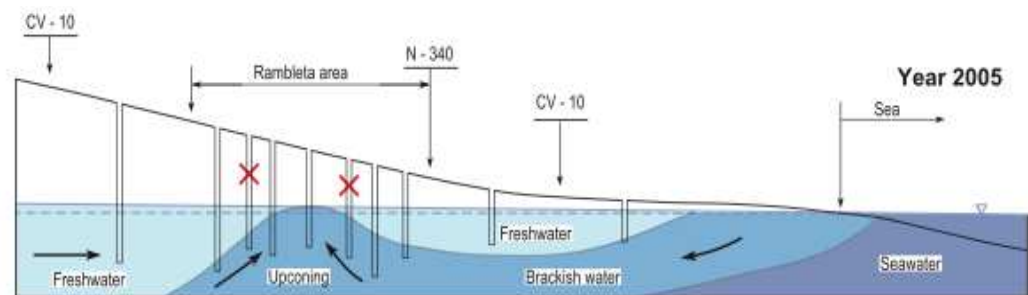


Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase II)



Fecha de inicio 01 septiembre 2012

Fecha de finalización 30 septiembre 2013

Informe final

Octubre 2013

Ignacio Morell

Bruno J. Ballesteros

Olga García

Arianna Renau-Pruñonosa

Alejandra Renau-Llorens

Financiado por **The Coca-Cola Foundation**

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

Equipo de trabajo

Unidad de Investigación de Acuíferos Costeros

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

Ignacio Morell Evangelista

Bruno J. Ballesteros Navarro

Olga García Menéndez

Arianna Renau-Pruñonosa

Alejandra Renau-Llorens

María Vicenta Esteller Alberich

Con el soporte de

Coca-Cola España

Colebega S.A.

Y la colaboración de

ACUAMED

FACSA

Confederación Hidrográfica del Júcar

Diputación Provincial de Castellón

Ayuntamiento de La Vall de Uxó

Cooperativa de Riegos de Vall de Uxó

Comunidades de Regantes de Vall de Uxó, Nules y Moncófar

Idea esencial

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

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Presentación	3
1.2. Antecedentes	3
1.3. Nuevas colaboraciones	3
1.4. Objetivos	4
Capítulo 2. CARACTERIZACIÓN DEL DISPOSITIVO DE RECARGA	5
2.1. Localización y descripción general del dispositivo	7
2.2. Origen y clasificación de las aguas de recarga	7
2.3. Descripción de los elementos del sistema	10
2.3.1. Instalaciones de superficie	10
2.3.2. Sondeos de Recarga. Elementos de inyección	12
2.4. Caracterización cuantitativa y cualitativa del efluente	15
Capítulo 3. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA Y ACTUACIONES DE DETALLE	17
3.1. Introducción	19
3.2. Testificación geofísica de las perforaciones	19
3.3. Desarrollo de las perforaciones	22
3.4. Prospección geofísica	23
Capítulo 4. OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE CONTROL	29
4.1. Red de control general	31
4.2. Red de control específica	35
4.3. Red de acuíferos de borde	36
Capítulo 5. CONDICIONES PIEZOMÉTRICAS Y EVOLUCIÓN	37
5.1. Campañas piezométricas	39
5.2. Registros continuos	45
Capítulo 6. HIDROQUÍMICA	49
6.1. Caracterización hidroquímica de los acuíferos de borde	51
6.2. Estudio de la salinidad	53
6.2.1. Distribución espacial	53
6.2.2. Evolución temporal	68
6.2.3. Registros verticales de conductividad eléctrica	74
6.3. Iones minoritarios y traza	81
6.4. Isótopos	82

Capítulo 7. CALIDAD AMBIENTAL DEL SECTOR. CARACTERIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS FOCOS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES	87
7.1. Clasificación de focos potencialmente contaminantes	89
7.2. Inventario y cartografía de focos potencialmente contaminantes	89
7.3. Criterios que justifican la inocuidad de la recarga a las aguas subterráneas	94
Capítulo 8. ENSAYO PILOTO DE RECARGA	97
8.1. Introducción y objetivos	99
8.2. Consideraciones	99
8.3. Pozo de Recarga Este	101
8.4. Pozo de Recarga Oeste	111
8.5. Conclusiones	118
Capítulo 9. ACTUACIONES EN CURSO	119
9.1. Construcción de piezómetros	121
9.2. Segunda actuación de recarga	122
Capítulo 10. MISCELANEA	125
10.1. Grado de cumplimiento de los objetivos previstos	127
10.2. Estimación de la cantidad de agua que se pretende recargar	128
10.3. Lecciones aprendidas y recomendaciones aprendidas para aumentar el impacto	128
10.4. Resumen financiero	129
ANEXOS	
Anexo 1. Aforo y desarrollo de los sondeos de recarga	A-1
Anexo 2. Mapas Isopiezas	A-11
Anexo 3. Resultados analíticos (tablas)	A-15
Anexo 4. Mapas de isocontenidos	A-21
Anexo 5. Dispositivos de medición en continuo (Divers)	A-39

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Situación del municipio de Vall de Uxó	8
Figura 2. Situación de la Balsa y de los Pozos de Recarga	9
Figura 3. Esquema general de las instalaciones de recarga	10
Figura 4. Azud de derivación en el cauce del río Belcaire	11
Figura 5. Balsa de acumulación de recursos excedentarios del río Belcaire	11
Figura 6. Salida inferior y dispositivo de la toma flotante de la balsa	12
Figura 7. Aspecto exterior del pozo de Recarga Oeste (WRW)	13
Figura 8. Aspecto exterior del pozo de Recarga Este (ERW)	13
Figura 9. Croquis de los pozos de recarga	14
Figura 10. Diagrama de Piper de las aguas a recargar (octubre de 2012 y abril de 2013) y del manantial Cova de San Josep (diciembre de 2012)	15
Figura 11. Unidad de Reconocimiento de sondeos y sondas geofísicas	19
Figura 12. Registros geofísicos de los sondeos de recarga	20
Figura 13. Localización de los perfiles geofísicos	25
Figura 14. Resistividades obtenidas en el Perfil 5	26
Figura 15. Resistividades obtenidas en el Perfil 6	26
Figura 16. Valores de cargabilidad obtenidos en el perfil 5	27
Figura 17. Valores de cargabilidad obtenidos en el perfil 6	27
Figura 18. Situación de los piezómetros de la red de control específica	35
Figura 19. Situación de los pozos de la red de caracterización hidroquímica de los Acuíferos de borde	36
Figura 20. Evolución piezométrica de los pozos Rambleta 1, 2, 3 y 5	44
Figura 21. Evolución de los valores promedio de la piezometría y de las precipitaciones abril 2012-agosto 2013	44
Figura 22. Evolución piezométrica del pozo Randero 1 (abril 2012-agosto 2013)	45
Figura 23. Evolución temporal de los niveles piezométricos en los pozos Rambleta 1, Sta. Catalina y San Ildefonso	47
Figura 24. Diagrama de Piper de los puntos pertenecientes a los acuíferos de borde de la Plana de Castellón en la zona de La Rambleta	51
Figura 25. Concentración de cloruros en los acuíferos de borde de la Plana de Castellón en la zona de La Rambleta	52
Figura 26. Concentración de nitratos en los acuíferos de borde de la Plana de Castellón en en la zona de La Rambleta	52
Figura 27. Diagrama de Piper. Abril de 2012	54
Figura 28. Agrupación de pozos según sus facies hidroquímicas. Abril de 2012	54
Figura 29. Diagrama de Piper. Octubre de 2012	55
Figura 30. Agrupación de pozos según sus facies hidroquímicas. Octubre de 2012	55
Figura 31. Diagrama de Piper. Abril de 2013	56
Figura 32. Agrupación de pozos según sus facies hidroquímicas (Abril de 2013)	57

Figura 33. Evolución histórica del contenido en cloruros en los pozos Santa Catalina, Santa Magdalena y la Rambleta 3	66
Figura 34. Isocontenidos de cloruros en 1972	66
Figura 35. Isocontenidos de cloruros en 1985	67
Figura 36. Isocontenidos de cloruros en 1990	67
Figura 37. Isocontenidos de cloruros en 19957	68
Figura 38. Evolución de la concentración de cloruros de los pozos de la zona centralo-este en el periodo abril 2012 - abril 2013	69
Figura 39. Evolución de la concentración de cloruros de los pozos de la zona centraleste-Nules en el periodo abril 201 2- abril 2013	69
Figura 40. Evolución de la concentración de cloruros de los pozos de la zona oeste en el periodo abril 2012 - febrero 2013	70
Figura 41. Evolución de la concentración de cloruros de los pozos cercanos al Barranco Randero y La Soledad en el periodo abril 2012 - abril 2013	70
Figura 42. Evolución de la concentración de cloruros de los pozos San Vicente y La Paz en el periodo abril 2012 - abril 2013	71
Figura 43. Evolución de la concentración de cloruros de los pozos zona este en el periodo abril 2012 - abril 2013	71
Figura 44. Evolución temporal del NP y la CE (Diver) en los pozos Rambleta 5, Rambleta 6 y Porvenir	73
Figura 45. Registros verticales de CE en el pozo Rambleta 2 (de diciembre de 2012 a agosto de 2013)	75
Figura 46. Registros verticales de CE en el pozo Rambleta 5 (de diciembre 2012 a agosto 2013)	76
Figura 47. Registros verticales de CE en el pozo Rambleta 6 (de marzo 2013 a agosto 2013)	77
Figura 48. Registros verticales de CE en el pozo Control Este (de diciembre de 2012 a agosto de 2013)	79
Figura 49. Registros verticales de CE en el pozo Recarga Oeste (de diciembre de 2012 a agosto de 2013)	80
Figura 50. Situación de los puntos de muestreo de isótopos	84
Figura 51. Representación del Deuterio y del Oxígeno-18 de las muestras	85
Figura 52. Situación del pozo Recarga Oeste y pozo Recarga Este	100
Figura 53. Caudal inyectado en el pozo Recarga Oeste durante la prueba piloto de recarga	100
Figura 54. Precipitaciones del 9/4 al 8/7 en los alrededores de la zona de estudio	101
Figura 55. Profundidad al agua (m) en el pozo Recarga Este y pluviometría	102
Figura 56. Conductividad eléctrica (CE) en el pozo Recarga Este	103
Figura 57. Potencial rédox del pozo Recarga Este	104
Figura 58. Temperatura de las aguas subterráneas del pozo Recarga Este y temperatura ambiente de la zona de estudio	105
Figura 59. Evolución temporal de los registros verticales de conductividad eléctrica en el pozo Recarga Este	107
Figura 60. Ampliación de los 5 primeros metros de columna de agua de la evolución temporal de los registros verticales de CE en el pozo Recarga Este	108

Figura 61. Ampliación de la evolución temporal de los registros verticales de CE en el pozo Recarga Este (ampliación entre 2900-3200 $\mu\text{S}/\text{cm}$)	109
Figura 62. Evolución temporal del N.P. en el pozo de Recarga Este	110
Figura 63. Evolución temporal de la CE (a 49m y 53 m) y temperatura a (43m y 49 m)	111
Figura 64 Profundidad al agua (m) en el pozo Recarga Oeste	112
Figura 65. Conductividad eléctrica (CE) en el pozo Recarga Oeste	113
Figura 66. Potencial redox (Eh) del pozo de Recarga Oeste	114
Figura 67. Temperatura de las aguas subterráneas del pozo Recarga Oeste y temperatura ambiente de la zona de estudio	115
Figura 68. Último registro vertical de CE realizado antes de empezar la prueba de recarga y los registros influenciados por la recarga	116
Figura 69. Evolución temporal del N.P. y temperatura según el Diver en el pozo de Recarga Oeste	117
Figura 70. Evolución temporal de la CE a 48 m de profundidad en el pozo Recarga Oeste	117
Figura 71. Piezómetros de control	122

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Datos tomados en campo del agua de la Balsa de Recarga y la Cova de San Josep	15
Tabla 2. Resultados analíticos del agua a recargar de muestras tomadas en distintos puntos	16
Tabla 3. Características generales de los perfiles	23
Tabla 4. Red de control general	31
Tabla 5. Puntos de muestreo de isótopos	34
Tabla 6. Red de caracterización hidroquímica de los acuíferos de borde	36
Tabla 7. Características hidroquímicas (CE, TDS y facies hidroquímicas) de los puntos pertenecientes a los acuíferos de borde de la Plana de Castellón en la zona de La Rambleta	51
Tabla 8. Facies hidroquímicas. Abril de 2012, octubre de 2012 y abril de 2013	53
Tabla 9. Valores isotópicos (D-H ₂ O, ¹⁸ O-H ₂ O, ¹⁸ S-SO ₄ O y ¹⁸ O-SO ₄) de las muestras analizadas	83
Tabla 10. Inventario de focos contaminantes	92

ÍNDICE MAPAS

Mapa 1. Situación de los puntos de la red de control general	32
Mapa 2. Mapa piezométrico de octubre de 2012	40
Mapa 3. Mapa piezométrico de abril de 2013	41
Mapa 4. Mapa piezométrico de junio de 2013	42
Mapa 5. Mapa piezométrico de agosto de 2013	43
Mapa 6. Mapa de la relación sulfatos-cloruros de abril de 2013	60
Mapa 7. Mapa de isocontenidos en sulfatos de abril de 2013	61
Mapa 8. Mapa de isocontenidos en nitratos de abril de 2013	62
Mapa 9. Mapa de isocontenidos en estroncio de abril de 2013	63
Mapa 10. Mapa de isoconductividad eléctrica (a 20 °C) de abril de 2013	64
Mapa 11. Mapa de isocontenidos en cloruros de abril de 2013	65
Mapa 12. Inventario de focos contaminantes	93

Capítulo 1
INTRODUCCIÓN

Final Report

1.1. PRESENTACIÓN

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

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

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

1.2. ANTECEDENTES

En octubre de 2012 se presentó el Informe Final correspondiente a la primera fase del proyecto. En dicho informe se describía, en primer lugar, el proceso de selección del área piloto, de acuerdo a criterios operativos y técnicos, que resultó ser el área de la Rambleta, en el término municipal de Vall de Uxó (Castellón).

En esta primera fase se realizó la caracterización geológica, hidrogeológica e hidrogeoquímica del área piloto, incluyendo un exhaustivo inventario de puntos de agua, el estudio de las columnas litológicas de sondeos, prospección geofísica eléctrica, diseño de la red de observación, tres campañas piezométricas y de calidad, y la caracterización preliminar de las aguas del acuífero y de las aguas residuales disponibles.

Asimismo, se evaluaron las alternativas de actuación para llevar a cabo recarga artificial y se realizaron propuestas concretas cuyo cumplimiento se detalla en este segundo informe.

1.3. NUEVAS COLABORACIONES

A lo largo de la segunda fase se han incorporado al proyecto dos nuevos colaboradores.

La empresa pública ACUAMED, sociedad estatal dependiente del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, es un colaborador estratégico notable que ha puesto a disposición del proyecto las instalaciones de recarga artificial que ha construido en el área de estudio. Se trata de una balsa de acumulación de excedentes invernales del río Belcaire y de dos pozos de recarga, todo ello dotado de las necesarias infraestructuras de distribución y control.

Por otra parte, se ha establecido un convenio de colaboración entre la Universitat Jaume I y la empresa FACSA (Fomento Agrícola de Castellón S.A.) en virtud del cual la empresa FACSA se incorpora al proyecto aportando sus conocimientos

hidrogeológicos del área, su extensa base de datos y, sobre todo, su larga experiencia en sistema de depuración. Concretamente, aporta una planta de electrodiálisis reversible para el tratamiento terciario de las aguas residuales y el mantenimiento técnico de dicho tratamiento.

1.4. OBJETIVOS

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

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

La fase I fue realizada entre septiembre de 2011 y septiembre de 2012, en la que se consiguieron los siguientes objetivos parciales:

- Actualización del estado del arte sobre la problemática de la recarga con aguas residuales
- Identificación de objetivos potenciales
- Selección del área piloto
- Caracterización hidrogeológica del área piloto
- Diseño los sistemas de recarga
- Establecimiento el plan de seguimiento y control

La fase II ha incluido la construcción de los sistemas de recarga, la introducción de agua en el acuífero, el seguimiento hidrogeoquímico del proceso y la elaboración de un plan master de operaciones y mantenimiento.

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

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

Capítulo 2
CARACTERIZACIÓN DEL DISPOSITIVO DE
RECARGA

2.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DISPOSITIVO

El agua que será empleada para la recarga del acuífero proviene del río Belcaire, cuyos excedentes son derivados, a través de un azud construido en su cauce (figura 4), hacia una balsa de almacenamiento (figura 5) próxima a la población de Vall de Uxó (figura 1). Desde dicha balsa el agua es conducida mediante una tubería hacia dos pozos de recarga, denominados Recarga Este y Recarga Oeste (figura 2).

El objetivo básico de esta actividad es luchar contra el proceso de contaminación que sufre la zona por intrusión marina y compuestos nitrogenados, y contribuir de este modo a la recuperación del acuífero de la Plana de Castellón en este sector.

2. 2. ORIGEN Y CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS DE RECARGA

Como se ha comentado, las aguas objeto de recarga proceden de los recursos excedentarios del río Belcaire que, a su vez y en su mayor parte, corresponden a drenaje del manantial de Sant Josep (Vall de Uxó), así como a caudales procedentes de eventos torrenciales. Se trata, por tanto, de aguas limpias naturales de escorrentía superficial y subterránea, carentes de sustancias contaminantes.

Final Report



Figura 1. Situación del municipio de Vall de Uxó (Visor IGN Instituto Geográfico Nacional)

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

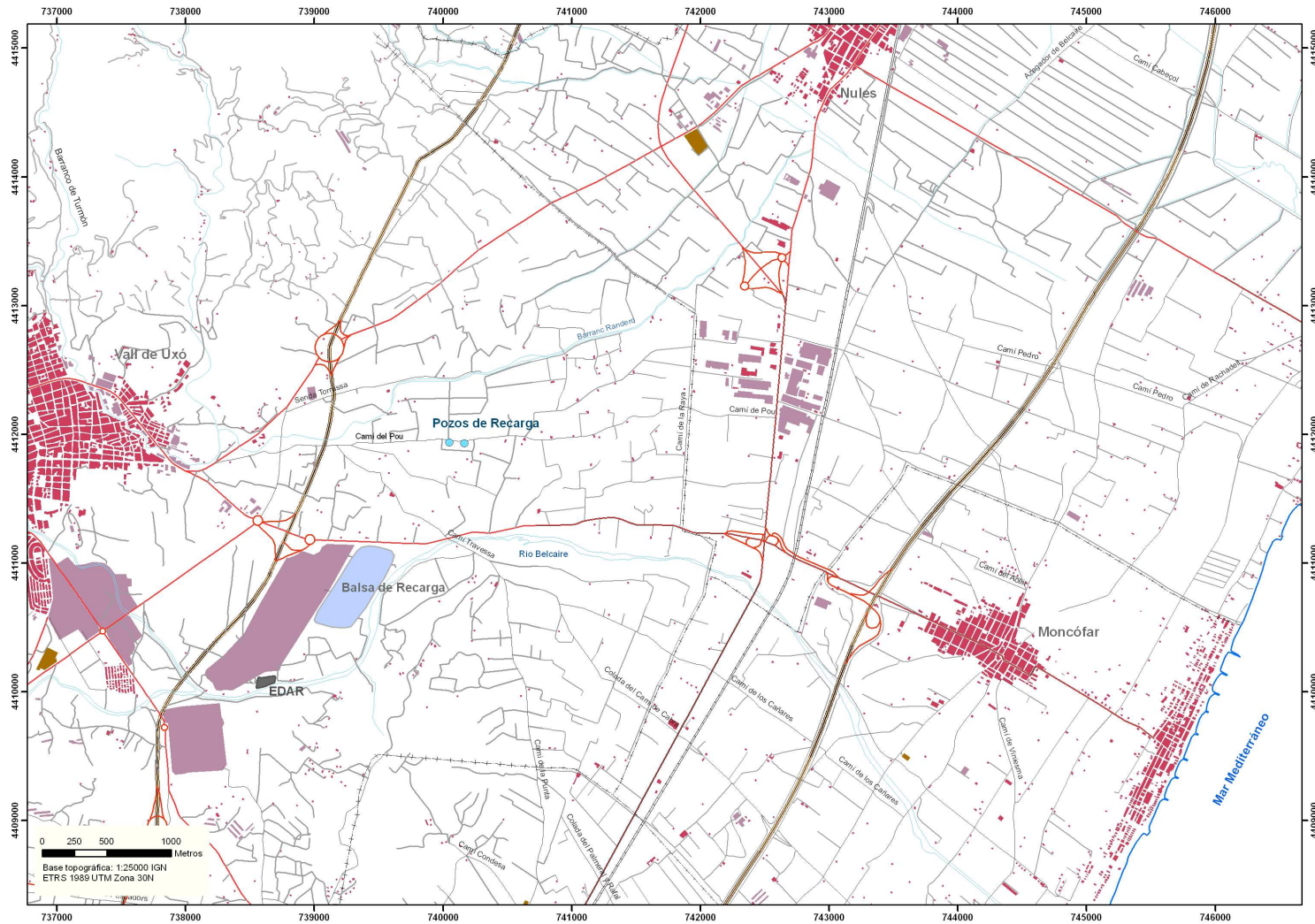


Figura 2. Situación de la Balsa y de los Pozos de Recarga

2.3 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

2.3.1. Instalaciones de superficie

El agua es tomada del mismo cauce del río Belcaire mediante un azud de derivación (figura 4), coordenadas UTM (ETRS89 Zona 30N): X=730.200 y Y=4.409.950, con una capacidad de admisión máxima de 4,4 m³/s, situado en la confluencia del barranco San José, por el este, y la rambla Cerverola, por el oeste. Desde este punto, y mediante una tubería de acero helicSoldado de 967 m de longitud y 1.800 mm de diámetro, el agua es conducida a la balsa de almacenamiento (figura 5), a la que accede por medio de un canal de 50 m de largo que, a su vez, enlaza con la tubería (figura 3).

Esta infraestructura de almacenamiento, con una capacidad de 2 hm³, una altura máxima de agua de 12 m y una superficie de 20 ha, se sitúa en el polígono de La Mezquita en las coordenadas UTM (ETRS89 Zona 30N) X=730.350 e Y=4.410.800.



Figura 3. Esquema general de las instalaciones de recarga



Figura 4. Azud de derivación en el cauce del río Belcaire



Figura 5. Balsa de acumulación de recursos excedentarios del río Belcaire



Figura 6. Salida inferior y dispositivo de la toma flotante de la balsa

La balsa cuenta con dos salidas, una inferior y una toma flotante (figura 6), que se encuentran conectadas a una tubería de fundición dúctil, de 1.700 m de longitud y 400 mm de diámetro, que transporta el agua hacia dos pozos de inyección. En el proceso de recarga sólo se utilizará la salida inferior, que dispone de una malla de 20 mm, además de otra superpuesta de 5 mm. De la mencionada tubería, y en el entorno de los sondeos de recarga, parten dos derivaciones perpendiculares de 50 m de largo hacia cada uno de ellos. Las características de estas dos perforaciones se describen en el apartado siguiente. El esquema general de las instalaciones de recarga: azud de toma, conducción de derivación a la balsa, balsa de acumulación, conducción de enlace con los pozos y sondeos de recarga, se muestra en la figura 3.

2.3.2. Sondeos de recarga. Elementos de inyección

Los dos sondeos de recarga se sitúan en la zona denominada Rambleta, en el municipio de Vall de Uxó (figura 1 y 2), en las siguientes coordenadas U.T.M. (ETRS89 Zona 30N):

Pozo de Recarga Oeste (WRW): X: 740.047 Y: 4.411.934

Pozo de Recarga Este (ERW): X: 740.158 Y: 4.411.943

La cota topográfica de ambos puntos es de 48,95 m s.n.m. (WRW) y 46,48 m s.n.m. (ERW), respectivamente.

Las dos perforaciones son gemelas y están protegidas por sendas casetas de obra (figuras 7 y 8). Sus características constructivas son las siguientes (figura 9):

- Profundidad de 100 m.
- Diámetro perforación : 500 mm
- Diámetro interior entubación de PVC: 225 mm

- Filtro entre los 50 y 95 m
- Empaque de gravas en toda su longitud



Figura 7. Aspecto exterior del pozo de Recarga Oeste (WRW)



Figura 8. Aspecto exterior del pozo de Recarga Este (ERW)

Final Report

Estas perforaciones se encuentran dentro del ámbito de la Masa de Agua Subterránea de la Plana de Castellón (MASub 080.127), que se trata de un acuífero de naturaleza detrítica compuesto por arenas, gravas y conglomerados embutidos dentro de una matriz eminentemente limo-arcillosa.

Por otra parte, el nivel piezométrico se encuentra en torno a los 40 m de profundidad, lo que supone una altura de la zona saturada de 60 m. En cuanto a su capacidad de admisión, las pruebas realizadas permiten establecerlo en 15 l/s para el WRW y en un mínimo de 6 l/s para el ERW, con un máximo en este caso de otros 15 l/s (el ensayo practicado presentó importantes anomalías que impidieron definir una mayor precisión).

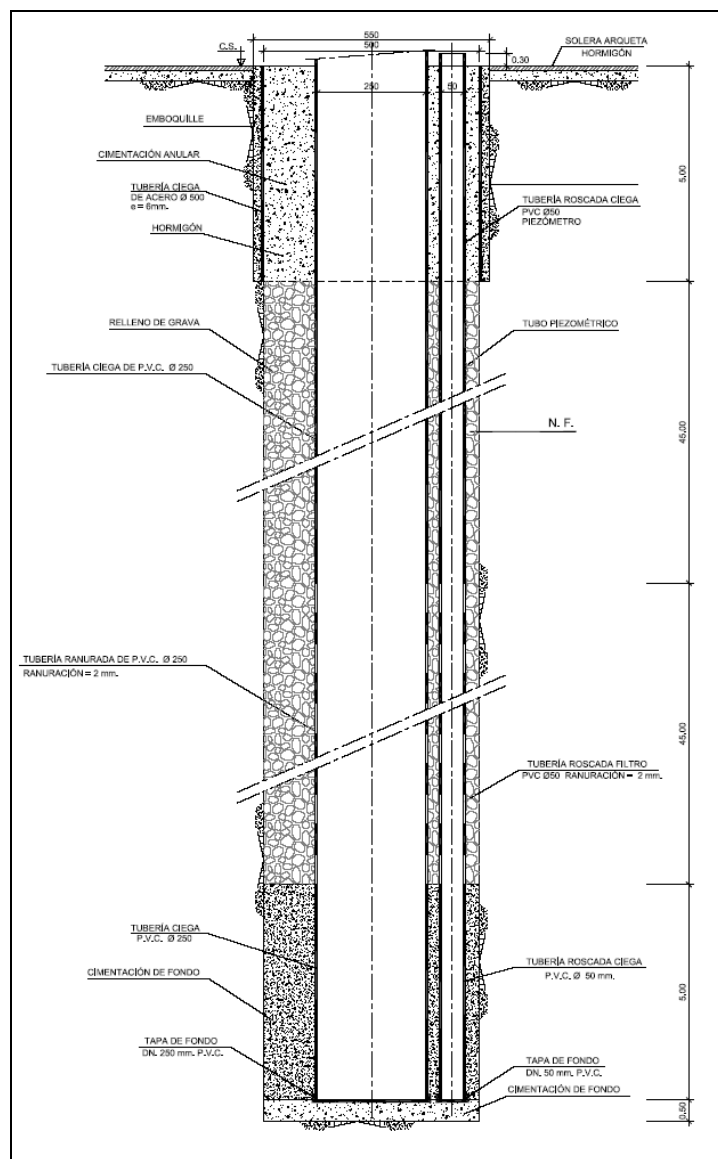


Figura 9. Croquis de los pozos de recarga

2.4. CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA DEL EFLUENTE

El volumen total solicitado y autorizado para la operación de recarga por parte de la autoridad hídrica (Confederación Hidrográfica del Júcar) es de 250.000 m³ en una primera fase, volumen que está previsto incrementar en una segunda fase en otros 300.000 m³. Dicho volumen será inyectado en el acuífero a través de los sondeos de recarga con un caudal de inyección mínimo de 21 l/s (WRW:15 l/s y ERW: 6 l/s) entre ambos, aunque no se descartan caudales mayores próximos a los 30 l/s. En consecuencia, el tiempo estimado de inyección será de cerca de 3 meses.

Las aguas de recarga se caracterizan por tener una mineralización muy baja, con una conductividad eléctrica entre 249 µS/cm (junio de 2013) y 366 µS/cm, (febrero de 2013) y facies bicarbonatadas cálcicas o cálcico magnésicas (tabla 1 y figura 10).

Tabla 1. Datos tomados en campo del agua de la Balsa de Recarga y la Cova de San Josep

MUESTRA	Fecha	C.E._20°C (µS/cm)	T (°C)	pH	Eh (mV)	Cl (mg/l)
BALSA	03/10/2012	297	26,0	8,94	123,7	
BALSA	04/12/2012	340	11,2	7,70	155,9	20,8
COVA DE SAN JOSEP	11/12/2012	405	18,1	8,03	134,6	16,0
BALSA	04/02/2012	366	14,5	8,46	129,5	34,8
BALSA	02/04/2013	311	16,9	8,00	195,4	14,0
BALSA	10/06/2013	249	23,8	8,58	243,0	

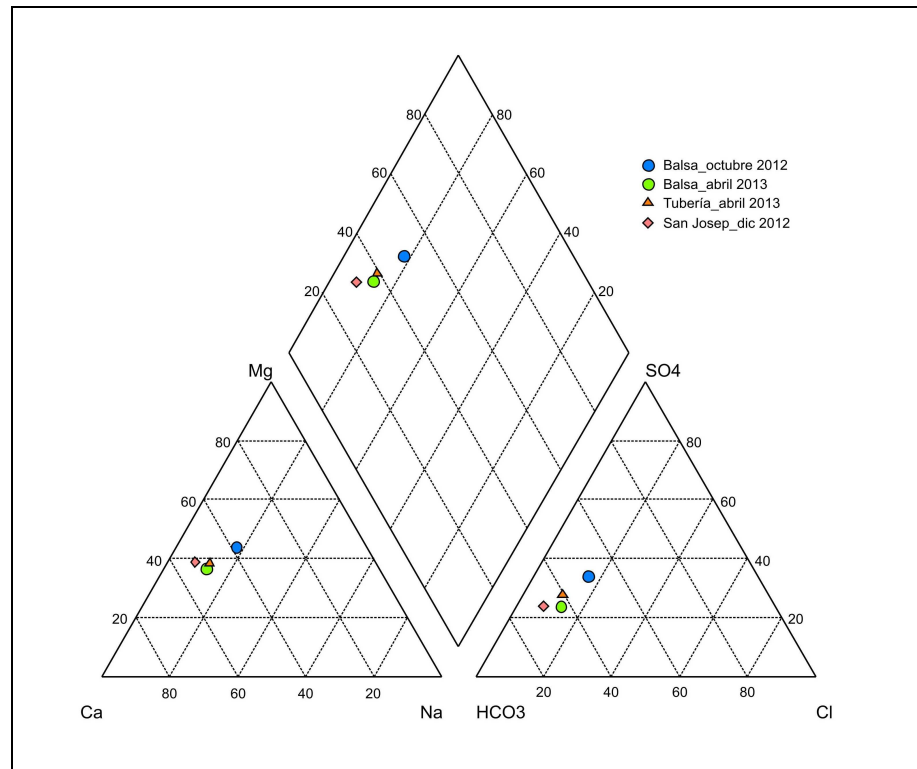


Figura 10. Diagrama de Piper de las aguas a recargar (octubre de 2012 y abril de 2013) y del manantial Cova de San Josep (diciembre de 2012)

Así mismo, las analíticas realizadas para la determinación de iones mayoritarios (octubre de 2012 y abril de 2013), elementos minoritarios y parámetros microbiológicos (octubre de 2012), permiten calificar al agua de recarga como de excelente calidad (tabla 2).

Tabla 2. Resultados analíticos del agua a recargar de muestras tomadas en distintos puntos

Parámetros	Balsa de Recarga	Balsa de Recarga	Tubería pozos	Unidades
Fecha	03/10/2012	02/04/2013	09/04/2013	
Cloruros *	18	14	14	mg/L
Bicarbonatos *	96	115	122	mg/L
Sulfatos *	52	34	44	mg/L
Nitratos *	2	5	6	mg/L
Nitritos *	< 0,05	0,66	< 0,05	mg/L
Calcio *	23	32	34	mg/L
Magnesio *	16	14	16	mg/L
Sodio *	12	9	10	mg/L
Potasio *	3	2	3	mg/L
Amonio *	< 0,05	< 0,05	< 0,05	mg/L
Fósforo *	<0,05	0,23	<0,05	mg/L
Litio **	6,6			µg/L
Boro **	87,9			µg/L
Estroncio **	221			µg/L
Sólidos en suspensión ***	6			mg/L
Turbidez ***	3,2			NTU
Mercurio ***	<1			µg/L
N total ***	1,5			mg/L
Cromo VI ***	<0,05			mg/L
Cromo total ***	<0,05			mg/L
E. Coli ***	0			ufc/100 mL
Helmintos ***	Ausencia			A/P

* Análisis realizados por el Instituto Geológico y Minero de España

** Análisis realizados por el IUPA (Universitat Jaume I)

*** Análisis realizados por Inresma S.L

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA DE DETALLE

3.1. INTRODUCCIÓN

Para conocer con mayor detalle la estructura geológica de la zona y las características de los materiales geológicos atravesados por las perforaciones, así como para mejorar sus condiciones hidrodinámicas, se llevó a cabo una serie de trabajos y actuaciones complementarias. Estas fueron las siguientes:

- 1) Testificación geofísica de los sondeos de recarga
- 2) Desarrollo y aforo mediante la instalación de un equipo de bombeo
- 3) Campaña complementaria de tomografía eléctrica

3.2. TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA DE LAS PERFORACIONES

Planteamiento general y características del equipo

Para conocer las características litológicas y constructivas de los sondeos de recarga, durante el mes de junio de 2013 se llevó a cabo su estudio detallado mediante un equipo de testificación geofísica y reconocimiento videográfico Robertson Geologging modelo Logger System II (PCL2) montado sobre un vehículo marca Iveco (figura 11). La sonda geofísica empleada en esta caso ha sido la ELGX que ha permitido medir los siguientes parámetros: *Natural Gamma*, *Self Potential*, *Normal Short Resistivity*, *Long Normal Resistivity* y *Single-Point Resistivity*.

Para el registro videográfico se ha empleado una videocámara sumergible color marca Laval Underground Surveys y modelo R-10 Dual Cam, con doble objetivo (axial y lateral), capaz de girar 360°.



Figura 11. Unidad de Reconocimiento de sondeos y sondas geofísicas. Los fundamentos y características técnicas de los registros geofísicos se describen en los siguientes apartados.

Final Report

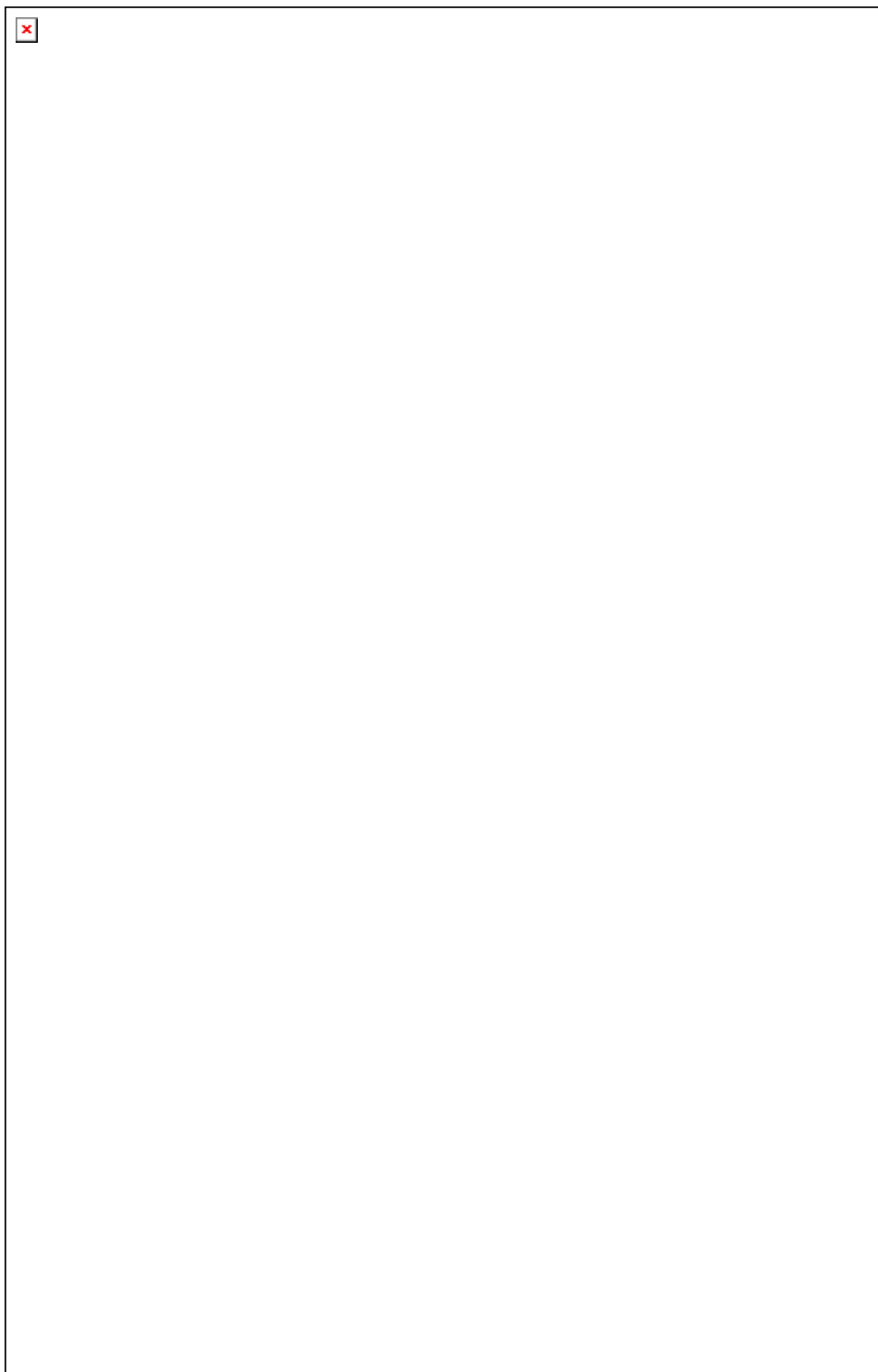


Figura 12. Registros geofísicos de los sondeos de recarga: Natural Gamma, Self Potential, Normal Short Resistivity, Long Normal Resistivity y Single-Point Resistivity

Registro Natural Gamma: Este registro mide la emisión gamma natural de la desintegración de los átomos de K, U y Th que se encuentra en los minerales de las formaciones geológicas atravesadas por el sondeo. Estos procesos de desintegración originan la emisión de radiación natural (partículas alfa, beta o gamma). El isótopo K40 está asociado generalmente a minerales de las arcillas, en rocas ricas en feldespatos y micas y en los sedimentos procedentes de su denudación, por lo que contribuye al conocimiento en detalle de la columna de materiales atravesada por el sondeo.

Self Potential: Es un registro del micro-voltaje o potencial que se genera de forma natural en las inmediaciones de los contactos litológicos como consecuencia de la migración de cargas producido en estas zonas por la electrocinesis.

Normal Short Resistivity, Long Normal Resistivity y Single-Point Resistivity: Su fundamento de interpretación se basa en la respuesta que tienen las distintas formaciones geológicas al paso de la corriente eléctrica.

Registro videográfico: Permite la visualización directa del interior del sondeo en toda su longitud. La imagen adquirida por una unidad de control de la misma marca es almacenada con la utilización de un DVD grabador. El reconocimiento videográfico se realiza tanto en descenso como en ascenso de la cámara, a velocidad variable dependiendo de los objetivos y tramos inspeccionados. Posteriormente la imagen es tratada y visualizada en gabinete por el equipo técnico.

Resultados

Los perfiles de los parámetros medidos en la testificación geofísica: radiación gamma natural (Natural Gamma), potencial espontáneo o autopotencial (Self Potential) y la resistividad (Normal Short Resistivity, Long Normal Resistivity y Single-Point Resistivity), han sido muy similares (Figura 12) en las dos perforaciones, si bien con un decalaje de unos 2 m entre ambas, lo que implica un ligera pendiente de las formaciones geológicas hacia el este, en dirección a la costa. El gradiente hidráulico es del 3‰, mientras que los valores obtenidos corresponden en general a litologías de arcillas, arenas, gravas y conglomerados en capas alternantes y con una distribución muy heterogénea, que se corresponden con los sedimentos de carácter detrítico que constituyen el acuífero de la Plana de Castellón.

La interpretación anterior es válida hasta los 84 m (WRW) y 86 m (ERW), respectivamente, profundidad en la que se obtiene un incremento apreciable del gamma natural pero sin cambios en la resistividad, lo que abre la posibilidad a que estos materiales correspondan a otro tipo de formaciones, en concreto a las arcillitas del Buntsandstein que contienen una apreciable cantidad de micas (moscovita). La elevación de la resistividad en el último tramo de tubería ciega podría estar ligada a la presencia de turbidez y depósitos de finos en el fondo de las perforaciones o bien a la presencia de horizontes de areniscas cuarcíticas intercalados en la secuencia de arcillitas micáceas. Dentro del contexto general, también es de resaltar el descenso paulatino de la resistividad desde el nivel piezométrico hasta los 60 m, achacado en este caso al incremento de la salinidad del agua en el acuífero.

La interpretación de la columna litológica de las perforaciones sería la de una secuencia de sedimentos detríticos compuestos por capas alternantes de arenas, arcillas, conglomerados y gravas hasta los 84 (WRW) y 86 m (ERW), respectivamente. A partir de esta profundidad se encontrarían arcillitas con niveles de areniscas de la

facies Bunt del Trías Germánico. Los horizontes de mayor interés hidrogeológico son los siguientes:

Sondeo WRW: 39-41 m, 51-69 m y 77-79 m

Sondeo ERW: 39-41 m, 44-47 m y 71-75 m

Por otra parte, con el reconocimiento videográfico de los sondeos se ha comprobado la presencia de la tubería de PVC y la situación de los filtros, que se corresponde con el proyecto de ejecución de la obra, así como el estado general de los pozos.

3.3. DESARROLLO DE LAS PERFORACIONES

Con objeto de obtener una mayor capacidad para la admisión del agua de recarga, se ha llevado a cabo la limpieza y desarrollo de las perforaciones consistente en someter a los sondeos a un bombeo con incremento paulatino de caudales hasta obtener agua clara, indicador de que el pozo se encuentra limpio y de que se han arrastrado los elementos finos de la formación acuífera, de manera que se consigue potenciar sus características hidrodinámicas.

Características del equipo

Entre los días 8 y 11 de julio de 2013 se llevaron a cabo las operaciones de limpieza y desarrollo de los sondeos de recarga. Para este cometido se instaló una bomba marca Grunfos, tipo SP 77-20, con una potencia de 100 CV, a 81 de profundidad (WRW) y 87 (ERW) respectivamente, alimentada por un grupo generador marca MECC-ALTE de 350 KVA y 630 CV. Como material auxiliar se contó con una sonda de medida de niveles piezométricos y un tubo de Pitot para la medición de los caudales de extracción. El diámetro de la tubería de extracción fue de 100 mm.

- **Desarrollo del sondeo Recarga Oeste (WRW)**

En esta captación, después de someterla a secuencias de pistoneo, se bombeó con caudales de 10, 12,5 y 15 l/s, además de proceder a la lectura de las medidas de recuperación. En el escalón de 12,5 l/s se obtuvieron descensos en el nivel dinámico de 21 m. Mediante la interpretación de la curva de la recuperación, se ha intentado obtener una aproximación de los valores de la transmisividad, cuyo valor estimado es de 137 m²/día. Como conclusión, se determinó que el caudal de admisión es, como mínimo, superior a 15 l/s.

- **Desarrollo del sondeo Recarga Este (ERW)**

En esta perforación se bombeó con caudales crecientes de 10, 12,5, 15 y 17,5 l/s. Después de algo más de 15 horas de bombeo el nivel dinámico descendió 23,59 m, y a partir de este momento bajó bruscamente hasta casi los 38 m, por lo que el caudal tuvo que ser reducido a 6 l/s para estabilizar el descenso dinámico en torno a los 16,72 m. Esta importante anomalía no permite estimar las características hidrodinámicas de la perforación, y la única conclusión obtenida es que el caudal mínimo de admisión está en torno a los 6 l/s.

3.4. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

El conocimiento hidrogeológico pormenorizado del área de la Rambleta se ha conseguido, básicamente, además de por la recopilación de toda la información existente sobre la zona, por la realización de dos campañas de tomografía eléctrica, que han aportado información de detalle sobre la estructura geológica de la zona. En la primera campaña, llevada a cabo en la primera fase del proyecto, se realizaron 4 perfiles, mientras que en esta segunda fase se han realizado 2 perfiles complementarios localizados en el entorno de los sondeos de recarga (figura 13).

Tomografía eléctrica

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

En la investigación realizada se ha utilizado el equipo Terrameter SAS4000 de ABEM, propiedad del IGME, empleando el sistema LUND Imaging. El espaciado interelectrónico ha sido de 15 m y el dispositivo el de Wenner, por consumir menos tiempo en la medición y ser muy robusto. El programa empleado para la inversión de los datos de campo ha sido el RES2DINV v. 3.46b de M.H. Loke y el algoritmo de inversión para la obtención de los perfiles de resistividad finales el *robust constrain*.

La campaña ha consistido en la ejecución en una primera fase de 4 perfiles con una longitud total de 4.200 m (dos de 1.200 y dos de 900 m), y de otros dos en una segunda fase con una longitud total de 2.400 m (1.200 m cada uno) (tabla 3 y figura 13. En los perfiles 1, 2, 5 y 6 se han realizado, adicionalmente, medidas de polarización inducida (PI).

Tabla 3. Características generales de los perfiles

Parámetros de medición			
Perfil	Dispositivo	Espaciado interelectrónico	Longitud
Perfil 1	Wenner/PI	15 m	1.200 m
Perfil 2	Wenner/PI	15 m	1.200 m
Perfil 3	Wenner	15 m	900 m
Perfil 4	Wenner	15 m	900 m
Perfil 5	Wenner/PI	15 m	1.200 m
Perfil 6	Wenner/PI	15 m	1.200 m

En este informe sólo se analizan los perfiles realizados en la segunda campaña (perfiles 5 y 6), ya que los resultados de los de la primera ya se expusieron en el informe correspondiente (Informe final fase I).

Perfil 5

Con orientación oeste-este y una longitud de 1.200 este perfil discurre paralelo a la carretera que transcurre junto a los sondeos de recarga. La inversión del perfil mediante ajuste por mínimos cuadrados ha conseguido un error cuadrático del 3,6 %. A partir de los valores obtenidos se ha seleccionado una paleta de colores que cubre el rango de resistividades entre 10 y 250 ohmxm, con el que se consiguen los resultados expuestos en la figura 14.

Los valores más resistivos observados en la zona más superficial, superiores a los 100 ohmxm, se atribuyen a materiales no saturados de elevada permeabilidad con predominio de gravas y arenas dentro de una matriz arcillosa. Los valores de baja resistividad (inferiores a 50 ohmxm) obtenidos a partir de los 45 m de profundidad, y hasta los 190 m, se asignan a sedimentos permeables de carácter detrítico, y deben corresponder a conglomerados, gravas, arenas y arcillas, saturados con agua de cierta salinidad. Por último, en los niveles más profundos, a partir de los 190 m, se detectan materiales más resistivos (60-100 ohmxm), atribuidos a areniscas que pueden estar saturadas con agua dulce, y que, a su vez, podría corresponder a un tramo acuífero más profundo, con flujos posiblemente ascensionales.

Perfil 6

Este perfil, con una longitud de 1.200 y orientación suroeste-noreste se sitúa más o menos perpendicular al perfil 5. La inversión del perfil mediante ajuste por mínimos cuadrados ha conseguido un error cuadrático del 2,7 %. El resultado de la inversión de este perfil se muestra en la figura 15, representada con la misma paleta de colores que en el perfil anterior. En él se detecta el mismo nivel resistivo superficial que en el perfil 5, mientras que el nivel conductor subyacente muestra valores algo menos conductores, lo que podría indicar una menor salinidad del agua de saturación.

Hacia la parte occidental del perfil se observa un ligero incremento de la resistividad, lo que puede interpretarse de dos formas: por la existencia de aguas menos salinas o por la presencia de formaciones más resistivas, bien debido a una fractura o bien a un cambio hacia facies detríticas más groseras.

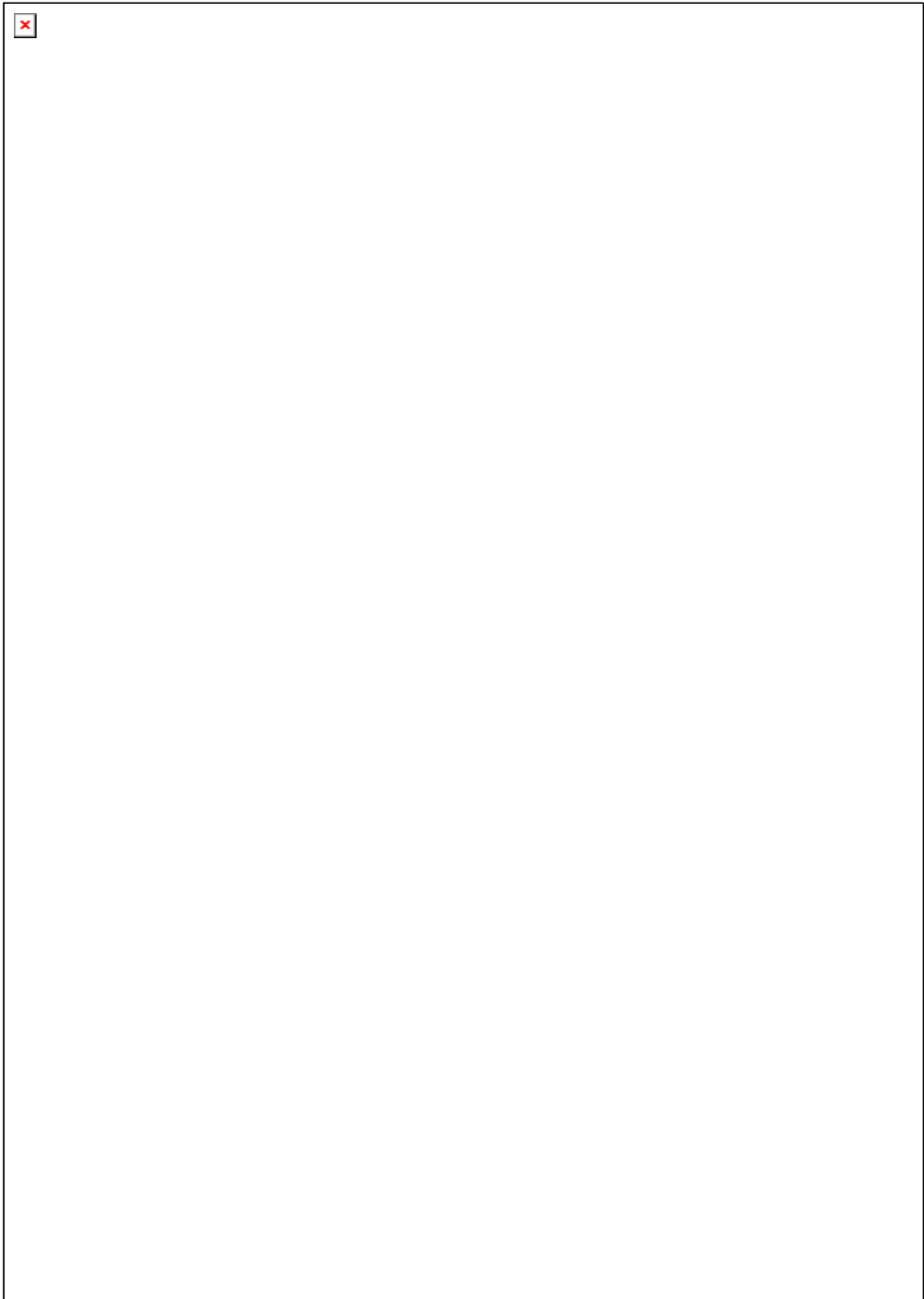


Figura 13. Localización de los perfiles geofísicos. Líneas rojas: perfiles realizados en la 1ª fase. Líneas azules: perfiles realizados en la 2ª fase. Círculos amarillos: centro de los dispositivos

Final Report

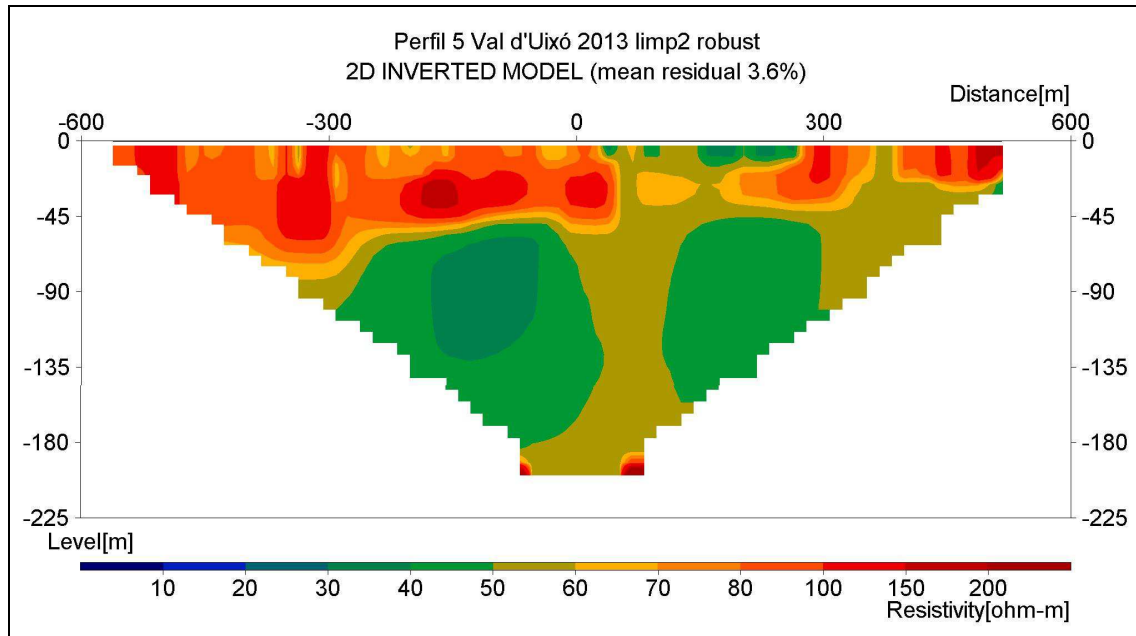


Figura 14. Resistividades obtenidas en el Perfil 5

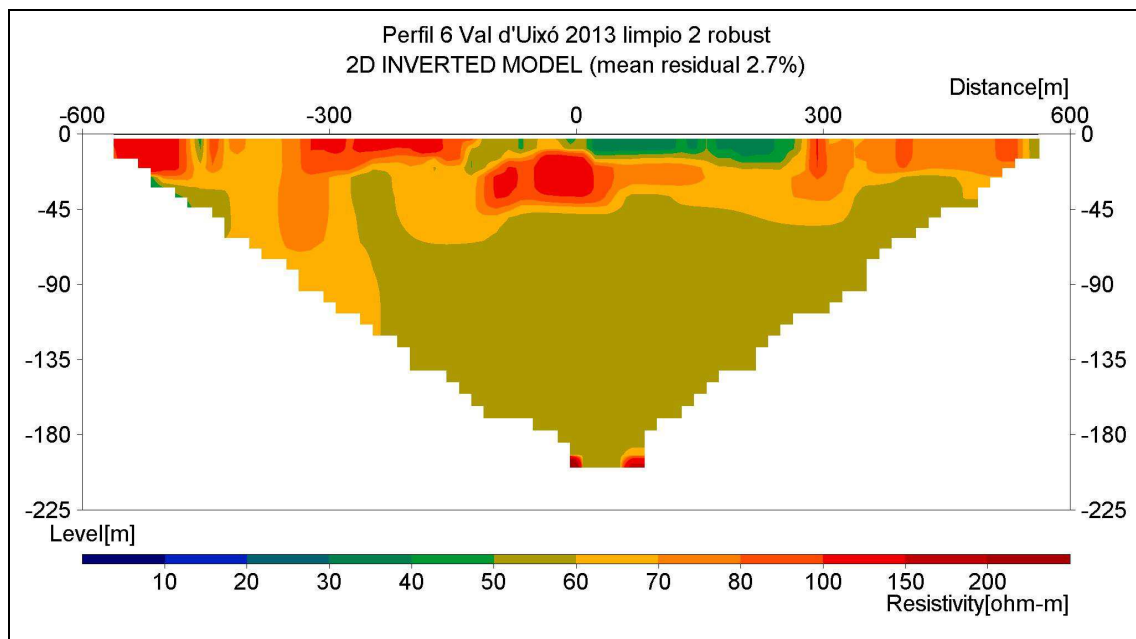


Figura 15. Resistividades obtenidas en el Perfil 6

Perfiles de Polarización inducida (PI)

Como ya se ha comentado anteriormente, en los perfiles 5 y 6 se han realizado también medidas de polarización inducida, con los mismos dispositivos y características que los de resistividad eléctrica. El objetivo de las medidas de PI es discriminar si los niveles de conductividad elevada son causados por la presencia de aguas salinas (bajo valor de cargabilidad) o debido a la existencia de arcillas (valor de cargabilidad más alto). Sin embargo, hay que comentar que no se han obtenido resultados aceptables (figuras 16 y 11).

