

 <b>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, MEDIO RURAL Y MARINO</b>	DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA
	<b>Q 5017001 H CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO</b>
	ÁREA DE CALIDAD DE AGUAS

<b>TRABAJOS DE CONSULTORIA Y ASISTENCIA</b>		
<b>PRESUPUESTO DEL ORGANISMO</b>	<b>CLAVE: 138/08-SNS</b>	<b>REF. CRONOLOGICA: 06/2009</b>

<b>TIPO:</b>	<b>CONTRATO DE SERVICIOS</b>
<b>TITULO:</b>	<b>DISEÑO Y ACONDICIONAMIENTO DE UNA RED DE CONTROL DE VARIABLES AMBIENTALES PARA CONTROLAR LA INCIDENCIA DE LA LENGUA SALINA DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO EBRO EN EL ACÚIFERO SUPERFICIAL DEL DELTA</b>

<b>PRESUPUESTO DE CONTRATA:</b>	<b>59.895,56 euros</b>
<b>PRESUPUESTO DE ADJUDICACION:</b>	<b>59.798,00 euros</b>

<b>SERVICIO:</b>	<b>ÁREA DE CALIDAD DE AGUAS</b>
<b>DIRECTOR:</b>	<b>FELIPE DELGADO MANGAS</b>
<b>CONSULTOR:</b>	<b>AMPHOS XXI CONSULTING, S.L.</b>

<b>TOMO:</b>	<b>TOMO ÚNICO</b>	<b>EJEMPLAR:</b>	<b>EJEMPLAR 2 DE 3</b>
<b>CONTENIDO:</b>	<b>MEMORIA Y ANEJOS</b>		

<b>NUMERO ARCHIVO CALIDAD:</b>
--------------------------------

# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 OBJETIVOS Y ALCANCE .....	2
1.3 CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO.....	2
<b>2. RECOPIACIÓN Y SÍNTESIS DE ESTUDIOS Y DATOS PREEXISTENTES .....</b>	<b>7</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO SUPERIOR .....	7
2.1.1 <i>Acuífero superior</i> .....	7
2.1.2 <i>Levees</i> .....	8
2.1.3 <i>Acuitardo</i> .....	8
2.1.4 <i>Redes de riego y de drenaje</i> .....	8
2.1.5 <i>Comportamiento hidrogeológico</i> .....	10
2.1.6 <i>Balance hídrico</i> .....	12
2.2 MODELO HIDROLÓGICO DE FUNCIONAMIENTO DEL RÍO EBRO EN SU DESEMBOCADURA .....	13
2.3 CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS .....	15
2.3.1 <i>Aguas superficiales</i> .....	15
2.3.2 <i>Aguas subterráneas</i> .....	17
2.4 INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	19
2.4.1 <i>Red de control de la CHE</i> .....	19
2.4.2 <i>Estudio de Acuamed</i> .....	20
2.5 RED DE VARIABLES AMBIENTALES EJECUTADAS O PREVISTAS EN EL MARCO DE OTROS TRABAJOS QUE TENGAN POR OBJETO MONITORIZAR EL RÍO Y EL ACUÍFERO SUPERFICIAL DEL DELTA .....	22
2.5.1 <i>Plan integral de protección del Delta del Ebro (PIPDE)</i> .....	23
2.5.2 <i>Estudio de Acuamed</i> .....	24
2.5.3 <i>Red de la CHE</i> .....	26
2.5.4 <i>Red ACA</i> .....	26
2.6 LOCALIZACIÓN Y EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA LENGUA SALINA DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO EBRO.....	26
<b>3. DISEÑO DE LAS REDES DE CONTROL DEL ACUÍFERO SUPERIOR DEL DELTA DEL EBRO.....</b>	<b>27</b>
3.1 CRITERIOS DE DISEÑO DE LAS REDES .....	27
3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS NUEVOS PIEZÓMETROS .....	28
3.2.1 <i>Ubicación de los piezómetros</i> .....	28
3.2.2 <i>Características constructivas de los piezómetros</i> .....	31

3.2.3	<i>Ensayos y parámetros hidráulicos</i> .....	33
3.3	PUNTOS DE CONTROL EN EL RÍO .....	40
3.4	PARÁMETROS Y FRECUENCIA DE MUESTREO .....	42
3.4.1	<i>Instrumentos de medición</i> .....	42
3.4.2	<i>Metodología</i> .....	43
3.4.3	<i>Campañas de muestreo para análisis</i> .....	44
<b>4.</b>	<b>DISEÑO DE LAS REDES DE CONTROL DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO EBRO.</b>	<b>46</b>
<b>5.</b>	<b>EXPLOTACIÓN DE LAS REDES DE CONTROL</b> .....	<b>49</b>
5.1	RESULTADOS PRELIMINARES DE LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS .....	49
5.1.1	<i>Descripción de las campañas preliminares</i> .....	49
5.1.2	<i>Resultados</i> .....	49
5.2	RESULTADOS PRELIMINARES DE HIDROQUÍMICA .....	52
5.2.1	<i>Descripción de las campañas preliminares</i> .....	52
5.2.2	<i>Descripción de los resultados</i> .....	53
5.3	RESULTADOS PRELIMINARES DEL SEGUIMIENTO DEL RÍO .....	70
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>73</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>74</b>

## Anejos

<b>1.</b>	<b>ANEJO, RESULTADOS DE LAS ANALÍTICAS</b> .....	<b>77</b>
<b>2.</b>	<b>ANEJO, NIVELACIÓN TOPOGRÁFICA</b> .....	<b>99</b>
<b>3.</b>	<b>ANEJO, FOTOGRAFÍAS</b> .....	<b>106</b>
3.1	SITUACIÓN DE LOS PIEZÓMETROS .....	106
3.2	MÉTODO CONSTRUCTIVO: .....	116
3.3	MATERIALES: .....	120
3.4	INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN CONTINUA .....	122
3.5	OTROS.....	125
3.6	INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA PRESENTE EN EL DELTA DEL EBRO .....	126
<b>4.</b>	<b>ANEJO, PIEZÓMETROS CONSTRUIDOS</b> .....	<b>128</b>

## Índice de Figuras

Figura 1.1. Situación geográfica (Mapa topográfico 1:50.000 ICC).....	3
Figura 1.2. Contexto geológico (Mapa geológico 1:50.000 ICC). ....	6
Figura 2.1. Perfil longitudinal esquemático del delta (Custodio, 1997). ....	8
Figura 2.2. Redes principales de riego y drenaje (Acuamed, 2008). ....	9
Figura 2.3. Mapa piezométrico general (Torrents y Alonso, 1991). ....	11
Figura 2.4. Esquema de la sección longitudinal del río Ebro, mostrando las posiciones de equilibrio (Guillén, 1992). ....	14
Figura 2.5. Espacios lagunares en el margen derecho del delta del Ebro.	16
Figura 2.6. Diagramas de Piper (Torrents y Alonso, 1991). ....	17
Figura 2.7. Situación de los piezómetros de la CHE. ....	20
Figura 2.8. Situación de los piezómetros visitados por Acuamed. ....	22
Figura 2.9. Mapa general de actuaciones propuestas en Acuamed (2008). ....	25
Figura 3.1. Distribución de las líneas de implantación de los nuevos piezómetros. ....	27
Figura 3.2. Mapa geológico de la zona de implantación de piezómetros (ver leyenda en Tabla 1.1). ....	28
Figura 3.3. Situación de los piezómetros Pz1, Pz2 y Pz3 en el perfil 1. ....	29
Figura 3.4. Situación de los piezómetros Pz4, Pz5, Pz6 y Pz7 en el perfil 2. ....	30
Figura 3.5. Situación de los piezómetros Pz8, Pz9, Pz10 y Pz11 en el perfil 3. ....	31
Figura 3.6. Piezómetro Pz8 finalizado. ....	32
Figura 3.7. Mediciones de nivel y caudal (l/s, eje de la derecha) en Pz1. ....	35
Figura 3.8. Niveles correspondientes a la recuperación en Pz1. ....	35
Figura 3.9. Mediciones de nivel y caudal (l/s, eje de la derecha) en Pz4. ....	36
Figura 3.10. Mediciones de nivel y caudal (l/s, eje de la derecha) en Pz8. ....	36
Figura 3.11. Mediciones de nivel y caudal (l/s, eje de la derecha) en Pz9. ....	37
Figura 3.12. Gráfico de descensos en Pz1 e interpretación. ....	38
Figura 3.13. Gráfico de descensos e interpretación en Pz4. ....	39
Figura 3.14. Gráfico de descensos e interpretación en Pz8. ....	39
Figura 3.15. Gráfico de descensos e interpretación en Pz9. ....	40
Figura 3.16. Situación del punto de control del río en la línea 1 (PR1). ....	41
Figura 3.17. Situación del punto de control del río en la línea 2 (PR2). ....	41

Figura 3.18. Situación del punto de control del río en la línea 3 (PR3). ....	42
Figura 4.1. Realización de los perfiles de salinidad en el río y detalle del dispositivo. .....	46
Figura 4.2. Situación de los perfiles verticales en río en las líneas 1 y 2. .	47
Figura 4.3. Situación de los perfiles verticales en río en las línea 3. ....	47
Figura 5.1. Evolución del nivel piezométrico respecto a la distancia al río Ebro de la línea 1. ....	51
Figura 5.2. Evolución del nivel piezométrico respecto a la distancia al río Ebro de la línea 2. ....	51
Figura 5.3. Evolución del nivel piezométrico respecto a la distancia al río Ebro de la línea 3. ....	52
Figura 5.4. Distribución de los valores de CE (mS/cm) en la zona de estudio (15/04/2009). ....	54
Figura 5.5. Relación entre la CE y la distancia de los puntos al río de la línea 1, además del material donde están ubicados. ....	55
Figura 5.6. Relación entre la CE y la distancia de los puntos al río de la línea 2, además del material donde están ubicados. ....	55
Figura 5.7. Relación entre la CE y la distancia de los puntos al río de la línea 3, además del material donde están ubicados. ....	56
Figura 5.8. Perfiles verticales en los piezómetros Pz4, Pz8 y Pz9 (14/07/2009). .	57
Figura 5.9. Diagrama de Piper (15/04/2009).....	59
Figura 5.10. Diagrama de Piper (14/07/2009).....	60
Figura 5.11. Relación entre concentración de Cl <sup>-</sup> y distancia al río Ebro (15/04/2009). .....	61
Figura 5.12. Relación entre concentración de Cl <sup>-</sup> y distancia al río Ebro (14/07/2009). .....	61
Figura 5.13. Distribución de la concentración de Cl <sup>-</sup> (mg/l) (15/04/2009). .	63
Figura 5.14. Distribución de la concentración de Cl <sup>-</sup> (mg/l) (14/07/2009)..	63
Figura 5.15. Diagrama de SCHOELLER-BERKALOFF (15/04/2009).....	64
Figura 5.16. Diagrama de SCHOELLER-BERKALOFF 14/07/2009. ....	65
Figura 5.17. Distribución de la relación rNa/rK (15/04/2009). ....	67
Figura 5.18. Distribución de la relación rNa/rK (14/07/2009). ....	67
Figura 5.19. Distribución de la relación rCl/rHCO <sub>3</sub> (15/04/2009).....	68
Figura 5.20. Distribución de la relación rCl/rHCO <sub>3</sub> (14/07/2009).....	68

Figura 5.21. Diagrama de Stiff modificado superpuesto a ortofoto y mapa geológico (15/04/2009). .....	69
Figura 5.22. Diagrama de Stiff modificado superpuesto a ortofoto y mapa geológico (14/07/2009). .....	70
Figura 5.23. Perfiles de CE en el río Ebro frente a la línea 1 de piezómetros. ....	71
Figura 5.24. Perfiles de conductividad paralelos a la línea 2.....	71
Figura 5.25. Perfiles de conductividad paralelos al la línea 3.....	72

## Índice de Tablas

Tabla 1.1. Descripción de los materiales (Mapa geológico 1:50.000 ICC). .	6
Tabla 2.1. Balance hídrico promedio (Torrents y Alonso, 1991).....	12
Tabla 2.2. Parámetros utilizados en el balance hídrico elaborado por Torrents y Alonso (1991). .....	12
Tabla 2.3. CE y cloruros según Torrents y Alonso (1991). .....	18
Tabla 2.4. Ubicación de los piezómetros de control de la CHE.....	19
Tabla 2.5. Piezómetros visitados por Acuamed (2008). .....	21
Tabla 2.6. Piezómetros propuestos en Acuamed (2008).....	25
Tabla 3.1. Características de las líneas de piezómetros. ....	27
Tabla 3.2. Situación y características de los piezómetros. ....	32
Tabla 3.3. Parámetros y características hidrogeológicas (Torrents y Alonso, 1991) .....	34
Tabla 3.4. Caudales y tiempos utilizados en los ensayos. ....	37
Tabla 3.5. Parámetros estimados mediante la interpretación de los ensayos de bombeo.....	38
Tabla 3.6. Situación de los puntos de medición en el río. ....	40
Tabla 3.7. Descripción de los sensores físico-químicos. ....	43
Tabla 3.8. Orden de muestreo en función de los diferentes parámetros, para minimizar el impacto sobre la química del agua. ....	44
Tabla 5.1. Medidas de nivel piezométrico del acuífero superficial.....	50
Tabla 5.2. Mediciones de campo de los parámetros físico – químico (15/04/2009). .....	53
Tabla 5.3. Conductividades eléctricas y nivel de la interfaz para los perfiles verticales de los piezómetros Pz4, Pz8 y Pz9. ....	57
Tabla 5.4. Resultado de las analíticas (mg/l) (15/04/2009). ....	58
Tabla 5.5. Resultado de las analíticas (mg/l) (14/07/2009). ....	58
Tabla 5.6. Principales relaciones iónicas (15/04/2009). ....	66
Tabla 5.7. Principales relaciones iónicas (14/07/2009). ....	66
Tabla 5.8. Situación y resultados para los perfiles verticales en el Ebro... ..	72

# 1. Introducción

## 1.1 Antecedentes

El delta del Ebro es una zona singular dentro de la cuenca del Ebro por la coexistencia de aguas superficiales continentales, aguas subterráneas, aguas de transición y aguas costeras, lo que conforma un sistema con complejas interrelaciones, cuyo equilibrio puede ser fácilmente roto cuando se altera alguno de sus elementos.

En la desembocadura del río Ebro la interrelaciones entre las aguas superficiales, aguas de transición y aguas marinas se ponen de manifiesto con la existencia de una lengua de agua salina que entra desde el mar a través del estuario del río y cuya dinámica está influenciada por el régimen de caudales existente, lo cual tiene una notable influencia en su morfología y ecología.

Las aguas subterráneas del delta del Ebro se caracterizan por su elevada salinidad, lo que las hace inútiles para cualquier uso común en buena parte del territorio. Las aguas del acuífero superior del delta son moderadamente salinas entre 1 y 3 m de profundidad, que es la zona de lavado del riego de los arrozales, y a partir de ahí hasta una profundidad máxima de 10 m (valor de la base del acuífero) son aguas muy mineralizadas y salobres.

Aunque son bien conocidas las interrelaciones existentes entre las aguas superficiales, las de transición y las marinas, no lo son tanto las existentes entre todas ellas y las aguas subterráneas del delta debido a la falta de estudios detallados. Además tampoco se ha aclarado el origen de la salinización del agua subterránea del acuífero superior que puede tener causas antrópicas (mineralización creciente asociada al regadío, etc.) o causas naturales que estarían relacionadas con su interrelación con las aguas de transición y marinas.

Para la adecuada conservación de la calidad de los ecosistemas acuáticos del delta del Ebro es necesario mejorar el conocimiento sobre todos los elementos que conforman el sistema establecido claramente sus interrelaciones y su dinámica espacial y temporal. Esta necesidad tiene amparo legislativo en la directiva 2000/60/CE de 2 de octubre de 2000, también conocida como Directiva Marco del Agua (DMA), por la que se establece un marco comunitario para la protección de aguas superficiales continentales, de transición, costeras y subterráneas se marca el

objetivo general de proteger y mejorar los ecosistemas acuáticos que nos permitan el buen estado ecológico de las aguas europeas en el año 2015 y la garantía de disponibilidad de las mismas para el desarrollo sostenible. La DMA pretende mantener o regenerar la estructura y funcionalidad de los ecosistemas acuáticos de los cuales el delta del Ebro tiene ejemplos de diversas clases. El no deterioro y la consecución del buen estado de los ríos, las aguas subterráneas, las aguas de transición y aguas costeras, como son las aguas del delta es uno de los objetivos de la DMA.

Muy vinculado a la DMA está además el Plan integral de protección del delta del Ebro, que nació con la disposición adicional décima de la ley 10/2001, del Plan Hidrológico Nacional (PHN) y fue modificada posteriormente por el apartado decimoquinto de ley 11/2005, de 22 de junio. Su finalidad es la de asegurar el mantenimiento de las especiales condiciones ecológicas del delta del Ebro lo que básicamente es igual al objetivo de la DMA de conseguir el buen estado de las aguas del delta.

Por lo expuesto, el siguiente estudio pretende iniciar los estudios encaminados a analizar la relación entre la dinámica fluvial en la desembocadura del Ebro, el movimiento de la lengua salina del río y su influencia en la calidad de las aguas del acuífero superior del delta. Para ello es necesaria la caracterización de la relación entre las aguas superficiales del río Ebro y las aguas subterráneas del acuífero superficial del delta del Ebro.

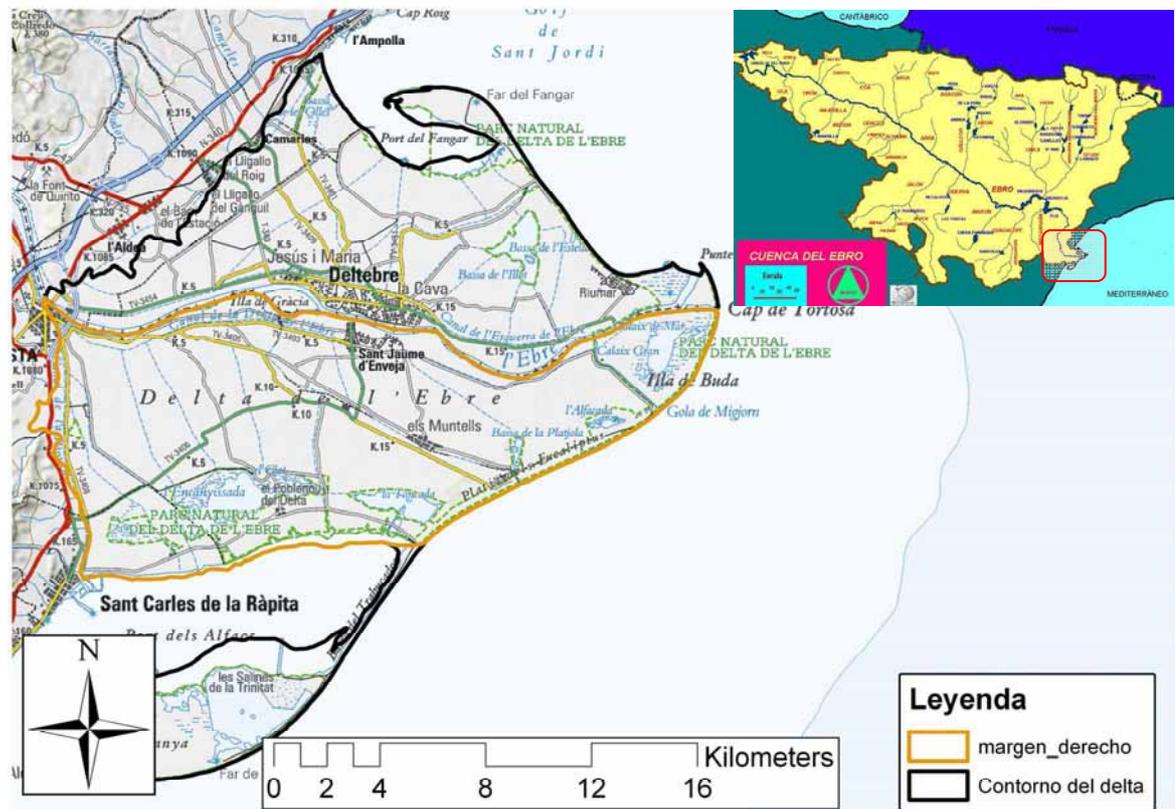
## **1.2 Objetivos y alcance**

El presente informe recoge los resultados de los trabajos realizados en el proyecto *“Diseño y acondicionamiento de una red de control de variables ambientales para controlar la incidencia del río Ebro en el acuífero superficial del Delta”*. Dicho proyecto tiene como objeto el diseño y puesta en marcha de una red de control de variables ambientales para la caracterización de la lengua salina del río Ebro y su incidencia en el acuífero superficial del delta del Ebro.

## **1.3 Contexto geográfico y geológico**

El delta del Ebro se encuentra ubicado en el extremo sur de Catalunya y pertenece a las comarcas del Baix Ebre y el Montsià, divididas en el delta por el río Ebro. Las poblaciones más importantes en el delta del Ebro son Sant Jaume d’Enveja, con 3479 habitantes (INE, 2008), Deltebre, que nace de la unión de los municipios de Jesús y

María y la Cava en 1981, con 11.445 habitantes y Amposta, población situada en el margen continental que cuenta con 20.652 habitantes (Figura 1.1).



**Figura 1.1. Situación geográfica (Mapa topográfico 1:50.000 ICC).**

La economía se sustenta en gran medida gracias a la agricultura, dedicada casi en exclusiva al arroz. El cultivo de arroz ocupa una extensión de más de 20.000 Ha, mientras que la huerta y los árboles frutales ocupan un segundo plano. La pesca también es uno de los sectores que tradicionalmente ha tenido gran relevancia en el delta, gracias sobre todo al gran aporte de nutrientes por parte del Ebro. Todavía hoy en día se utilizan aparejos y artes tradicionales de pesca en el mismo río y en las lagunas. La presencia de la industria es mínima, siendo siempre de carácter agrícola. Actualmente el sector turístico está experimentando un gran crecimiento, debido a la singularidad paisajística del delta. Con una superficie total de 320 Km<sup>2</sup> supone un importante hábitat húmedo, dominado por grandes llanuras y espacios agunares.

El delta del Ebro es una lengua de terreno progradante hacia el mar a partir de la población de Amposta. La parte deltaica sumergida tiene una extensión de 1.880 Km<sup>2</sup>, que sumados a los 320 Km<sup>2</sup> del delta emergido suman 2200 Km<sup>2</sup> de extensión total del delta. Los sedimentos que conforman el delta son recientes, sedimentados sobre materiales pro deltaicos de hace 10.000 años que responden a una subida del nivel del mar de 100 m. Antes de la mencionada subida eustática del nivel del mar, la desembocadura del Ebro debió estar situada en el límite de la plataforma continental, donde los sedimentos trasportados por el río eran transportados por el talud a mayores profundidades hasta la llanura abisal. Cuando la era glacial toco a su fin, hace aproximadamente 6000 años los niveles volvieron a subir hasta los valores actuales. Pese a este aumento del nivel del mar, no se formó un delta emergido, sino que los sedimentos se acumularon en la plataforma continental, explicando la gran superficie del delta sumergido.

Durante la época romana el delta era todavía incipiente, desarrollándose durante la edad media y sobre todo en la edad moderna debido a las grandes talas de los Monegros del s. XVII, que produjeron la pérdida de la cobertura vegetal y un importante aumento del transporte de sedimentos hacia el delta (Custodio, 1997). Los sedimentos del delta tienen una amplitud de aproximadamente 30 km y un espesor de más de 500 m, debidos a la gran subsidencia de la zona. En el margen continental del delta están los macizos carbonatados mesozoicos del Montsià y de la Cinta-Coll de l'Alba, en el semi delta derecho e izquierdo respectivamente (Custodio, 1997). Las zonas costeras de menor relieve están rellenas por materiales detríticos procedentes del desmantelamiento de la sierra costero catalana y por depósitos aportados por el río Ebro (Canicio, 1991). En el municipio de Sant Carles de la Ràpita, en el sur del delta, se observan tanto materiales cuaternarios depositados por conos de deyección como materiales deltaicos situados encima.

El tramo inferior del sistema hidrológico del Ebro se localiza en el ámbito de las sierras litorales y pre litorales catalanas que cierran la gran depresión central de la cuenca convergente y erosiva del Ebro y dan paso a su cuenca divergente y sedimentaria de tipo deltaico (Canicio, 1991).

Mediante sondeos petrolíferos se ha observado que los depósitos de pie de monte se introducen lateralmente entre los aluviones fluviales del Plioceno y el Cuaternario, creando una interdigitación entre ambos materiales. El Cuaternario glacial e interglacial está formado por gravas poligénicas con intercalaciones de materiales detríticos arenosos y arcillosos con potencias de hasta 500m. Este cuaternario glacial

e interglaciar se encuentra recubierto por materiales arenosos de los cordones de playa, formados durante la última transgresión marina pos glacial. Encima de estos materiales sedimentaron los materiales del delta actual, principalmente limos arcillosos del prodelta y algunos niveles superiores arenosos de origen litoral, con intercalaciones de lodos lagunares, ricos en materia orgánica, fangos de desbordamiento fluvial y turbas de antiguas zonas palustres (Canicio, 1991).

El delta está constituido por una llanura deltaica formada por canales fluviales y lagunas. Los canales fluviales están formados por materiales detríticos, los cuales tienen la mayor granulometría del delta. En contraste, los diques naturales de los canales o “levée” están formados por materiales mucho más finos. Como se observa en el mapa geológico, en la llanura deltaica hay múltiples cauces abandonados y distributarios. Las roturas de los diques naturales provocan que capas de limos sedimenten en la llanura deltaica (Maldonado, 1972).

Es común la formación de lagunas y marismas en las zonas deprimidas en la llanura deltaica. La secuencia sedimentaria típica se inicia con materiales litorales y marinos seguidos de materiales fangosos orgánicos de medios restringidos lagunares encontrando por último ambientes de marismas (Canicio, 1991).

Los materiales arenosos son los predominantes en los ambientes litorales, transportados por canales fluviales y procedentes del continente, son distribuidos desde la desembocadura por la deriva litoral y en menor medida por procesos eólicos. Pueden llegar a formar gran cantidad de estructuras sedimentarias como playas de bajo gradiente, dunas o flechas litorales, como las formadas en los extremos del delta (Figura 1.2).

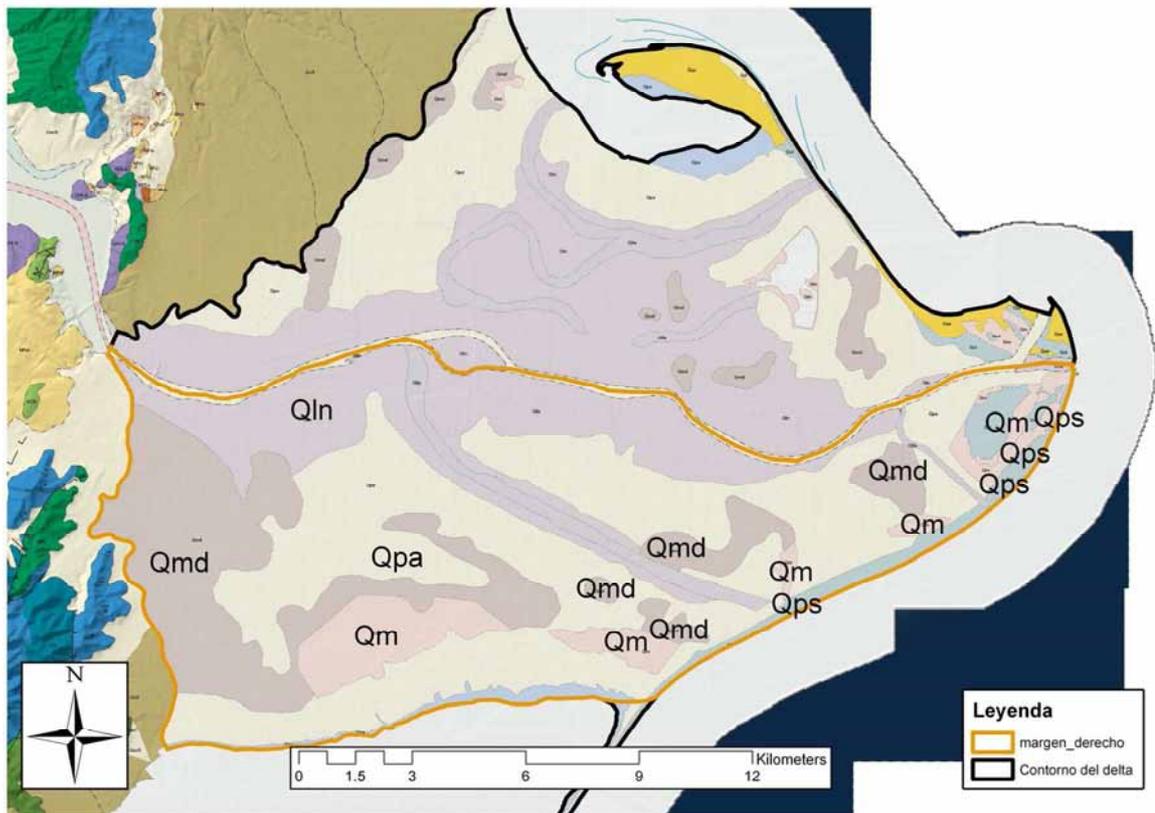


Figura 1.2. Contexto geológico (Mapa geológico 1:50.000 ICC).

Tabla 1.1. Descripción de los materiales (Mapa geológico 1:50.000 ICC).

<i>Material</i>	<i>Descripción</i>
Qln	Levéé natural". Arenas medias y limos. Localmente capas de turba. Holoceno.
Qm	Marismas. Limos, arenas, materia orgánica y sal. Holoceno
Qmd	Marismas degradadas. Turba con intercalaciones de materia orgánica y arenas finas. Holoceno.
Qpa	Llanura aluvial. Gravass, arenas y lutitas. Holoceno superior.
Qps	Playa permanentemente sumergida. Arenas finas, limos i arcillas. Holoceno

## **2. Recopilación y síntesis de estudios y datos preexistentes**

### **2.1 Características y funcionamiento hidrogeológico del acuífero superior**

#### **2.1.1 Acuífero superior**

El acuífero superior del delta se extiende por toda la llanura deltaica, a excepción de la isla de Buda y el centro del Delta, donde se encuentran sedimentados materiales finos que forman los diques naturales. Dicho acuífero superior tiene un espesor no mayor de 10 m, valor bastante constante en todo el Delta. El nivel freático se encuentra muy somero a apenas unos decímetros de la superficie. El material predominante que conforma dicho acuífero son arenas de granulometría fina (0.15 – 0.25 mm), (Custodio et al., 1997). Estas arenas sedimentaron al formarse las barras de playa generadas en el proceso de progradación del Delta. Ocasionalmente se forman lagunas que acaban por formar parte de la llanura deltaica. Aunque estos depósitos pueden mostrar la evolución deltaica desde su estado fluvial a palustre y holomarinero, los materiales predominantes son las arenas con un contenido muy variable en materia orgánica. Esta diferencia de facies sedimentarias se traduce en una gran variedad de estructuras sedimentarias, las más comunes son bioturbaciones y diversas formas de estratificación cruzada y planares (Torrents y Alonso, 1991). La presencia de gas metano es especialmente importante en los flancos del delta, donde el acuífero superior está formado por turberas fósiles y activas además de depósitos palustres (Custodio et al., 1997).

La permeabilidad del acuífero superior apenas supera 1 m/d, siendo una excepción las formaciones de barras de playa, donde se pueden alcanzar valores de 5 m/d. Ensayos realizados dan transmisividades de hasta 65 m<sup>2</sup>/d (Custodio et al., 1997).

El acuífero superior se comporta como acuífero libre en la mayor parte de su extensión y semi confinado en las proximidades de los diques naturales a ambos lados del río y en antiguas salidas al mar del río Ebro (Custodio et al., 1997).

### 2.1.2 Levees

Los “levees” o diques naturales se producen por desbordamientos del cauce fluvial. El desarrollo de estas estructuras está controlado por las crecidas del río, en los sucesivos episodios el material va sedimentando creando una superposición de materiales finos. Los máximos espesores se encuentran en las inmediaciones del río, llegando a valores de 2 a 2.5 m (Torrents y Alonso, 1991).

Los espesores máximos de los diques naturales, como se ha dicho, se encuentran en el centro del delta, siendo suaves elevaciones del terreno, que fueron aprovechadas para la construcción de las localidades de Jesús y María, La Cava y Sant Jaume d'Enveja. Donde además, existen lentejones de agua dulce ocasionalmente explotados por estas poblaciones (Custodio, 1997).

### 2.1.3 Acuitardo

Bajo el acuífero superficial se encuentra una capa de baja permeabilidad compuesta en la zona distal de arcillas marinas, depositadas transgresivamente durante el último ascenso eustático del nivel del mar. La parte superior del estrato está compuesta de arcillas y limos de prodelta, sedimentados durante la progradación deltaica. La parte proximal del acuitardo está formada por sedimentos de la llanura deltaica. El espesor es variable, aumentando de 10 a 50 m hacia el límite interno del delta, (Canicio, 1991).

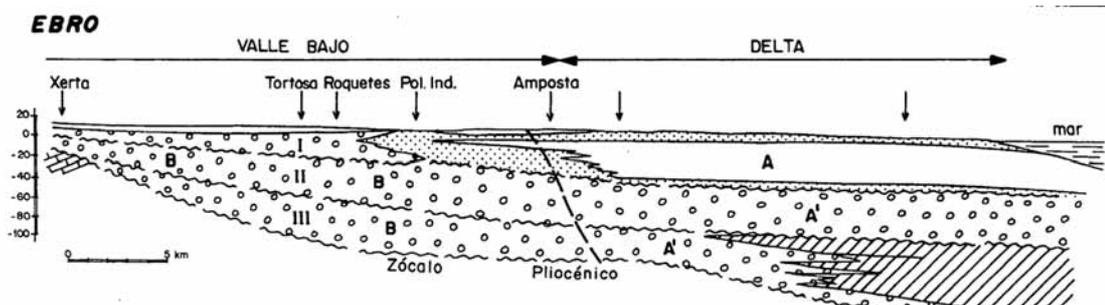
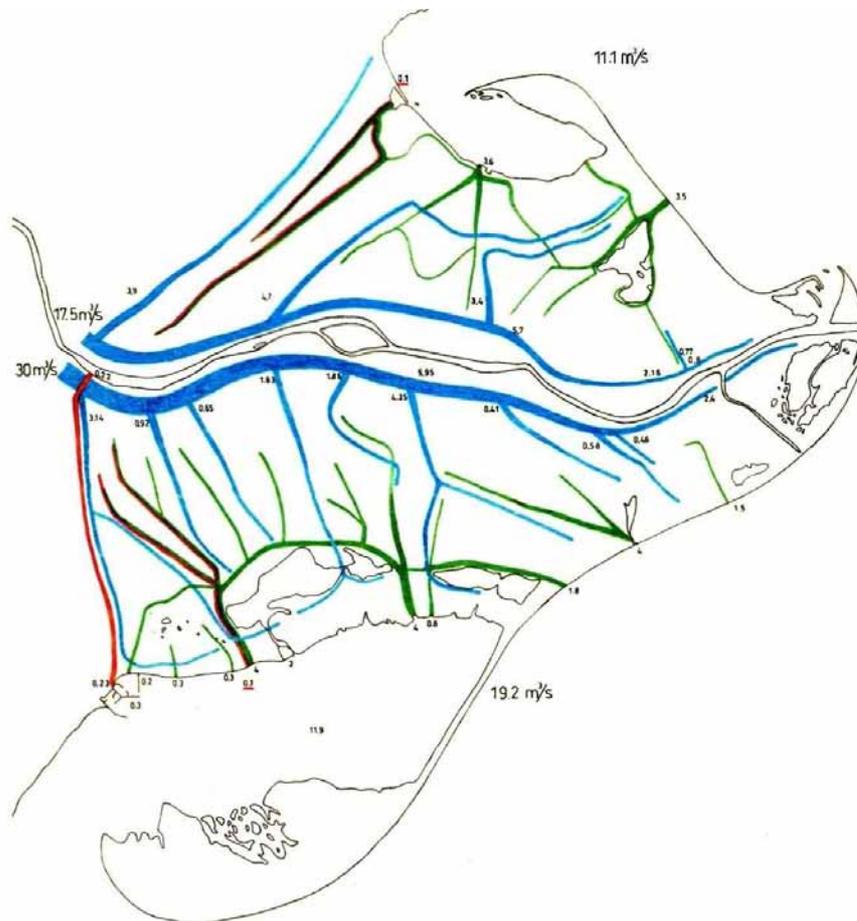


Figura 2.1. Perfil longitudinal esquemático del delta (Custodio, 1997).

### 2.1.4 Redes de riego y de drenaje

La red de riego tiene como objetivo suministrar agua dulce a los campos de cultivo del delta, dicha red se compone de dos canales principales que nacen en el Azud de Xerta, aproximadamente 25 Km aguas arriba desde la desembocadura. Los dos canales discurren paralelamente al río Ebro hasta las inmediaciones de la

desembocadura. Durante su recorrido diversos canales secundarios reciben el agua dulce y la reparten a los campos (Figura 2.2).



**Figura 2.2. Redes principales de riego y drenaje (Acuamed, 2008).**

Esta red secundaria aprovecha el pequeño desnivel topográfico y se encuentra ligeramente elevada respecto a la red de drenaje. La red de riego se encuentra revestida, al contrario que la red de drenaje, hasta que los canales se subdividen formando la red terciaria, dicha red se utiliza para llegar a las parcelas más alejadas e inaccesibles. Paralelamente a las diferentes redes de riego, se encuentra la red de drenaje, que de manera opuesta a la red de riego se hace cada vez más importante hasta llegar a la línea de costa donde el agua es bombeada por estaciones dotadas con tornillos de Arquímedes, como se observa en la Figura 2.2. La red de drenaje recibe el agua de la marea que sube por encima del nivel del suelo, de las lluvias más importantes o del terreno cuando este se encuentra por debajo del nivel del mar. Este fenómeno se da en el 47% de la llanura deltaica, ya que se halla por debajo de los 50

cm de cota, pasando el delta a funcionar como un “polder”. Si no fuera por la red de drenaje la llanura deltaica se comportaría como una llanura intermareal (Ibáñez, 1997).

### **2.1.5 Comportamiento hidrogeológico**

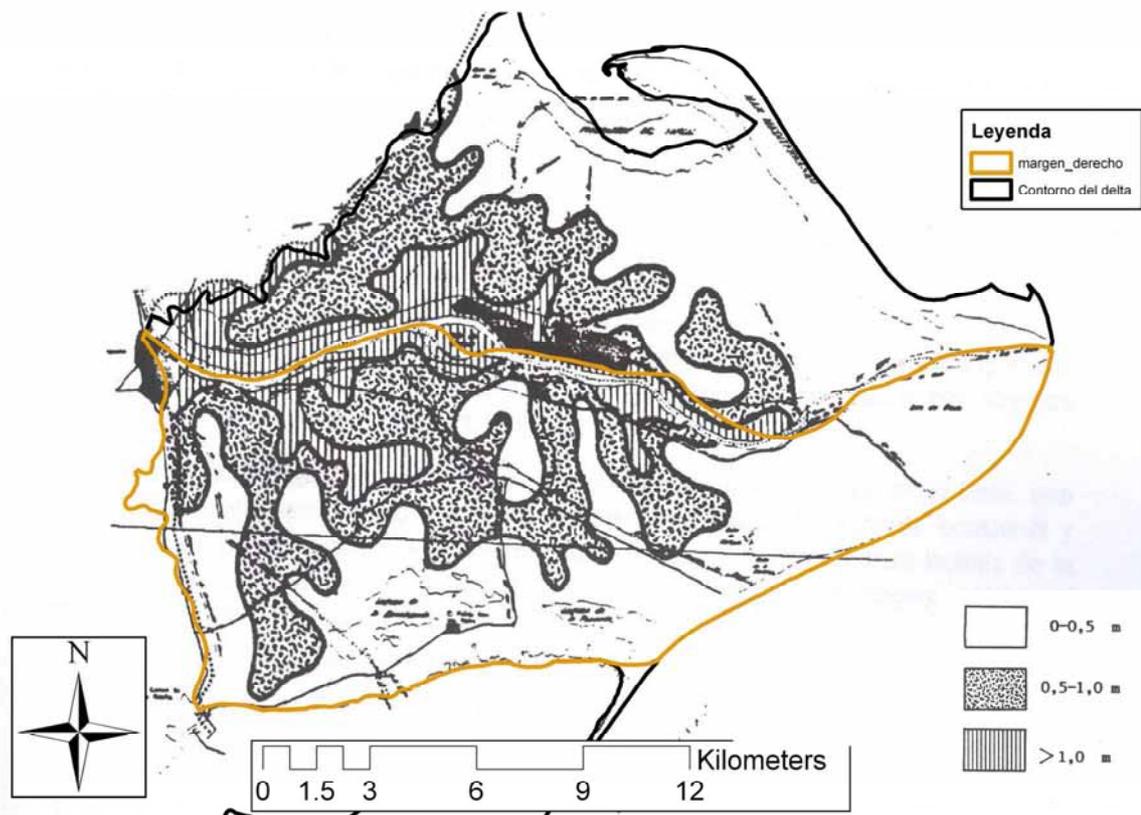
La principal descarga del acuífero superficial se produce por los canales de drenaje, que vierten el agua a las lagunas y al litoral mediante las estaciones de bombeo anteriormente citadas (Custodio et al., 1997).

Los materiales deltaicos, generalmente de granulometría fina, actúan de barrera al flujo proveniente de la descarga de los acuíferos carbonatados continentales, sobretodo del Montsià, situados en los flancos del delta. Debido a esta singularidad los acuíferos continentales descargan en el contacto con el Delta, formando pequeñas lagunas (de 3 a 4.5 m de profundidad) de agua salobre. Estas surgencias reciben en la región el nombre de “Ullals”. Dichas surgencias están situadas entre Amposta, Sant Carles de la Ràpita y frente a Camarles, aunque muchas han dejado de funcionar, sobretodo en el margen izquierdo, debido a la presión a la que se encuentran sometido los acuíferos continentales (Custodio et al., 1997).

