolitas con cantos; 61,8-68,2: Sin muestra; 68,2-69,2: Limolitas con cantos; 69,2-75: Limolitas con areniscas; 75-79,7: Sin muestra; 79,7-80,9: Arenisca; 80,9-236,5: Capas alernas de limolitas y conglomerados
64	669-1-89 (SA-01)	742797	4412030	19,00	241	CL	Conglomerados y limolitas	0-10,1: Conglomerado; 10,1-27,1: Arcilla; 27,1-30,9: Conglomerado; 30,9-39: Arcillas con bolos; 39-42: Conglomerado; 42-50: Arcillas; 50-105,5: Conglomerado con capas arcillas; 105,5-133: Arcillas con bolos; 133-165,6: Conglomerados con intercalaciones de arcilla; 165,6-200: Arcillas con gravas; 200-207:
65	669-1-87 (SA-04)	742720	4412030	15,03	216	CL	Conglomerados y arcillas	0-2: Gravas con arcillas arenosas; 2-9: Conglomerados cementados; 9-56: Gravas, arenas y arcillas
70	Balsa Recarga 1	739482	4411260	55,00	56	CL		0-2: Gravas con arcillas arenosas; 2-23: Conglomerados cementados; 23-34: Gravas, arenas y arcillas
71	Balsa Recarga 2	739203	4410969	63,00	34	CL		

(1) European Datum 1950 Zone 30N (GCS European 1950)

**Anexo 4**

**Análisis físico químicos de las aguas subterráneas**



N° REF	TOPONIMIA	C.E.	pH	T	Eh	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	F	Br	Li	B	Sr	Cr	As	Hg
1	Randero 1	2660	7,33	18,1	154	107	9	268	118	454	320	178	270	13,3	0,10	1,11	5,80	74,38	855	0,10	0,14	0,03
2	Unión Agrícola	3420	7,37	18,4	148	94	4	376	148	656	312	159	450	10,4	0,11	1,65	5,38	72,54	683	0,05	0,27	3,93
5	Ramblota 1	3220	7,38	18,9	97	93	4	356	140	620	292	162	380	11,1	0,11	1,31	5,11	68,26	686	0,23	0,18	2,74
6	Ramblota 2	2300	7,62	17,4	97	65	3	290	100	440	232	157	300	10,1	0,08	0,84	6,68	169,57	624	0,39	0,23	0,34
7	Ramblota 3	3320	7,21	17,9	95	102	3	348	164	600	354	163	420	12,5	0,16	1,33	6,03	108,05	897	0,58	0,19	1,08
8	Ramblota 5	2510	7,44	18,5	95	102	5	248	110	396	284	190	310	13,1	0,18	1,10	20,5	95,19	771	0,04	0,08	0,67
9	San Cristóbal	4060	6,97	18,3	133	164	4	336	212	688	458	237	460	15,3	0,17	1,59	14,1	156,11	849	36,9	0,11	0,27
10	Regeneración Agrícola	3090	7,42	20,4	94	99	4	300	148	430	448	204	410	14,3	0,17	1,04	26,9	188,55	1359	0,23	0,05	0,29
11	La Trasladación	2880	6,93	17,6	143	92	4	324	128	520	316	219	330	13,4	0,11	1,15	8,67	76,22	639	0,45	0,14	0,33
12	La Primitiva	3360	7,43	18,3	106	120	4	300	172	470	512	187	400	14,7	0,15	1,20	5,42	68,26	928	0,31	0,15	1,42
13	El Porvenir	2850	7,49	18,4	127	126	6	260	148	540	330	178	330	14,9	0,08	1,08	6,14	89,07	819	0,69	0,13	1,25
14	Nº 5º de Asunción	3100	7,05	18,1	138	116	6	292	148	534	326	187	390	12,8	0,12	1,27	26,9	102,54	922	0,55	0,12	0,70
15	Ramblota 6	3350	7,63	18,2	80	104	5	352	156	640	340	163	380	12,3	0,14	1,30	41,7	72,54	1131	0,28	0,14	0,47
16	Casa Villalba	3020	7,30	18,1	158	179	8	256	115	490	312	246	290	10,9	0,06	1,09	12,9	202,63	605	2,40	0,15	0,66
17	La Escolara	3200	7,57	18,9	134	171	6	264	136	610	304	211	310	11,6	0,11	1,20	41,2	104,99	1040	0,47	0,25	0,93
19	La Paz	4340	7,42	18,9	126	273	4	316	228	1030	500	176	360	13,9	0,11	1,99	62,9	180,59	732	0,31	0,25	0,42
20	San Vicente	3090	7,57	17,3	124	226	11	240	128	530	448	231	300	13,6	0,21	1,48	44,7	161,92	817	0,68	0,87	0,55
21	San Isidro	3970	7,36	19,5	136	227	10	340	184	812	436	191	340	12,3	0,14	1,63	158	160,70	2450	0,19	0,23	0,59
22	San Antonio	3360	7,43	18	123	120	4	300	172	470	512	187	400	14,7	0,15	1,20	30,8	177,23	1388	1,63	0,20	1,32
23	La Alquería-Moncofar	2810	7,28	18,8	104	266	5	124	120	396	404	303	190	9,4	0,15	0,82	19,8	207,84	370	3,78	0,01	1,22
24	Santa Magdalena	2280	7,32	19,1	128	110	8	168	120	187	500	211	260	13,7	0,18	0,50	93,0	166,21	1381	0,66	0,10	0,84
25	Santa Catalina	3390	7,68	17	115	215	5	236	176	340	660	242	440	16,2	0,20	0,94	64,5	206,92	1295	1,15	0,15	0,57
26	San Ildefonso	2260	7,76	17,5	103	104	10	212	103	230	484	202	220	14,6	0,22	0,58	139	177,53	2752	0,33	0,23	0,77
27	La Soledad	3680	7,38	19,4	130	128	7	316	180	380	668	201	520	14	0,20	1,28	117	159,78	2208	0,29	0,40	0,70
28	San Miguel Arcángel	3280	7,37	17,8	75	109	3	352	164	380	668	215	470	15	0,12	0,78	29,6	135,29	2643	0	0,13	0,71
29	Santísima Trinidad	3410	7,54	14,8	79	96	3	344	168	440	512	247	460	15,2	0,13	1,16	11,1	296,30	1588	0,26	0,12	0,79
30	San Vicente Ferrer	3300	7,35	17,6	76	89	3	308	160	360	532	207	420	15,9	0,20	0,95	14,0	162,23	2154	0,83	0,34	0,81
31	Ángel de la Guardia	3200	7,35	17,9	32	87	3	348	124	340	604	198	420	16,5	0,18	0,99	15,8	108,05	2196	0,03	0,15	0,71