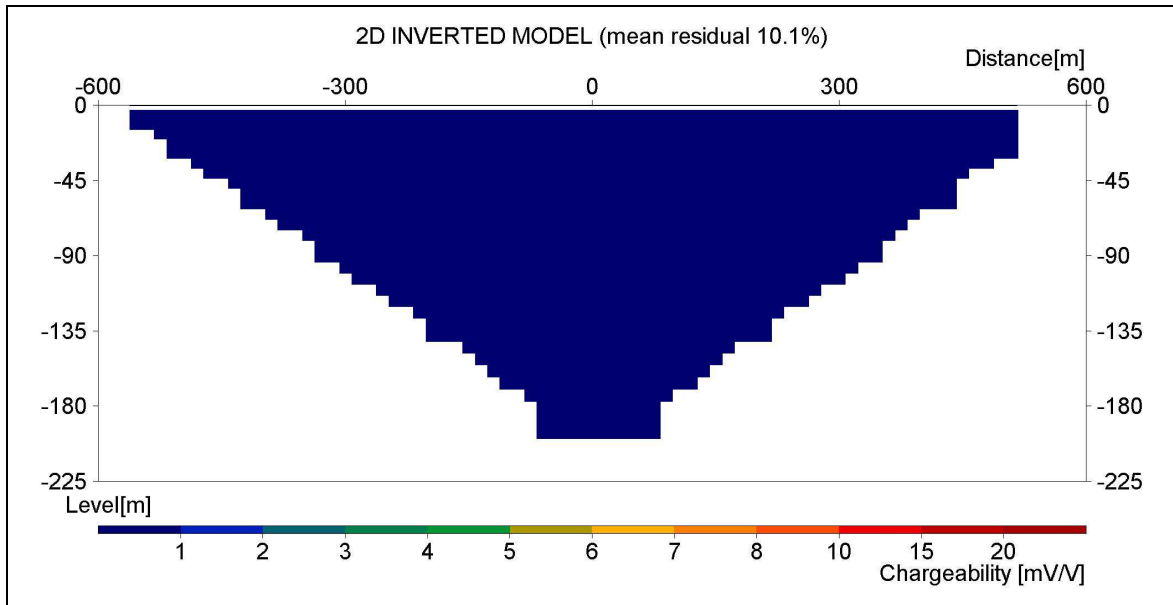


Figura 16. Valores de cargabilidad obtenidos en el Perfil 5

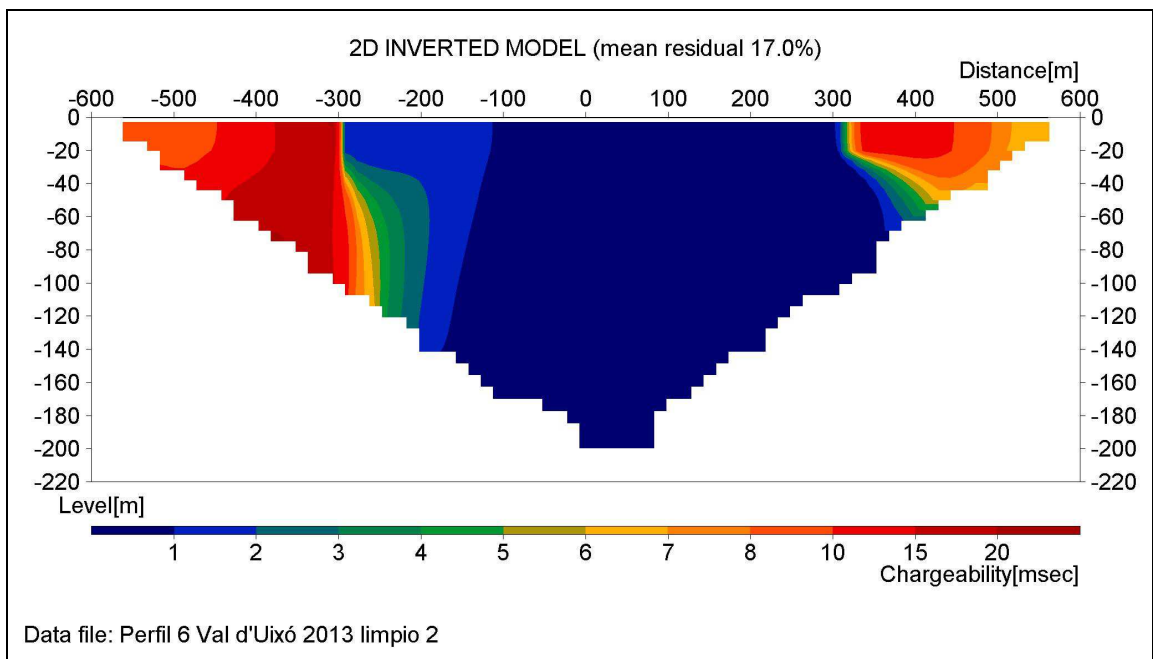


Figura 17. Valores de cargabilidad obtenidos en el Perfil 6

Capítulo 4
OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE CONTROL

4.1. RED DE CONTROL GENERAL

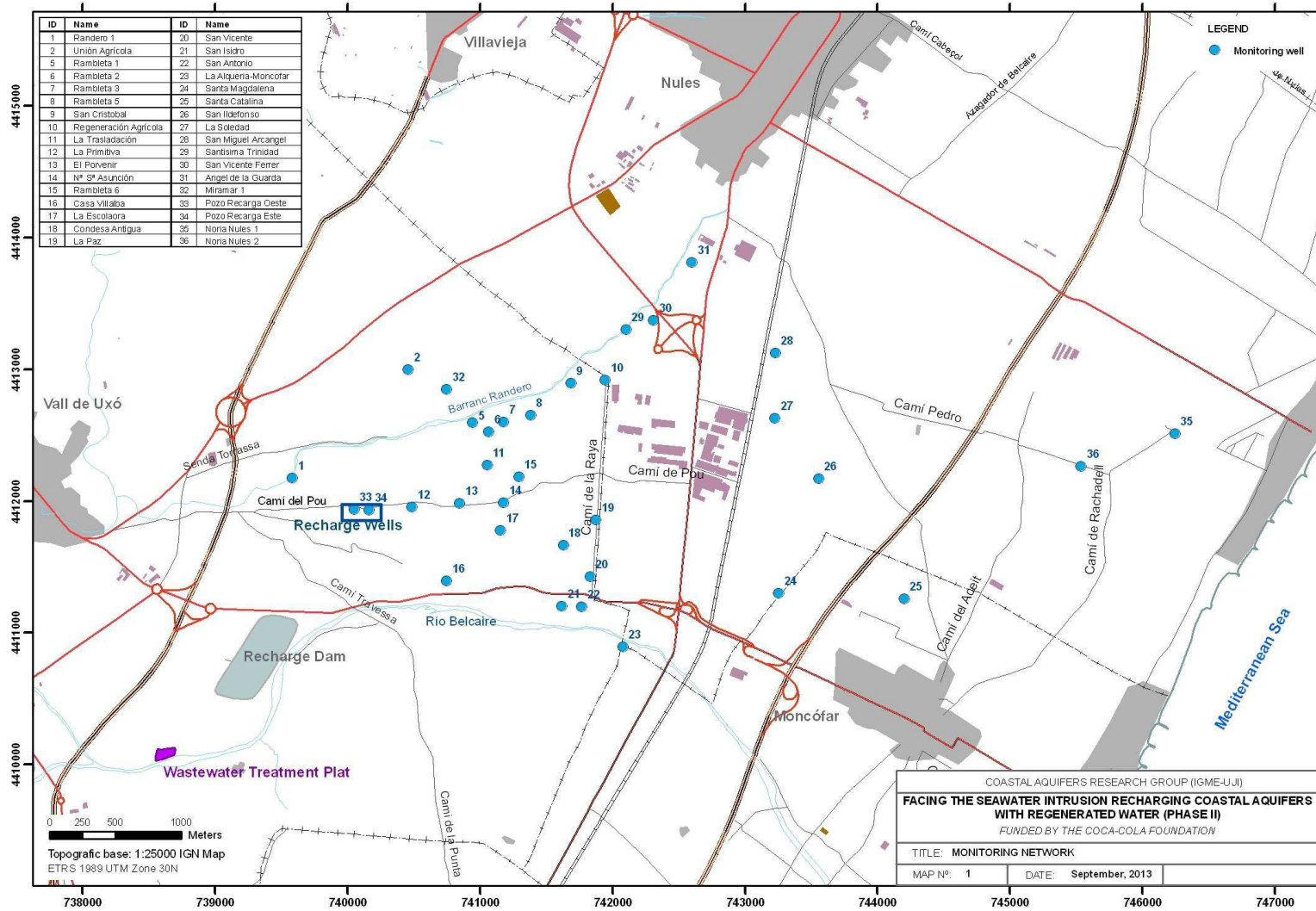
Se han introducido una serie de modificaciones dentro de la red de control para mejorar el conocimiento del funcionamiento hidrodinámico e hidroquímico de la zona. Así, se han añadido cinco nuevos puntos: Miramar 1, Pozo de Recarga Oeste, Pozo de Recarga Este, Noria Nules 1 y Noria Nules 2. Por otra parte, se han eliminado dos puntos cuya información se ha mostrado redundante o ineficaz para la caracterización del acuífero (La Rambleta y Rambleta SGOP).

De este modo, la red de control general queda constituida por 34 puntos (tabla 4 y mapa 1), en su mayoría pozos de riego de las diferentes cooperativas agrarias (27) y en desuso (23).

Tabla 4. Red de control general

ID	NOMBRE	X (ED_50)	Y (ED_50)	Z (m asl)	Depth (m)	Municipality
1	Randero 1	739.688	4.412.383	55,72	100	Vall de Uxó
2	Unión Agrícola	740.562	4.413.204	37,39	50	Vall de Uxó
5	Rambleta 1	741.047	4.412.801	32,65	75	Vall de Uxó
6	Rambleta 2	741.170	4.412.732	30,70	42	Vall de Uxó
7	Rambleta 3	741.282	4.412.808	28,84	73	Vall de Uxó
8	Rambleta 5	741.486	4.412.860	26,91	78	Vall de Uxó
9	San Cristobal	741.789	4.413.103	20,30	80	Vall de Uxó
10	Regeneración Agrícola	742.047	4.413.125	18,85	77	Vall de Uxó
11	La Traslación	741.158	4.412.479	31,21	54	Vall de Uxó
12	La Primitiva	740.590	4.412.161	40,25	100	Vall de Uxó
13	El Porvenir	740.948	4.412.190	34,97	57	Vall de Uxó
14	Nª Sª de Asunción	741.282	4.412.197	32,57	37	Vall de Uxó
15	Rambleta 6	741.396	4.412.391	30,28	67	Vall de Uxó
16	Casa Villalba	740.850	4.411.600	38,58	51	Vall de Uxó
17	La Escolaora	741.257	4.411.982	30,64		Vall de Uxó
18	Condesa Antigua	741.733	4.411.873	29,97	48	Vall de Uxó
19	La Paz	741.977	4.412.065	26,38	51	Vall de Uxó
20	San Vicente	741.934	4.411.635	27,10	52	Vall de Uxó
21	San Isidro	741.722	4.411.410	29,97	52	Vall de Uxó
22	San Antonio	741.870	4.411.402	28,70	63	Vall de Uxó
23	La Alqueria-Moncofar	742.182	4.411.100	22,03	92	Vall de Uxó
24	Santa Magdalena	743.359	4.411.507	13,67	25	Móncofar
25	Santa Catalina	744.306	4.411.466	7,17	21	Móncofar
26	San Ildefonso	743.660	4.412.378	12,57	54	Nules
27	La Soledad	743.331	4.412.835	13,76	27	Nules
28	San Miguel Arcangel	743.333	4.413.332	11,07	36	Nules
29	Santísima Trinidad	742.205	4.413.508	17,93	74	Nules
30	San Vicente Ferrer	742.415	4.413.580	17,06	49	Nules
31	Angel de la Guarda	742.704	4.414.018	13,97	26	Nules
32	Miramar 1	740.850	4.413.057	33,98		Vall de Uxó
33	Pozo Recarga Oeste	740.152	4.412.143	48,95	100	Vall de Uxó
34	Pozo Recarga Este	740.267	4.412.137	46,48	100	Vall de Uxó
35	Noria Nules 1	746.342	4.412.732	3,83	4	Nules
36	Noria Nules 2	745.752	4.412.427	2,82	4	Nules

Final Report



Mapa 1. Situación de los puntos de la red de control general.

Se realizan campañas bimestrales de medidas de piezometría y de toma de muestras para cloruros y, desde junio de 2013, para nitratos. Además, semestralmente se realiza un toma de muestras para realizar analíticas más completas (iones mayoritarios y ciertos iones minoritarios -bromuros, estroncio, litio, fluor, boro, arsénico y mercurio). En todas las campañas se mide en campo la conductividad eléctrica (CE), el pH, el potencial redox (Eh) y la temperatura (T^a). Las muestras se toman a una profundidad de 5 m.

Por otra parte, se cuenta con sondas de registro continuo, que desde febrero de 2012 se han ido instalando en una serie pozos en desuso y han tomado datos cada hora. En concreto, en la Rambleta 1, La Paz, San Vicente, Santa Catalina y San Ildefonso se han instalado sondas Cera-Diver, que registran datos de temperatura y profundidad de la lámina de agua a una determinada profundidad. En los pozos Rambleta 2, Rambleta 5, San Cristóbal, El Porvenir, San Isidro y Rambleta 6 se han instalado CTD-Diver, que miden además la conductividad eléctrica. Por último, en el Rambleta 6 también se ha instalado una sonda Baro-Diver, que mide la presión atmosférica, y que sirve para ajustar las medidas de profundidad (tomadas en presión) de ambos dispositivos. En abril de este año se han cambiado ciertas sondas de ubicación en función de las nuevas necesidades (Capítulo 6), instalándose varias sondas en los pozos de Recarga Oeste y Control Este. Además se siguen controlando de forma continua los pozos Rambleta 1, Rambleta 6, Rambleta 5, San Ildefonso y Santa Catalina.

Las campañas se completan con la realización mensual de perfiles verticales de conductividad eléctrica y temperatura en los pozos Rambleta 2, Rambleta 5, Rambleta 6, Pozo de Recarga Oeste y Pozo de Control Este (apartado 7.2.3).

Además, en la campaña de diciembre se han tomado muestras para el análisis de los isótopos del deuterio y el oxígeno-18 del agua en 40 puntos, así como del sulfato-34 y el oxígeno-18 en los sulfatos en 18 puntos (tabla 5).

Final Report

Tabla 5. Puntos de muestreo de isótopos

ID	NOMBRE	D-H ₂ O	¹⁸ O-H ₂ O	¹⁸ S-SO ₄ O	¹⁸ O-SO ₄
1	Randero 1	x	x	x	x
2	Unión Agrícola	x	x	x	x
5	Ramblota 1	x	x	x	x
6	Ramblota 2	x	x	x	x
7	Ramblota 3	x	x		
8	Ramblota 5	x	x	x	x
9	San Cristobal	x	x		
10	Regeneración Agrícola	x	x		
11	La Traslación	x	x		
12	La Primitiva	x	x	x	x
13	El Porvenir	x	x		
14	N ^a S ^a de Asunción				
15	Ramblota 6	x	x		
16	Casa Villalba	x	x	x	x
17	La Escolara	x	x	x	x
18	Condesa Antigua				
19	La Paz	x	x		
20	San Vicente	x	x	x	x
21	San Isidro	x	x		
22	San Antonio	x	x		
23	La Alqueria-Moncofar	x	x		
24	Santa Magdalena	x	x	x	x
25	Santa Catalina	x	x	x	x
26	San Ildefonso	x	x		
27	La Soledad	x	x	x	x
28	San Miguel Arcangel	x	x	x	x
29	Santisima Trinidad	x	x	x	x
30	San Vicente Ferrer	x	x		
31	Angel de la Guarda	x	x	x	x
32	Miramar 1	x	x		
33	Pozo Recarga Oeste	x	x	x	x
34	Pozo Recarga Este	x	x		
35	Noria Nules 1	x	x	x	x
36	Noria Nules 2	x	x		
60	Miramar Corraliza	x	x		
61	Font Cervera	x	x		
62	Font Anoheret	x	x		
63	Pla Llobet	x	x		
64	Cerverola	x	x		
65	San José	x	x		
66	Fuente Tejería			x	x
	EDAR	x	x		
	Balsa de Recarga	x	x		

4.2. RED DE CONTROL ESPECÍFICA

Esta red está diseñada para controlar el efecto de la recarga en el entorno más cercano a los puntos de infiltración. Estará compuesta por cuatro piezómetros (figura 18), tres de próxima construcción (piezómetros de control 1, 2 y 3) y uno ya existente y perteneciente a FACSA (piezómetro de control 4). Los piezómetros se sitúan a una distancia del Pozo de Recarga Oeste de 50, 185, 65 y 550 m, respectivamente. Las coordenadas UTM de los piezómetros son 1, 2 y 3, en ambos casos aproximadas, y del piezómetro 4 son las siguientes (sistema de referencia ETRS89 Zona 30N):

Piezómetro de control 1:	X: 740.100	Y: 4.411.945
Piezómetro de control 2:	X: 740.234	Y: 4.411.950
Piezómetro de control 3:	X: 740.053	Y: 4.412.013
Piezómetro de control 4:	X: 740.580	Y: 4.412.080

El piezómetros de control 1 tiene 100 m de profundidad, con un diámetro de \times mm y revestidos con tubería de PVC de 80 mm de diámetro. El espacio anular contendrá un empaque de gravas silíceas clasificadas.

Características resto piezómetros

En cada uno de los piezómetros se instalará un *diver* para obtener datos en continuo de CE, nivel del agua y temperatura. Con periodicidad quincenal se tomarán muestras a cinco metros bajo el nivel del agua en las que analizarán los iones cloruros y nitratos, además de realizar las medidas in situ (profundidad de la lámina de agua, CE, pH, Eh y temperatura). Mensualmente se analizarán iones mayoritarios, boro, microorganismos, sustancias prioritarias y contaminantes emergentes. También se realizarán semanalmente registros verticales de CE y temperatura.



Figura 18. Situación de los piezómetros de la red de control específica

Finalmente, el plan de control se completa con un control continuo del agua de recarga. Para ello, antes de la entrada en los pozos se va a colocar una sonda multiparamétrica HI 9829, para el control en continuo de temperatura, CE, turbidez, pH y oxígeno disuelto. Además, mensualmente se analizarán iones mayoritarios, boro, microorganismos, sustancias prioritarias y contaminantes emergentes.

5.3. RED DE ACUÍFEROS DE BORDE

Se han tomado muestras de una serie de pozos y fuentes con el fin de estudiar las características hidroquímicas de los acuíferos de borde del acuífero Plana de Castellón en la zona de estudio. La campaña tuvo lugar en diciembre de 2012.

Los puntos de control se detallan en la tabla 6 y en la figura 19.

Tabla 6. Red de caracterización hidroquímica de los acuíferos de borde.

ID	NAME	X (ED_50)	Y (ED_50)	Depth	Municipality
60	Miramar Corraliza	738.869	4.413.690	233	Vall de Uxó
61	Font de la Cercera	738.050	4.414.997	-	Vall de Uxó
62	Font Anoheret	736.468	4.414.689	-	Vall de Uxó
63	Pla Llobet	734.460	4.408.529	405	Vall de Uxó
64	Cerverola	732.396	4.406.832	378	Vall de Uxó
65	San José	735.200	4.412.000	-	Vall de Uxó

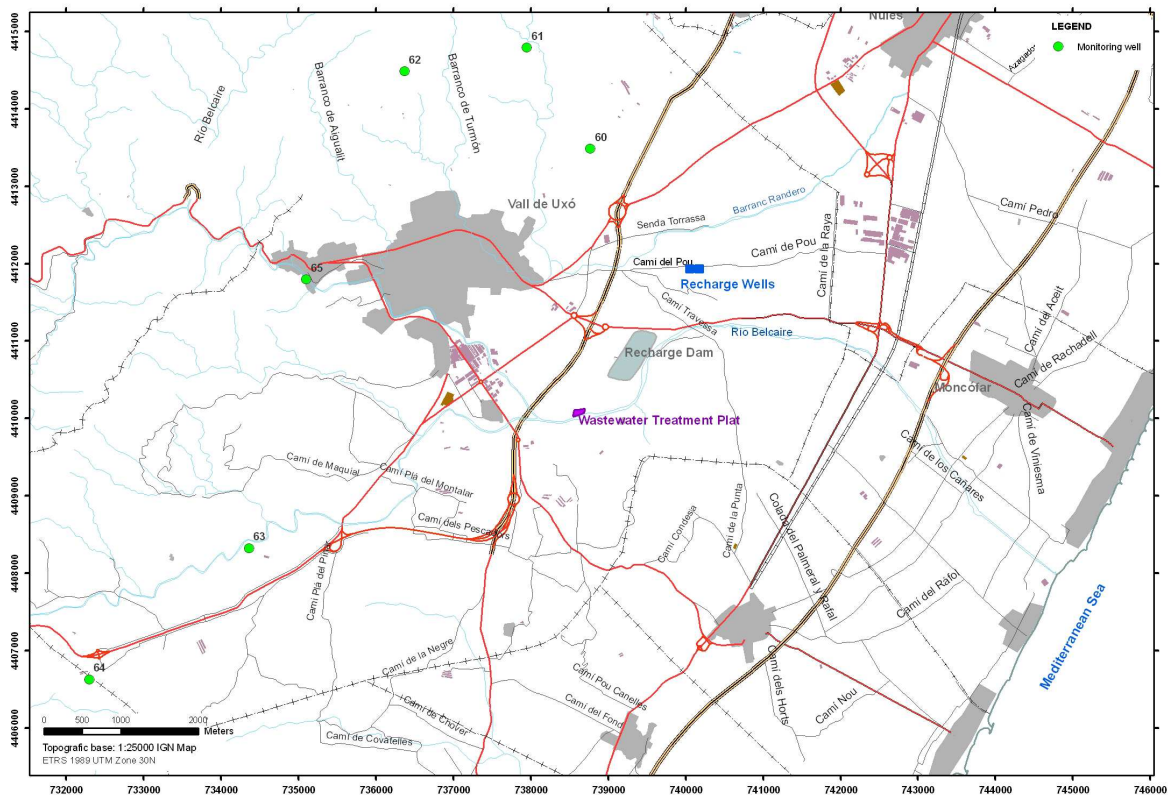


Figura 19. Situación de los pozos de la red de caracterización hidroquímica de los acuíferos de borde

Capítulo 5
**CONDICIONES PIEZOMÉTRICAS Y
EVOLUCIÓN**

5.1. CAMPAÑAS PIEZOMÉTRICAS

Los resultados obtenidos en las campañas bimestrales realizadas desde de abril de 2012 indican que los niveles de agua subterránea son bajos y próximos al nivel del mar, con un rango de valores mínimos ligeramente por debajo de 0,75-1 m s.n.m. (zona central, meses de agosto y octubre de 2012) y por encima de 4-5 m s.n.m. (zona oeste, meses de abril y junio de 2012, abril y junio de 2013) (mapas 2, 3 y 4).(octubre 2012, abril 2013 y junio 2013).

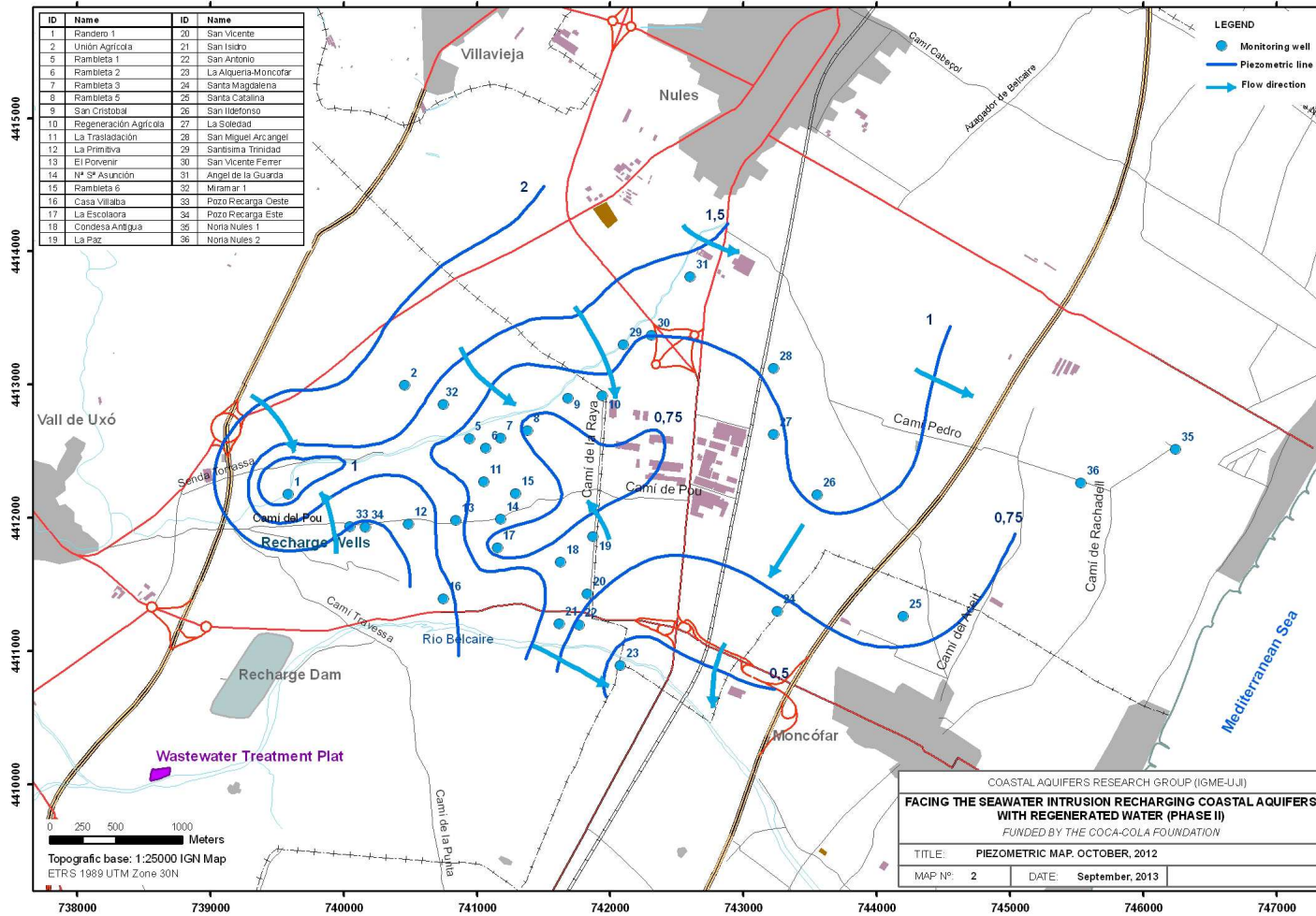
De modo general, se puede establecer un esquema en el que la piezometría en condiciones naturales desciende progresivamente desde el oeste, donde el acuífero es alimentado por los acuíferos de borde, hacia el mar Mediterráneo, principal mecanismo de drenaje del sistema. En las referidas condiciones, el flujo subterráneo presenta un sentido oeste-este. Sin embargo, este esquema de flujo ha sido modificado de forma antrópica debido a los bombeos realizados en el acuífero, que ha generado la depresión de los niveles en ciertas zonas (mapa 2), en concreto en el entorno de los límites municipales de Vall de Uxó y Nules (Camí de la Raya), así como en la zona oeste alrededor de los sondeos Randero 1, 2 y 3 (paraje Randero). En ambos sectores se modifica la dirección del flujo subterráneo, de forma que las líneas de flujo presentan una componente radial hacia el centro de la depresión piezométrica. Debido al carácter costero del acuífero, en estos descensos del nivel de agua en el sistema está el origen de la salinización de sus aguas.

Los niveles piezométricos más elevados corresponden al mes de junio de 2013 (mapa 4), registrándose también piezometrías altas en abril de 2012 y abril de 2013 (mapa 3). En estos periodos, se verifican cotas máximas por encima de 4 msnm en la zona oeste, no registrándose la depresión piezométrica del paraje Randero. Por su parte, en la zona del Camí de la Raya las cotas se sitúan entre 2-2,25 msnm.

Por el contrario, las cotas piezométricas más bajas se detectan en el mes de octubre de 2012 (mapa 2), con niveles en toda la zona de estudio por debajo de 2 msnm, y con la depresión piezométrica del paraje Randero por debajo de 1 msnm y la depresión del Camí de la Raya con cotas inferiores a 0,75 msnm.

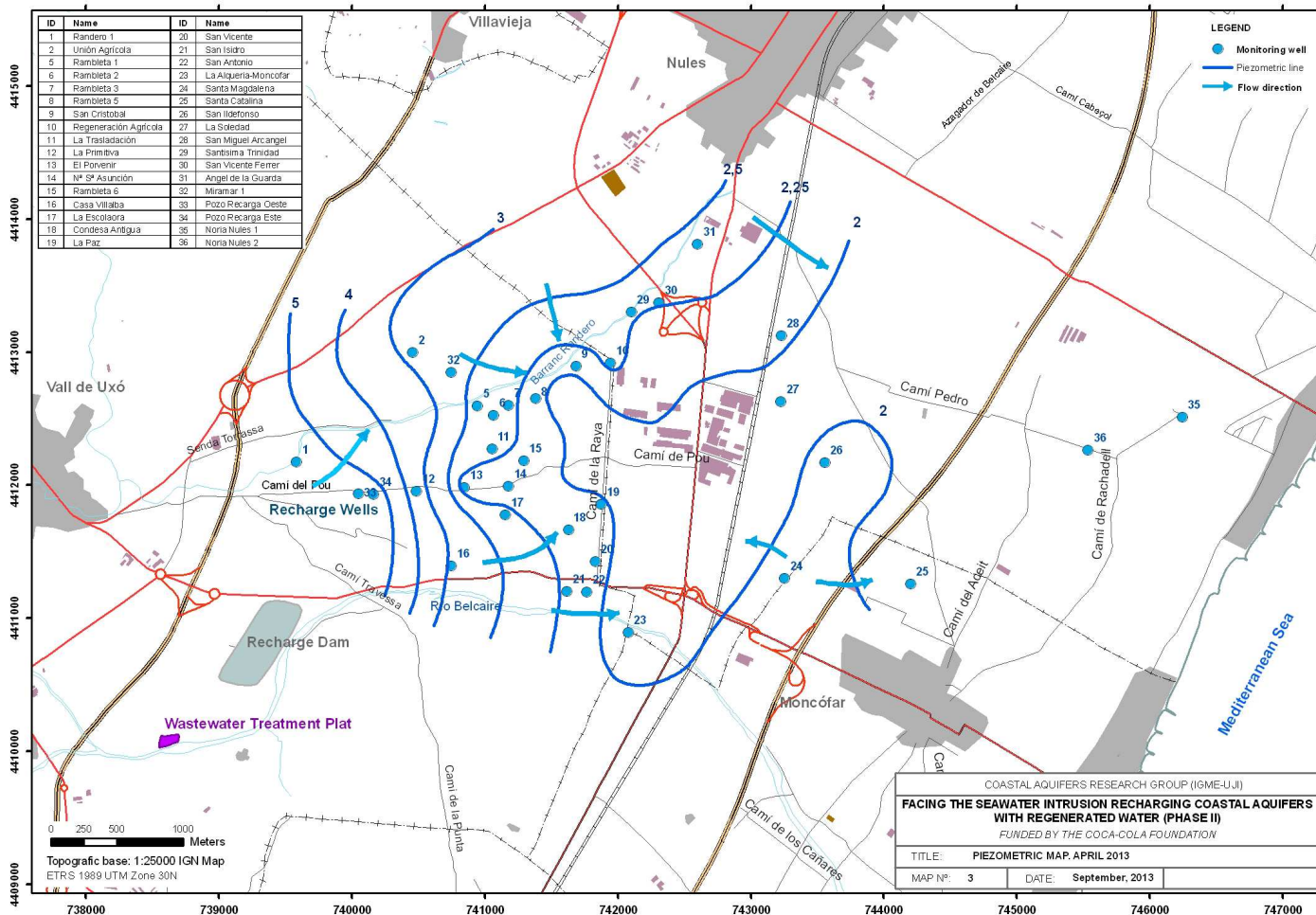
El comportamiento de la zona de estudio se puede considerar homogéneo, puesto que los 34 puntos que forman la red de control muestran un esquema de evolución muy similar. La figura 20 es un reflejo de lo que ocurre en la zona, en ella se representa la evolución piezométrica de cuatro puntos (Rambleta 1, 2, 3 y 5) así mismo en la figura 21 se representa el valor promedio obtenido en cada campaña. En ambos casos se observa el descenso de los niveles desde abril de 2012 (primer mes del periodo de control) hasta octubre de 2012, cuando se aprecian los valores mínimos. A partir de dicho mes, se verifica la recuperación de los niveles, muy significativa en el mes de diciembre, con niveles similares o incluso levemente inferiores en febrero de 2013 (mapas de diciembre de 2012 y febrero de 2013 en Anexo 2 y con ascensos otra vez importantes en abril y junio de 2013, finalizando el periodo de control (agosto de 2013) con el descenso de los niveles característicos del periodo estival (mapa 5). Para concluir, cabe señalar la significativa dependencia de la piezometría con las precipitaciones (figura 21).

Final Report



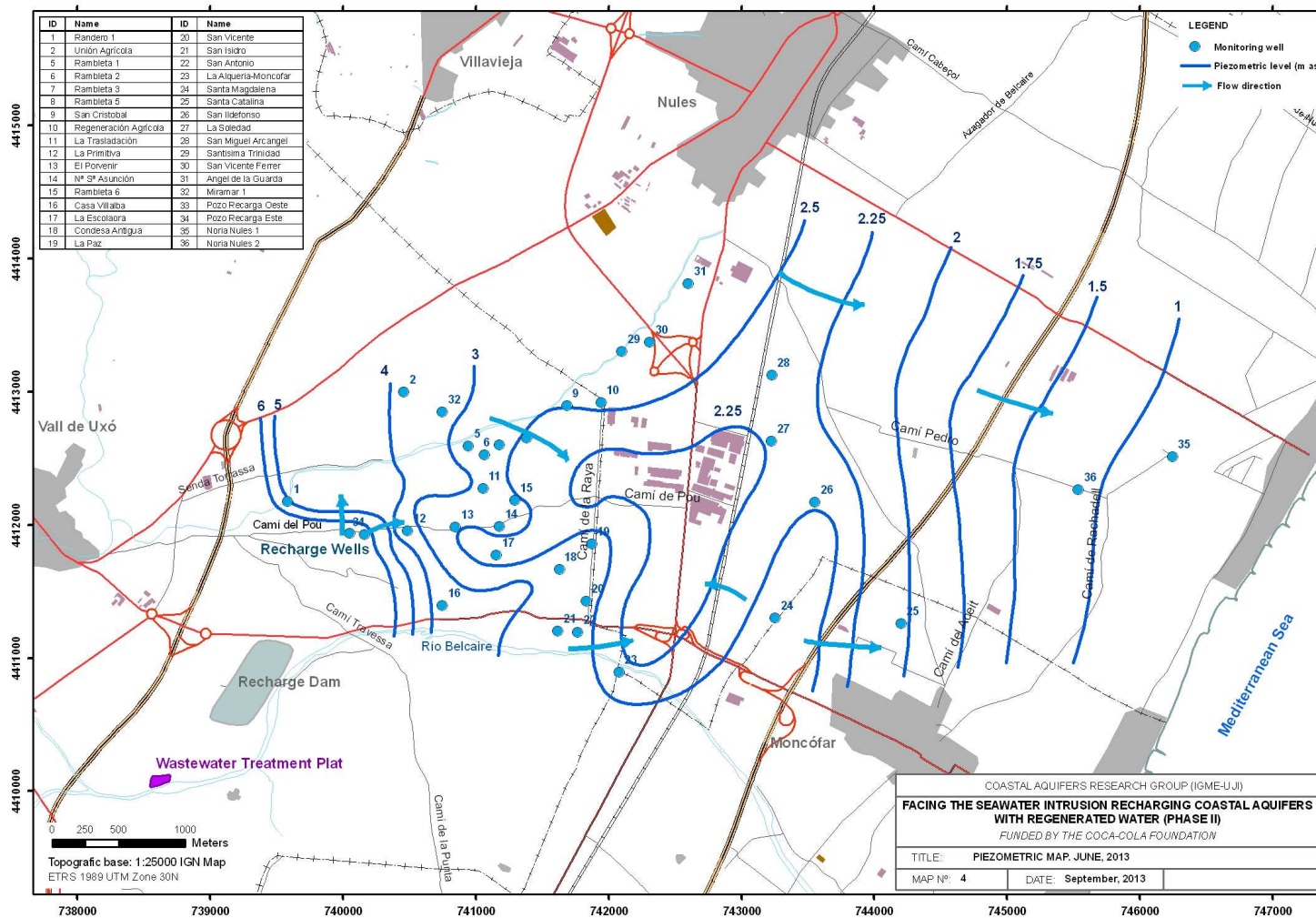
Mapa 2. Mapa piezométrico de octubre de 2012

Final Report



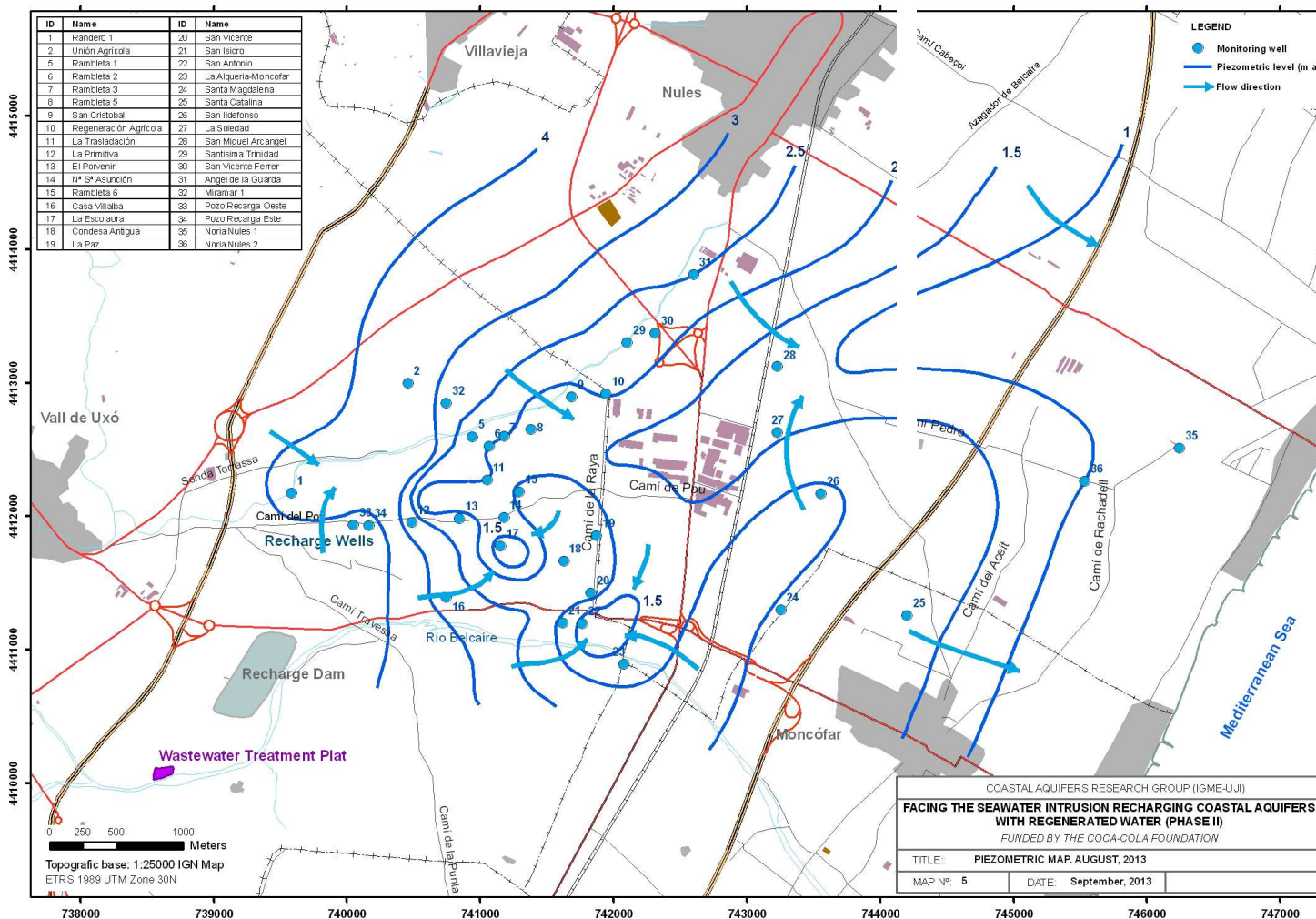
Mapa 3. Mapa piezométrico de abril de 2013

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



Mapa 4. Mapa piezométrico de junio de 2013

Final Report



Mapa 5. Mapa piezométrico de agosto de 2013

Final Report

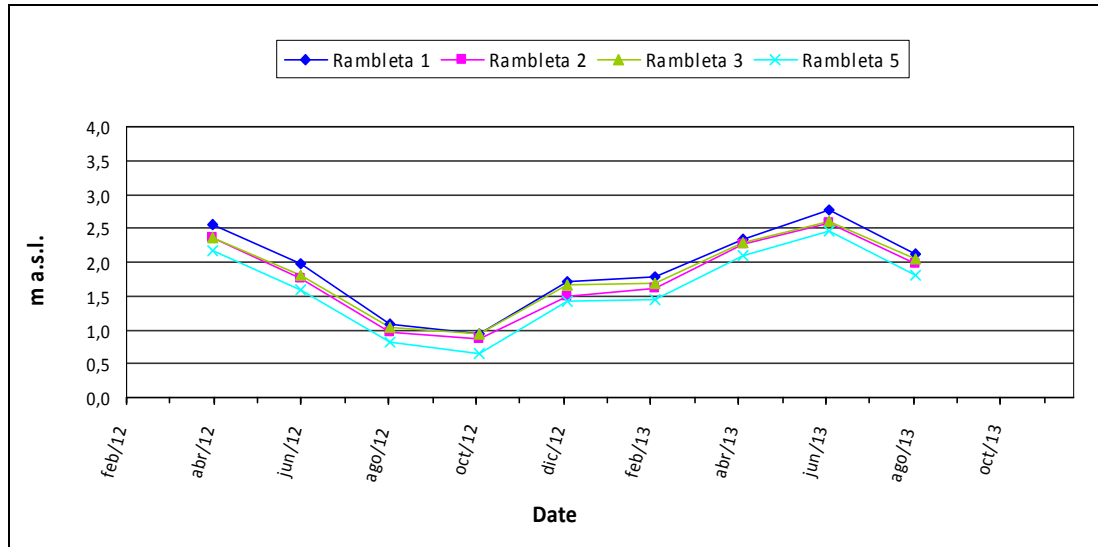


Figura 20. Evolución piezométrica de los pozos Rambleta 1, 2, 3 y 5 en el periodo abril 2012-agosto 2013

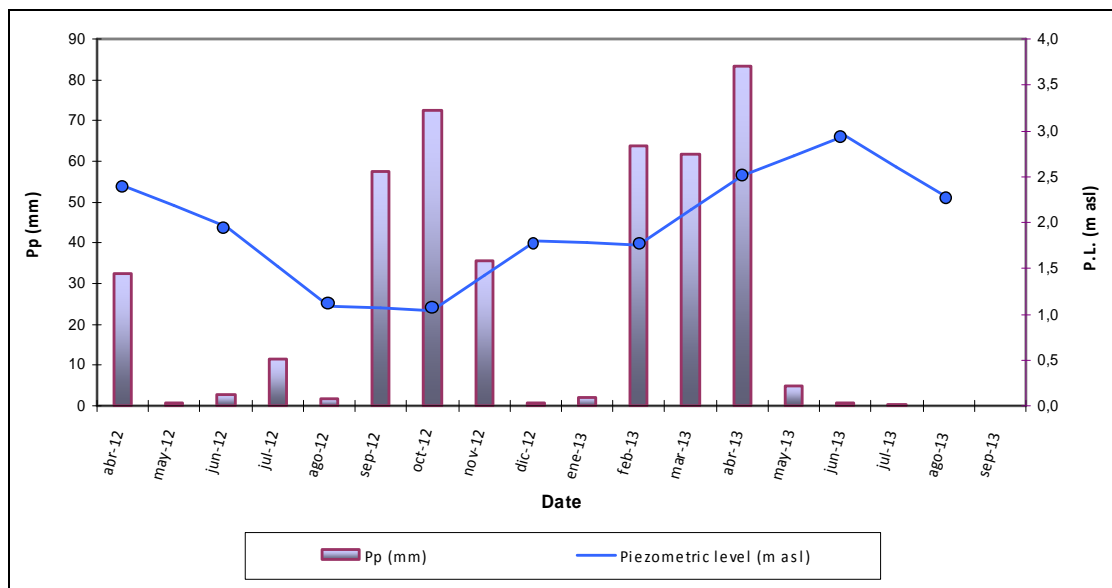


Figura 21. Evolución de los valores promedio de la piezometría y de las precipitaciones en abril 2012-agosto 2013

En el caso del sondeo Randero 1 su evolución piezométrica varía ligeramente de este patrón general (figura 22) puesto que se bombea prácticamente a diario durante toda la noche y los niveles tomados en ciertas campañas no son estáticos. De hecho los bombeos de los pozos Randero 1, 2 y 3 provocan la depresión piezométrica comentada anteriormente en la zona Senda Torrasa-Barranco Randero (mapa 2).

Por tanto, en la zona de los Pozos de Recarga el flujo del agua subterránea presenta dirección oeste-este pero también sureste-noroeste hacia la depresión de la senda Torrassa-Barranco Randero.

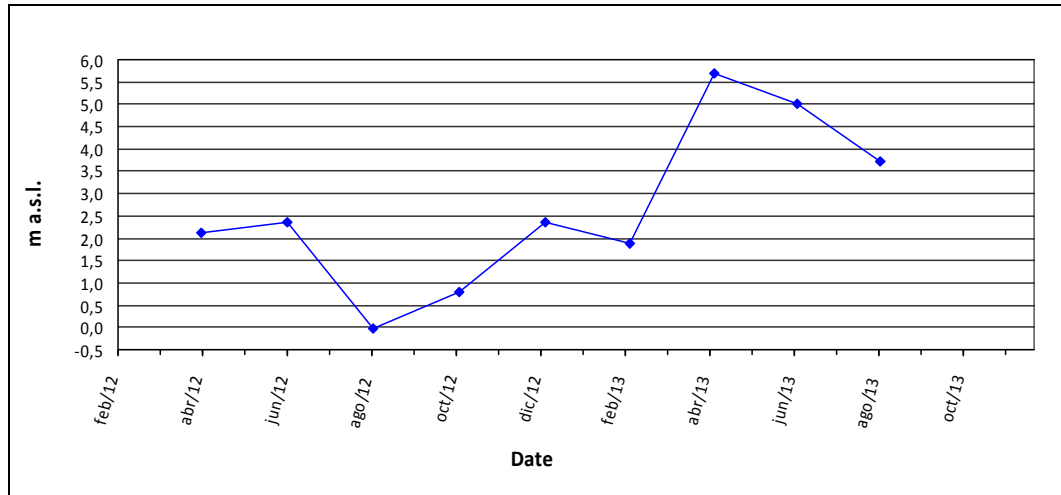


Figura 22. Evolución piezométrica del pozo Randero 1 en el periodo abril 2012-agosto 2013

5.2. REGISTROS CONTINUOS

Desde febrero de 2012 se han instalado Cera-Divers y CTD-Divers en una serie de pozos de la red de control (Rambleta 2, Rambleta 5, Rambleta 6, San Cristóbal, Porvenir, Rambleta 1, Santa Catalina, San Vicente, La Paz, San Ildefonso, San Isidro, Recarga Oeste y Control Oeste), a una profundidad de 10 metros por debajo del nivel del agua. El seguimiento de estos pozos mediante divers ha dado una idea del comportamiento del nivel piezométrico (N.P.) del acuífero, de la conductividad eléctrica (CE) y de la temperatura, estos dos últimos parámetros son característicos a determinada profundidad. Además cada vez que se ha ido al campo se han tomado datos manuales de piezometría y por tanto se han podido comparar con los datos calculados por los divers. Durante la campaña de diciembre 2012, los divers se subieron 5 metros para que estuvieran dentro del rango de presión de columna de agua que según sus especificaciones pueden soportar.

Durante este periodo los divers se han ido cambiando de pozos en función de las necesidades del momento. La desaparición de uno de ellos (pozo la Paz), la rotura de algunos dispositivos y errores en la lectura en determinados periodos, ha dado lugar a que las gráficas en su mayoría no muestren datos en continuo. En la figura 23, se muestran las evoluciones más completas y representativas de los pozos que corresponden al pozo Rambleta 1, Santa Catalina y San Ildefonso, pero en el anexo 5, se muestran todas las evoluciones de los divers que han estado en funcionamiento en algún momento comprendido entre septiembre 2012 y agosto 2013.

En general, se podría decir que la evolución del nivel piezométrico en la zona es la siguiente (figura 23), durante la primera quincena de septiembre 2012 se alcanzaron los N.P. mínimos y a partir de las lluvias, que tuvieron lugar la segunda mitad de septiembre éstos empezaron a recuperarse. De finales de febrero a principios de marzo

Final Report

2013, tuvieron lugar unas lluvias muy intensas (en 8-10 días se registraron 117 mm según el IVIA, www.ivia.es) que afectaron de forma positiva e inmediata al N.P., observándose en un corto intervalo de tiempo un aumento de hasta 0.5 m en el N.P., o incluso más. En todos los casos, en junio 2013, el N.P. superaba el de junio 2012, incluso en el caso del Pozo Rambleta 1 que llegó a ser 1 metro mayor que en el año anterior. Esto es debido a que, según el IVIA, el año 2012 fue bastante seco, llovieron 297.91 mm/año (www.ivia.es).

Actualmente, para controlar la zona donde se llevará a cabo la recarga, se han instalado dos CTD-Divers en el pozo de Control Este y en el pozo de Recarga Oeste un CTD-Diver y un Cera-Diver a distintas profundidades. En el Rambleta 5 se instaló un CTD-Diver y en el Rambleta 6 otro, y en los pozos Santa Catalina y San Ildefonso un Cera-Diver en cada uno.

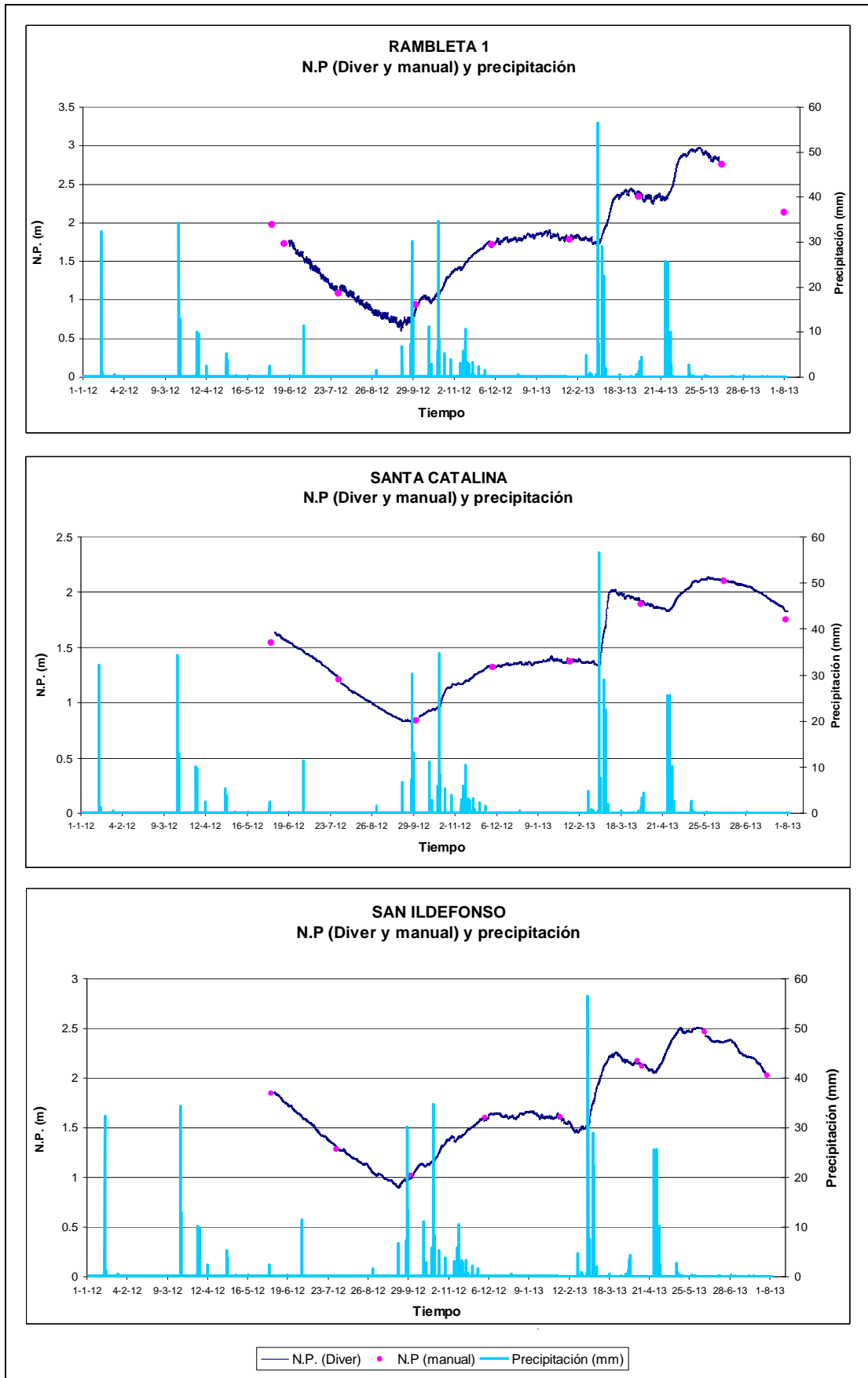


Figura 23. Evolución temporal de los niveles piezométricos en los pozos Rambleta 1, Sta. Catalina y San Ildefonso.