Al comparar la pluviometría con las oscilaciones del nivel piezométrico se aprecia como los niveles son muy sensibles a la recarga por precipitación, aunque la oscilación máxima no supera valores de 0.5 m (Torrents y Alonso, 1991). Aún así el volumen aportado por la infiltración por precipitación es mucho menor a otros términos como se muestra más adelante.

La superficie piezométrica en el Delta del Ebro es de difícil determinación debido al pequeño gradiente existente. En toda la superficie del Delta (320 Km<sup>2</sup>) la variación del nivel piezométrico es de apenas de pocos decímetros, alcanzando valores máximos de 3.5 m.s.n.m. La superficie piezométrica también se ve muy condicionada a procesos de gran variación temporal como la recarga y drenaje inducidos artificialmente (riego de arrozales y acequias) (Torrents y Alonso, 1991). Este gradiente hidráulico está causado por la poca pendiente de los materiales que conforman el Delta, en comparación con otros deltas como el delta del Llobregat y el delta de la Tordera. El elevado gradiente topográfico en estos dos deltas se traduce en un mayor gradiente hidráulico, que provoca el lavado y expulsión de las aguas salobres. La ausencia de este gradiente conlleva que el delta del Ebro presente una elevada salinidad en sus aguas a partir de Amposta (Custodio et al., 1997).

A pesar del poco gradiente existente, se pueden observar flujos preferenciales. Según la piezometría realizada por (Torrents y Alonso, 1991), se observa una descarga a mar siguiendo una disposición N-S en el semi delta derecho, desde Aposta hacia Sant Carles de la Ràpita. Paralelamente a esta línea de descarga, se observa un alto piezométrico hacia el interior del delta, provocado presumiblemente por el riego de los arrozales. Esta diferencia de apenas 0.5 m muestra la gran heterogeneidad de los valores de permeabilidad existentes en el semi delta derecho. La piezometría también muestra como el río tiene un comportamiento efluente, aunque en determinadas zonas, sobretudo antes de la bifurcación de la isla de Buda, puede comportarse de manera influyente dependiendo de la permeabilidad y la recarga artificial en las zonas de riego.



**Figura 2.3. Mapa piezométrico general (Torrents y Alonso, 1991).**

En los espacios lagunares no existe un aporte constante de agua, produciéndose un déficit entre los meses de enero y abril, debido a la escasez de precipitaciones en ese periodo y a la falta de entrada de agua dulce proveniente del drenaje de los arrozales, ya que durante el invierno y principios de la primavera los campos no están inundados según el Plan Integral de Protección del Delta del Ebro (PIPDE) (MMA y GenCat,

2006). Además, el agua que reciben las lagunas no es de una calidad constante, recibiendo agua dulce de los arrozales de marzo a diciembre y agua marina durante el resto del año, provocando drásticos cambios en la salinidad del agua (MMA y GenCat, 2006).

La red de drenaje empieza a funcionar cuando finaliza la cosecha de arroz a finales de septiembre o principios de octubre ocasionalmente, vaciando los campos y conduciendo el agua hasta estaciones de bombeo dotadas de tornillos de Arquímedes que evacúan el agua al mar. Estas estaciones tienen una capacidad de evacuación de unos 33 m<sup>3</sup>/s en el semi delta izquierdo y de unos 50 m<sup>3</sup>/s en el derecho (MMA y GenCat, 2006).

### 2.1.6 Balance hídrico

El siguiente balance (Tabla 2.1) está extraído de Torrents y Alonso (1991). Los principales parámetros del balance están condicionados por la intensa actividad agrícola del delta, tanto en las entradas como en las salidas (Tabla 2.2).

**Tabla 2.1. Balance hídrico promedio (Torrents y Alonso, 1991).**

Entradas (hm <sup>3</sup> /año)		Salidas (hm <sup>3</sup> /año)	
Infiltración lluvias	21.5	Drenaje de acequias	97
Flujo subterráneo de origen continental	35	Flujo subterráneo hacia mar y "ullals"	34
Infiltración por riego	79	Bombeo neto	4.5
<b>TOTALES</b>	<b>135.5</b>	<b>TOTALES</b>	<b>135.5</b>

**Tabla 2.2. Parámetros utilizados en el balance hídrico elaborado por Torrents y Alonso (1991).**

Superficie (Km <sup>2</sup> )	Arrozales	185
	Otros cultivos	56
	Lagunas	19
	Sin cultivar	60
	<b>Total</b>	<b>320</b>
Infiltración lluvias (hm <sup>3</sup> /año)	Arrozales	8.8
	Resto	48
	<b>Total</b>	<b>56.8</b>
Riego total (hm <sup>3</sup> /año)	Arrozales	671
	Resto	48
	<b>Total</b>	<b>719</b>
T en el frente de recarga (m <sup>2</sup> /día)	Norte	1200
	Sur	700

Gradiente	Norte	0.003
	Sur	0.006
Longitud del frente (m)	Norte	15200
	Sur	9800
Infiltración con aguas de riegos (Hm <sup>3</sup> /año)	Arrozales	67
	Otros cultivos	12
	Total	79
Drenaje de acequias (Hm <sup>3</sup> /año)	Norte	55
	Sur	42

## 2.2 Modelo hidrológico de funcionamiento del río Ebro en su desembocadura

El río Ebro tiene una longitud de aproximadamente 930 Km y desemboca en la provincia de Tarragona, formando una extensión progradante a partir de Amposta. Se trata de un delta dominado por el oleaje y procesos fluviales (Dalrymple et al., 1992), ya que las mareas en el Mediterráneo son prácticamente despreciables ( $\approx 16$  cm). Formando una extensión de 320 Km<sup>2</sup> para el conjunto del delta y 186 Km<sup>2</sup> en el semidelta derecho. El caudal medio anual ha descendido de 592 m<sup>3</sup>/s desde principios de siglo a 424 m<sup>3</sup>/s en los últimos 30 años como resultado del uso intensivo de sus aguas y de la regulación a la cual se ha visto sometido (Ibáñez et al., 1999), sobre todo por los embalses de Ribaroja y Mequinenza (MMA y GenCat, 2006).

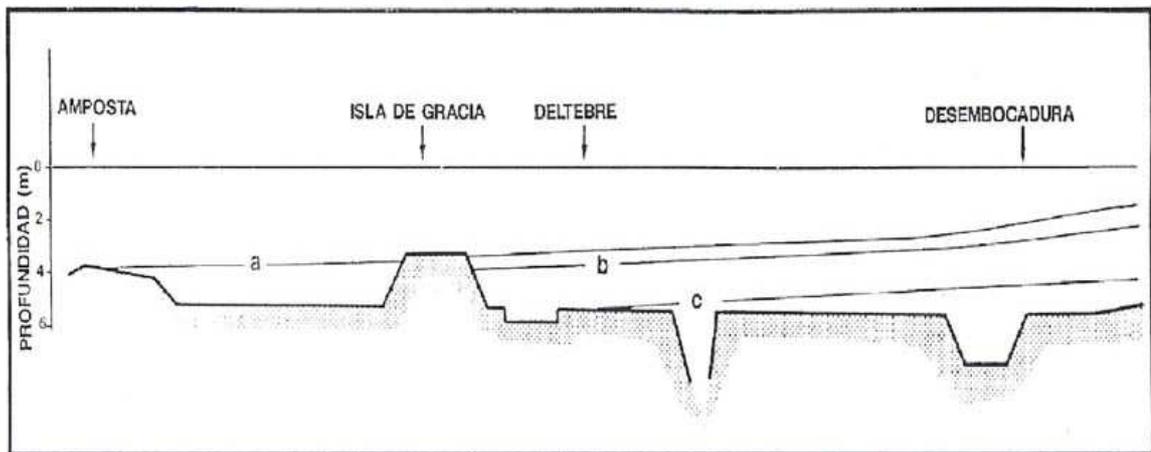
A pesar de la presión a la que se ve sometido el Ebro, debe poder garantizarse un caudal ambiental (DMA), variable en el tiempo, que reproduzca lo mejor posible el ciclo hidrológico natural del río y garantice el mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales (MMA y GenCat, 2006). El Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro cuantifica el caudal ambiental en 100 m<sup>3</sup>/s, aunque el plan integral de protección del Delta del Ebro pone en cuestión este caudal ya que se realizó en un contexto muy diferente al actual y no permite satisfacer los requerimientos de la DMA y propone recalcular el caudal ambiental en base a parámetros más realistas proponiendo diferentes métodos de cálculo.

El río Ebro en su desembocadura se comporta como un estuario, facilitando la entrada de agua salada marina. El agua dulce y salada se encuentran altamente estratificadas, presentando dos capas totalmente diferenciadas, una superior de agua dulce y otra inferior de agua salada (Pritchard, 1955), formándose una cuña salina con una haloclina muy bien definida (Movellán, 2003).

Las primeras observaciones que se realizaron sobre la intrusión de la cuña salina las llevó a cabo Aragón (1943), detectando que la intrusión alcanzaba la población de Santa Cándida, situada a 35 Km de la desembocadura, en el verano de 1942 a 1943.

Por ejemplo, Guillén (1992) observó la presencia de la cuña salina en todas las campañas realizadas entre 1988 y 1991, siendo el caudal inferior a 300 m<sup>3</sup>/s.

Otro factor que controla de forma muy significativa la entrada de agua marina es la batimetría del río. Existen puntos de equilibrio donde la cuña salina queda confinada para diferentes rangos de caudal (Ibáñez et al., 1999). Cuando el caudal del río es mayor a 400 m<sup>3</sup>/s la cuña no llega a formarse y el tramo final pasa de estuario a río. Para caudales de menos de 300 m<sup>3</sup>/s la cuña salina avanza hasta la isla de Gracia, situada a 18 Km de la desembocadura. Si el caudal es menor a 100 m<sup>3</sup>/s la cuña puede avanzar hasta las cercanías de Amposta, a aproximadamente 32 Km de la desembocadura. Al producirse un aumento de caudal la cuña se retira paulatinamente, aún así puede que no se retire completamente, quedando atrapada en zonas deprimidas del lecho del río. El caudal está muy regulado aguas arriba por centrales eléctricas que mantienen un caudal mínimo, pudiendo disminuir los caudales de los 100 m<sup>3</sup>/s ocasionalmente (Velasco, 1998).



**Figura 2.4. Esquema de la sección longitudinal del río Ebro, mostrando las posiciones de equilibrio (Guillén, 1992).**

Otro factor a tener en cuenta en la misma desembocadura es el hecho de que después de un largo periodo de caudales altos o bajos, la profundidad de la desembocadura se modifique sensiblemente modificando a su vez el caudal necesario para que la cuña salina penetre. Por lo tanto, cuando el caudal de descarga a mar es superior al caudal medio, la cuña desaparece predominando los procesos erosivos.

Por otro lado, cuando predomina un caudal inferior, se forma la cuña salina penetrando en el estuario y predominan los procesos sedimentarios. Este fenómeno pudo apreciarse cuando entre julio de 1988 y abril de 1990 la presencia de la cuña fue permanente, produciendo la sedimentación de materiales que provocaron un aumento de la barra de desembocadura de 2 m de profundidad a 0.5 m, por lo que se tuvo que drenar para permitir el paso de embarcaciones (Movellán, 2003).

Según datos batimétricos de 1988, la profundidad media del Ebro en su tramo estuarino es de 6.77 m, con una desviación típica de 1.8 m, un máximo de 13.5 m y un mínimo de 3.8 m. En zonas con profundidades superiores a 10 m pueden coincidir con surgencias de agua dulce llamadas “peixeres” (Movellán, 2003).

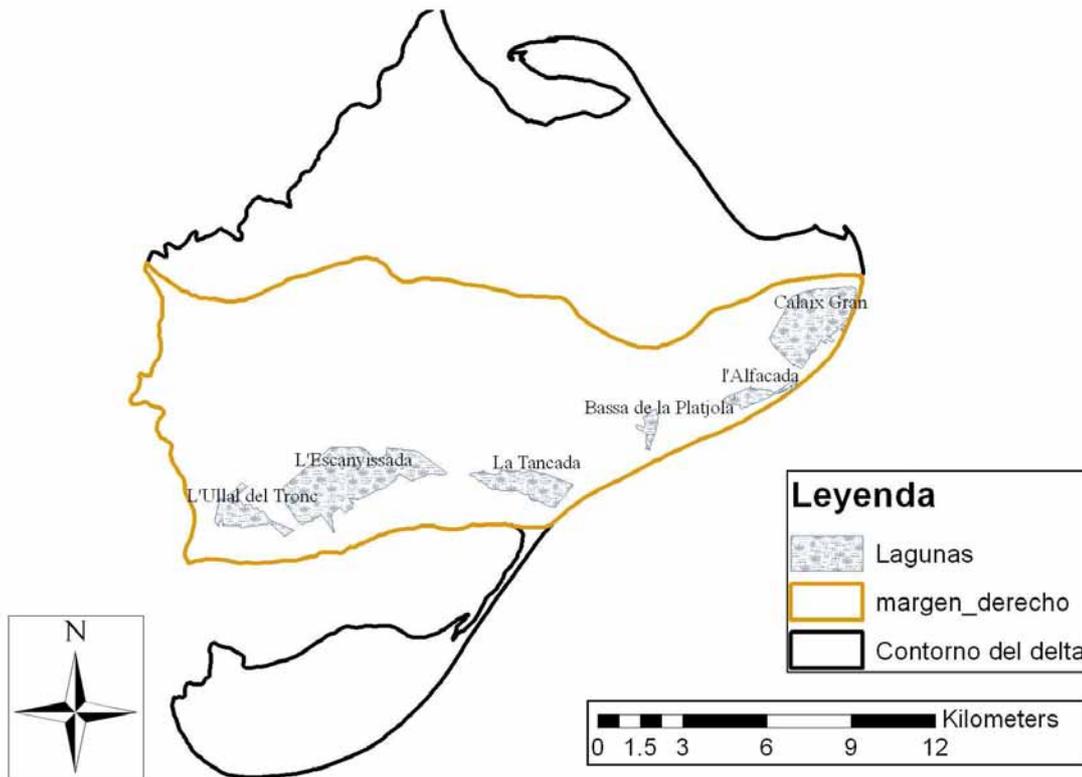
Existen diversas opiniones sobre el impacto de la permanencia de la cuña salina en el acuífero superficial. Según el PHN la presencia de la cuña salina es un fenómeno natural del que no cabe esperar un perjuicio por salinización de las tierras agrícolas adyacentes, y que una disminución del caudal no es el único parámetro que controla la lengua salina, sino que existen puntos estables que retienen la cuña.

## **2.3 Calidad de las aguas superficiales y subterráneas**

### **2.3.1 Aguas superficiales**

La calidad química del río Ebro está condicionada en gran medida a la posición de la cuña salina, se han realizado múltiples estudios para caracterizar la posición y características de la misma en el Ebro.

En el Delta del Ebro se contabilizan un total de 11 zonas húmedas significativas (Figura 2.5), les Olles, El Canal Vell, El Garxal, Illa de Buda, La Platjola, Riet Vell, La Tancada, L'Encanyissada, Erms de Casablanca o Vilacoto, Punta de la Banyà y Ullals de l'Arispe i Baltasar (Figura 2.5). La tipología de la mayoría de estas zonas está definida como talassohalinas.



**Figura 2.5. Espacios lagunares en el margen derecho del delta del Ebro.**

En el marco del estudio “Recursos hídricos subterráneos de los acuíferos de la margen derecha del río Ebro” realizado por Torrents y Alonso (1991), se realizaron muestreos y registros continuos verticales de conductividad eléctrica y temperatura en agosto de 1990. Según los datos obtenidos, la cuña se encontraba situada al norte de la isla de Gracia, no observándose en Mas Lluneta a unos 21.5 Km de la desembocadura. La cuña estaba situada a unos 3 m de profundidad y se considero que la haloclina se encontraba a partir de valores de 30.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los perfiles también mostraban gradientes normales, decreciendo el valor de la temperatura en función de la profundidad, salvo casos muy puntuales. Los resultados de los análisis químicos de las 13 muestras se representaron en diagramas de Piper y Stiff, observándose que las muestras procedentes de aguas superficiales o con escasa influencia marina pertenecían al grupo de las aguas cloruradas – sulfatadas y sulfatadas – cloruradas, con el calcio y el sodio como cationes dominantes. El resto de muestras pertenecían a aguas cloruradas – sódicas. En los diagramas de Piper se observa la mezcla de un agua fluvial con un agua de origen marino.

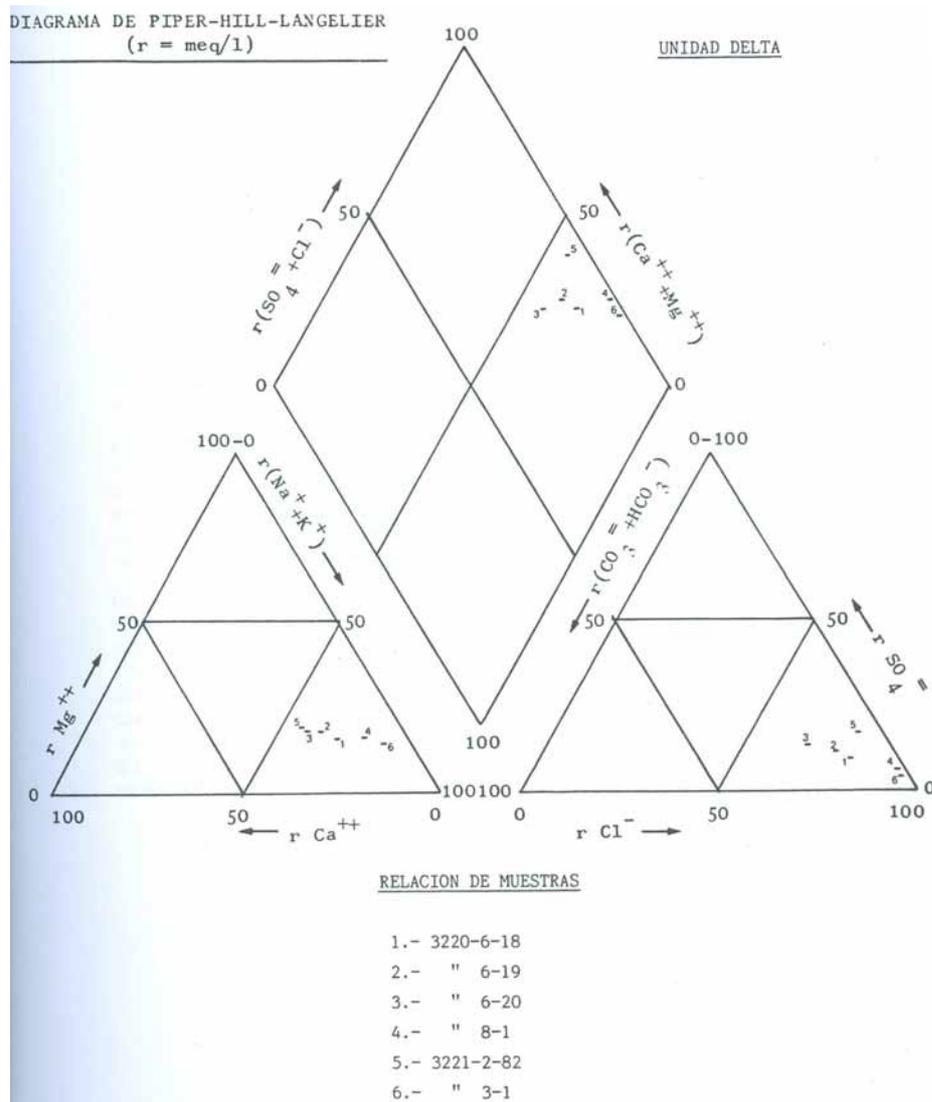


Figura 2.6. Diagramas de Piper (Torrents y Alonso, 1991).

### 2.3.2 Aguas subterráneas

En el contexto de la Directiva Marco del Agua, el delta del Ebro configura la Masa de Agua Subterránea número 053. Esta masa de agua se considera del tipo clorurada sódica. Las aguas correspondientes al acuífero superior se caracterizan por una elevada salinidad, lo que hace inviable su uso para casi cualquier actividad (Custodio et al., 1997).

Bajo niveles saturados muy someros, poco o moderadamente salinos, pueden encontrarse limos con aguas saladas e incluso salmueras. Se ha observado que en áreas como Mitjorn o la laguna de la Tancada, se pueden llegar a triplicar los valores de salinidad del mar a 5 m de profundidad.

Estas aguas presentan conductividades eléctricas de 130 mS/cm y concentraciones de 70 g/L de Cl<sup>-</sup>, un ambiente muy reductor, con reducción de sulfatos, alto contenido en amonio (70 mg/l) y una alta concentración de bicarbonato (1220 mg/l). Aunque las sales parecen ser de origen marino (relación Na/Cl y Cl/Br), la composición isotópica indica una procedencia de agua dulce evaporada. Estas características del suelo provocan que para cultivos diferentes del arroz, donde no se aplica una lamina de agua dulce en superficie, existan problemas, ya que el flujo ascensorial, provocado por la difusión molecular acabaría por contaminar la humedad de la zona radicular (Custodio et al., 1997).

En el estudio de Torrents y Alonso (1991) se realizó el muestreo de aguas procedentes del margen continental del delta, surgencias, perforaciones y aguas del centro del delta (Tabla 2.3). Los resultados obtenidos mostraron que todas las aguas eran del tipo clorurado sódico, con concentraciones de entre 460 y 13.680 mg/l en cloruros, que representaban mezclas de agua marina del orden del 2 al 65%.

**Tabla 2.3. CE y cloruros según Torrents y Alonso (1991).**

Situación	Profundidad (m)	Conductividad (μS/cm)	Concentración Cl <sup>-</sup> (mg/l)
Ullals	Surgencia	2050-2590	463 -724
Perforaciones	45 a 110	2.870 – 27.300	872 -13.680

Se observa que la salinidad aumenta cuanto más profundas y hacia el centro del delta se encuentran.

Las concentraciones de nitratos son bajas en los "ullals", de entre 11 a 14,5 mg/l y de entre 12,5 a 32,5 mg/l en las perforaciones.

La relación Cl/Br es muy útil para determinar el origen de la salinidad en las aguas subterráneas (Custodio y Alcalá-García, 2003). Se ha observado, mediante la toma de muestras en un nivel arenoso somero con abundante materia orgánica, situadas en la franja costera, que las aguas de estos niveles pueden llegar a triplicar el contenido en cloruro de las aguas de origen marino (Custodio y Alcalá-García, 2003). Este fenómeno puede ser producido por la evapoconcentración en áreas de cultivo que fueron marismas y luego arrozales, (Custodio et al., 1997). La relación Cl/Br en estas mismas muestras difiere poco del valor marino, aunque estas diferencias pueden achacarse al error analítico (Custodio y Alcalá-García, 2003).

Las aguas subterráneas del delta presentan una contaminación difusa por el empleo de compuestos fitosanitarios en los arrozales, debido a las campañas de fumigación

que se llevan a cabo. Durante el mes de marzo se lleva a cabo el abonado de los cultivos con compuestos de nitrógeno y fósforo mientras que en mayo se aplican insecticidas y herbicidas. Un mes después vuelven a aplicar herbicidas para eliminar las plantas acuáticas y algas. En junio se vuelve a abonar y en julio se realizan tratamientos aéreos con insecticidas (MMA y GenCat, 2006).

## 2.4 Inventario de puntos de agua subterránea.

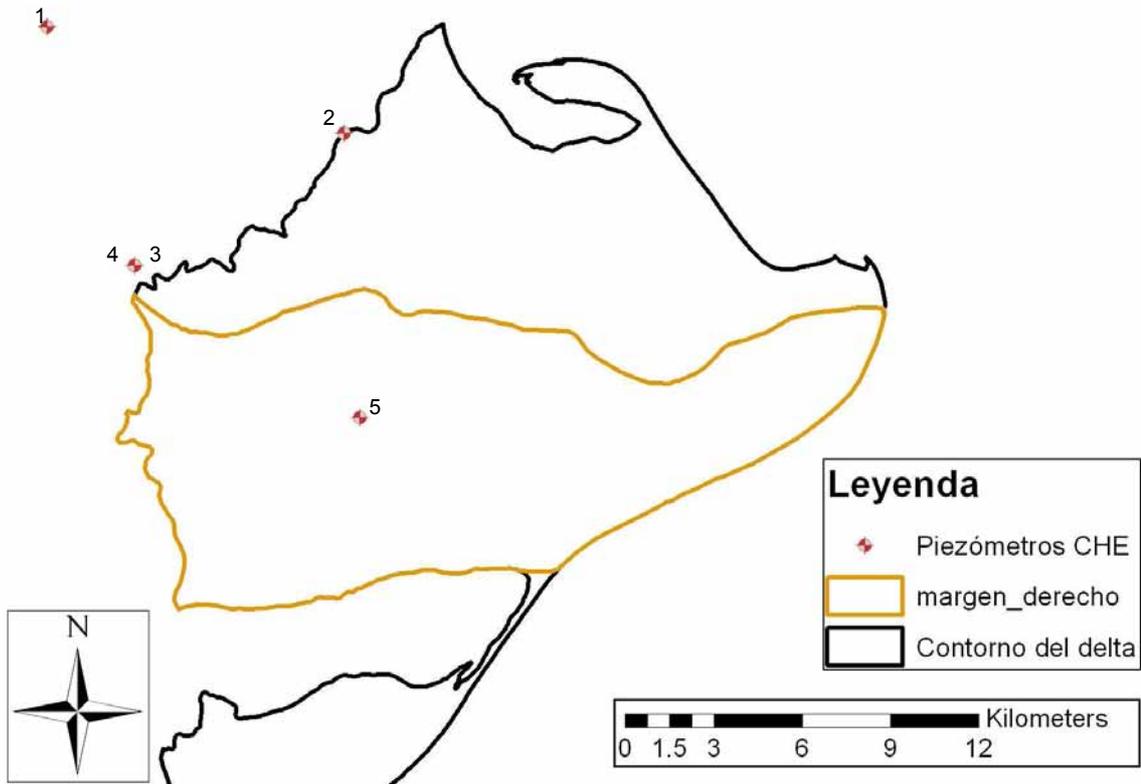
### 2.4.1 Red de control de la CHE

La CHE dispone de piezómetros realizados para el control de las aguas subterráneas, tanto calidad como niveles (Tabla 2.4 y Figura 2.7).

**Tabla 2.4. Ubicación de los piezómetros de control de la CHE**

ID	Paraje	X UTM 31	Y UTM 31	Z (msnm)	Acuífero	Observaciones
1	Barranco de la leche	292519	4519400	60	Cretácico inferior	En el metro 60 se produce un aporte de agua del orden de 7 l/s y va aumentando progresivamente hasta los 20 l/s a los 150 metros de profundidad. Nivel tras la perforación 43,1 m
2	Camarles	302612	4515751	10	---	A los 52 m de profundidad se registra un importantísimo aporte de agua salada que obliga a entubar y cementar para continuar la perforación. Tras el sellado existe un importante aporte a los 140 m y otros menores desde 140 a 150 m y otro aporte menos claro entre 110 y 120 m
3	L'Aldea	295498	4511216	5	---	Se detectó una zona muy importante a los 124 m de profundidad
4	L'Aldea	295493	4511235	5	---	Pendiente ajustar la cota
5	Agujas Pol 46 Parc 48	303131	4506025	2	Delta del Ebro	---

Los piezómetros están ubicados fuera del delta, menos uno que se encuentra ubicado oeste de la zona de estudio como se aprecia en la Figura 2.7, para dichos puntos existen valores físico-químicos así como la concentración para los iones mayoritarios.



**Figura 2.7. Situación de los piezómetros de la CHE.**

#### 2.4.2 Estudio de Acuamed

Acuamed (2008) realizó una campaña de campo para localizar y determinar el estado actual de los piezómetros, para poder determinar la posible ubicación de los nuevos puntos de control (Figura 2.8 y Tabla 2.6).

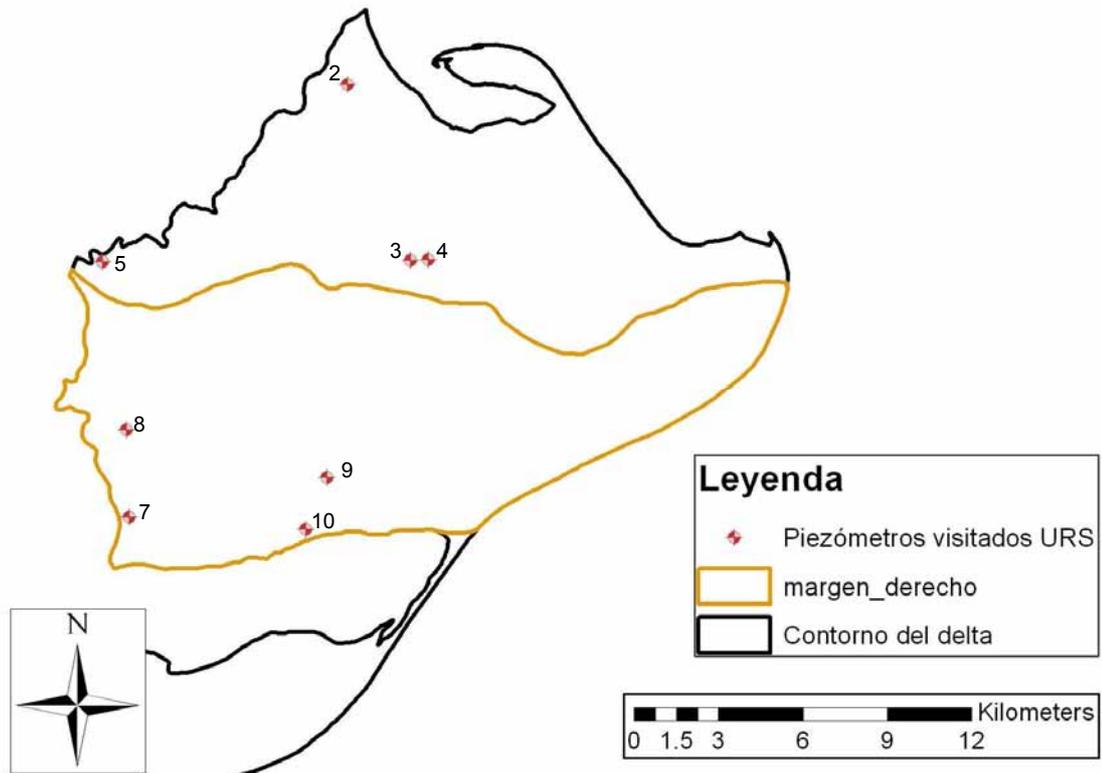
Los piezómetros visitados por Acuamed se ubican en igual cantidad en ambos semi deltas. En el margen derecho los piezómetros se encuentran en la mitad occidental, mientras que la zona de estudio se encuentra en el margen oriental.

**Tabla 2.5. Piezómetros visitados por Acuamed (2008).**

ID	Situación	X UTM 31	Y UTM 31	Comentarios
1*	Pedro Fumadó I	305284	4516847	cerca de Deltebre
2	Pedro Fumadó II	305285	4516844	cerca de Deltebre
3	Parking del Parc Natural del Delta	307538	4510550	Tiene metano. Es un pozo del dominio fluviodeltaico costero, sondeo entubado realizado mediante el sistema de percusión con cable. Este pozo permite ver las multicapas deltaicas. Tiene 35 m de profundidad y un diámetro de 300 mm.
4	Piezómetro Roset	308168	4510564	Roset Angulas y Mariscos S. L. Situado en Deltebre en Bufona, polígono 42, parcela 98. Es un sondeo entubado, de 40 m de profundidad y 300 mm de diámetro. Se ha realizado mediante percusión con cable. Es un pozo del dominio fluviodeltaico costero del bajo Ebro aluvial externo.
5	Comunidad de regantes en la acequia nº2	296590	4510488	Pertenece al acuífero aluvial externo. Este pozo está entubado, pertenece a la unidad hidrogeológica 313 correspondiendo esto al Baix Ebro-Montsiá. Tiene 55 m de profundidad y está hecho con un diámetro de 400 mm. El código de registro ACA es el 09AL268.
6*	Polígono de Camarles	296590	4510488	A 500 m del nuevo piezómetro que tiene la CHE
7	SGOP-4	297533	4501318	Este piezómetro está en medio de un camino de acceso a unas fincas, vierte por un tubo lateral a un desagüe. Pozo surgente del acuífero aluvial externo, de gravas, construido mediante el método de la rotación.
8	IRTA	297429	4504426	Hay dos pozos con tubería de acero inoxidable que están conectados a unas bombas. En la acequia próxima a los piezómetros se ha medido una conductividad de 2.170 $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Son piezómetros de agua dulce DGP-3 de gravas situados en el acuífero multicapa deltaico. Estos piezómetros sería interesante integrarlos en la red para realizar un control de la variación del nivel y la salinidad y para controlar la explotación zonal.

9	Poblenou	304560	4502720	Pertenece a la Sociedad Española de Ornitología. Es un piezómetro entubado de 39 m de profundidad y de 300 mm de diámetro. Pertenece al acuífero multicapa deltaico.
10	Proyectia	303799	4500883	empresa de cultivo de esturiones

*\*: no aparecen en la Figura 2.8*



**Figura 2.8. Situación de los piezómetros visitados por Acuamed.**

## **2.5 Red de variables ambientales ejecutadas o previstas en el marco de otros trabajos que tengan por objeto monitorizar el río y el acuífero superficial del delta**

El PIPDE (MMA y GenCat, 2006) pone de manifiesto la carencia de redes de control en el delta. No existen estaciones de aforo en los canales y los caudales bombeados no son conocidos con exactitud. No existe apenas información de las aguas que se vierten a la bahía y su calidad, produciéndose desequilibrios que provocan anoxia o floraciones algales.

Tanto la DMA como la Ley del PHN (disposición Adicional Décima) definen la implantación de una red de control de variables ambientales en la zona protegida.

Tanto la CHE como la Agencia Catalana del Agua prevén complementar una red de control ambiental en el tramo final del río Ebro.

### **2.5.1 Plan integral de protección del Delta del Ebro (PIPDE)**

Las actuaciones propuestas por el PIPDE son las siguientes:

- Diseño e implantación de redes automáticas de control de la calidad y los flujos de agua, la cuña salina, el flujo de sedimentos y los acuíferos, mediante el establecimiento de unos 37 puntos fijos en el delta (estuario, canales, lagunas, bahías) con infraestructura para monitorizar en continuo y tomar muestras de agua (casetas y boyas), de acuerdo con los criterios de la red de la Agencia Catalana del Agua. Se establecerían también puntos adicionales de muestreo manuales, especialmente en el Parque Natural.
- Construcción de un laboratorio químico y biológico (unos 500 m<sup>2</sup>) situado en las instalaciones del Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias. En el mismo edificio se ubicaría el centro de control para la integración y gestión de los datos automatizados y de los manuales.
- Adecuación de un pequeño laboratorio que apoyaría las actuaciones de control manuales y aportaría infraestructura de apoyo para la conservación y análisis de muestras. En la zona acondicionada se incorporaría también la instrumentación necesaria para la recepción y visualización de los datos que generará la red.
- Implantación de una red de monitorización de indicadores biológicos. Se establecerían puntos de control de las poblaciones de aves, peces e invertebrados. Los puntos de control serán manuales, aunque en algunos casos se plantearían casetas de control y vigilancia de las poblaciones de aves, con instalación de cámaras de video.
- Implantación de una red de control de la regresión y la subsidencia. Se establecerían puntos de control de la sedimentación y la subsidencia, utilizando la técnica de la SET (surface-elevation table), que requiere de la instalación de puntos permanentes distribuidos por todo el delta (56 puntos). Esta red implicaría también el establecimiento de puntos topográficos de referencia dentro y fuera del delta (ligados a la red SET), así como puntos fijos de control

del nivel del mar (mareógrafos), para diferencias la subida del nivel del mar y la subsidencia.

- Implantación de una red de control del transporte sólido fluvial tanto por arrastre de fondo como en suspensión (6 puntos).
- Diseño y control de la calidad de las aguas subterráneas, mediante la implantación de una red de piezómetros, 6 de profundos, 9 de superficiales y reparación de 3 de existentes, con la monitorización correspondiente.
- Implantación de una red de control del transporte sedimentario costero, con capacidad de hacer batimetrías discretas y en continuo de la plataforma deltaica, hasta la profundidad activa de transporte sólido. Esta infraestructura se ejecutaría mediante pilotes marinos (10 puntos), localizados en las zonas de mayor transporte e incidencia social, en la playa de la Marquesa y delante de la barra del Trabucador.

### **2.5.2 Estudio de Acuamed**

En Acuamed (2008) se estudia la implantación de diversas actuaciones para la observación de diferentes variables ambientales. Para la red de calidad se propuso la instalación de 11 caseta tipo SAICA para mediciones de pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez, potencial redox, amonio total nitratos y cloruros, 11 sondas multi paramétricas, 3 sondas multi paramétricas autoposicionables y 4 plataformas flotantes para realizar perfiles de parámetros físico químicos.

Para realizar las mediciones del flujo de agua y determinar el caudal se propuso utilizar sensores doppler ADP de 500 kHz y 1.500 kHz tanto en el río como en el estuario. Para determinar el transporte de sedimentos en suspensión se propone utilizar 6 sondas de turbidez desde Sasago hasta Amposta, un sensor doppler ADP y muestreadores automáticos de agua y sedimento para la calibración de los turbidímetros. Para el transporte de fondo se propone un muestreador de carga de fondo tipo Helley-Smith de 152 mm de apertura de boca y 78 kg de peso, una grúa móvil con gran capacidad para sostener pesos superiores a los 200 kg, un muestreador de carga de fondo tipo Helley-Smith de 76 mm, una grúa móvil con capacidad de sostener pesos de hasta un mínimo 100 kg.

Para cuantificar la subsidencia y regresión se prevé el uso de horizontes marcadores y la tabla de elevación superficial para controlar los cambios de elevación vertical de la

superficie del suelo. Para completar la red existente de mareógrafos instalados en Sant Carles de la Ràpita (bahía dels Alfacs) y en l’Ampolla el estudio situa dos nuevos emplazamientos, uno en la Punta de la Banya (salinas de la Trinitat) y otro en el puerto de Deltebre (desembocadura del río), para realizar mediciones de nivel del mar y temperatura (Figura 2.8). Este mismo estudio prevé la instalación de 17 piezómetros, tanto profundos como superficiales (Tabla 2.6).

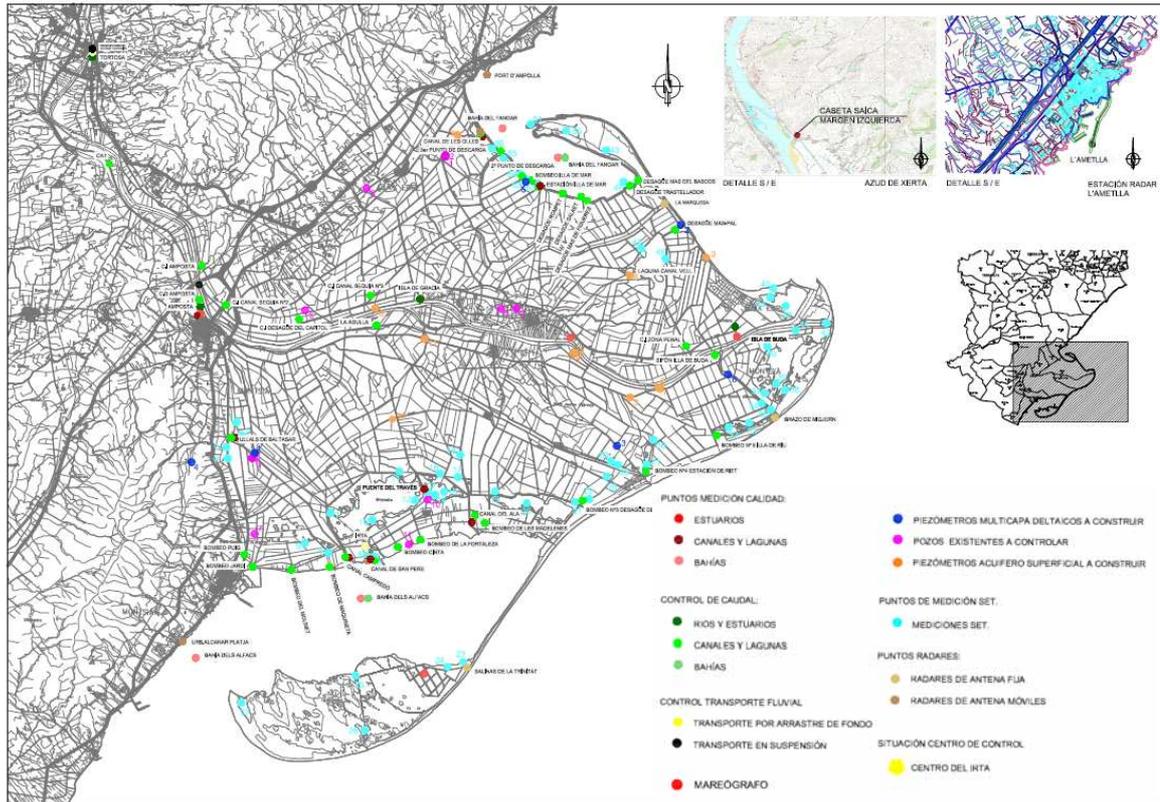


Figura 2.9. Mapa general de actuaciones propuestas en Acuamed (2008).

Tabla 2.6. Piezómetros propuestos en Acuamed (2008).

Situación	XUTM 31	YUTM 31	Tipo
Mitjorn a 10 m del río	313941	313941	Superficial
Mitjorn a 50 m del río	313997	4507286	Superficial
Mitjorn a 300 m del río	312783	4506916	Superficial
Sant Jaume d’Enveja a 10 m del río	310548	4508760	Superficial
Deltebre	302436	4510560	Superficial
Les Olles	305759	4517674	Superficial
La Estrella	312767	4511922	Superficial
Riumar	315887	4512657	Superficial
Muntells	303137	4506024	Superficial
Balada-Amposta	304441	4509323	Superficial
EB del Pal	314837	4513988	Profundo
Muntells	312245	4504932	Profundo

Carrasca-Amposta	294927	4504254	Profundo
EB del Illa de Mar	308546	4515758	Profundo
Mitjorn	316762	4507857	Profundo
Ullals de Baltasar	297540	4504637	Profundo

### 2.5.3 Red de la CHE

La Confederación Hidrográfica del Ebro dispone una red de estaciones de aforos en toda la cuenca del Ebro, no así en el tramo inferior del río, siendo Tortosa la ubicación de la última estación de aforos. También dispone de información de los volúmenes de los dos canales de riego que proporcionan agua al delta. La red de calidad de agua tiene su punto más cercano al delta en el municipio de Xerta, donde es posible consultar valores de parámetros físicos-químicos así como la concentración de amonio.