Resultados campaña de abril de 2012. Las unidades de los iones son todas en mg/L, excepto Li, B, Sr, Cr, As y Hg en µg/L. La C.E. es en µS/cm, la T en °C y el Eh en mV.

N° REF	TOPONIMIA	CAMPAÑA JUNIO 2012						CAMPAÑA AGOSTO 2012					
		C.E. (µS/cm)	pH	T (°C)	Eh (mV)	Cl (mg/L)	C.E. (µS/cm)	pH	T (°C)	Eh (mV)	Cl (mg/L)		
1	Randero n° 1	2790	6,86	19,2	92	475	2,77	7,05	20,6	149	536		
2	Unión Agrícola	3020	7,05	21,3	128	648	3,14	7,24	22,5	100	683		
3	La Rambleta	520		20,8		61	389	8,42	23,2	71	69		
4	Rambleta SGOP	219		21,4		17	244	8,14	23,5	86	17		
5	Rambleta n°1	2890	7,02	19,3	169	562	3,01	7,17	20,3	148	588		
6	Rambleta n°2	2990	7,21	20,8	161	562	2,88	7,34	20,4	148	562		
7	Rambleta n°3	3070	7,14	19,6	161	596	3,11	7,07	19,6	149	614		
8	Rambleta n°5	2590	7,18	19,8	151	475	2,71	7,08	21,1	105	536		
9	San Cristóbal	3480	6,88	20,8	108	674	3,66	7,02	21,8	92	692		
10	Regeneración Agrícola	2240	7,11	21,7	154	311	2,55	7,16	22,4	91	372		
11	La Traslación	2710	7,09	19,6	123	493	2,74	7,35	19,9	127	545		
12	La Primitiva	2840	7,09	19	203	588	2,91	7,13	20	89	571		
13	El Porvenir	2780	7,06	19	123	527	2,69	7,28	21,8	143	510		
14	Nª Sª de Asunción	2940	7,19	21,1	106	571	3,13	7,15	20,4	90	614		
15	Rambleta n°6	2880	7,13	20,2	152	571	2,98	7,31	20,2	116	596		
16	Casa Villalba	2730	7,23	20	132	501	2,92	7,11	20,1	121	545		
17	La Escolara	2750	6,97	20,7	96	484	2,8	7,12	24,1	77	536		
18	Condessa antigua	4020		20,2		579	3,18	7,41	20,8	107	596		
19	La Paz	3390	7,37	20	130	726	3,19	7,42	20	142	692		
20	San Vicente	2250	7,48	18,9	142	303	3,14	7,37	19,6	143	510		
21	San Isidro	3390	6,97	21,2	123	683	3,54	7,18	22,2	92	752		
22	San Antonio	2790	7,55	22	125	389	2,8	7,61	24	79	441		
23	La Alquería-Moncofar	2380	7,02	21,9	109	311	2,41	7,32	24,2	-123	337		
24	Santa Magdalena	1500	7,13	19,7	137	95	1,65	7,34	21,4	100	112		
25	Santa Catalina	2790	7,15	18,7	144	285	2,54	7,22	20,9	102	259		
26	San Ildefonso	3700	7,08	19,9	141	389	1,996	7,28	20,3	107	225		
27	La Soledad	3310	7,06	20,4	150	450	3,3	7,22	20,6	115	484		
28	San Miguel Arcángel	2700	7,03	19,9	150	294	2,63	7,14	20,4	127	303		
29	Sanísima Trinidad	2640	7,09	19,2	107	337	2,53	7,03	20,2	121	354		
30	San Vicente Ferrer	2740	7,05	19,7	130	337	2,76	7,15	19,7	122	354		
31	Ángel de la Guardia	2590	6,92	19,1	125	277	2,64	7,04	19,3	131	311		
32	Miramar 1						3,3	7,05	25	82	709		