6.1. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE LOS ACUÍFEROS DE BORDE

Se ha realizado una campaña específica de muestreo (diciembre de 2012) para caracterizar hidroquímicamente los acuíferos limítrofes con la Plana de Castellón en la zona de estudio. Se dispone de seis analíticas pertenecientes a los pozos descritos y representados en la tabla 6 y en la figura 19 (capítulo 4).

Se distinguen, si atendemos a su composición aniónica, facies bicarbonatadas, enriquecidas en ciertos casos en sulfatos o en cloruros (figura 24 y tabla 7). Así, se caracterizan como facies bicarbonatadas las aguas del manantial de San José, la fuente de la Anoheret y los pozos Llobet y Cerverola 2, éste último con mayor contenido en sulfatos. Por su parte, el pozo Miramar Corraliza presenta aguas cloruradas bicarbonatadas, mientras que en la fuente Cervera se tienen aguas bicarbonatadas cloruradas. En relación a los cationes las facies son cálcicas en la Anoheret, San José y Cerverola, magnésicas en el Pla Llobet y cálcico-sódicas en la Font de la Cervera.

Tabla 7. Características hidroquímicas (CE, TDS y facies hidroquímicas) de los puntos pertenecientes a los acuíferos de borde de la Plana de Castellón en la zona de La Rambleta

ID	NAME	FECHA	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Facies hidroquímicas
60	Miramar Corraliza	18/12/2012	1154	1010	Clorurada bicarbonatada calcicomagnésica
61	Font de la Cercera	18/12/2012	354	246	Bicarbonatada clorurada calcicosódica
62	Font Anoheret	11/12/2012	452	346	Bicarbonatada cálcica
63	Pla Llobet	12/12/2012	761	709	Bicarbonatada magnésica
64	Cerverola	12/12/2012	764	704	Bicarbonatada magnésicocálcica
65	San José	11/12/2012	405	430	Bicarbonatada cálcica

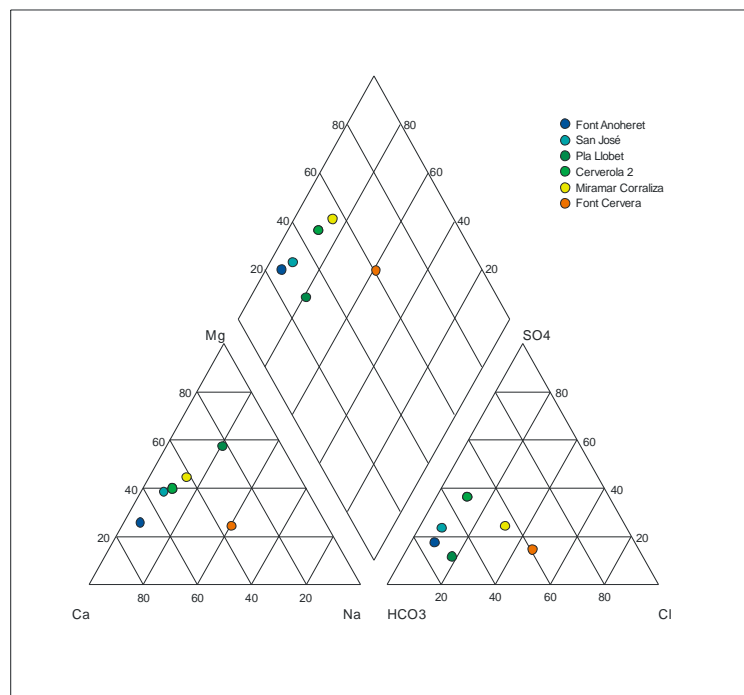


Figura 24. Diagrama de Piper de los puntos pertenecientes a los acuíferos de borde de la Plana de Castellón en la zona de La Rambleta

Final Report

En general, se trata de aguas de baja mineralización, siendo el máximo contenido salino el registrado en el sondeo Miramar-Corraliza con una CE de 1154 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un TDS de 1010 mg/L. En este sondeo se registran también los máximos contenidos en cloruros (148 mg/l) y nitratos (76 mg/l), lo sugiere la entrada de agua del acuífero cuaternario en el acuífero de borde a consecuencia de la explotación intensiva y de la inversión local del sentido del flujo. También es significativa la concentración de cloruros en la fuente de la Cervera (56 mg/l) y en pozo Pla Llobet (61 mg/l) (figuras 25 y 26).

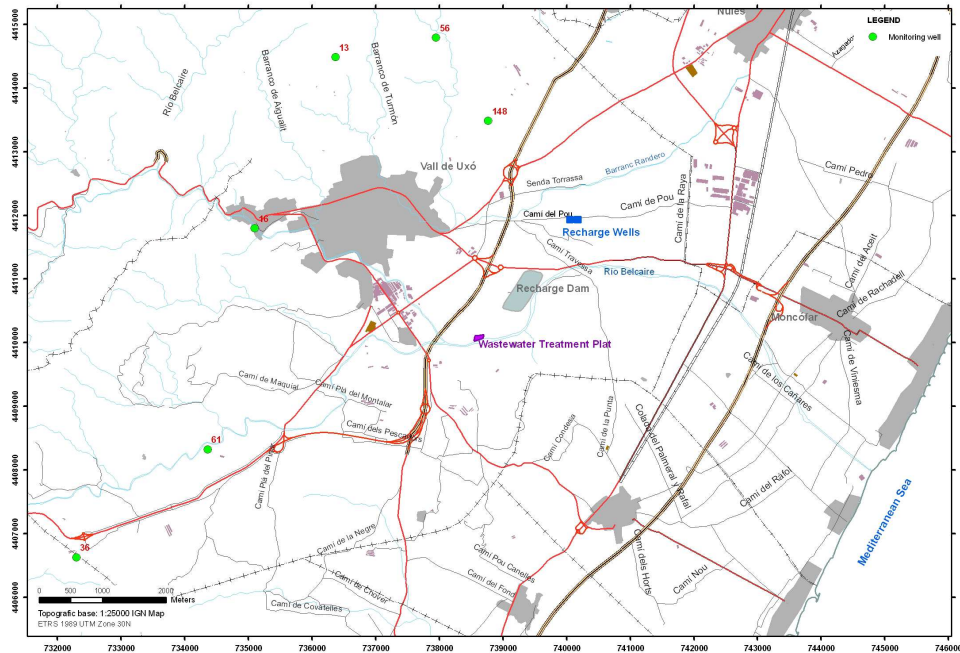


Figura 25. Concentración de cloruros en los acuíferos de borde de la Plana de Castellón en la zona de La Rambleta

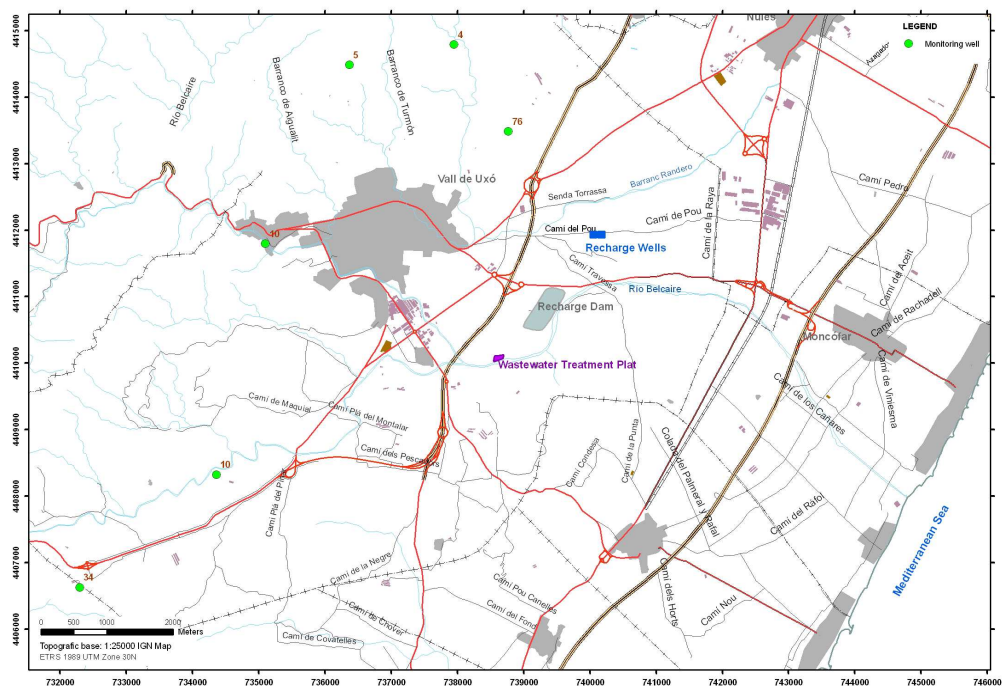


Figura 26. Concentración de nitratos en los acuíferos de borde de la Plana de Castellón en la zona de La Rambleta

6.2. ESTUDIO DE LA SALINIDAD

6.2.1. Distribución espacial

En la zona de la Rambleta se diferencian dos tipos de aguas, las de naturaleza sulfatada y las cloruradas (tabla 8). De hecho, las muestras se sitúan a lo largo de una hipotética línea de mezcla entre el extremo sulfatado y el clorurado, sin apenas variación en la componente bicarbonatada (figura 27).

En la campaña de abril de 2012, las aguas más bicarbonatadas (Santa Magdalena y La Alquería de Moncófar) alcanzan para el ión bicarbonato el 20% de la composición aniónica total considerada (bicarbonatos, sulfatos y cloruros); en el resto, este ión se sitúa entre el 10-15%. La mayor parte de las muestras presentan una facies clorurada cálcica o magnésico-cálcica (figura 27 y 28). No obstante, se constata la importancia de la componente sulfatada; así, las muestras de los pozos ubicados en la zona central-este (Santa Magdalena, Santa Catalina, San Ildefonso, La Soledad, San Miguel Arcángel y Ángel de la Guarda) se caracterizan por ser aguas sulfatadas. Por su parte, la zona oeste y central-oeste (área de La Rambleta) se caracteriza por contener aguas cloruradas. Entre ambas áreas se observa la presencia de aguas cloruradas - sulfatadas (Regeneración Agrícola, Santísima Trinidad, San Antonio y La Alquería de Moncófar) y cloruradas sulfatadas (San Vicente Ferrer).

Tabla 8. Facies hidroquímicas. Abril de 2012, octubre de 2012 y abril de 2013

ID	NAME	FACIES HIDROQUÍMICAS		
		Abril 2012	Octubre 2012	Abril 2013
1	Randero 1	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica
2	Unión Agrícola	Clorurada cálcica	Clorurada cálcica	Clorurada cálcica
5	Rambleta 1	Clorurada cálcica	Clorurada cálcica	Clorurada cálcica
6	Rambleta 2	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica
7	Rambleta 3	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada cálcica	Clorurada magnésico-cálcica
8	Rambleta 5	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica
9	San Cristóbal	Clorurada calcicomagnésica	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica
10	Regeneración Agrícola	Sulfatada clorurada magnésico-cálcicas	Sulfatada clorurada cálcica	Sulfatada clorurada magnésico-cálcica
11	La Traslación	Clorurada cálcica	Clorurada cálcica	Clorurada magnésico-cálcica
12	La Primitiva	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica
13	El Porvenir	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica
14	Nª Sª de Asunción	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica
15	Rambleta 6	Clorurada cálcica	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica
16	Casa Villalba	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica
17	La Escolara	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada sulfatada sodio-cálcica
19	La Paz	Clorurada calcicomagnésica	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada calcicomagnésica
20	San Vicente	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica	
21	San Isidro	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica
22	San Antonio	Sulfatada clorurada magnésico-cálcicas	Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada magnésico-cálcica
23	La Alquería-Moncofar	Sulfatada clorurada magnésico-sódicas	Sulfatada clorurada magnésico-sódica	Clorurada magnésico-sódica
24	Santa Magdalena	Sulfatada calcicomagnésica	Sulfatada magnésico-cálcica	Sulfatada calcicomagnésica
25	Santa Catalina	Sulfatada magnésica	Sulfatada magnésico-cálcica	Sulfatada calcicomagnésica
26	San Ildefonso	Sulfatada magnésico-cálcica	Sulfatada cálcica	Clorurada sulfatada magnésico-cálcica
27	La Soledad	Sulfatada magnésico-cálcica	Clorurada sulfatada	Sulfatada magnésico-cálcica
28	San Miguel Arcángel	Sulfatada magnésico-cálcica	Sulfatada cálcica	Sulfatada magnésico-cálcica
29	Santísima Trinidad	Sulfatada clorurada magnésico-cálcica	Clorurada sulfatada cálcica	Sulfatada clorurada magnésico-cálcica
30	San Vicente Ferrer	Clorurada sulfatada magnésico-cálcica	Clorurada sulfatada cálcica	Sulfatada magnésico-cálcica
31	Ángel de la Guarda	Sulfatada cálcica	Sulfatada cálcica	Sulfatada cálcica
32	Miramar 1		Clorurada magnésico-cálcica	Clorurada cálcica
33	Pozo Recarga Oeste		Sulfatada clorurada	
34	Pozo Recarga Este		Sulfatada clorurada	
35	Noria Nules 1		Clorurada sulfatada calcicomagnésica (*)	Sulfatada magnésico-cálcica
36	Noria Nules 2		Clorurada sulfatada cálcica (*)	Sulfatada magnésico-cálcica

(*) Muestras de diciembre de 2012

En octubre de 2012 se observa una mayor dispersión de las muestras si bien continúa el patrón de alineamiento a lo largo de la hipotética línea de mezcla aguas sulfatadas-cloruradas (figura 29). La variación comentada se refiere sobretudo al enriquecimiento en la componente bicarbonatada, con una serie de muestras desplazadas más allá de la línea que marca el contenido en bicarbonatos del 20 % (Santa Magdalena, La Alquería

Final Report

de Moncófar y Miramar 1). También se observa un ligero enriquecimiento en sulfatos en las muestras de los pozos Santa Magdalena y Santa Catalina (figura 30).

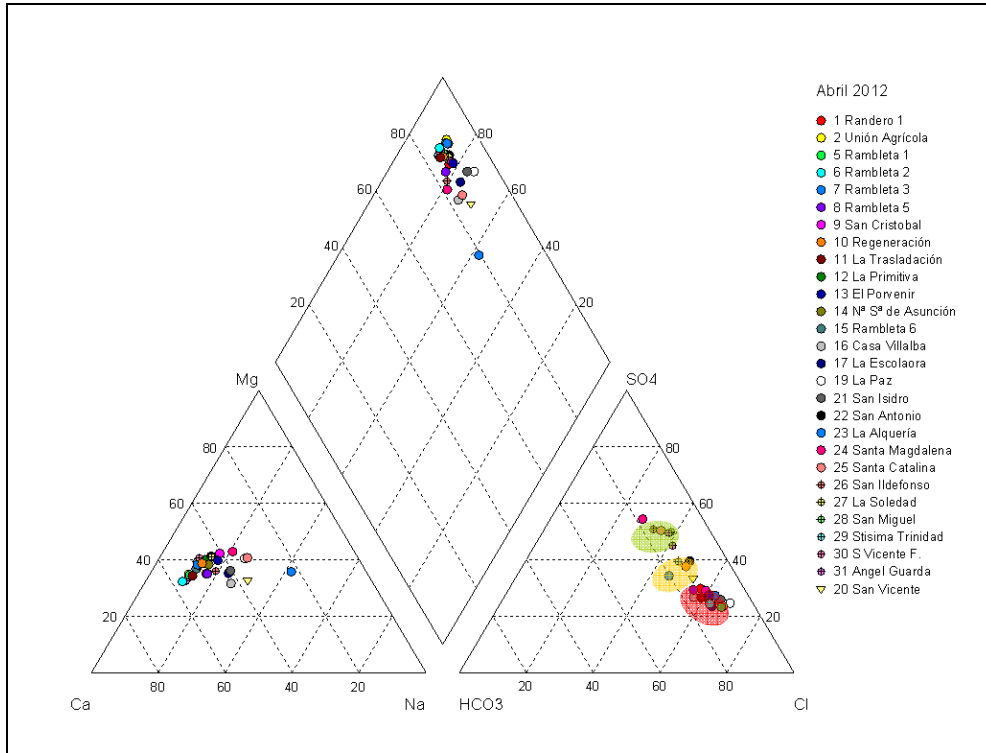


Figura 27. Diagrama de Piper. Abril de 2012. Facies sulfatadas (envolvente verde), sulfatadas cloruradas (naranja), cloruradas (roja)

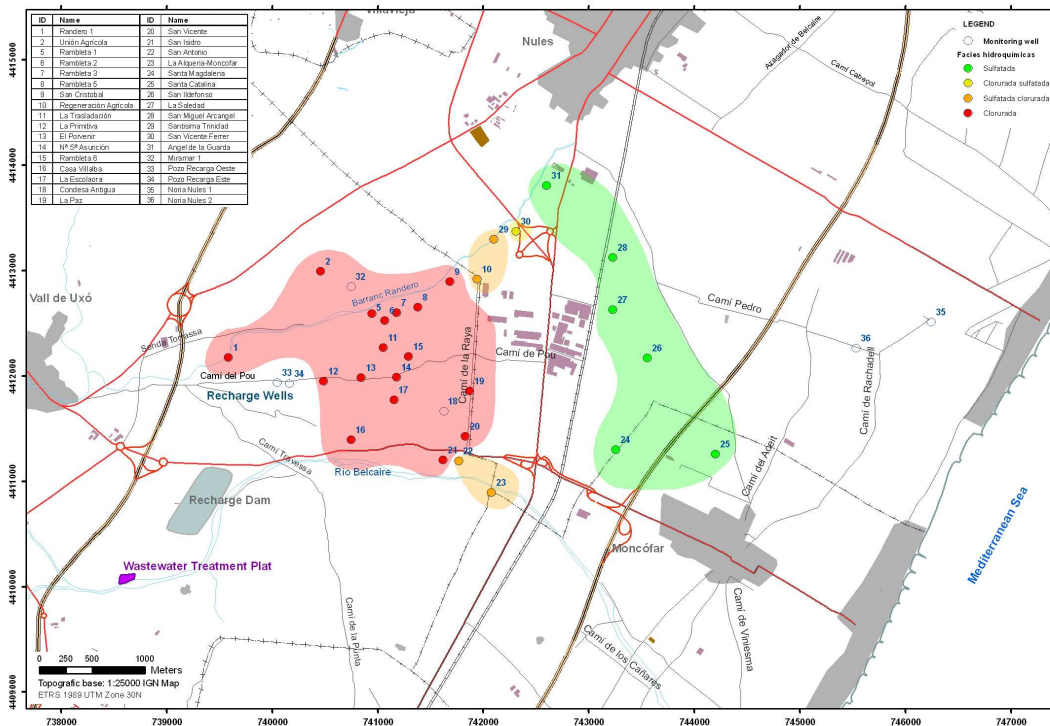


Figura 28. Agrupación de pozos según sus facies hidroquímicas. Abril de 2012

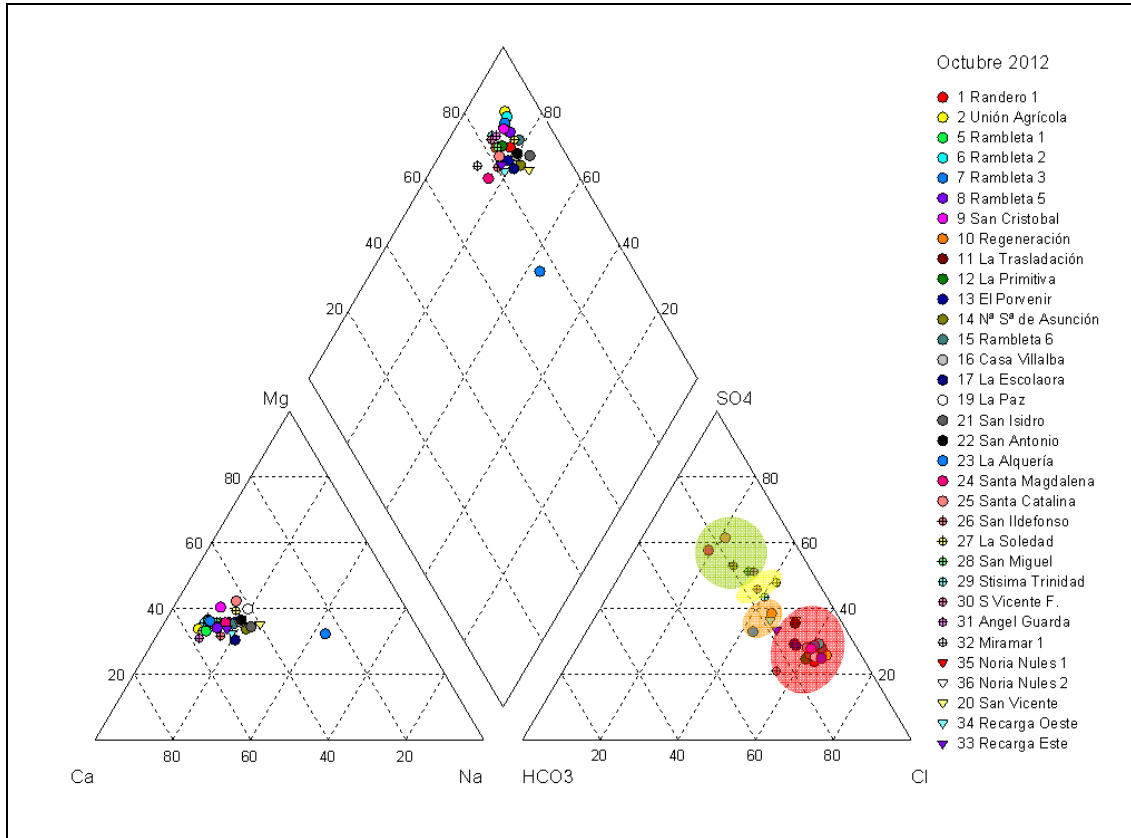


Figura 29. Diagrama de Piper. Octubre de 2012. Facies sulfatadas (envolvente verde), sulfatadas cloruradas (amarilla), cloruradas sulfatadas (naranja) y cloruradas (roja)

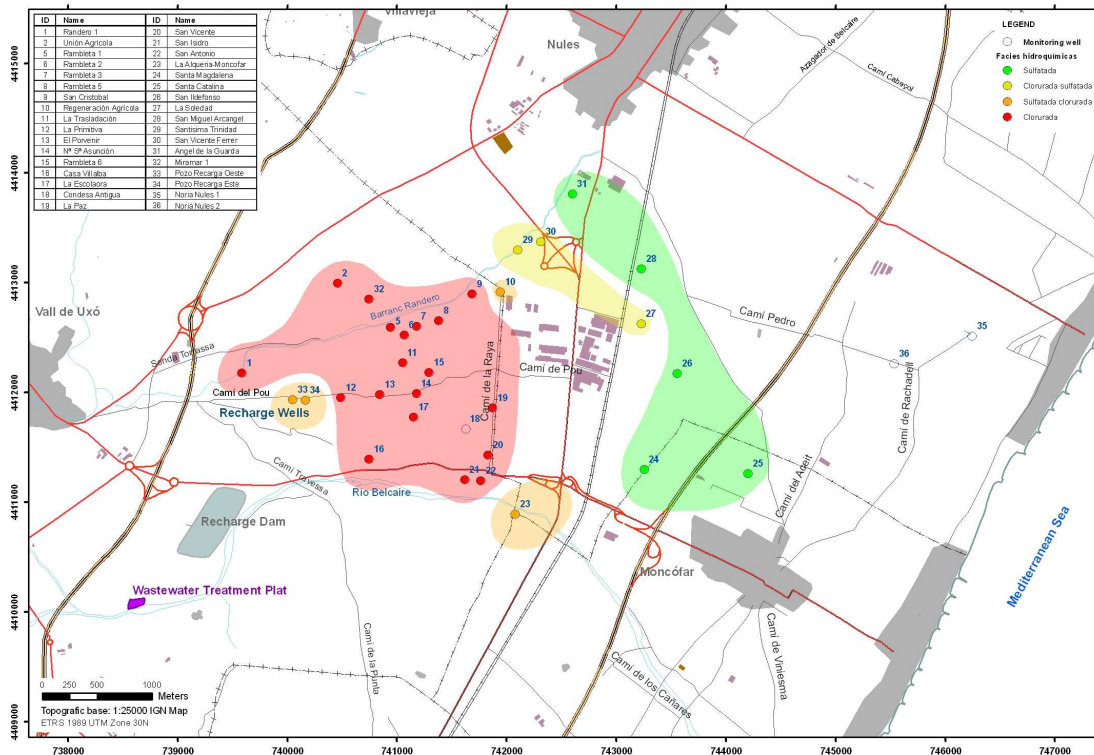


Figura 30. Agrupación de pozos según sus facies hidroquímicas. Octubre de 2012

Final Report

No obstante, las facies obtenidas son muy similares a las de abril de 2012 (tabla 8). La mayor parte de las aguas son cloruradas (área oeste y central-oeste), mientras que las aguas sulfatadas se sitúan en la parte central-este (pozos Santa Magdalena, Santa Catalina, San Ildefonso, San Miguel Arcángel y Ángel de la Guardia). El pozo La Soledad se ha enriquecido ligeramente en cloruros y sus aguas pasan a ser cloruradas sulfatadas, como también las aguas de Santísima Trinidad y San Vicente Ferrer (figura 7.2.4).

Por último, cabe señalar que los pozos de recarga presentan facies sulfatada clorurada mientras que las norias Nules 1 y 2 (muestreadas en diciembre de 2012) se caracterizan como aguas cloruradas sulfatadas.

En abril de 2013 continúa el mismo patrón (figura 31). Las principales variaciones se aprecian en la Escolaora, que pasa de aguas cloruradas a cloruradas sulfatadas, y en las Norias de Nules 1 y 2, que en diciembre de 2012 presentaban unas facies cloruradas sulfatadas mientras que en abril de 2013 se definen como sulfatadas. Por otra parte, el pozo La Alquería de Moncófar se desplaza hacia facies más cloruradas, variando de aguas sulfatadas cloruradas a cloruradas. En cuanto a los cationes se observa un ligero enriquecimiento en magnesio, siendo las aguas magnésico-cálcicas las mayoritarias (tabla 8).

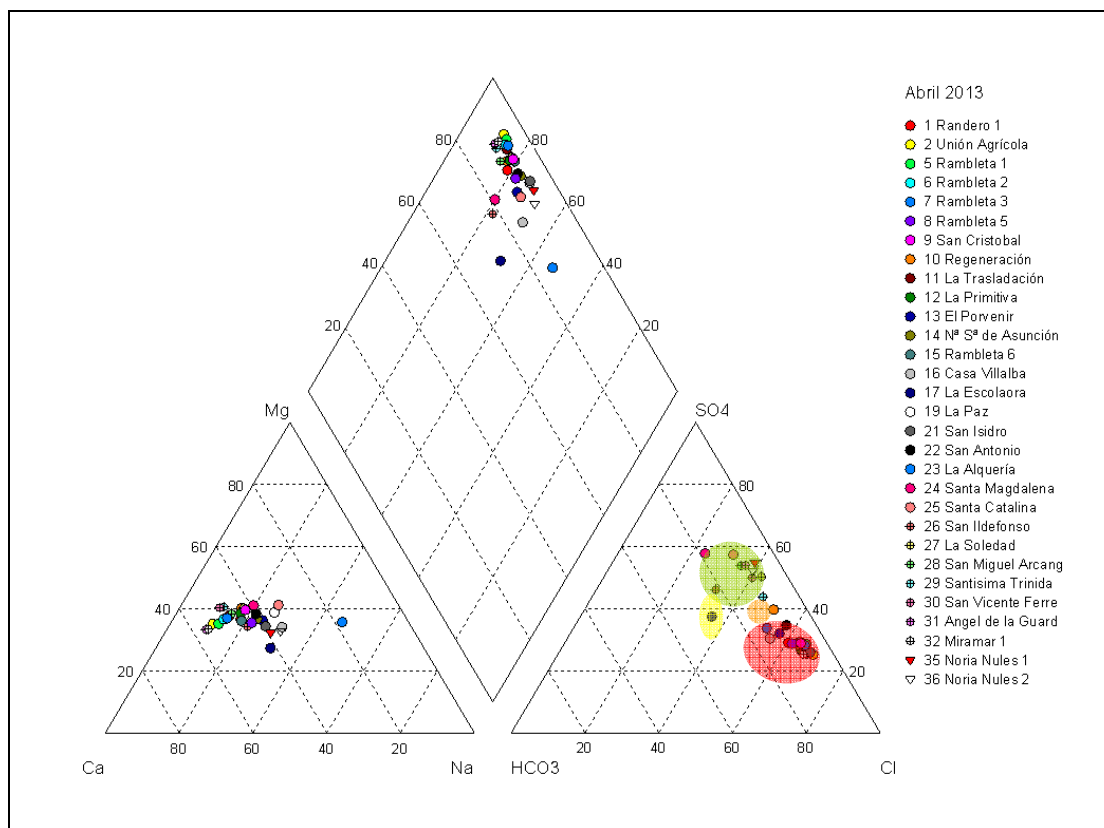


Figura 31. Diagrama de Piper. Abril de 2013. Facies sulfatadas (envolvente verde), sulfatadas cloruradas (amarilla), cloruradas sulfatadas (naranja) y cloruradas (roja)

Final Report

La distribución geográfica de las facies (figura 32) muestra la entrada de agua más sulfatada alrededor de La Escolora mientras que, en el extremo sureste las aguas cloruradas se extienden hasta el pozo La Alquería de Moncófar. También se observa el aumento de las aguas sulfatadas que llegan hasta las Norias Nules 1 y 2. Tanto esto como el enriquecimiento en cloruros del pozo San Ildefonso indican un desplazamiento de las aguas sulfatadas hacia el este.

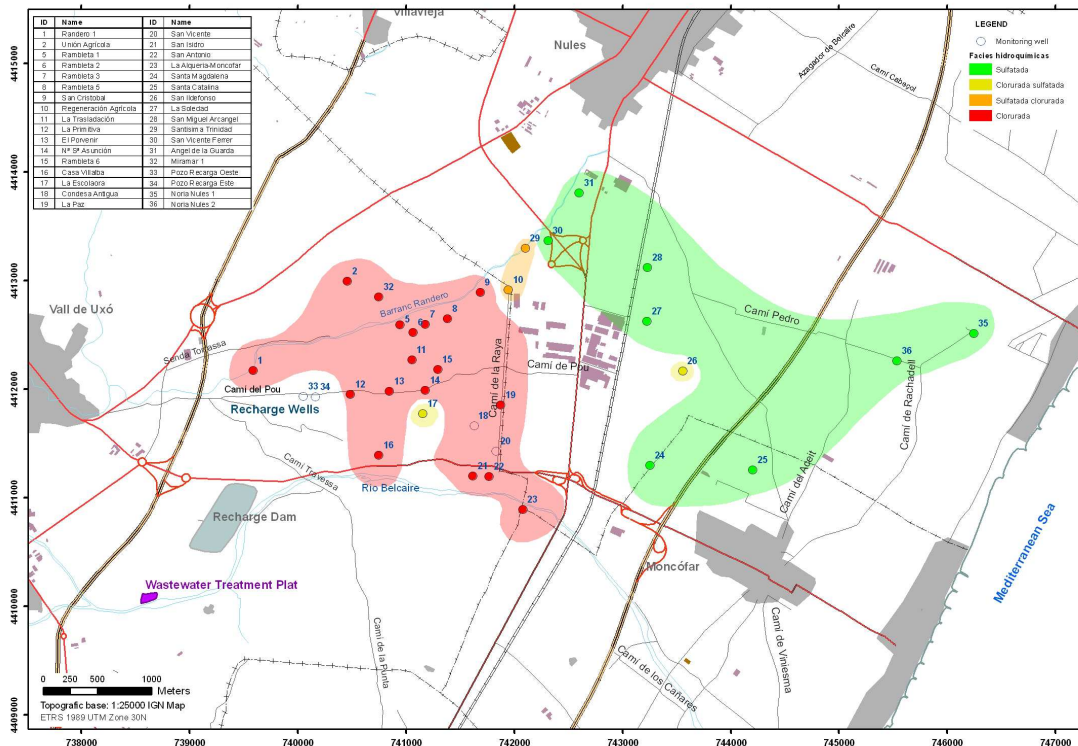


Figura 32. Agrupación de pozos según sus facies hidroquímicas (Abril de 2013)

Nos encontramos, por tanto, con la presencia de dos familias de aguas (sulfatadas y cloruradas) relacionadas con un origen diferente de la salinidad. Por un lado, las aguas sulfatadas se pueden deber a la descarga en el acuífero de flujos regionales procedentes de los acuíferos de borde así como a la contaminación agrícola, mientras que las aguas cloruradas corresponden a la mezcla de agua dulce y agua de mar, como consecuencia del proceso de intrusión marina.

La relación SO_4/Cl en el agua de mar es del orden de 0,11. En el área de estudio este índice está comprendido, en el mes de abril de 2013, entre 0,4 y 2,5 (mapa 6), lo que significa que, independientemente de la afección debida a la intrusión marina, el agua del acuífero está claramente enriquecida en sulfatos. En el área de la Ramblota, se registran los valores más bajos del índice, inferiores a 0,5, mientras que hacia el este, los valores son más elevados, hasta superar el valor de 2,5.

La distribución del ión sulfato (mapa 7) muestra los valores máximos en la zona central-norte (pozos La Soledad y San Miguel Arcángel), con concentraciones entre 700 y 900 mg/L, y en la zona sureste, con valores entre 700 y 1250 mg/L. Por su parte, los valores mínimos se encuentran en el área de la Rambleta y en la zona central-sur, con concentraciones entre 300 y 500 mg/L. Los altos contenidos de este ión podrían asociarse a un proceso de enriquecimiento de sulfatos a lo largo del flujo relacionado con la aplicación de fertilizantes, ya que el bisulfato amónico ha sido abundantemente utilizado en las últimas décadas. La distribución del ión nitrato (mapa 8), con valores comprendidos entre 150 y 500 mg/L, corrobora la fuerte afección de la actividad agrícola en este sector del acuífero y muestra un patrón de distribución espacial coincidente con el del ion sulfato a excepción de la zona este (entre la autopista A-7 y la costa), que presenta un descenso de las concentraciones en el caso del nitrato mientras que para el ión sulfato se registran valores máximos.

En este último sector se detectan las máximas concentraciones de estroncio (mapa 10), entre 1 y 4 mg/L, lo que está de acuerdo con la sugerencia de Giménez (1994) sobre el origen común del sulfato y del estroncio relacionados con la descarga lateral de flujos regionales procedentes de los acuíferos triásicos de borde.

En resumen, el agua subterránea del sector del acuífero estudiado es de tipo sulfatado, probablemente debido a la contaminación agrícola y a la descarga de agua sulfatada en la parte sureste, y está afectada por un proceso de intrusión marina que se manifiesta de manera más notable en el área de la Rambleta.

El patrón de distribución de la CE es similar para los datos obtenidos en las diferentes campañas, apreciándose los valores máximos en la zona central alrededor del Camí de la Raya (mapa 16). En esta zona, los valores máximos, por encima de 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se registran en los meses de abril, junio y agosto de 2012 (mapas en *Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase I)*), mientras que en los meses de diciembre de 2012 y febrero de 2013 se sitúa sobre los 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Anexo 4) (octubre de 2012, y abril, junio y agosto de 2013) se registran valores alrededor de los 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Por su parte, los valores mínimos son del orden de los 1500 - 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y se localizan tanto en la parte oeste, cerca de la CV-10, como en la zona central-sur, entre la CN-340 y la autopista AP-7, lo que configura una geometría en la que las aguas de mayor CE se concentran en el área de la Rambleta y están rodeadas por aguas menos salinas. A partir de la autopista, la CE vuelve a aumentar hacia la costa.

Los mapas de distribución de los cloruros muestran una gran similitud con los de la conductividad eléctrica, los valores más elevados se encuentran en el Camí de la Raya (mapa 11), con valores entre los 600 y los 1100 mg/L. Aproximadamente a partir de la traza de la CN-340 la concentración de cloruros disminuye hasta valores incluso inferiores a 200 mg/L (zona sur), con un rango de valores entre dicha carretera y la autopista A-7 de entre 200 y 400 mg/L, para aumentar de nuevo a la altura de la población de Moncófar y hacia el mar.

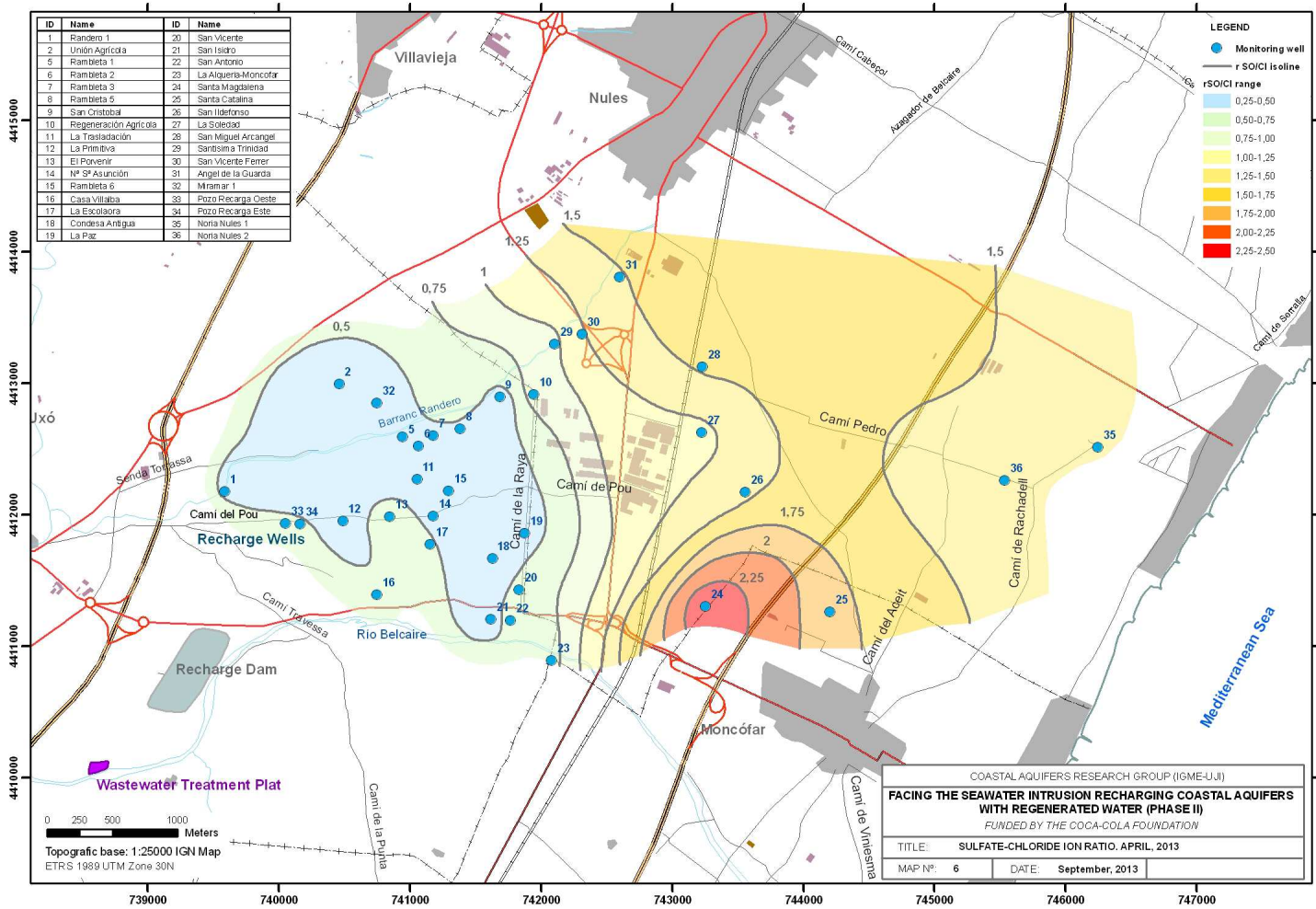
Esta peculiar distribución de la concentración de cloruros responde a un modelo en el que el avance del frente salino no tiene lugar exclusivamente mediante desplazamiento lateral sino que la explotación intensiva localizada ha dado lugar a un proceso de ascenso vertical de un domo salino (*upconing*) en la zona de La Rambleta-Camí de la Raya.

Caracterización del proceso de upconing en la Rambleta

La figura 33 muestra la evolución de los cloruros en los pozos Santa Magdalena, Santa Catalina y Rambleta 3, situados los dos primeros al este de la CN-340, en el sector donde la intrusión marina tiene lugar por avance lateral del frente salino, mientras que el Rambleta 3 se sitúa en la zona de La Rambleta. Se observa el importante incremento en la concentración de cloruros a finales de años 70 y principios de los ochenta en los pozos Santa Catalina y Magdalena. Comparando los mapas de isocloruros de los años 1972 (figura 34) y 1985 (figura 35), se aprecia el importante avance del frente salino hacia el interior. No alcanzando, sin embargo, el extremo oeste de la zona de estudio (figura 34 y 35), con concentraciones menores de 300 mg/L. En el año 1990, se constata la formación del domo salino en la zona de la Rambleta (figura 36), con el descenso de los cloruros en la zona costera (pozos Catalina y Magdalena) y el significativo incremento en la zona del Camí de La Raya-Rambleta, obteniéndose las máximas concentraciones para esta zona a mediados de los noventa (figura 37).

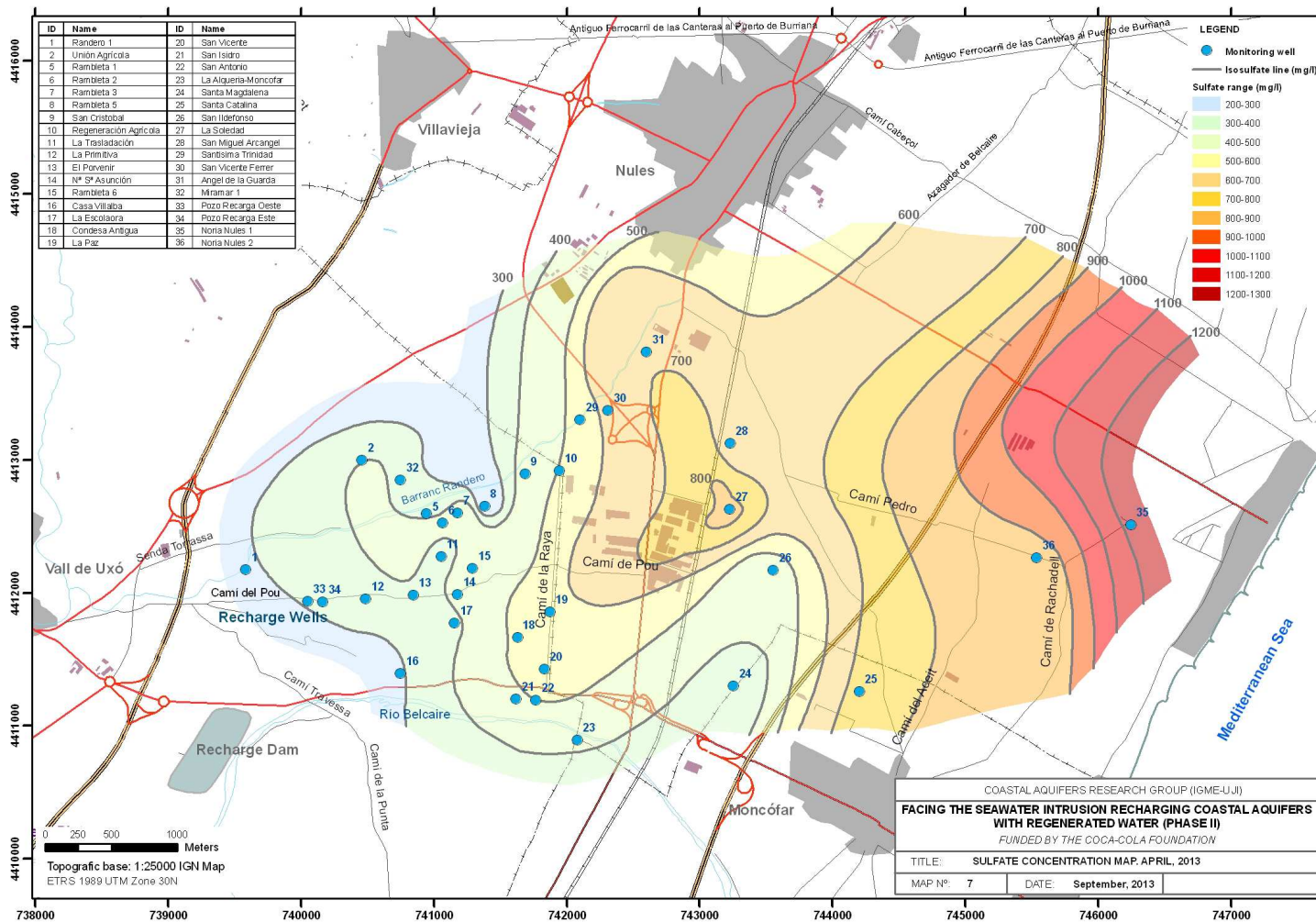
En la actualidad el domo salino continúa pero con valores ligeramente inferiores (mapa 10). La diferente más notable entre ambos periodos (1995 y 2013) es la recuperación de la zona costera (Pozos Santa Catalina y Magdalena), con descensos medios de 1000 mg/L. Por otra parte, en la zona interior (zona La Primitiva) la concentración de cloruros ha ido aumentando de forma constante desde 1982 hasta la actualidad.