### 2.5.4 Red ACA

La Agencia Catalana del Agua dispone de una red de control de calidad del agua superficial en el delta del Ebro. Dicha red está compuesta por 12 puntos de control en los que se realizan mediciones de multitud de parámetros como el % de saturación de oxígeno, amonio, benzeno, cloruros, conductividad, hierro, fosfato, magnesio, nitratos, nitritos, pH, sodio, sulfatos entre otros (disponible en la web: <http://aca-web.gencat.cat/aca>).

## 2.6 Localización y evolución temporal de la lengua salina de la desembocadura del río Ebro

La localización y evolución temporal de la lengua salina en el ramo final del río Ebro se ha realizado mediante la descripción hecha en la bibliografía y se encuentra en la Sección 2.2 de Modelo hidrológico de funcionamiento del río Ebro en su desembocadura.

### 3. Diseño de las redes de control del acuífero superior del delta del Ebro

#### 3.1 Criterios de diseño de las redes

Con el objetivo de caracterizar la interacción del acuífero superior con el río Ebro se establecieron tres zonas representativas situadas desde Mitjorn hasta el sur de la isla de Gracia, situada a 16 Km de la desembocadura. La totalidad de los piezómetros están situados en el semi delta derecho, considerando que el comportamiento del delta es aproximadamente simétrico en ambas orillas del río. Los piezómetros están distribuidos siguiendo tres líneas perpendiculares al río (Figura 3.1 y Tabla 3.1).

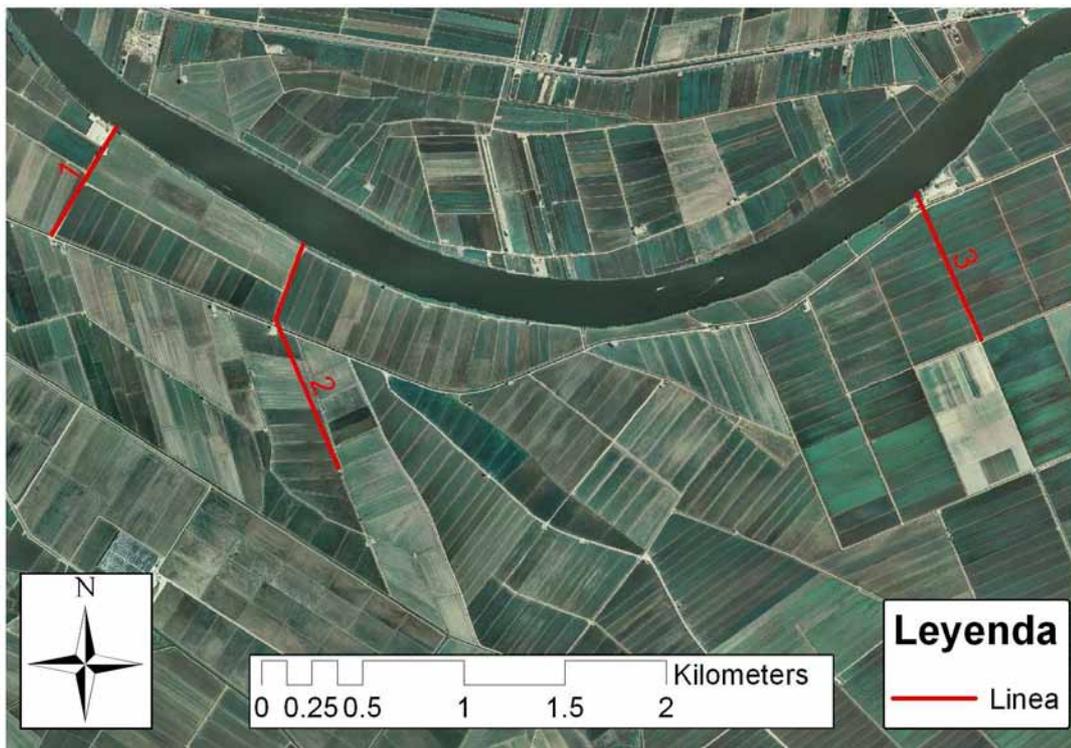
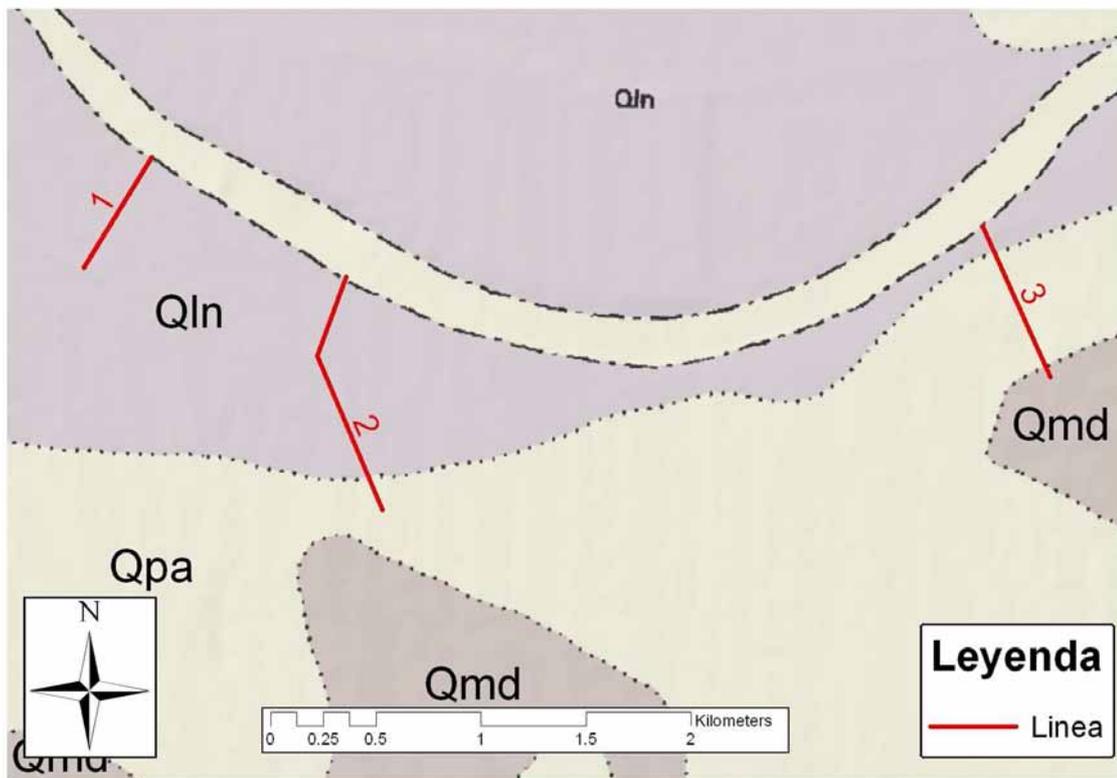


Figura 3.1. Distribución de las líneas de implantación de los nuevos piezómetros.

Tabla 3.1. Características de las líneas de piezómetros.

Número de línea	Número de piezómetros por línea	Longitud línea (Km)	Distancia desembocadura (Km)
#1	3 (pz1-pz3)	0.6	10.6
#2	4 (pz4-pz7)	1.2	9.5
#3	4 (pz8-pz11)	0.8	6.4

Los piezómetros están ubicados en su mayoría en materiales finos pertenecientes al dique natural (Qln) y los más alejados al río se sitúan sobre materiales arenosos finos del acuífero superficial (Qpa) (Figura 3.2). La anchura del dique natural del margen derecho es muy variable, siendo de 1500 m para la zona 1 y de escasamente 170 m en la zona 3. Esta variabilidad permitirá identificar el efecto que supone la presencia de materiales finos del “levée” que actúan como acuitardo en la relación río acuífero.



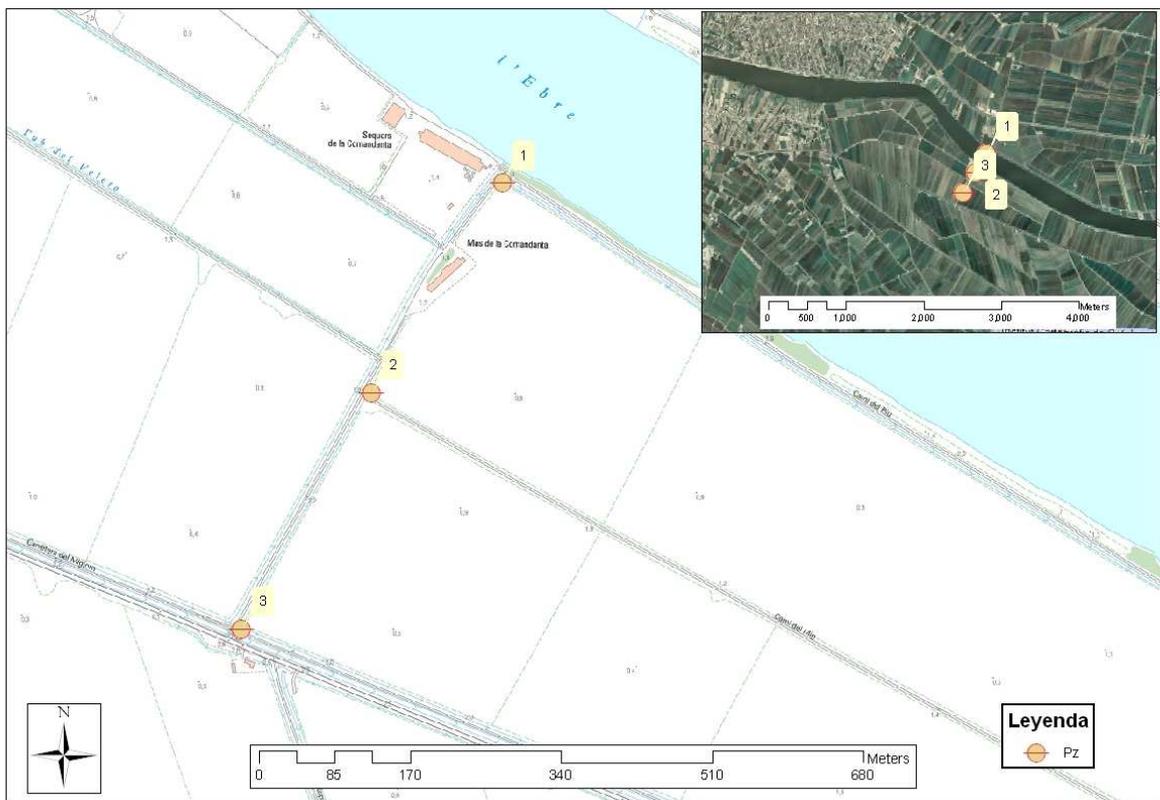
**Figura 3.2.** Mapa geológico de la zona de implantación de piezómetros (ver leyenda en Tabla 1.1).

## 3.2 Descripción de los nuevos piezómetros

### 3.2.1 Ubicación de los piezómetros

En la primera línea perpendicular al río se han implantado 3 piezómetros (Pz1, Pz2 y Pz3), separados una distancia de 300 m. Como se observa en las columnas litológicas los piezómetros (Anejo 4), estos se encuentran en el dique natural o “levée” (limos y abundante materia orgánica) donde éste alcanza su máxima extensión dentro de la zona de estudio. El piezómetro Pz1 está situado en las proximidades del río, a

escasos 20 metros, y en el vértice NO del campo adyacente a la finca Mas de la Comandanta. Junto a dicho campo discurre un canal de drenaje que pasa próximo al emplazamiento de Pz1. El piezómetro Pz2 está situado en la mitad del cruce del camino entre el río y la carretera asfaltada mientras que Pz3 está situado junto a ésta y el puente que le da acceso, y muy próximo al canal de drenaje y al canal de la derecha. A diferencia que Pz1 y Pz2, que tienen una profundidad de 10 m, Pz3 está perforado a 15 m para compensar el alto topográfico en el que se encuentra (Figura 3.3).



**Figura 3.3. Situación de los piezómetros Pz1, Pz2 y Pz3 en el perfil 1.**

La segunda línea está compuesta por cuatro piezómetros, separados 350 m de promedio. Los piezómetros Pz4, Pz5 y Pz6 están ubicados sobre el dique natural, mientras que el piezómetro Pz7 muestra la existencia de una capa de limos decimétrica seguida de un visible aumento de la granulometría, correspondiente a las arenas finas con limos del acuífero superior. Por lo tanto, el acuífero superior en la ubicación del piezómetro Pz7 se encuentra semiconfinado debido a la presencia de dicha capa de limos, típica de la llanura deltaica en las proximidades del “levée”, producida por un posible “crevasse splay” (Riba, 1997). El piezómetro Pz4 está situado

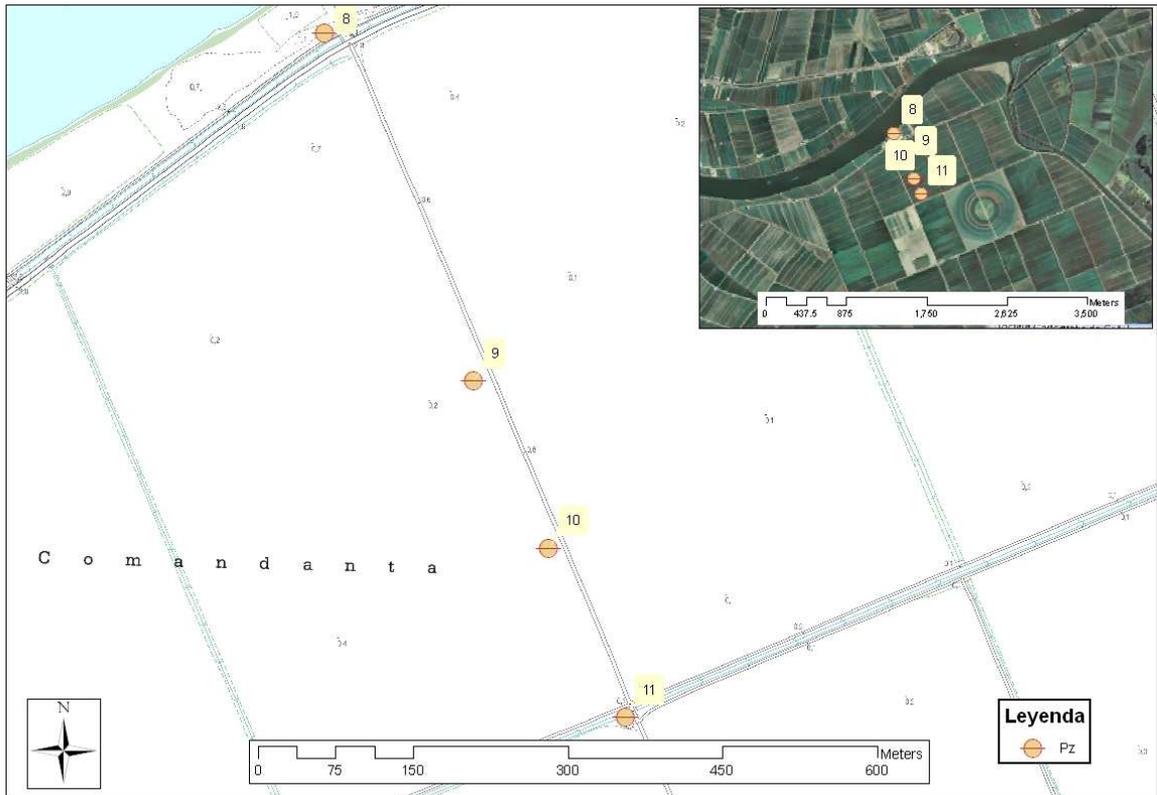
junto al río, a 10 metros, junto a un pequeño embarcadero de pesca y a escasos metros se encuentra un canal de drenaje que bordea el campo. La situación del piezómetro Pz5 es similar a la del piezómetro Pz3, entre la carretera y el canal de drenaje del campo adyacente. El piezómetro Pz6 se sitúa dentro del campo de cultivo llamado “lo Matar”, cercano al acceso que proporciona un pequeño puente. El piezómetro Pz7 se ubica al sur del campo de “lo Matar” junto a una pequeña casa abandonada (Figura 3.4).



**Figura 3.4. Situación de los piezómetros Pz4, Pz5, Pz6 y Pz7 en el perfil 2.**

La tercera línea está formada por los piezómetros Pz8, Pz9, Pz10 y Pz11, separados unos 250 m de promedio. El piezómetro Pz8 está situado en el dique natural, donde éste tiene el espesor y extensión más pequeña del área de estudio, dicho piezómetro se sitúa dentro de las instalaciones de la explotación agraria de Mitjorn y a escasos 60 m del río, durante la perforación se observó una elevada cantidad de materia orgánica y limos de coloración oscura, muy impermeables. Los piezómetros Pz9 y Pz10 se encuentran en las lindes, formadas por pequeños montículos, que separan los campos de cultivo de la finca de Mitjorn, los primeros metros están formados por una capa de limos seguida por arenas finas y intercalaciones de limos de coloración oscura, se observa abundante materia orgánica en forma de pequeñas ramas y hojas

en descomposición. El piezómetro Pz11 se encuentra a unos metros de la estación de bombeo de Mitjorn, la litología es muy constante sólo produciéndose variaciones de coloración entre marrón y gris, debido al posible aumento de materia orgánica, pero con una granulometría muy similar correspondiente a arenas finas. El piezómetro Pz11 se encuentra en el contacto entre materiales arenosos de los cordones de playa y las arenas finas y lutitas con turba de las marismas degradadas (Figura 3.5).



**Figura 3.5. Situación de los piezómetros Pz8, Pz9, Pz10 y Pz11 en el perfil 3.**

### 3.2.2 Características constructivas de los piezómetros

Los piezómetros han sido equipados con tubería de PVC de 4" de diámetro interior, totalmente ranurado a excepción de 2 m en la parte superior, donde se utilizó tubo ciego. El espacio anular se rellenó de grava sílicea de 2.5 mm y bentonita en la parte superior, para sellar el piezómetro a posibles entradas superficiales (Figura 3.6 y Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Situación y características de los piezómetros.

<b>Pz</b>	<b>X (m) UTM 31</b>	<b>Y (m) UTM 31</b>	<b>Z (msnm)</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Kg de prefiltro</b>
<b>1</b>	311121	4508142	1.416	10	30
<b>2</b>	310974	4507904	1.463	10	35
<b>3</b>	310828	4507636	2.557	15	50
<b>4</b>	312062	4507573	2.021	10	30
<b>5</b>	311919	4507199	2.251	10	50
<b>6</b>	312151	4506753	1.189	10	50
<b>7</b>	312227	4506475	1.104	10	30
<b>8</b>	315305	4507270	1.464	10	30
<b>9</b>	315233	4507434	1.113	10	30
<b>10</b>	315089	4507774	0.947	10	30
<b>11</b>	315380	4507105	0.907	10	30



Figura 3.6. Piezómetro Pz8 finalizado.

### 3.2.3 Ensayos y parámetros hidráulicos

La determinación de los parámetros hidráulicos se ha realizado mediante una campaña de bombeos y un ensayo Lefranc, como se muestra a continuación.

#### 3.2.3.1 Ensayo Lefranc

A la finalización de los trabajos de perforación se realizó un único ensayo Lefranc con nivel variable para determinar el valor de la conductividad hidráulica. Autores como Jiménez (1981) atribuyen a este método resultados poco fiables y meramente indicativos. La mecánica es la siguiente, se hace subir el nivel hasta  $h_0$  y posteriormente se miden dos niveles  $h_1$  y  $h_2$ , entre los cuales ha pasado un tiempo  $t$ . Se puede obtener un valor de permeabilidad aplicando la ecuación siguiente.

$$K = \frac{d_e^2 \ln(2L/d)}{8 L t} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

#### **Ecuación 1. Cálculo de la permeabilidad mediante un ensayo Lefranc con nivel variable (Jiménez, 1981)**

Donde:

K: conductividad hidráulica

$h_1, h_2$ : altura del agua al principio y al final del ensayo

$t$ : tiempo transcurrido entre la observación de los niveles  $h_1$  y  $h_2$ .

L: longitud de la zona filtrante

$d$ : diámetro de la zona filtrante

$d_e$ : diámetro de la entubación

Los datos obtenidos en campo son los siguientes:

$h_1$ : 1.4 m.s.n.m.

$h_2$ : 1.38 m.s.n.m.

$t$ : 30 min.

L: 0.5 m.

$d$  y  $d_e$ : 0.1 m.

Con los que se obtuvo un valor de aproximadamente 4 cm/día o 0.04 m/día. Dicho valor es mucho mayor que los propuestos por diferentes autores como Fetter (2001) o Sanders (1998) que establecen valores de  $10^{-6}$  a  $10^{-3}$  m/día.

Diferentes estudios han caracterizado los parámetros hidráulicos de los materiales presentes en el acuífero superior. Torrents y Alonso (1991) diferencia tres materiales a los cuales asigna diferentes parámetros como se muestra en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3. Parámetros y características hidrogeológicas (Torrents y Alonso, 1991)**

Litología	Espesor máximo (m)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /día)	Caudal (m <sup>3</sup> /día)
Arenas	25-30	2.500-5000	80-100
Paleocauces*	25-30	2.500-5000	80-100
Levees	2-3.5	7000	---

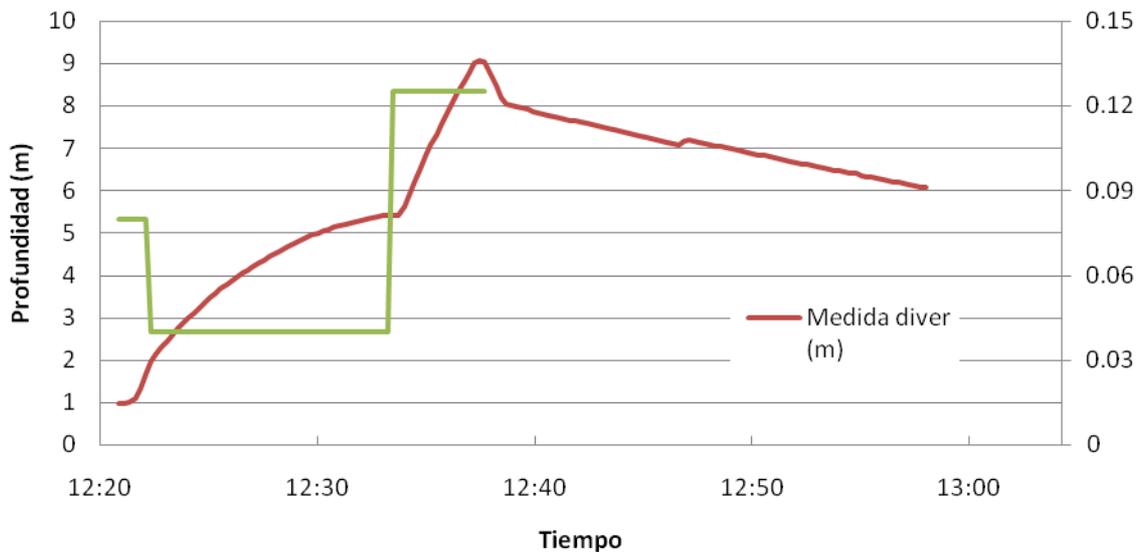
\*: Asigna idénticas características y parámetros hidrogeológicos que a las arenas fluvioamarinas.

Otros autores como Custodio et al. (1997) asignan valores de alrededor de 1 m/día para los materiales del acuífero superior y de 5 m/día en las formaciones de playa. Los valores de transmisividad citados son de aproximadamente 65 m<sup>2</sup>/día.

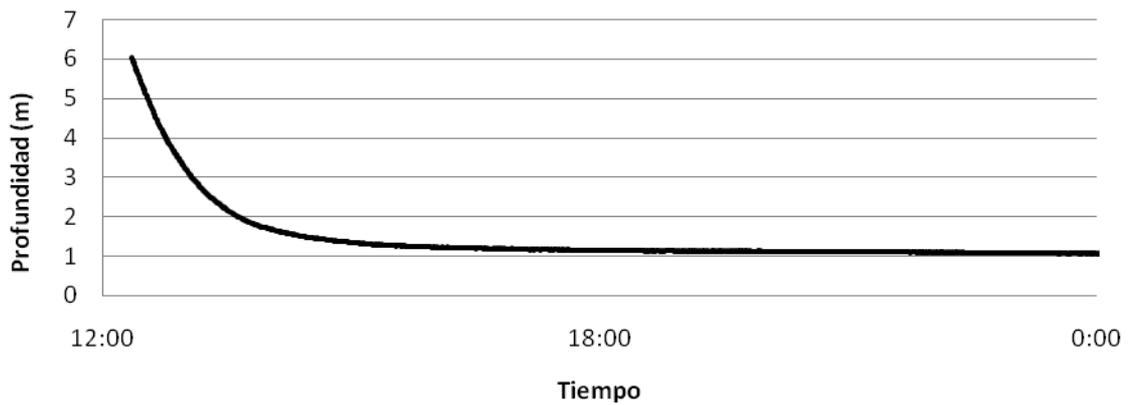
### 3.2.3.2 Ensayos de bombeo

La campaña de ensayos de bombeo se realizó los días 14 y 15 de Julio de 2009, llevando a cabo 4 ensayos en los piezómetros Pz1, Pz4, Pz8 y Pz9. Dichos piezómetros se ubican en el "leveé" junto al río, a excepción de Pz9 que se encuentra en la llanura aluvial. El bombeo se realizó con una bomba Grundfos MP1, extrayendo caudales de hasta 0.8 l/s. Las mediciones se efectuaron por duplicado, mediante una sonda manual por una parte y de forma automática con un sensor de presión provisto de un datalogger, tomando mediciones cada 15 segundos.

Para el ensayo en el piezómetro Pz1 se utilizó un sensor automático adicional con el fin de poder monitorizar la recuperación completa del nivel después de finalizar el bombeo. Se obtuvieron datos en continuo durante 21 horas. La recuperación finalizó aproximadamente 10 horas después de parar el bombeo (Figura 3.8).

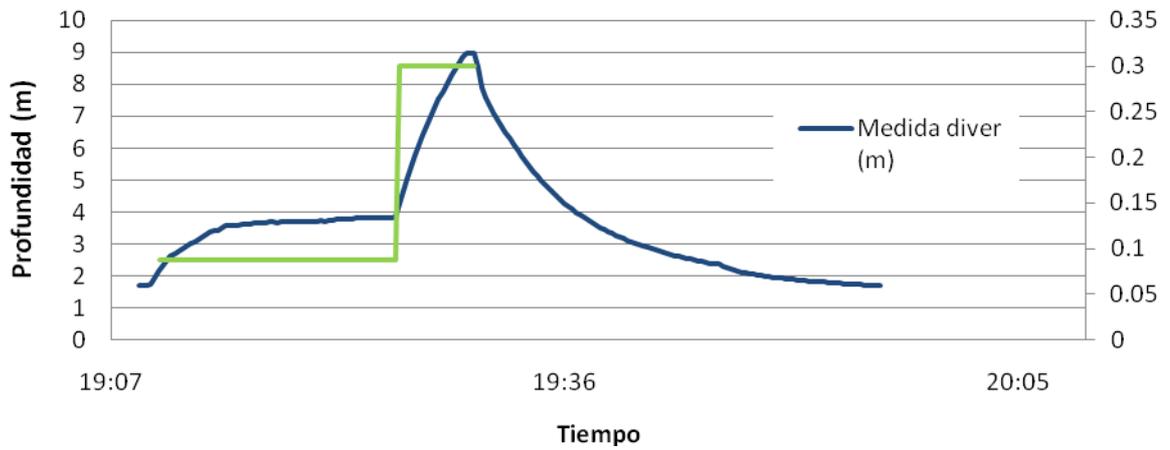


**Figura 3.7. Mediciones de nivel y caudal (l/s, eje de la derecha) en Pz1.**

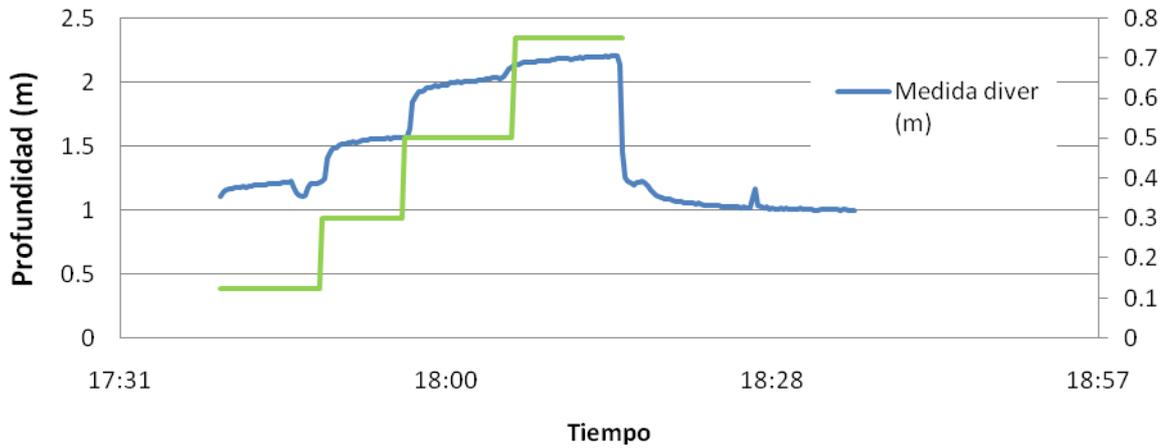


**Figura 3.8. Niveles correspondientes a la recuperación en Pz1.**

Para los demás ensayos se instrumentó los piezómetros durante el bombeo y la mayor parte de la recuperación, como se muestra en las siguientes figuras.

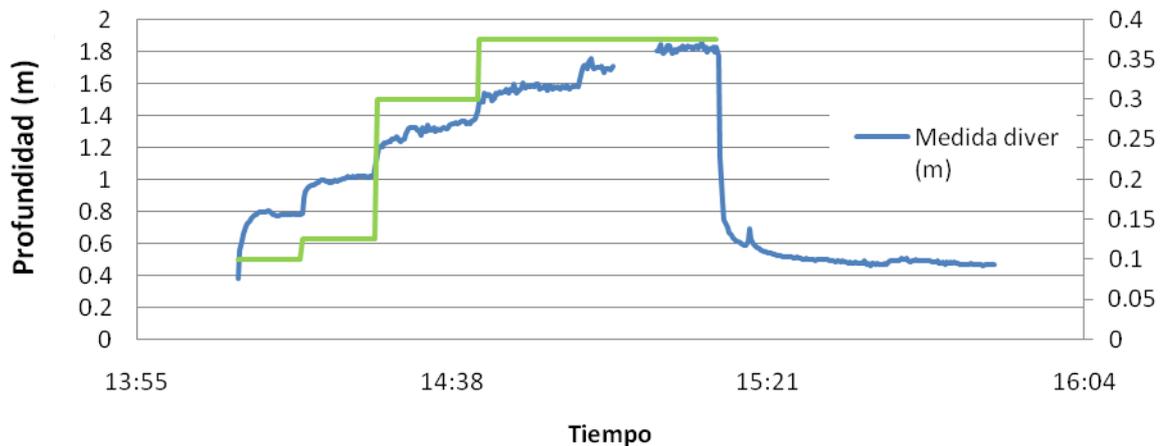


**Figura 3.9. Mediciones de nivel y caudal (l/s, eje de la derecha) en Pz4.**



**Figura 3.10. Mediciones de nivel y caudal (l/s, eje de la derecha) en Pz8.**

El piezómetro Pz9 está situado en una litología más permeable, por lo que se necesitó un mayor tiempo de bombeo que en los demás, situados en el “leveé”. En cambio, la recuperación fue más rápida.



**Figura 3.11. Mediciones de nivel y caudal (l/s, eje de la derecha) en Pz9.**

En la Tabla 3.4 se muestra un resumen del rango de caudales utilizado y los tiempos de bombeo y recuperación.

**Tabla 3.4. Caudales y tiempos utilizados en los ensayos.**

Piezómetro	Q máximo (l/s)	Q mínimo (l/s)	Tiempo de bombeo (min)	Tiempo de recuperación medido	Recuperación alcanzada con el tiempo observado
Pz1	0.125	0.04	37	21 horas	1
Pz4	0.3	0.088	21	26 min.	1
Pz8	0.75	0.125	35	21 min.	1
Pz9	0.6	0.1	65	40 min.	0.8

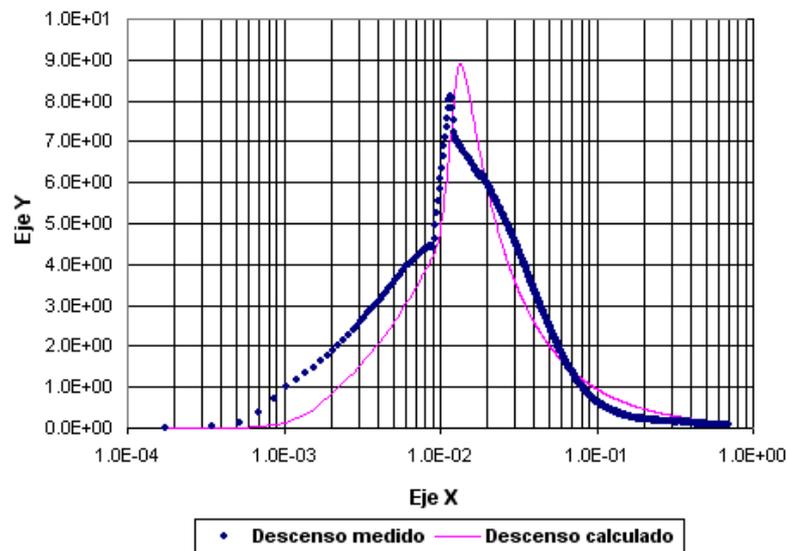
Para la estimación de los parámetros hidráulicos se ha utilizado el software EPHEBO v.1.1, el cual utiliza el código MARIAJ\_IV (Carbonell et al. 1997)). Se han realizado cálculos utilizando los datos correspondientes al bombeo y recuperación tanto conjuntamente como de forma independiente.

Los valores obtenidos mediante la interpretación de los ensayos se recoge en la Tabla 3.5, donde se hace referencia al tipo de material. Los valores de los ensayos realizados en los piezómetros Pz1 y Pz4 se corresponden a materiales poco permeables, identificables como un suelo arcilloso correspondiente al "leveé". Por otro lado, tenemos a los piezómetros Pz8 y Pz9, más permeables, que se pueden identificar como materiales cuaternarios pertenecientes a la llanura deltaica, compuesta por arenas finas. Contrasta el valor inusualmente alto obtenido en el piezómetro Pz8, debido posiblemente a la fuerte modificación antrópica del medio, ya que el piezómetro se encuentra próximo al canal de "la dreta" y a otras estructuras de la explotación agrícola en la que se sitúa.

**Tabla 3.5. Parámetros estimados mediante la interpretación de los ensayos de bombeo.**

Piezómetro	T (m <sup>2</sup> /d)	Coef. almacenamiento	Material
Pz1	0.058	0.28	Suelo arcilloso
Pz4	0.008	0.003	Suelo arcilloso
Pz8	3.7	0.1	Arena fina
Pz9	0.28	0.113	Arena fina - Suelo arcilloso

A continuación se muestran los gráficos correspondientes a los mejores ajustes conseguidos para bombeo y recuperación conjuntamente. Los resultados obtenidos mediante las interpretaciones de bombeo y recuperación de forma separada se aproximan a los expuestos en la Tabla 3.5.



**Figura 3.12. Gráfico de descensos en Pz1 e interpretación.**

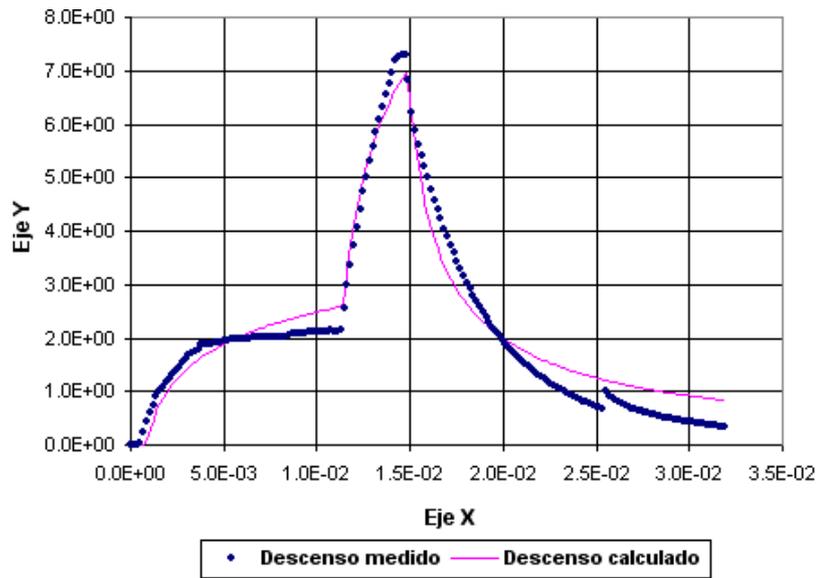


Figura 3.13. Gráfico de descensos e interpretación en Pz4.

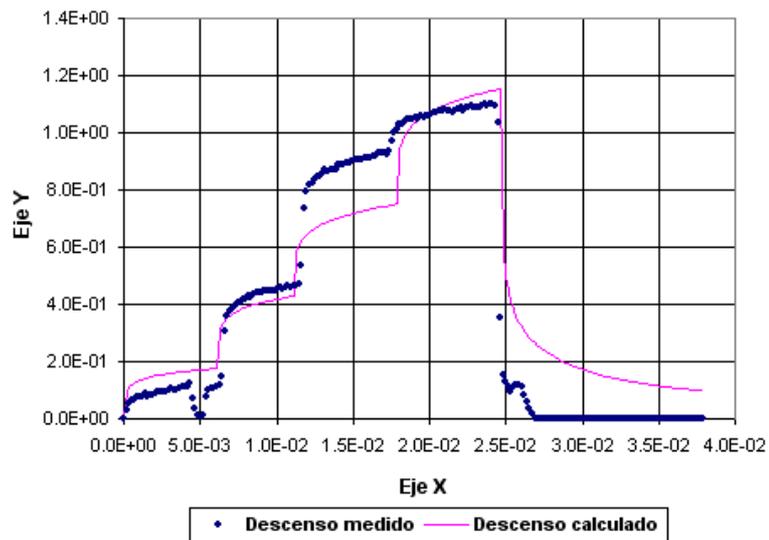


Figura 3.14. Gráfico de descensos e interpretación en Pz8.

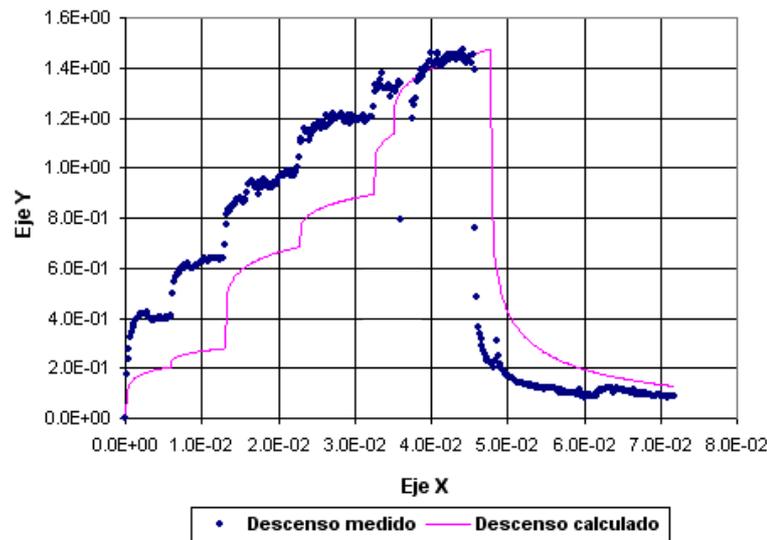


Figura 3.15. Gráfico de descensos e interpretación en Pz9.

### 3.3 Puntos de control en el río

Para determinar el gradiente hidráulico existente entre el río y el acuífero superficial es necesaria la medición del nivel del río en cada una de las líneas de piezómetros. Aprovechando las sencillas construcciones de madera utilizadas para la pesca presentes en las líneas de piezómetros 1 y 2, se marcaron puntos para la medición del nivel del río. En la línea 3 se utilizó la estructura de una estación de bombeo situada en el río cerca de la línea de piezómetros 3, señalizando el punto de medición en un de las vigas. En la Tabla 3.6 se muestran las coordenadas y la elevación en metros sobre el nivel de la mar obtenida durante la campaña de nivelación topográfica.

Tabla 3.6. Situación de los puntos de medición en el río.

	<i>X (m)</i> <i>UTM 31</i>	<i>Y (m)</i> <i>UTM 31</i>	<i>Z</i> <i>(msnm)</i>
PR1	311120	4508078	0.562
PR2	312059	4507499	0.482
PR3	315088	4507776	0.995

El punto de control del río en la línea 1 (PR1) se sitúa en una pequeña estructura de madera de pesca situada en la explotación arrocera “Illa del Riu” junto al Mas de la Comandanta (Figura 3.16). Al igual que PR1, el punto PR2 está situado en el mismo tipo de estructura pero de muy fácil acceso a escasos 10 metros del piezómetro Pz4 (Figura 3.17).