Resultados campañas de junio y agosto de 2012.

**Anexo 5**

**Análisis físico químicos de las aguas residuales**





## INFORME DEL ENSAYO

### DATOS DE LA MUESTRA

Tipo Muestra Aguas residuales  
 Id.muestra: SALIDA EDAR VALL D'UXO  
 Amplia Id: PROYECTO COCA-COLA  
 Fecha Muestra: 02/02/2012 12:00 Nº informe: 00019112  
 Fecha Recepcion: 02/02/2012 13:00 F.Fin: 10/02/12  
 Muestreador: Empresa solicitante/titular  
 Envases y tipo: PE+PEE Refrig/Cong: Refrig

### DATOS DEL CLIENTE

Solicitante: UNIVERSITAT JAUME I  
 C.I.F./NIF: Q-6250003-H  
 Titular: UNIVERSIDAD DE CASTELLON  
 LA VALL D'UXO, CASTELLON

## RESULTADOS DE LA MUESTRA

Parámetro	Método	Resultado	Valor de Referencia
Turbidez	PE-131	1.77	NTU
pH a 20.1 °	PE-009	7.64	u pH
Conductividad a 25°	PE-010	1408	µS/cm
Solidos en suspensión a 1.2p	PE-001	7.2	mg/l
D.Q.O.	PE-004	72	mg O2/l
D.B.O.5	PE-003	16	mg O2/l
Nitratos	PE-121	46.9	mg/l
Nitrogeno total	PE-151	46.0	mg N/l
Cloruros	PE-101	156	mg/l
Nitrógeno amónico	PE-007	26.4	mg N/l
Amonio	Calculado	34.0	mg NH4+/l
Amoniaco	Calculado	32.1	mg NH3/l
Fosforo Total	PE-005	3.7	mg P/l
Sulfatos	PE-132	204	mg/l
Plomo	PE-149	0.27	mg/l
Zinc	PE-142	2.42	mg/l
Boro	PE-105	0.16	mg/l
Sodio	PE-102	95	mg/l
Cromo total	PE-008	< 0.05	mg/l
Cromo VI	PE-006	< 0.05	mg CrVI/l
Dureza Total	PE-100	439	mg/l CaCO3
		176	mg/l Ca
Calcio	PE-107	102	mg Ca/l
Magnesio	PE-100	45	mg/l Mg
Nematodos intestinales			Ausencia
Escherichia coli	PE-152	3	uFc/100ml

Vila-real a 20 de febrero 2012

Firma electrónica:  
 D. Frank Carmona Bernat  
 Director técnico Laboratorio

----- FIN DEL INFORME -----