Final Report



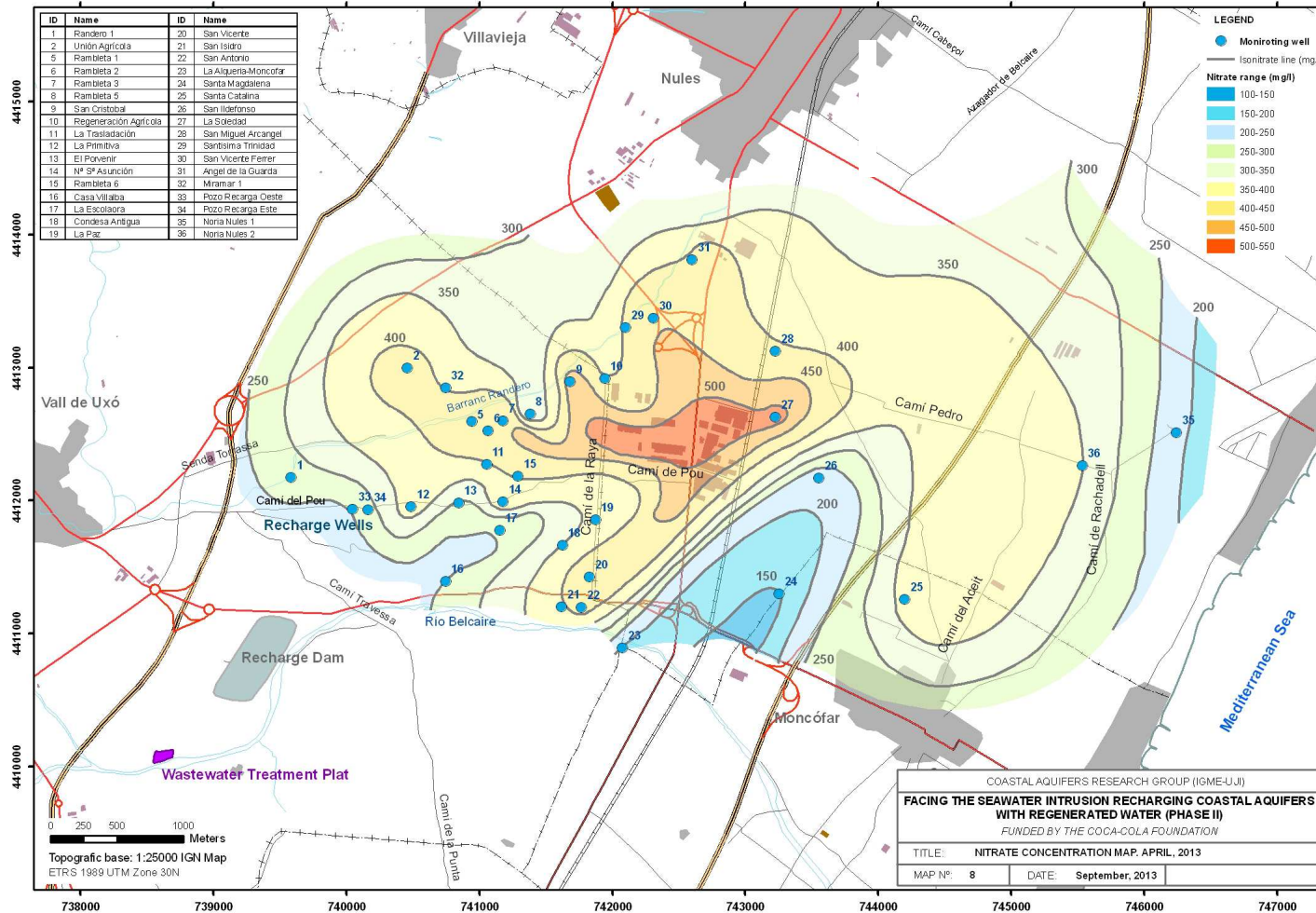
Mapa 6. Mapa de la relación sulfatos-cloruros de abril de 2013

Final Report

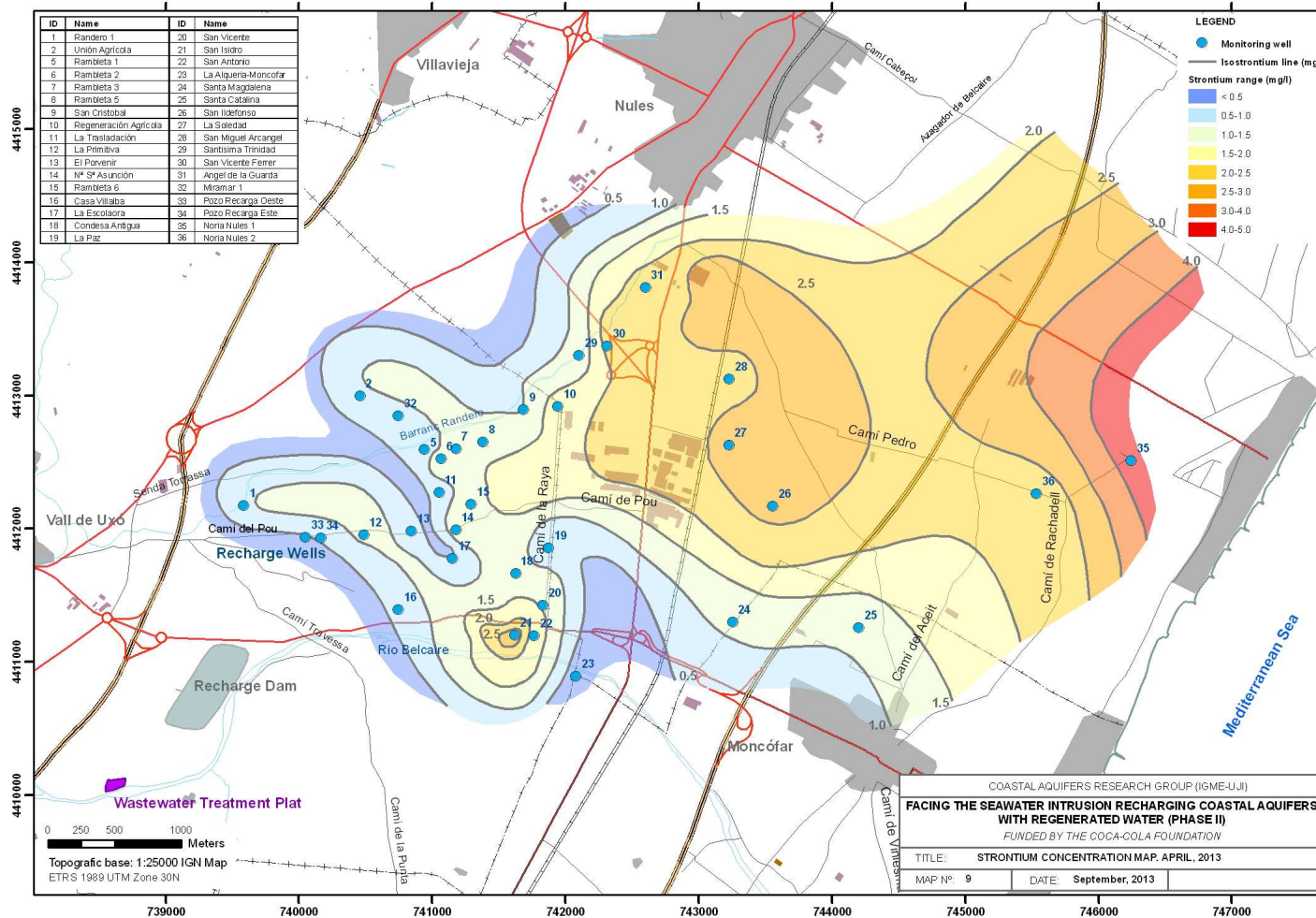


Mapa 7. Mapa de isocontenidos en sulfatos de abril de 2013

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

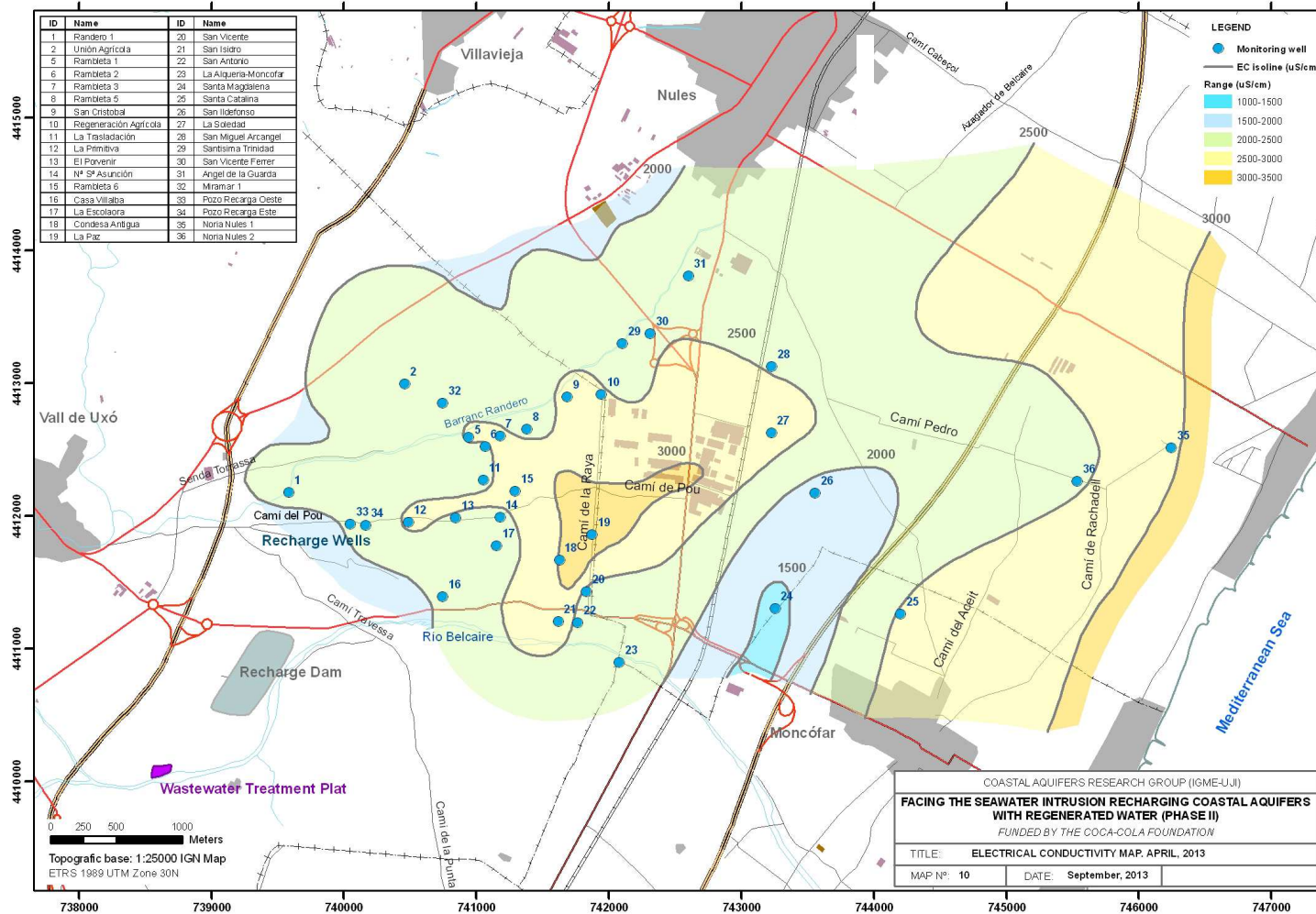


Mapa 8. Mapa de isocontenidos en nitratos de abril de 2013

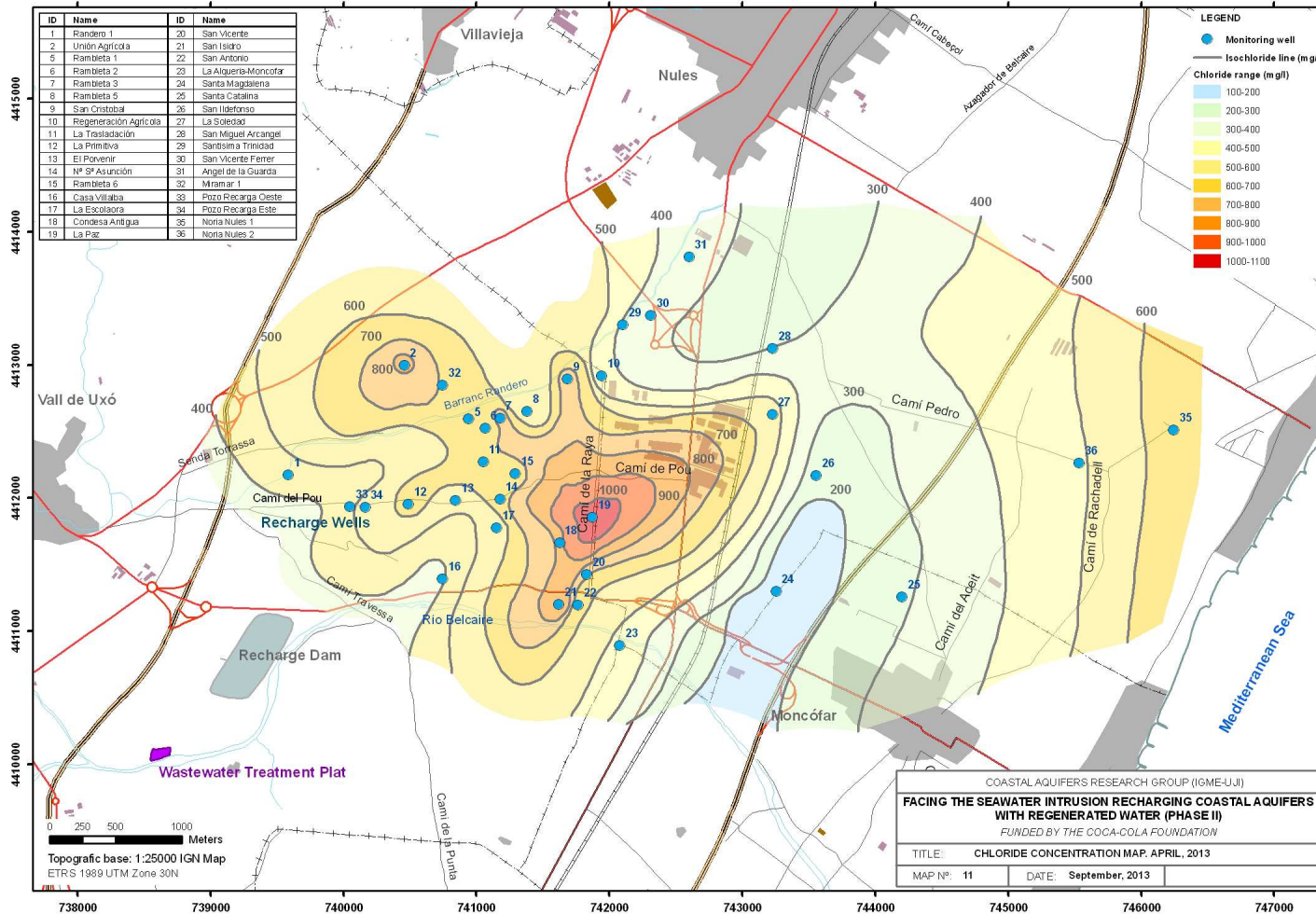


Mapa 9. Mapa de isocontenidos en estroncio de abril de 2013

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



Mapa 10. Mapa de isoconductividad eléctrica (a 20 °C) de abril de 2013



Mapa 11. Mapa de isocontenidos en cloruros de abril de 2013

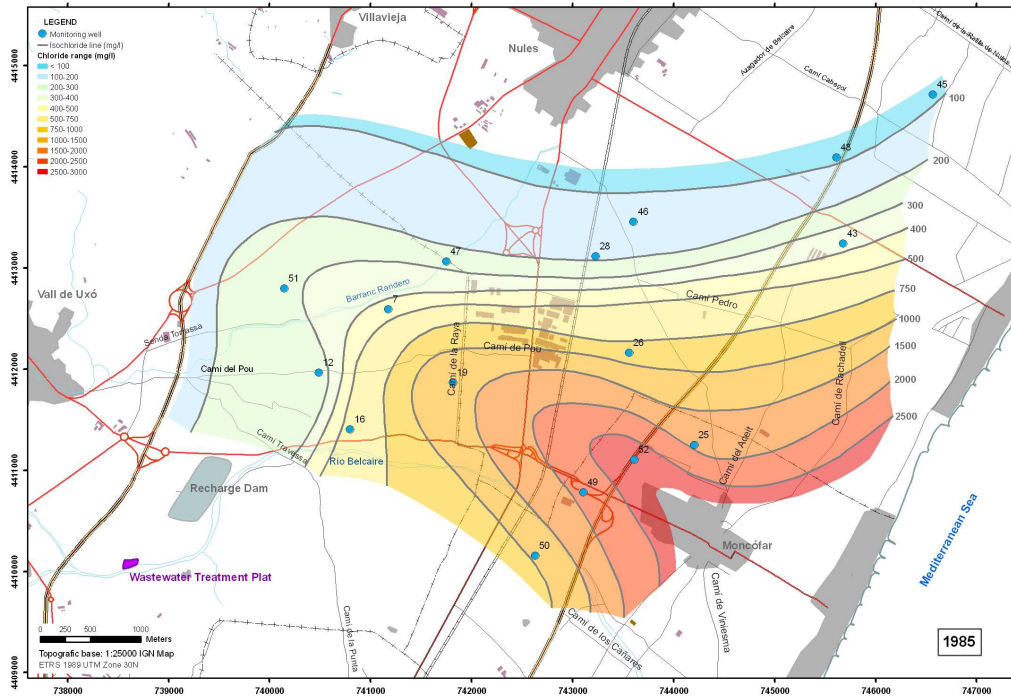


Figura 35. Isocontenidos de cloruros en 1985

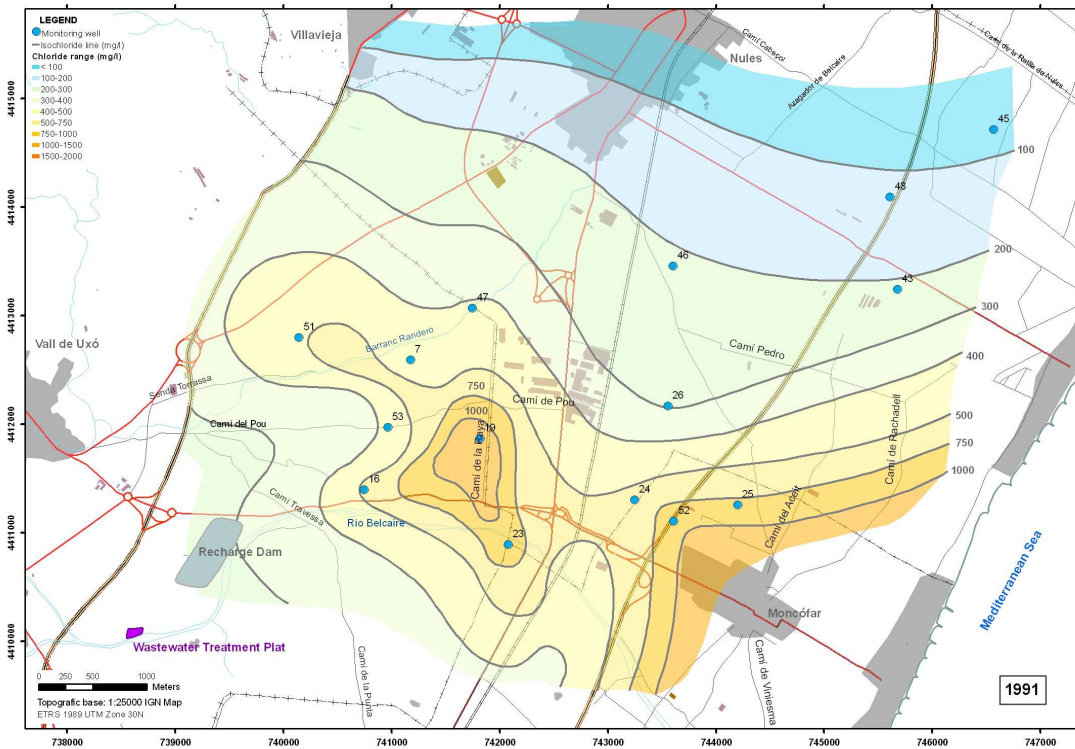


Figura 36. Isocontenidos de cloruros en 1990

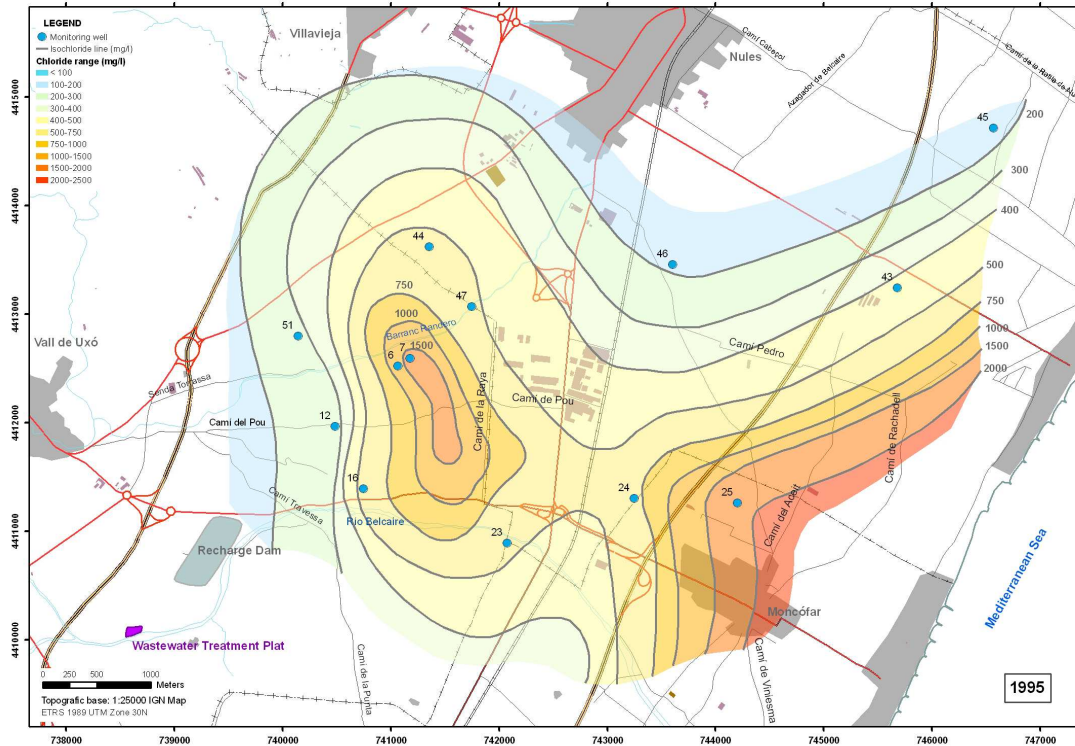


Figura 37. Isocontenidos de cloruros en 1995

6.2.2. Evolución temporal

El comportamiento de la concentración de cloruros muestra más divergencia que el detallado para la piezometría. No obstante se distingue una evolución, que a grandes rasgos, se constata en la mayoría de los pozos, sobretodo los que se sitúan en la zona central oeste (figura 38) y en la zona central este-Nules (figura 39). En ellos se observa la disminución de las concentraciones entre abril (primer mes de control) y junio de 2012 para luego incrementarse en agosto y octubre, disminuyendo de nuevo en diciembre. En febrero y abril de 2013 se observan nuevos ascensos, más significativos en el último mes. Según los pozos el valor máximo se obtiene en octubre de 2012 o abril de 2013, mientras que los valores mínimos corresponden a junio o a diciembre de 2012.

Final Report

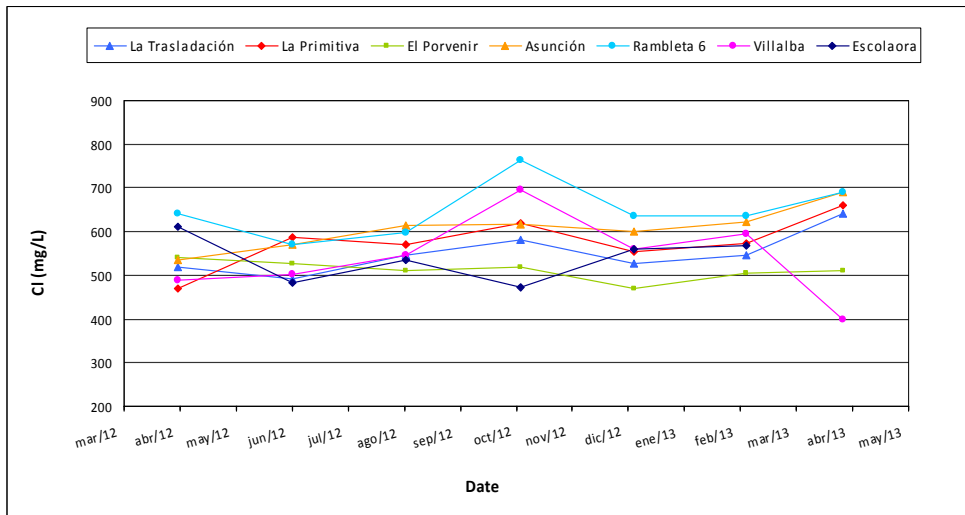


Figura 38. Evolución de la concentración de cloruros de los pozos de la zona central-oeste en el periodo abril 2012 - abril 2013

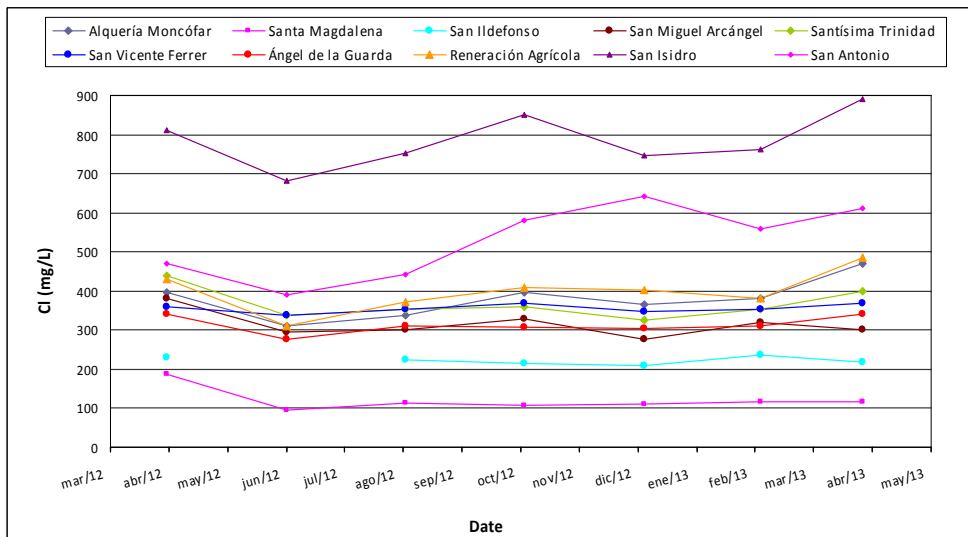


Figura 39. Evolución de la concentración de cloruros de los pozos de la zona central-este-Nules en el periodo abril 2012 - abril 2013

En el resto de puntos el comportamiento es más aleatorio. En la zona oeste (figura 40), en los pozos Randero 1, Unión Agrícola y Miramar se inicia el periodo de control (abril de 2012) en valores mínimos, aumentando paulatinamente hasta octubre de 2012 para después disminuir significativamente en diciembre y volver a aumentar en febrero y abril de 2013. Sin embargo, en los dos Pozos de Recarga los valores obtenidos en octubre son menores que en los meses siguientes.

Final Report

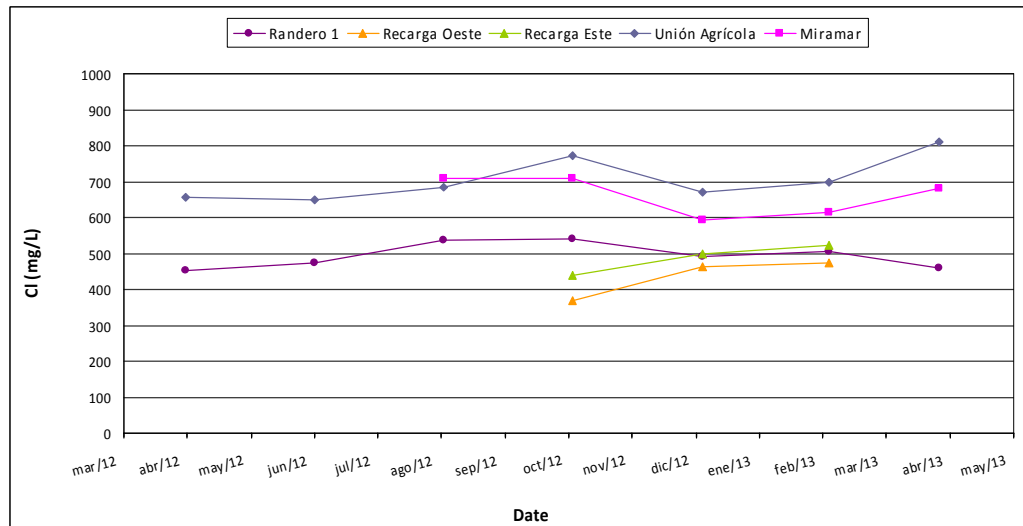


Figura 40 Evolución de la concentración de cloruros de los pozos de la zona oeste en el periodo abril 2012 - febrero 2013

En los pozos cercanos al Barranco Randero y el pozo La Soledad (figura 41) se observa concentraciones en ascenso desde abril hasta octubre y un brusco descenso de los valores en diciembre, lo que indica una rápida y significativa respuesta a las lluvias y una relación directa con el propio barranco, sobretodo en el pozo Rambleta 2 y San Cristóbal. En febrero y abril de 2013 se registran importantes ascenso. La excepción la marca el pozo Rambleta 1 que muestra una gran estabilidad, con mínimas variaciones para todo el periodo de control.

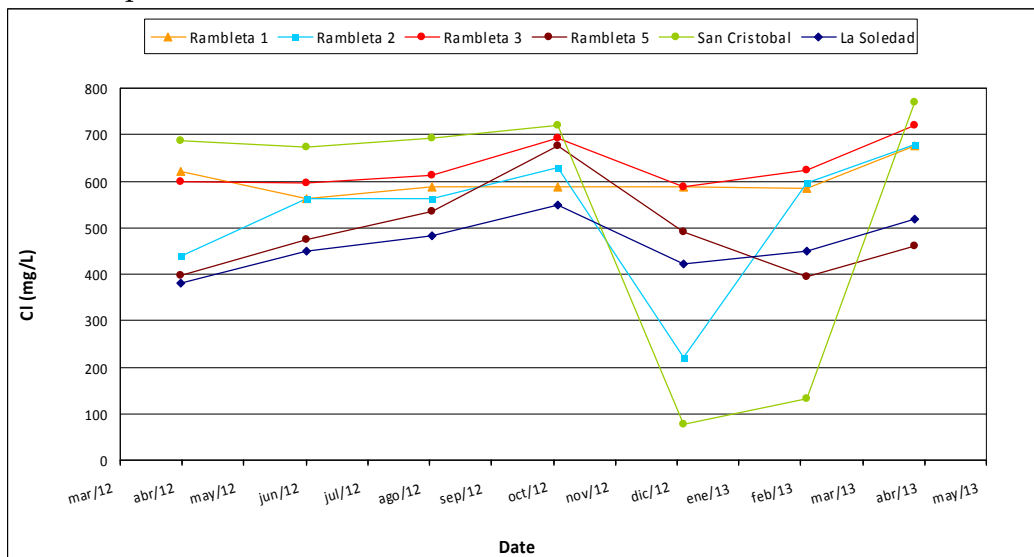


Figura 41. Evolución de la concentración de cloruros de los pozos cercanos al Barranco Randero y La Soledad en el periodo abril 2012 - abril 2013

Por su parte los pozos San Vicente y La Paz, en camino de la Raya entre Vall de Uxó y Nules muestran evoluciones diferentes al resto (figura 42). El primero con un mínimo en junio de 2012, seguido de un continuo incremento, alcanzándose el máximo en la campaña de febrero de 2013 (última con dato), y en el segundo con máximos en abril de 2012 y abril 2013, y valores intermedios entre ambos meses sin apenas cambios.

Final Report

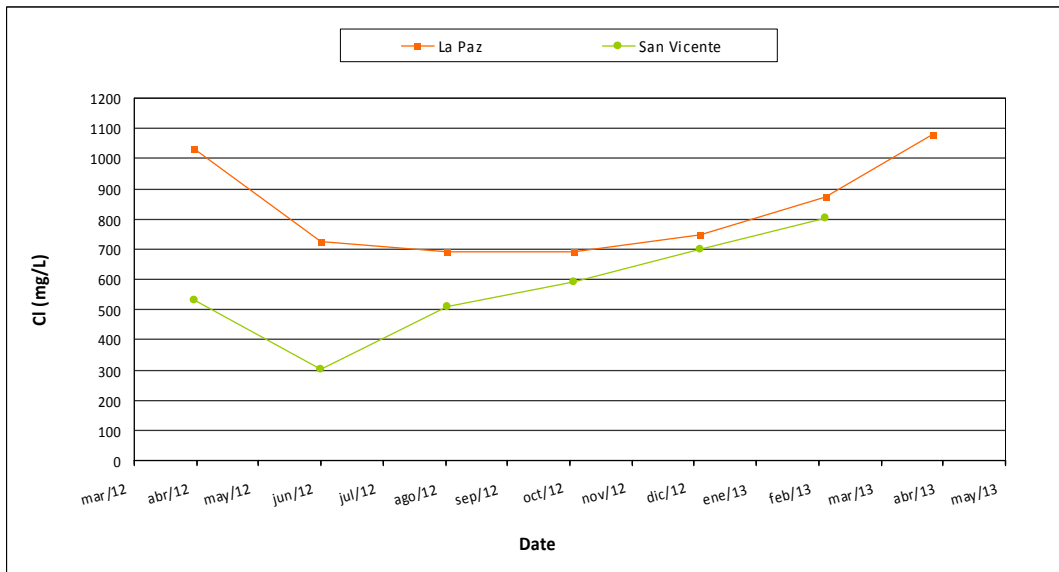


Figura 42. Evolución de la concentración de cloruros de los pozos San Vicente y La Paz en el periodo abril 2012 - abril 2013

Finalmente, en la zona más oriental se encontrarían los pozos Santa Catalina y las Norias Nules 1 y Nules 2. En éstas, el control se inició en diciembre de 2012 y por tanto todavía no se puede describir su evolución, si bien se observa un comportamiento diferente entre ambas (figura 43). Por su parte en el pozo Santa Catalina, se aprecia un valor mínimo en el mes de octubre, mientras que el valor máximo para el periodo de control se obtendría en abril de 2012.

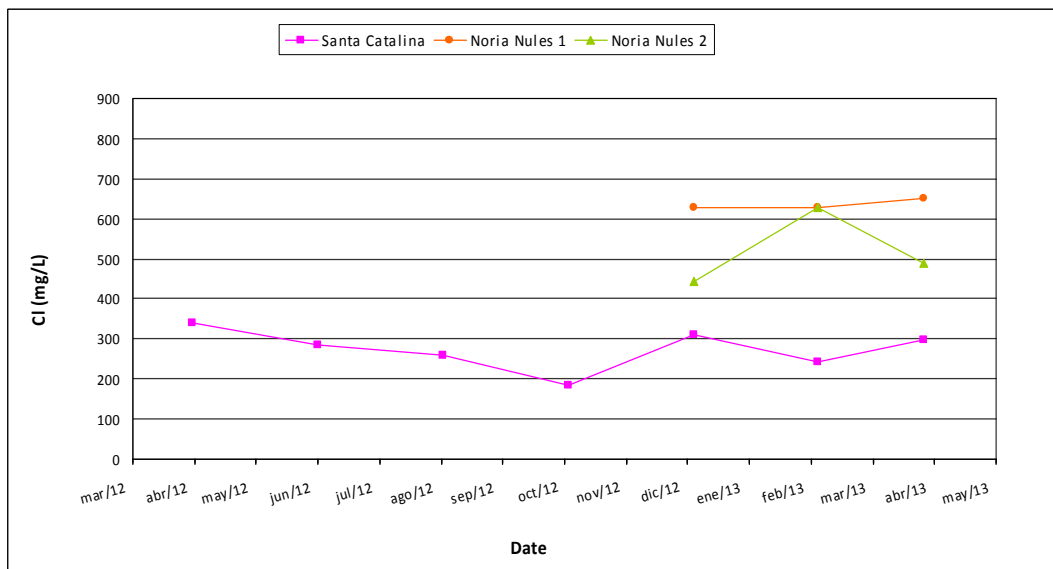


Figura 43. Evolución de la concentración de cloruros de los pozos zona este en el periodo abril 2012 - abril 2013

Registros continuos

Como se ha explicado en el apartado 6.2, hay instalados dos tipos de dispositivos, Cera-Diver y CTD-Diver. Ambos miden en continuo el nivel piezométrico y la temperatura pero los segundos además acumulan información sobre la conductividad eléctrica (CE) en continuo (con la frecuencia que anteriormente se le haya asignado). Mediante este dispositivo (CTD-Diver) se ha controlado la calidad de las aguas subterráneas a una determinada profundidad en 6 pozos (Rambleta 2, Rambleta 5, Rambleta 6, San Cristóbal, Porvenir y San Isidro). Según las necesidades del momento, estos dispositivos se han ido cambiando de ubicación y en determinados momentos han dado errores en la lectura de datos, por tanto, no todas las gráficas son continuas, y en algunas de ellas, como por ejemplo la Rambleta 5 (figura 44), presentan periodos sin datos.

En cuanto a la CE es complicado resumir la evolución temporal global del parámetro. Además cabe destacar que a principios de diciembre de 2012 se subieron los CTD-Divers 5 metros porque se encontraban en el límite del rango de presión de columna de agua que pueden soportar, anteriormente se encontraban a 10 m bajo el nivel del agua, por tanto la existencia de un salto brusco o cambio de comportamiento a partir de diciembre 2012 es debida a que los divers miden los mismos parámetros a distintas profundidades y éstos pueden ser, o no, diferentes. Por ejemplo en la figura 44, se observa la evolución de tres pozos distintos (Rambleta 5, Rambleta 6 y Porvenir) a modo representativo. En los dos primeros pozos el salto brusco de CE, a principios de diciembre de 2012, no se observa, en cambio en el Porvenir (figura 44) y en San Cristóbal (Anexo 5). En el anexo 5 se pueden observar la evolución del resto de pozos.

Una vez estudiadas las 6 evoluciones de los 6 pozos controlados, se llega a la conclusión general que la conductividad eléctrica del acuífero a 10 y 5 metros de profundidad es alta, entre 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en el caso de San Cristóbal llega a alcanzar los 4100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (anexo 5). En cambio, es complicado hablar de un comportamiento homogéneo de la evolución en el tiempo de dicho parámetro de forma global. A grandes rasgos, se podrían diferenciar dos patrones de comportamiento. En el primer caso la CE tiene un comportamiento inverso a la piezometría, es decir, cuando existe un mínimo de N.P., la CE es máxima (Rambleta 5 y Rambleta 6, figura 44). En cambio, en los pozos Porvenir (figura 44) y San Cristóbal (Anexo 5) el comportamiento de la CE sigue la misma tendencia que el N.P., cuando existe una baja del N.P. la CE también desciende

Actualmente, hay instalados 1 CTD-Diver en el pozo Rambleta 6 y otro en el Rambleta 5 y para controlar la zona de recarga se han instalado en el pozo de Recarga Este 2 CTD-Divers a distintas alturas y en el pozo de Recarga Oeste un CTD-Diver y un Cera-Diver.

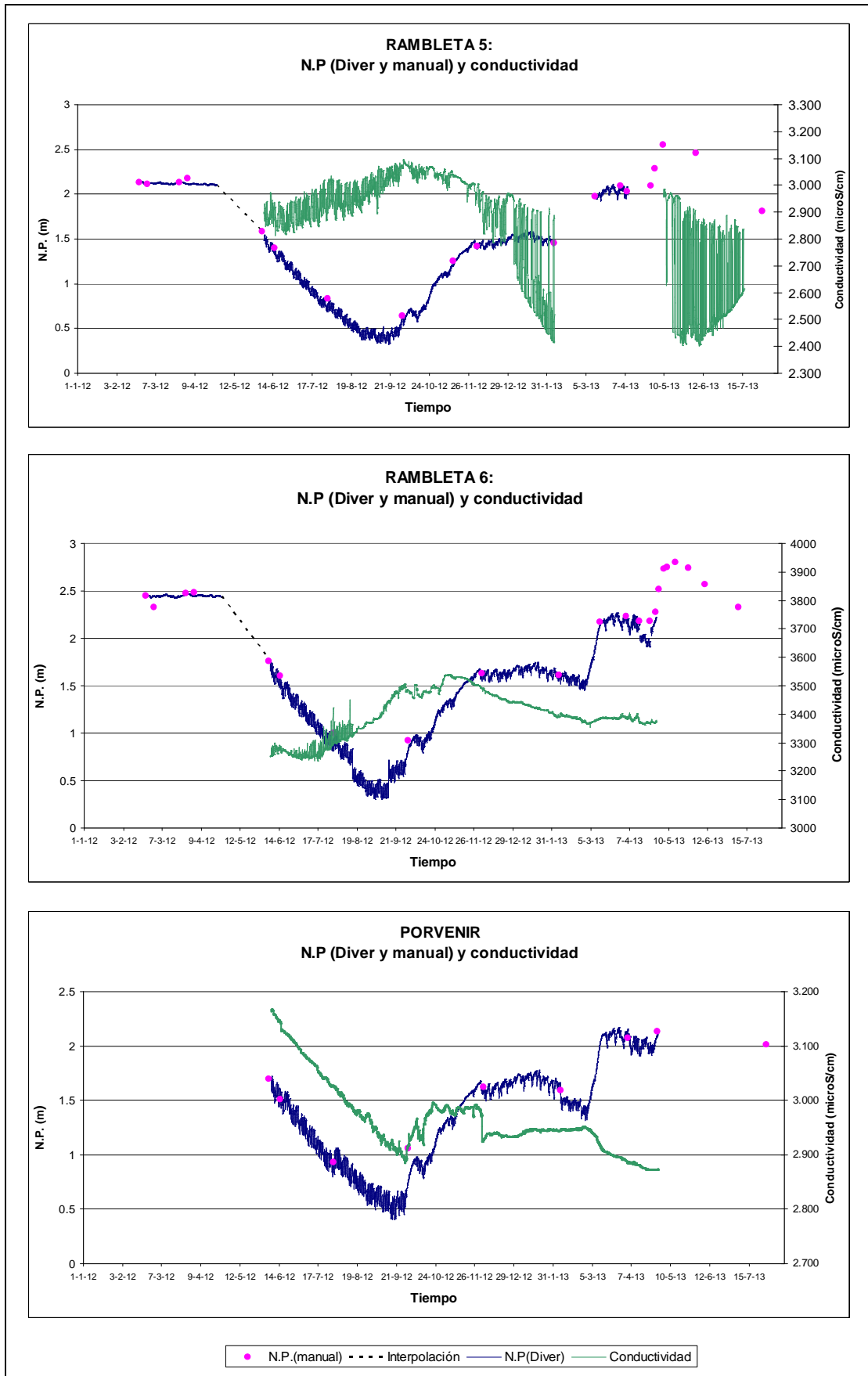


Figura 44. Evolución temporal del NP y la CE (Diver) en los pozos Rambleta 5, Rambleta 6 y Porvenir

6.2.3. Registros verticales de conductividad eléctrica

Los pozos donde se han realizado registros verticales de conductividad eléctrica (CE) con una periodicidad mensual son el pozo Rambleta 2, Rambleta 5, Rambleta 6, Control Este y Recarga Oeste. A continuación se describirán con detalle los registros correspondientes a los distintos pozos.

En general se podría concluir que en los primeros metros de columna de agua la movilidad de la misma es más complicada por tanto la CE puede ser más baja y a medida que va aumentando la profundidad el perfil se va estabilizando a la CE característica del acuífero. La mayoría de perfiles se estabilizan a una CE comprendida entre 2800-3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el caso del Rambleta 5 en los últimos metros la CE disminuye, esto puede ser debido a que estamos en una zona de mezcla de aguas que provienen de otro nivel acuífero más profundo, por lo que las características serán diferentes.

Rambleta 2

En la siguiente figura (figura 45) se representan los registros verticales de CE desde diciembre 2012 hasta agosto 2013. En este pozo los registros tienen una longitud de 10 m de columna de agua. En los perfiles correspondientes a junio y julio 2013 se puede observar que los primeros metros de columna de agua la conductividad es menor y a medida que se profundiza ésta va aumentando hasta alcanzar los valores característicos del pozo (3200-3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). El registro correspondiente a diciembre 2012, presenta un comportamiento similar al resto de registros a partir de los 34 m de profundidad pero en los metros anteriores la CE es bastante inferior al resto, esto es debido a que de vez en cuando en ese pozo, que está "abandonado", se introduce agua dulce de excedentes del río Belcaire mediante una tubería.

Rambleta 5

Los registros verticales de CE correspondientes a la Rambleta 5 tienen una longitud aproximadamente de 50m. Todos presentan el mismo comportamiento (figura 46). Los primeros 8-10 m de columna de agua la CE va aumentando hasta alcanzar los 3000-3300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a partir de esta profundidad hasta los 62-65 m la variación de CE es mínima, y finalmente a partir de este momento la CE va disminuyendo hasta situarse entre los 2500-2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

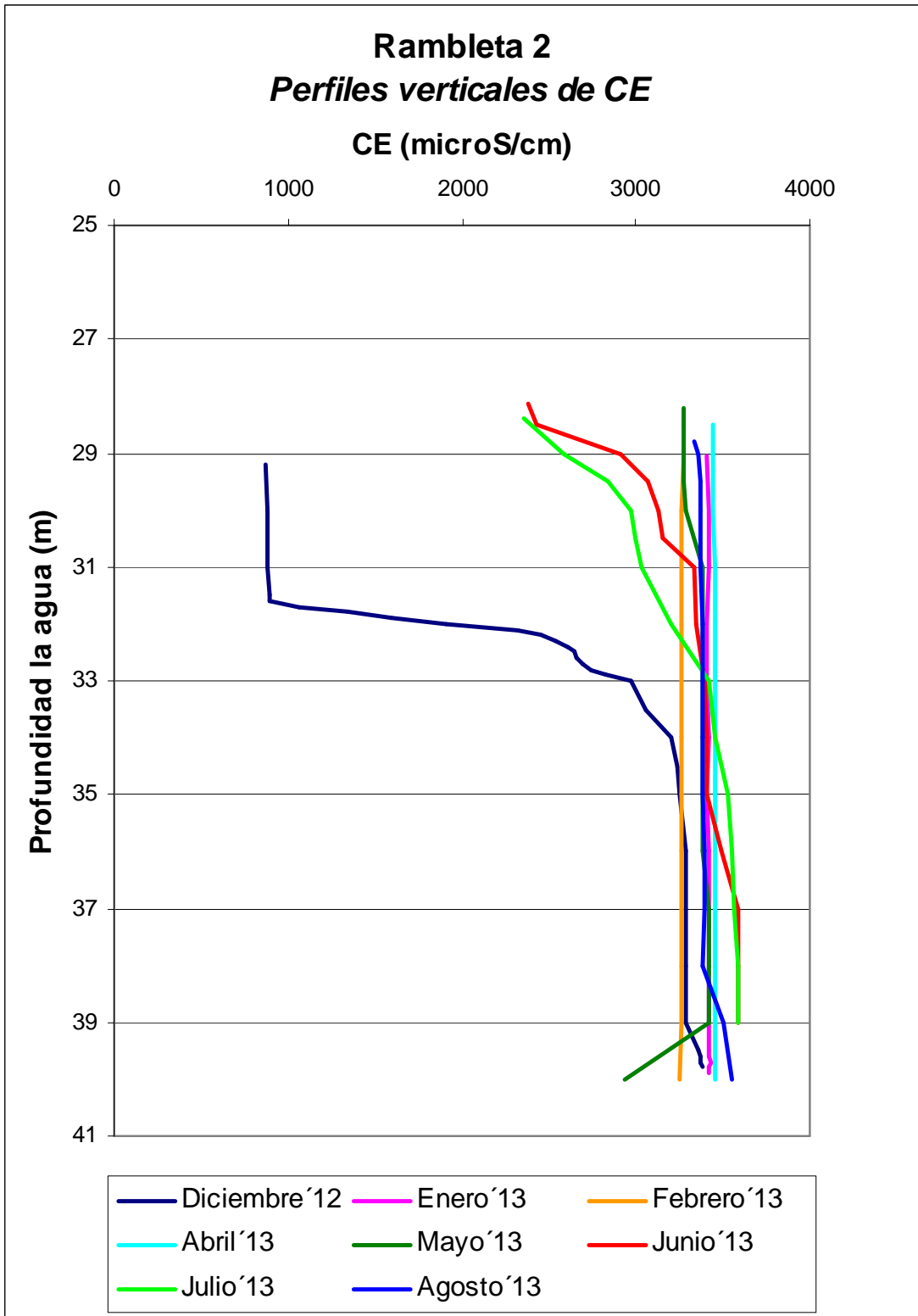


Figura 45. Registros verticales de CE en el pozo Ramblota 2
(de diciembre de 2012 a agosto de 2013)

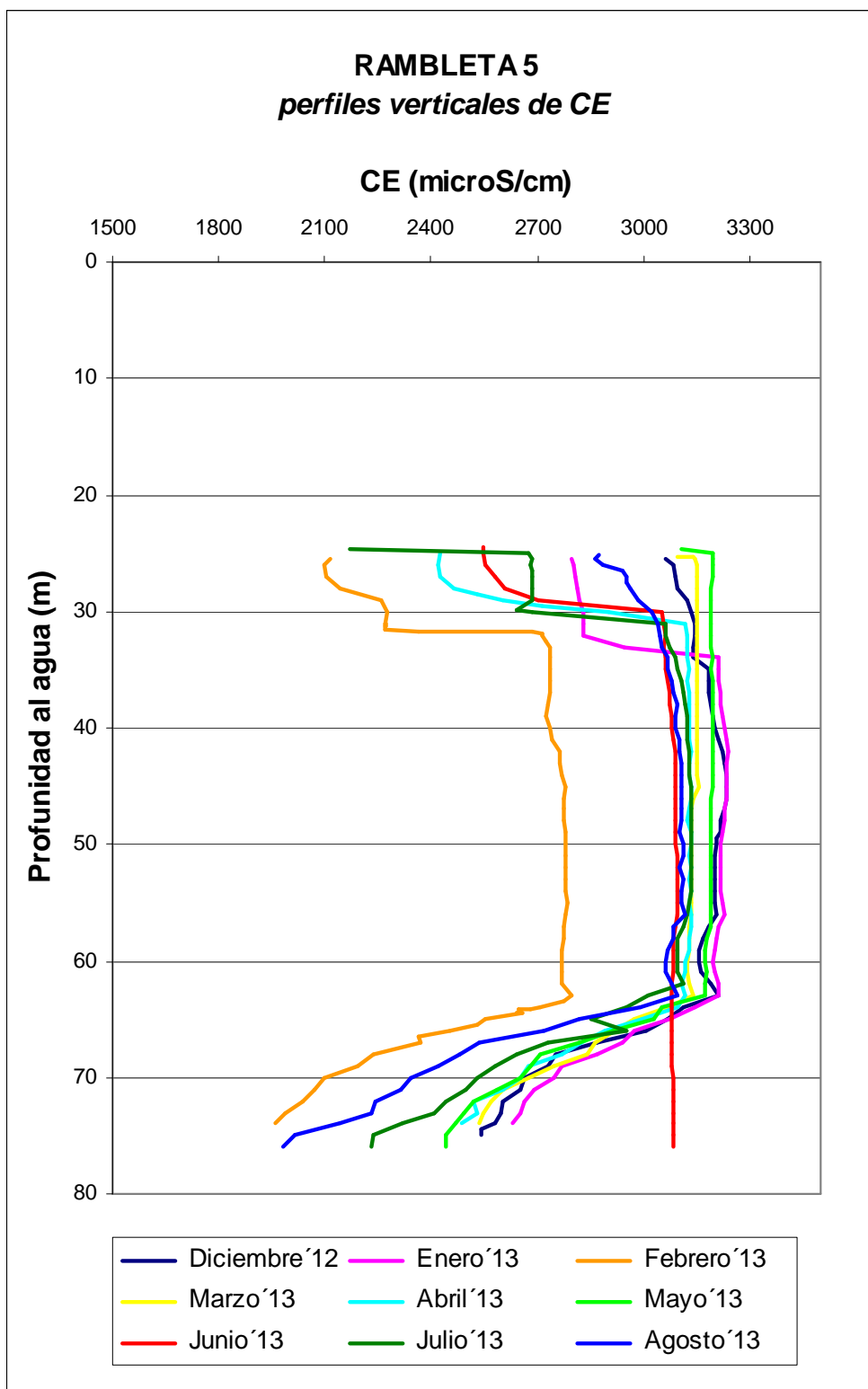


Figura 46. Registros verticales de CE en el pozo Rambleta 5 (de diciembre 2012 a agosto 2013)

Ramblota 6

El primer perfil se realizó en marzo de 2013. Los registros tienen una longitud aproximada de 23 m. En general los perfiles realizados en este pozo presentan el mismo comportamiento, son registros donde la variación de CE en toda la columna de agua es mínima (figura 47).

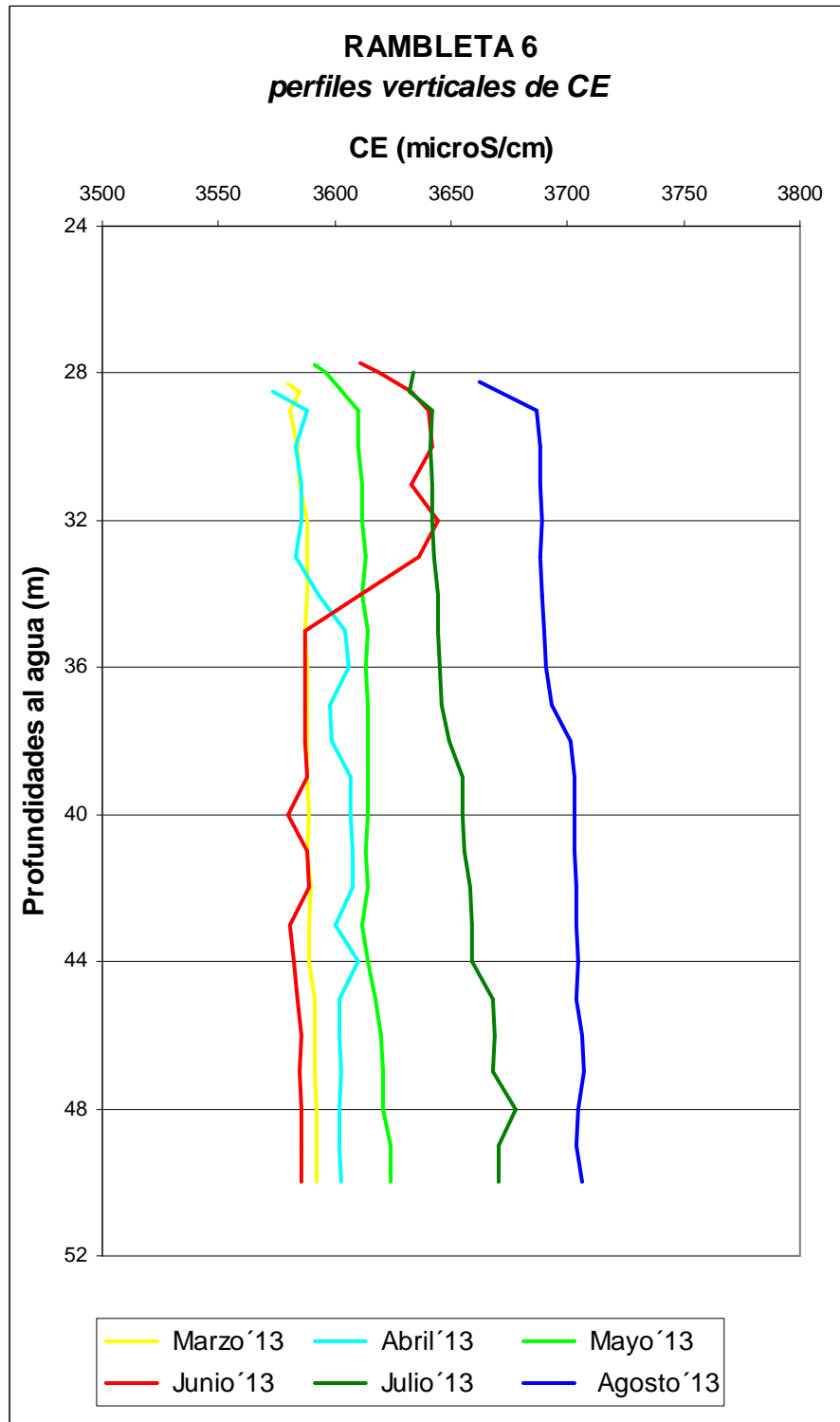


Figura 47. Registros verticales de CE en el pozo Ramblota 6 (de marzo 2013 a agosto 2013)

Recarga Este

En este pozo los registros tienen una longitud aproximada de 50 m (figura 48). Se comenzó a realizar registros a partir de diciembre 2012.

Por lo general en los primeros metros (2-4 m) la CE es menor y ésta va aumentando hasta alcanzar los 2800-3200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a partir de esta profundidad la CE se mantiene prácticamente constante hasta el final del perfil.

Durante los meses de marzo, abril y mayo de 2013, se estuvo realizando la prueba piloto de recarga artificial con agua procedente de la Balsa por tanto los perfiles realizados durante este periodo no respondían al comportamiento natural del acuífero y no se han añadido a este apartado.

Recarga Oeste

Los registros del pozo de Recarga Oeste tienen una longitud aproximada de 50 m (figura 49). Se realizó un registro en febrero 2013, y en marzo 2013 se colocó el codo en el pozo para comenzar con la prueba piloto de recarga artificial. Posteriormente a la recarga se continuó realizando perfiles verticales de CE en los cuales se observaba la evolución del agua dulce dentro del pozo, y no fue hasta junio de 2013 cuando los valores de CE del agua no alcanzaron los valores iniciales de febrero de 2013.

Los valores de CE que presentan los registros realizados están dentro de un rango de conductividades comprendido entre los 2500-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y prácticamente se podrían considerar verticales, a excepción de los primeros metros donde la CE es bastante baja, al existir remanentes del agua inyectada procedente de la Balsa.

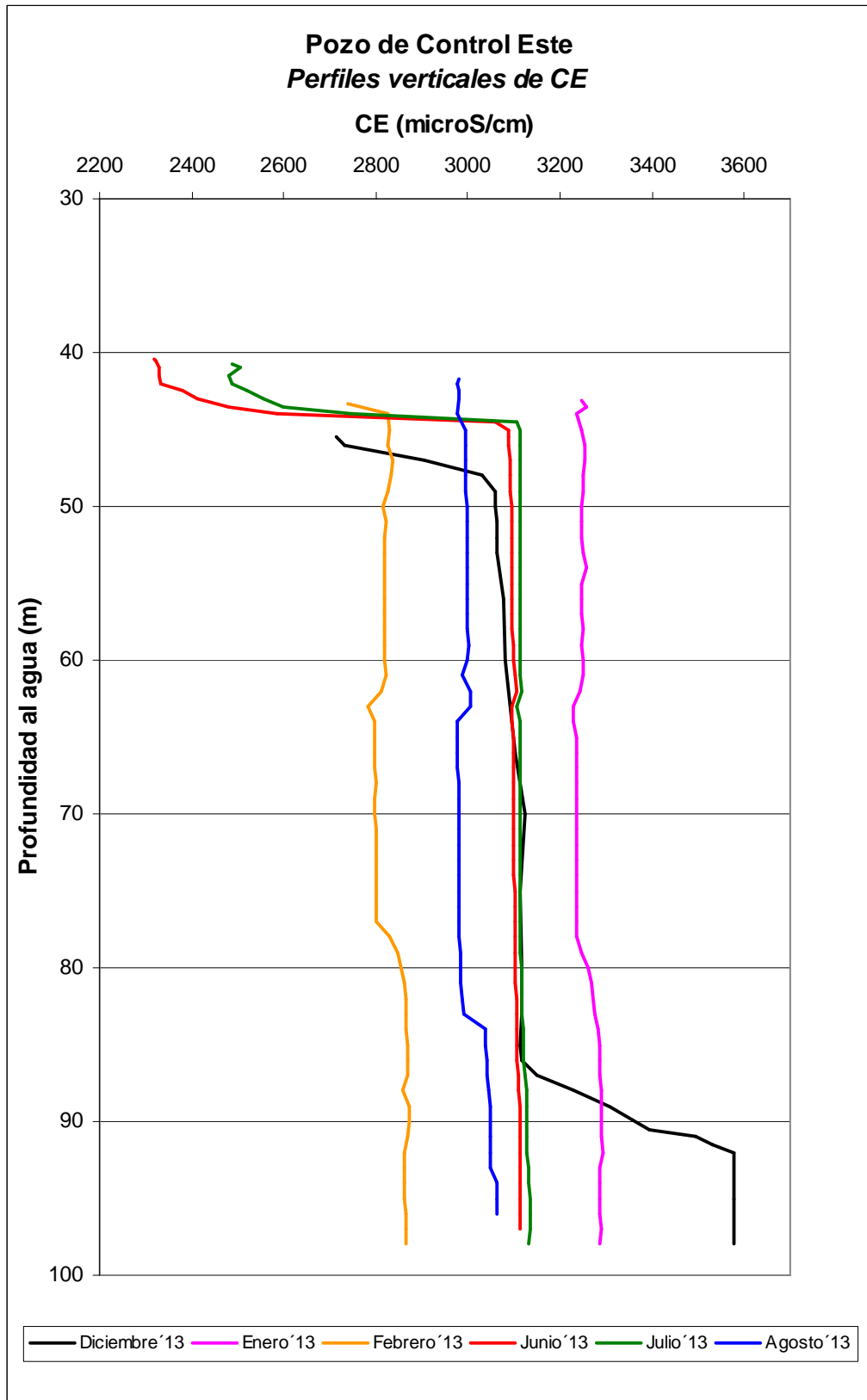


Figura 48. Registros verticales de CE en el pozo Control Este
(de diciembre de 2012 a agosto de 2013)

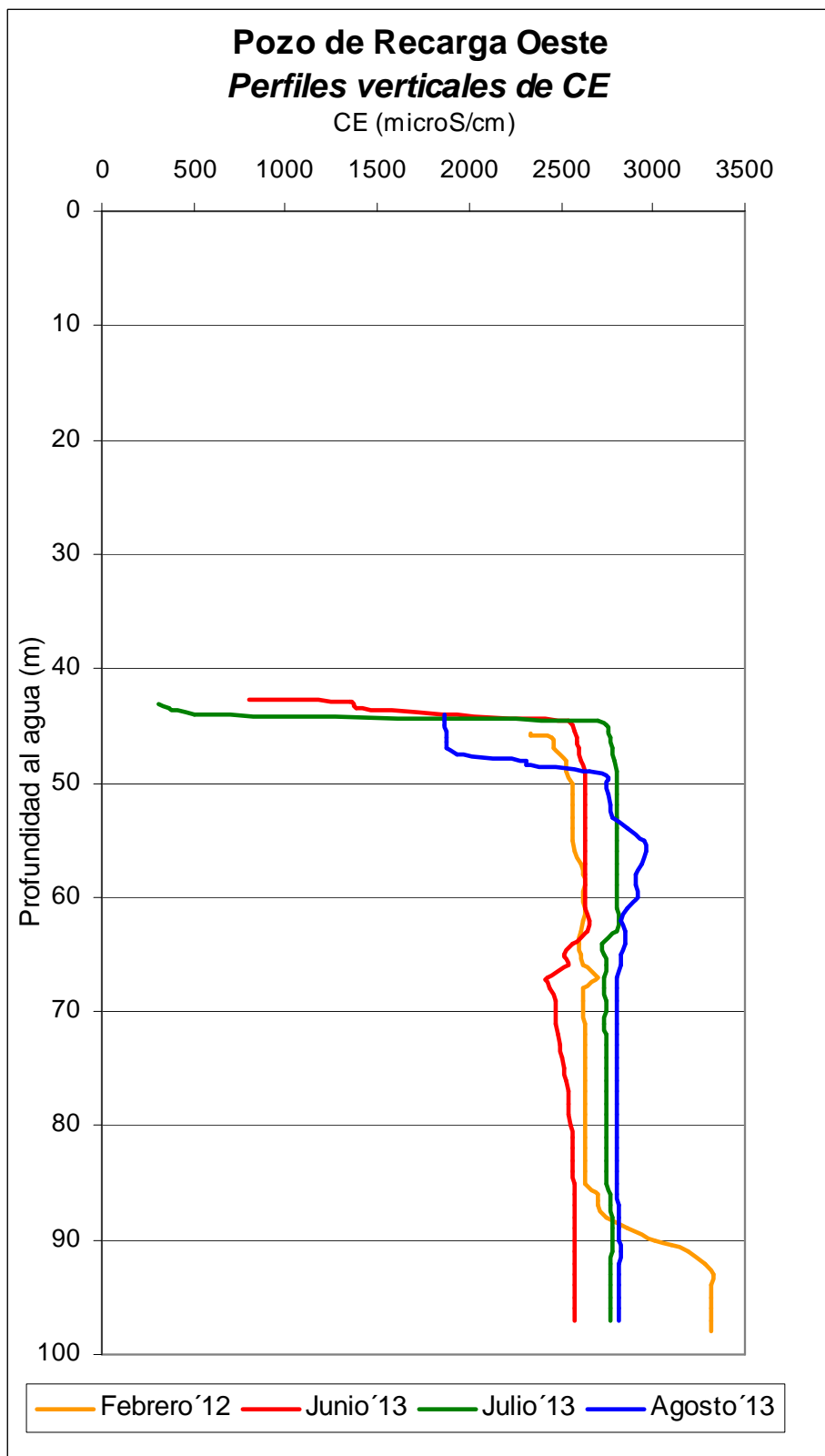


Figura 49. Registros verticales de CE en el pozo Recarga Oeste (de diciembre de 2012 a agosto de 2013)

6.3. IONES MINORITARIOS Y TRAZA

Se han analizado los iones fluoruro, bromuro, litio, boro, estroncio, arsénico, cromo y mercurio. Para la mayoría de ellos, se cuenta con tres campañas (abril y octubre de 2012, y abril de 2013). En el Anexo 2 se adjuntan los resultados analíticos de estos elementos, mientras que en el Anexo 3 se incluyen mapas de isocontenidos.