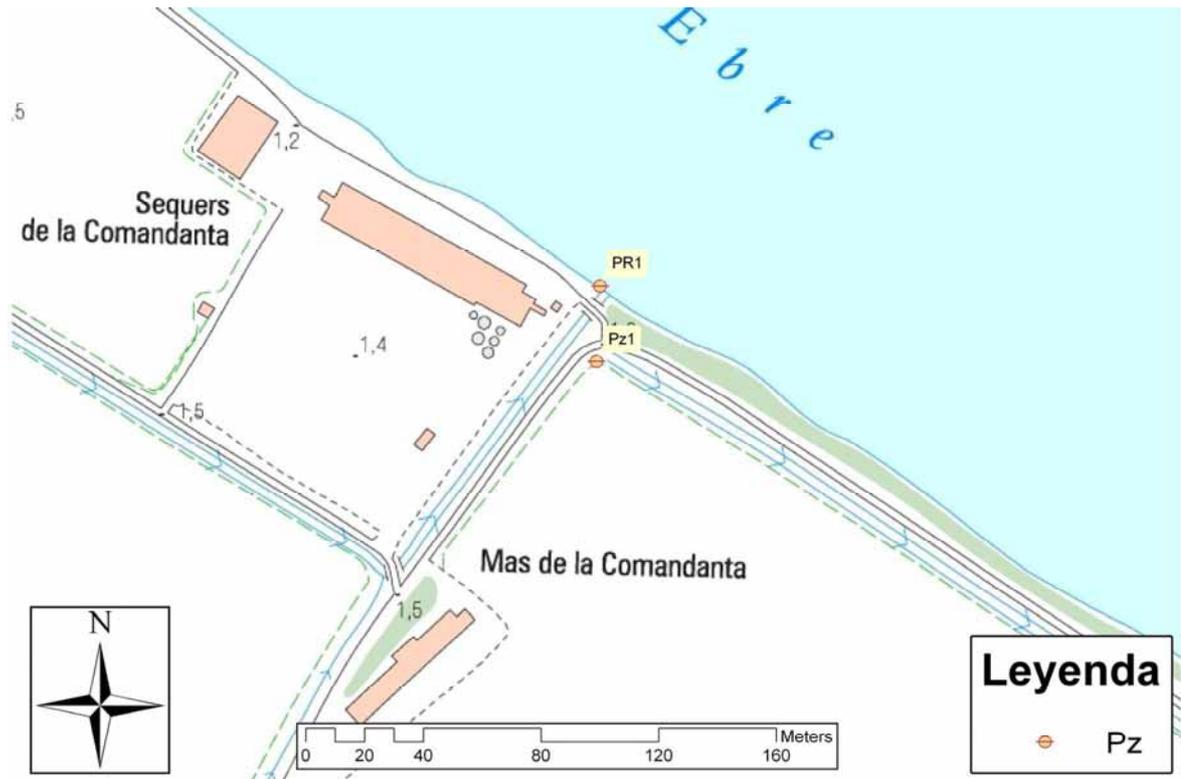


Figura 3.16. Situación del punto de control del río en la línea 1 (PR1).

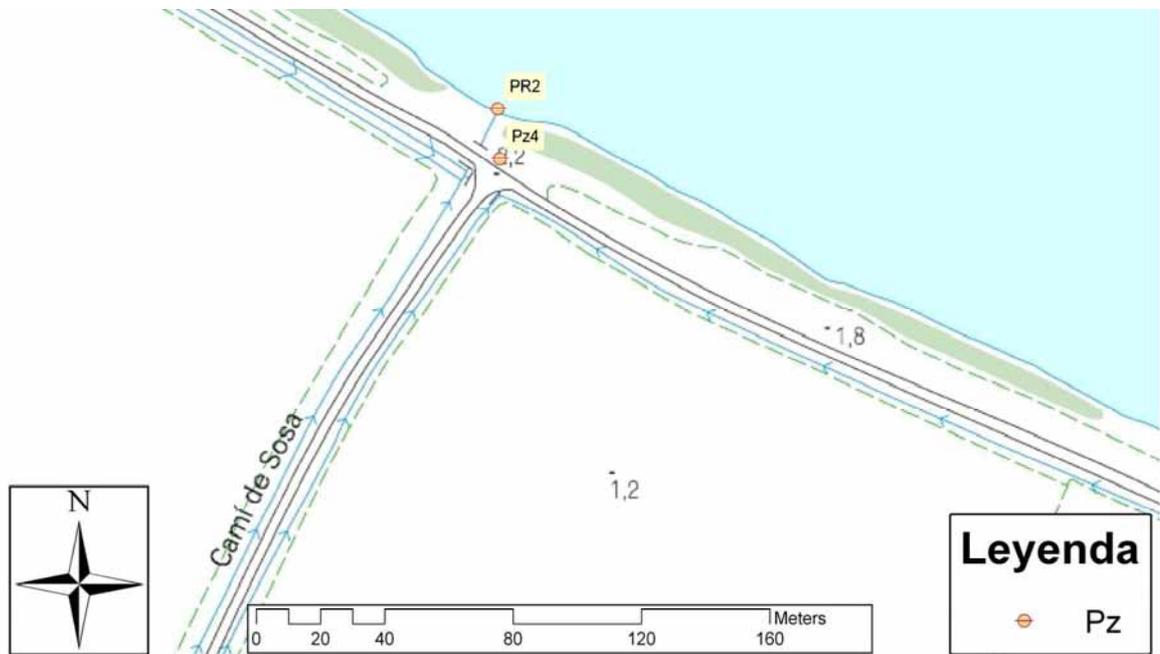


Figura 3.17. Situación del punto de control del río en la línea 2 (PR2).

El punto de control de la línea 3 está situado en una estación de bombeo ubicada dentro del río Ebro, se ha utilizado una de las vigas como plataforma estable para la

toma de medidas. Dicho punto PR3 está separado 90 m del piezómetro Pz8, que es el más cercano de la línea 3 al río Ebro (Figura 3.18).

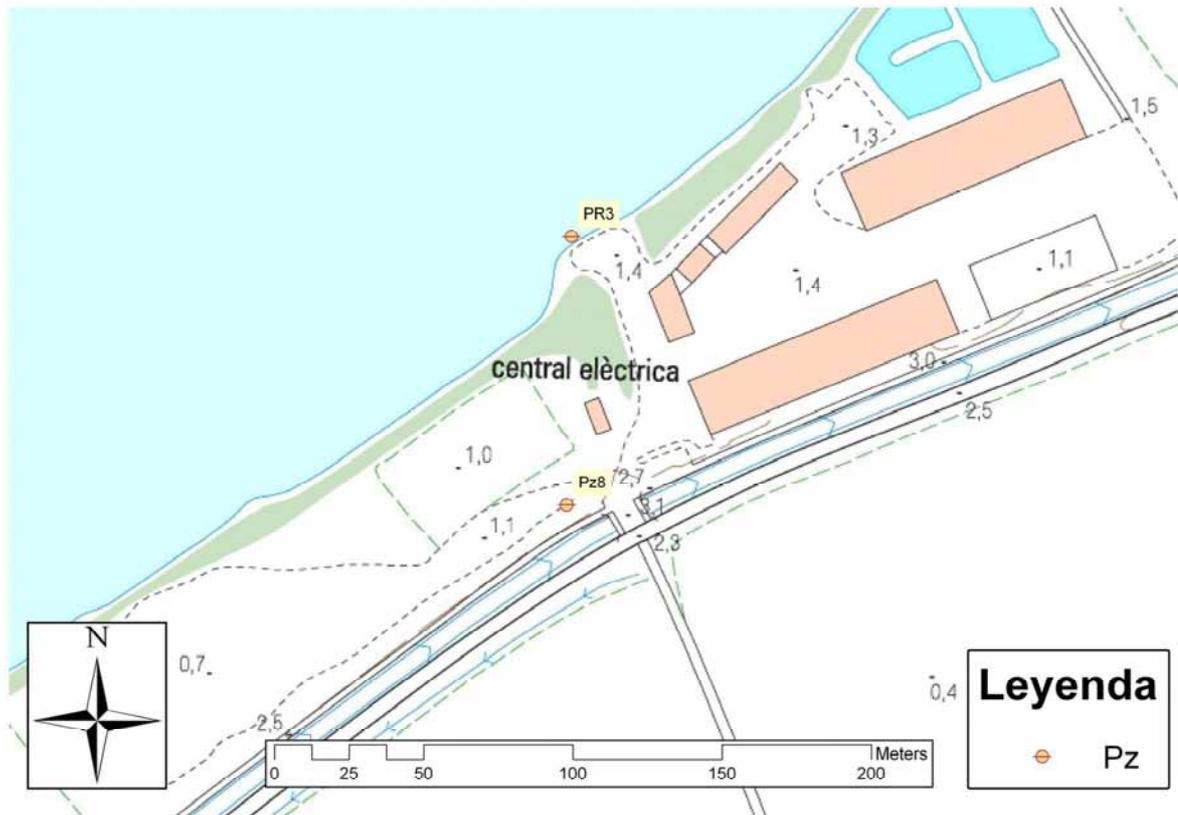


Figura 3.18. Situación del punto de control del río en la línea 3 (PR3).

### 3.4 Parámetros y frecuencia de muestreo

#### 3.4.1 Instrumentos de medición

Para la realización de las mediciones de los diferentes parámetros físico-químicos se utilizarán equipos de la casa Crison.

Para la medición tanto de pH como EH se utilizará el equipo Crison pH25, que consta de dos sondas. Por un lado se llevan a cabo las mediciones de temperatura y las de pH con un electrodo 50 50 de uso general con cuerpo de plástico y las mediciones de Eh se realizan con un electrodo de platino Pt 50 55.

Para las mediciones de conductividad eléctrica se utilizará un equipo Crison CM 35 y una célula de titanio 50 62.

**Tabla 3.7. Descripción de los sensores físico-químicos.**

Sonda	Temperatura	pH	Eh	CE
Escala de medida	de 0 °C hasta 80 °C	de 0 hasta 14	± 1500 mV	5-50.000 $\mu$ S/cm
Resolución	de 0.1 °C entre -99.9 y 199.9 °C y 1 °C en el resto de la escala	0.01	1 mV	-
Error de medida	0.2 °C entre -99.9 y 199.9 °C y 1 °C en el resto de la escala	0.01	1 mV	-
Reproducibilidad	de 0.1 °C entre -99.9 y 199.9 °C y 1 °C en el resto de la escala	0.01	1 mV	-

### 3.4.2 Metodología

Durante las campañas de muestreo se seguirán las directrices marcadas por la norma americana ISO 5667-11:2009. Esta norma es una guía sobre muestreo de aguas subterráneas, plantea las consideraciones necesarias a tener en cuenta cuando se planea y se ejecuta una campaña de muestreo de aguas subterráneas.

Con el fin de determinar la calidad del agua subterránea en el entorno más próximo al punto de muestreo y no la del agua estancada en el interior del piezómetro, se procederá al purgado del volumen de agua almacenado, ya que en la zona de estudio no existe flujo natural suficiente como para renovar dicho volumen. Algunos de los parámetros más significativos de las aguas subterráneas como son el pH, CE, Eh, el total de sólidos disueltos y otros se ven muy afectados si no se procede a la renovación de los piezómetros, obteniendo resultados no representativos del acuífero. Por lo tanto se hace necesaria una extracción de cómo mínimo 3 veces el volumen de agua contenida en el entubado. La renovación continuada no es posible en algunos puntos de observación debido al gran tiempo de recuperación que presentan, situación que contempla el protocolo de muestreo, indicando que se obtengan las muestras durante la recuperación del nivel.

Para el purgado de los piezómetros, tal y como recomienda el protocolo de muestreo, se utilizara una bomba sumergible ya que estas ocasionan menos alteraciones en la química de las muestras que los métodos de aspiración o los manuales.

No se seguirá un orden establecido para la recolección de las muestras, ya que ningún piezómetro muestra signos de ningún tipo de contaminación, por lo que se procederá según la conveniencia de la campaña de muestreo.

La mecánica de trabajo en todos los puntos de muestro será igual, siguiendo un orden establecido en función de los parámetros como se muestra en la Tabla 3.8.

**Tabla 3.8. Orden de muestreo en función de los diferentes parámetros, para minimizar el impacto sobre la química del agua.**

Orden	Parámetros
1	<b>Medida de nivel.</b> Mediante una sonda de nivel con detector acústico y luminoso. Se limpiara la sonda después de realizar la medición, para evitar contaminaciones cruzadas.
2	<b>Temperatura, pH, CE y Eh.</b> Se utilizara un envase específico. Se esperara a alcanzar el equilibrio. No se reutilizara el agua para llenar los envases de muestreo.
3	<b>Metales.</b> Añadir algún ácido (nítrico o sulfúrico) hasta alcanzar valores de $\text{pH} < 2$ .
4	<b>Demás componentes.</b> Evitar aireación.
5	<b>Medida de nivel.</b> Se ha de volver a medir el nivel si el descenso es significativo.

Los parámetros físico-químicos son no conservativos, por lo que todas las mediciones deben realizarse en campo para evitar posibles cambios al ponerse en contacto con el aire, la temperatura ambiente y la presión atmosférica. Para las mediciones de temperatura es necesario que se alcance el equilibrio térmico entre el agua y la sonda. Para la conductividad eléctrica es importante realizar mediciones de temperatura a la vez, ya que la conductividad eléctrica sufre un incremento del 2% por cada °C. El pH es sensible a las pérdidas o aportes de gases disueltos, como el CO<sub>2</sub> o el oxígeno, por lo que es importante realizar las mediciones en campo rápidamente y realizar la calibración diaria del equipo con dos patrones dentro del rango de medidas que se prevén, así mismo es necesaria una ligera agitación si la medición no se realiza en continuo.

Finalmente, para minimizar la influencia de la temperatura es necesario acondicionar debidamente las muestras en neveras a una temperatura inferior a 4 °C, con lo que se garantiza que las muestras lleguen en buenas condiciones al laboratorio.

### 3.4.3 Campañas de muestreo para análisis

Con el fin de controlar los cambios en la calidad del agua del acuífero superficial del delta, se propone realizar análisis periódicos de la calidad del agua en todos los puntos de muestreo disponibles.

En las campañas de seguimiento se tomaran todas las observaciones de campo relevantes para el estudio, entre los trabajos a realizar hay:

- Breve descripción del estado de los campos y cultivos.
- Visita de todos los piezómetros (11) y puntos de control en el río (3). Se revisará el estado en que se encuentran y se realizarán las observaciones de campo como la profundidad del agua y los parámetros físico-químicos. Antes de tomar las medidas de parámetros los piezómetros serán renovados 3 veces.
- Control y descarga de datos de los medidores en continuo de nivel y CE. En el contexto de la tarea 4 se instalará un registrador automático de medidas de nivel piezométrico y de CE. Durante todas las visitas de campo se realizará el control y descarga de datos.
- Toma de muestra de agua en todos los piezómetros para análisis de laboratorio. Las muestras se tomarán de acuerdo a los requerimientos del laboratorio y serán debidamente conservadas antes de su entrega que se realizará en un plazo no superior a las 48 horas.

Se realizará el análisis de componentes mayoritarios y del  $\text{Br}^-$ , con el fin de obtener información sobre el modelo conceptual de funcionamiento entre río y acuífero superficial.

Se prevé la realización de 4 campañas debidamente distribuidas a lo largo del periodo de estudio, e intercaladas con las campañas sencillas de control.

## 4. Diseño de las redes de control de la desembocadura del río Ebro

Coincidiendo con las campañas de muestreo se realizarán medidas de salinidad en el río para monitorizar el estado de avance de la lengua de agua salina río arriba.

Desde una embarcación se realizaran perfiles verticales de medidas de CE del agua. Los perfiles estarán situados a la altura de los piezómetros de control con el fin de poder tener la información completa sobre varias secciones perpendiculares al río.

Para la realización de los perfiles verticales se utilizara un registrador CTD, tomando valores de conductividad eléctrica, temperatura y presión cada 0.5 metros. Para poder acceder a los puntos de muestreo se contara con una embarcación de pequeñas dimensiones.



**Figura 4.1. Realización de los perfiles de salinidad en el río y detalle del dispositivo.**

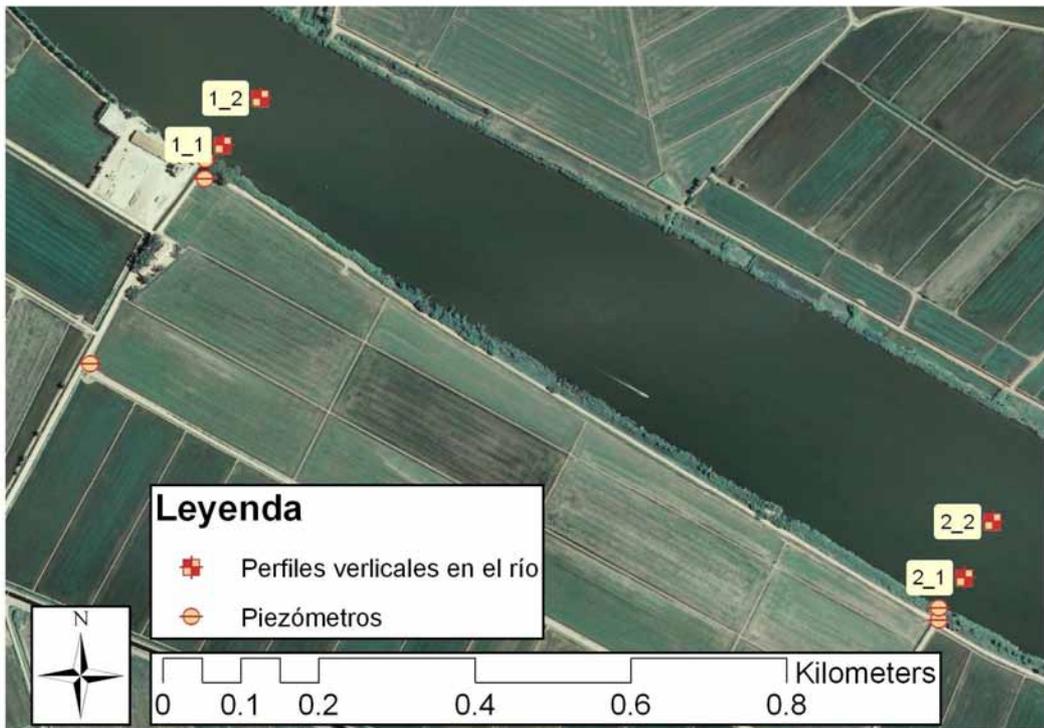


Figura 4.2. Situación de los perfiles verticales en río en las líneas 1 y 2.

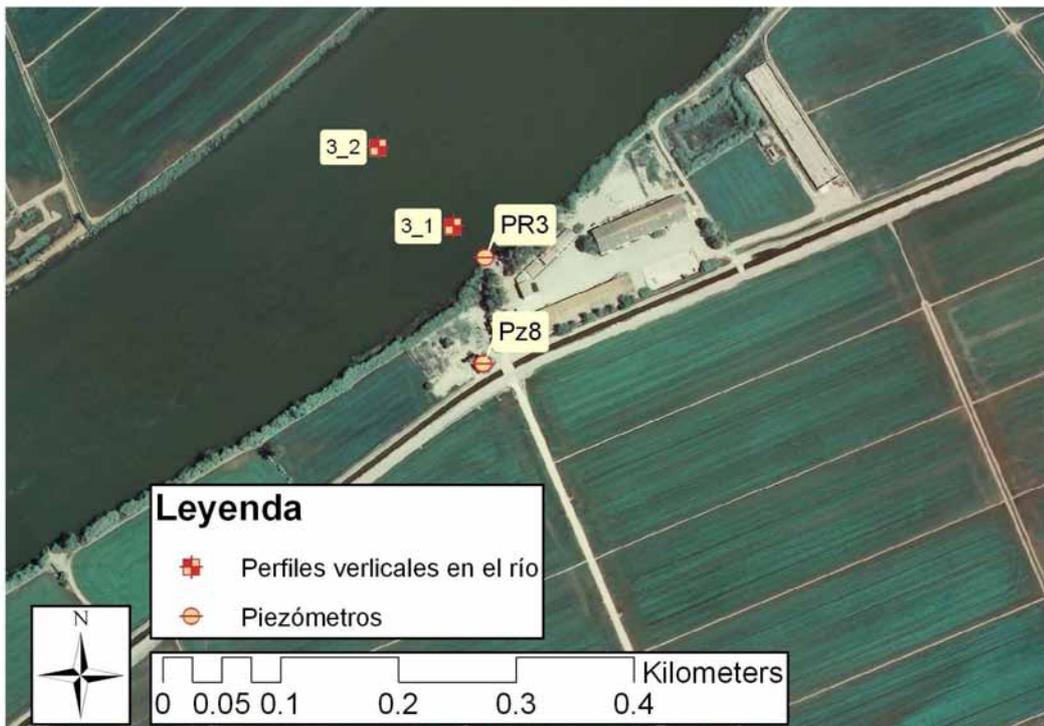


Figura 4.3. Situación de los perfiles verticales en río en las línea 3.

Se han realizado dos perfiles verticales por línea de piezómetros, realizando 6 perfiles en total. En cada una de las líneas se ha elaborado un perfil cerca de la orilla ( $\approx 10\text{m}$ ) y otro en el centro del río ( $\approx 115\text{m}$ ).

## **5. Explotación de las redes de control**

### **5.1 Resultados preliminares de los niveles piezométricos**

#### **5.1.1 Descripción de las campañas preliminares**

Durante los días 14 y 15 de mayo de 2009 se realizó la campaña de nivelación topográfica así como la limpieza de los piezómetros mediante la técnica del "air-lift", con el fin de eliminar los finos que se encontraban en el tramo inferior de los piezómetros.

La nivelación topográfica se realizó con un equipo Geo-Fennel No. 10 de 22 aumentos, ubicando los puntos de referencia en el mapa topográfico 1:5:000 del ICC. A falta de puntos geodésicos próximos, fueron los puentes situados sobre el canal "de la dreta" los puntos de referencia escogidos. Dichos puentes se encuentran situados entre las líneas de piezómetros y son referencias claras y de fácil ubicación en los trabajos de campo (ver Anejo 2).

Después de la realización y puesta en marcha de los piezómetros y antes de ser vaciados para su limpieza, se realizaron dos campañas de nivel mediante sonda manual, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 5.1.

La tercera campaña de medición de niveles piezométricos se realizó el 14 de julio de 2009, mediante igualmente sonda manual y realizando la instalación de sensores automáticos con dataloggers para mediciones en continuo. Durante la segunda campaña de muestreo (14/07/09) se realizaron los perfiles verticales de CE de los piezómetros Pz4, Pz8 y Pz9 y en seis puntos del río.

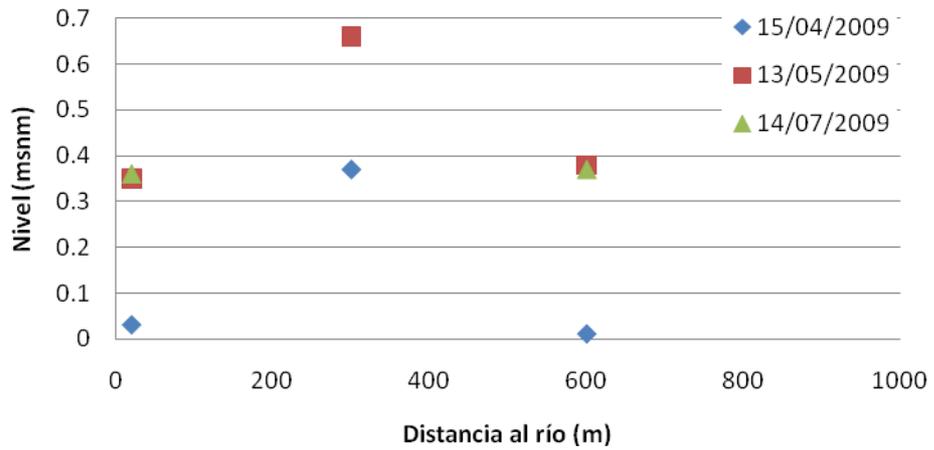
#### **5.1.2 Resultados**

Los resultados preliminares obtenidos con las tres primeras campañas de medición de nivel (Tabla 5.1) muestran variaciones sensibles a lo largo de las líneas de piezómetros y cambios notables a lo largo del tiempo.

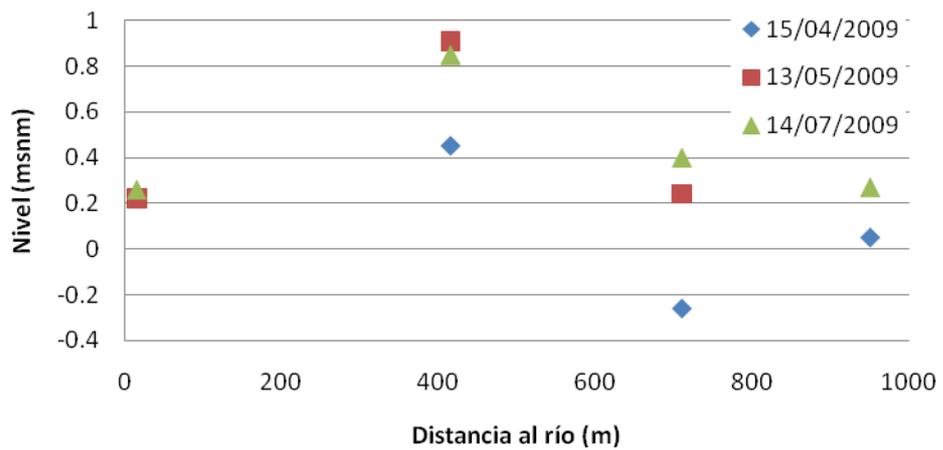
**Tabla 5.1. Medidas de nivel piezométrico del acuífero superficial.**

Punto	Cota referencia (msnm)	Distancia al río (m)	15/04/2009		13/05/2009		14/07/2009	
			Profundidad (m)	Nivel (msnm)	Profundidad (m)	Nivel (msnm)	Profundidad (m)	Nivel (msnm)
Pz1	1.416	20	1.39	0.03	1.07	0.35	1.06	0.36
Pz 2	1.463	300	1.09	0.37	0.8	0.66	-	-
Pz 3	2.557	600	2.55	0.01	2.18	0.38	2.19	0.37
Pz 4	2.021	15	1.8	0.22	1.8	0.22	1.76	0.26
Pz 5	2.251	415	1.8	0.45	1.34	0.91	1.4	0.85
Pz 6	1.189	710	1.45	-0.26	0.95	0.24	0.79	0.4
Pz 7	1.104	950	1.05	0.05	-	-	0.83	0.27
Pz 8	1.464	57	1.25	0.21	0.9	0.56	0.99	0.47
Pz 9	1.113	430	0.9	0.21	0.61	0.50	0.55	0.56
Pz 10	0.947	605	1.2	-0.25	0.65	0.30	0.53	0.42
Pz 11	0.907	785	1	-0.09	0.75	0.16	0.66	0.25
PR 1	0.562	0	-	-	0.48	0.08	0.68	-0.12
PR 2	0.482	0	-	-	0.40	0.08	-	-
PR 3	0.995	0	-	-	0.95	0.05	0.6	0.4

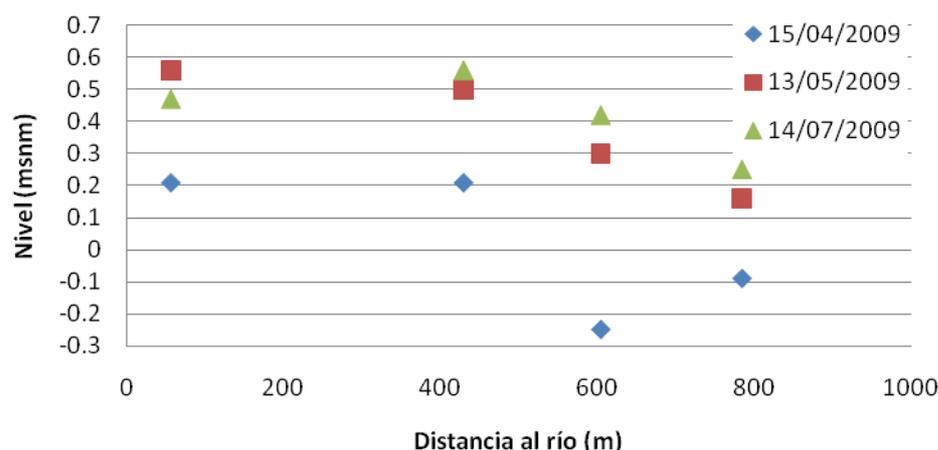
Se observa como el nivel piezométrico en el mes de Abril es sensiblemente menor, 0.08 m de promedio, que en Mayo, 0.48 m de promedio. La campaña de Abril se realizó cuando el delta todavía no estaba influenciado por la inundación de los campos, no recibiendo el acuífero superficial infiltración de agua de riego y siendo drenado por las acequias. La campaña de Mayo se realizó cuando los trabajos de inundación de los campos estaban en su tercera semana y las estaciones de bombeo no funcionaban. Tanto la campaña de Mayo como de Julio se realizaron en con los campos anegados.



**Figura 5.1. Evolución del nivel piezométrico respecto a la distancia al río Ebro de la línea 1.**



**Figura 5.2. Evolución del nivel piezométrico respecto a la distancia al río Ebro de la línea 2.**



**Figura 5.3. Evolución del nivel piezométrico respecto a la distancia al río Ebro de la línea 3.**

## 5.2 Resultados preliminares de hidroquímica

### 5.2.1 Descripción de las campañas preliminares

La primera campaña preliminar de muestreo se llevó a cabo los días 14 y 15 de abril de 2009, recogiendo muestras en los 11 piezómetros. La segunda campaña preliminar de muestreo se llevó a cabo el 14 de julio de 2009, recogiendo muestras en los 11 piezómetros, además de en el río junto al punto al punto PR3.

Para el purgado de los piezómetros se utilizó una bomba Grundfos MP1, a una frecuencia media de 130 Hz, una profundidad de 8 m, y a un caudal de 0.2 l/s. El tiempo medio de bombeo fue de 8 minutos exceptuando los piezómetros 10 y 11 donde el tiempo de bombeo fue de 20 minutos, renovando 2 veces el volumen del piezómetro o hasta que se agotaron.

Las muestras fueron almacenadas en recipientes refrigerados, donde permanecieron hasta su entrega en el laboratorio. En la primera campaña preliminar se utilizaron para cada piezómetro cinco envases, acidificando dos de ellos siguiendo las indicaciones del laboratorio. Los recipientes utilizados fueron 4 botellas de vidrio ámbar de 205 ml, dos de ellas con ácido sulfúrico al 48% y una quinta botella de 100 ml, los análisis fueron realizados por los laboratorios Alcontrol. Para la segunda campaña preliminar se utilizó una botella de 1 litro para cada una de las muestras, sin acidificar ni filtrar. Las analíticas para dicha campaña se realizaron en los laboratorios de Aigües de Mataró.

Para las mediciones de los parámetros físico – químicos en campo se utilizaron los equipos Crison CM35 para temperatura y conductividad eléctrica y Crison pH25 para los valores de pH.

Para la realización de los perfiles verticales de conductividad se utilizó un sensor con datalogger tipo CTD de Eijelkamp, obteniendo valores tanto de conductividad eléctrica como de temperatura y de presión. Se realizó una medición cada 15 segundos, bajando 0.5 metros cada 30 segundos.

### 5.2.2 Descripción de los resultados

Los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas en campo, durante las campañas de Mayo y Julio, de los parámetros físico – químicos se muestran en la Tabla 5.2.

El valor promedio de las temperaturas observadas es de 15.5 °C, similar a la media anual para el periodo 1992-2000, que fue de 16 °C. El pH varía poco de una muestra a otra y tiene un valor promedio de 7.5. Los valores de conductividad eléctrica tienen una gran variación, siendo 85.5 mS/cm el valor máximo y 1.7 mS/cm el valor mínimo.

**Tabla 5.2. Mediciones de campo de los parámetros físico – químico (15/04/2009).**

Línea	Pz	Distancia al río (m)	CE(mS/cm)		pH		Eh (mV)
			13/05/09	14/07/09	13/05/09	14/07/09	14/07/09
1	1	30	18.51	9.27	7.7	7.61	-50
	2	310	9.67	-	7.5	-	-
	3	615	9.64	8.37	7.6	7.43	-158
2	4	15	14.13	12.84	7.3	7.42	-116
	5	420	24	4.98	7.6	7.57	-185
	6	700	9.67	16.6	7.3	7.23	-144
	7	940	39.2	85.5	8	7.53	-136
3	8	60	1.7	1.2	7.5	7.36	-224
	9	420	5.25	22.5	7.9	7.33	-150
	10	600	2.92	28.9	7.1	7.12	-135
	11	780	30	43.3	7.5	6.89	-124
	PR3	0	-	2.9	-	8.45	-87



**Figura 5.4. Distribución de los valores de CE (mS/cm) en la zona de estudio (15/04/2009).**

La evolución temporal de la conductividad eléctrica, en relación a la distancia al río se muestra en las tres figuras siguientes (Figura 5.5, Figura 5.6 y Figura 5.7). En el perfil primero se observa una disminución de la conductividad, mientras que en el tercero la conductividad aumenta. En el segundo perfil se registra el valor más alto, correspondiente al piezómetro Pz7 donde se obtuvo 85.5 mS/cm.

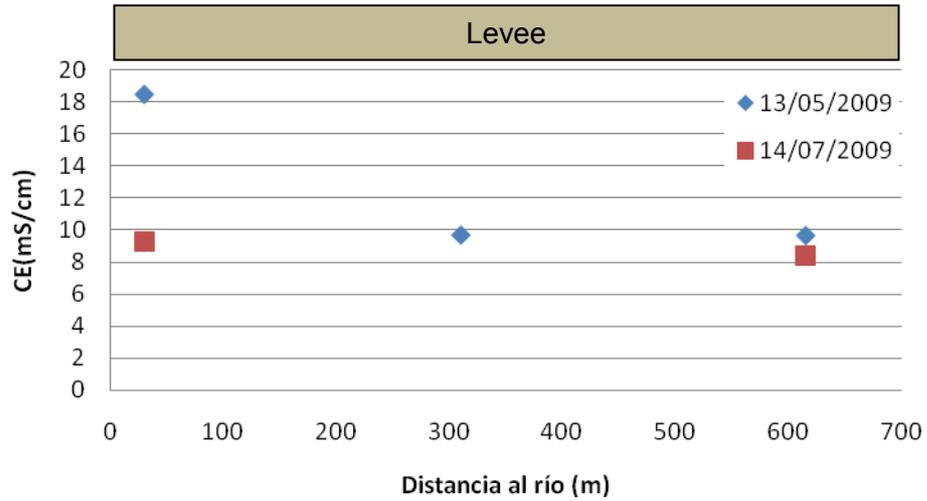


Figura 5.5. Relación entre la CE y la distancia de los puntos al río de la línea 1, además del material donde están ubicados.

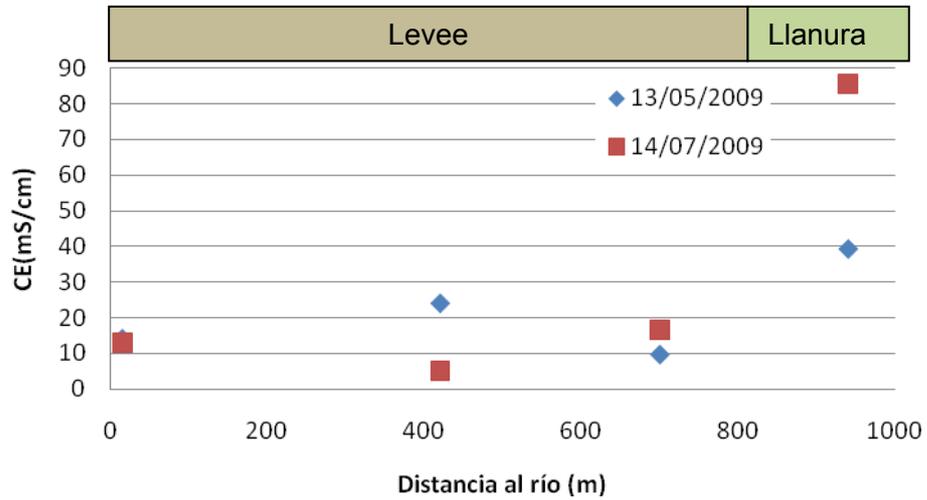
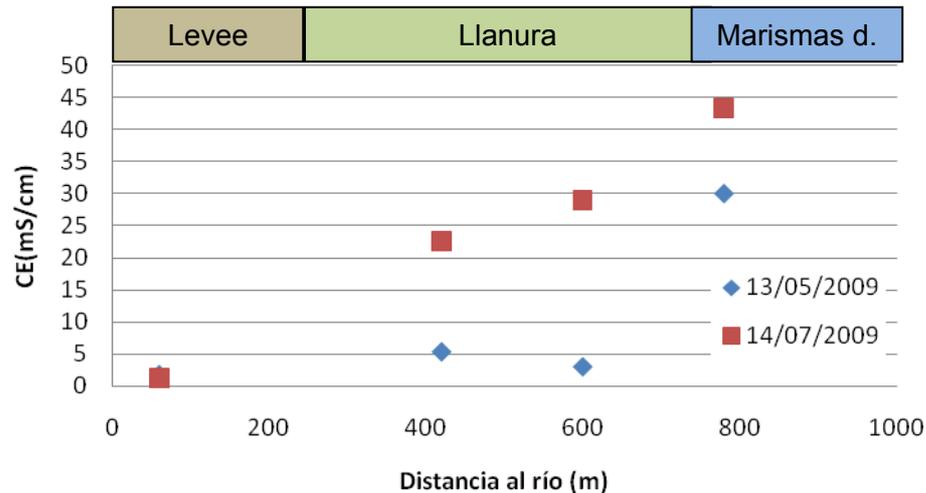


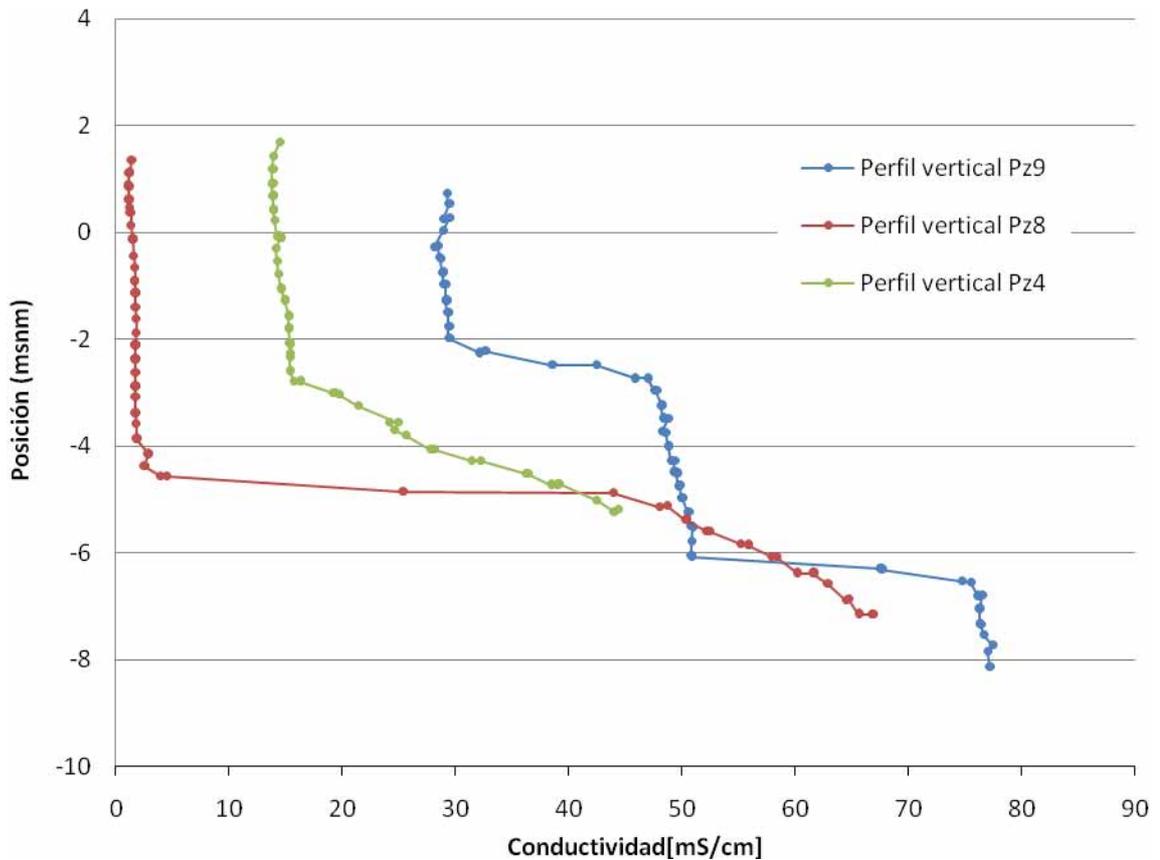
Figura 5.6. Relación entre la CE y la distancia de los puntos al río de la línea 2, además del material donde están ubicados.



**Figura 5.7. Relación entre la CE y la distancia de los puntos al río de la línea 3, además del material donde están ubicados.**

La distribución primera que se observa es una relación inversa entre la proximidad al río y la conductividad eléctrica, siendo significativo el incremento brusco de la conductividad a partir de los 600 a los 900 metros en la segunda y tercera línea respectivamente. En las Figuras 5.3, 5.4 y 5.5 se muestra la evolución de la CE en cada línea, mostrando en las líneas 2 y 3 los valores más bajos que se dan en el dique natural y ascienden al aumentar la distancia al río y al cambiar de litología. Las diferencias más significativas se dan del paso del dique natural a la llanura aluvial en la línea 2 y del paso de la llanura aluvial a las marismas degradadas en la línea 3, siendo el aumento de aproximadamente 30 mS/cm.

Los perfiles verticales de conductividad permiten identificar y diferenciar masas de agua con conductividades eléctricas dispares, como las presentes en la zona de estudio. Los perfiles verticales de los piezómetros Pz4, Pz8 y Pz9 presentan una diferencia marcada de conductividad, como se muestra en la figura (Figura 5.8). La interfaz se ubica sobre los 7 metros de profundidad con valores mínimos de 2 mS/cm a máximos de 75 mS/cm, como se recoge en la Tabla 5.3, mostrando una estratificación.