El patrón de comportamiento de litio es bastante homogéneo, si bien se observa un incremento significativo de las concentraciones en octubre de 2012. Los valores máximos se aprecian en el área formada por los pozos San Ildefonso y la Soledad, y en el pozo San Isidro, todos ellos por encima de 100 ppb en abril de 2012, de 150 ppb en abril de 2013 y de 250 ppb en octubre de 2012. En el caso de las Norias Nules 1 y 2 sólo se cuenta con la muestra de abril de 2013 y presentan valores cercanos a 125 ppb. Se observa, por tanto, un patrón de distribución muy similar al del estroncio (mapa 9), de modo que se puede inferir un origen común y, como se explica en el apartado 6.2.1, relacionado con aportes de agua sulfatada procedente de los relieves internos que alcanzan el acuífero a través de altos estructurales existentes en el substrato.

Por el contrario, el bromuro muestra valores mínimos en la campaña de octubre de 2012, y un patrón de distribución similar al de los cloruros (mapa 11), con los valores máximos en los puntos La Paz, San Isidro, Unión Agrícola y San Cristóbal. El caso del pozo San Isidro, con concentraciones elevadas tanto de litio y como de bromuro, puede relacionarse con una zona donde tiene lugar la mezcla de las aguas cloruradas (San Vicente) y sulfatadas (Alquería) (tabla 8).

En el caso del boro, las concentraciones máximas se registran en abril de 2012 y luego descienden en octubre de 2012 y en abril de 2013. De hecho, los máximos se sitúan por encima de 200 ppb (296 ppb en Santísima Trinidad, 207 ppb en Santa Catalina y 203 ppb en Villalba) en abril de 2012, en octubre se sitúan por encima 150 ppb (181 ppb en San Antonio, 166 ppb en Alquería y 164 ppb en Santa Catalina), mientras que en abril de 2013 los valores máximos se sitúan en 125 ppb (Regeneración Agrícola y Alquería en 127 ppb, y San Antonio en 124 ppb). A pesar de mostrar ligeros desplazamientos en las zonas con concentraciones más elevadas, lo que sí parece claro es la relación del boro con el barranco Randero y el cauce del río Belcaire (Anexo 3).

En cuanto a los elementos traza, el cromo total se encuentra en concentraciones muy bajas, normalmente inferiores a 1 ppb (abril de 2013) o muy cercanas a ese valor (octubre de 2012). Únicamente, destacan con concentraciones por encima de ppb los pozos San Cristóbal, Regeneración Agrícola y San Antonio, lo que parece indicar la relación de este elemento con el barranco Randero y el cauce del río Belcaire, como también sucedía con el boro (Anexo 3).

Finalmente, para el mercurio se observan importantes diferencias en los resultados obtenidos en las campañas de abril de 2012 y abril de 2013 (no se tomaron muestras en octubre de 2012). En la primera campaña, se obtienen concentraciones más elevadas, encontrándose los valores máximos a lo largo del barranco Randero (Unión Agrícola, Rambleta 1 y Rambleta 3, con 3,93 ppb, 2,74 ppb y 1,08 ppb, respectivamente) y del cauce del río Belcaire (San Antonio y la Alquería, con 1,32 y 1,22 ppb, respectivamente), y en los pozos la Primitiva y El Porvenir, con concentraciones también superiores a 1 ppb. Sin embargo, en la campaña de abril de 2013, la mayoría de la muestras presentan unas concentraciones menores a 0,5 ppb, y las concentraciones superiores a 1 ppb

quedan circunscritas al barranco Randero (Unión Agrícola, Rambleta 1 y Rambleta 2) y al pozo Escolara (Anexo 3).

En el Anexo 3 se recogen los resultados analíticos obtenidos en las diversas campañas realizadas, mientras que en el anexo 4 se encuentran los mapas de isocontenidos que no se han intercalado en el texto.

6.4. ISÓTOPOS

Durante la campaña de diciembre de 2012 se han tomado 40 muestras para analizar el deuterio y el oxígeno-18 y 18 muestras para analizar el sulfato-34 y el oxígeno-18 en los sulfatos. Los valores obtenidos se muestran en forma numérica en la tabla 9 y su distribución espacial en el figura 50.

Al tratar los datos de Oxígeno-18 y el Deuterio (figura 51) se puede diferenciar fácilmente el agua que proviene de la Balsa, con los valores más positivos y el agua de la EDAR con los valores más negativos. En los alrededores de la Línea Meteorica de España peninsular y Baleares (LME), se observan tres grupos de familias de aguas, y cada grupo comparte un mismo origen del agua. Al grupo que se le ha llamado "manantiales", se engloban aquellas aguas provenientes de manantiales (Anoheret, Font Cervera, San José Grutas) además de la Cerverola. De las muestras que se sitúan encima de la LME se pueden diferenciar dos familias. Una correspondería a los pozos Unión Agrícola, La Paz y Miramar-1. En la gráfica se sitúan ligeramente por debajo de la LME y con valores menos negativos de O-18, lo que indica que estas tres aguas comparten el mismo origen. Y la última familia serían el resto de muestras analizadas.

Tabla 9. Valores isotópicos ($D-H_2O$, $^{18}O-H_2O$, $^{18}S-SO_4O$ y $^{18}O-SO_4$) de las muestras analizadas

ID	NOMBRE	D-H ₂ O	¹⁸ O-H ₂ O	¹⁸ S-SO ₄ O	¹⁸ O-SO ₄
1	Randero 1	-33.06	-5.53	10.4	12.2
2	Unión Agrícola	-26.48	-4.06	9.5	11.8
5	Rambleta 1	-31.76	-5.25	9.2	12.0
6	Rambleta 2	-34.43	-5.88	10.5	12.4
7	Rambleta 3	-31.98	-5.41		
8	Rambleta 5	-31.99	-5.43	10.1	11.8
9	San Cristóbal	-29.34	-5.26		
10	Regeneración Agrícola	-31.61	-5.35		
11	La Traslación	-32.34	-5.48		
12	La Primitiva	-32.55	-5.39	10.1	12.0
13	El Porvenir	-32.19	-5.45		
14	N ^a S ^a de Asunción				
15	Rambleta 6	-32.01	-5.49		
16	Casa Villalba	-31.92	-5.46	9.1	12.1
17	La Escolaora	-32.78	-5.52	9.9	12.3
18	Condesa Antigua				
19	La Paz	-29.59	-4.56		
20	San Vicente	-30.65	-5.16	10.4	12.4
21	San Isidro	-32.66	-5.53		
22	San Antonio	-32.53	-5.46		
23	La Alquería-Moncófar	-32.92	-5.61		
24	Santa Magdalena	-35.26	-5.93	12.1	14.0
25	Santa Catalina	-32.65	-5.42	11.1	13.0
26	San Ildefonso	-36.94	-5.91		
27	La Soledad	-34.29	-5.61	10.5	13.2
28	San Miguel Arcángel	-32.14	-5.37	10.7	13.1
29	Santísima Trinidad	-31.82	-5.29	10.7	12.8
30	San Vicente Ferrer	-31.31	-5.25		
31	Ángel de la Guarda	-31.57	-5.41	11.4	13.3
32	Miramar 1	-29.77	-4.73		
33	Pozo Recarga Oeste	-33.29	-5.50	10.5	12.6
34	Pozo Recarga Este	-32.61	-5.42		
	Balsa Recarga	-5.77	0.21		
	EDAR	-41.13	-6.42		
35	Noria Nules 1	-35.61	-5.70	2.3	11.5
36	Noria Nules 2	-35.07	-5.55		
	Cerverola	-36.54	-6.17		
	Miramar Corraliza	-34.41	-5.88		
	Pla Llobet 1-2	-32.49	-5.45		
	Anoheret	-34.82	-6.31		
	San José Grutas	-37.21	-6.49		
	Font Cervera	-35.72	-6.40		
	Fuente Tejería			16.4	14.7

Final Report

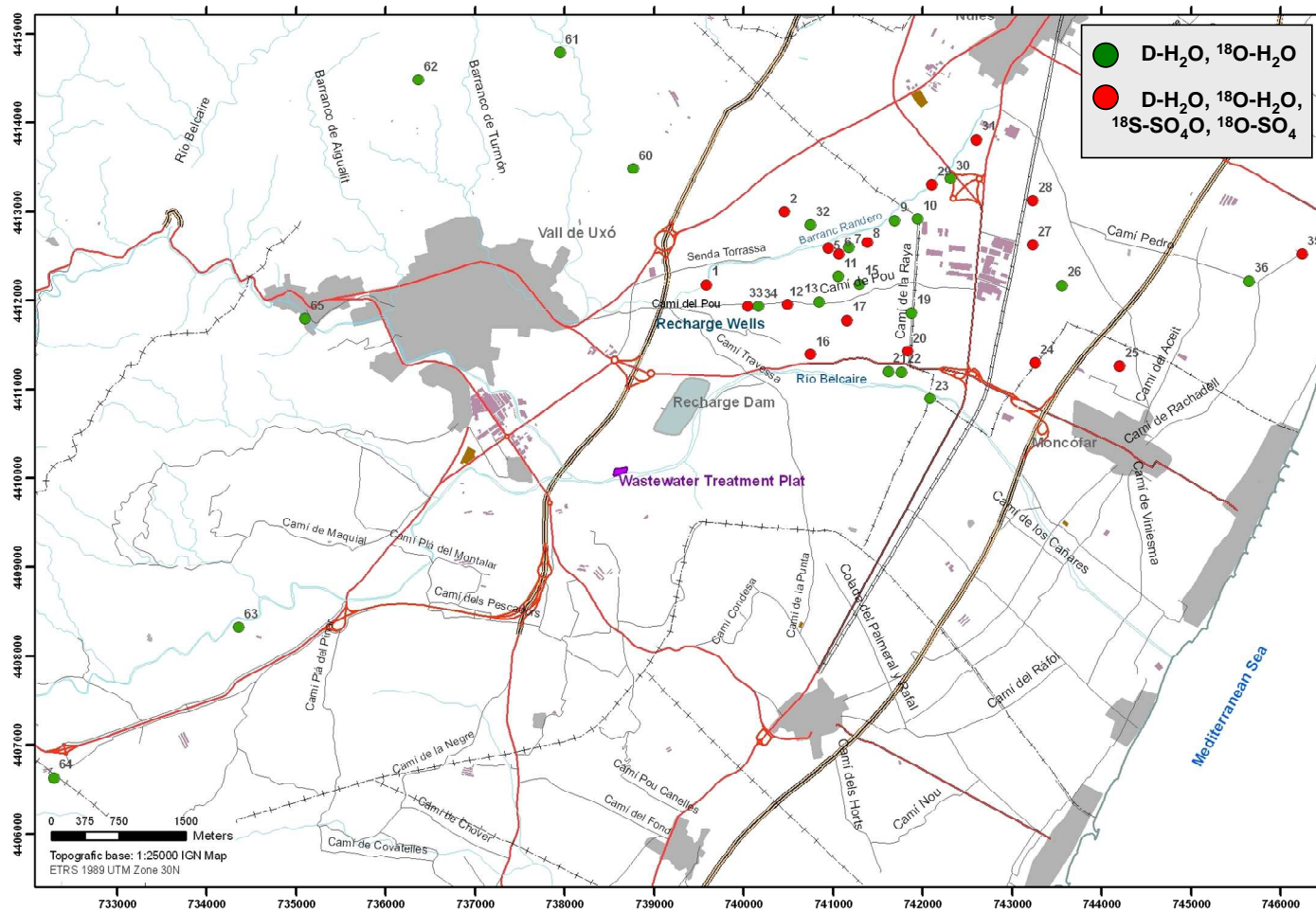


Figura 50. Situación de los puntos de muestreo de isótopos

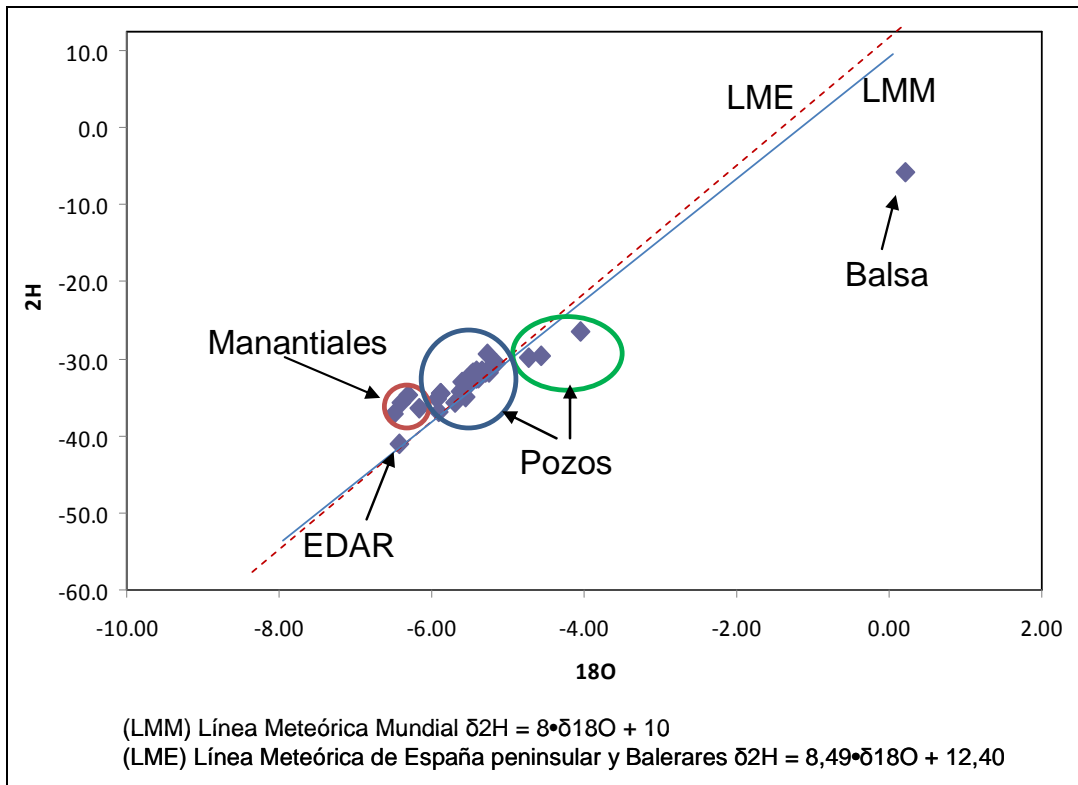


Figura 51. Representación del Deuterio y del Oxígeno-18 de las muestras

Capítulo 7
CALIDAD AMBIENTAL DEL SECTOR.
IDENTIFICACIÓN DE FOCOS
POTENCIALMENTE CONTAMINANTES

7.1. CLASIFICACIÓN DE FOCOS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES

A continuación se enumeran los posibles focos de contaminación que pueden encontrarse en el área de investigación. Tal y como establece el IGME (1991) en el trabajo denominado “Guía Metodológica para la elaboración de perímetros de protección de captaciones de aguas subterráneas”, los posibles focos contaminantes pueden clasificarse, de manera general, en:

- Areales conservativos
- Areales no conservativos
- Puntuales conservativos
- Puntuales no conservativos

Esta clasificación se basa en el carácter degradable o no de la posible contaminación (conservativo/ no conservativo) y en función de la zona afectada (puntual o areal).

Atendiendo a su definición, los focos contaminantes más próximos se relacionan en el siguiente apartado.

7.2. INVENTARIO Y CARTOGRAFÍA DE FOCOS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES

Focos contaminantes areales conservativos

Serían los derivados de prácticas que afectan a amplias zonas y cuyos agentes contaminantes no se destruyen ni se modifican. Se refiere a prácticas de abonado agrícola mediante fertilizantes.

La zona de estudio es eminentemente agrícola con grandes extensiones de cultivo de cítricos. La contaminación agrícola por fertilizantes se hace patente en el mapa de isocontenidos en nitrato (mapa 13).

Se debe señalar también que una gran parte del área cultivada en el municipio de Vall de Uxó se riega desde 1993 con el efluente de la EDAR de Vall de Uxó, que de forma puntual (análisis de la CHJ de 1998) ha presentado contaminación por Hg (más detalles en el siguiente apartado).

Focos contaminantes areales no conservativos

Son resultado de actividades que afectan a amplias zonas pero la composición varía con el tiempo. Los contaminantes más importantes son los herbicidas y pesticidas.

Las posibilidades de afección a las aguas subterráneas por estas prácticas son igualmente significativas y tienen lugar en toda la zona de estudio.

Focos contaminantes puntuales conservativos

Se refiere a actividades de ámbito muy localizado y que producen contaminantes que no se destruyen ni se modifican. Normalmente son vertidos industriales.

En la zona han tenido lugar vertidos de aguas residuales urbanas e industriales insuficientemente tratadas, así como vertidos de residuos sólidos urbanos e industriales de forma incontrolada. La relación de vertidos históricos, que se ha tomado de López Gutiérrez et al. (2007), se resume en la tabla 10 y se ubican en el mapa 12.

Se describen a continuación alguno de los más importantes focos contaminantes históricos, en los que se detectaron concentraciones de metales, sobretodo de Hg pero también de Cr, por encima de los límites permitidos (López Gutiérrez et al., 2007).

En el municipio de Moncófar, en el cauce del río Belcaire, se ubicaba el colector de fábrica Curtidos Nules, que al menos hasta 2002, ha canalizado las aguas residuales de esta empresa (ARH-63). En esta misma zona la fábrica Cartonajes Europa inyectaba directamente en el subsuelo sus residuos a través de un pozo filtrante (ARH-62). En ambos casos se cuenta con informes y analíticas del Instituto de Medicina Legal de la Generalitat Valenciana (López Gutiérrez et al., 2010).

En el municipio de Vall de Uxó ha existido una importante actividad industrial, con la fábrica de curtidos Segarra (Imepiel y finalmente Curtidos Mare Nostrum) como principal exponente. En López Gutiérrez et al. (2007), se constata el deficiente tratamiento que se ha realizado de las aguas residuales urbanas e industriales del municipio, que se vertían directamente al cauce del río Belcaire durante décadas.

La actual EDAR se puso en marcha en 1989 y en el año 2000 se realizó una modernización de las instalaciones. Su efluente se estuvo vertiendo al cauce del río Belcaire hasta 1993, cuando se llegó a un acuerdo con la Sociedad de Riegos de Vall de Uxó y se empezó a derivar a una balsa de riego y a utilizarla para este fin. Sin embargo, hasta el año 2000 se siguió vertiendo parte del caudal del efluente al río Belcaire. En una muestra del efluente tomada por la CHJ en 1998 se detectó una concentración de Hg de 85 $\mu\text{g/L}$, sin embargo muestras tomadas con posterioridad por diferentes organismos (UJI, Instituto de Medicina Legal y el IGME) no se encontró este elemento. Esto indicaría que se producía de manera puntual entradas de aguas residuales con altas concentraciones de Hg.

Junto a la EDAR se encontraba la Depuradora Mare Nostrum, que trataba el agua residual de la fábrica con el mismo nombre (el 98 % del caudal) y de otras empresas también del sector de la piel. Estas aguas no se trataban (hasta 2006 al menos) en la EDAR municipal debido a su alta salinidad. El efluente se vertía directamente al cauce del río Belcaire (AR6). En el análisis del Instituto de Medicina Legal de la Generalitat Valenciana de este efluente (2002) se encontraron altas concentraciones de Cr, Zn y Hg, y también de cloruros, sulfatos y DQO, con una CE de 13550 $\mu\text{S/cm}$. Sin embargo, en la muestra tomada por el IGME en 2004 no se detectó Hg, aunque se mantuvo el elevado contenido en sales, indicios de Zn y un alto contenido en Cr. No obstante, en una muestra de sedimento de río tomada al pie del vertido, sí se detectaron altas concentraciones de Hg, Cr, Cu y Pb (López Gutiérrez et al., 2007).

Al menos hasta el 2004, el agua de abastecimiento urbano de Vall de Uxó se sometía a un tratamiento de ósmosis inversa y el rechazo se vertía al cauce del río Belcaire en dos puntos (AR18 y AR17). Se trataba de un vertido con elevada concentración de cloruros (2300 mg/L), nitratos (1000 mg/L) y CE (11000 $\mu\text{S/cm}$), que se infiltraba en su totalidad a unos cientos de metros desde el punto de emisión (López Gutiérrez et al.,

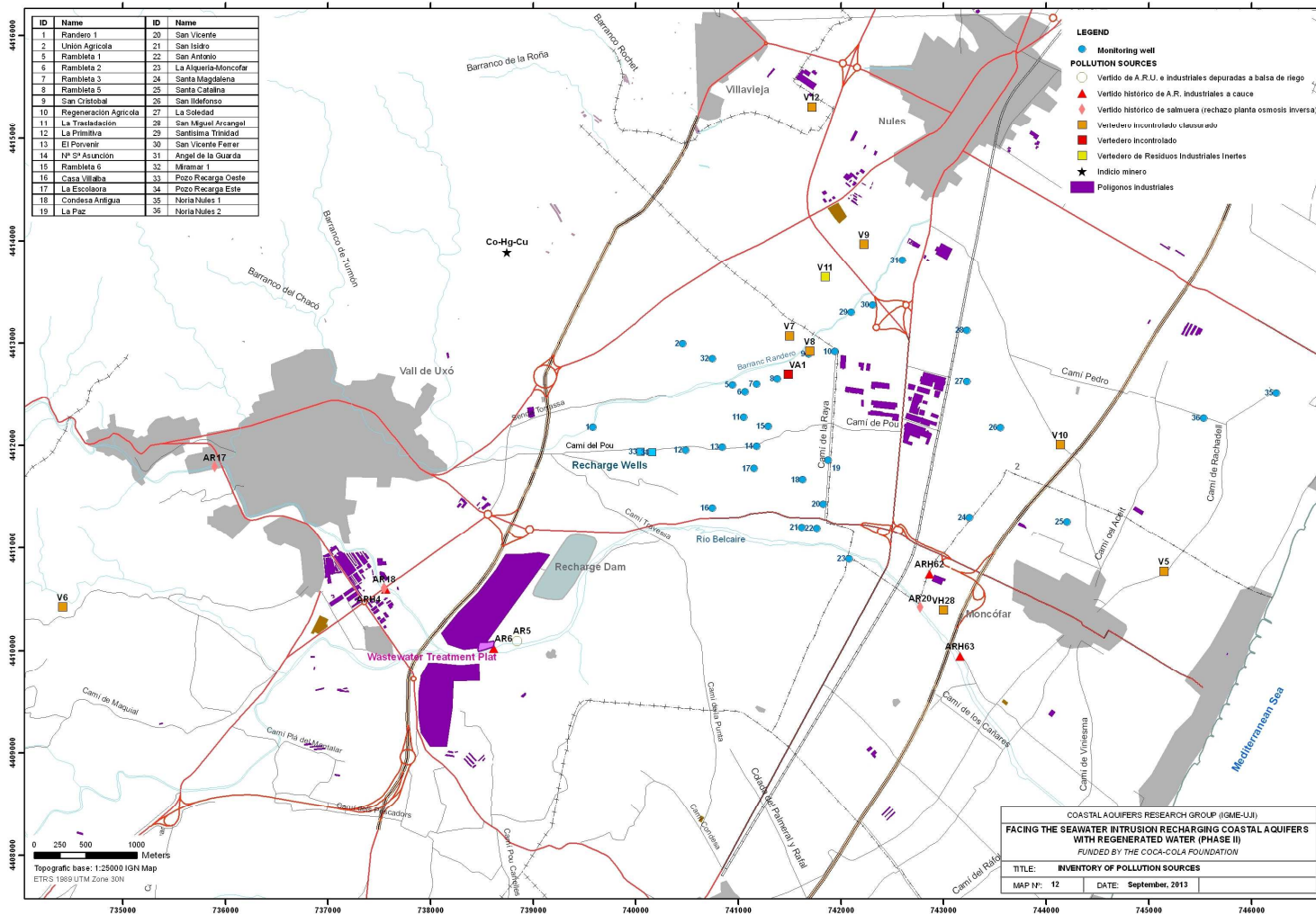
2007). También se vertió durante años al cauce del Belcaire el rechazo de la Planta de Ósmosis Inversa de Moncófar (AR20).

Focos contaminantes puntuales no conservativos

Se refiere a actividades localizadas que producen sustancias degradables. Aquí se englobarían todas las actividades que produzcan residuos sólidos y también líquidos, que produzcan de forma puntual una infiltración en el terreno. No se ha observado en la actualidad la presencia de ganado equino o actividad ganadera de pastoreo ovino.

Tabla 10. Inventario de focos contaminantes

ID	X	Y	Municipio	Tipo de puntos contaminantes	Origen	Punto Vertido
AR5	738950	4410300	Vall de Uxó	Vertido de aguas residuales urbanas e industriales depuradas a balsa de riego	EDAR Vall de Uxó	Riego en el municipio de Vall de Uxó
AR6	738720	4410230	Vall de Uxó	Vertido histórico de aguas residuales industriales a cauce	Depuradora Industrial Mare Nostrum	Río Belcaire
ARH4	737670	4410800	Vall de Uxó	Vertido histórico de aguas residuales industriales a cauce	Fabrica de curtidos	Río Belcaire
ARH63	743264	4410153	Moncófar	Vertido histórico de aguas residuales industriales a cauce	Fabrica de curtidos	Río Belcaire
ARH62	742969	4410947	Moncófar	Vertido histórico de aguas residuales industriales a cauce	Fábrica de cartonajes	Río Belcaire
AR18	737653	4410813	Vall de Uxó	Vertido histórico de salmuera (rechazo plantas de osmosis inversa)	Planta de Osmosis Inversa Vall de Uxó	Río Belcaire
AR17	736000	4412000	Vall de Uxó	Vertido histórico de salmuera (rechazo plantas de osmosis inversa)	Planta de Osmosis Inversa Vall de Uxó	Río Belcaire
AR20	742875	4410630	Moncófar	Vertido histórico de salmuera (rechazo plantas de osmosis inversa)	Planta de Osmosis Inversa Moncófar	Río Belcaire
V5	745250	4410975	Moncófar	Vertedero incontrolado clausurado	Antiguo vertedero municipal de RSU e industriales	Moncófar
V6	734517	4410630	Vall de Uxó	Vertedero incontrolado clausurado	Antiguo vertedero municipal de RSU	Vall de Uxó
V7	741600	4413275	Vall de Uxó	Vertedero incontrolado clausurado	Enseres domésticos y rechazo industria cerámica (azulejos rotos), dos celdas	Vall de Uxó
V8	741800	4413125	Vall de Uxó	Vertedero incontrolado clausurado	Residuos cerámicos (azulejos rotos)	Vall de Uxó
V9	742327	4414173	Nules	Vertedero incontrolado clausurado	Antiguo vertedero municipal de RSU e industriales	Nules
V10	744239	4412208	Nules	Vertedero incontrolado clausurado	Antiguo vertedero municipal de RSU	Nules
VA1	741588	4412900	Vall de Uxó	Vertedero incontrolado		Vall de Uxó
V11	741950	4413850	Nules	Vertedero de Residuos Industriales Inertes	Residuos Industriales Inertes	Nules
V12	741821	4415512	Villavieja	Vertedero incontrolado clausurado	Antiguo vertedero municipal	Villavieja
VH28	743100	4410600	Moncófar	Vertedero incontrolado clausurado		Moncófar
Co-Hg-Cu	738850	4414100	Vall de Uxó	Indicio minero	Indicio minero de Co-Hg-Cu	Vall de Uxó



Mapa 12. Inventario de focos contaminantes

7.3. CRITERIOS QUE JUSTIFICAN LA INOCUIDAD DE LA RECARGA A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La afección a las aguas subterráneas por un determinado vertido depende de su volumen, de las características físico-químicas del mismo y de los condicionantes hidrogeológicos de la zona, tales como la litología de las formaciones geológicas (características físicas y grado de permeabilidad) o el espesor no saturado.

Teniendo en cuenta estos factores, se pueden establecer los siguientes criterios que justifican la inocuidad del mismo:

- El volumen es de 250.000 m³ y el caudal de inyección de 30-50 l/s.
- El agua utilizada para la recarga cumple los límites de calidad fijados en la reglamentación vigente. Se trata de aguas naturales de escorrentía superficial y subterránea, carentes de sustancias contaminantes. Las analíticas realizadas para la determinación de iones mayoritarios, elementos minoritarios y parámetros microbiológicos, permiten calificar el agua de recarga de excelente calidad.
- En la zona de la Rambleta se distinguen cuatro conjuntos litológicos:
 - Formación Detrítica Superior, con gravas de carácter poligénico, arcillas, arenas y areniscas, una potencia media de 85 m, transmisividades entre 100 y 300 m²/día, llegando en algunos casos a 1000 m²/día, y porosidad eficaz entre 2 y 8 %.
 - Nivel de Arcillas con Cantos, con un espesor máximo de 20 m y medio de 12 m, y un acuñamiento hacia el sur y oeste, donde pasa gradualmente a areniscas, e incluso llega a desaparecer.
 - Formación Detrítica Inferior, compuesta por limolitas y arcillas con niveles de areniscas y conglomerados poligénicos, con espesor creciente hacia la costa, está comprendido entre 50 y 100 m. Presenta permeabilidad por porosidad sólo en los tramos arenosos y conglomeráticos.
 - Materiales mesozoicos, se encuentran a profundidad creciente en dirección a la costa, y van desde cotas próximas al mar en el borde occidental hasta los -200 m snm. Este conjunto litológico, en el que están presentes todas las formaciones geológicas del Mesozoico, constituyen acuíferos en las correspondientes a las calizas y dolomías del Mulchekalk, así como en las ortocuarcíticas del Buntsandstein y presentan conexión hidráulica con las formaciones permeables superiores. Cuando las formaciones son de carácter arcilloso: margas de Keuper y arcillitas del Buntsandstein, estas formaciones constituyen el substrato impermeable de los tramos acuíferos superiores.
- En la vertical de los Pozos de Recarga, la formación detrítica superior tiene una potencia de 85 m y se encuentra en contacto con la formación detrítica inferior con un espesor también de unos 85 m, así la formación arcillosa intermedia estaría ausente en esta zona. El substrato mesozoico se encuentra a 170 m de profundidad.
- El espesor de la zona no saturada es de unos 40 m.
- Los sondeos de la zona de estudio son agrícolas, mientras que los sondeos de abastecimiento se sitúan todos aguas arriba, a más de dos kilómetros de los pozos de recarga.

- El flujo subterráneo presenta un sentido general oeste-este. Sin embargo, los bombeos realizados en el acuífero han generado la depresión de los niveles en ciertas zonas, en concreto en el entorno de los límites municipales de Vall de Uxó y Nules, así como en la zona oeste en la confluencia de la senda Torrasa y el barranco Randero. En ambos sectores se modifica el flujo subterráneo, de forma que las líneas de flujo presentan una componente radial hacia el centro de las depresiones piezométricas. De este modo, en el área de los pozos de recarga el flujo tiene una componente oeste-este y una componente sureste-noroeste.
- La profundidad del nivel piezométrico, controlado desde octubre de 2012 a junio de 2013, varía entre 42,7 y 46,98 m en el sondeo de Recarga Oeste, y entre 40,24 y 44,43 m en el sondeo de Recarga Este; por tanto, se han registrado oscilaciones estacionales de unos 4 m.
- El agua subterránea es de tipo sulfatada y está afectada por un proceso de intrusión marina (400-1000 mg/l de cloruros) y por contaminación agrícola, con concentraciones de nitratos entre 200 y 500 mg/l. En cuanto a los metales destaca el alto contenido en mercurio por encima de 1 µg/l en siete pozos de la red de control. Finalmente, las analíticas realizadas de sustancias prioritarias y contaminantes emergentes indican que todos los parámetros analizados se encuentran por debajo del límite de cuantificación establecido para el cumplimiento de los requisitos legales y reglamentarios.

En la zona existe contaminación agrícola, constatada por los altos contenidos en nitratos, y también se han inventariado vertidos históricos de aguas residuales urbanas e industriales insuficientemente tratadas, así como vertidos sólidos urbanos e industriales realizados de forma incontrolada. El principal punto de vertido ha sido el cauce del río Belcaire.

Capítulo 8
ENSAYO PILOTO DE RECARGA

8.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La prueba de recarga piloto se realizó en el pozo Recarga Oeste (figura 52). El periodo de inyección de agua proveniente de la balsa duró 2 semanas (del 9 de abril al 23 de abril del 2013) con un caudal medio de 15 l/s (figura 53) y un volumen total de 15500 m³. Durante ese periodo la recarga se controló en el pozo Recarga Este (figura 52).

El pozo Recarga Oeste ha estado cerrado mediante un codo, a través del cual se ha inyectado el agua. Una vez terminada la prueba piloto de recarga se quitó el codo y se controlaron en dicho pozo la CE, la temperatura y el potencial redox (Eh), mediante muestras tomadas a 5 m bajo el nivel del agua, el N.P., y se realizaron registros verticales de CE de toda la columna de agua, para averiguar cuanto tardaba en “recuperarse” el pozo Recarga Oeste, entendiéndose por “recuperación” como el aumento o disminución de la CE para alcanzar una situación similar a la existente antes de la recarga. Durante la recarga piloto y hasta junio de 2013, se han controlado en el pozo Recarga Este los mismos parámetros que en el de Recarga Oeste: temperatura, CE, Eh (a 5 m de profundidad) y N.P., y se han realizado registros verticales de CE.

Los *objetivos* que se perseguían durante esta prueba piloto de recarga fueron varios. El primero, observar si el pozo de Recarga Oeste era apto para la inyección del agua en profundidad y ver si las instalaciones respondían correctamente a las necesidades existentes. Otro de los objetivos fue observar como respondía el acuífero a dicha recarga, para ello se controló el pozo Recarga Este y una vez terminada la recarga se controló también el pozo de Recarga Oeste. Y el ultimo objetivo, y no por ello el menos importante, diseñar una metodología eficaz para controlar la recarga artificial que se llevará a cabo en otoño 2013 durante varios meses y con un volumen de 250000 m³.

8.2. CONSIDERACIONES

Un dato importante que ha enmascarado los resultados de forma considerable han sido las precipitaciones acaecidas durante el periodo de recarga. Durante el periodo comprendido entre el 25/4 y el 2/5 la precipitación acumulada fue de 72.82 mm (IVIA, www.ivia.es) (figura 54).



Figura 52. Situación del pozo Recarga Oeste y pozo Recarga Este

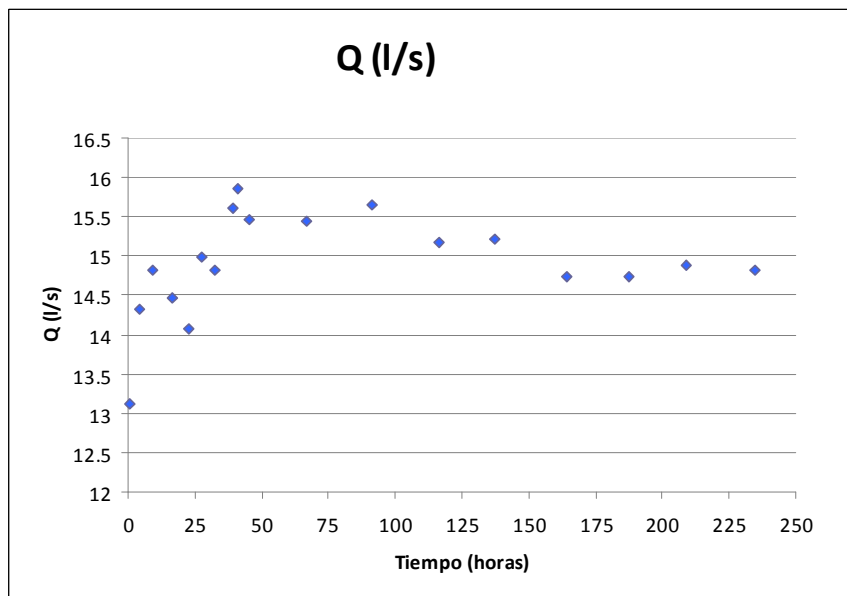


Figura 53. Caudal inyectado en el pozo Recarga Oeste durante la prueba piloto de recarga

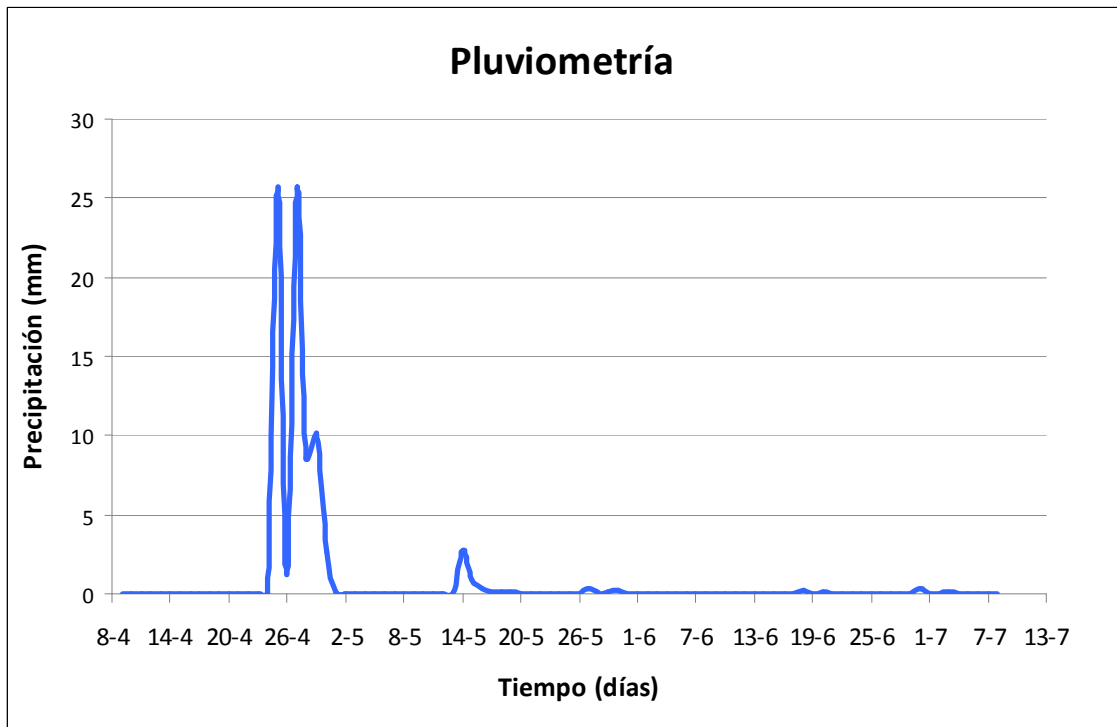


Figura 54. Precipitaciones del 9/4 al 8/7 en los alrededores de la zona de estudio

Otra consideración importante es que el agua que se ha utilizado para la recarga proviene de la balsa de acumulación de excedentes del río Belcaire. En la campaña de abril, realizada del 2 al 4 de abril, los datos que caracterizaban esta agua eran los siguientes:

- Temperatura: 16.9 °C
- Conductividad eléctrica (CE): 311 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Potencial rédox (Eh): 195.5 mV
- pH: 8.0

8.3. POZO DE RECARGA ESTE

Antes de comenzar la recarga piloto en el pozo de Recarga Oeste, en el pozo Recarga Este se inyectó agua de la balsa, por tanto los datos de inicio corresponden a una CE característica del agua dulce (311 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

La frecuencia de control del N.P. en el pozo Recarga Este fue:

- Del 9/4 al 11/4: cada 4h
- Del 12/4 al 19/4: 1 vez al día
- Del 22/4 al 26/4: 1 vez al día
- Del 29/4 al 16/5: 2 veces por semana
- Del 20/5 al 8/7: 1 vez por semana

Profundidad al agua

El primer control se realizó al comenzar la prueba y a las 4 horas ya se observaba un ligero aumento del nivel piezométrico (N.P.). Una vez finalizada la prueba piloto el N.P. comenzó a descender (hasta 0.5 m) varios días después pero debido a las precipitaciones de finales de abril de 2013 éste vuelve a aumentar de modo significativo (figura 55).

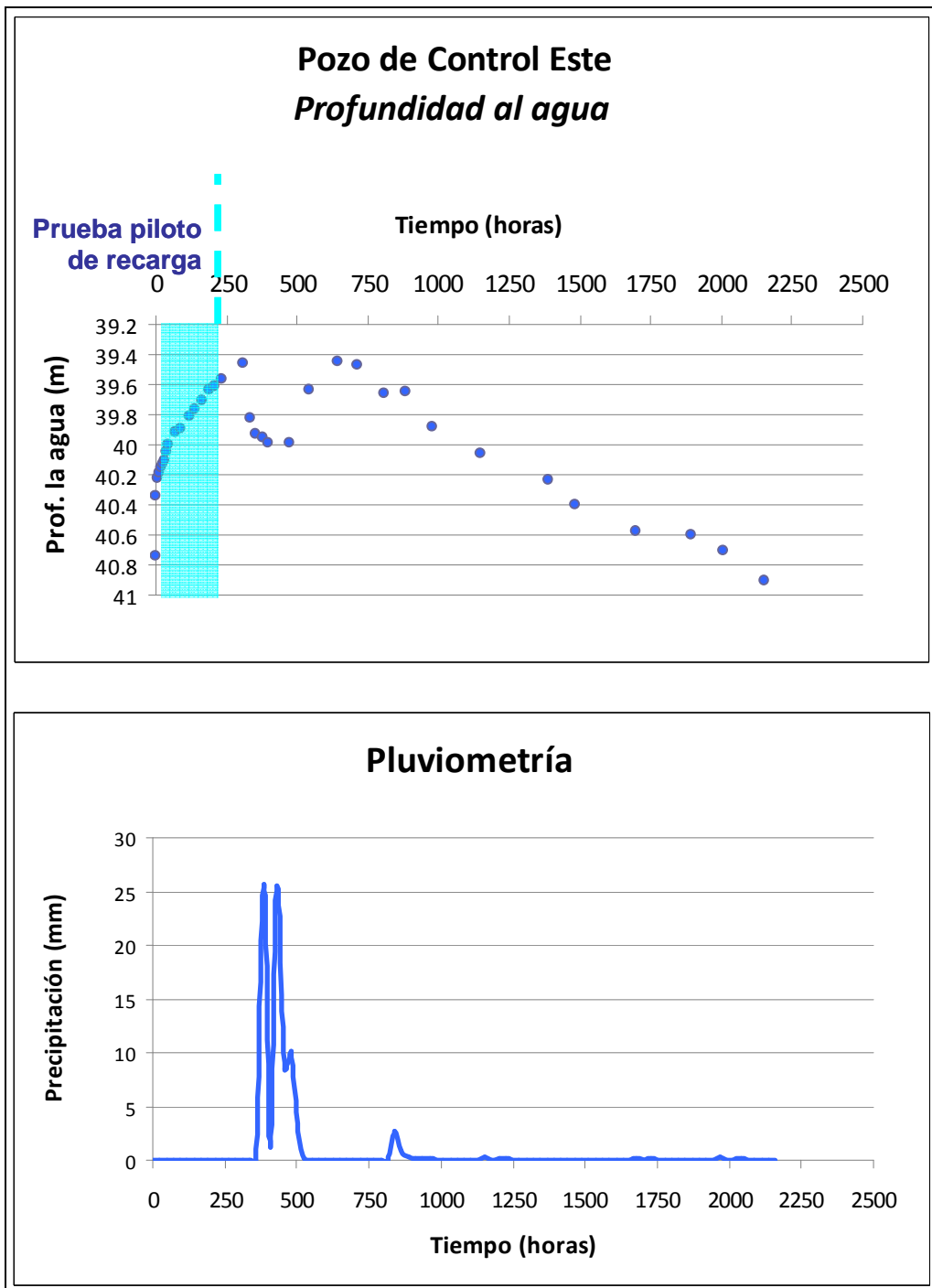


Figura 55. Profundidad al agua (m) en el pozo Recarga Este y pluviometría

Conductividad Eléctrica (CE)

En este caso, como se aprecia en la figura 56 la CE inicial es muy baja, debido a la inyección previa de agua de la balsa. Poco a poco la CE tiende a alcanzar su estado de equilibrio con el medio, por lo tanto ésta va aumentando hasta superar los 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

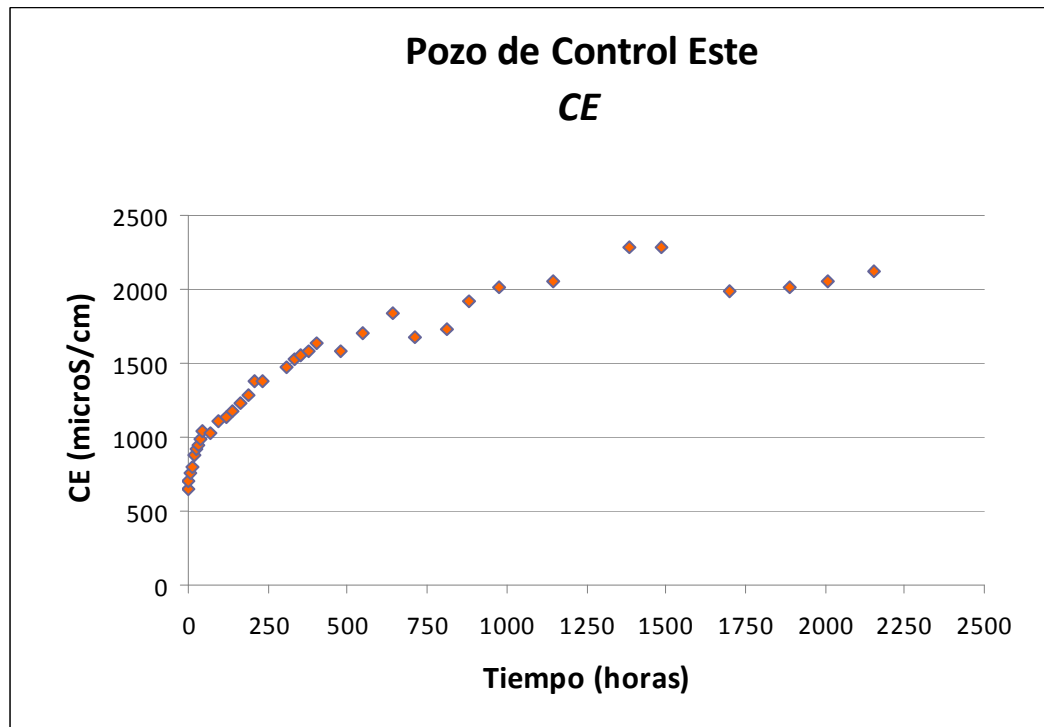


Figura 56. Conductividad eléctrica (CE) en el pozo Recarga Este

Potencial Redox (Eh)

Si se observa la figura 57, el comportamiento del Eh se puede dividir en 2 partes. La primera parte va desde el inicio de la recarga hasta el tiempo $t=1000$, que corresponde aproximadamente al 23/5/2013. Y la segunda parte va desde dicha fecha hasta el final.

En la primera parte el comportamiento del Eh es interesante, ya que disminuye de forma paulatina, aunque esta disminución se va amortiguando llegándose a estabilizar al final de la primera parte, entre 100 y 125 mV.

En cuanto a la segunda parte, la explicación no está tan clara como en la primera parte. Pero se observa que en general los Eh son mayores que en la primera parte y del mismo rango que los datos iniciales, esto parece indicar que el agua ya ha recuperado su velocidad natural y el tiempo de residencia del agua dentro del pozo es el habitual.

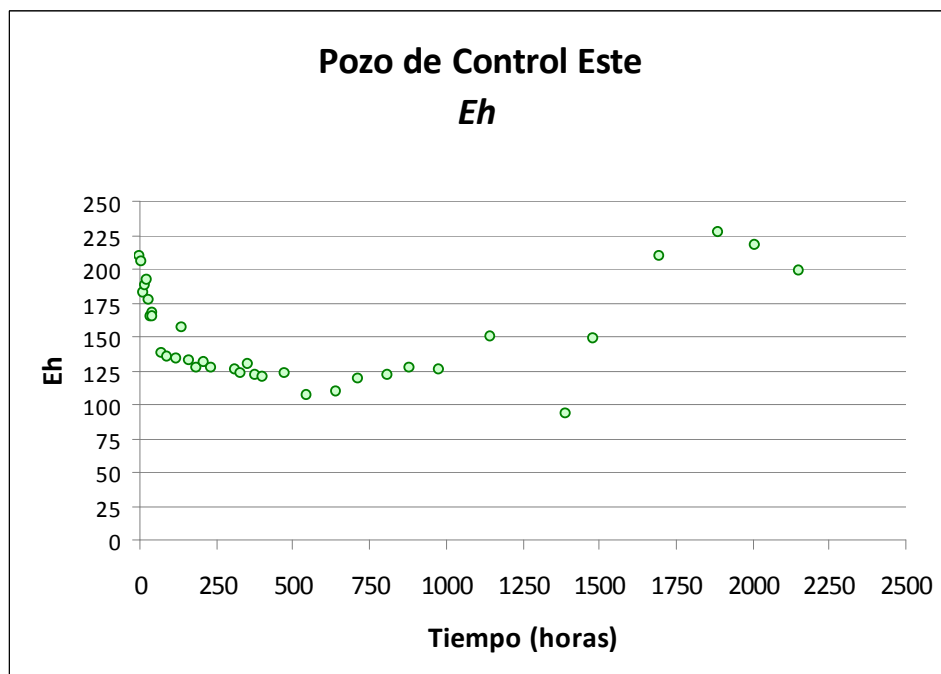


Figura 57. Potencial redox del pozo Recarga Este

Temperatura

Para explicar el comportamiento de este parámetro hay que recordar que las muestras analizadas in situ se estudian a partir de muestras tomadas a 5 metros por debajo de la superficie del agua. Esta muestra se considera superficial por lo tanto este parámetro responde a la temperatura ambiental como se puede observar en la figura 58. En dicha figura se muestran dos gráficas, la primera (A), corresponde a los valores tomados in situ con el conductímetro de campo, y en la gráfica (B) se muestran los datos que corresponden al mismo periodo medido por la estación agroclimática de la Vall d'Uxó (www.ivia.es).

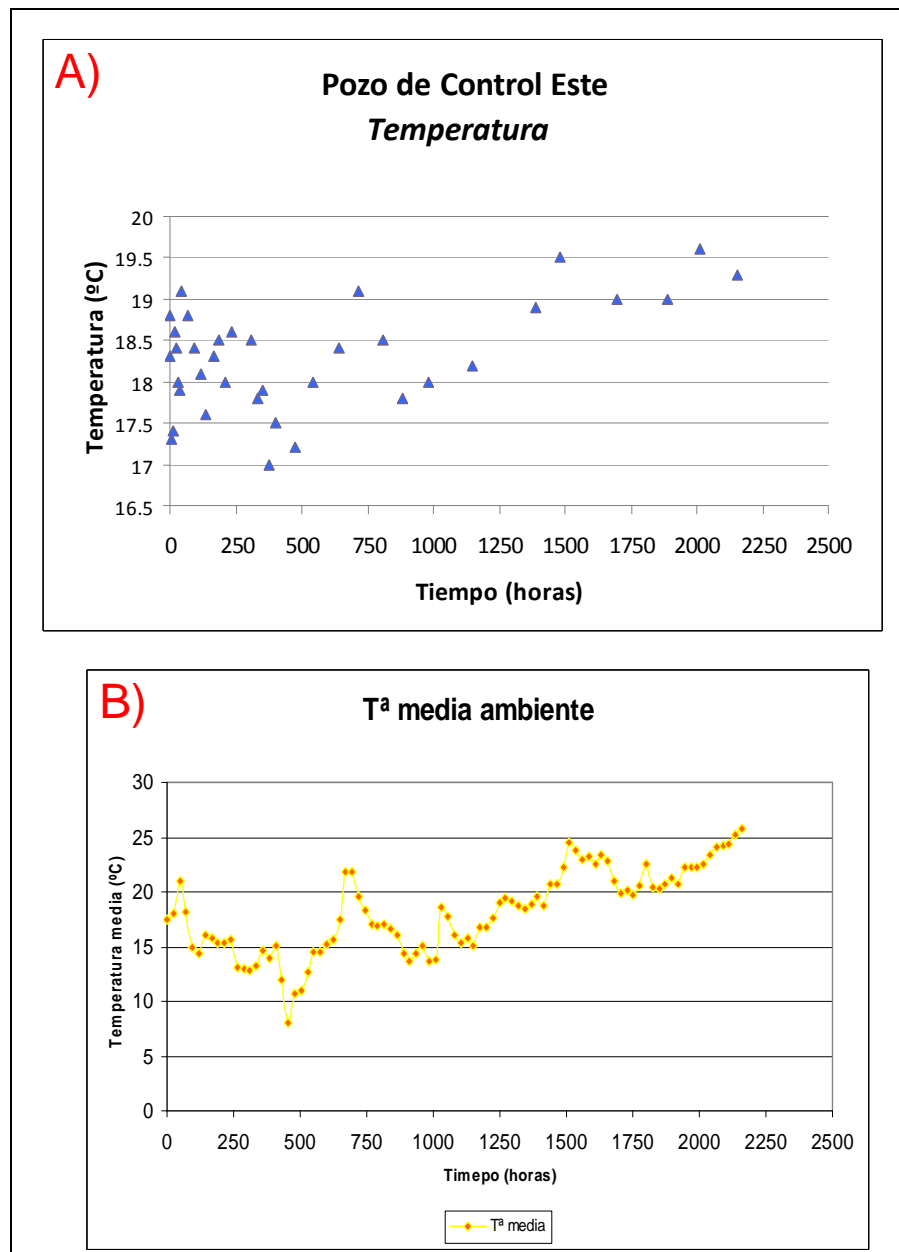


Figura 58. Temperatura de las aguas subterráneas del pozo Recarga Este y temperatura ambiente de la zona de estudio

Registros verticales de Conductividad Eléctrica (CE)

La frecuencia con que se realizaron los registros verticales de CE es la misma que con la que se tomaron las muestras y se midieron los parámetros anteriormente explicados, por tanto se realizaron 36 perfiles (figura 59). Como resulta complicado observar cualquier evolución en esta figura, por presentar muchos datos, se ha optado por hacer ampliaciones (figura 60 y 61) de la figura 59.

Hay que considerar que partimos de un agua con menos CE que el agua del acuífero, debido a la recarga que se realizó en el pozo antes de empezar la prueba piloto; por tanto, la evolución de la CE vertical en el tiempo no responde a la prueba piloto de recarga sino a su recuperación y tendencia a estabilizarse en los valores normales de CE que presenta el acuífero, que oscilan entre los 2500-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (apartado 7.2.3). En los primeros metros la "recuperación" de la CE es más lenta debido a que la rejilla de la tubería comienza aproximadamente a los 50 metros de tubería, estando los primeros metros ciegos. Por tanto, queda un remanente de agua más dulce en dichos metros.

En la leyenda de las figuras 59, 60 y 61 se puede observar 3 trazados distintos. El primero, un trazado continuo, corresponde al periodo de recarga. El trazado discontinuo corresponde a los registros que se realizaron posteriormente a la prueba de recarga, de hecho en el primer perfil de trazado discontinuo (color verde pistacho, correspondiente al 23/4/2013) ya se observa un aumento de la profundidad al agua, lo que significa que el N.P. ha descendido unos centímetros. Y los últimos tres registros se han trazado mediante una línea continua con círculos de colores, únicamente por no repetir los colores del trazado discontinuo, pero este último trazado no aporta ninguna información adicional.

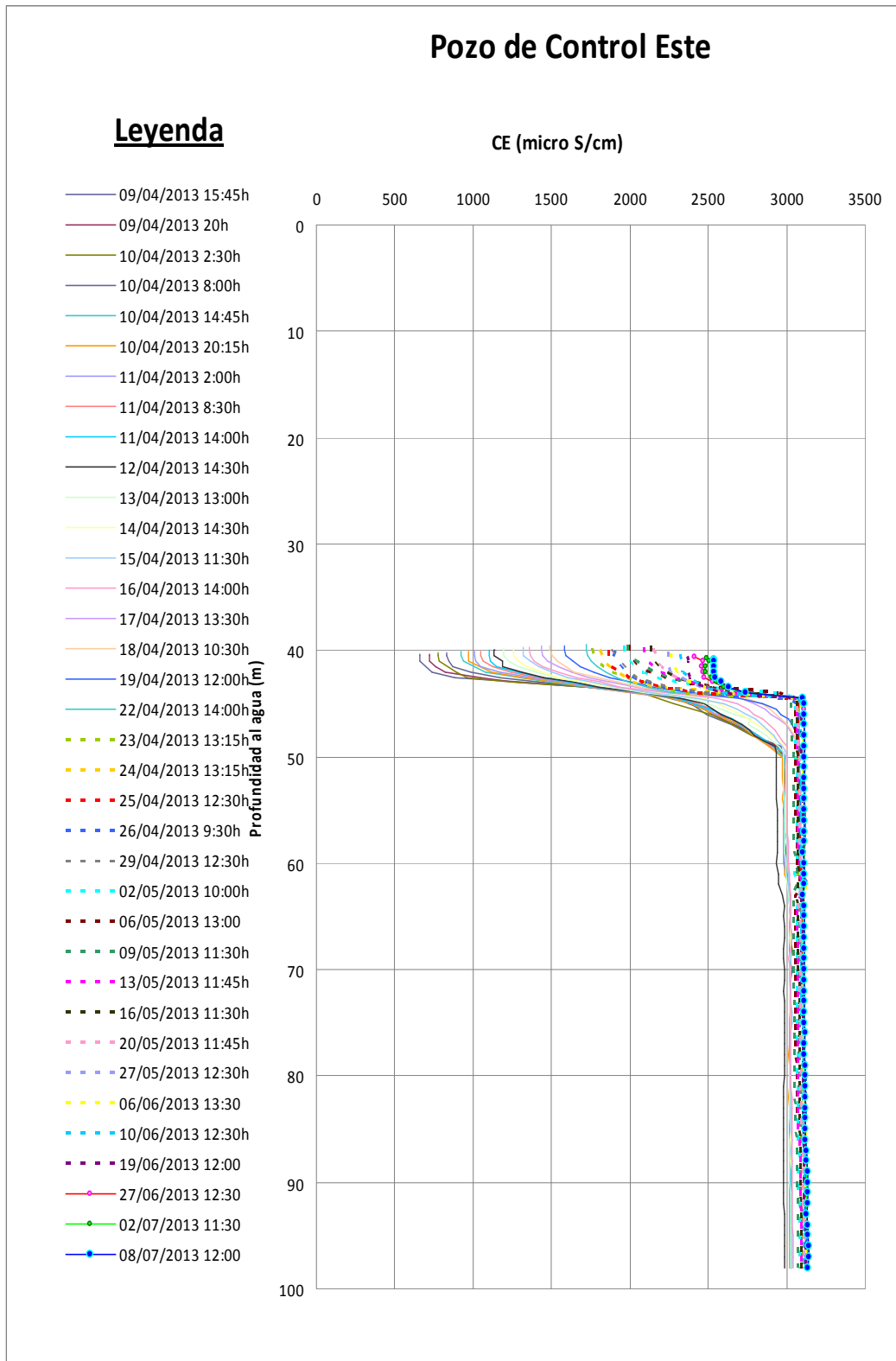


Figura 59. Evolución temporal de los registros verticales de conductividad eléctrica en el pozo Recarga Este

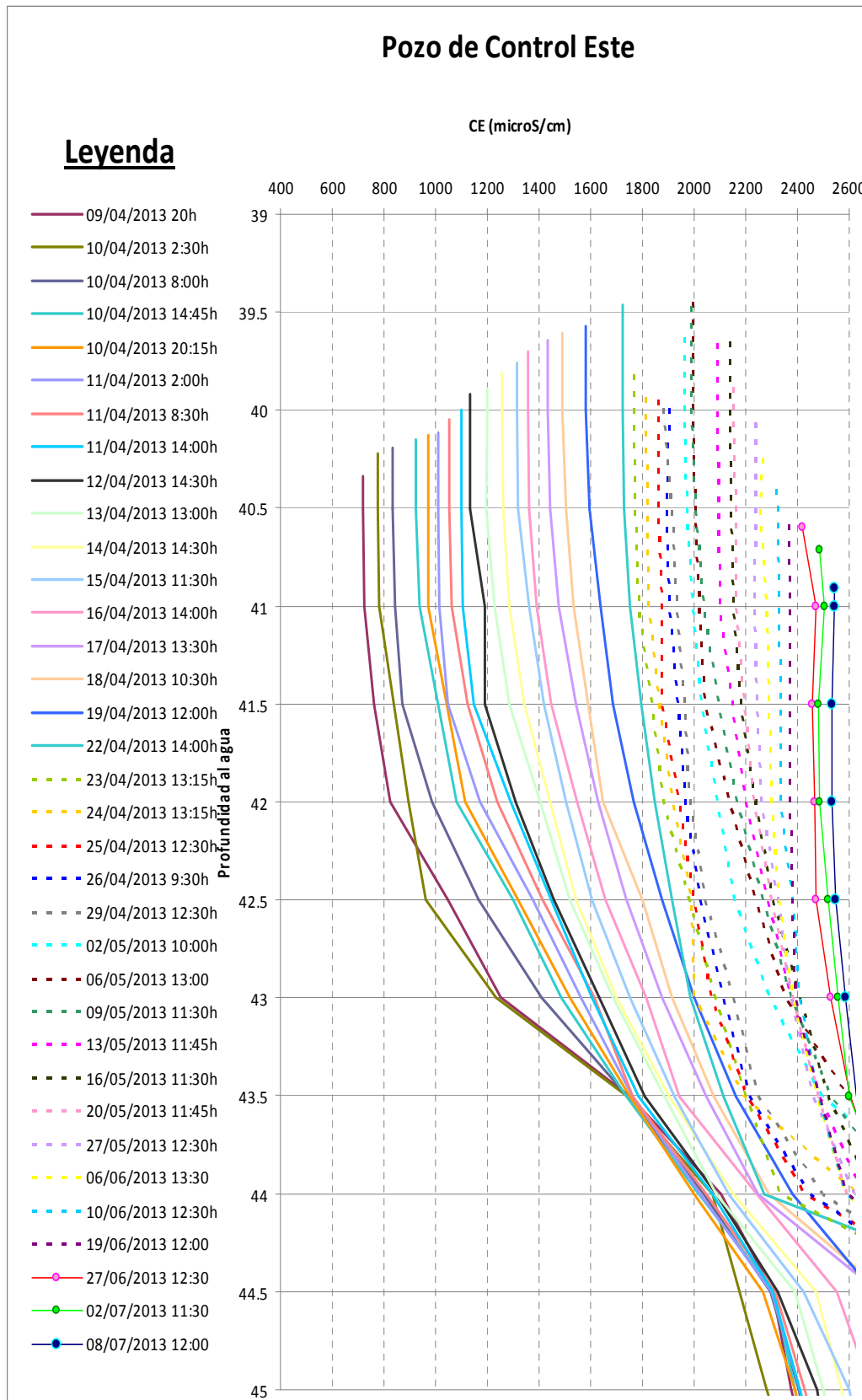


Figura 60. Ampliación de los 5 primeros metros de columna de agua de la evolución temporal de los registros verticales de CE en el pozo Recarga Este

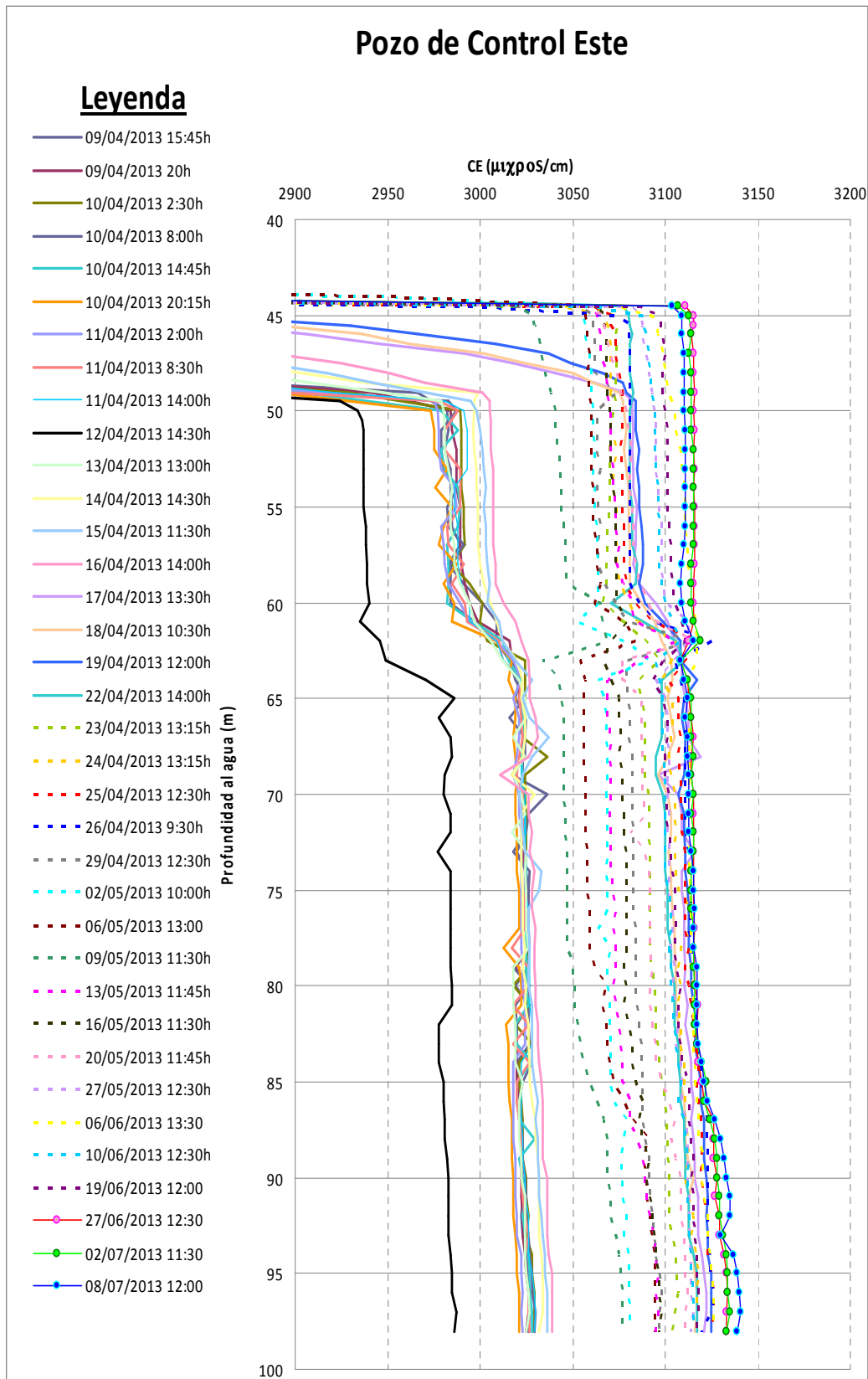


Figura 61. Ampliación de la evolución temporal de los registros verticales de CE en el pozo Recarga Este (ampliación entre 2900-3200 $\mu\text{S/cm}$)

Divers

En un principio (9/4/2013) en el pozo Recarga Este se instalaron cuatro CTD-Divers a 60, 75, 90 y 95 metros de profundidad. Pero se detectó que los CTD-Divers se habían instalado sobrepasando el rango de presión que podían soportar, por lo que el 29/4/2013 se reubicaron, instalándose un CTD-Diver a 43 m, otro a 48 m, y el último a 63 m. El 29/4/2013 se reubicaron uno a 43 m y otro a 53 m. Finalmente el 6/5/2013 el CTD-Diver situado a mayor profundidad se subió unos metros, exactamente a 49 m de profundidad, y así se aseguró que estaba dentro del rango de presión (columna de agua) que pueden soportar los dispositivos.

Debido a todos estos cambios de profundidad realizados, y al ocasional mal funcionamiento de alguno de los divers no se tienen registros continuos de N.P. y de CE durante todo el periodo estudiado.

En la figura 62 se observa la evolución temporal del N.P. en el pozo Recarga Este y los datos de piezometría tomados manualmente. En el último tramo se observa un descenso brusco del N.P. esto es debido al aforo que se realizó durante estos días en el pozo de Recarga Oeste. La figura 63 muestra la evolución temporal de la CE y temperatura a 43, 53 y 49 metros de profundidad.

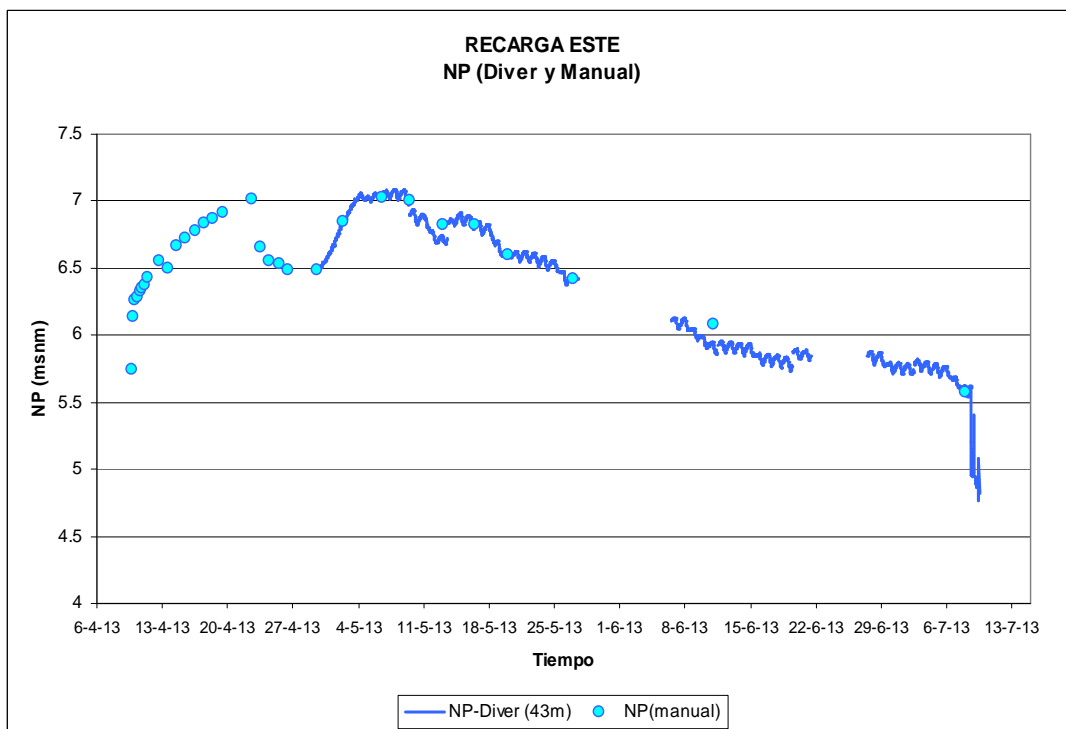


Figura 62. Evolución temporal del N.P. en el pozo de Recarga Este

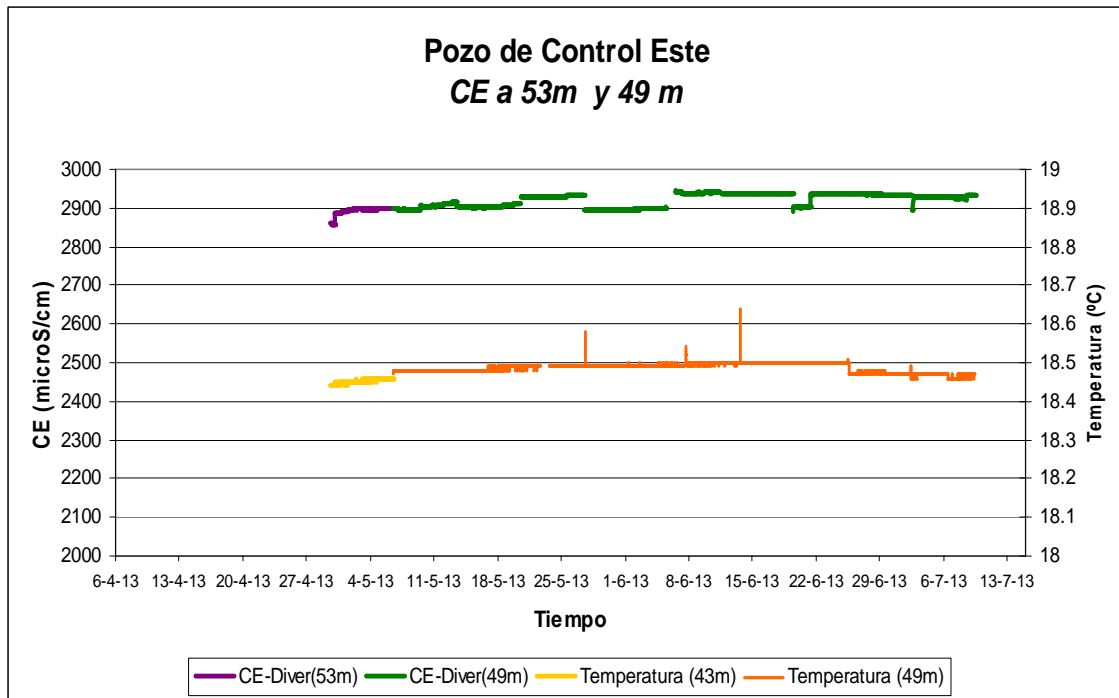


Figura 63: Evolución temporal de la CE (a 49m y 53 m) y temperatura a (43m y 49 m)

8.4 POZO DE RECARGA OESTE

La frecuencia del control del pozo de Recarga Oeste fue:

- Del 23/4 al 26/4: 1 vez al día
- Del 29/4 al 16/5: 2 veces por semana
- Del 20/5 al 8/7: 1 vez por semana

El control de la calidad de las aguas subterráneas en el pozo de Recarga Oeste se llevó a cabo después de cesar la prueba. En ese instante se quitó el codo que impedía el acceso al agua subterránea y se procedió a su control.

Profundidad al agua

La recarga cesó el día 23/4/2013 a las 8:00 y ese mismo día a las 12:00 se tomó la primera medida. Se puede observar el mismo comportamiento que en el pozo de Recarga Este: una vez finalizada la recarga el N.P. desciende hasta que tuvieron lugar las precipitaciones y éste se recuperó aproximadamente 0.5 m, y posteriormente continuó el descenso.

En la figura 64 se muestra tanto la profundidad al agua como la precipitación (72.82 mm, www.ivia.es)

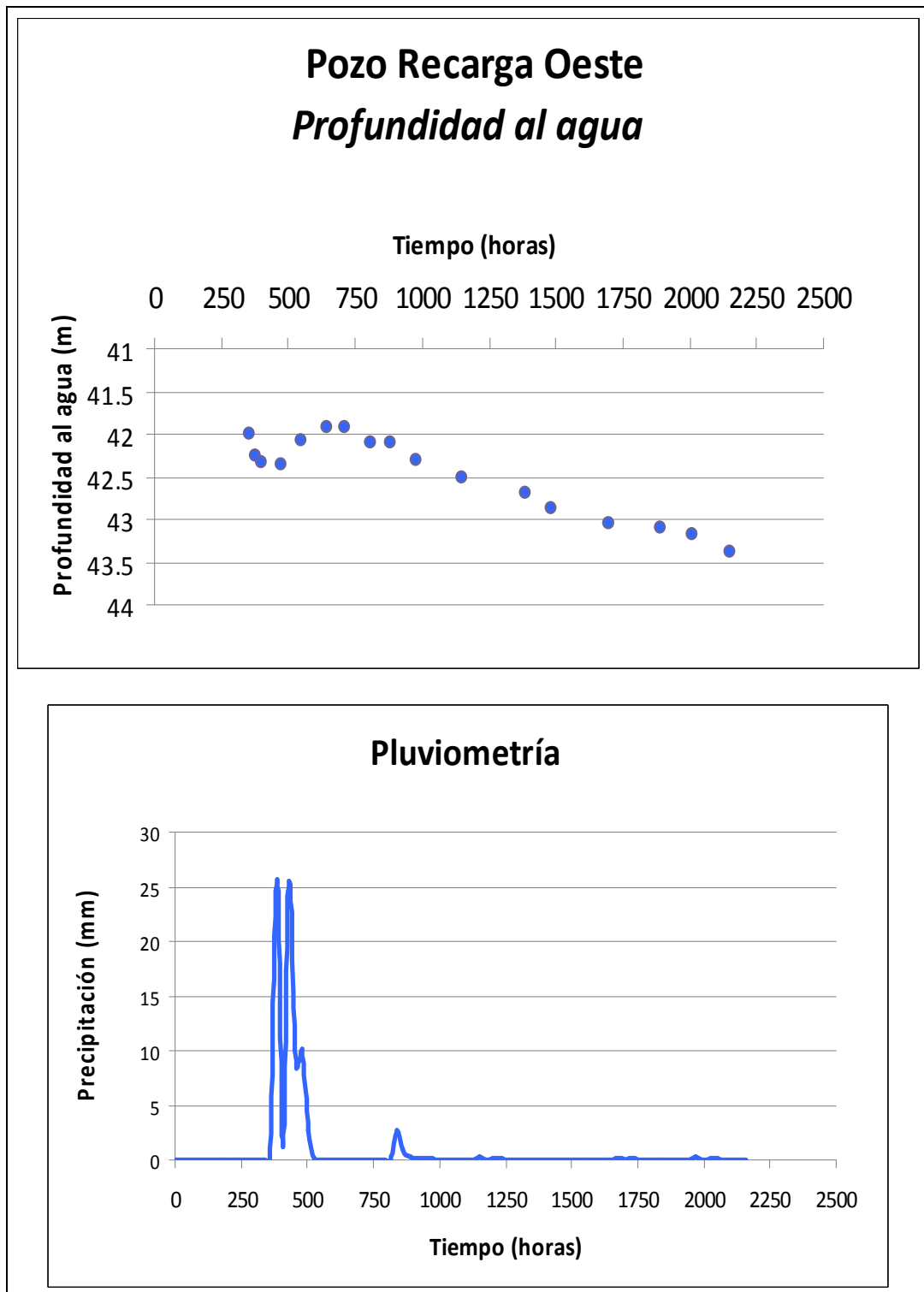


Figura 64 Profundidad al agua (m) en el pozo Recarga Oeste

Conductividad Eléctrica (CE)

En los primeros metros de columna de agua, durante los primeros días de control, la CE era baja (300 $\mu\text{S}/\text{cm}$). El agua presenta características del agua de la balsa y a medida que transcurre el tiempo la CE va aumentando (figura 65), hasta alcanzar los valores característicos del acuífero. Un dato importante a considerar es la entubación del sondeo, que presenta una rejilla que comienza varios metros por debajo del nivel del agua. Por tanto la evolución de la CE en los primeros metros es bastante lenta porque el agua no se renueva fácilmente.

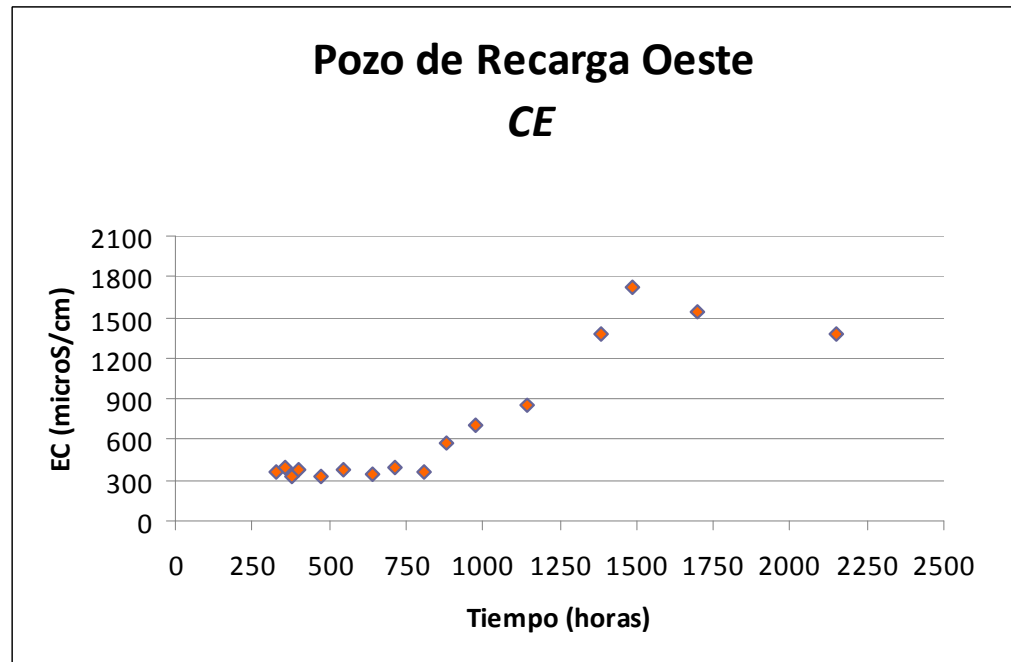


Figura 65. Conductividad eléctrica (CE) en el pozo Recarga Oeste

Potencial Redox (Eh)

El comportamiento del Eh se puede dividir en dos partes (figura 66). La primera parte es desde el inicio de la recarga hasta principios de mayo ($t = 800$). Y la segunda desde dicha fecha hasta el final.

En la primera parte el Eh parece mantenerse estable de 120 a 150 mV ($t = 800$ h). En cambio en la segunda parte aparece un aumento del potencial redox. Si se estudian los potenciales redox de los 32 puntos de la red de control, en su mayoría presentan un redox mayor a 200 mV (entre 200 mV y 240 mV). Por tanto parece que lo que ocurre en esta segunda parte es que las aguas tienden a recuperar el Eh característico de las aguas subterráneas de esta zona.

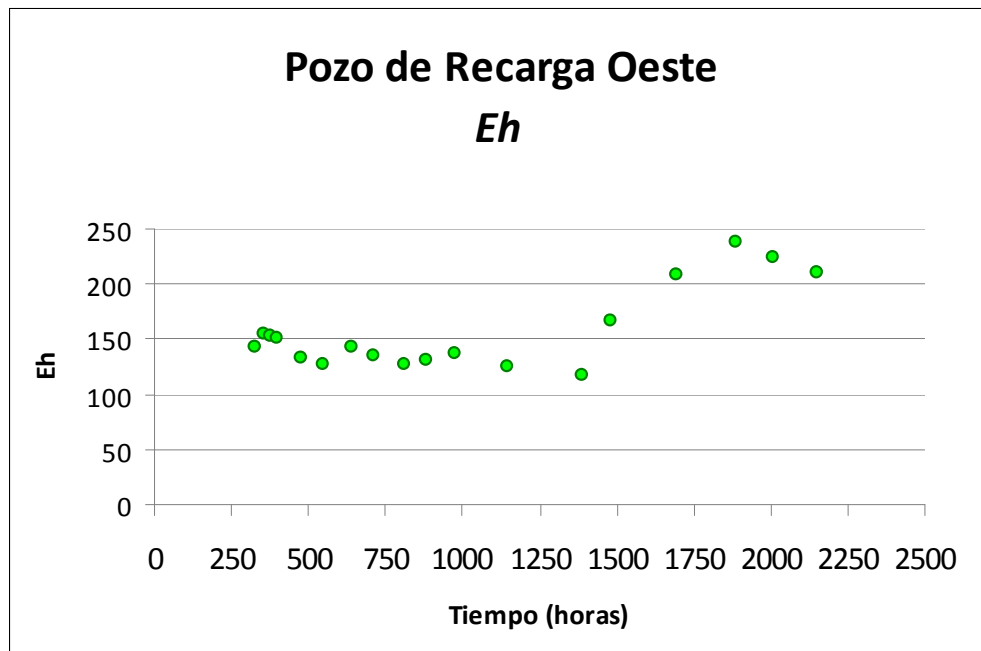


Figura 66. Potencial redox (Eh) del pozo de Recarga Oeste

Temperatura

Este parámetro responde a la temperatura ambiente, por lo que no da información sobre la recarga sino sobre la temperatura exterior. En la figura 67 se muestran dos gráficas, la primera (A), corresponde a los datos tomados in situ con el conductímetro de campo de muestras tomadas a 5 metros por debajo del nivel del agua, y en la gráfica (B), se muestran los datos correspondientes al mismo periodo medidos por la estación agroclimática de la Vall d'Uxó (www.ivia.es).

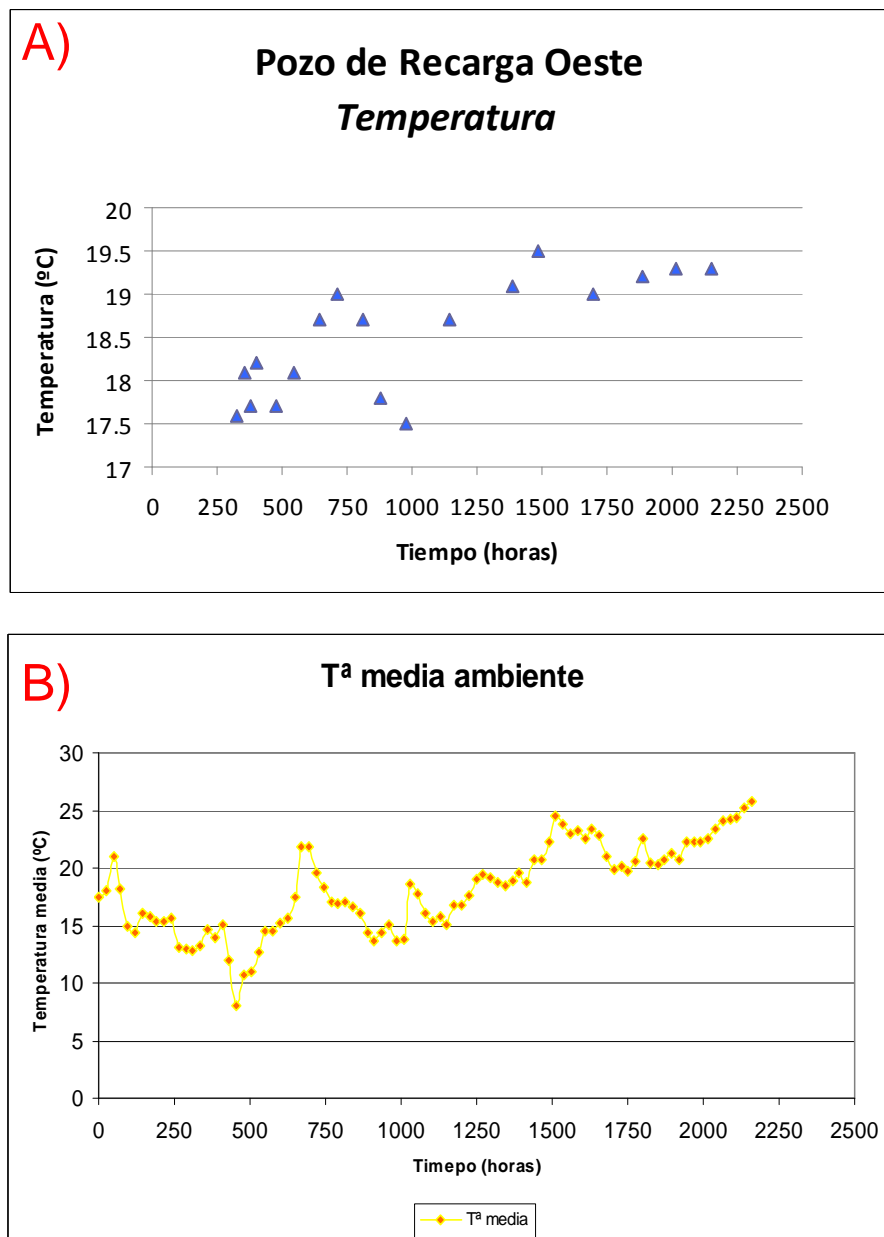


Figura 67. Temperatura de las aguas subterráneas del pozo Recarga Oeste y temperatura ambiente de la zona de estudio

Registros verticales de conductividad eléctrica (CE):

Se han realizado 16 registros (figura 68). En los primeros la CE presentan valores característicos de la CE del agua de la balsa. En todos los perfiles se observa el aumento paulatino de la CE según va transcurriendo el tiempo, a excepción de los primeros metros en los que la "recuperación" es más lenta.

En la figura 68 se muestran los registros realizados durante el control de los pozos y el registro que se realizó antes de poner el codo en febrero del 2013 (trazado rojo con círculos rosas). Como se puede observar a partir del 6/6/2013 la CE del perfil ya ha alcanzado los valores característicos de CE del acuífero.

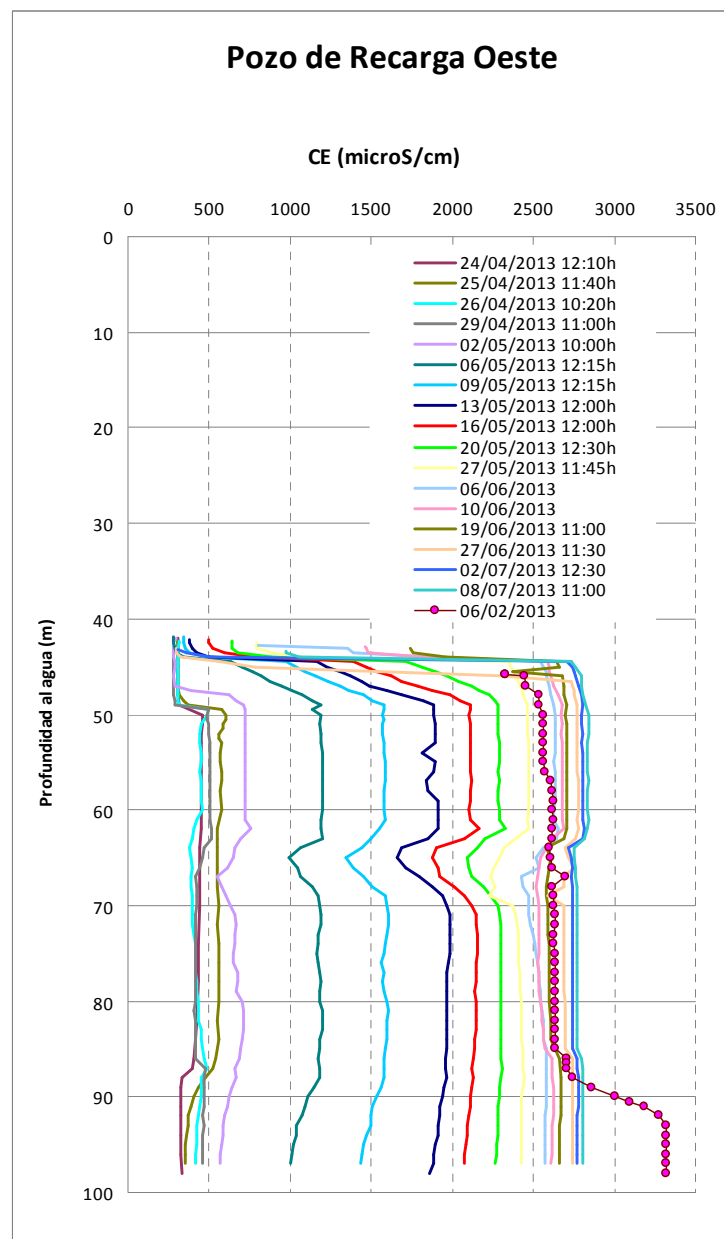


Figura 68. Último registro vertical de CE realizado antes de empezar la prueba de recarga y los registros influenciados por la recarga

Divers

El 24/4/2013 se instaló un CTD-Diver a 52 m de profundidad en el pozo Recarga Oeste. El 29/4/2013 se cambió por un Cera-Diver y se instaló a 50 m de profundidad. El 9/5/2013 se añadió un CTD-Diver a este pozo situándolo a 48m, 2 metros por encima del Cera-Diver.

En la figura 69 se observa la evolución de la piezometría y la temperatura (a 50 m). La figura 70 muestra la evolución de la CE a 48 m, ésta va aumentando hasta alcanzar una CE del orden de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que es la CE característica del acuífero.

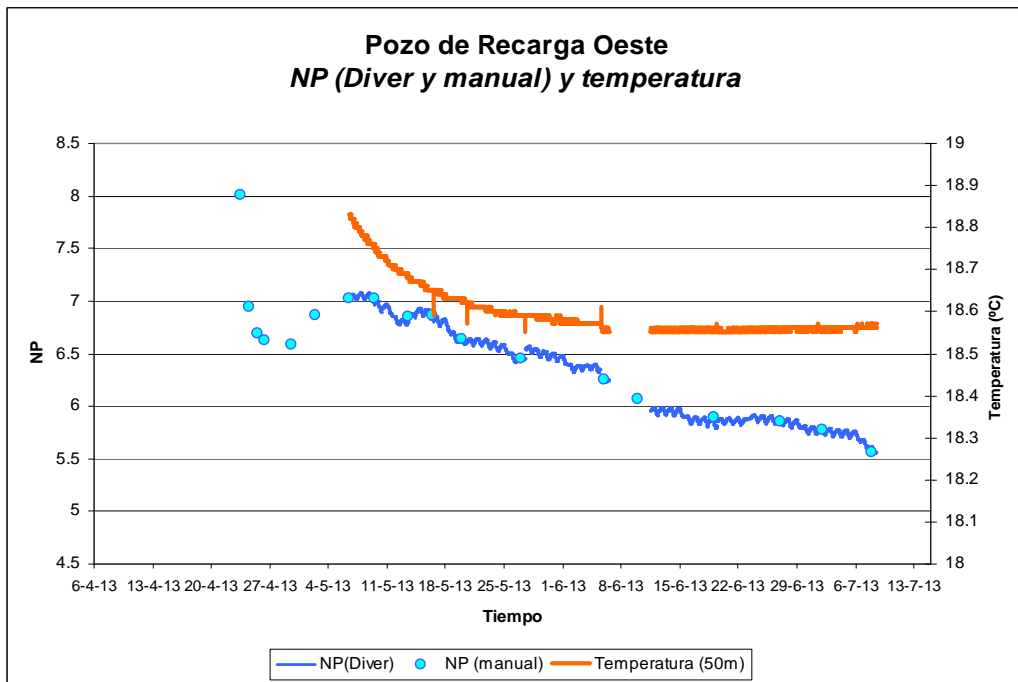


Figura 69. Evolución temporal del N.P. y temperatura medido con Diver en el pozo de Recarga Oeste

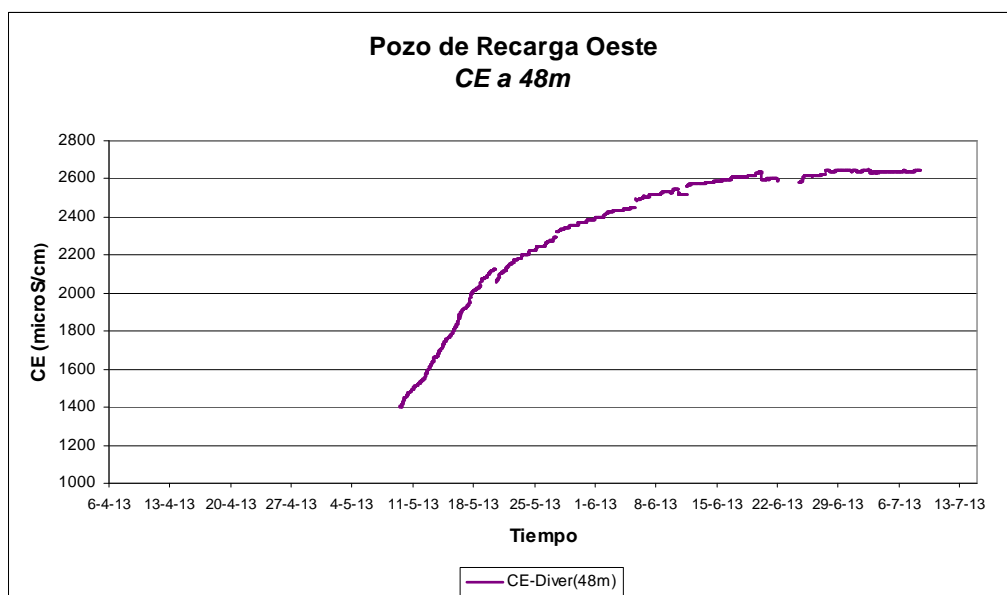


Figura 70. Evolución temporal de la CE a 48 m de profundidad en el pozo Recarga Oeste

8.5 CONCLUSIONES

La prueba de recarga piloto, que ha durado 15 días, ha introducido en el acuífero un volumen de 15500 m³ de agua procedente de Balsa, a razón de un caudal medio de 15 l/s.

El control se ha llevado a cabo en el pozo Recarga Este y los datos recogidos han puesto de manifiesto que la inyección profunda ha tenido un efecto pistón sobre las aguas subterráneas, por lo que las ha empujado, moviendo el agua existente en el seno del acuífero para facilitar un nuevo espacio al agua introducida. La reacción del acuífero a la recarga ha sido inmediata: pocas horas después del comienzo de la prueba piloto, 100 metros aguas abajo, ya se podía observar un aumento del N.P. causado por el efecto pistón. En cambio, debido a la inyección de agua de balsa en el pozo Recarga Este no se ha podido constatar la llegada de la pluma de agua dulce procedente de la recarga piloto.

Capítulo 9
ACTUACIONES EN CURSO (*ON GOING*)

Para finalizar las tareas previstas en la segunda fase del proyecto quedan dos actuaciones de notable importancia, como son las construcción de piezómetros de observación y, sobre todo, la segunda prueba de recarga con aguas de la balsa del Belcaire.

9.1. CONSTRUCCIÓN DE PIEZOMETROS

La segunda prueba de recarga se va a realizar utilizando los dos pozos disponibles a tal efecto. Por ello, se hace necesario construir piezómetros que permitan realizar un seguimiento cercano de los efectos conseguidos con la recarga. Estos piezómetros deben permitir tanto el control piezométrico como la toma de muestras para la realización de diversas determinaciones analíticas; asimismo, deben posibilitar la realización de registros verticales de conductividad.

Se van a construir tres piezómetros que, junto con uno preexistente, conformarán la red de control específica. El piezómetro nº 1 (P-1) tendrá una profundidad de 100 metros y estará situado en un punto intermedio entre los dos pozos de recarga. El control geológico de la construcción de este piezómetro debe permitir, además, confirmar la columna litológica de los pozos de recarga, deducida a partir de las diagrfías realizadas. Los otros dos piezómetros (P-2 y P-3) tendrán 75 metros de profundidad y su situación se muestra en la figura 71. Estos tres piezómetros tendrán un diámetro de 160 mm, con tubería de PVC de 110 mm, y un empaque de gravas en el espacio anular.

El cuarto piezómetro (P-4) está situado a 420 metros del pozo de recarga este y corresponde a una perforación realizada por FACSA.

Las coordenadas UTM aproximadas de los piezómetros son las siguientes (sistema de referencia ETRS89 Zona 30N):

Piezómetro de control 1 (P-1)

Piezómetro de control 2 (P-2) X: 740.239 Y: 4.411.949

Piezómetro de control 3 (P-3)

Piezómetro de control 4 (P-4) X: 740.581 Y: 4.412.078

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



Figura 71. Ubicación de los piezómetros de control

9.2. SEGUNDA ACTUACIÓN DE RECARGA

Una vez finalizados y equipados los piezómetros se procederá a inyectar 250.000 m³ de agua procedente de la balsa del Belcaire.

Los permisos administrativos necesarios para llevar a cabo esta recarga se obtuvieron de la Confederación Hidrográfica del Júcar mediante la presentación de un estudio hidrogeológico en el que se detalla el sistema de recarga (ver capítulo 3 de este informe) y se justifica la inocuidad del proceso así como los beneficios que se pueden derivar de esta actuación, teniendo en cuenta el volumen de inyección, las características físico-químicas del agua de recarga y los condicionantes hidrogeológicos de la zona. Los criterios que justifican esta inocuidad son los siguientes:

- El volumen es de 250.000 m³ y el caudal de inyección de 30-50 l/s.
- El agua utilizada para la recarga cumple los límites de calidad fijados en la reglamentación vigente. Se trata de aguas naturales de escorrentía superficial y subterránea, carentes de sustancias contaminantes. Las analíticas realizadas para la determinación de iones mayoritarios, elementos minoritarios y parámetros microbiológicos, permiten calificar el agua de recarga de excelente calidad.
- En la zona de la Rambleta se distinguen cuatro conjuntos litológicos:
 - Formación Detrítica Superior, con gravas de carácter poligénico, arcillas, arenas y areniscas, una potencia media de 85 m, transmisividades entre los 100 y los 300 m²/día, llegando en algunos casos a los 1000 m²/día, y porosidad eficaz entre los 2 y los 8 %.

- Nivel de Arcillas con Cantos, con un espesor máximo de 20 m y medio de 12 m, y un acuñamiento hacia el sur y oeste, dónde pasa gradualmente a areniscas, e incluso llega a desaparecer.
- Formación Detrítica Inferior, compuesta por limolitas y arcillas con niveles de areniscas y conglomerados poligénicos, su espesor creciente hacia la costa, está comprendido entre 50 y 100 m. Presenta permeabilidad por porosidad sólo en los tramos arenosos y conglomeráticos.
- Materiales mesozoicos, se encuentran a profundidad creciente en dirección a la costa, y van desde cotas próximas al mar en el borde occidental hasta los -200 m snm. Este conjunto litológico, en el que están presentes todas las formaciones geológicas del Mesozoico, constituyen acuíferos en las correspondientes a las calizas y dolomías del Mulchekalk, así como en las ortocuarcíticas del Buntsandstein y presentan conexión hidráulica con las formaciones permeables superiores. Cuando las formaciones son de carácter arcilloso: margas de Keuper y arcillitas del Buntsandstein, estas formaciones constituyen el substrato impermeable de los tramos acuíferos superiores.
- En la vertical de los Pozos de Recarga, la formación detrítica superior tiene una potencia de 85 m y se encuentra en contacto con la formación detrítica inferior con un espesor también de unos 85 m, así la formación arcillosa intermedia estaría ausente en esta zona. El substrato mesozoico se encuentra a 170 m de profundidad.
- El espesor de la zona no saturada es de unos 40 m.
- Los sondeos de la zona de estudio son para uso agrícola, mientras que los sondeos de abastecimiento se sitúan todos aguas arriba, a más de dos kilómetros de los pozos de recarga.
- El flujo subterráneo presenta un sentido general oeste-este. Sin embargo, los bombeos realizados en el acuífero, ha generado la depresión de los niveles en ciertas zonas, en concreto en el entorno de los límites municipales de Vall de Uxó y Nules, así como en la zona oeste en la confluencia de la senda Torrasa y el barranco Randero. En ambos sectores se modifica el flujo subterráneo, de forma que las líneas de corriente presentan una componente radial hacia el centro de las depresiones piezométricas. De este modo, en el área de los pozos de recarga el flujo tiene una componente oeste-este y una componente sureste-noroeste.
- La profundidad del nivel piezométrico, controlado desde octubre de 2012 a junio de 2013, varía entre 42,7 y 46,98 m en el sondeo de Recarga Oeste, y entre 40,24 y 44,43 m en el sondeo de Recarga Este, por tanto se han registrado oscilaciones estacionales de unos 4 m.
- El agua subterránea es de tipo sulfatada y está afectada por un proceso de intrusión marina (400-1000 mg/l de cloruros) y por contaminación agrícola, con concentraciones de nitratos entre 200 y 500 mg/l. En cuanto a los metales destaca el alto contenido en mercurio por encima de 1 µg/l en siete pozos de la red de control. Finalmente, las analíticas realizadas de sustancias prioritarias y contaminantes emergentes indican que todos los parámetros analizados se encuentran por debajo del límite de cuantificación establecido para el cumplimiento de los requisitos legales y reglamentarios.
- En la zona existe contaminación agrícola, constatada por los altos contenidos en nitratos, y también se han inventariado vertidos históricos de aguas residuales

Final Report

urbanas e industriales insuficientemente tratadas, así como vertidos sólidos urbanos e industriales realizados de forma incontrolada. El principal punto de vertido ha sido el cauce del río Belcaire.

Capítulo 10
MISCELANIA

10.1. GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS PREVISTOS

Los objetivos previstos en la fase II del proyecto eran los siguientes:

- Mantenimiento de las redes de observación
- Construcción de los sistemas de recarga
- Introducción de agua en al acuífero
- Seguimiento del proceso
- Elaboración de un plan master de operaciones y mantenimiento

La *red de observación* se ha ampliado para tener mejor distribución espacial, tal como se indica en el capítulo 5. Como estaba previsto, cada dos meses se ha realizado una campaña piezométrica y de muestreo; concretamente, en octubre y diciembre de 2012 y febrero, abril, junio y septiembre de 2013. Las determinaciones piezométricas han consistido en la medida de niveles en los pozos de observación y en los registros en continuo realizados con los divers. Los resultados se exponen en el capítulo 6. En todas las campañas se han determinado in situ la conductividad eléctrica, pH, temperatura y potencial redox, además de los cloruros y nitratos. En las campañas de septiembre y abril se han analizado, además, los iones mayoritarios y algunos minoritarios (Br, LI, B, Cr, As, Sr, Hg). Por otra parte, mensualmente se han realizado registros verticales de conductividad eléctrica y se han realizado determinaciones isotópicas de ^{18}O , D y ^{34}S . Los resultados obtenidos se muestran en el capítulo 7.

Entre los objetivos para esta fase se encontraba la *construcción de los sistemas de recarga*. La estrecha colaboración con la empresa estatal ACUAMED ha permitido que pudiéramos utilizar las instalaciones de recarga que dicha empresa había construido y que, hasta ahora, no estaban siendo utilizadas. Estas instalaciones incluyen dos pozos de recarga y una balsa de acumulación, tal como se detalla en el capítulo 3. Los principales esfuerzos se han centrado en el estudio de las características constructivas de estos dos pozos (de los que se ha encontrado información alguna) mediante testificación geofísica y en su desarrollo mediante ensayos de bombeo. El detalle de estas actuaciones se resume en el capítulo 4.

Durante quince días del mes de abril se realizó un *test de recarga* (capítulo 9) en uno de los pozos de ACUAMED. El caudal de admisión medio fue de 15 L/s y el volumen total inyectado fue de 15.000 m³. El agua utilizada provenía de la balsa de acumulación del río Belcaire. Para la realización de este test fue necesario obtener la autorización de la Confederación Hidrográfica del Júcar y poner a punto toda la infraestructura de recarga, tales como las tomas de agua en la balsa, las tuberías para la conducción del agua hasta el pozo, sistemas de control de caudales, etc...

Durante el test de recarga se realizó un *seguimiento exhaustivo del proceso* mediante el control piezométrico e hidrogeoquímico en el otro pozo de recarga, situado unos 100 metros aguas abajo, y en otros pozos cercanos. La experiencia adquirida en el plan de control ha sido de gran utilidad para planificar las siguientes actuaciones de recarga.

Asimismo, se está diseñando un *plan de operaciones y mantenimiento* que incluye la metodología a seguir en la próxima operación de recarga y la construcción de las infraestructuras necesarias para regenerar el agua residual que será inyectada en 2014. Estas infraestructuras incluyen una planta de electrodiálisis reversible, un sistema

complementario de desinfección mediante radiación ultravioleta, y las conducciones necesarias entre la EDAR de Vall de Uxó y la balsa del río Belcaire.