**Figura 5.8. Perfiles verticales en los piezómetros Pz4, Pz8 y Pz9 (14/07/2009).**

**Tabla 5.3. Conductividades eléctricas y nivel de la interfaz para los perfiles verticales de los piezómetros Pz4, Pz8 y Pz9.**

Piezómetro	Nivel freático (msnm)	Conductividad tramo sup. (mS/cm)	Interficie (msnm)	Conductividad tramo inf. (mS/cm)
Pz4	0.26	14	-2	44
Pz8	0.47	2	-4.14	67
Pz9	0.56	30	-1.75	50
		50	-5.8	75

Con objeto de realizar la caracterización hidroquímica preliminar se analizaron los iones mayoritarios  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  además de otros compuestos como son el  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{Br}^-$ . Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.4 y Tabla 5.5.

**Tabla 5.4. Resultado de las analíticas (mg/l) (15/04/2009).**

Pz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x	311121	310974	310828	312062	311919	312151	312227	315305	315233	315089	315380.0
y	4508142	4507904	4507636	4507573	4507199	4506753	4506475	4507270	4507434	4507774.0	4507105.0
fosfato	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
sulfato	380.0	210.0	56.0	380.0	140.0	280.0	450.0	300.0	<20	400.0	570.0
nitrato	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<1.0	<2.0	<2.0	120.0
nitrito	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	27000.0	<0.50	<1.0	<1.0	<1.0
cloruro	5800.0	3700.0	3600.0	3300.0	7900.0	2700.0	12000.0	310.0	2100.0	750.0	9300.0
bicarbonato	700.0	440.0	320.0	430.0	510.0	530.0	880.0	280.0	450.0	620.0	560.0
bromuro	16.0	11.0	9.3	7.3	21.0	6.6	34.0	<1.0	5.4	<2.0	26.0
Fluoruro	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	2.5	<1.0	<2.0	<2.0	<2.0
Amoniaco	14.0	9.0	11.0	9.9	22.0	7.1	18.0	0.5	5.9	1.7	19.0
Sodio	2900.0	2800.0	3400.0	3100.0	3300.0	2300.0	9200.0	320.0	1800.0	850.0	6100.0
Magnesio	260.0	170.0	140.0	170.0	310.0	160.0	1100.0	36.0	120.0	74.0	400.0
Calcio	480.0	240.0	220.0	220.0	430.0	200.0	41.0	140.0	100.0	310.0	290.0
potasio	65.0	46.0	46.0	50.0	95.0	45.0	190.0	6.1	38.0	23.0	140.0

**Tabla 5.5. Resultado de las analíticas (mg/l) (14/07/2009).**

Pz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	PR3
x	311121	310974	310828	312062	311919	312151	312227	315305	315233	315089	315380	315087
y	4508142	4507904	4507636	4507573	4507199	4506753	4506475	4507270	4507434	4507774	4507105	4507775
fosfato	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
sulfato	385.0	94.0	63.0	121.0	184.0	223.0	989.0	276.0	65.0	132.0	68.0	285.0
nitrato	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	8.0
nitrito	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.04
cloruro	3080.0	2740.0	6180.0	4250.0	1960.0	6620.0	22800.0	276.0	10300.0	8660.0	14800.0	953.0
bicarbonato	985.0	753.0	351.0	356.0	574.0	658.0	1446.0	278.0	453.0	1116.0	1400.0	188.0
bromuro	9.0	6.0	17.0	12.0	6.0	20.0	70.0	<2	31.0	26.0	13.0	3.0
fluor µg/l	371.0	574.0	530.0	551.0	417.0	574.0	961.0	329.0	489.0	509.0	470.0	270.0
Amonio	14.9	18.3	37.0	22.9	11.3	28.0	44.4	39.0	38.0	24.0	45.8	23.8
sodio	2093.0	1838.0	3470.0	2571.0	1133.0	3366.0	12475.0	164.0	5719.0	4944.0	8244.0	474.0
magnesio	167.0	168.0	274.0	191.0	122.0	402.0	1518.0	38.0	494.0	481.0	780.0	77.0
calcio	192.0	1458.0	1513.0	117.0	751.0	916.0	154.0	157.0	113.0	291.0	827.0	117.0
potasio	31.9	291.8	250.5	58.8	64.6	93.8	277.3	7.5	122.0	111.8	180.0	10.6
Conductivitat a 20 °C µS/cm	9450.0	8390.0	15980.0	11900.0	6340.0	18130.0	50960.0	1610.0	25800.0	22820.0	34640.0	3330.0
pH 20 °C	7.6	7.9	7.5	7.4	7.5	7.2	7.5	7.6	7.2	7.2	7.0	8.4

Los iones mayoritarios son el cloruro y el sodio, en ambas campañas de muestreo, con concentraciones promedio de aproximadamente 4680 Cl mg/l y 3280 Na mg/l, las cuales representan aproximadamente entre el 80 y el 75 % de los iones muestreados respectivamente. Respecto a los aniones cabe destacar la presencia del bicarbonato, con una concentración promedio de 520 mg/l, pudiendo alcanzar valores del 620 mg/l como en la muestra obtenida en el piezómetro Pz10. En los cationes la suma de magnesio y calcio representa el 20% del total, con una concentración promedio de 267 mg/l y 240 mg/l respectivamente, siendo un valor muy constante salvo en el piezómetro Pz7 donde el magnesio alcanza concentraciones superiores a 1000 mg/l.

Cabe destacar los elevados errores de balance iónico que se producen en la campaña primera, repitiéndose especialmente en los piezómetros Pz2, Pz3 i Pz5, llegando a errores máximos del 60%.

Mediante el estudio de estas relaciones se puede argumentar que las aguas subterráneas muestreadas pertenecen a la facies clorurada sódica, como se observa al representar las muestras en un diagrama de Piper (Figura 5.9 y Figura 5.10).

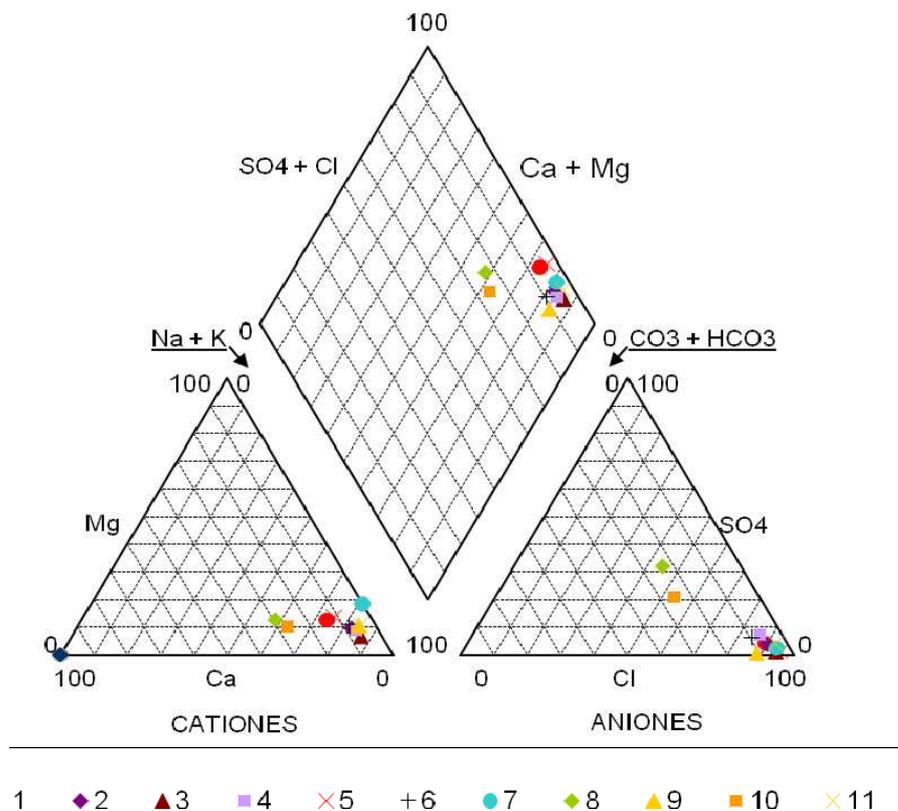
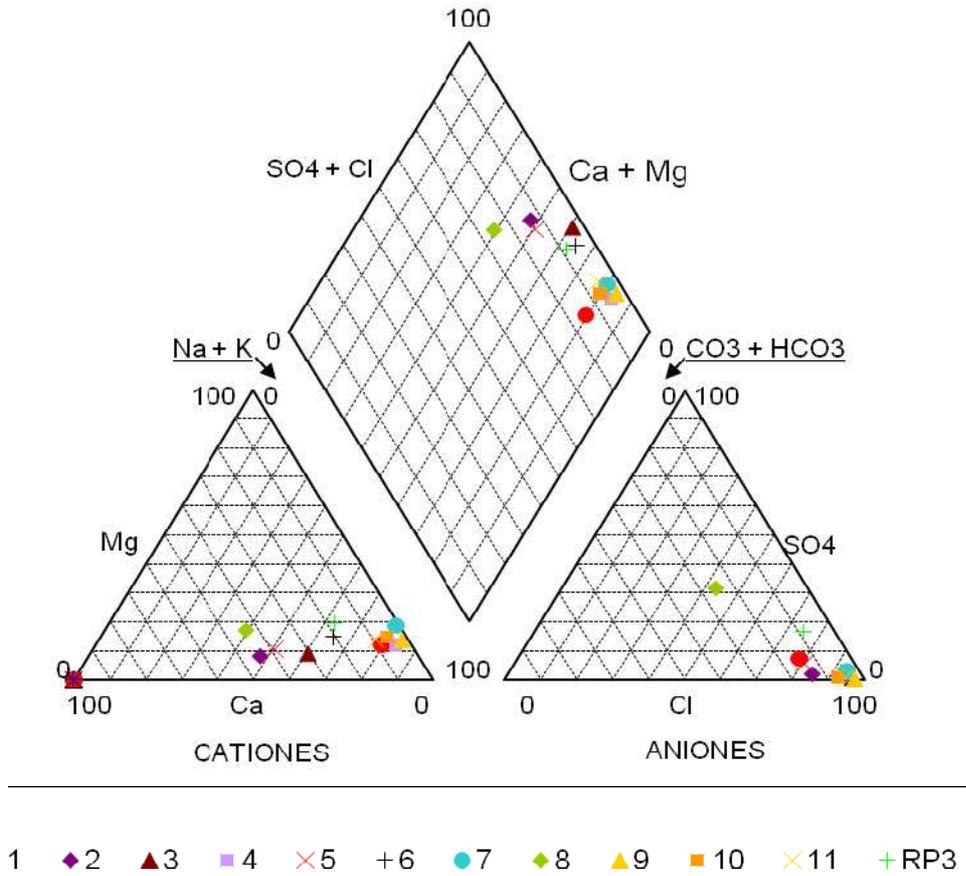
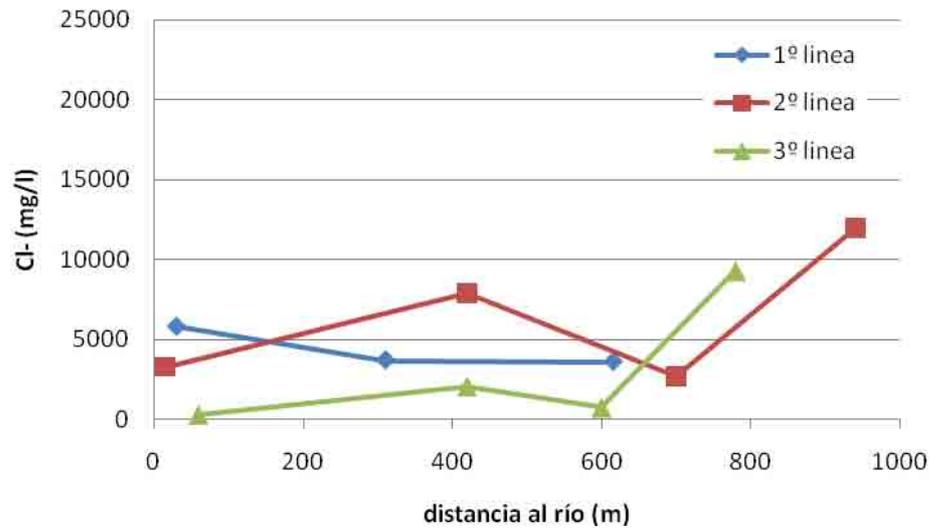


Figura 5.9. Diagrama de Piper (15/04/2009).

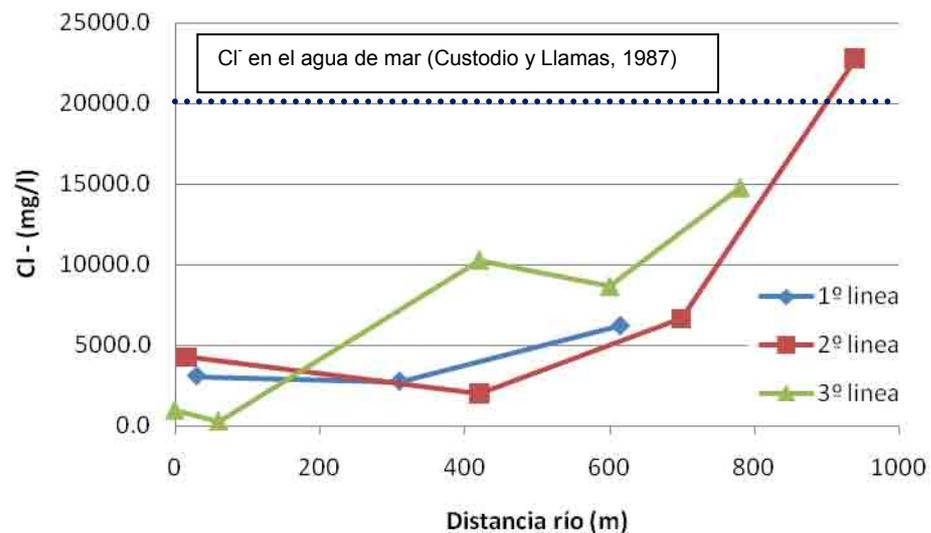


**Figura 5.10. Diagrama de Piper (14/07/2009).**

La Figura 5.11 muestra la relación entre la concentración de cloruros y la distancia al río Ebro, pudiendo identificar tendencias y sus posibles causas.



**Figura 5.11. Relación entre concentración de Cl<sup>-</sup> y distancia al río Ebro (15/04/2009).**



**Figura 5.12. Relación entre concentración de Cl<sup>-</sup> y distancia al río Ebro (14/07/2009).**

Si se analiza la distribución espacial de la concentración de cloruros respecto a la distancia al río (Figura 5.11 y Figura 5.12), se observa que las líneas 2 y 3 muestran un comportamiento similar, aumentando la concentración desde el río hasta 400 metros (Pz5 y Pz9). Los piezómetros situados entre 600 y 700 m (Pz6 y Pz10) registran, en la primera campaña, un descenso hasta valores similares a los piezómetros situados a escasos metros del río (Pz4 y Pz8), mientras que en la

segunda campaña dicho descenso no se produce. Por último, los piezómetros más alejados del río (Pz7 y Pz11) presentan un gran ascenso en la concentración de cloruros alcanzándose los valores máximos mientras la línea 1 apenas presenta variaciones significativas.

La distribución de  $\text{Cl}^-$  (Figura 5.13) sigue un patrón similar al anteriormente citado para la conductividad eléctrica, en ambas campañas, presentando valores parecidos para la primera línea y para los piezómetros Pz4 y Pz5, siendo la media de aproximadamente 4680 mg/l, para la primera campaña. En el piezómetro Pz6 se observa una concentración inusualmente pequeña en la primera campaña, de 2.700 mg/l, mientras que en la segunda campaña la concentración de cloruros aumenta hasta los 6620 mg/l. En el piezómetro Pz7, al igual que pasa con los valores de conductividad eléctrica, se observa una notable subida de la concentración hasta valores de 12.000 mg/l. En la línea tres se detectan los cambios más bruscos de la zona de estudio, mientras los piezómetros Pz8, Pz9 y Pz10, situados en la llanura aluvial, tienen una concentración media de 1050 mg/l y 6400 mg/l. Por otro lado el piezómetro Pz11, situado en las marismas degradadas y a escasa distancia de Pz8, Pz9 y Pz10, tiene valores de 9300 y 14800 mg/l, en la primera y segunda campaña respectivamente.

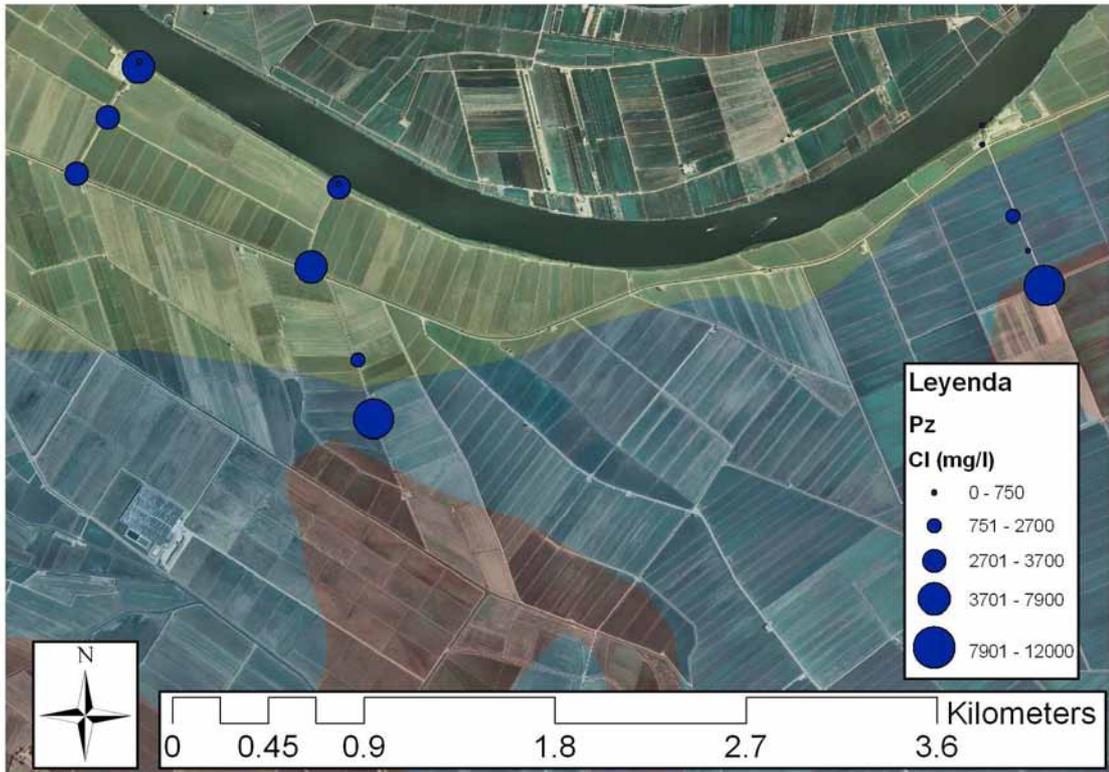


Figura 5.13. Distribución de la concentración de Cl<sup>-</sup> (mg/l) (15/04/2009).

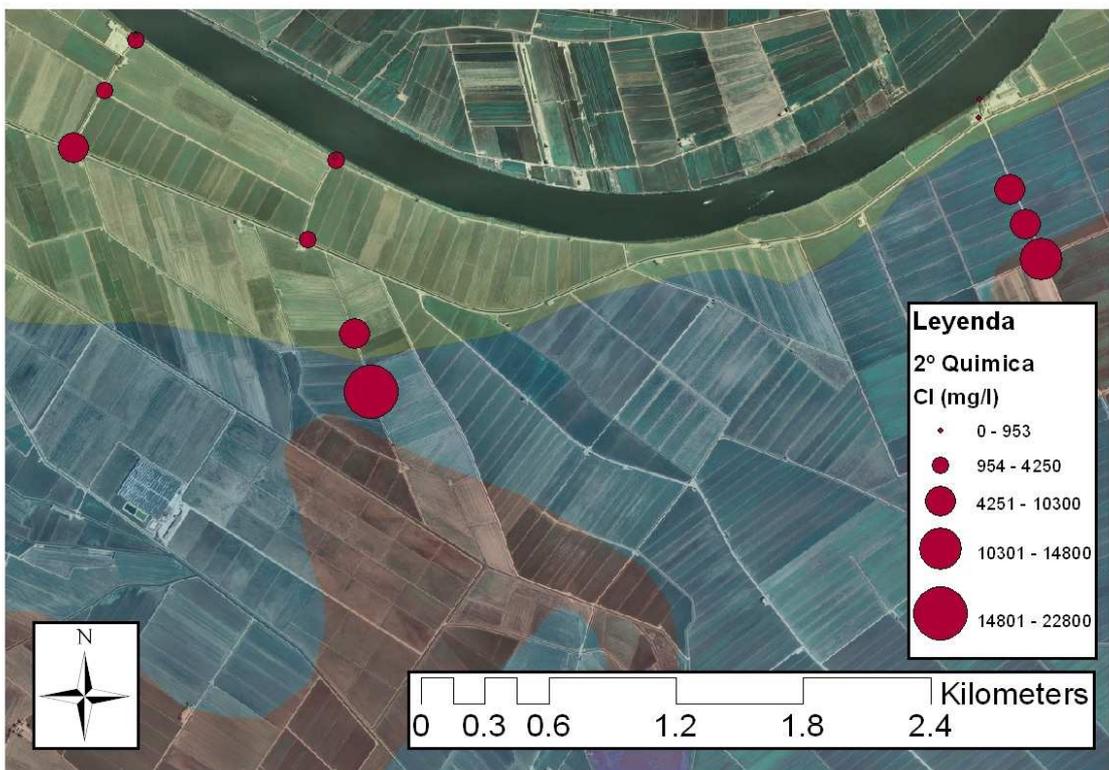


Figura 5.14. Distribución de la concentración de Cl<sup>-</sup> (mg/l) (14/07/2009).

El diagrama de Schoeller-Berkaloff para las dos campañas puede verse en las Figura 5.15 y Figura 5.16.

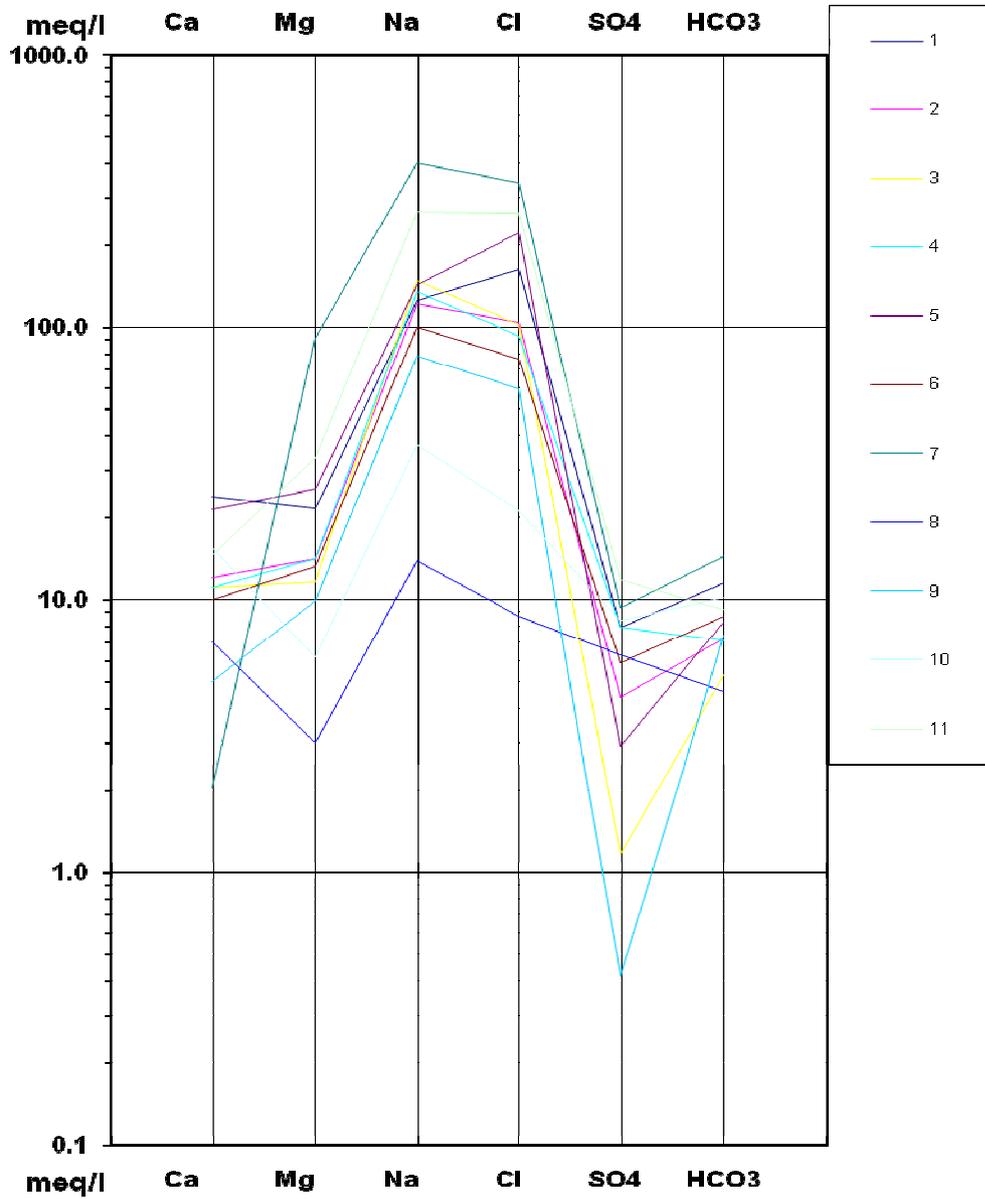


Figura 5.15. Diagrama de SCHOELLER-BERKALOFF (15/04/2009).

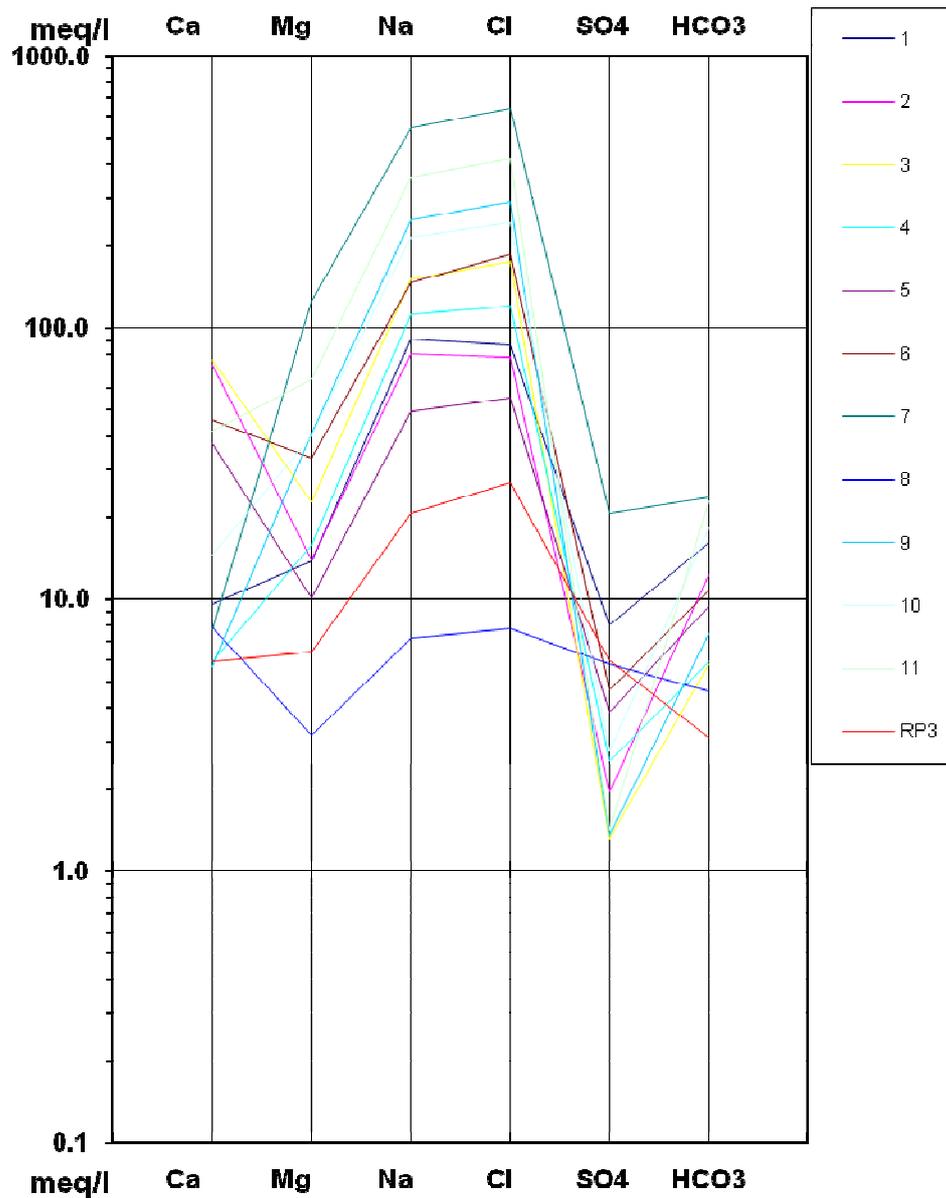


Figura 5.16. Diagrama de SCHOELLER-BERKALOFF 14/07/2009.

Las relaciones iónicas usadas en los estudios hidroquímicos (Tabla 5.6 y Tabla 5.7) permiten discernir entre los diferentes procesos que tienen lugar en las aguas subterráneas como son la disolución y precipitación, reacciones redox, intercambio iónico o contaminación entre otras y que controlan la composición química de las aguas. La relación  $rCl/rHCO_3$  aporta información sobre posibles procesos de disolución y precipitación de calcita, aportes de sales o intrusión marina entre otros.

**Tabla 5.6. Principales relaciones iónicas (15/04/2009).**

<b>Pz</b>	<b>rNa/rCl</b>	<b>rNa/rK</b>	<b>rMg/rCa</b>	<b>rSO4/rCl</b>	<b>rCl/rHCO3</b>	<b>icb</b>	<b>rCl/rBr</b>
1	0.8	75.8	0.9	0.05	14.3	0.2	815
2	1.2	103.5	1.8	0.04	14.5	-0.2	757
3	1.4	125.6	1.1	0.01	19.3	-0.5	871
4	1.4	105.4	1.9	0.09	13.2	-0.5	1017
5	0.6	59.1	1.2	0.01	26.6	0.3	846
6	1.3	86.9	1.3	0.08	8.7	-0.3	920
7	1.2	82.3	44.3	0.03	23.4	-0.2	794
8	1.6	89.2	0.4	0.72	1.9	-0.6	697
9	1.3	80.5	2	0.01	8	-0.3	875
10	1.7	62.8	0.4	0.39	2	-0.8	844
11	1	74.1	2.3	0.05	28.5	-0.03	805

**Tabla 5.7. Principales relaciones iónicas (14/07/2009).**

<b>Pz</b>	<b>rNa/rCl</b>	<b>rNa/rK</b>	<b>rMg/rCa</b>	<b>rSO4/rCl</b>	<b>rCl/rHCO3</b>	<b>icb</b>	<b>rCl/rBr</b>
1	111.5	111.5	1.4	0.09	5.4	-0.1	770.2
2	10.7	10.7	0.2	0.03	6.3	-0.1	1027.8
3	23.5	23.5	0.3	0.01	30.3	0.1	818.2
4	74.3	74.3	2.7	0.02	20.5	0.1	797.1
5	29.8	29.8	0.3	0.07	5.9	0.1	735.2
6	61.0	61.0	0.7	0.02	17.3	0.2	745.0
7	76.5	76.5	16.3	0.03	27.1	0.1	733.1
8	37.2	37.2	0.4	0.74	1.7	0.1	-
9	79.7	79.7	7.2	0.00	39.1	0.1	747.8
10	75.2	75.2	2.7	0.01	13.3	0.1	749.7
11	77.9	77.9	1.6	0.00	18.2	0.1	2562.3

Para poder mostrar la distribución espacial de las principales relaciones iónicas, se han elaborado los mapas hidrogeoquímicos siguientes (Figura 5.17, Figura 5.18, Figura 5.19 y Figura 5.20).

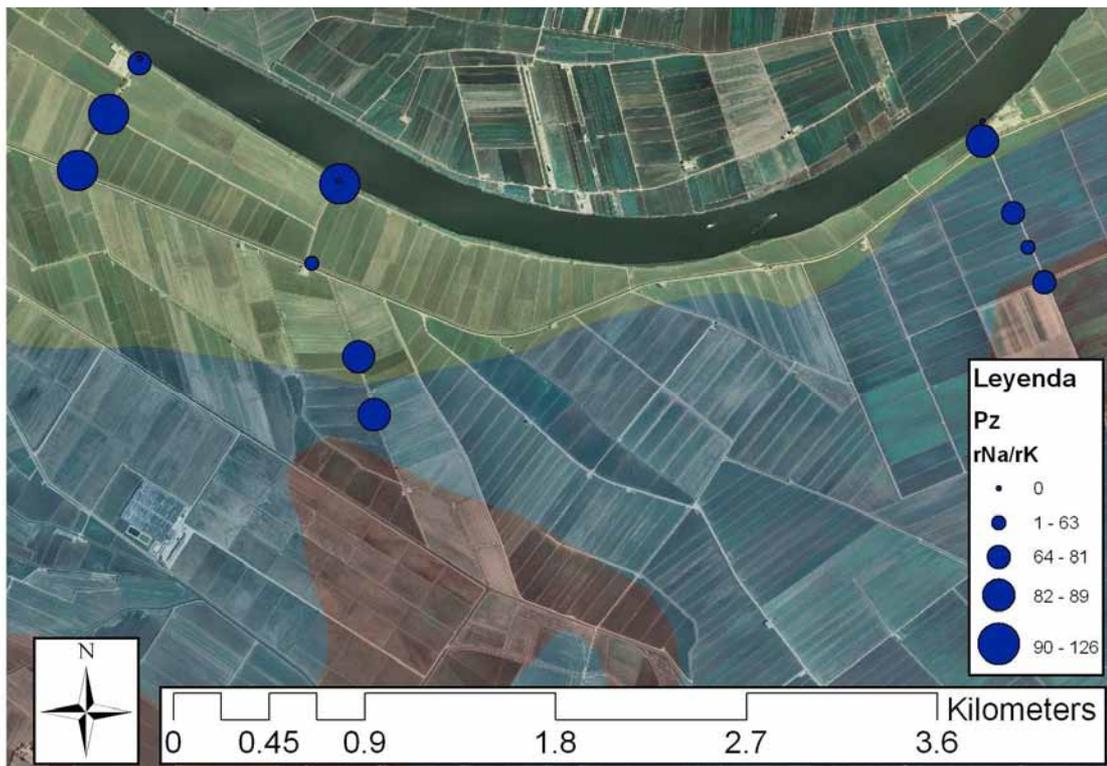


Figura 5.17. Distribución de la relación  $rNa/rK$  (15/04/2009).

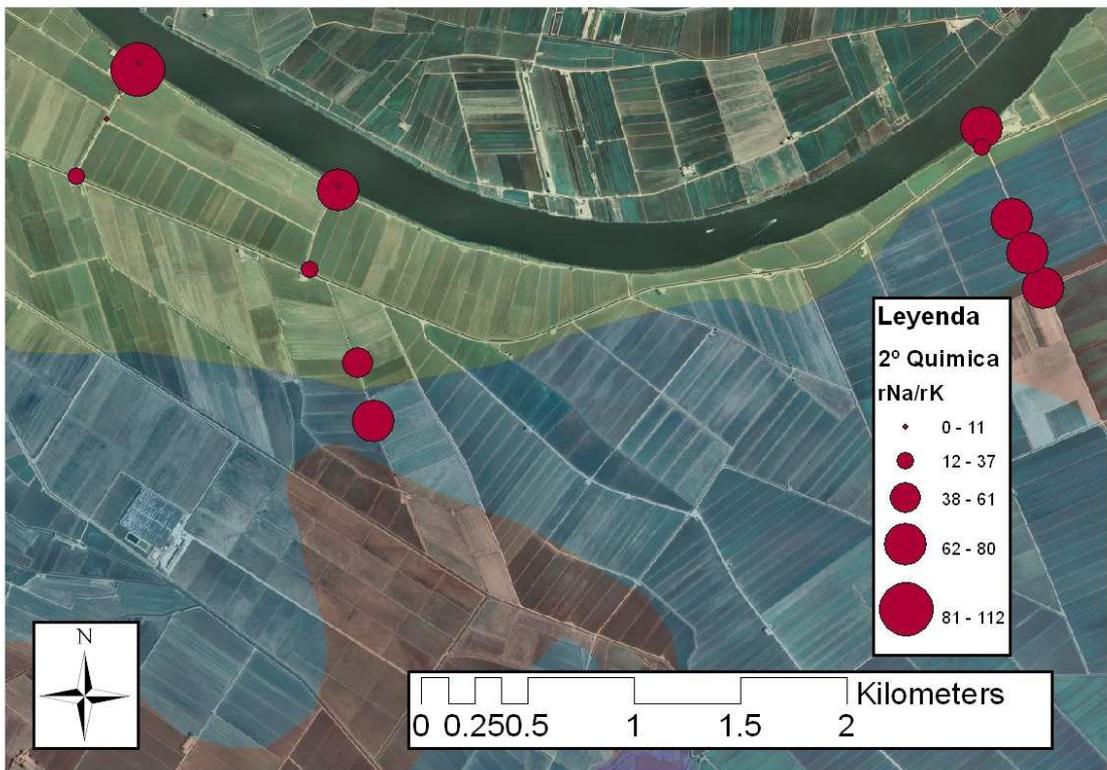


Figura 5.18. Distribución de la relación  $rNa/rK$  (14/07/2009).

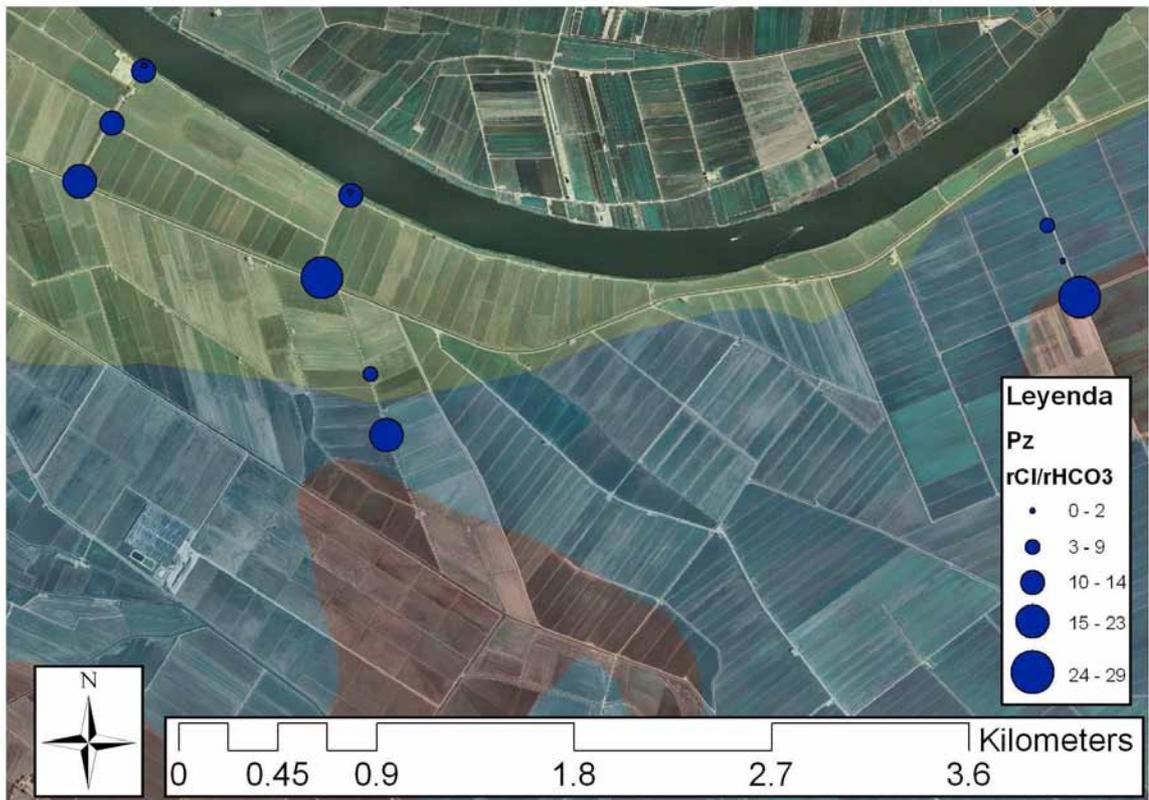


Figura 5.19. Distribución de la relación  $rCl/rHCO_3$  (15/04/2009).