En resumen, se puede afirmar que el grado de cumplimiento de los objetivos previstos es altamente satisfactorio ya que se han alcanzado todos ellos. La única desviación apreciable es el retraso de dos meses en la segunda prueba de recarga debido a problemas en la construcción de los piezómetros de control, según se indica en el capítulo 10.

10.2. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA QUE SE PRETENDE RECARGAR

La cantidad de agua infiltrada durante la segunda fase del proyecto ha sido de 215.000 m³, todos ellos de agua superficial del río Belcaire, con la salvedad de que la mayor parte de ellos se infiltrarán entre octubre y diciembre de 2013.

La previsión para la tercera fase (año 2014) es de 500.000 m³, la mitad de ellos procedentes del río Belcaire y la otra mitad de aguas residuales regeneradas. La mezcla de ambas aguas posibilita alcanzar los estándares de calidad especificados en la normativa vigente y exigidos por la Confederación Hidrográfica del Júcar.

10.3. LECCIONES APRENDIDAS Y RECOMENDACIONES PARA AUMENTAR EL IMPACTO

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

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

La segunda fase del proyecto ha tenido el objetivo básico de construir la infraestructura necesaria para iniciar las actuaciones de recarga y diseñar el plan de seguimiento para evaluar los efectos conseguidos en el acuífero.

La actuación de recarga programada para el cuarto trimestre de 2013 es una buena ocasión para difundir la actividad.

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

10.4. RESUMEN FINANCIERO

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

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

Anexo 1

Aforo y desarrollo de los sondeos de recarga

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

GRÁFICOS DE DESCENSOS Y DE RECUPERACIÓN

GRÁFICO DE DESCENSOS RECARGA ESTE BOMBEO 1

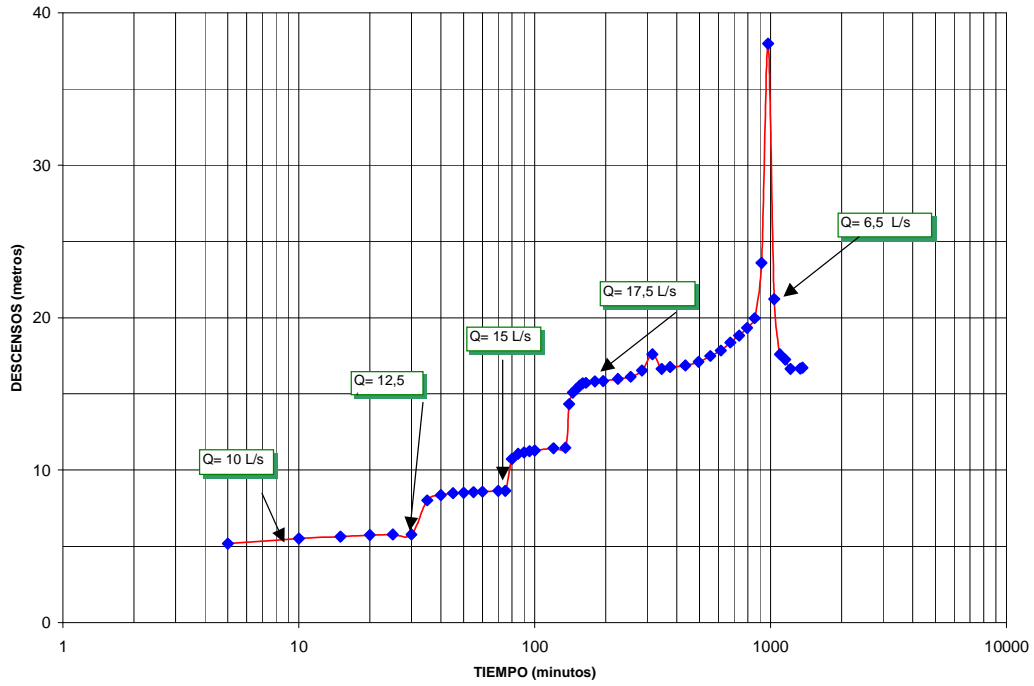


GRÁFICO DE RECUPERACIÓN 1 RECARGA ESTE

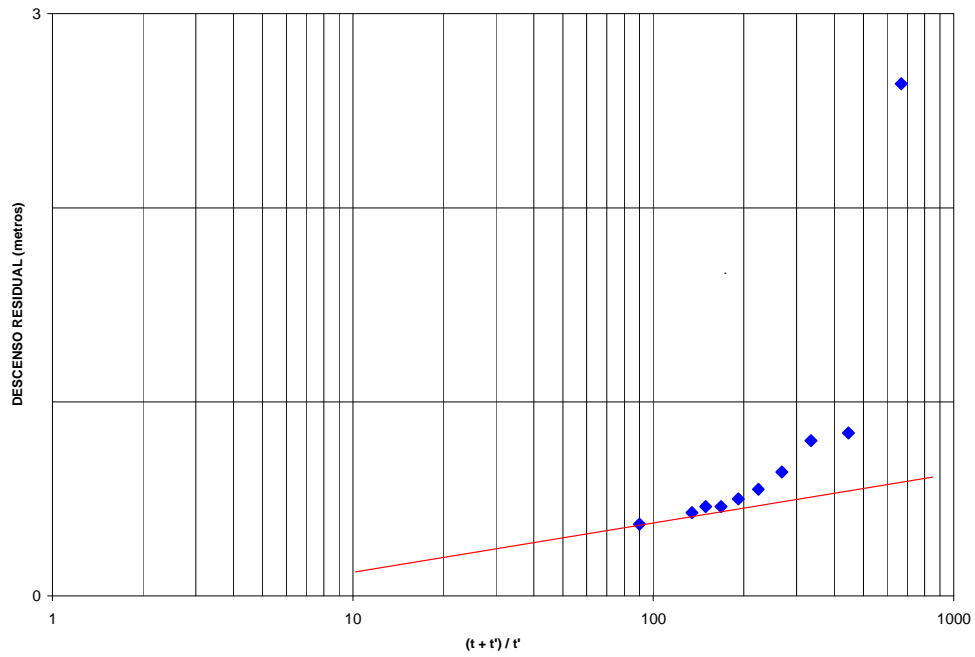


GRÁFICO DE DESCENSOS RECARGA OESTE BOMBEO 1

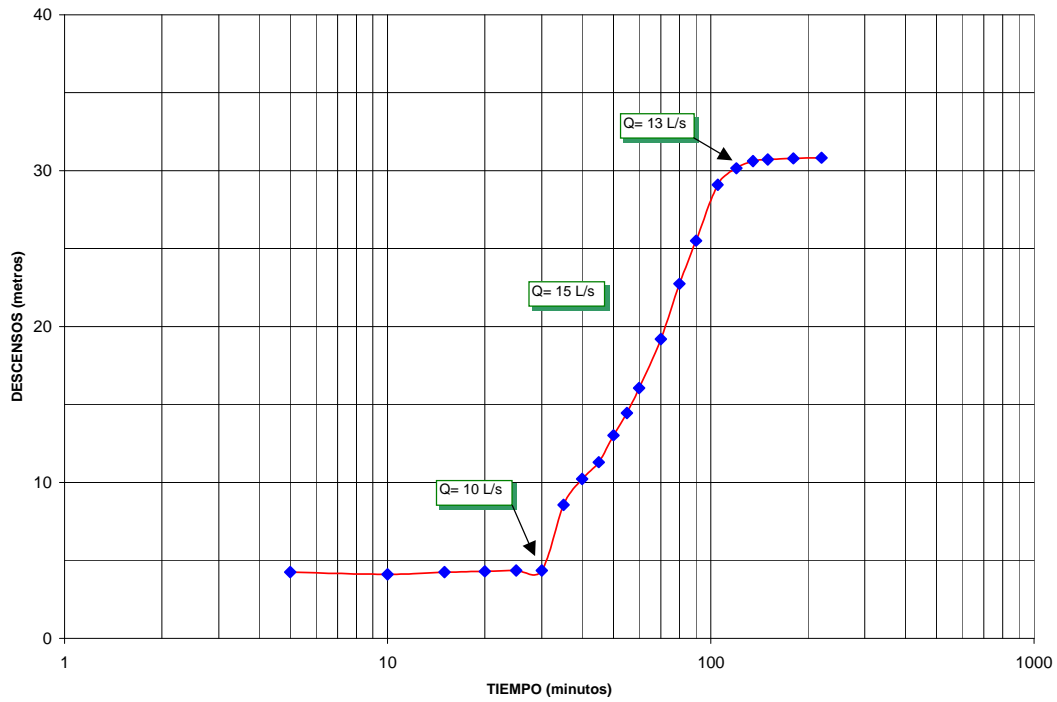
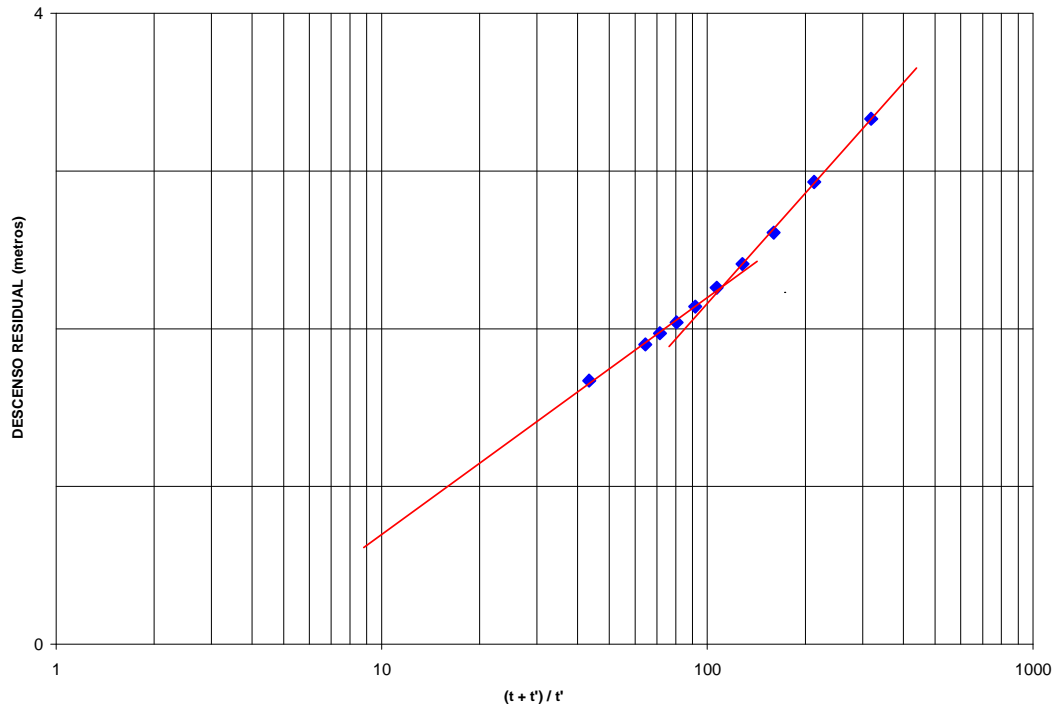


GRÁFICO RECUPERACIÓN 2 RECARGA OESTE



ESTADILLOS DE MEDIDAS

Pol. Ind. San Rafael - Par. 1 y 2 • Apartado 416
Telf. 967 30 27 71 • Fax 967 30 46 36
02400 HELLÍN (Albacete)

UNIVERSITAT JAUME I
AVDA. DE VICENT SOS BAYNAT, S/N
12071 CASTELLÓ DE LA PLANA
CASTELLON

Fecha: 09 DE JULIO DE 2013

Sondeo: RECARGA OESTE	Termino municipal: LA VALL D'UIXO	Provincia: CASTELLON
------------------------------	--	-----------------------------

Comienzo: Día 08/07/13 Hora 16:10 NE. 43,80	Terminación: Día 09/07/13 Hora 16:10 ND. 68,23
--	---

Grupo generador	Grupo motobomba	Perforación 97 m.	
Marca: MECC-ALTE KVA.: 350 Motor: FIAT-AIFO Potencia: 630	Marca: GRUNDFOS Tensión: 760 Tipo: SP 77-20 Potencia: 100 CV	238 Ø PVC m	Profundidad rejilla: 81 m. Q. medidas con: TUBO PITOT Niveles medidos con: SONDA Ø Tubería: 100 mm.

RECUPERACIÓN					
Tiempo minutos	Recuperación metros	Tiempo minutos	Recuperación metros	Tiempo minutos	Recuperación metros
½		6		20	
1		7		25	
2		8		30	
3		9		40	
4		10		50	
5		15		60	

Observaciones: Diafragma 6/ 4,5

Final Report



Pol. Ind. San Rafael - Par. 1 y 2 • Apartado 416
Telf. 967 30 27 71 • Fax 967 30 46 36
02400 HELLÍN (Albacete)

1º Escalon				2º Escalon				1ª Recuperación			
Hora	Q l/s	N.D. m.		Hora	Q l/s	N.D. m.		Hora	Q l/s	N.D. m.	
16:10											
0m	NE	43,80	NE	0m	NE	48,15	NE	0m		74,63	
5m	10	48,04	SUCIA	5m	15	52,36	SUCIA	1m		48,80	
10m	10	47,90	COLOR	10m	15	54,03	SUCIA	2m		46,00	
15m	10	48,05	COLOR	15m	15	55,10	SUCIA	3m		45,47	
20m	10	48,10	CLARA	20m	15	56,82	SUCIA	4m		45,23	
25m	10	48,15	CLARA	25m	15	58,25	SUCIA	5m		45,09	
30m	10	48,15	CLARA	30m	15	59,85	SUCIA	6m		45,00	
				40m	15	63,00	SUCIA	7m		44,93	
				50m	15	66,53	SUCIA	8m		44,88	
				60m	15	69,31	SUCIA	9m		44,83	
				75m	15	72,89	SUCIA	10m		44,80	
				90m	13	73,95	SUCIA	15m		44,68	
				105m	13	74,40	SUCIA	20m		44,57	
				120m	13	74,51	SUCIA				
				150m	13	74,58	SUCIA				
				180m	13	74,63	SUCIA				

1º PISTONEO			
Hora	Q l/s	N.D. m.	
19:30	NE	44,57	SUCIA
19:40	25	75,00	SUCIA
2º PISTONEO			
20:00	NE	45,00	SUCIA
20:10	25	75,00	SUCIA
20:30	12,5	75,00	COLOR
3º PISTONEO			
21:00	NE	45,00	NE
21:10	25	75,00	SUCIA
21:30	12,5	75,00	COLOR
4º PISTONEO			
22:00	NE	45,00	NE
22:30	25	75,00	SUCIA

Final Report



Pol. Ind. San Rafael - Par. 1 y 2 • Apartado 416
Telf. 967 30 27 71 • Fax 967 30 46 36
02400 HELLÍN (Albacete)

2º Escalon				2º Recuperación				3º Escalon			
Hora	Q	N.D.		Hora	Q	N.D.		Hora	Q	N.D.	
23:00	l/s	m.			l/s	m.		11:30	l/s	m.	
0m	NE	44,32	NE	0m		64,80		0m	NE	45,47	NE
5m	12,5	48,15	SUCIA	1m		55,00		5m	15	56,12	SUCIA
10m	12,5	49,29	SUCIA	2m		47,13		10m	15	57,65	COLOR
15m	12,5	49,38	SUCIA	3m		46,73		15m	15	58,77	COLOR
20m	12,5	49,44	SUCIA	4m		46,41		20m	15	59,31	COLOR
25m	12,5	49,50	COLOR	5m		46,21		25m	15	60,00	COLOR
30m	12,5	49,55	COLOR	6m		46,06		30m	15	60,58	COLOR
45m	12,5	49,68	COLOR	7m		45,94		45m	15	61,56	COLOR
60m	12,5	49,77	CLARA	8m		45,84		60m	15	62,25	COLOR
1,5h	12,5	49,91	CLARA	9m		45,77		1,5h	15	63,71	COLOR
2h	12,5	50,05	CLARA	10m		45,70		2h	15	64,68	COLOR
2,5h	12,5	50,21	CLARA	15m		45,47		2,5h	15	66,01	COLOR
3h	12,5	50,32	CLARA					3h	15	67,48	COLOR
3,5h	12,5	50,40	CLARA					3,5h	15	68,23	COLOR
4h	12,5	50,46	CLARA								
5h	12,5	50,50	CLARA								
6h	12,5	50,50	CLARA								
7h	12,5	50,51	CLARA								
8h	12,5	50,52	CLARA								
9h	12,5	50,52	CLARA								
10h	12,5	50,53	CLARA								
10,5h	12,5	50,53	CLARA								
11h	13,5	60,75	COLOR								
11,5h	15	62,80	COLOR								
12h	15	64,33	COLOR								
12,15h	15	64,80	COLOR								

3º Recuperación			
Hora	Q	N.D.	
	l/s	m.	
0m		68,23	
1m		49,05	
2m		47,75	
3m		47,15	
4m		46,96	
5m		46,70	
6m		46,53	
7m		46,40	
8m		46,30	
9m		46,23	
10m		46,15	
15m		45,86	
20m		45,65	
25m		45,45	
30m		45,35	
40m		45,22	
50m		45,11	
60m		45,03	

Final Report



Pol. Ind. San Rafael - Par. 1 y 2 • Apartado 416
Telf. 967 30 27 71 • Fax 967 30 46 36
02400 HELLÍN (Albacete)

UNIVERSITAT JAUME I
AVDA. DE VICENT SOS BAYNAT, S/N
12071 CASTELLÓ DE LA PLANA
CASTELLON

Fecha: 11 DE JULIO DE 2013

Sondeo: RECARGA ESTE	Termino municipal: LA VALL D'UIXO	Provincia: CASTELLON
----------------------	-----------------------------------	----------------------

Comienzo: Día 10/07/13 Hora 12:45 NE. 41,36	Terminación: Día 11/07/13 Hora 17:00 ND. 47,92
---	--

Grupo generador	Grupo motobomba	Perforación 97 m.	
Marca: MECC-ALTE KVA.: 350 Motor: FIAT-AIFO Potencia: 630	Marca: GRUNDFOS Tensión: 760 Tipo: SP 77-20 Potencia: 100 CV	237 Ø PVC m	Profundidad rejilla: 87 m. Q. medidas con: TUBO PITOT Niveles medidos con: SONDA Ø Tubería: 100 mm.

RECUPERACIÓN					
Tiempo minutos	Recuperación metros	Tiempo minutos	Recuperación metros	Tiempo minutos	Recuperación metros
½		6		20	
1		7		25	
2		8		30	
3		9		40	
4		10		50	
5		15		60	

Observaciones:

Final Report



Pol. Ind. San Rafael - Par. 1 y 2 • Apartado 416
Telf. 967 30 27 71 • Fax 967 30 46 36
02400 HELLÍN (Albacete)

1º Escalon				2º Escalon				3º Escalon			
Hora	Q	N.D.		Hora	Q	N.D.		Hora	Q	N.D.	
12:45				13:15				14:00			
	l/s	m.			l/s	m.			l/s	m.	
0m	NE	41,36	NE	0m	NE	47,13	NE	0m	NE	50,00	NE
5m	10	46,54	SUCIA	5m	12,5	49,38	COLOR	5m	15	52,10	COLOR
10m	10	46,87	SUCIA	10m	12,5	49,72	COLOR	10m	15	52,42	COLOR
15m	10	47,00	COLOR	15m	12,5	49,85	COLOR	15m	15	52,52	COLOR
20m	10	47,10	COLOR	20m	12,5	49,88	COLOR	20m	15	52,60	COLOR
25m	10	47,13	COLOR	25m	12,5	49,91	COLOR	25m	15	52,64	COLOR
30m	10	47,13	CLARA	30m	12,5	49,94	COLOR	30m	15	52,67	COLOR
				40m	12,5	50,00	COLOR	45m	15	52,79	COLOR
				45m	12,5	50,00	CLARA	60m	15	52,83	COLOR

4º Escalon				1ª Recuperación				5º Escalon			
Hora	Q	N.D.		Hora	Q	N.D.		Hora	Q	N.D.	
15:00				10:30				12:15			
	l/s	m.			l/s	m.			l/s	m.	
0m	NE	52,83	NE	0m		58,08		0m	NE	78,50	NE
5m	17,5	55,69	COLOR	1m		45,51		5m	6	50,01	COLOR
10m	17,5	56,45	COLOR	2m		44,00		10m	6	48,91	COLOR
15m	17,5	56,67	COLOR	3m		42,20		15m	6	48,96	CLARA
20m	17,5	56,90	COLOR	4m		42,16		20m	6	48,90	CLARA
25m	17,5	57,05	COLOR	5m		42,00		25m	6	48,86	CLARA
30m	17,5	57,08	COLOR	6m		41,91		30m	6	48,83	CLARA
45m	17,5	57,18	COLOR	7m		41,86		45m	6	48,78	CLARA
60m	17,5	57,21	COLOR	8m		41,82		60m	6	48,76	CLARA
1,5h	17,5	57,35	COLOR	9m		41,80		1,5h	6	48,75	CLARA
2h	17,5	57,48	COLOR	10m		41,79		2h	6	48,95	CLARA
2,5h	17,5	57,89	COLOR	15m		41,73		2,5h	5,5	48,17	CLARA
3h	17,5	58,96	COLOR					3h	5,5	48,07	CLARA
3,5h	17,5	58,00	COLOR					3,5h	5,5	47,84	CLARA
4h	17,5	58,12	COLOR					4h	5,5	47,92	CLARA
5h	17,5	58,22	COLOR								
6h	17,5	58,46	COLOR								
7h	17,5	58,85	COLOR								
8h	17,5	59,21	COLOR								
9h	17,5	59,73	COLOR								
10h	17,5	60,18	COLOR								
11h	17,5	60,69	COLOR								
12h	17,5	61,32	COLOR								
13h	17,5	64,95	COLOR								
14h	17,5	79,33	SUCIA								
15h	6,5	62,58	REDUCCION CAUDAL								
16h	6,5	58,96	COLOR								
17h	6,5	58,61	CLARA								
18h	6,5	58,00	CLARA								
20h	6,5	58,02	CLARA								
20,5h	6,5	58,08	CLARA								

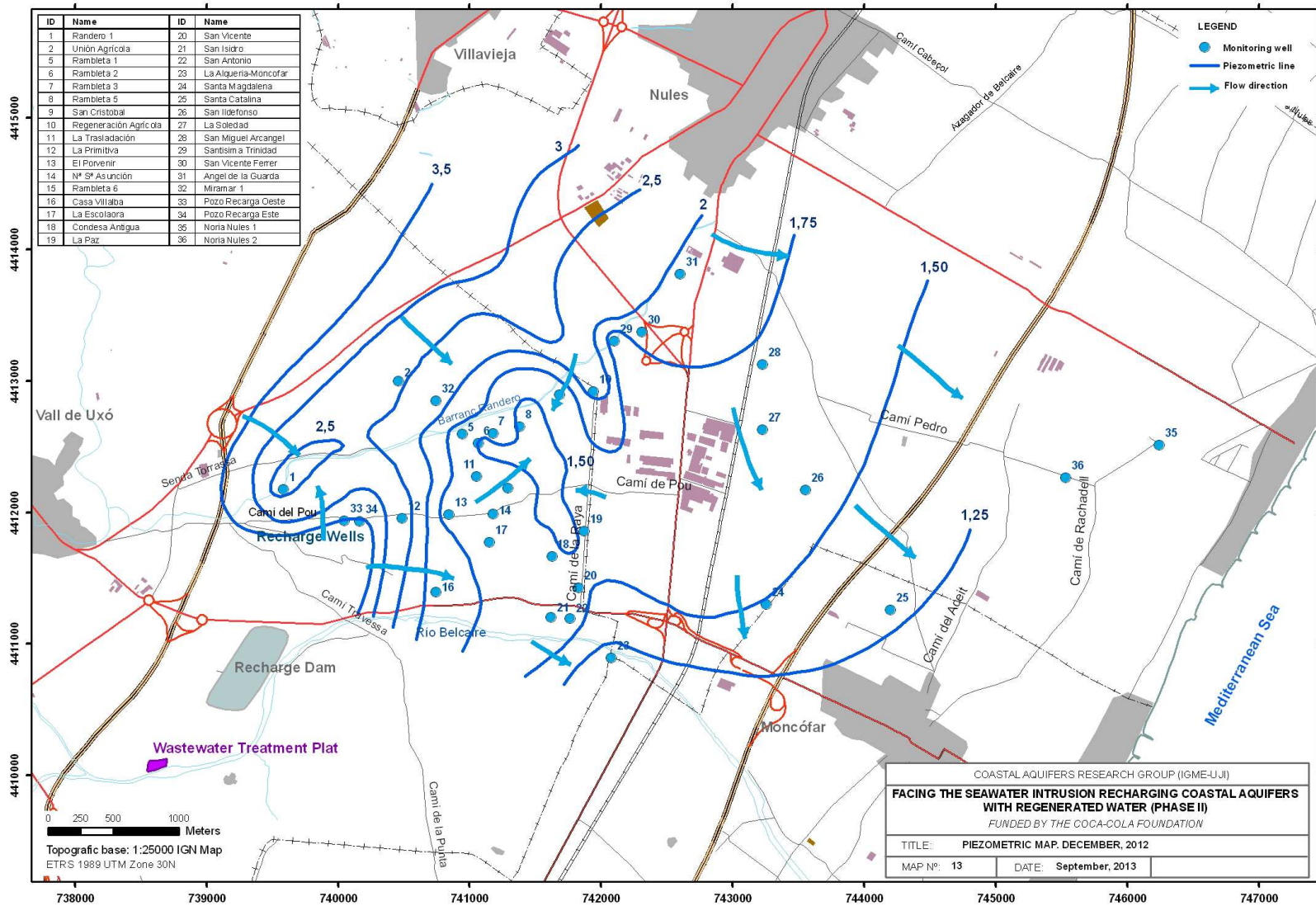
Final Report

Anexo 2

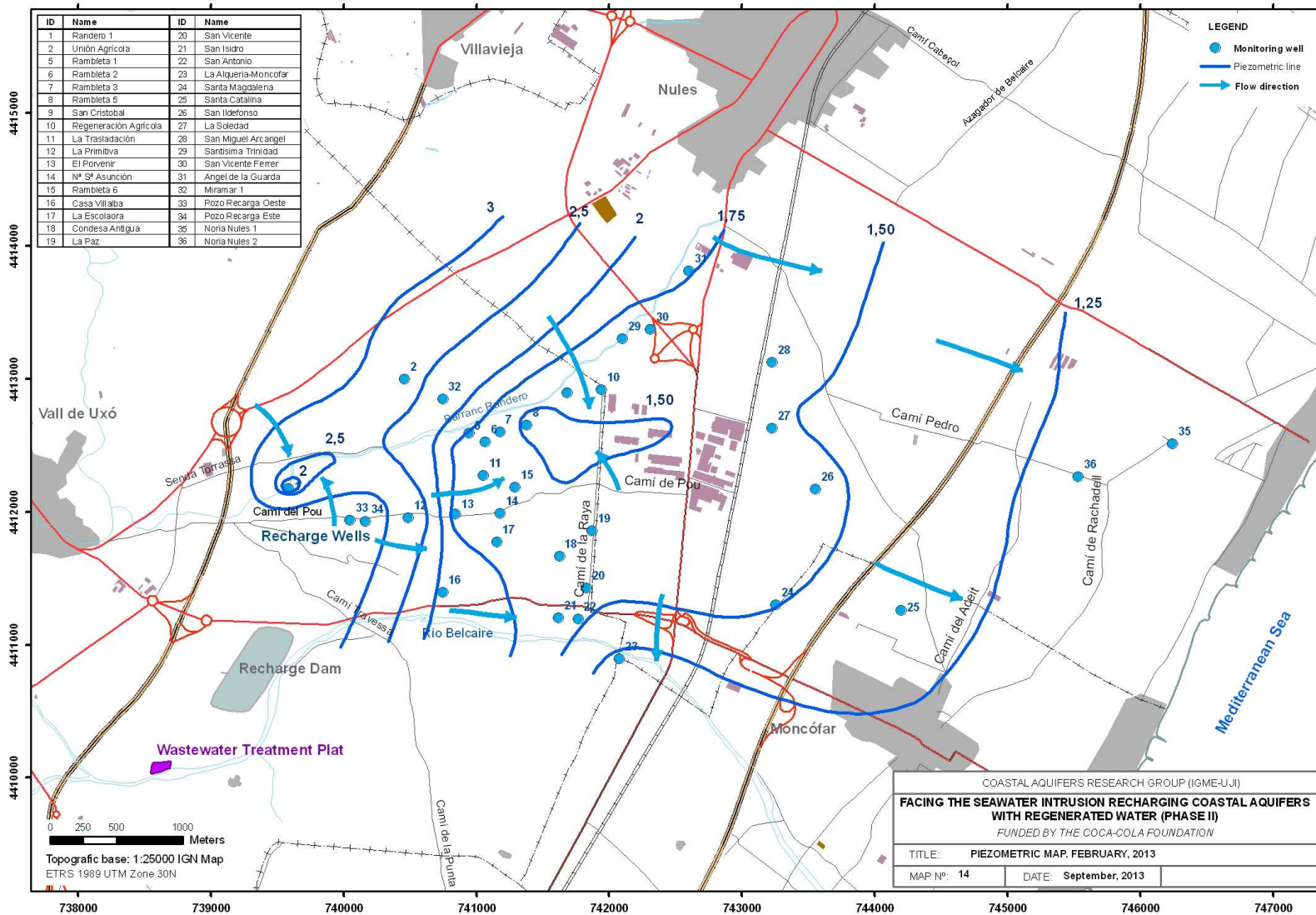
Mapas de isopiezas

Final Report

Final Report



Final Report



Anexo 3

Resultados analíticos (tablas)

Final Report

Final Report

Campaña de octubre del 2012

ID	NAME	CE_20°C	T	pH	Eh	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	NO ₃	NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₂	Oxidabilidad	Br	Li	B	Sr	As	Cr
1	Randero 1	2.64	20.4	6.88	217.0	110	10	276	125	540	276	191	0	290	0	0	0	13.2	1	1.16	12.4	74.4	1199	0.5	0.7
2	Unión Agrícola	3.22	20.8	6.96	210.0	92	3	464	168	772	412	181	0	410	0	0	0	10.9	3.3	1.58	14.7	49.7	882	0.4	0.4
5	Rambleta 1	2.80	19.1	6.90	156.5	93	3	372	136	588	368	196	0	430	0	0	0	11.3	2.4	1.3	13.9	50.8	907	0.4	0.8
6	Rambleta 2	2.73	20.3	7.42	158.6	93	4	384	160	630	404	161	0	440	0	0	0	11.3	2.1	1.24	20.5	56.9	981	0.4	0.9
7	Rambleta 3	2.96	18.8	7.07	153.7	104	4	412	172	692	440	209	0	450	0.19	0	0.25	12.8	2.1	1.31	25.2	71.1	1132	0.4	1.4
8	Rambleta 5	2.90	19.0	6.68	194.8	121	6	380	152	676	352	193	0	350	0	0	0	12.6	2.1	1.26	159.0	81.3	1492	0.5	1.6
9	San Cristóbal	2.62	20.8	6.68	94.3	118	4	404	208	720	448	243	0	430	0	0	0	14.1	3.3	1.38	32.6	89.2	844	0.3	14.2
10	Regeneración Agrícola	2.37	21.7	6.96	105.6	96	4	332	136	410	476	263	0	350	0.23	0	0	14	1.3	0.81	121.0	129.0	1587	0.6	7.3
11	La Traslación	2.87	19.3	6.80	215.0	99	4	320	132	580	312	171	0	390	0	0	0	13.4	2.1	1.24	38.0	55.9	943	0.2	0.8
12	La Primitiva	2.58	19.3	7.15	129.2	113	7	344	148	620	340	261	0	340	0	0	0	13.4	2.1	1.21	18.2	53.3	968	0.3	0.9
13	El Porvenir	2.56	18.7	6.71	188.4	127	6	280	132	520	372	250	0	260	0	0	0	15.1	1.3	0.94	15.6	87.7	865	0.3	2.1
14	Nª Sª de Asunción	2.82	19.9	6.84	143.9	178	7	312	144	616	356	228	0	370	0	0	0	13.1	2.1	1.35	130.0	85.0	1240	0.3	1.3
15	Rambleta 6	2.99	19.2	7.06	154.3	168	6	388	176	764	444	200	0	380	0	0	0	13.1	2.1	1.4	144.0	72.3	1264	0.3	0.9
16	Casa Villalba	2.87	21.8	6.89	127.8	181	9	362	176	696	446	256	0	340	0	0	0	10.7	3	1.31	47.0	123.0	947	0.3	2.8
17	La Escolara	2.15	22.3	7.05	132.7	127	8	260	98	472	328	222	0	210	0.82	0	0.32	10.5	2.7	0.92	85.9	102.0	986	0.7	1.5
19	La Paz	3.06	19.2	7.16	192.2	166	6	304	180	692	376	230	0	360	0	0	0	13.9	2.1	1.62	66.6	85.2	752	0.4	1.1
20	San Vicente	2.80	19.1	7.12	191.3	214	6	300	160	592	560	227	0	320	0	0	0	13.6	1.6	1.26	94.7	90.3	828	0.5	1.2
21	San Isidro	3.19	20.1	6.86	151.8	237	10	384	188	852	508	214	0	370	0	0	0	12.9	2.1	1.66	379.0	114.0	2547	0.5	2.8
22	San Antonio	2.66	20.8	7.43	133.0	169	5	336	168	580	532	231	0	400	0	0	0	14.6	1.2	1.19	80.8	181.0	1538	0.3	7.8
23	La Alquería-Moncófar	2.35	21.1	6.99	195.5	281	3	140	111	396	412	386	0	160	0.91	0	0	11.9	1.2	0.66	31.9	166.0	342	0.1	4.6
24	Santa Magdalena	1.55	19.6	7.35	190.2	67	9	180	80	108	444	228	0	160	0.44	0	0.13	13.8	1	0.22	104.0	126.0	1344	0.4	1.2
25	Santa Catalina	2.01	21.1	7.26	151.3	109	4	266	160	185	718	254	0	340	0	0	0	17.6	1.1	0.5	143.0	164.0	1378	0.4	1.5
26	San Ildefonso	1.83	19.3	7.11	177.5	95	9	260	96	214	552	256	0	210	0	0	0	14	0.8	0.48	283.0	103.0	2692	0.3	0.8
27	La Soledad	3.14	19.9	7.05	162.7	173	8	400	216	548	858	245	0	390	0	0	0	14.5	1.2	1.22	317.0	103.0	2846	0.7	1.2
28	San Miguel Arcángel	1.37	21.0	7.05	126.7	107	4	356	152	328	700	282	0	390	0	0	0	15.3	1	0.73	71.4	77.0	2692	0.2	0.8
29	Santísima Trinidad	2.60	18.6	6.92	178.5	73	3	340	136	360	520	243	0	380	0	0	0	14.6	1.3	0.91	33.4	112.0	1593	0.2	0.6
30	San Vicente Ferrer	2.38	18.8	6.86	161.2	87	3	376	160	370	612	283	0	460	0	0	0	16.1	1.6	0.86	31.9	79.9	2094	0.3	0.8
31	Ángel de la Guarda	2.39	18.5	6.87	160.7	85	3	376	122	306	624	231	0	380	0	0	0	17	1	0.94	36.9	63.5	2481	0.2	0.4
32	Miramar 1	3.17	21.7	7.19	98.3	96	6	424	152	710	366	540	0	130	4.9	3.8	0.94	12.6	21	0.75	17.5	46.5	930	0.8	1.2
33	Pozo Recarga Oeste	2.80	20.1	6.66	160.6	114	37	256	104	370	400	253	0	260	0	0	0	16.4	8.2	0.96	65.5	78.9	885	1.0	1.1
34	Pozo Recarga Este	3.20	20.2	6.99	136.8	121	15	304	126	440	410	279	0	300	0	0	0	14.6	7.9	1.1	35.4	62.2	1065	0.6	0.8

Resultados campaña de octubre de 2012. Las unidades son mg/l, excepto el Li, B, Sr, As y Cr en µg/L, la CE en mS/cm, la Tª en °C y el Eh en mV.

Final Report

Campañas de diciembre del 2012 y febrero del 2013

ID	NAME	CAMPAÑA DICIEMBRE 2012					CAMPAÑA FEBRERO 2013				
		C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Eh (mV)	Cl (mg/L)	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Eh (mV)	Cl (mg/L)
1	Randero 1	2050	17.4	6.84	136.8	491.0	2110	18.1	7.05	113.5	504.8
2	Unión Agrícola	2590	15.9	7.25	141.2	670.8	1684	16.4	7.13	120.4	698.5
5	Rambleta 1	2450	17.6	6.89	135.8	587.8	1760	17.7	6.62	125.8	585.0
6	Rambleta 2	2430	17.3	6.85	142.1	221.3	1810	16.7	6.73	138.3	594.7
7	Rambleta 3	2520	17.1	6.24	140.4	587.8	2230	17.5	6.19	146.8	622.4
8	Rambleta 5	2320	17.8	6.49	102.1	491.0	1824	17.5	6.58	119.6	394.2
9	San Cristóbal	826	19.3	6.51	86.3	76.1	578	18.2	6.37	41.6	131.4
10	Regeneración agrícola	2280	15.3	6.6	81.7	401.1	1489	19.1	6.79	127.5	380.3
11	La Traslación	2140	16.4	6.02	138.3	525.6	2160	17	6.38	103.2	546.3
12	La Primitiva	2440	16.9	6.81	138.5	553.2	1599	17.6	6.23	117.8	574.0
13	El Porvenir	2190	15.4	6.76	148.6	470.2	2120	16.6	6.5	112.3	504.8
14	Nª Sª de Asunción	2730	18.5	6.69	126	601.6	1675	18.4	6.4	143.5	622.4
15	Rambleta 6	2870	18	6.38	125.4	636.2	2410	18	7	145.5	636.2
16	Casa Villalba	2550	18.3	6.76	125.6	560.1	2400	18.7	6.95	139.6	594.7
17	La Escolara	2650	19.1	6.96	61.5	560.1	1753	19.8	6.27	62.3	567.1
19	La Paz	2700	16.9	6.53	116.8	746.9	2860	17.4	6.8	132.6	871.3
20	San Vicente	2580	16.5	7.27	124.1	698.5	2820	17.7	7.1	121.9	802.2
21	San Isidro	3090	19	6.83	110.9	746.9	788	18.4	6.44	86.5	760.7
22	San Antonio	2780	15.7	6.64	121.2	643.1	2110	14.8	6.51	93.9	560.1
23	La Alquería-Moncófar	2160	17.8	6.92	67.1	366.5	1512	17.5	7.25	92.5	380.3
24	Santa Magdalena	1422	17.1	7.07	150.6	110.6	1215	18.4	7.33	122.6	117.6
25	Santa Catalina	2580	18.2	6.55	127.4	311.2	1505	18.6	7.41	101.1	242.0
26	San Ildefonso	1869	18.1	6.59	139.2	207.5	1513	18.1	6.38	145.6	235.1
27	La Soledad	2700	18.7	6.85	116.5	421.8	2300	18.2	6.7	128.5	449.5
28	San Miguel Arcángel	2170	18.5	6.51	136.7	276.6	2190	17.9	6.3	158.7	318.1
29	Santísima Trinidad	2120	17.5	6.82	146.1	325.0	1977	16.8	6.92	144.1	352.7
30	San Vicente Ferrer	2260	17.2	6.4	137.1	345.8	2140	17	6.4	168.9	352.7
31	Ángel de la Guarda	2070	17.6	6.58	145.8	304.3	2100	16.9	6.35	170.9	311.2
32	Miramar 1	2430	17.5	6.9	143.7	594.7	1772	18.6	6.67	79	615.5
33	Pozo Recarga Oeste	2200	18.1	6.78	115.4	463.3	2030	18.4	6.38	132.1	473.3
34	Pozo Recarga Este	2340	17.9	6.35	122	497.9	2200	18	6.65	121.1	522.1
35	Noria Nules 1	3380	16.4	7.08	122.6	629.3	2260	16.3	6.5	118.5	626.5
36	Noria Nules 2	2910	14.8	6.43	108.2	442.6	1895	14	6.91	79.9	629.3

Final Report

Campañas de abril de 2013 (I)

ID	NAME	CE 20°C	T	pH	Eh	TDS	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄
1	Randero 1	2.21	21.7	6.57	197	1675	114	9	244	120	460	298
2	Unión Agrícola	2.46	17.8	6.69	199.1	2522	112	4	450	180	810	400
5	Rambleta 1	2.39	18	6.36	232	2276	113	3	390	160	676	400
6	Rambleta 2	2.54	18	6.86	228	2319	121	3	380	170	680	400
7	Rambleta 3	2.68	18.1	6.14	225	2421	134	4	390	180	720	420
8	Rambleta 5	2.26	18.9	6.43	224	1610	132	5	224	113	460	290
9	San Cristóbal	2.6	21.7	6.5	159.3	2639	182	4	370	210	770	470
10	Regeneración Agrícola	2.54	19.8	6.47	215	2167	135	4	300	170	486	510
11	La Trasladación	2.47	18.1	6.85	230	2115	118	4	330	160	640	330
12	La Primitiva	2.66	17.8	6.61	214	2200	145	7	320	170	660	370
13	El Porvenir	2.41	18.3	6.29	216	1966	179	6	250	140	510	390
14	Nª Sª de Asunción	2.49	18.2	6.6	198.8	2314	200	6	310	170	690	410
15	Rambleta 6	2.81	17.8	6.89	242	2359	168	6	350	170	690	430
16	Casa Villaiba	2.12	20	6.67	214	1622	182	8	180	106	400	300
17	La Escolara	1.015	19.6	7.1	155	801	84	8	98	39	127	181
19	La Paz	3.25	18.6	6.95	189.4	3138	322	5	370	250	1080	560
21	San Isidro	2.87	19.5	6.17	217	2722	275	7	360	190	890	460
22	San Antonio	2.36	17.6	7.38	259	2380	193	3	310	180	610	500
23	La Alquería-Moncófar	2.44	18.2	7.17	222	1867	319	4	108	130	470	410
24	Santa Magdalena	1.407	18.6	6.8	263	1133	77	9	134	85	117	388
25	Santa Catalina	2.51	18.6	7.08	215	2222	208	6	224	172	298	736
26	San Ildefonso	1811	17.8	6.96	152.4	1556	116	10	210	98	218	420
27	La Soledad	2.84	19	6.35	230	2819	179	8	380	220	520	830
28	San Miguel Arcángel	2.4	18.4	6.65	227	2067	111	3	300	150	300	618
29	Santísima Trinidad	2.38	17.9	6.9	218	2041	88	3	310	160	398	510
30	San Vicente Ferrer	2.43	19.1	6.29	225	2200	86	3	340	170	370	620
31	Ángel de la Guarda	2.24	18.9	6.76	231	2228	85	3	390	140	340	680
32	Miramar 1	2.36	18.8	6.8	194.7	2245	96	7	410	150	680	350
35	Noria Nules 1	2.93	17.3	6.58	206	3319	354	8	420	210	650	1250
36	Noria Nules 2	2.42	16.4	7	199.5	2710	306	7	310	170	490	880

Resultados campaña de abril de 2013. Las unidades son mg/l, excepto el Li, B, Sr, As y Cr en µg/L, la CE en mS/cm, la Tª en °C y el Eh en mV.

Final Report

Campañas de abril de 2013 (II)

ID	NAME	HCO ₃	CO ₃	NO ₃	NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₂	F	Br	Oxidabilidad	Li	B	Cr	As	Sr	Hg
1	Randero 1	136	0	280	<0,05	<0,05	<0,05	13.1	0.167	1.01	1.3	7.6	62.9	0.39	0.15	956	<0,1
2	Unión Agrícola	113	0	440	<0,05	<0,05	<0,05	10.9	0.11	1.545	2.7	8.7	47.8	0.3	0.32	949	3.9
5	Ramblleta 1	101	0	420	<0,05	<0,05	<0,05	11.1	0.109	1.297	5.5	8	46.6	0.49	0.25	899	3.5
6	Ramblleta 2	122	0	430	<0,05	<0,05	<0,05	12	0.124	1.273	1.8	10.6	54.5	0.56	0.24	1112	1.1
7	Ramblleta 3	119	0	440	<0,05	<0,05	<0,05	12.5	0.167	1.303	2.1	10.5	62.7	1.31	0.23	1189	0.9
8	Ramblleta 5	122	0	250	<0,05	<0,05	<0,05	13	0.168	1.028	1.2	57.6	71.6	0.45	0.13	1183	0.9
9	San Cristóbal	147	0	470	0.96	<0,05	<0,05	13.3	0.157	1.526	2.1	24.7	86.9	3.14	0.013	1008	<0,1
10	Regeneración Agrícola	147	0	400	<0,05	<0,05	<0,05	14.5	0.157	0.116	1.2	50.7	127	12.68	0.17	1673	<0,1
11	La Traslación	118	0	400	<0,05	<0,05	<0,05	13.3	0.118	1.175	1.8	17	47.8	0.73	0.19	836	0.2
12	La Primitiva	142	0	370	<0,05	<0,05	<0,05	14.5	0.164	1.273	2.4	9.4	49.4	0.69	0.16	1087	0.8
13	El Porvenir	175	0	300	<0,05	<0,05	<0,05	14.8	0.162	0.995	1.8	8.3	68.6	1.77	0.15	813	0.5
14	Nª Sª de Asunción	144	0	370	<0,05	<0,05	<0,05	12.9	0.13	1.271	2.4	58.2	70.5	1.09	0.19	1208	0.3
15	Ramblleta 6	131	0	400	<0,05	<0,05	<0,05	12.5	0.162	1.374	2.1	79.8	65.5	0.76	0.21	1487	0.2
16	Casa Villalba	184	0	250	<0,05	<0,05	<0,05	10.8	0.073	0.848	1.5	20.7	117	3.68	0.25	630	0.4
17	La Escolara	165	0	90	<0,05	<0,05	0.46	7.9	0.182	0.111	2.8	14.9	67.1	0.29	0.35	501	1.4
19	La Paz	175	0	360	<0,05	<0,05	<0,05	14	0.153	2.019	3	114.8	76.6	0.37	0.22	788	<0,1
21	San Isidro	136	0	390	<0,05	<0,05	<0,05	12.4	0.159	1.703	3.3	203.3	89.3	1.06	0.29	2741	<0,1
22	San Antonio	149	0	420	<0,05	<0,05	<0,05	14.7	0.163	0.106	1.6	41.1	124	12.09	0.19	1573	0.2
23	La Alquería-Moncófar	214	0	200	<0,05	<0,05	<0,05	10.9	0.088	0.836	1.8	34.3	127	3.65	0.04	408	0.2
24	Santa Magdalena	158	0	150	<0,05	<0,05	<0,05	14.1	0.205	0.238	0.6	58.7	88.7	0.9	0.28	1268	0.3
25	Santa Catalina	181	0	380	<0,05	<0,05	<0,05	16.3	0.195	0.782	1.3	77.7	105	1.13	0.18	1311	0.1
26	San Ildefonso	249	0	220	<0,05	<0,05	<0,05	14.9			0.8	154.2	80	0.49	0.23	2628	0.1
27	La Soledad	147	0	520	<0,05	<0,05	<0,05	14	0.172	1.2	2	158.8	74.2	0.66	0.4	2726	0.2
28	San Miguel Arcángel	159	0	410	<0,05	<0,05	<0,05	14.9	0.194	0.747	1	37.2	61.6	0.6	0.13	2472	0.2
29	Santísima Trinidad	146	0	410	<0,05	<0,05	<0,05	15	0.215	1.072	1.8	14.3	116	0.19	0.11	1409	0.4
30	San Vicente Ferrer	154	0	440	<0,05	<0,05	<0,05	15.6	0.206	0.919	1.5	14.9	71.3	0.75	0.19	2062	0.3
31	Ángel de la Guarda	152	0	420	0.46	<0,05	<0,05	16.6	0.21	0.888	1.3	17.8	48.1	0.26	0.16	2328	0.2
32	Miramar 1	145	0	390	0.71	<0,05	3.2	11.4	0.185	1.337	4	9.7	46.8	0.57	0.65	910	0.4
35	Noria Nules 1	189	0	220	<0,05	<0,05	<0,05	15.7	0.19	2.06	4	130.2	82.4	0.52	0.12	4240	<0,1
36	Noria Nules 2	181	0	350	<0,05	<0,05	<0,05	14.8	0.237	1.265	1.5	123.3	63.9	0.54	0.11	2463	0.2

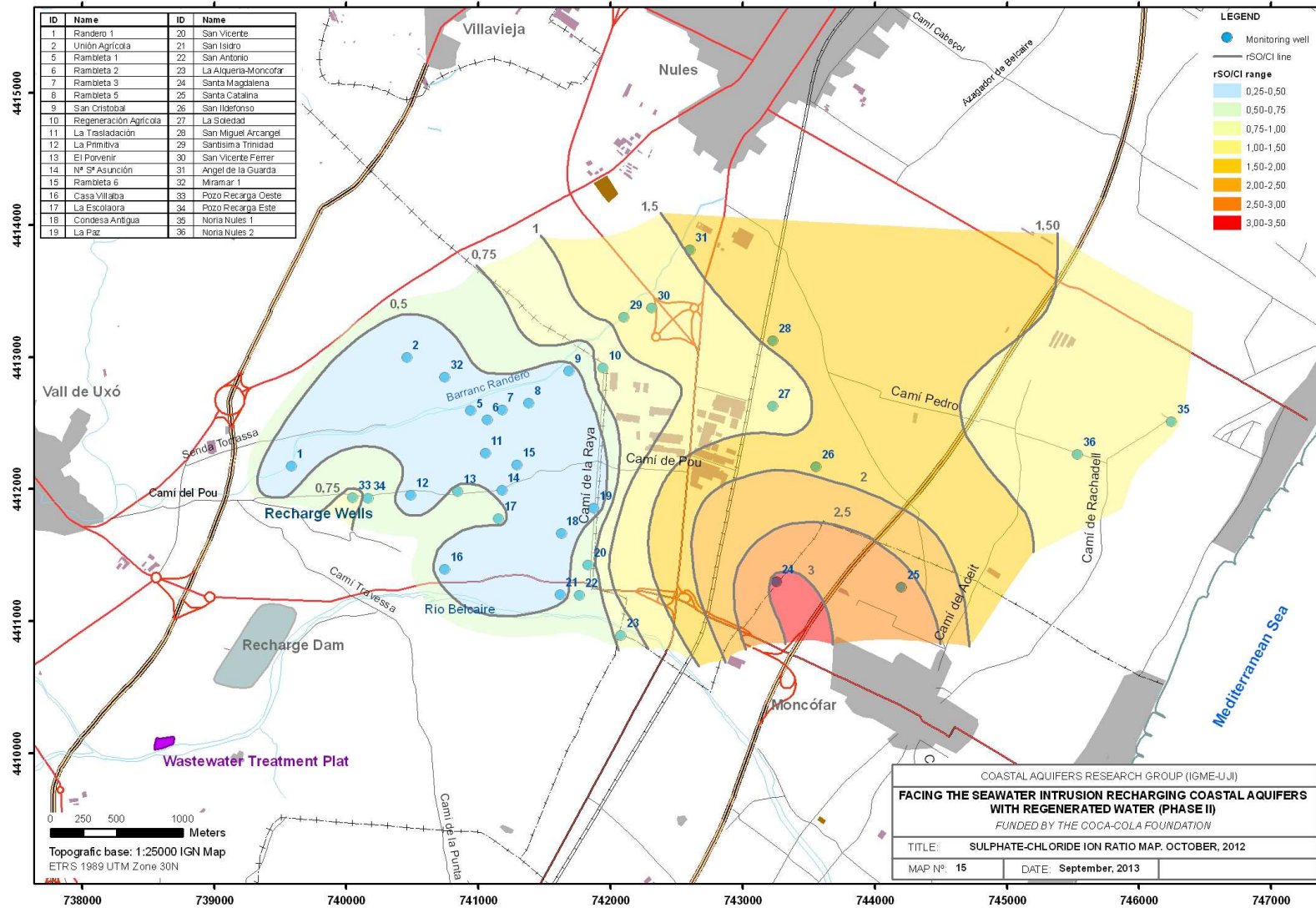
Resultados campaña de abril de 2013. Las unidades son mg/l, excepto el Li, B, Sr, As y Cr en µg/L, la CE en mS/cm, la Tª en °C y el Eh en mV.