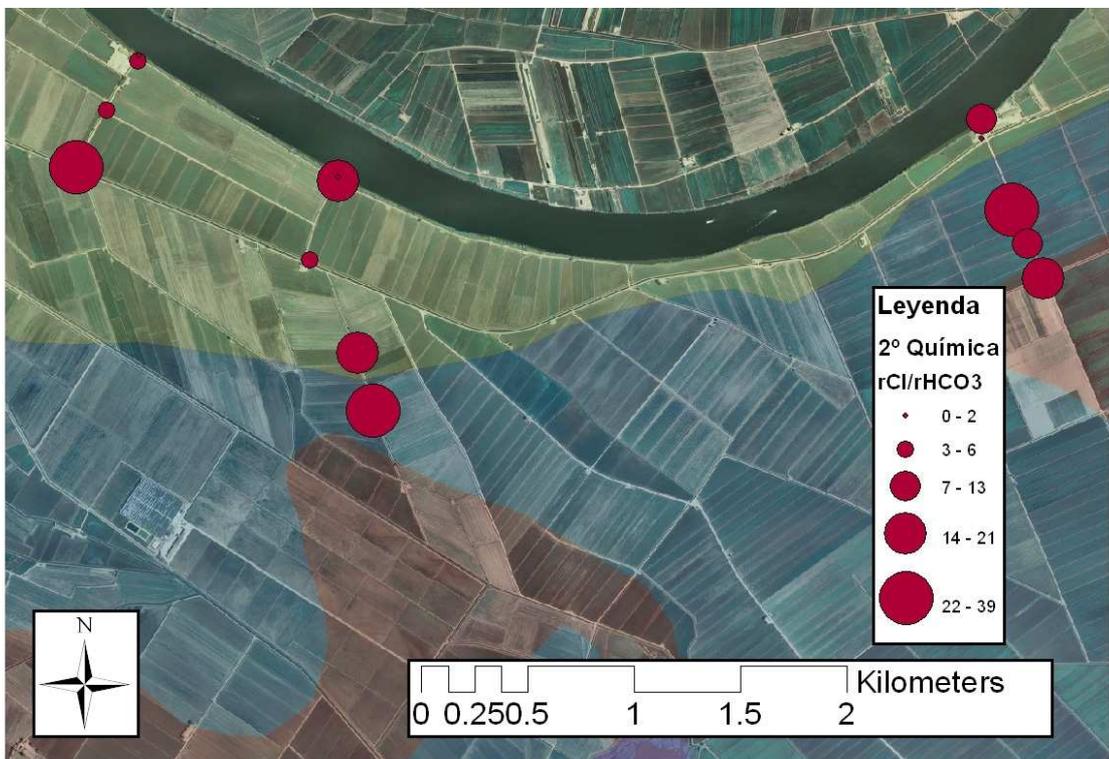
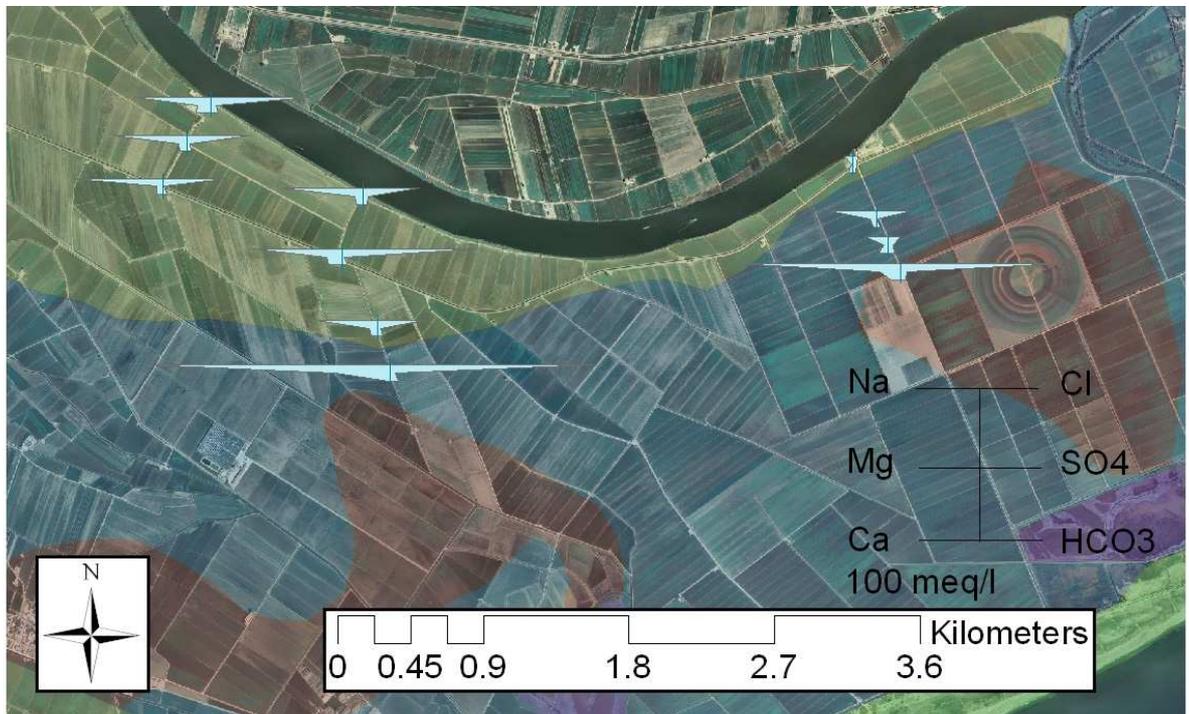


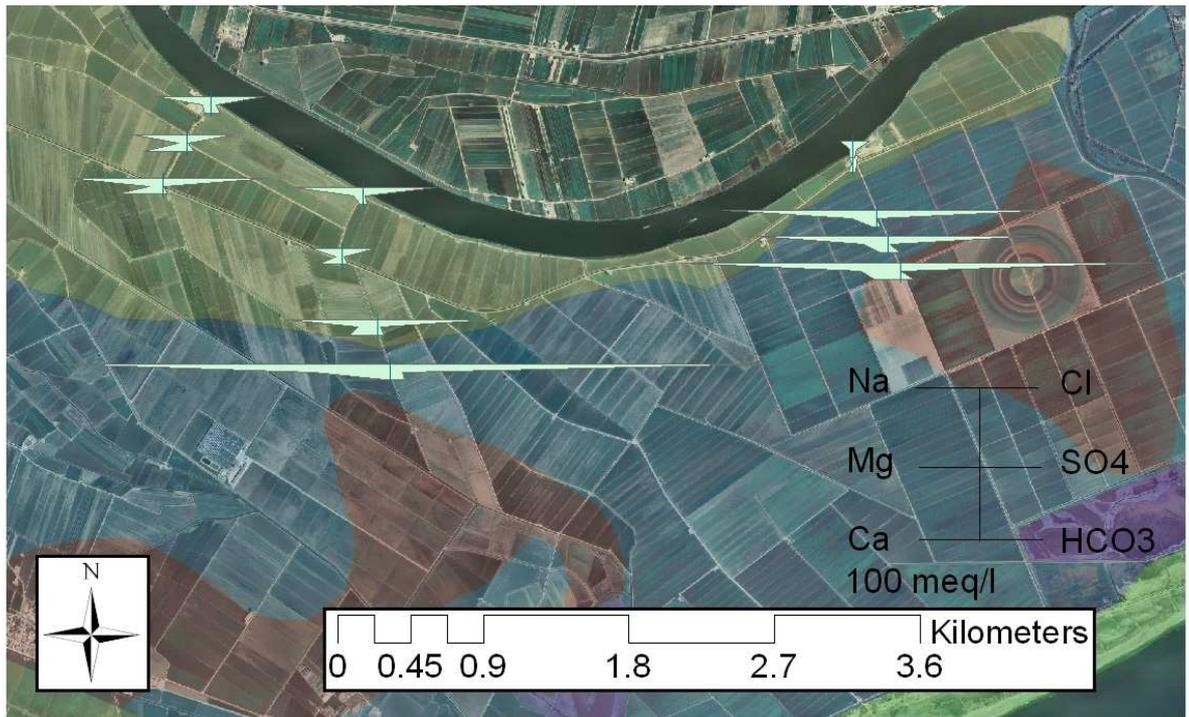
Figura 5.20. Distribución de la relación  $rCl/rHCO_3$  (14/07/2009).

El diagrama de Stiff modificado (Figura 5.21) es utilizado para distinguir visualmente el tipo de facies al que pertenece cada punto, mediante la representación de las concentraciones de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  por parte de los cationes y de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  por parte de los aniones. Al igual que en el diagrama de Piper, el diagrama de Stiff presenta un agua perteneciente a la facies clorurada sódica.

Como se ha comentado en el apartado de descripción de resultados los piezómetros Pz2, Pz3 y Pz5 presentan un error de balance iónico significativo, lo que se refleja en los diagramas de Stiff, mostrando una disminución importante del sulfato y un desequilibrio entre iones y cationes.



**Figura 5.21. Diagrama de Stiff modificado superpuesto a ortofoto y mapa geológico (15/04/2009).**



**Figura 5.22. Diagrama de Stiff modificado superpuesto a ortofoto y mapa geológico (14/07/2009).**

Descripciones materiales (ICC):

QIn: "levée natural". Arenas medias y limos. Localmente capas de turba. Holoceno.

Qm: marismas. Limos, arenas, materia orgánica y sal. Holoceno

Qmd: marismas degradadas. Turba con intercalaciones de materia orgánica y arenas finas. Holoceno.

Qpa: llanura aluvial. Gravas, arenas y lutitas. Holoceno superior.

### 5.3 Resultados preliminares del seguimiento del río

Los resultados obtenidos en los perfiles muestran una estratificación marcada del agua en todos los puntos de medición. Los bruscos cambios de CE, pasando de valores de 3 mS/cm a valores de conductividad 57 mS/cm, evidencian un cambio rápido en profundidad en la salinidad del agua. Dicho cambio permite situar la haloclina a una profundidad de 2.5 m. La haloclina permanece constante a pesar de la morfología irregular del lecho fluvial.

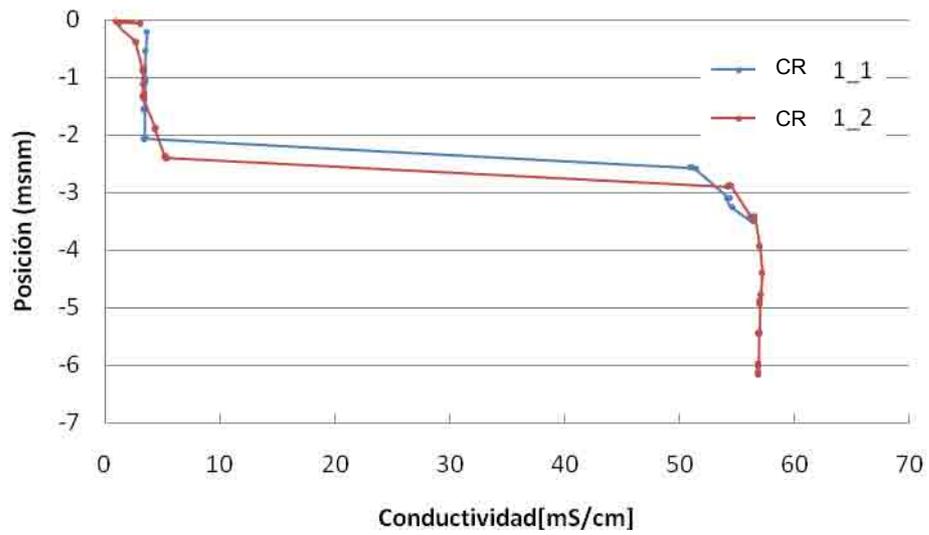


Figura 5.23. Perfiles de CE en el río Ebro frente a la línea 1 de piezómetros.

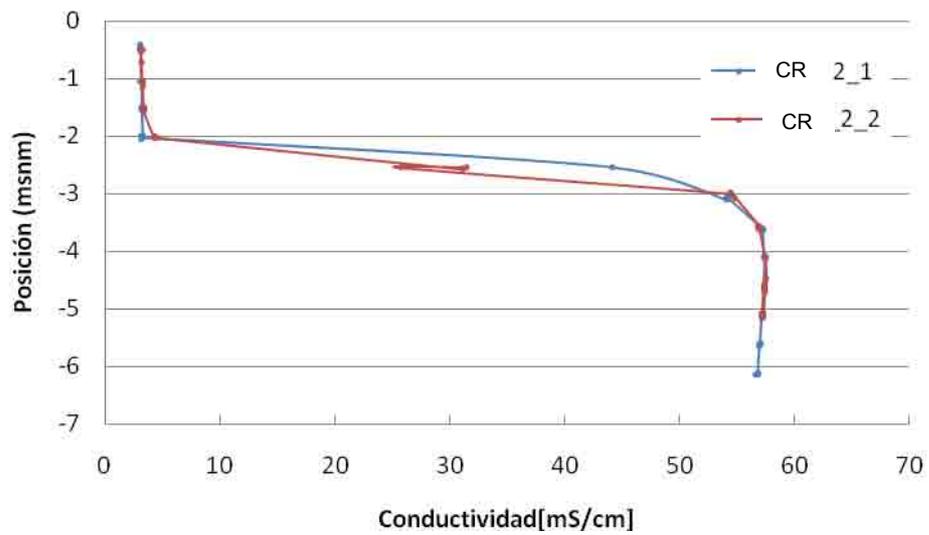


Figura 5.24. Perfiles de conductividad paralelos a la línea 2.

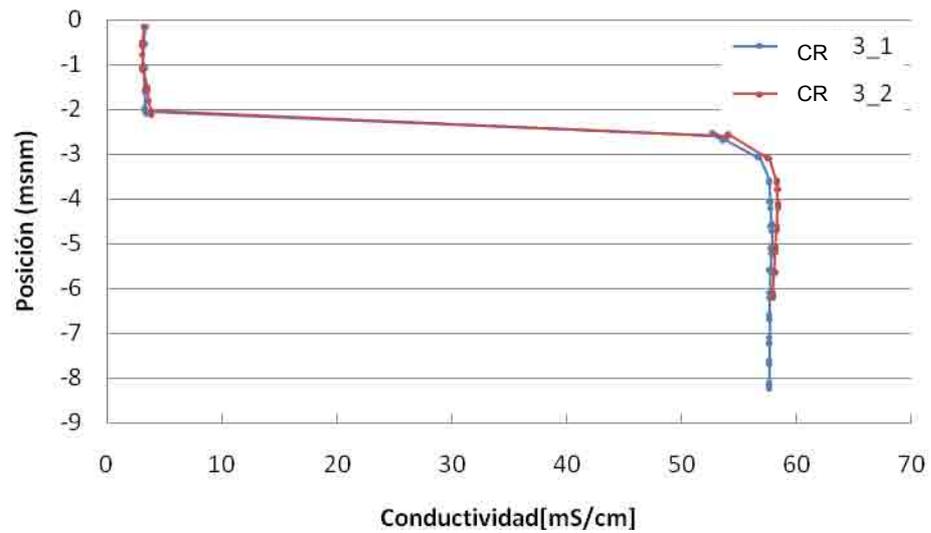


Figura 5.25. Perfiles de conductividad paralelos a la línea 3.

Tabla 5.8. Situación y resultados para los perfiles verticales en el Ebro.

Piezómetro	Distancia a la orilla (m)	Frente a la línea	CE tramo sup. [mS/cm]	Interfaz (m)	CE tramo inf. [mS/cm]
CR 1_1	10	1	3,3	- 2,5	57
CR 1_2	115	1			
CR 2_1	10	2	3,3	- 2,6	57
CR 2_2	115	2			
CR 3_1	10	3	3,0	-2,2	58
CR 3_2	115	3			

## 6. Conclusiones

En el contexto de este proyecto se ha establecido la metodología de estudio para determinar la posible relación causa efecto entre la existencia de la lengua salina en el último tramo de río Ebro y la salinidad del acuífero superficial del delta del Ebro.

Se han planteado estudios desde diferentes perspectivas: hidráulica, hidroquímica e isotópica. Esto ha implicado la construcción de unos equipamientos de campo, el establecimiento de redes de control en el río y en el acuífero, así como unos protocolos de explotación de las redes de control.

Se han construido 11 piezómetros de control agrupados en 3 líneas perpendiculares al río. Para cada línea se ha identificado un punto en la orilla del río, para ser incluido en las redes de control. Además, a la altura de cada línea de piezómetros se han ubicado y realizado 2 perfiles verticales de salinidad en el río.

Se propone la explotación de estas redes mediante campañas periódicas de medida de perfiles verticales de salinidad en los piezómetros y en el río.

También se prevé el control periódico de la calidad del agua en los piezómetros. Se prevé la realización de análisis de los componentes mayoritarios, de algunos minoritarios y de los isótopos estables del agua. Para completar el monitoreo se prevé el análisis de algunas muestras de agua del río, del canal de la derecha y del mar.

Para monitorizar la evolución de los niveles y de la salinidad, en algunos puntos se ha instalado una sonda automática de medición y almacenamiento de datos.

Las campañas preliminares de seguimiento, análisis e isótopos no permiten sacar conclusiones sobre el origen de la salinidad pero sí que aportan información sobre cómo hacer el monitoreo. A partir de estos resultados preliminares cabe la posibilidad de cambiar ligeramente la estrategia de seguimiento, sobre todo por lo que se refiere a método de muestreo de agua en los piezómetros, parámetros físico-químicos a analizar y a la instalación de los sensores automáticos.

## 7. Referencias

ACUAMED (2008); "Programa para la implantación de una red de indicadores ambientales en el delta del Ebro". Informe realizado para el Ministerio de Medio Ambiente.

ARAGÓN, J. (1943); Informe sobre la salinidad del agua del Ebro. Technical report of the Instituto Nacional de Colonización, Madrid.

CANICIO, A. (1991); Estudi dels Recursos Hídrics subterranis del Delta de l'Ebre i la seva aplicació per la salvaguarda dels ecosistemes de les llacunes de l'Encanyissada, Vilacoto i Ullals. Ajuntament de Sant Carles de la Ràpita.

CARBONELL, J.A.; PEREZ-PARICIO, A. y CARRERA, J. (1997); MARIAJ\_IV: Programa de calibración automática de ensayos de bombeo. Modelos analíticos y numéricos para medios 2-D y 3-D. E.T.S.E.C.C.P.B., UPC.

CUSTODIO, E.; ALCALÁ-GARCÍA, F. (2003); El potencial de la relación Cl/Br como indicador del origen de la salinidad de los acuíferos costeros españoles. IGME. ISBN. 84-7840-470-8.

CUSTODIO, E.; BAYÓ A.; LOASO C. (1997); Las aguas subterráneas en el delta del Ebro. Revista obras públicas, septiembre nº3368.

CUSTODIO, E.; LLAMAS M.R. (1987); Hidrología subterránea. Ed. Omega, 2300 pág.

DALRYMPLE, R. W. (1992); Estuarine facies models-Conceptual basis and stratigraphic implications. Journal of Sedimentary Petrology 62, 1130-1146.

FETTER, W. (2001). Applied Hydrogeology. Prentice-Hall, 4ª Edición, 598 pp.

GUILLÉN, J. (1992); Dinámica y balance sedimentario en los ambientes fluvial y litoral del Delta del Ebro. Ph. D. thesis. Universitat Politècnica de Catalunya. 210 pp.

IBÁÑEZ, C. (1997); Characterization of the Ebre and Rhone estuaries: a basis for defining and classifying salt wedge estuaries. Limnology and Oceanography., 42(1), 89-101.

IBÁÑEZ, C.; PRAT, N.; CURCO, A. y CANICIO, A. (1999); El delta del Ebro, un sistema amenazado. col. Nueva Cultura del Agua. Ed. Bakeaz.

INE, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (2008). [www.ine.es](http://www.ine.es).

JIMÉNEZ, J.A. (1981); Geotecnia y cimientos. Ed. Rueda.

MALDONADO, A. (1972); El delta del Ebro, estudio sedimentario y estratigráfico. Tesis doctoral. Publ. Univ. Barcelona. Barcelona 252 pp.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y GENERALITAT DE CATALUNYA (2006); Plan integral de protección del delta del Ebro (PIPDE). 92 pp.

MOVELLÁN, E. (2003); Modelado de la cuña salina y del flujo de nutrientes en el tramo estuarino del río Ebro. Tesis doctoral.

PRITCHARD, D. W., (1955); Estuarine circulation patterns. Prog. Asoc. Civ. Eng. 81: 1-11.

RIBA, O. (1997); Diccionari de geologia. Barcelona.

SANDERS, R. (1998); A manual of Field Hydrogeology. Prentice-Hall, 381 pp.

TORRENTS, J. y ALONSO, P. (1991); Estudio de los recursos hídricos subterráneos de los acuíferos de la margen derecha del río Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro.

VELASCO, M.J. (1998); Descripción de los procesos hidro-bio-geoquímicos en el Delta del Ebro. Tesina de graduación. Universitat Politècnica de Catalunya, 133 pp.

# Diseño y acondicionamiento de una red de control de variables ambientales para controlar la incidencia de la lengua salina de la desembocadura del río Ebro en el acuífero superficial del delta

## ANEJOS

Expediente: 138/08-SNS

3 de Junio de 2009

Santos Jiménez  
Salvador Jordana  
Eduard ruiz

Elaborado:	Revisado:	Validado:
Santos Jiménez Salvador Jordana	Jordi Guimerà	Jordi Bruno

# Índice

1.	ANEJO, RESULTADOS DE LAS ANALÍTICAS.....	77
2.	ANEJO, NIVELACIÓN TOPOGRÁFICA .....	99
3.	ANEJO, FOTOGRAFÍAS.....	106
3.1	SITUACIÓN DE LOS PIEZÓMETROS.....	106
3.2	MÉTODO CONSTRUCTIVO: .....	116
3.3	MATERIALES: .....	120
3.4	INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN CONTINUA .....	122
3.5	OTROS.....	125
3.6	INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA PRESENTE EN EL DELTA DEL EBRO .....	126
4.	ANEJO, PIEZÓMETROS CONSTRUIDOS .....	128

## 1. Anejo, Resultados de las analíticas

Las muestras recojidas en campo el 15/04/09 fueron almacenadas en frio y enviadas a los laboratorios de Alcontrol al día siguiente. Se procedio de igual manera con las muestras de la segunda campaña, enviandolas a Aigües de Mataró.

Los archivos originales correspondientes a los boletines oficiales del laboratorio se encuentran en la carpeta química del CD adjunto. En este anejo pueden encontrar-se reproducidos dichos anejos.

El boletín correspondiente a la primera campaña se muestra a seguidamente.



ALcontrol Laboratories

ALcontrol Laboratories

Gran Via de les Corts Catalanes, 630

08007 Barcelona

Telf: (+34)932702621 - Fax: (+34)934127124

www.alcontrol.es

## Resultados analíticos

Amphos XXI Consulting, SL  
 Ona Cornellà  
 Passeig de Rubí, 29-31  
 ES-08197 VALLDOREIX (BARCELONA)

Página 1 de 9

Descripción del proyecto : CHEBRE  
 Número del proyecto : CHEBRE  
 Número Informe ALcontrol : 11430989, version: 1  
 Hoogvliet, 22-04-2009

Apreciado/a Sr./Sra.,

Adjunto le enviamos los resultados del laboratorio de su proyecto CHEBRE. La descripción del proyecto y de la/s muestras se obtuvieron de la orden de pedido enviada, así como los parámetros analizados.

Todos los análisis, excepto los subcontratados, han sido realizados por ALcontrol Laboratories, Steenhouwerstraat 15, Hoogvliet, Netherlands.

El presente certificado contiene 9 páginas en total. Todas las páginas son parte inseparable del certificado y sólo está permitido reproducir el informe completo.

Para cualquier observación y/o consulta en relación con este informe, y si desean solicitar información adicional relativa a la incertidumbre o errores asociados a las medidas, no dude en ponerse en contacto con nuestro servicio de Atención al Cliente.

Sin otro particular, un cordial saludo

drs. J.H.F. van der Wart  
 Director del Laboratorio Medioambiental



ALcontrol S.L. está acreditada por ENAC (Real Decreto 1601/2007) con número L28 de acuerdo con la norma ISO/IEC 17025:2005.

Todos nuestros métodos están basados en métodos de referencia armonizados en el Comité de Coordinación de Métodos de Análisis de la Unión Europea.



Amphos XXI Consulting, SL  
Ona Cornelia

## Resultados analíticos

Página 2 de 9

Proyecto CHEBRE  
Número Proyecto CHEBRE  
Número de Informe 11430969 - 1

Fecha de pedido 16-04-2009  
Fecha de inicio 17-04-2009  
Fecha del Informe 22-04-2009

Análisis	Unidad	Q	001	002	003	004	005
<b>METALES</b>							
calcio	µg/l	Q	480000	340000	220000	220000	430000
potasio	µg/l	Q	65000	46000	46000	50000	95000
magnesio	µg/l	Q	260000	170000	140000	170000	310000
sodio	µg/l	Q	2900000	2800000	3400000	3100000	3300000
<b>COMPUESTOS INORGÁNICOS</b>							
fluoruro	mg/l	Q	<2.0 <sup>1)</sup>				
amoníaco	mgN/l	Q	14	9.0	11	9.9	22
bromuro (libre)	mg/l	Q	16	11	9.3	7.3	21
bicarbonato	mg/l	Q	700	440	320	430	510
<b>ANÁLISIS QUÍMICOS DIVERSOS</b>							
cloruro (libre) (Cl <sup>-</sup> )	mg/l	Q	5800 <sup>1)</sup>	3700 <sup>1)</sup>	3600 <sup>1)</sup>	3300 <sup>1)</sup>	7900 <sup>1)</sup>
nitrto	mg/l	Q	<1.0 <sup>1)</sup>				
nitrato	mg/l	Q	<2.0 <sup>1)</sup>				
sulfato	mg/l	Q	380	210	56	380	140
(oro) fosfato	mgP/l	Q	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

Los análisis marcados con una Q son acreditados/homologados por RVA

Código	Tipo de muestra	Descripción de la muestra
001	Agua Subterránea	Pz1
002	Agua Subterránea	Pz2
003	Agua Subterránea	Pz3
004	Agua Subterránea	Pz4
005	Agua Subterránea	Pz5

Rúbrica:



Amphos XXI Consulting, SL está acreditada por RVA (Real Inst. Acreditación) con número L006 de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 9001.  
Todos nuestros trabajos son llevados a cabo bajo condiciones generales de trabajo en el Código de Comercio de Barcelona según el número 2405286.



Amphos XXI Consulting, SL  
Ona Comella

### Resultados analíticos

Página 3 de 9

Proyecto CHEBRE  
Número Proyecto CHEBRE  
Número de Informe 11430969 - 1

Fecha de pedido 16-04-2009  
Fecha de Inicio 17-04-2009  
Fecha del Informe 22-04-2009

---

#### Comentarios

---

- 1 Limite de detección superior debido a una dilución necesaria.
- 2 Realizado con un analizador de flujo segmentado en vez de cromatografía iónica.



ALcontrol S.L. está acreditada por AENOR (Asociación Española) con número L208 de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 17025.  
Todos nuestros trabajos son llevados a cabo bajo condiciones generales disponibles en la Oficina de Control de Calidad bajo el número 20042204.

Rúbrica : 



Amphos XXI Consulting, SL  
Ona Comelà

Resultados analíticos

Página 4 de 9

Proyecto: CHEBRE  
Número Proyecto: CHEBRE  
Número de Informe: 11430969 - 1

Fecha de pedido: 16-04-2009  
Fecha de Inicio: 17-04-2009  
Fecha del Informe: 22-04-2009

Análisis	Unidad	Q	006	007	008	009	010
<b>METALES</b>							
calcio	µg/l	Q	200000	41000	140000	100000	310000
potasio	µg/l	Q	45000	190000	5100	38000	23000
magnesio	µg/l	Q	160000	1100000	36000	120000	74000
sodio	µg/l	Q	2300000	9200000	320000	1800000	850000
<b>COMPUESTOS INORGÁNICOS</b>							
fluoruro	mg/l	Q	<2.0 <sup>1)</sup>	2.5	<1.0 <sup>1)</sup>	<2.0 <sup>1)</sup>	<2.0 <sup>1)</sup>
amoníaco	mgN/l	Q	7.1	18	0.5	5.9	1.7
bromuro (libre)	mg/l	Q	5.5	34	<1.0 <sup>1)</sup>	5.4	<2.0 <sup>1)</sup>
bicarbonato	mg/l	Q	530	880	280	450	620
<b>ANÁLISIS QUÍMICOS DIVERSOS</b>							
cloruro (libre) (Cl-)	mg/l	Q	2700 <sup>1)</sup>	12000 <sup>1)</sup>	310 <sup>1)</sup>	2100 <sup>1)</sup>	750 <sup>1)</sup>
nitrito	mg/l	Q	<1.0 <sup>1)</sup>	27000	<0.50 <sup>1)</sup>	<1.0 <sup>1)</sup>	<1.0 <sup>1)</sup>
nitrato	mg/l	Q	<2.0 <sup>1)</sup>	<2.0 <sup>1)</sup>	<1.0 <sup>1)</sup>	<2.0 <sup>1)</sup>	<2.0 <sup>1)</sup>
sulfato	mg/l	Q	280	450	300	<20 <sup>1)</sup>	400
(orto) fosfato	mgP/l	Q	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1

Los análisis marcados con una Q son acreditados/homologados por RVA

Código	Tipo de muestra	Descripción de la muestra
006	Agua Subterránea	Pz6
007	Agua Subterránea	Pz7
008	Agua Subterránea	Pz8
009	Agua Subterránea	Pz9
010	Agua Subterránea	Pz10

Rúbrica:



ALcontrol SL es una sociedad por FIC (Real Decreto 1406/2002) con número LOR de acuerdo con la norma ISO/IEC 17025:2005.  
Toda nuestra documentación cumple con las condiciones generales publicadas en la Oficina de Consumo de Barcelona bajo el número 20042008



Amphos XXI Consulting, SL  
Ona Cornelià

### Resultados analíticos

Página 5 de 9

Proyecto CHEBRE  
Número Proyecto CHEBRE  
Número de Informe 11430969 - 1

Fecha de pedido 16-04-2009  
Fecha de inicio 17-04-2009  
Fecha del informe 22-04-2009

---

#### Comentarios

---

- 1 Limite de detección superior debido a una dilución necesaria.
- 2 Realizado con un analizador de flujo segmentado en vez de cromatografía iónica.



Amphos XXI Consulting, S.L. está acreditada por AENOR (Asociación Española) con número L209 de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 17025.  
Todos nuestros trabajos son llevados a cabo bajo condiciones generales establecidas en la Cámara de Comercio de Barcelona bajo el número 2002286.

Rúbrica :



ALcontrol Laboratories

Amphos XXI Consulting, SL  
Ona Cometa

## Resultados analíticos

Página 6 de 9

Proyecto CHEBRE  
Número Proyecto CHEBRE  
Número de Informe 11430969 - 1Fecha de pedido 16-04-2009  
Fecha de inicio 17-04-2009  
Fecha del Informe 22-04-2009

Análisis	Unidad	Q	011
<b>METALES</b>			
calcio	µg/l	Q	290000
potasio	µg/l	Q	140000
magnesio	µg/l	Q	400000
sodio	µg/l	Q	6100000
<b>COMPUESTOS INORGÁNICOS</b>			
fluoruro	mg/l	Q	<2,0 <sup>1)</sup>
amoníaco	mgN/l	Q	19
bromuro (libre)	mg/l	Q	26
bicarbonato	mg/l	Q	560
<b>ANÁLISIS QUÍMICOS DIVERSOS</b>			
cloruro (libre) (Cl <sup>-</sup> )	mg/l	Q	9300 <sup>1)</sup>
nitrito	mg/l	Q	<1,0 <sup>1)</sup>
nitrato	mg/l	Q	120
sulfato	mg/l	Q	570
(orto) fosfato	mgP/l		<0,1

Los análisis marcados con una Q son acreditados/homologados por RVA

Código	Tipo de muestra	Descripción de la muestra
011	Agua Subterránea	Pz11



ALcontrol S.L. está acreditada por ENAC (Real Decreto 1601/2002) con número 1238 de acuerdo con la norma ISO/IEC 17025:2005

Todos nuestros análisis son llevados a cabo bajo condiciones generales homologadas en el Consejo de Control de Referencia bajo el número 2420204.

Rúbrica :



Amphos XXI Consulting, SL  
Ona Comella

### Resultados analíticos

Página 7 de 9

Proyecto CHEBRE  
Número Proyecto CHEBRE  
Número de informe 11430969 - 1

Fecha de pedido 16-04-2009  
Fecha de inicio 17-04-2009  
Fecha del informe 22-04-2009

---

#### Comentarios

---

- 1 Limite de detección superior debido a una dilución necesaria.
- 2 Realizado con un analizador de flujo segmentado en vez de cromatografía iónica.



Amphos XXI está acreditada por AENOR (Asociación Española) con número LIC de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 17025.  
Todos nuestros métodos son basados en otros bajo condiciones generales depositados en la Cámara de Comercio de Madrid bajo el número 2402200.

Rúbrica :



Amphos XXI Consulting, SL  
Ona Cornelia

Resultados analíticos

Página 8 de 9

Proyecto CHEBRE  
Número Proyecto CHEBRE  
Número de informe 11430969 - 1

Fecha de pedido 16-04-2009  
Fecha de inicio 17-04-2009  
Fecha del informe 22-04-2009

Análisis	Tipo de muestra	Relación con el estándar
calcio	Agua Subterránea	Seguendo norma NEN 6426 (ICP-AES)
potasio	Agua Subterránea	idem
magnesio	Agua Subterránea	idem
sodio	Agua Subterránea	idem
fluoruro	Agua Subterránea	Conforme NEN-EN-ISO 10304-1 y/o -2, cromatografía iónica
amoníaco	Agua Subterránea	Método propio
bromuro (libre)	Agua Subterránea	Conforme NEN-EN-ISO 10304-1 y/o -2, cromatografía iónica
bicarbonato	Agua Subterránea	Método propio
cloruro (libre) (Cl-)	Agua Subterránea	Conforme NEN-EN-ISO 10304-1 y/o -2, cromatografía iónica
nitró	Agua Subterránea	idem
nitrito	Agua Subterránea	idem
sulfato	Agua Subterránea	idem
(orto) fosfato	Agua Subterránea	Método propio

Muestra	Código Barras	Fecha de recepción	Fecha Muestreo	Container
001	B4119812	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
001	B4119813	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
001	B8831645	17-04-2009	16-04-2009	ALC204
001	G9374204	17-04-2009	16-04-2009	ALC236
001	S9065214	17-04-2009	16-04-2009	ALC237
002	B4119736	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
002	B4119816	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
002	B8831646	17-04-2009	16-04-2009	ALC204
002	G9374200	17-04-2009	16-04-2009	ALC236
002	S9065218	17-04-2009	16-04-2009	ALC237
003	B4119806	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
003	B4119807	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
003	B8831647	17-04-2009	16-04-2009	ALC204
003	G9374207	17-04-2009	16-04-2009	ALC236
003	S9065222	17-04-2009	16-04-2009	ALC237
004	B4119815	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
004	B4119818	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
004	B8831640	17-04-2009	16-04-2009	ALC204
004	G9374208	17-04-2009	16-04-2009	ALC236
004	S9065220	17-04-2009	16-04-2009	ALC237
005	B4119814	17-04-2009	16-04-2009	ALC207

Rúbrica:



Amphos XXI está acreditada por AENOR (Realidad Asociada) con número L03 de acuerdo con la norma ISO/IEC 17025:2005.  
Toda nuestra actividad está sujeta a estas condiciones generales de acreditación en la Oficina de Control de Polémica bajo el número 24000200



ALcontrol Laboratories

Amphos XXI Consulting, SL  
Ona Cornelia

Resultados analíticos

Página 9 de 9

Proyecto CHEBRE  
Número Proyecto CHEBRE  
Número de informe 11430969 - 1

Fecha de pedido 16-04-2009  
Fecha de inicio 17-04-2009  
Fecha del Informe 22-04-2009

Muestra	Código Barras	Fecha de recepción	Fecha Muestreo	Container
005	B4119817	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
005	B8831644	17-04-2009	16-04-2009	ALC204
005	G9374199	17-04-2009	16-04-2009	ALC236
005	S9065215	17-04-2009	16-04-2009	ALC237
006	B4119811	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
006	B4119819	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
006	B8831642	17-04-2009	16-04-2009	ALC204
006	G9374206	17-04-2009	16-04-2009	ALC236
006	S9065219	17-04-2009	16-04-2009	ALC237
007	B4119821	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
007	B4119823	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
007	B8831651	17-04-2009	16-04-2009	ALC204
007	G9374203	17-04-2009	16-04-2009	ALC236
007	S9065216	17-04-2009	17-04-2009	ALC237
008	B4119824	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
008	B4119828	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
008	B8831650	17-04-2009	16-04-2009	ALC204
008	G9374202	17-04-2009	16-04-2009	ALC236
008	S9065223	17-04-2009	16-04-2009	ALC237
009	B4119810	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
009	B4119820	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
009	B8831648	17-04-2009	16-04-2009	ALC204
009	G9374195	17-04-2009	16-04-2009	ALC236
009	S9065227	17-04-2009	16-04-2009	ALC237
010	B4119804	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
010	B4119808	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
010	B8831641	17-04-2009	16-04-2009	ALC204
010	G9374196	17-04-2009	16-04-2009	ALC236
010	S9065226	17-04-2009	16-04-2009	ALC237
011	B4119827	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
011	B4119833	17-04-2009	16-04-2009	ALC207
011	B8831634	17-04-2009	16-04-2009	ALC204
011	G9374198	17-04-2009	16-04-2009	ALC236
011	S9065224	17-04-2009	16-04-2009	ALC237

Día teórico de muestreo



Amphos XXI, está acreditada por AENOR (Realidad Analítica) con número L209 de acuerdo con la norma UNE EN ISO 17025.  
Todos nuestros trabajos son llevados a cabo bajo condiciones generales detalladas en el Contrato de Comisión de Análisis con el número 200209.

Rúbrica :

El boletín correspondiente a la segunda campaña se muestra a continuación.

**Informe tècnic corresponent a la sol·licitud d'anàlisi número: 09-36401**

Sol·licitat per: **AMPHOS 21**

Característiques de la mostra:

Registre número: **09-36401/01**

Descripció:

Tipus de mostra: Aigua de consum

Referència externa: PZ 1

Data recollida: 14/07/2009

Data recepció: 15/07/2009

Recollit per: Interessats

PARÀMETRES	Resultats	Màxim	Mètode d'anàlisi
Alcalinitat total (mg HCO <sub>3</sub> /L)	985		Volumetria àcid-base.
Amoni (mg/L)	14.91 (*)	0.5	M. colorimètric del blau d'Indofenol.
Bromurs (mg/L)	9		Cromatografia iònica.
Calci (mg/L)	192		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Clorurs (mg/L)	3080 (*)	250	Cromatografia iònica.
Conductivitat a 20 °C (µS/cm)	9450 (*)	2500	Conductimetria.
Fluor (µg/L)	371	1500	Electrode selectiu.
Fosfats (mg/L)	<5		Cromatografia iònica.
Magnesi (mg/L)	167		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Nitrats (mg/L)	<5	50	Cromatografia iònica.
Nitrits (mg/L)	<0.01	0.1	M. colorimètric de Griess.
pH 20°C	7.6	> 0.5 / < 9.5	Mètode potenciomètric.
Potassi (mg/L)	31.9		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sodi (mg/L)	2093 (*)	200	E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sulfats (mg/L)	385 (*)	250	Cromatografia iònica.

Conclusions:

La mostra no compleix, pel que fa als paràmetres marcats amb asterisc, les especificacions de:

R.D. 140/2003 (Criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà).

L'autoritat sanitària ha de valorar la qualificació de l'aigua com **Apta** o **No Apta** pel consum humà en funció del risc per a la salut dels consumidors tal com indica l'article 27.7 del R.D. 140/2003.

El present dictamen només dóna fe de la mostra rebuda al Laboratori. La reproducció d'aquest document solament està autoritzada si es fa en la seva totalitat.

Responsable Secció Química

Vist-i-plau Direcció

Ricard de Àlvaro Doering

Marta Calvet i Roca  
Mataró, 17 de juliol del 2009

**Informe tècnic corresponent a la sol·licitud d'anàlisi número: 09-36401**Sol·licitat per: **AMPHOS 21****Característiques de la mostra:**Registre número: **09-36401/02**

Descripció:

Tipus de mostra: Aigua de consum

Referència externa: PZ 2

Data recollida: 14/07/2009

Recollit per: Interessats

Data recepció: 15/07/2009

PARÀMETRES	Resultats	Màxim	Mètode d'anàlisi
Alcalinitat total (mg HCO <sub>3</sub> /L)	753		Volumetria àcid-base.
Amoni (mg/L)	18.32 (*)	0.5	M. colorimètric del blau d'indofenol.
Bromurs (mg/L)	6		Cromatografia iònica.
Calci (mg/L)	1458		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Clorurs (mg/L)	2740 (**)	250	Cromatografia iònica.
Conductivitat a 20 °C (µS/cm)	8390 (**)	2500	Conductimetria.
Fluor (µg/L)	574	1500	Electrode selectiu.
Fosfats (mg/L)	<5		Cromatografia iònica.
Magnesi (mg/L)	168		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Nitrats (mg/L)	<5	50	Cromatografia iònica.
Nitrits (mg/L)	<0.01	0.1	M. colorimètric de Griess.
pH 20°C	7.9	> 0.5 / < 9.5	Mètode potenciomètric.
Potassi (mg/L)	201.8		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sodi (mg/L)	1838 (**)	200	E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sulfats (mg/L)	94	250	Cromatografia iònica.

Conclusions:

La mostra no compleix, pel que fa als paràmetres marcats amb asterisc, les especificacions de:

R.D. 140/2003 (Criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humana).

L'autoritat sanitària ha de valorar la qualificació de l'aigua com **Apta** o **No Apta** pel consum humà en funció del risc per a la salut dels consumidors tal com indica l'article 27.7 del R.D. 140/2003.

El present dictamen només dóna fe de la mostra rebuda al Laboratori. La reproducció d'aquest document solament està autoritzada si es fa en la seva totalitat.

Responsable Secció Química

Vist-i-plau Direcció

Ricard de Àlvaro Doering

Marta Calvet i Roca  
Mataró, 17 de juliol del 2009

Pàgina 1 de 1

**Informe tècnic corresponent a la sol·licitud d'anàlisi número: 09-36401**Sol·licitat per: **AMPHOS 21***Característiques de la mostra:*Registre número: **09-36401/03**

Descripció:

Tipus de mostra: Aigua de consum

Referència externa: PZ 3

Data recollida: 14/07/2009

Recollit per: Interessats

Data recepció: 15/07/2009

PARÀMETRES	Resultats	Màxim	Mètode d'anàlisi
Alcalinitat total (mg HCO <sub>3</sub> /L)	351		Volumetria acid-base.
Amoni (mg/L)	37.03 (*)	0.5	M. colorimètric del blau d'Indofenol.
Bromurs (mg/L)	17		Cromatografia iònica.
Calci (mg/L)	1513		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Clorurs (mg/L)	6180 (*)	250	Cromatografia iònica.
Conductivitat a 20 °C (µS/cm)	15980 (*)	2500	Conductimetria.
Fluor (µg/L)	530	1500	Electrode selectiu.
Fosfats (mg/L)	<5		Cromatografia iònica.
Magnesi (mg/L)	274		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Nitrats (mg/L)	<5	50	Cromatografia iònica.
Nitrits (mg/L)	<0.01	0.1	M. colorimètric de Griess.
pH 20°C	7.5	> 6.5 / < 9.5	Mètode potenciomètric.
Potassi (mg/L)	250.5		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sodi (mg/L)	3470 (*)	200	E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sulfats (mg/L)	63	250	Cromatografia iònica.

Conclusions:

La mostra no compleix, pel que fa als paràmetres marcats amb asterisc, les especificacions de:

R.D. 140/2003 (Criteris sanitàries de la qualitat de l'aigua de consum humà).

L'autoritat sanitària ha de valorar la qualificació de l'aigua com Apta o No Apta pel consum humà en funció del risc per a la salut dels consumidors tal com indica l'article 27.7 del R.D. 140/2003.

El present dictamen només dóna fe de la mostra rebuda al Laboratori. La reproducció d'aquest document solament està autoritzada si es fa en la seva totalitat.

Responsable Secció Química

Vist-i-plau Direcció

Ricard de Àlvaro Doering

Marta Calvet i Roca  
Mataró, 17 de juliol del 2009

**Informe tècnic corresponent a la sol·licitud d'anàlisi número: 09-36401**Sol·licitat per: **AMPHOS 21**

Característiques de la mostra:

Registre número: 09-36401/04

Descripció:

Tipus de mostra: Aigua de consum

Referència externa: PZ 4

Data recollida: 14/07/2009

Recollit per: Interessats

Data recepció: 15/07/2009

PARÀMETRES	Resultats	Màxim	Mètode d'anàlisi
Alcalinitat total (mg HCO <sub>3</sub> /L)	356		Volumetria acid-base.
Amoni (mg/L)	22.92 (*)	0.5	M. colorimètric del blau d'indofenol.
Bromurs (mg/L)	12		Cromatografia iònica.
Calci (mg/L)	117		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Clorurs (mg/L)	4250 (*)	250	Cromatografia iònica.
Conductivitat a 20 °C (µS/cm)	11900 (*)	2500	Conductimetria.
Fluor (µg/L)	551	1500	Electrode selectiu.
Fosfats (mg/L)	<5		Cromatografia iònica.
Magnesi (mg/L)	191		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Nitrats (mg/L)	<5	50	Cromatografia iònica.
Nitrits (mg/L)	<0.01	0.1	M. colorimètric de Griess.
pH 20°C	7.4	> 6.5 / < 9.5	Mètode potenciomètric.
Potassi (mg/L)	58.8		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sodi (mg/L)	2571 (*)	200	E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sulfats (mg/L)	121	250	Cromatografia iònica.

Conclusions:

La mostra no compleix, pel que fa als paràmetres marcats amb asterisc, les especificacions de:

R.D. 140/2003 (Criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà).

**L'autoritat sanitària ha de valorar la qualificació de l'aigua com Apta o No Apta pel consum humà en funció del risc per a la salut dels consumidors tal com indica l'article 27.7 del R.D. 140/2003.**

El present dictamen només dóna fe de la mostra rebuda al Laboratori. La reproducció d'aquest document solament està autoritzada si es fa en la seva totalitat.

Responsable Secció Química

Vist-i-plau Direcció

Ricard de Àlvaro Doering

Marta Calvet i Roca  
Mataró, 17 de juliol del 2009

**Informe tècnic corresponent a la sol·licitud d'anàlisi número: 09-36401**Sol·licitat per: **AMPHOS 21**

Característiques de la mostra:

Registre número: 09-36401/05

Descripció:

Tipus de mostra: Aigua de consum

Referència externa: PZ 5

Data recollida: 14/07/2009

Data recepció: 15/07/2009

Recollit per: Interessats

PARÀMETRES	Resultats	Màxim	Mètode d'anàlisi
Alcalinitat total (mg HCO <sub>3</sub> /L)	547		Volumetria acid-base.
Amoni (mg/L)	11.30 (*)	0.5	M. colorimètric del blau d'indofenol.
Bromurs (mg/L)	8		Cromatografia iònica.
Calci (mg/L)	751		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Clorurs (mg/L)	1960 (*)	250	Cromatografia iònica.
Conductivitat a 20 °C (µS/cm)	6340 (*)	2500	Conductimetria.
Fluor (µg/L)	417	1500	Electrode selectiu.
Fosfats (mg/L)	<5		Cromatografia iònica.
Magnesi (mg/L)	122		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Nitrats (mg/L)	<5	50	Cromatografia iònica.
Nitrits (mg/L)	<0.01	0.1	M. colorimètric de Griess.
pH 20°C	7.5	> 6.5 / < 8.5	Mètode potenciomètric.
Potassi (mg/L)	64.6		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sodi (mg/L)	1133 (*)	200	E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sulfats (mg/L)	184	250	Cromatografia iònica.

Conclusions:

La mostra no compleix, pel que fa als paràmetres marcats amb asterisc, les especificacions de:

R.D. 140/2003 (Criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà).

**L'autoritat sanitària ha de valorar la qualificació de l'aigua com Apta o No Apta pel consum humà en funció del risc per a la salut dels consumidors tal com indica l'article 27.7 del R.D. 140/2003.**

El present dictamen només dóna fe de la mostra rebuda al Laboratori. La reproducció d'aquest document solament està autoritzada si es fa en la seva totalitat.

Responsable Secció Química

Vist-i-plau Direcció

Ricard de Àlvaro Doering

Marta Calvet i Roca  
Mataró, 17 de juliol del 2009

**Informe tècnic corresponent a la sol·licitud d'anàlisi número: 09-36401**Sol·licitat per: **AMPHOS 21****Característiques de la mostra:**Registre número: **09-36401/06**

Descripció:

Tipus de mostra: Aigua de consum

Referència externa: PZ 8

Data recollida: 14/07/2009

Recollit per: Interessats

Data recepció: 15/07/2009

PARÀMETRES	Resultats	Màxim	Mètode d'anàlisi
Alcalinitat total (mg HCO <sub>3</sub> /L)	658		Volumetria acid-base.
Amoni (mg/L)	27.99 (*)	0.5	M. colorimètric del blau d'indofenol.
Bromurs (mg/L)	20		Cromatografia iònica.
Calci (mg/L)	916		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Clorurs (mg/L)	6620 (*)	250	Cromatografia iònica.
Conductivitat a 20 °C (µS/cm)	18130 (*)	2500	Conductimetria.
Fluor (µg/L)	574	1500	Electrode selectiu.
Fosfats (mg/L)	<5		Cromatografia iònica.
Magnesi (mg/L)	402		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Nitrats (mg/L)	<5	50	Cromatografia iònica.
Nitrits (mg/L)	<0.01	0.1	M. colorimètric de Griess.
pH 20°C	7.2	> 6.5 / < 9.5	Mètode potenciomètric.
Potassi (mg/L)	93.8		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sodi (mg/L)	3366 (*)	200	E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sulfats (mg/L)	223	250	Cromatografia iònica.

**Conclusions:**

La mostra no compleix, pel que fa als paràmetres marcats amb asterisc, les especificacions de:

R.D. 140/2003 (Criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà).

**L'autoritat sanitària ha de valorar la qualificació de l'aigua com Apta o No Apta pel consum humà en funció del risc per a la salut dels consumidors tal com indica l'article 27.7 del R.D. 140/2003.**

El present dictamen només dóna fe de la mostra rebuda al Laboratori. La reproducció d'aquest document solament està autoritzada si es fa en la seva totalitat.

Responsable Secció Química

Vist-i-plau Direcció

Ricard de Àlvaro Doering

Marta Calvet i Roca  
Mataró, 17 de juliol del 2009

**Informe tècnic corresponent a la sol·licitud d'anàlisi número: 09-36401**Sol·licitat per: **AMPHOS 21***Característiques de la mostra:*Registre número: **09-36401/07**

Descripció:

Tipus de mostra: Aigua de consum

Referència externa: PZ 7

Data recollida: 14/07/2009

Recollit per: Interessats

Data recepció: 15/07/2009

PARÀMETRES	Resultats	Màxim	Mètode d'anàlisi
Alcalinitat total (mg HCO <sub>3</sub> /L)	1448		Volumetria acid-base.
Amoni (mg/L)	<b>44.44 (*)</b>	0.5	M. colorimètric del blau d'indofenol.
Bromurs (mg/L)	70		Cromatografia iònica.
Calci (mg/L)	154		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Clorurs (mg/L)	<b>22800 (*)</b>	250	Cromatografia iònica.
Conductivitat a 20 °C (µS/cm)	<b>50960 (*)</b>	2500	Conductimetria.
Fluor (µg/L)	961	1500	Electrode selectiu.
Fosfats (mg/L)	<5		Cromatografia iònica.
Magnesi (mg/L)	1518		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Nitrats (mg/L)	<5	50	Cromatografia iònica.
Nitrits (mg/L)	<0.01	0.1	M. colorimètric de Griess.
pH 20°C	7.5	> 6.5 i < 9.5	Mètode potenciomètric.
Potassi (mg/L)	277.3		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sodi (mg/L)	<b>12475 (*)</b>	200	E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sulfats (mg/L)	<b>989 (*)</b>	250	Cromatografia iònica.

Conclusions:

La mostra no compleix, pel que fa als paràmetres marcats amb asterisc, les especificacions de:

R.D. 140/2003 (Criteris sanitàries de la qualitat de l'aigua de consum humà).

L'autoritat sanitària ha de valorar la qualificació de l'aigua com Apta o No Apta pel consum humà en funció del risc per a la salut dels consumidors tal com indica l'article 27.7 del R.D. 140/2003.

El present dictamen només dóna fe de la mostra rebuda al Laboratori. La reproducció d'aquest document solament està autoritzada si es fa en la seva totalitat.

Responsable Secció Química

Vist-i-plau Direcció

Ricard de Àlvaro Doering

Marta Calvet i Roca  
Mataró, 17 de juliol del 2009

**Informe tècnic corresponent a la sol·licitud d'anàlisi número: 09-36401**Sol·licitat per: **AMPHOS 21***Característiques de la mostra:*Registre número: **09-36401/08**

Descripció:

Tipus de mostra: Aigua de consum

Referència externa: PZ 8

Data recollida: 14/07/2009

Recollit per: Interessats

Data recepció: 15/07/2009

PARÀMETRES	Resultats	Màxim	Mètode d'anàlisi
Alcalinitat total (mg HCO <sub>3</sub> /L)	278		Volumetria acid-base.
Amoni (mg/L)	<b>39.04 (*)</b>	0.5	M. colorimètric del blau d'indofenol.
Bromurs (mg/L)	<2		Cromatografia iònica.
Calci (mg/L)	157		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Clorurs (mg/L)	<b>276 (**)</b>	250	Cromatografia iònica.
Conductivitat a 20 °C (µS/cm)	1610	2500	Conductimetria.
Fluor (µg/L)	329	1500	Electrode selectiu.
Fosfats (mg/L)	<5		Cromatografia iònica.
Magnesi (mg/L)	38		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Nitrats (mg/L)	<5	50	Cromatografia iònica.
Nitrits (mg/L)	<0.01	0.7	M. colorimètric de Griess.
pH 20°C	7.6	> 0.5 / < 0.5	Mètode potenciomètric.
Potassi (mg/L)	7.5		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sodi (mg/L)	164	200	E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sulfats (mg/L)	<b>276 (**)</b>	250	Cromatografia iònica.

Conclusions:

La mostra no compleix, pel que fa als paràmetres marcats amb asterisc, les especificacions de:

R.D. 140/2003 (Criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà).

**L'autoritat sanitària ha de valorar la qualificació de l'aigua com Apta o No Apta pel consum humà en funció del risc per a la salut dels consumidors tal com indica l'article 27.7 del R.D. 140/2003.**

El present dictamen només dona fe de la mostra rebuda al Laboratori. La reproducció d'aquest document solament està autoritzada si es fa en la seva totalitat.

Responsable Secció Química

Vist-i-plau Direcció

Ricard de Àlvaro Doering

Marta Calvet i Roca  
Mataró, 17 de juliol del 2009

**Informe tècnic corresponent a la sol·licitud d'anàlisi número: 09-36401**Sol·licitat per: **AMPHOS 21**

Característiques de la mostra:

Registre número: 09-36401/09

Descripció:

Tipus de mostra: Aigua de consum

Referència externa: PZ 9

Data recollida: 14/07/2009

Recollit per: Interessats

Data recepció: 15/07/2009

PARÀMETRES	Resultats	Màxim	Mètode d'anàlisi
Alcalinitat total (mg HCO <sub>3</sub> /L)	453		Volumetria acid-base.
Amoni (mg/L)	38.01 (*)	0.5	M. colorimètric del blau d'Indofenol.
Bromurs (mg/L)	31		Cromatografia iònica.
Calci (mg/L)	113		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Clorurs (mg/L)	10300 (**)	250	Cromatografia iònica.
Conductivitat a 20 °C (µS/cm)	25800 (*)	2500	Conductimetria.
Fluor (µg/L)	489	1500	Electrode selectiu.
Fosfats (mg/L)	<5		Cromatografia iònica.
Magnesi (mg/L)	494		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Nitrats (mg/L)	<5	50	Cromatografia iònica.
Nitrits (mg/L)	<0.01	0.1	M. colorimètric de Griess.
pH 20°C	7.2	> 6.5 / < 9.5	Mètode potenciomètric.
Potassi (mg/L)	122.0		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sodi (mg/L)	5719 (**)	200	E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sulfats (mg/L)	65	250	Cromatografia iònica.

Conclusions:

La mostra no compleix, pel que fa als paràmetres marcats amb asterisc, les especificacions de:

R.D. 140/2003 (Criteris sanitària de la qualitat de l'aigua de consum humà).

L'autoritat sanitària ha de valorar la qualificació de l'aigua com Apta o No Apta pel consum humà en funció del risc per a la salut dels consumidors tal com indica l'article 27.7 del R.D. 140/2003.

El present dictamen només dona fe de la mostra rebuda al Laboratori. La reproducció d'aquest document solament està autoritzada si es fa en la seva totalitat.

Responsable Secció Química

Vist-i-plau Direcció

Ricard de Àlvaro Doering

Marta Calvet i Roca  
Mataró, 17 de juliol del 2009

Pàgina 1 de 1

**Informe tècnic corresponent a la sol·licitud d'anàlisi número: 09-36401**Sol·licitat per: **AMPHOS 21***Característiques de la mostra:*Registre número: **09-36401/10**

Descripció:

Tipus de mostra: Aigua de consum

Referència externa: PZ 10

Data recollida: 14/07/2009

Recollit per: Interessats

Data recepció: 15/07/2009

PARÀMETRES	Resultats	Màxim	Mètode d'anàlisi
Alcalinitat total (mg HCO <sub>3</sub> /L)	1118		Volumetria acid-base.
Amoni (mg/L)	<b>24.01 (*)</b>	0.5	M. colorimètric del blau d'indofenol.
Bromurs (mg/L)	26		Cromatografia iònica.
Calci (mg/L)	291		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Clorurs (mg/L)	<b>8660 (*)</b>	250	Cromatografia iònica.
Conductivitat a 20 °C (µS/cm)	<b>22820 (*)</b>	2500	Conductimetria.
Fluor (µg/L)	509	1500	Electrode selectiu.
Fosfats (mg/L)	<5		Cromatografia iònica.
Magnesi (mg/L)	481		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Nitrats (mg/L)	<5	50	Cromatografia iònica.
Nitrits (mg/L)	<0.01	0.1	M. colorimètric de Griess.
pH 20°C	7.2	> 6.5 / < 9.5	Mètode potenciomètric.
Potassi (mg/L)	111.8		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sodi (mg/L)	<b>4944 (*)</b>	200	E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sulfats (mg/L)	132	250	Cromatografia iònica.

Conclusions:

La mostra no compleix, pel que fa als paràmetres marcats amb asterisc, les especificacions de:

R.D. 140/2003 (Criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà).

L'autoritat sanitària ha de valorar la qualificació de l'aigua com **Apta** o **No Apta** pel consum humà en funció del risc per a la salut dels consumidors tal com indica l'article 27.7 del R.D. 140/2003.

El present dictamen només dóna fe de la mostra rebuda al Laboratori. La reproducció d'aquest document solament està autoritzada si es fa en la seva totalitat.

Responsable Secció Química

Vist-i-plau Direcció

Ricard de Àlvaro Doering

Marta Calvet i Roca  
Mataró, 17 de juliol del 2009

**Informe tècnic corresponent a la sol·licitud d'anàlisi número: 09-36401**Sol·licitat per: **AMPHOS 21**

Característiques de la mostra:

Registre número: **09-36401/11**

Descripció:

Tipus de mostra: Aigua de consum

Referència externa: PZ 111

Data recollida: 14/07/2009

Recollit per: Interessats

Data recepció: 15/07/2009

PARÀMETRES	Resultats	Màxim	Mètode d'anàlisi
Alcalinitat total (mg HCO <sub>3</sub> /L)	1400		Volumetria acid-base.
Amoni (mg/L)	<b>45.77 (*)</b>	0.5	M. colorimètric del blau d'indofenol.
Bromurs (mg/L)	13		Cromatografia iònica.
Calci (mg/L)	827		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Clorurs (mg/L)	<b>14800 (*)</b>	250	Cromatografia iònica.
Conductivitat a 20 °C (µS/cm)	<b>34640 (*)</b>	2500	Conductimetria.
Fluor (µg/L)	470	1500	Electrode selectiu.
Fosfats (mg/L)	<5		Cromatografia iònica.
Magnesi (mg/L)	780		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Nitrats (mg/L)	<5	50	Cromatografia iònica.
Nitrits (mg/L)	<0.01	0.1	M. colorimètric de Griess.
pH 20°C	7.0	> 6.5 / < 8.5	Mètode potenciomètric.
Potassi (mg/L)	180.0		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sodi (mg/L)	<b>8244 (*)</b>	200	E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sulfats (mg/L)	88	250	Cromatografia iònica.

Conclusions:

La mostra no compleix, pel que fa als paràmetres marcats amb asterisc, les especificacions de:

R.D. 140/2003 (Criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà).

L'autoritat sanitària ha de valorar la qualificació de l'aigua com **Apta** o **No Apta** pel consum humà en funció del risc per a la salut dels consumidors tal com indica l'article 27.7 del R.D. 140/2003.

El present dictamen només dona fe de la mostra rebuda al Laboratori. La reproducció d'aquest document solament està autoritzada si es fa en la seva totalitat.

Responsable Secció Química

Vist-i-plau Direcció

Ricard de Àlvaro Doering

Marta Calvet i Roca  
Mataró, 17 de juliol del 2009

**Informe tècnic corresponent a la sol·licitud d'anàlisi número: 09-36401**Sol·licitat per: **AMPHOS 21****Característiques de la mostra:**Registre número: **09-36401/12**

Descripció:

Tipus de mostra: Aigua de consum

Referència externa: RP 1

Data recollida: 14/07/2009

Recollit per: Interessats

Data recepció: 15/07/2009

PARÀMETRES	Resultats	Màxim	Mètode d'anàlisi
Alcalinitat total (mg HCO <sub>3</sub> /L)	188		Volumetria acid-base.
Amoni (mg/L)	23.77 (*)	0.5	M. colorimètric del blau d'Indofenol.
Bromurs (mg/L)	3		Cromatografia iònica.
Calci (mg/L)	117		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Clorurs (mg/L)	953 (*)	250	Cromatografia iònica.
Conductivitat a 20 °C (µS/cm)	3330 (*)	2500	Conductimetria.
Fluor (µg/L)	270	1500	Electrode selectiu.
Fosfats (mg/L)	<5		Cromatografia iònica.
Magnesi (mg/L)	77		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Nitrats (mg/L)	8	50	Cromatografia iònica.
Nitrits (mg/L)	0.04	0.1	M. colorimètric de Griess.
pH 20°C	8.4	> 6.5 / < 9.5	Mètode potenciomètric.
Potassi (mg/L)	10.6		E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sodi (mg/L)	474 (*)	200	E.A.A. Tècnica d'atomització per flama.
Sulfats (mg/L)	285 (*)	250	Cromatografia iònica.

Conclusions:

La mostra no compleix, pel que fa als paràmetres marcats amb asterisc, les especificacions de:

R.D. 140/2003 (Criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà).

L'autoritat sanitària ha de valorar la qualificació de l'aigua com **Apta** o **No Apta** pel consum humà en funció del risc per a la salut dels consumidors tal com indica l'article 27.7 del R.D. 140/2003.

El present dictamen només dóna fe de la mostra rebuda al Laboratori. La reproducció d'aquest document solament està autoritzada si es fa en la seva totalitat.

Responsable Secció Química

Vist-i-plau Direcció

Ricard de Àlvaro Doering

Marta Calvet i Roca  
Mataró, 17 de juliol del 2009

## 2. Anejo, nivelación topográfica

Durante los días 13 y 14 de marzo de 2009 se realizaron los trabajos de nivelación topográfica. Para ello se utilizó un equipo Geo Fennel No. 10 de 22 aumentos. Los resultados obtenidos en campo y la distribución de los puntos se muestran a continuación:

Tabla 2.1. Datos topográficos para la línea 1.

Nombre del punto	Lectura (m)	Estación	Lectura (m)	Nombre del punto
Puente perfil 1	0.667	E1	0.251	Punto azul en el puente del perfil 1
		E1	1.01	Pz3
		E1	1.911	P1 cemento de la acequia
P1	1.658	E2	1.851	Pz2
Pz2	1.353	E3	1.244	P2
P2	1.57	E4	1.726	Pz1
Pz1	1.71	E5	2.564	Perfil río RP1

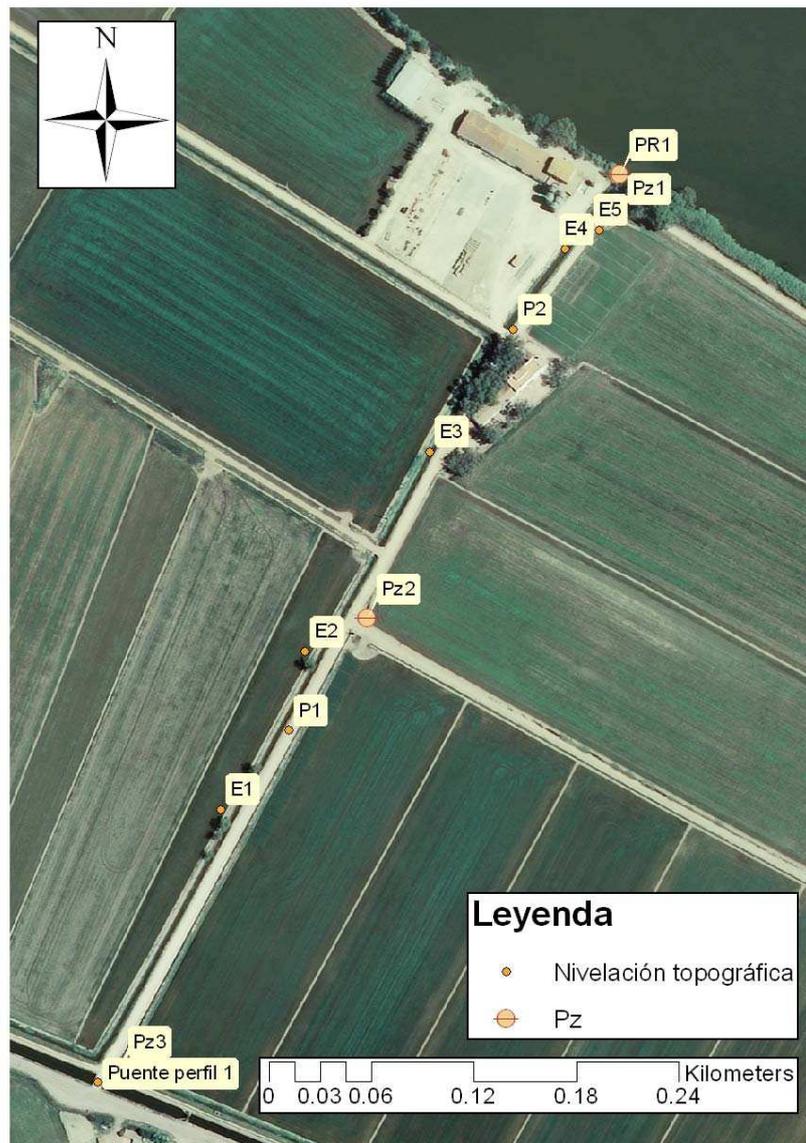


Figura 2.1. Distribución de las estaciones y puntos de medición para la línea 1.

Tabla 2.2. Datos topográficos para la línea 2.

Nombre del punto	Lectura (m)	Estación	Lectura (m)	Nombre del punto
Puente perfil 2	0.362	E1	1.011	Pz5
		E1	1.781	Punto camino P1
P1	1.47	E2	1.48	P2
P2	1.548	E3	1.381	P3
P3	1.722	E4	1.339	Pz4
			2.878	RP2
Perfil río 2	0.69	E5	1.885	P4
P4	1.511	E6	1.822	P5
P5	1.403	E7	1.608	Pz6
Pz6	1.5	E8	1.569	P6
P6	1.49	E9	1.506	Pz7



Figura 2.2. Distribución de las estaciones y puntos de medición para la línea 2.

Tabla 2.3. Datos topográficos para la línea 3.

Nombre del punto	lectura	Estació	lectura	Nombre del punto	z
Ponty pent	0.56	E1	2.196	Pz8	1.464
		E1	2.016	P1	1.644
P1	1.055	E2	1.704	RiuPerfil RP3 (rail)	0.995
Pont perf 3	0.18	E3	2.154	P2	1.126
P2	1.556	E4	1.554	P3	1.128
P3	1.575	E5	1.59	Pz9	1.113
Pz9	1.571	E5	1.674	P4	1.01
P4	1.526	E7	1.589	Pz10	0.947
Pz10	1.42	E8	1.273	P5 (tmb)	1.094
P5 (tub)	1.267	E9	1.454	Pz11	0.907
			1.61	Acequia final perfil 3 (pz 11)	0.751

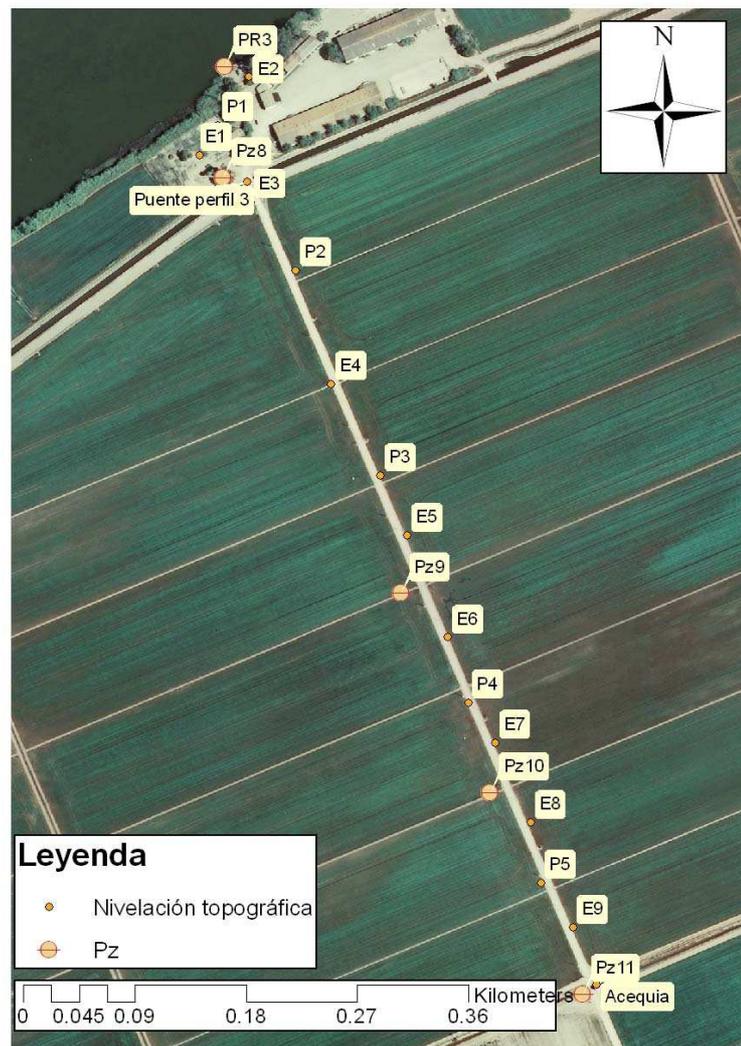


Figura 2.3. Distribución de las estaciones y puntos de medición para la línea 3.

Tabla 2.4. Datos topográficos para la línea 3.

Punto	Nivel
-------	-------

	topográfico
Pz1	1.416
Pz2	1.463
Pz3	2.557
Pz4	2.021
Pz5	2.251
Pz6	1.189
Pz7	1.104
Pz8	1.464
Pz9	1.113
Pz10	0.947
Pz11	0.907
RP1	0.562
RP2	0.482
RP3	0.995

### 3. Anejo, fotografías

Durante la campaña de perforación se realizaron fotografías de la situación y los trabajos de perforación, como se muestra en las siguientes imágenes. Más fotografías se pueden encontrar en la carpeta fotografías del CD adjunto.

#### 3.1 Situación de los piezómetros



Figura 3.1. Detalle del material excavado durante los primeros metros en el piezómetro Pz1.



Figura 3.2. Detalle del material excavado a partir de los primeros metros en el piezómetro Pz1.



Figura 3.3. Detalle del material excavado a partir de los primeros metros en el piezómetro Pz2 (gris), junto al material excavado en los primeros metros (marrón).



Figura 3.4. Detalle del material excavado a partir de los primeros metros en el piezómetro Pz3.



Figura 3.5. Detalle del material excavado durante los primeros metros en el piezómetro Pz4.



Figura 3.6. Detalle del material excavado durante los primeros metros en el piezómetro Pz5.



Figura 3.7. Pozo clausurado a escasos metros del piezómetro Pz5.



Figura 3.8. Canal "de la Dreta" situado a escasos 10 metros del piezómetro Pz5.



Figura 3.9. Detalle del material excavado durante los primeros metros en el piezómetro Pz6.



Figura 3.10. Estación meteorológica situada en la propiedad de Mitjorn, a escasos metros del piezómetro Pz8.



Figura 3.11. Detalle del material excavado durante los primeros metros en el piezómetro Pz8.



Figura 3.12. Detalle del material excavado a partir de los primeros metros en el piezómetro Pz8.



Figura 3.13. Detalle del material excavado a partir de los primeros metros en el piezómetro Pz8.



Figura 3.14. Detalle del material excavado en los primeros metros en el piezómetro Pz10.



Figura 3.15. Detalle del material excavado a partir de los primeros metros en el piezómetro Pz10.



Figura 3.16. Situación del piezómetro Pz11 donde se puede apreciar la finca de Mitjorn al fondo.



Figura 3.17. Situación del piezómetro Pz11 junto al lado de la estación de bombeo.



Figura 3.18. Detalle del material excavado en los primeros metros en el piezómetro Pz11.



Figura 3.19. Detalle del material excavado a partir de los primeros metros en el piezómetro Pz11.

### 3.2 Método constructivo:



Figura 3.20. Perforación de los piezómetros a destroza, piezómetro Pz5.



Figura 3.21. Colocación del tubo de PVC de 4", piezómetro Pz5.



Figura 3.22. Finalización del entubado, piezómetro Pz9.



Figura 3.23. Grava silíceica de 2.5 mm, colocada a modo de prefiltro.



Figura 3.24. Colocación de pellets para el sellado del piezómetro.



Figura 3.25. Piezómetro Pz8 finalizado.

### 3.3 Materiales:



Figura 3.26. Tubo de PVC de 4".



Figura 3.27. Grava silícea de 2.5 mm utilizada como prefiltro.

### 3.4 Instalación de dispositivos de medición continua



Figura 3.28. Instalación de diver CTD en el piezómetro Pz10.



Figura 3.29. Entubación utilizada para la instalación del diver CTD en PR3.



Figura 3.30. Ubicación del diver CTD en PR3.



Figura 3.31. Ubicación de la entubación del diver CTD en PR3.

### 3.5 Otros



Figura 3.32. Burbujeo en el piezómetro Pz6.



Figura 3.33. Estructura utilizada para realizar las mediciones del río en la línea 1 (RP1).



Figura 3.34. Material correspondiente al metro siete de perforación en el piezómetro 8.

### 3.6 Infraestructura hidráulica presente en el Delta del Ebro



Figura 3.35. Estación de bombeo situada al sud este del delta, dotada con tornillos de Arquímedes (15\_04\_09).



Figura 3.36. Canal de la dreta (7-11-2008).



Figura 3.37. Canal de riego en las a escasos metros del canal "de la Dreta" (7-11-2008).

## 4. Anejo, Piezómetros construidos

A raíz de las observaciones de campo durante los trabajos de perforación, se han realizado las columnas litológicas para cada uno de los piezómetros. La ubicación de las perforaciones se muestra en la Figura 4.1



Figura 4.1. Ortofoto con situación general de todos los puntos.

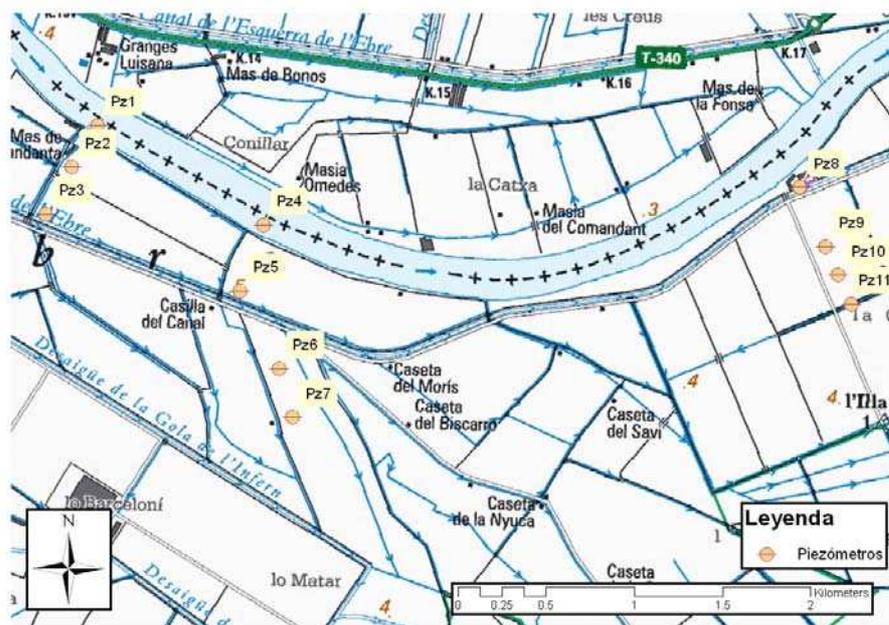


Figura 4.2. Mapa topográfico con situación general de todos los puntos.

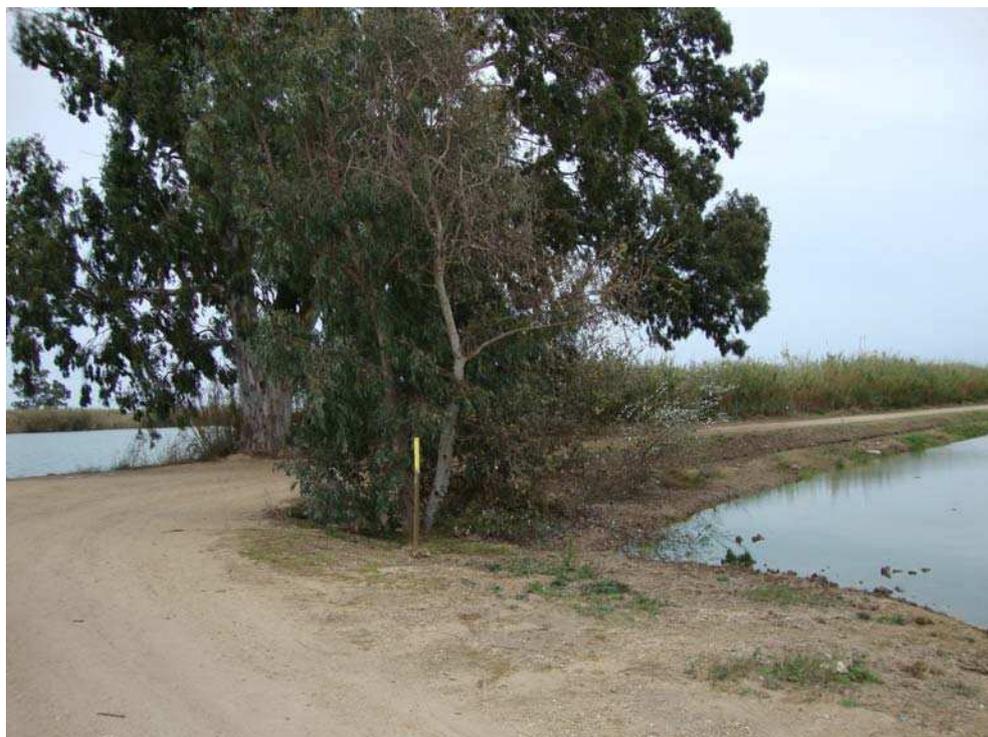


Figura 4.3. Situación general del piezómetro Pz1.



Figura 4.4. Situación del piezómetro Pz1.



Figura 4.5. Detalle del piezómetro Pz1.

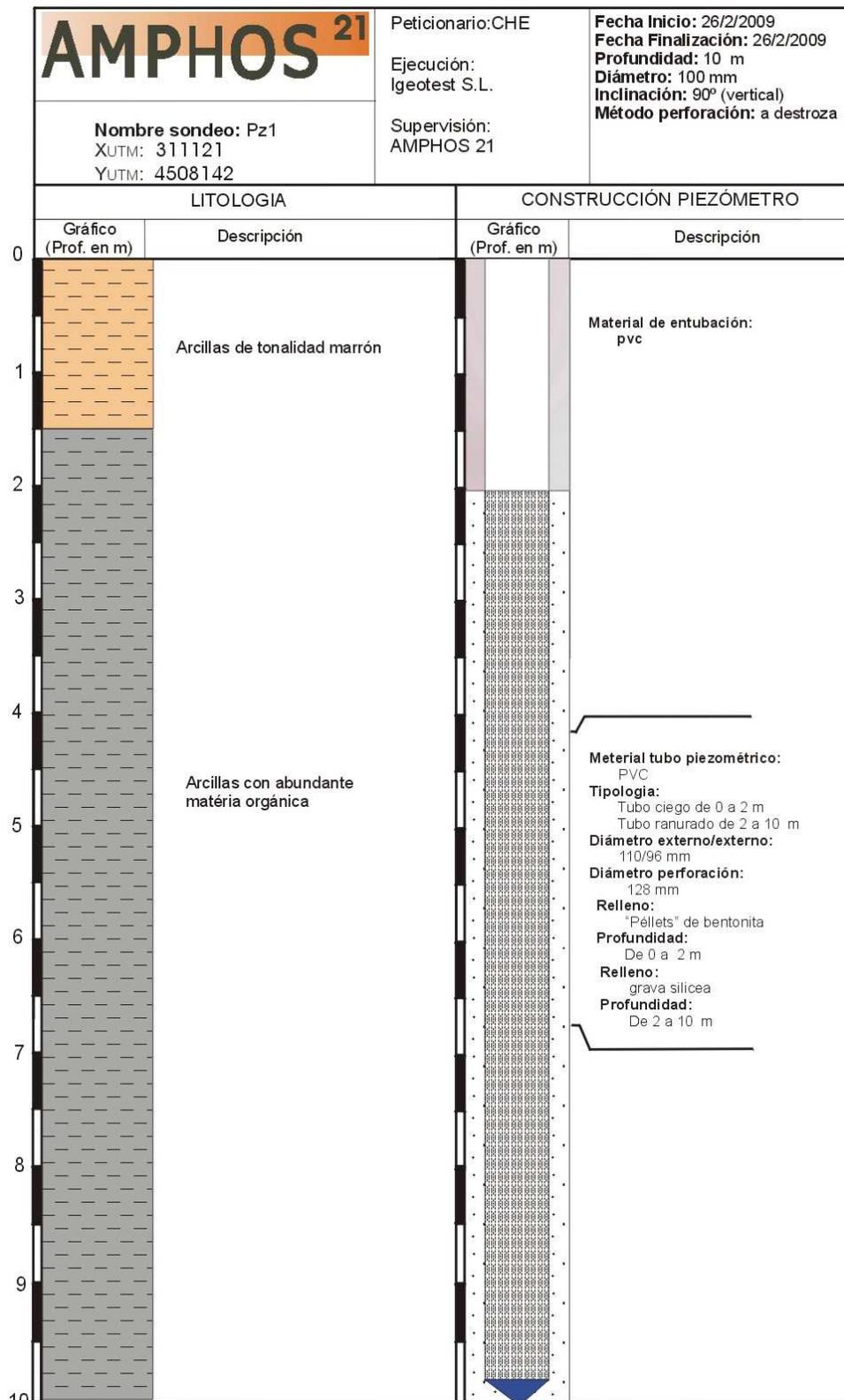


Figura 4.6. Columna litológica correspondiente al piezómetro Pz1.



Figura 4.7. Situación general del piezómetro Pz2.



Figura 4.8. Situación del piezómetro Pz2.



Figura 4.9. Detalle del piezómetro Pz2.

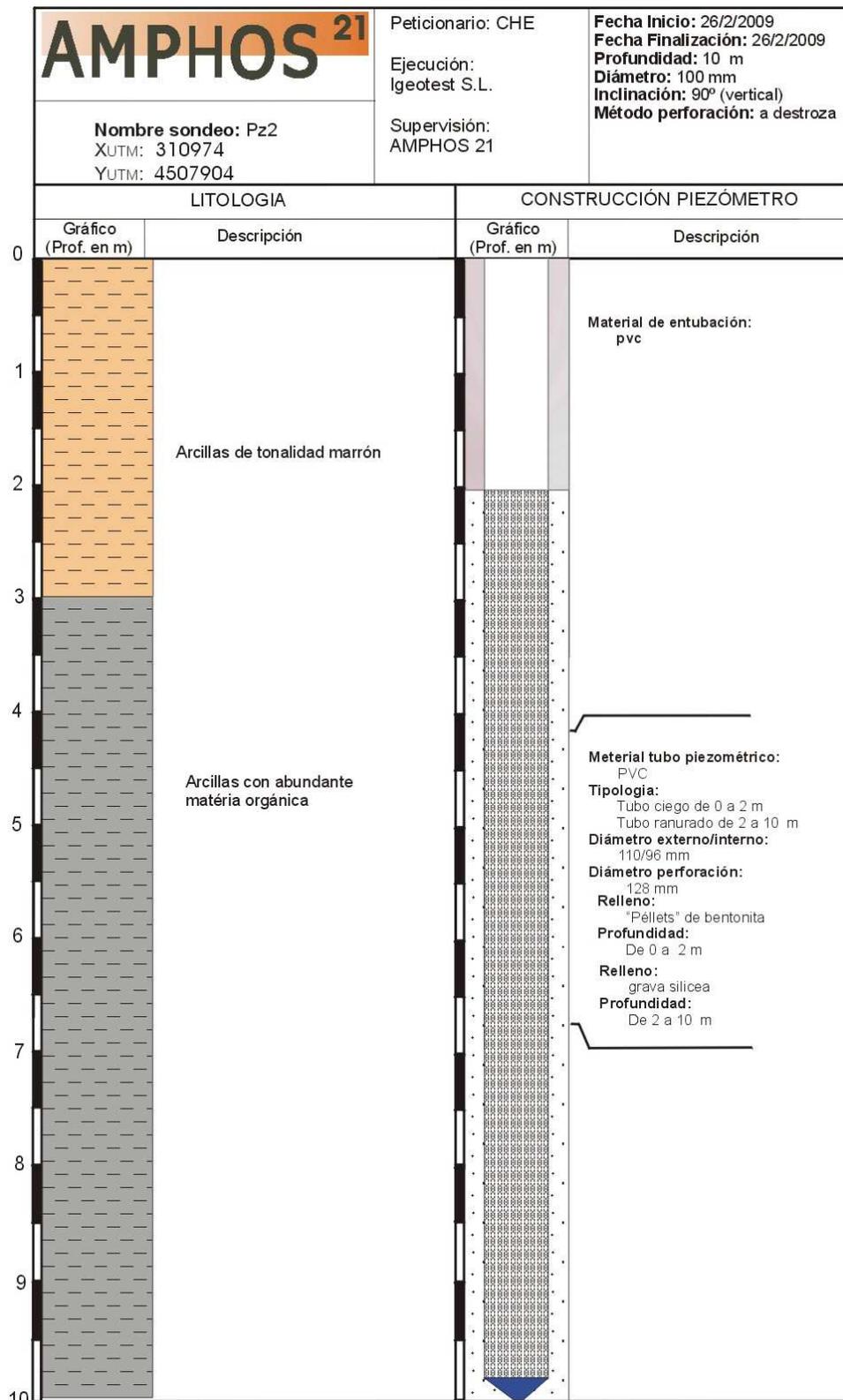


Figura 4.10. Columna litológica correspondiente al piezómetro Pz2.



Figura 4.11. Situación general del piezómetro Pz3.



Figura 4.12. Situación del piezómetro Pz3.



Figura 4.13. Detalles del piezómetro Pz3.

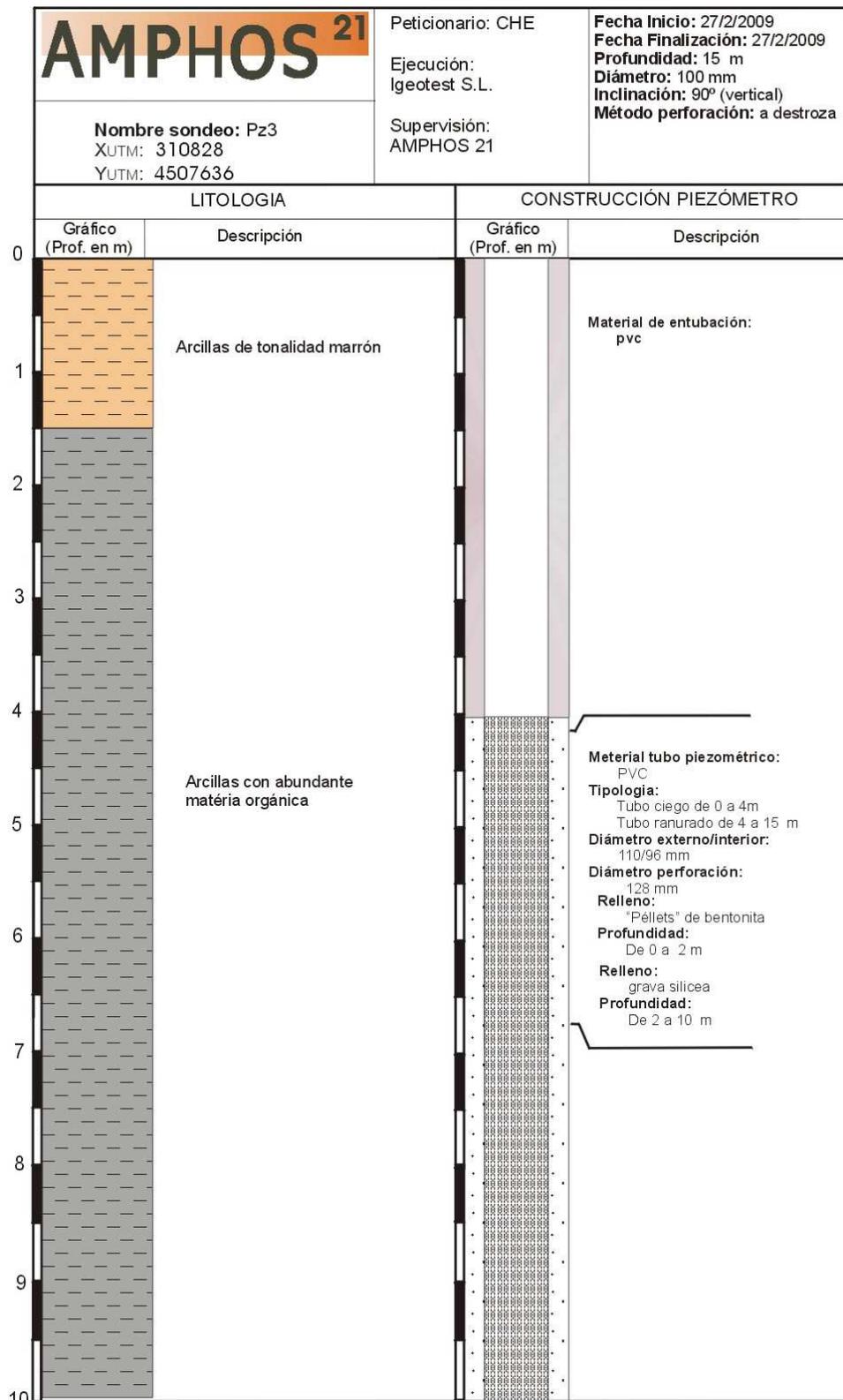


Figura 4.14. Columna litológica correspondiente al piezómetro Pz3.

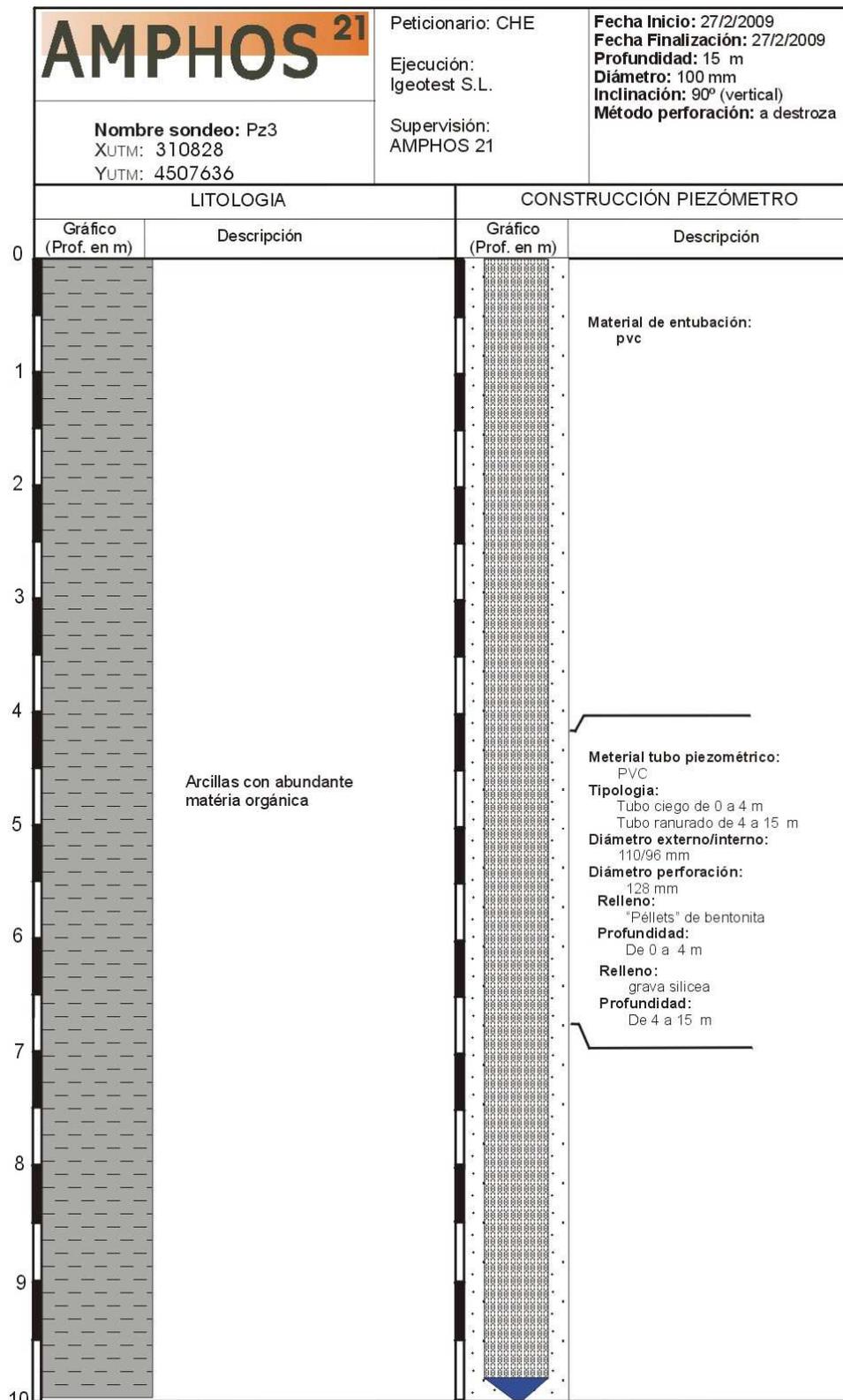


Figura 4.15. Columna litológica correspondiente al piezómetro Pz3.



Figura 4.16. Situación general del piezómetro Pz4.



Figura 4.17. Situación del piezómetro Pz4.



Figura 4.18. Detalle del piezómetro Pz4.

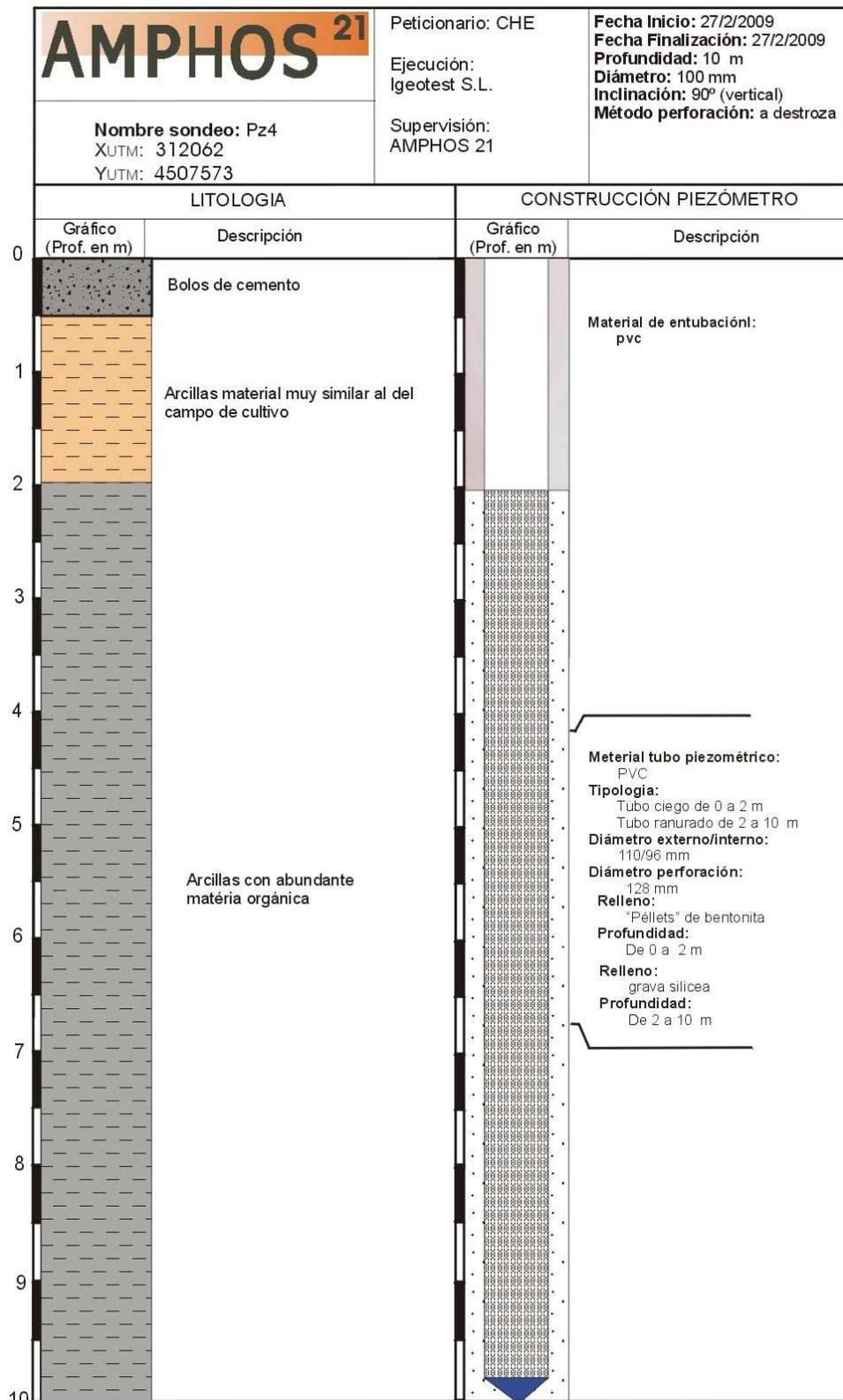


Figura 4.19. Columna litológica correspondiente al piezómetro Pz4.



Figura 4.20. Situación general del piezómetro Pz5.



Figura 4.21. Situación del piezómetro Pz5.



Figura 4.22. Detalle piezómetro Pz5.

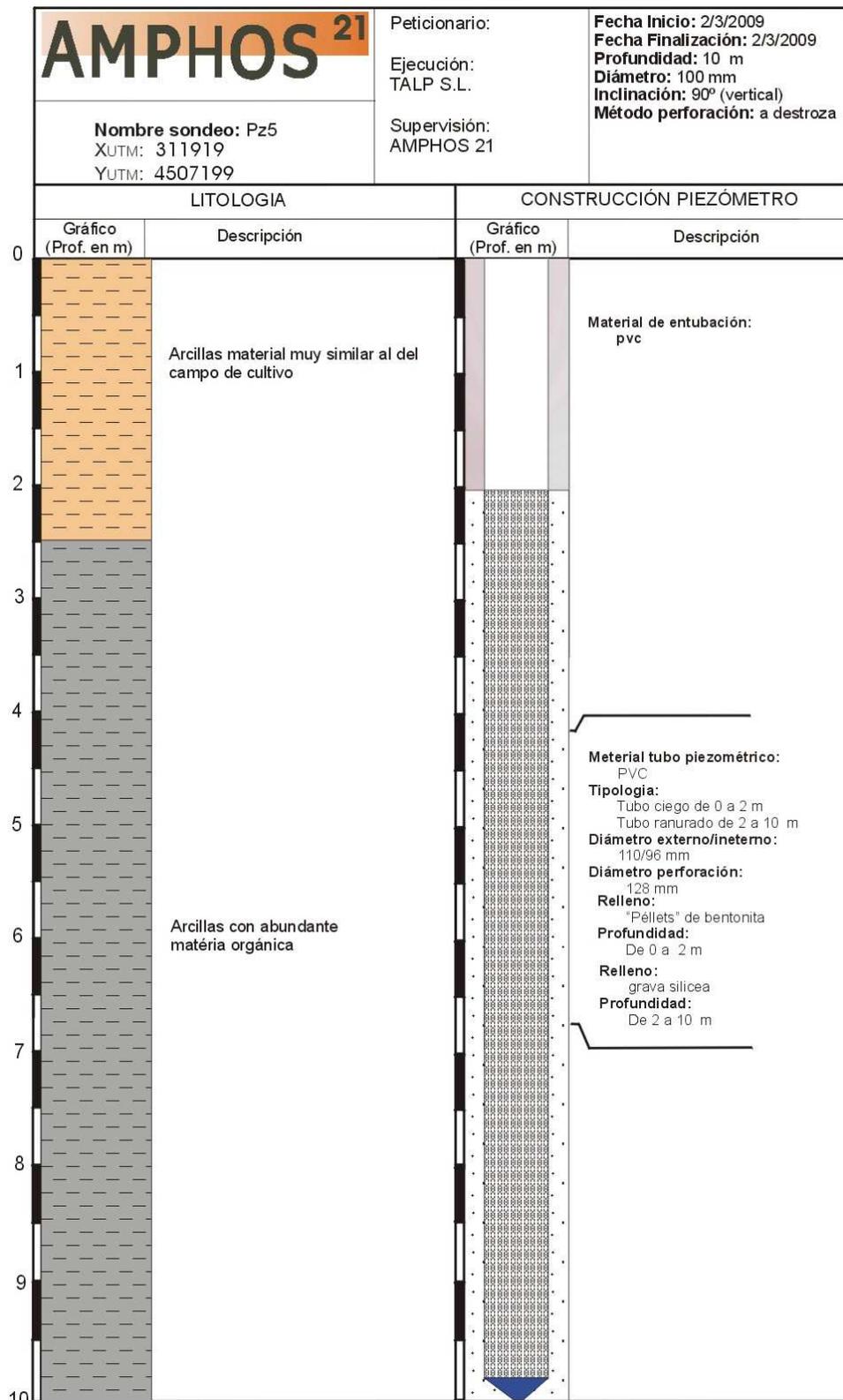


Figura 4.23. Columna litológica correspondiente al piezómetro Pz5.



Figura 4.24. Situación general del piezómetro Pz6.



Figura 4.25. Situación del piezómetro Pz6.



Figura 4.26. Detalle del piezómetro Pz6.

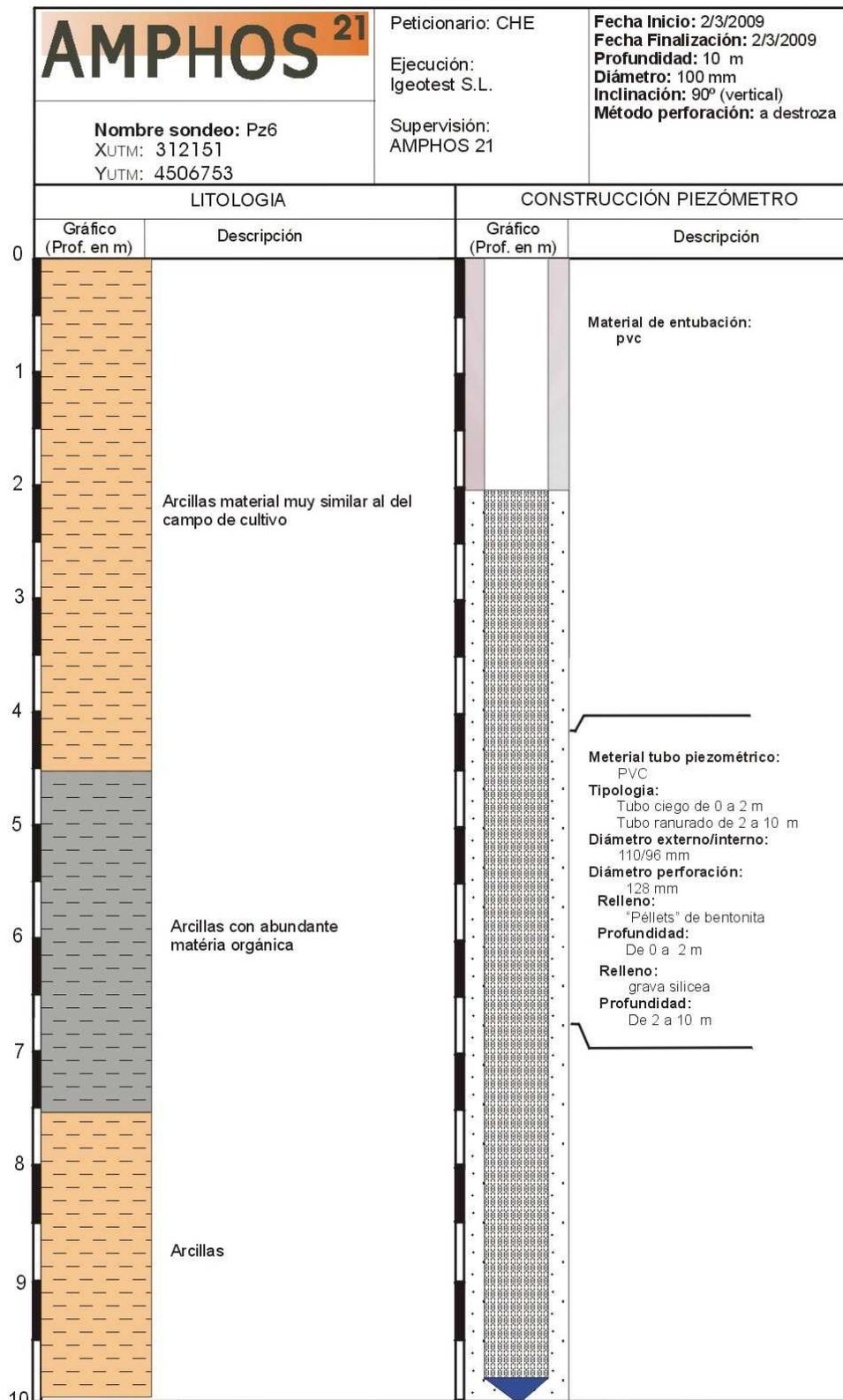


Figura 4.27. Columna litológica correspondiente al piezómetro Pz6.



Figura 4.28. Situación general del piezómetro Pz7.



Figura 4.29. Situación del piezómetro Pz7.



Figura 4.30. Detalle del piezómetro Pz7.

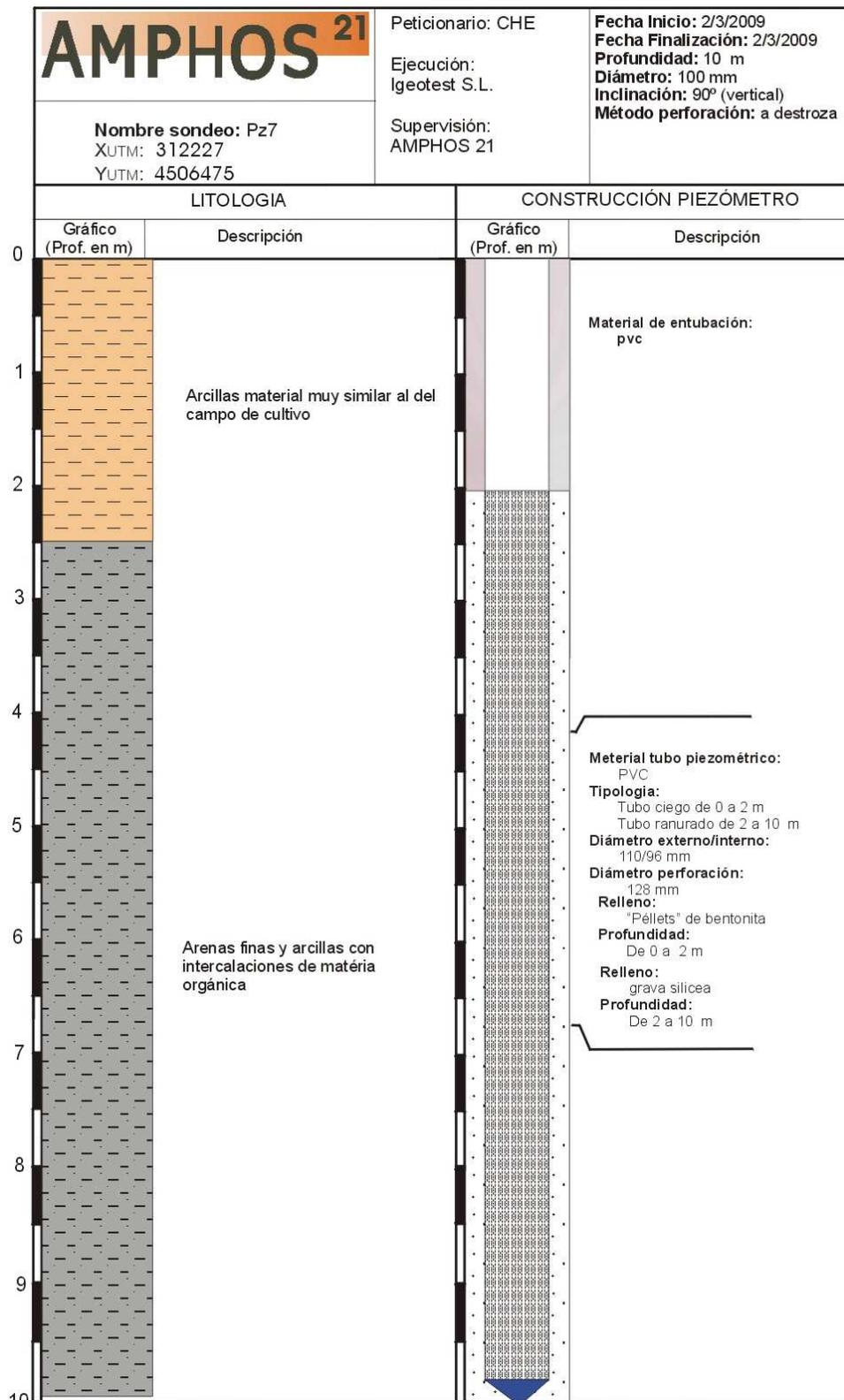


Figura 4.31. Columna litológica correspondiente al piezómetro Pz7.



Figura 4.32. Situación general del piezómetro Pz8.



Figura 4.33. Situación del piezómetro Pz8.



Figura 4.34 Detalle del piezómetro Pz8.

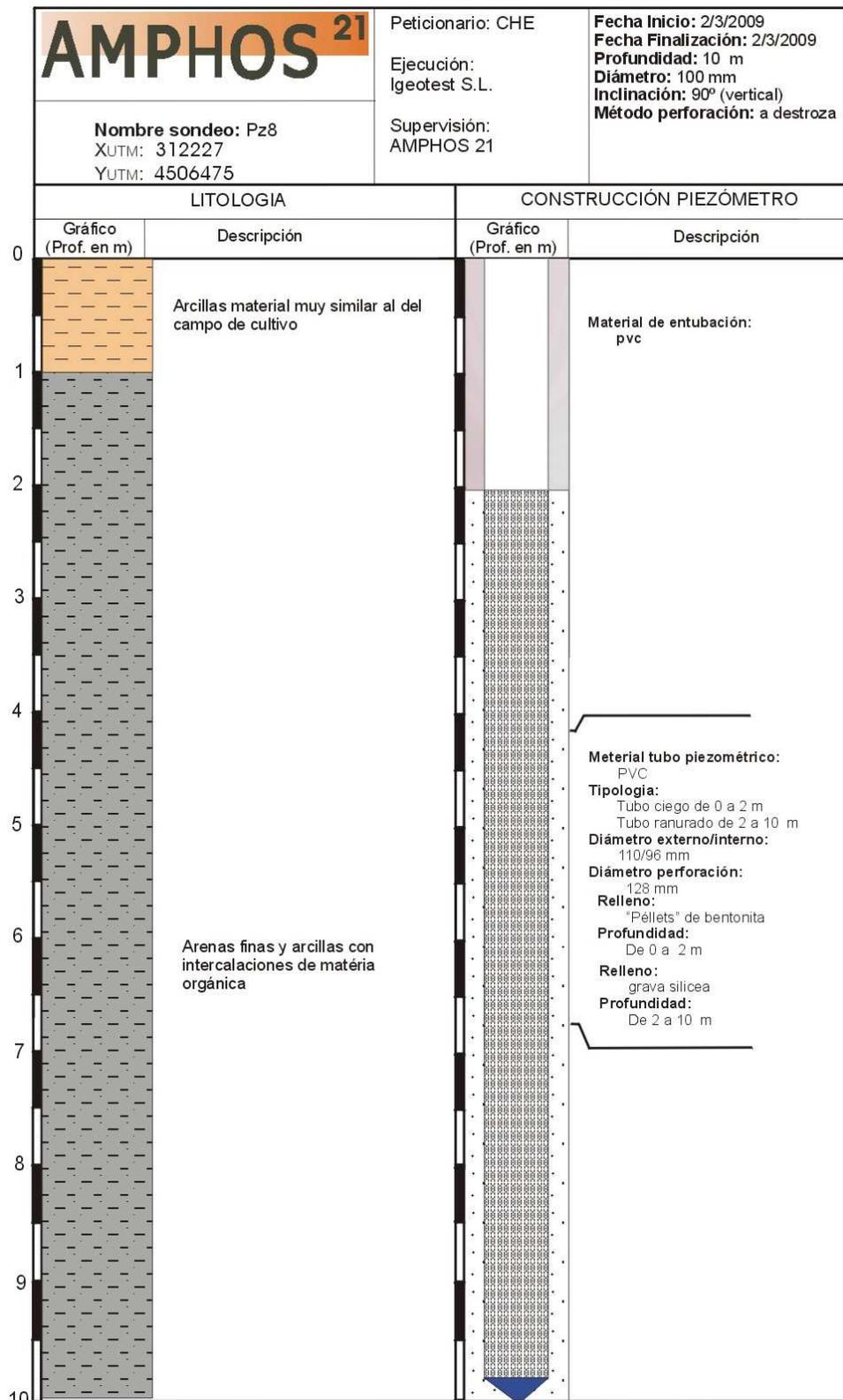


Figura 4.35. Columna litológica correspondiente al piezómetro Pz8.



Figura 4.36. Situación del piezómetro Pz9.



Figura 4.37 Detalle del piezómetro Pz9.

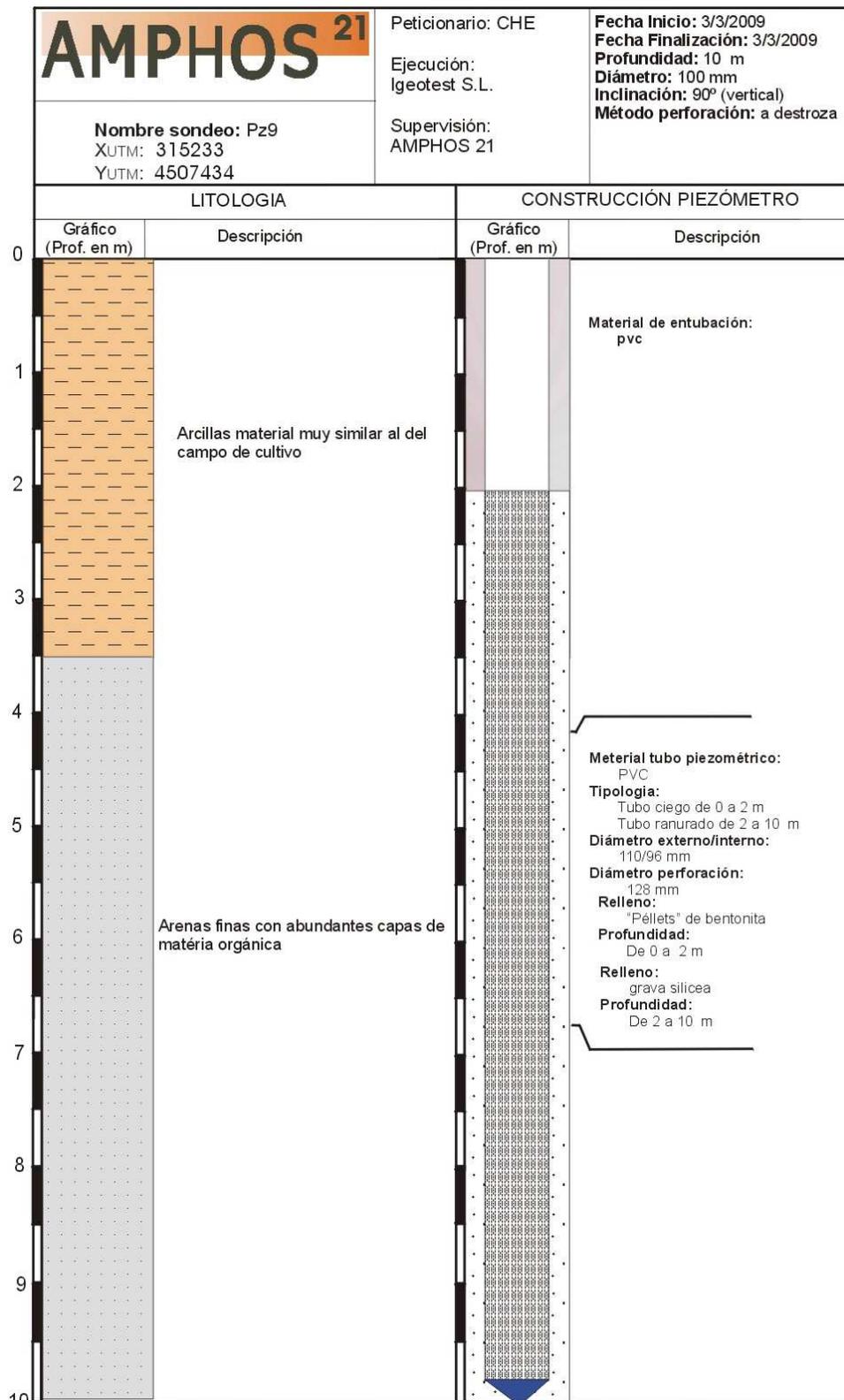


Figura 4.38. Columna litológica correspondiente al piezómetro Pz9.



Figura 4.39. Situación general del piezómetro Pz10.



Figura 4.40 Situación del piezómetro Pz10.



Figura 4.41 Detalle del piezómetro Pz10.

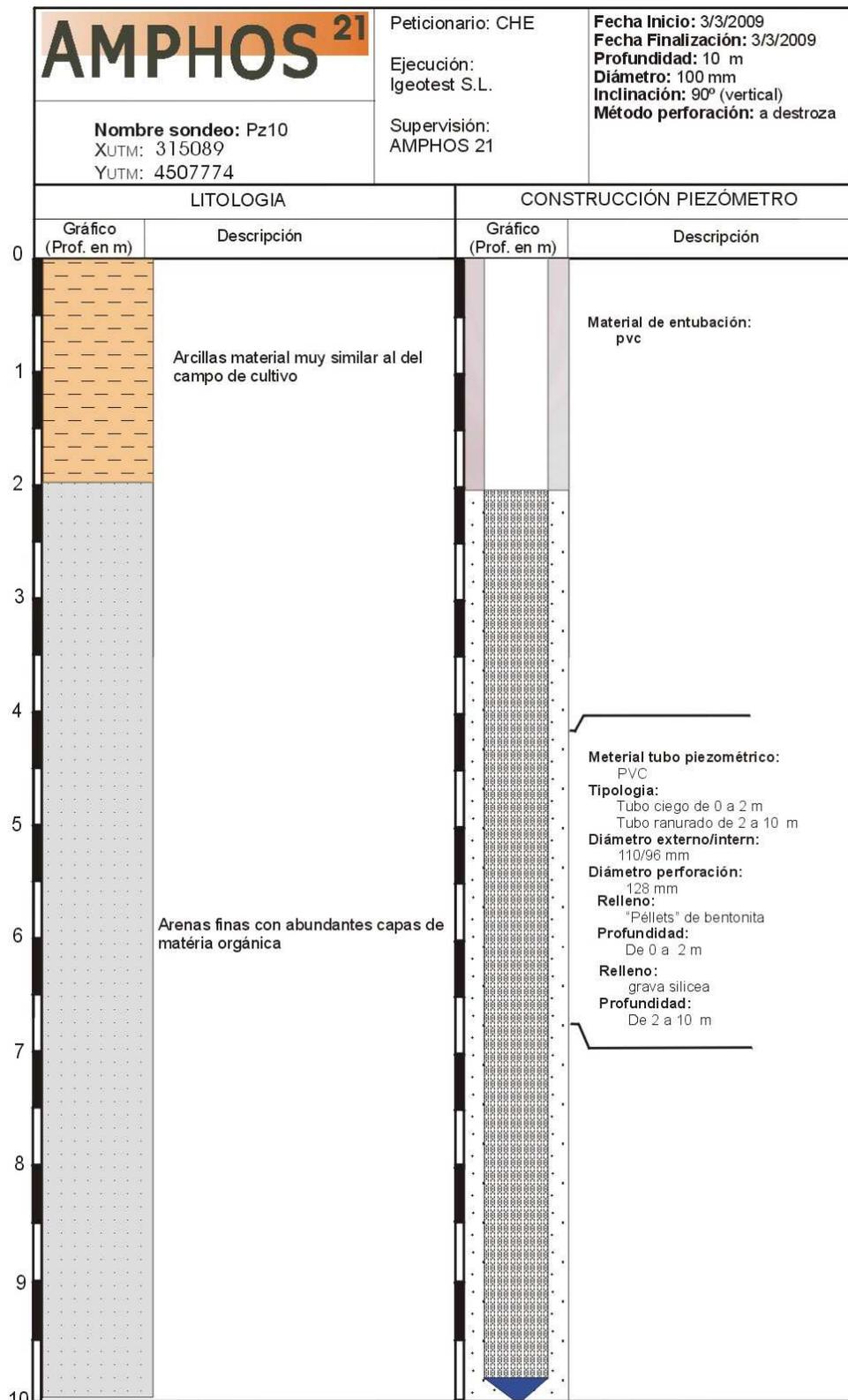


Figura 4.42. Columna litológica correspondiente al piezómetro Pz10.



Figura 4.43. Situación general del piezómetro Pz11.



Figura 4.44. Situación del piezómetro Pz11.



Figura 4.45. Detalle piezómetro Pz11.

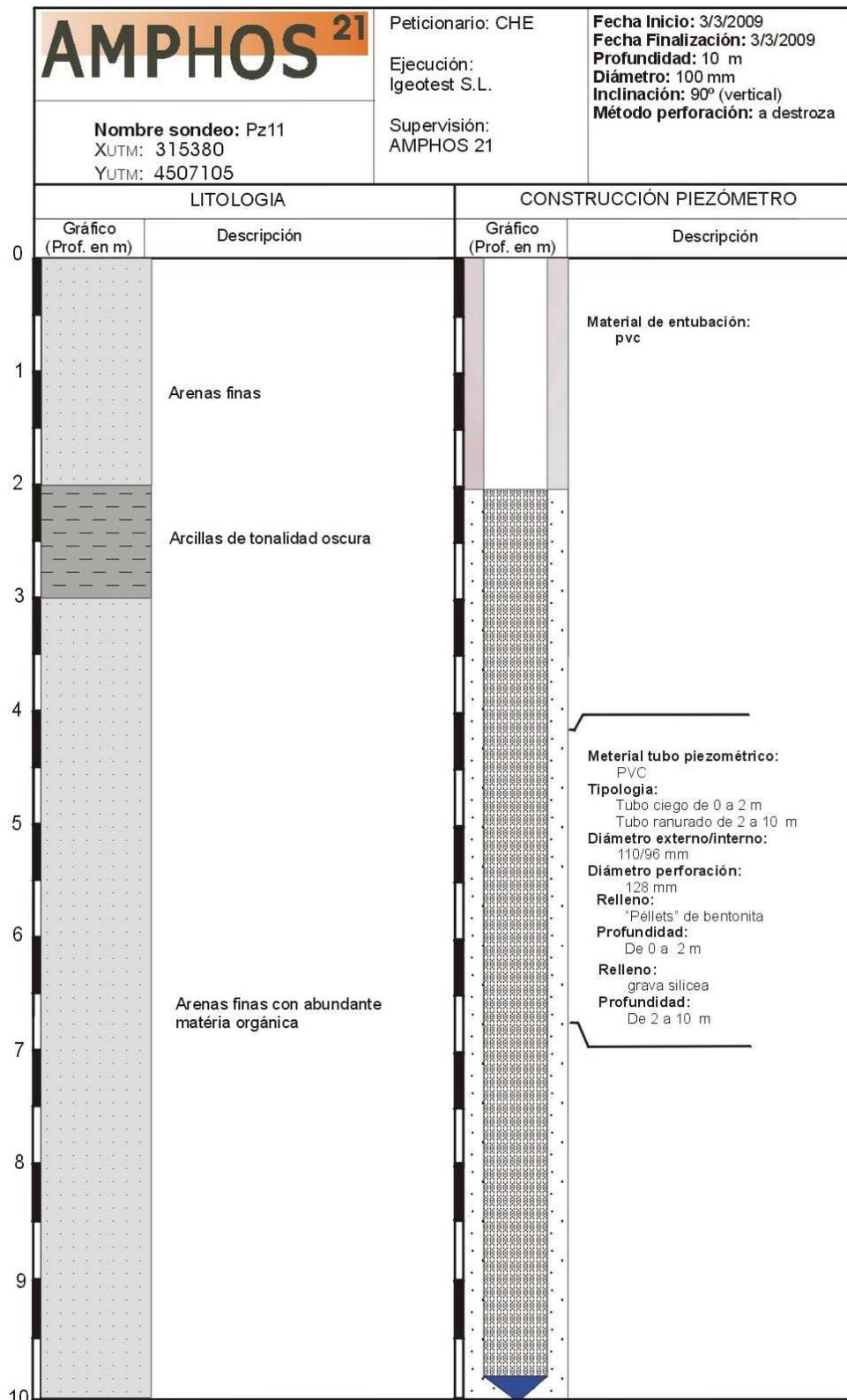


Figura 4.46. Columna litológica correspondiente al piezómetro Pz11.