Anexo 4

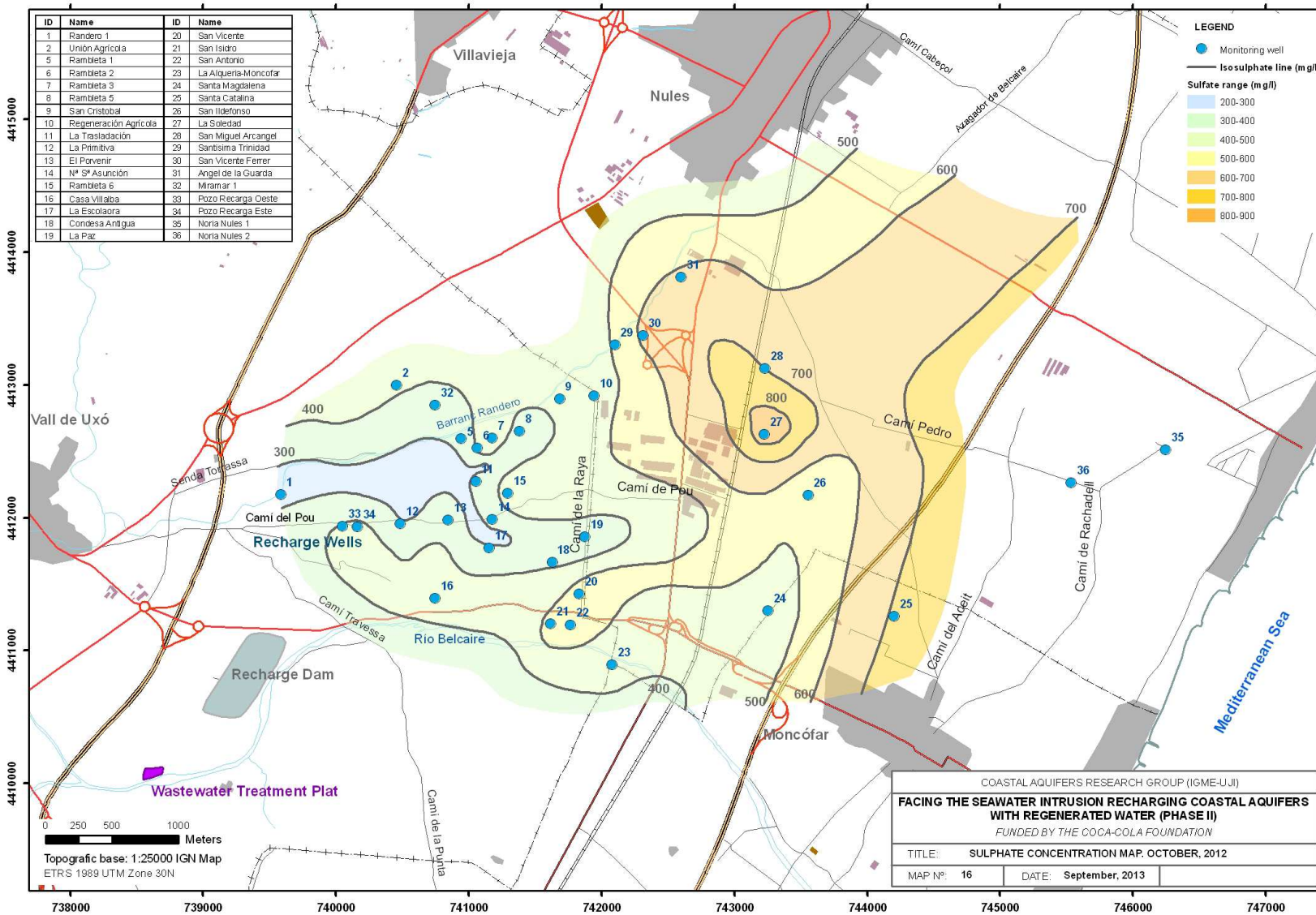
Mapas de isocontenidos

Final Report

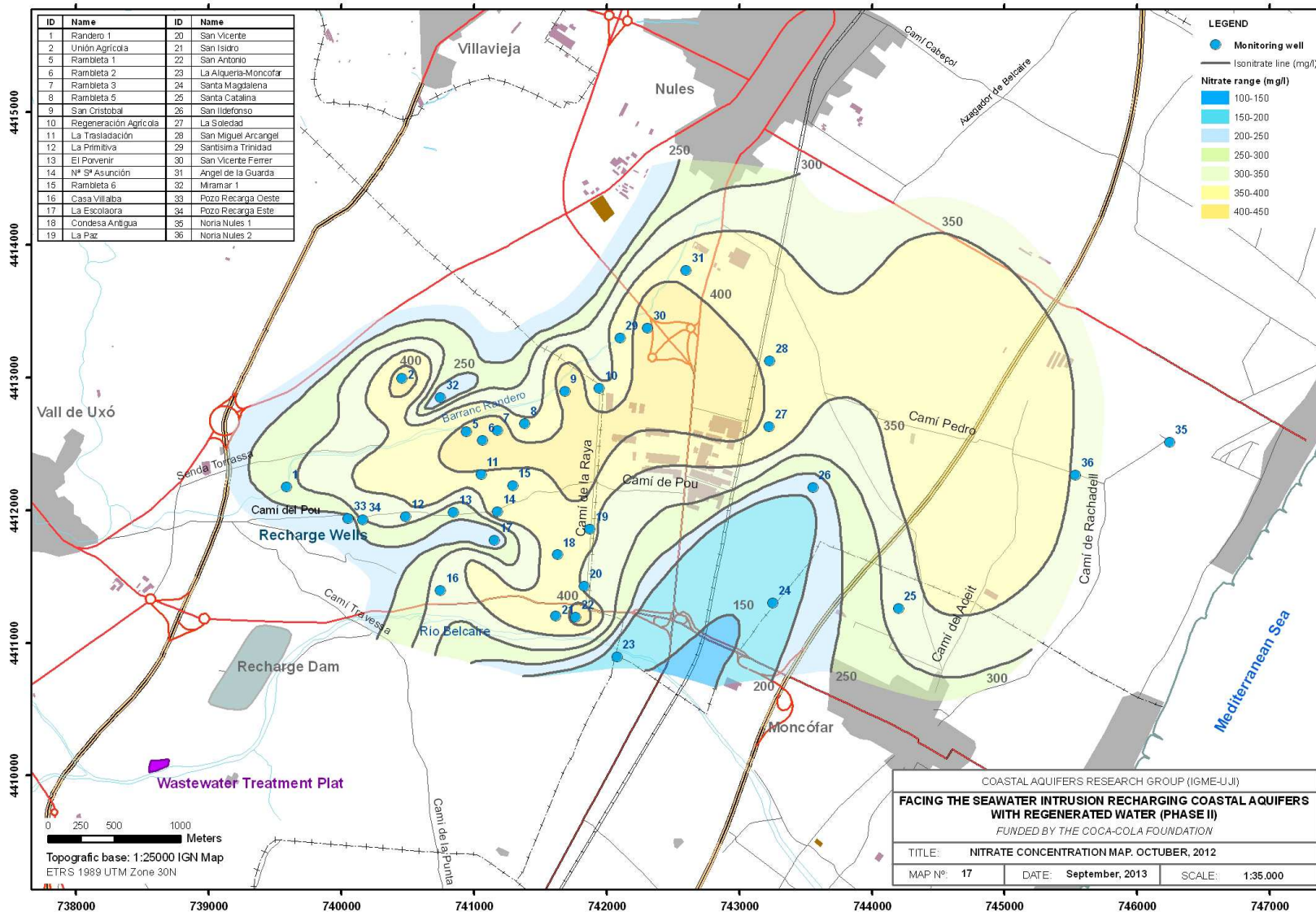
Final Report



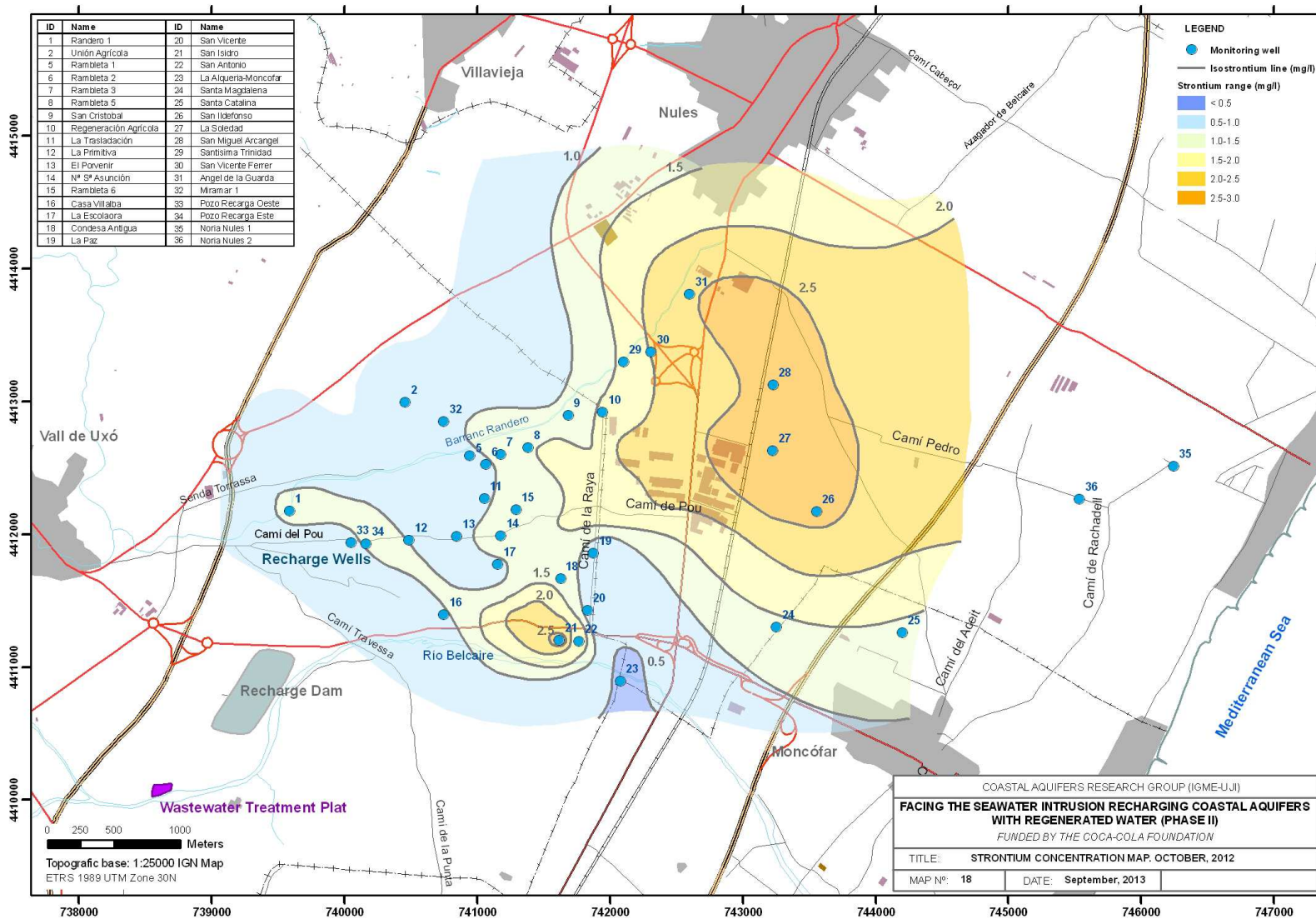
Final Report



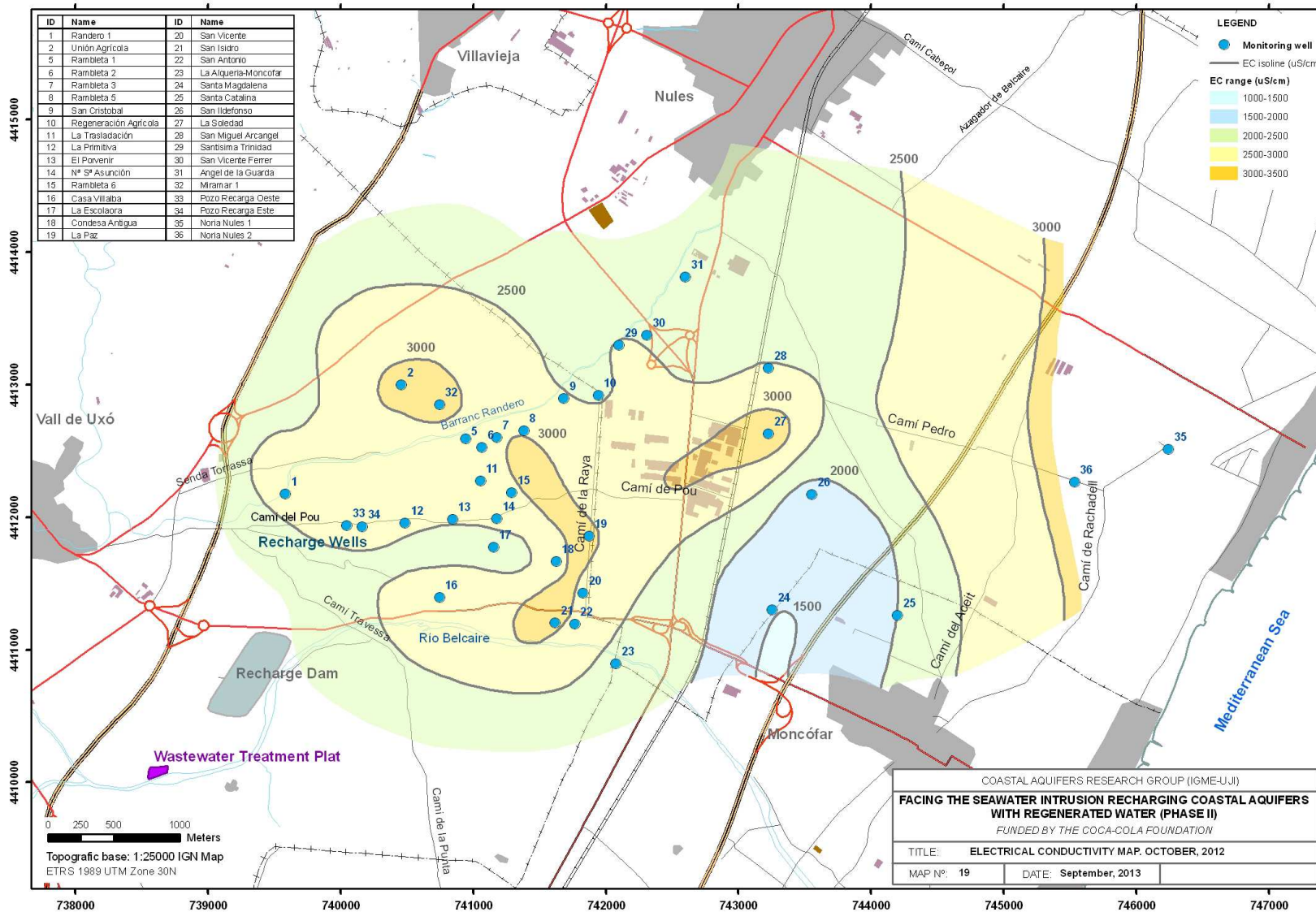
Final Report



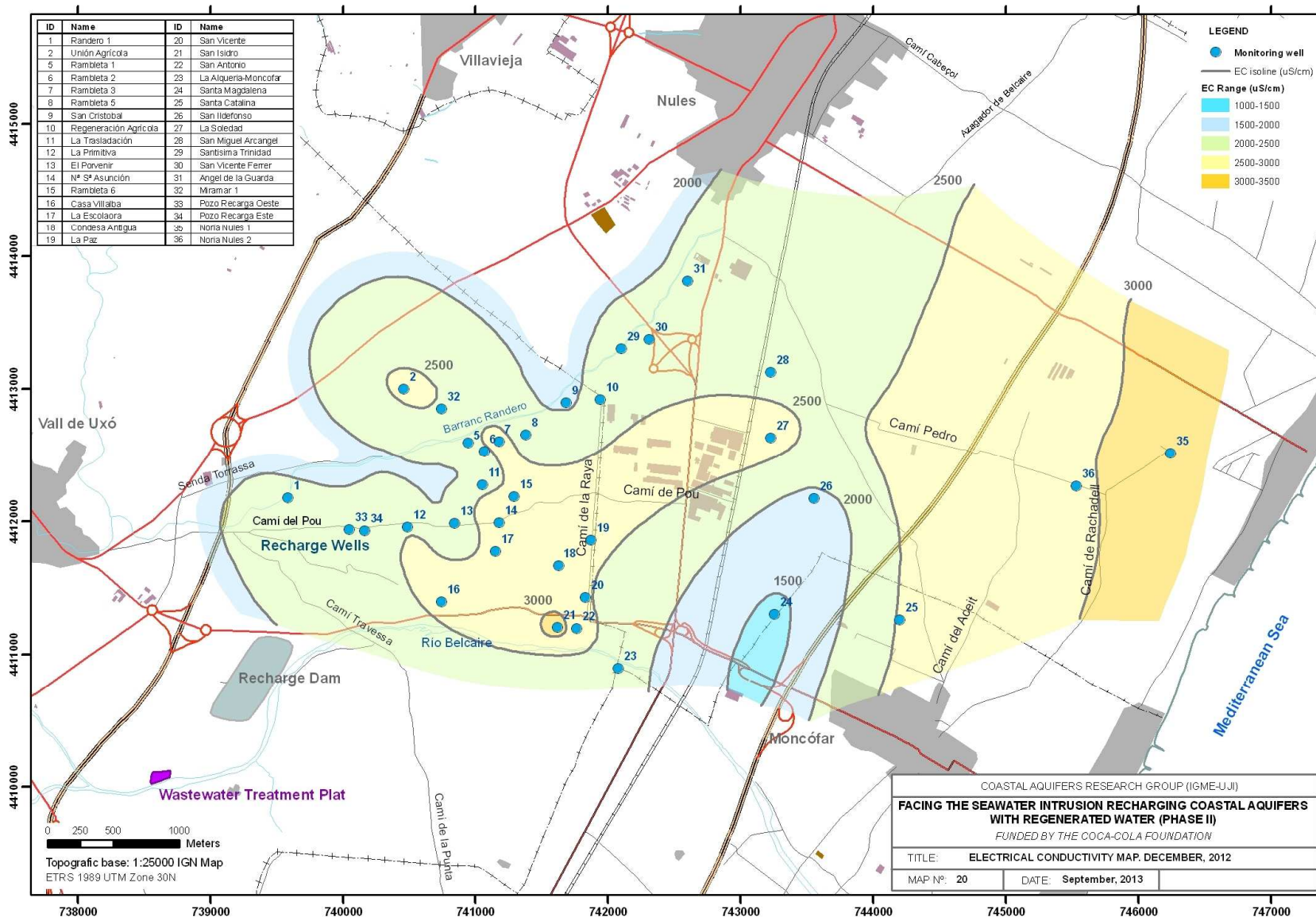
Final Report



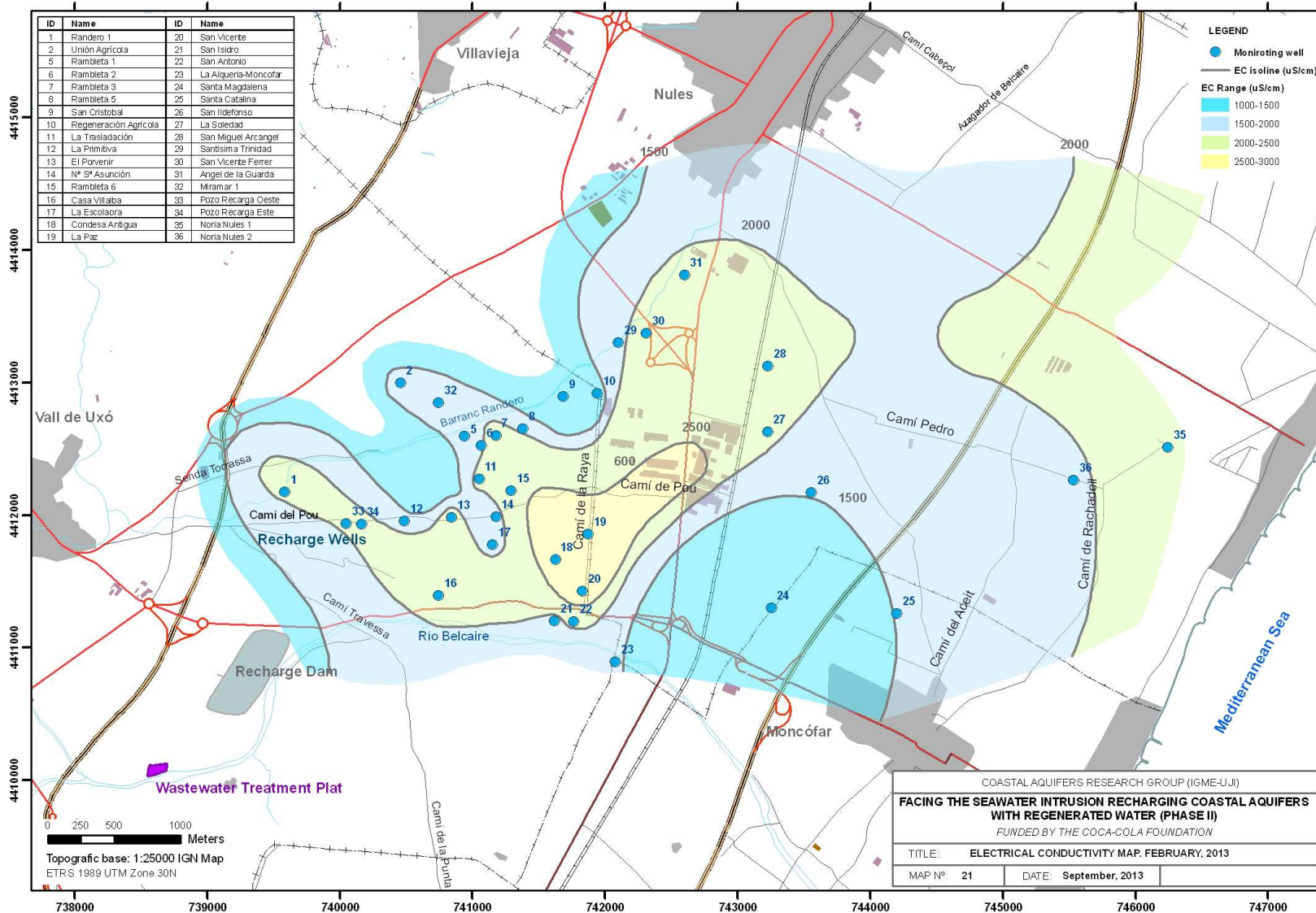
Final Report



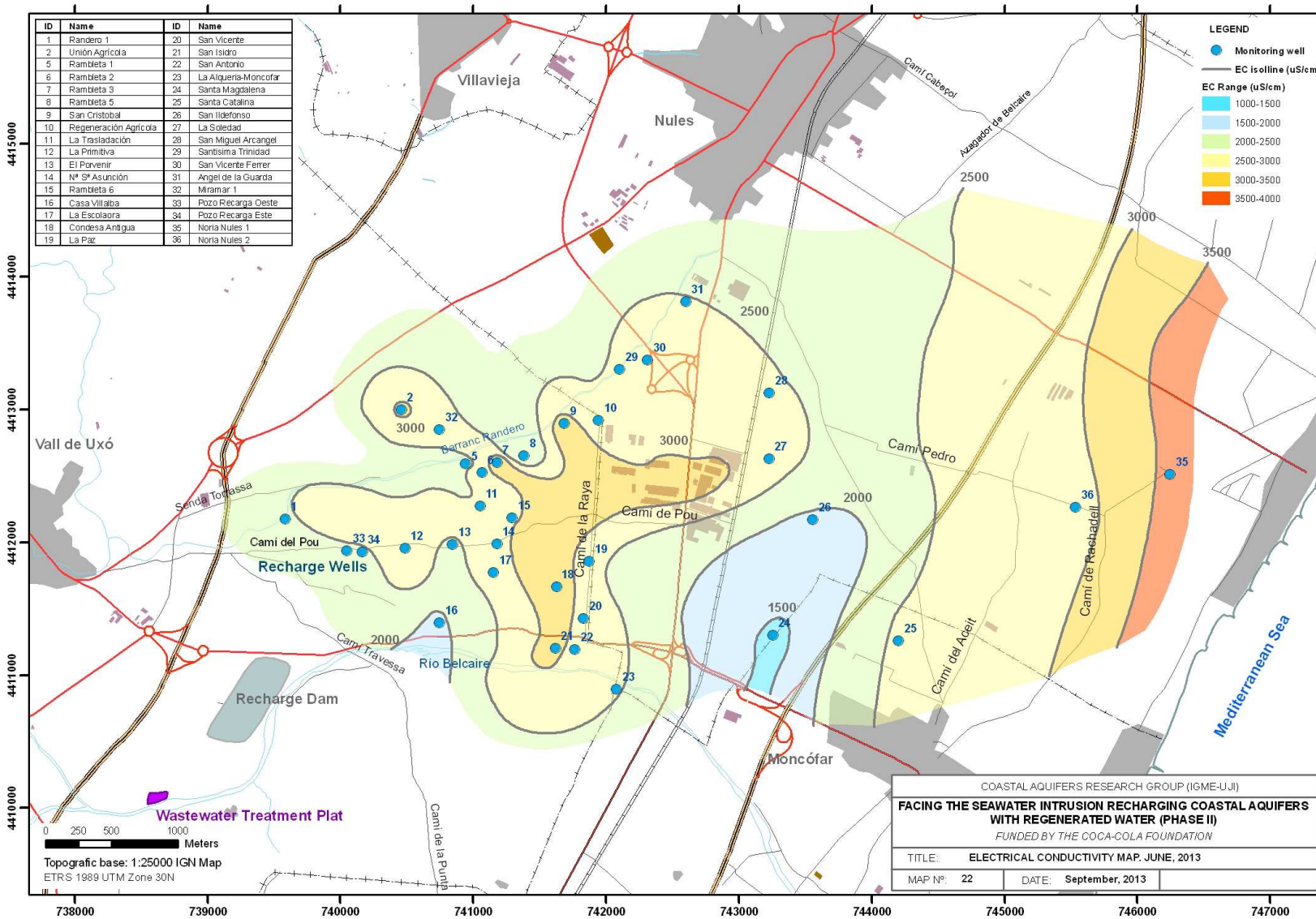
Final Report



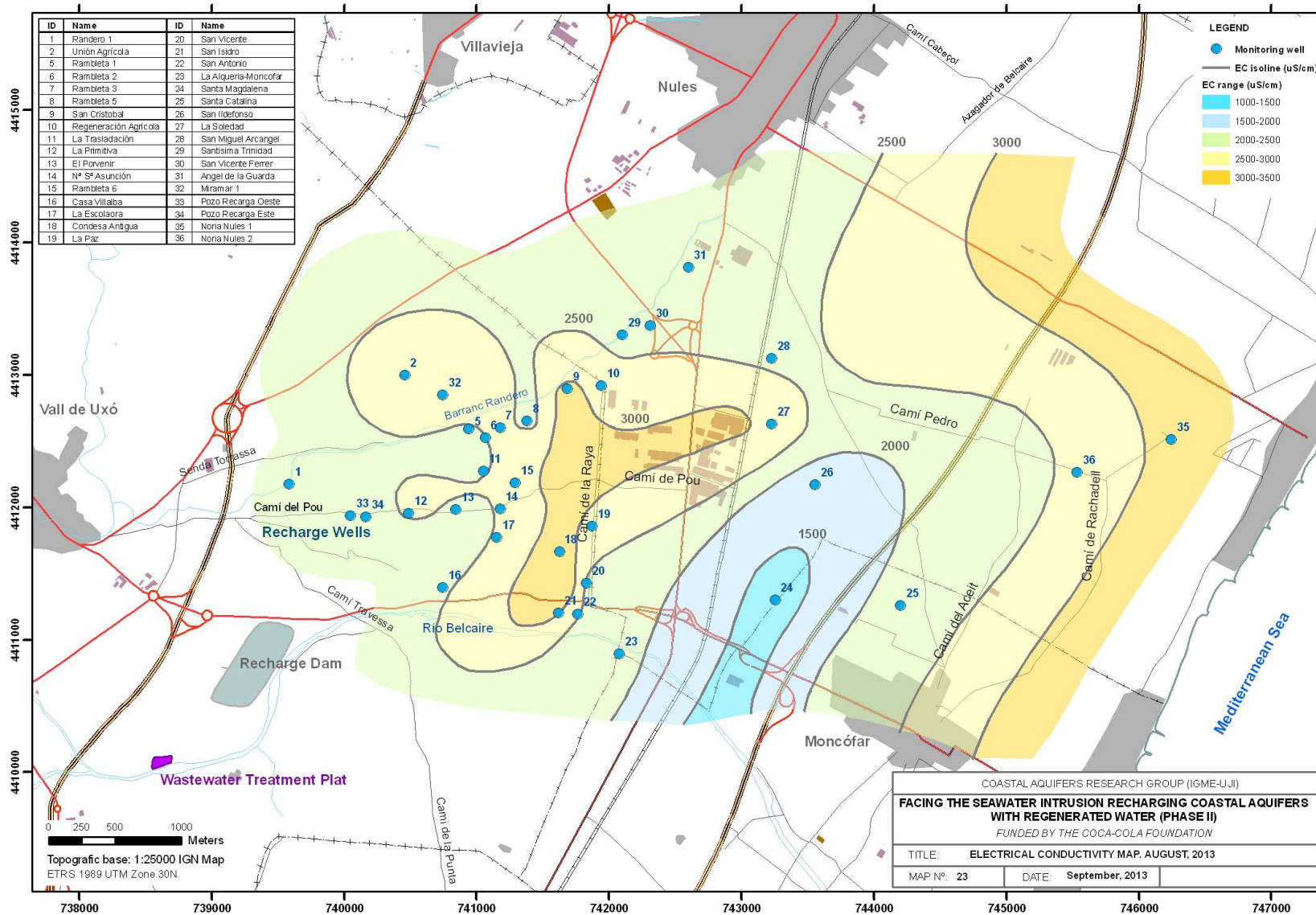
Final Report



Final Report

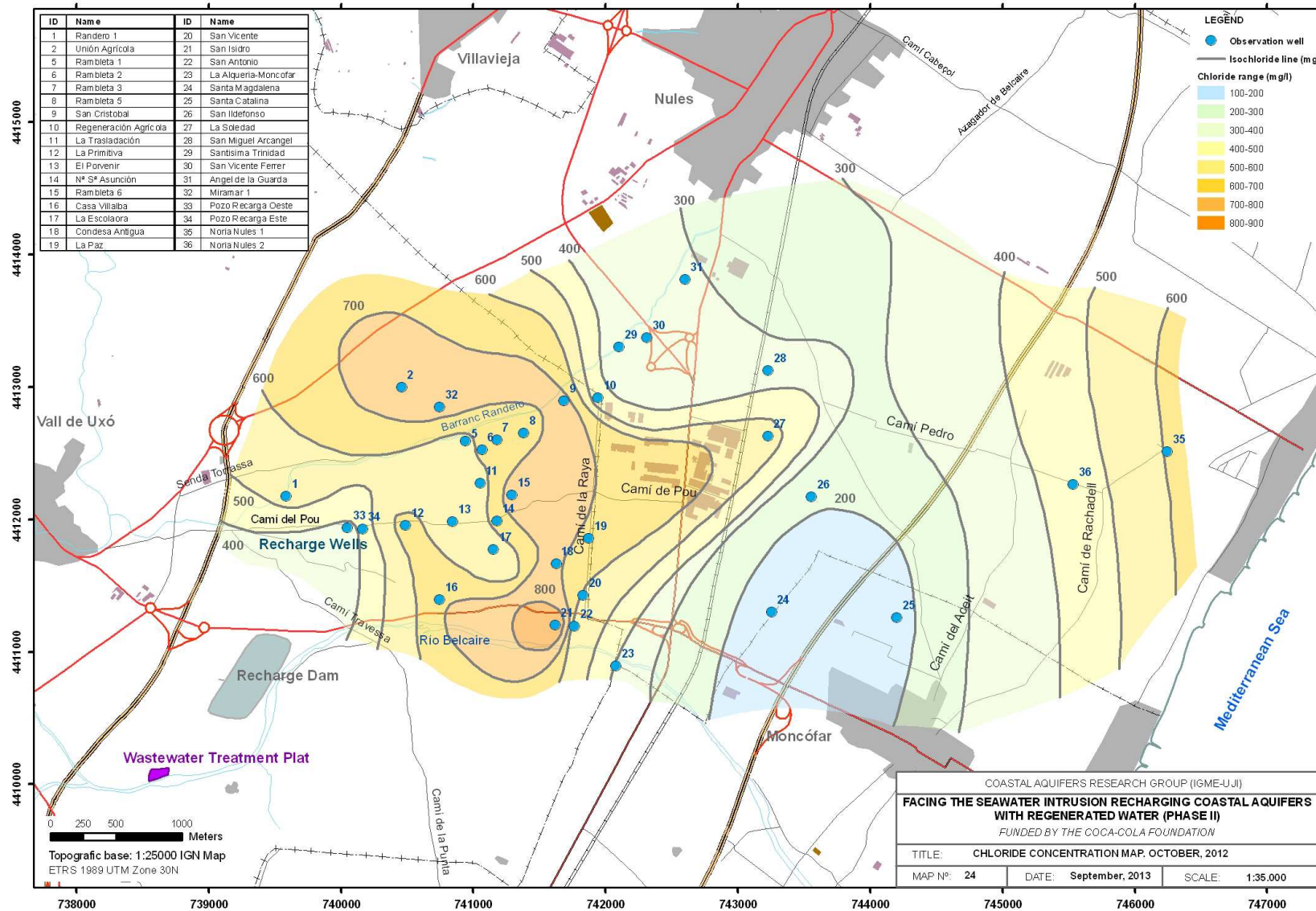


Final Report

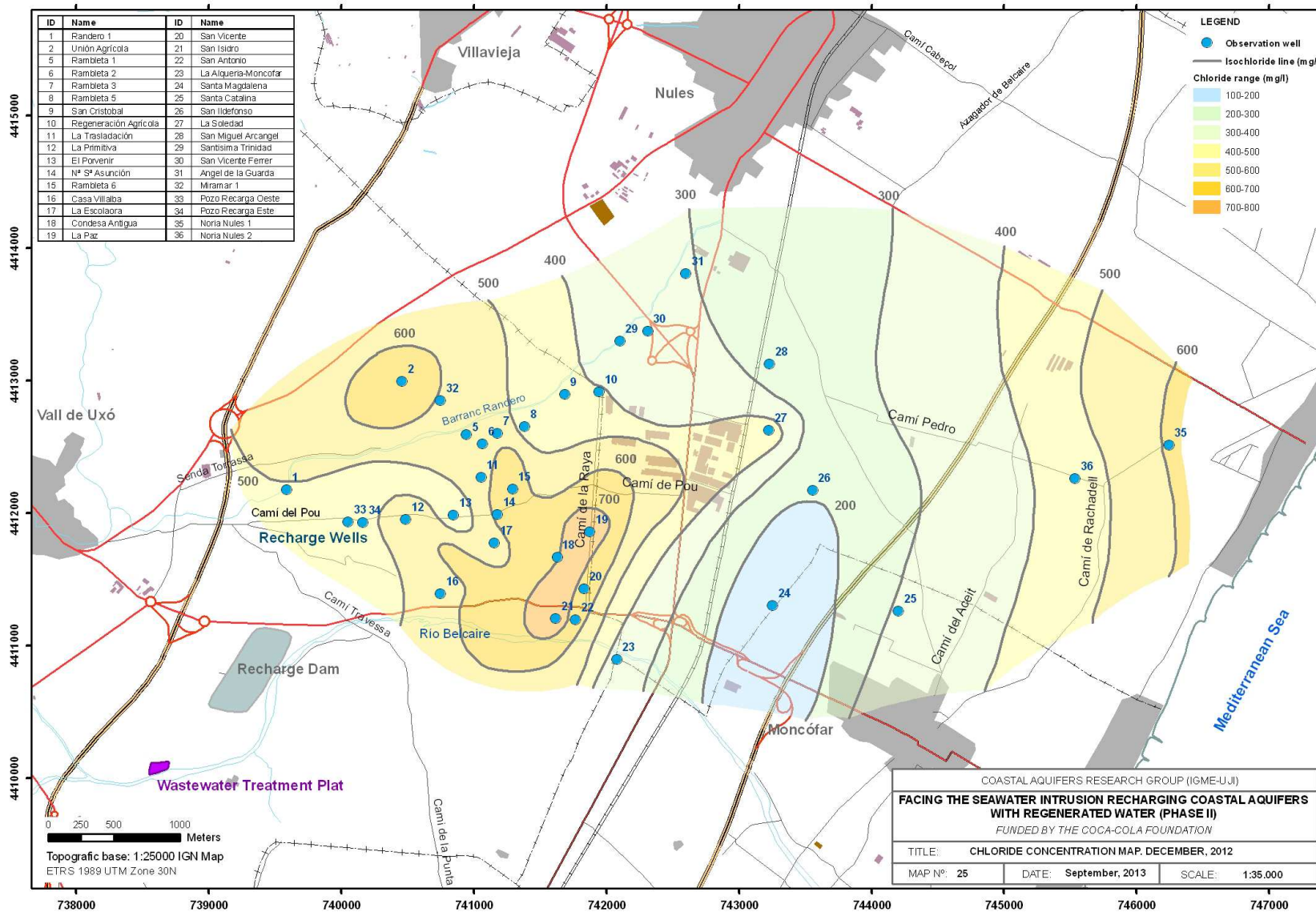


Facing the seawater intrusion recharging coastal aquifers with regenerated water (Phase II)

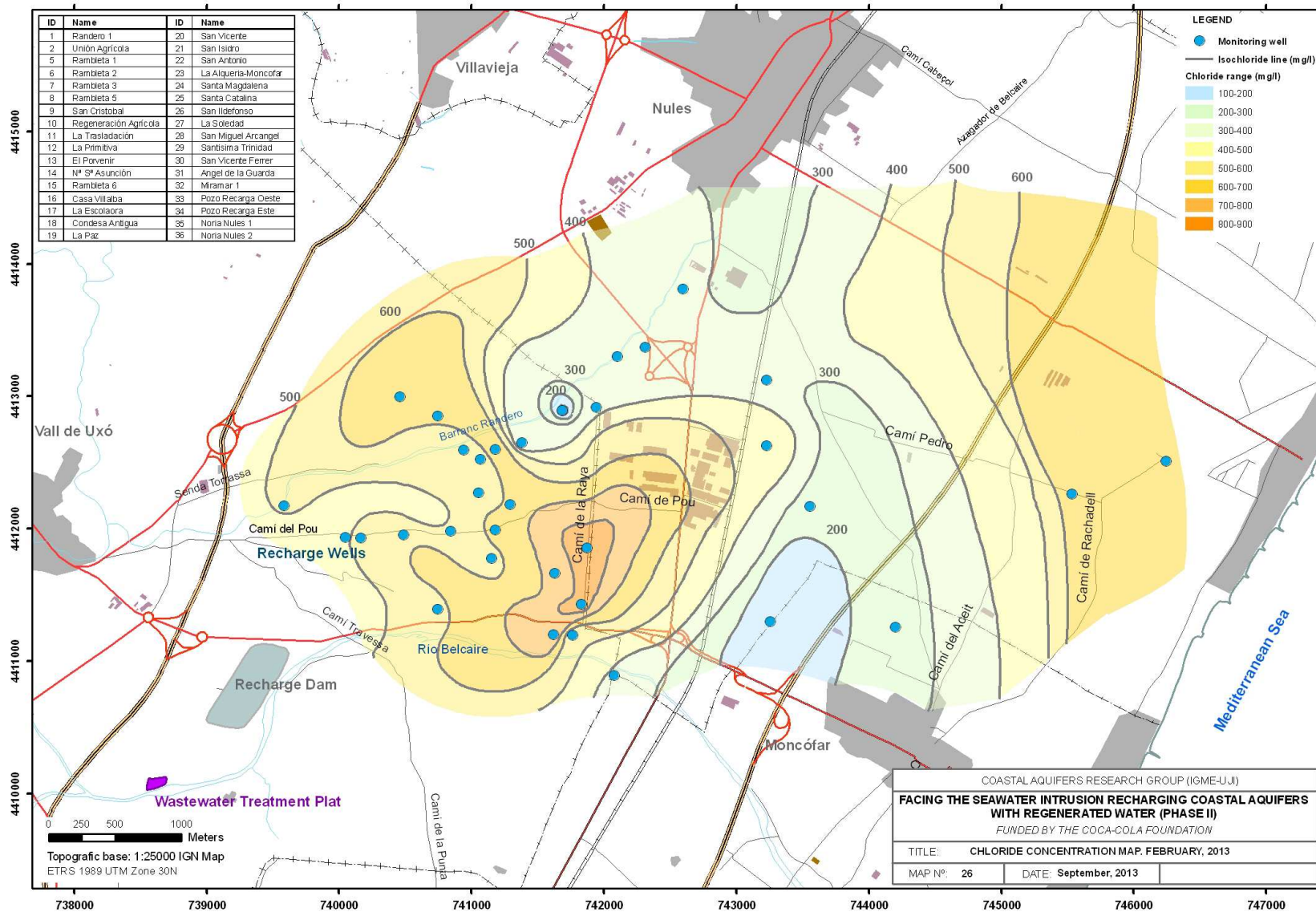
Final Report



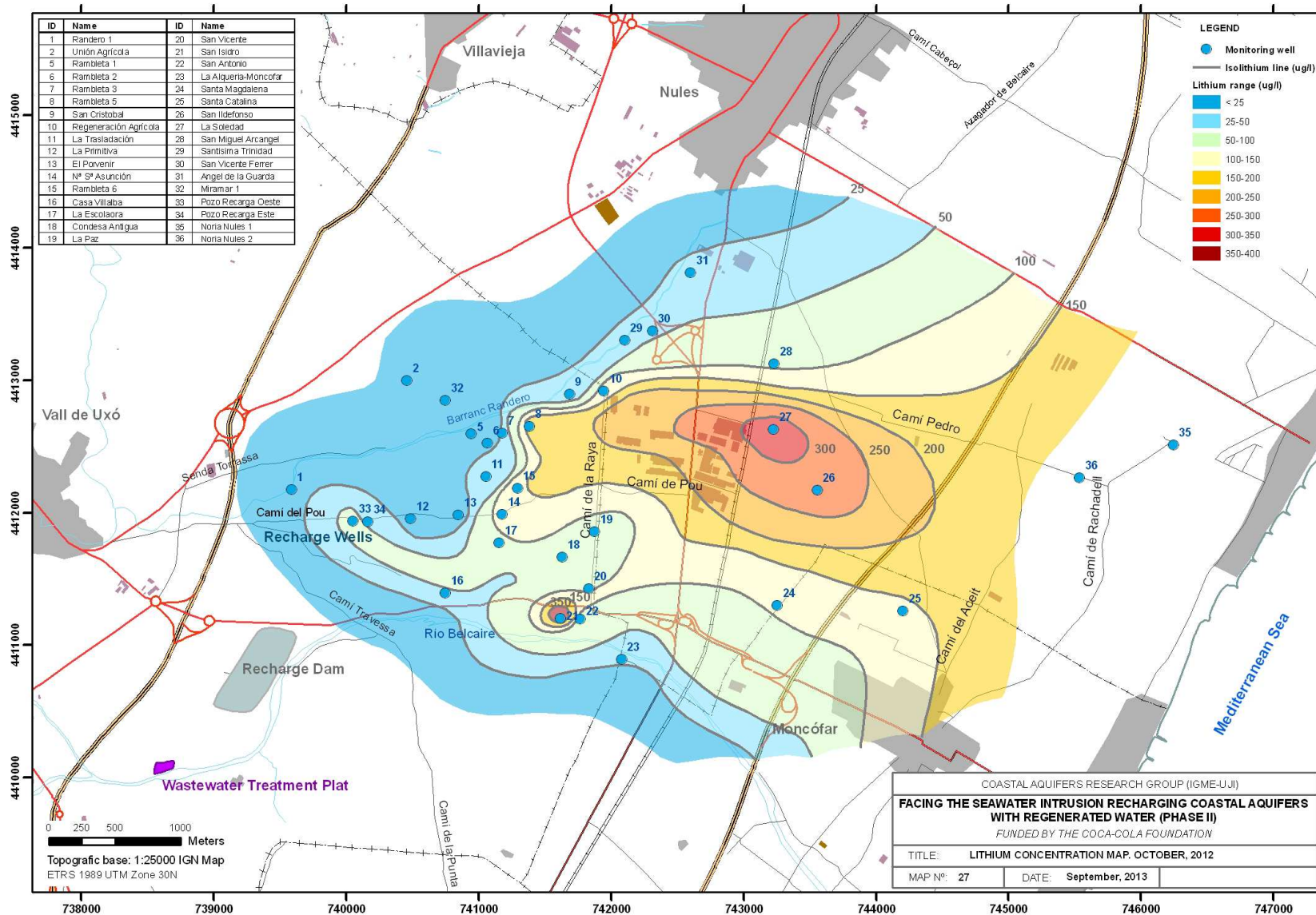
Final Report



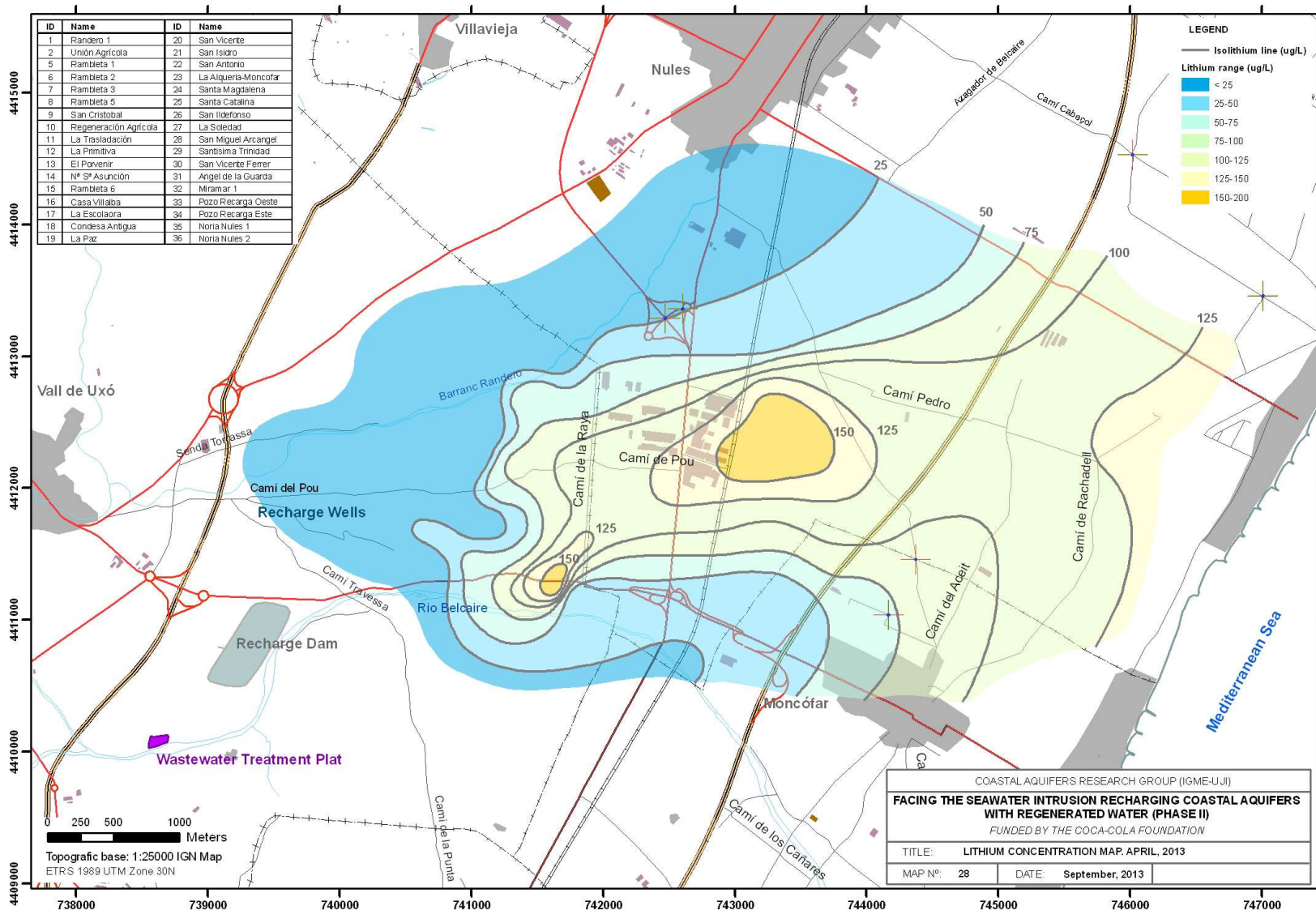
Final Report



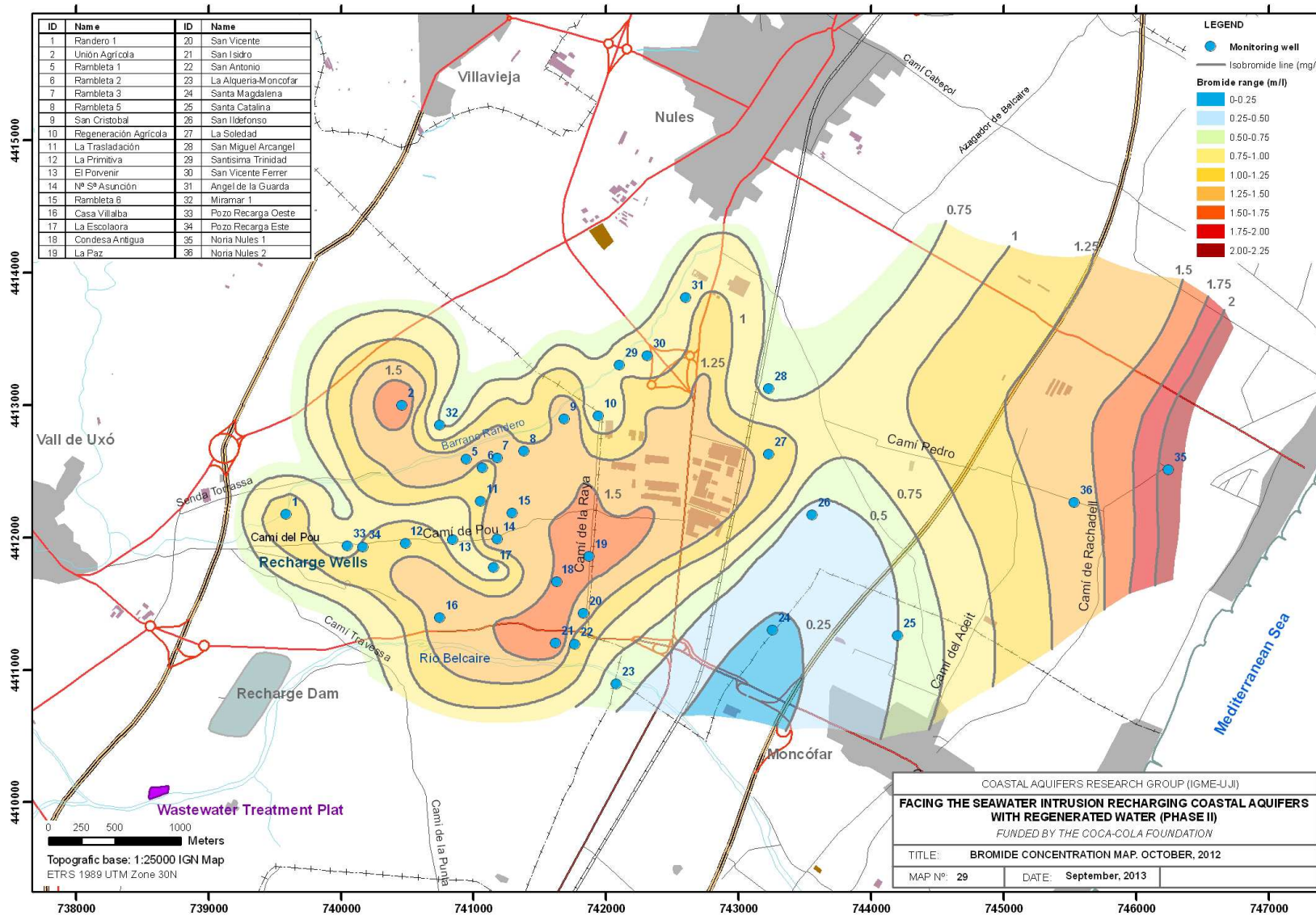
Final Report



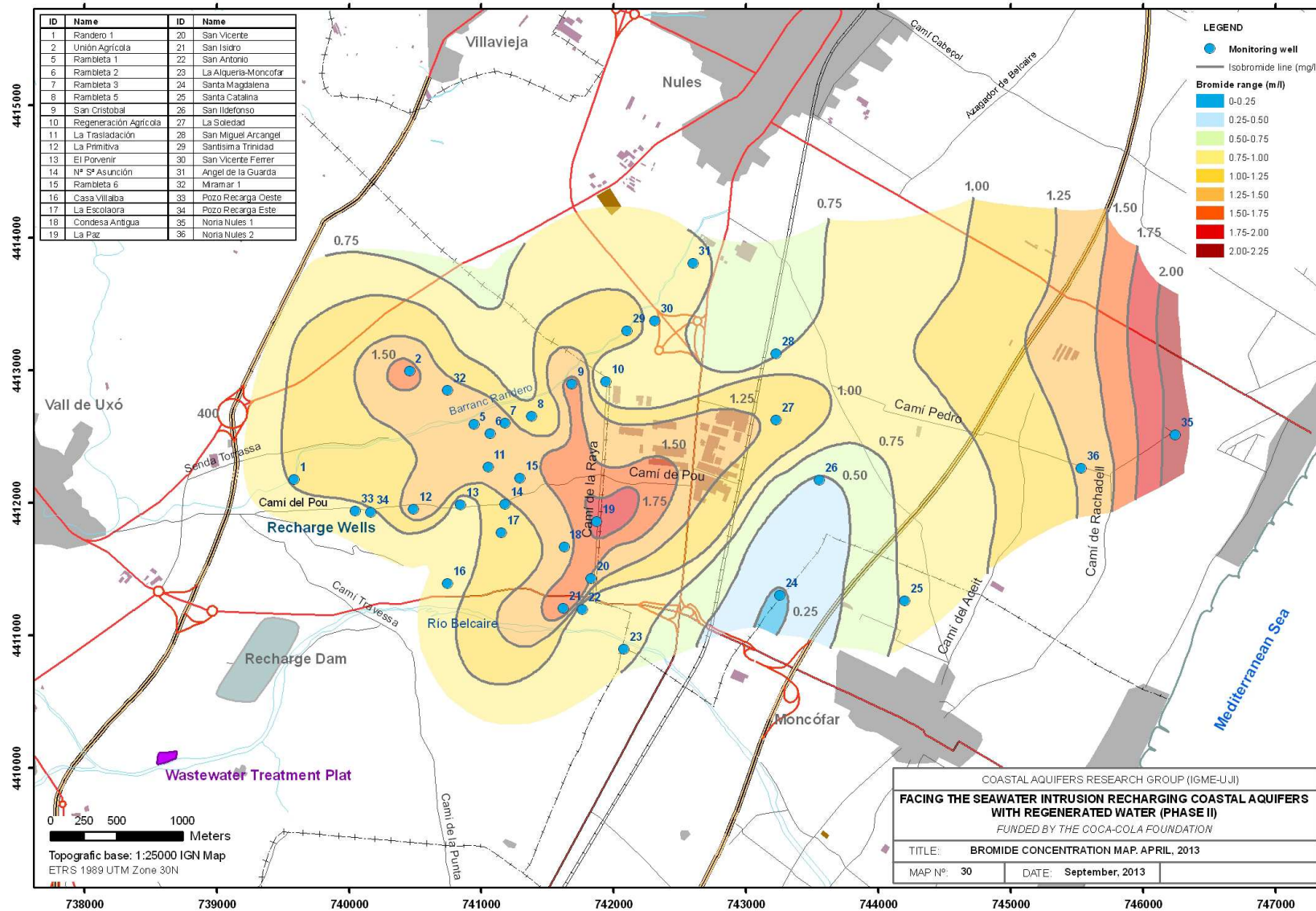
Final Report



Final Report



Final Report



Anexo 5

Dispositivos de medición en continuo (Divers)

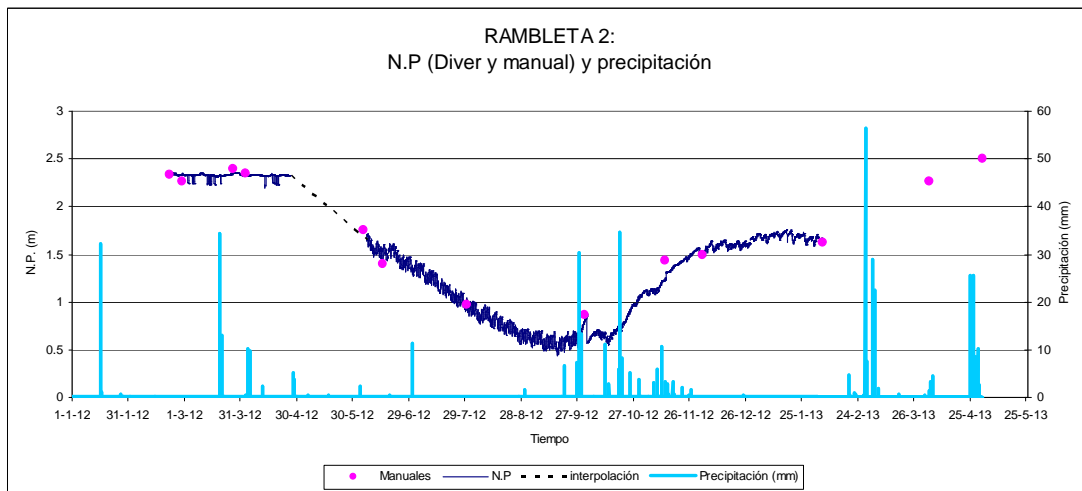
Final Report

RAMBLETA 2 (Ref. N° 6)

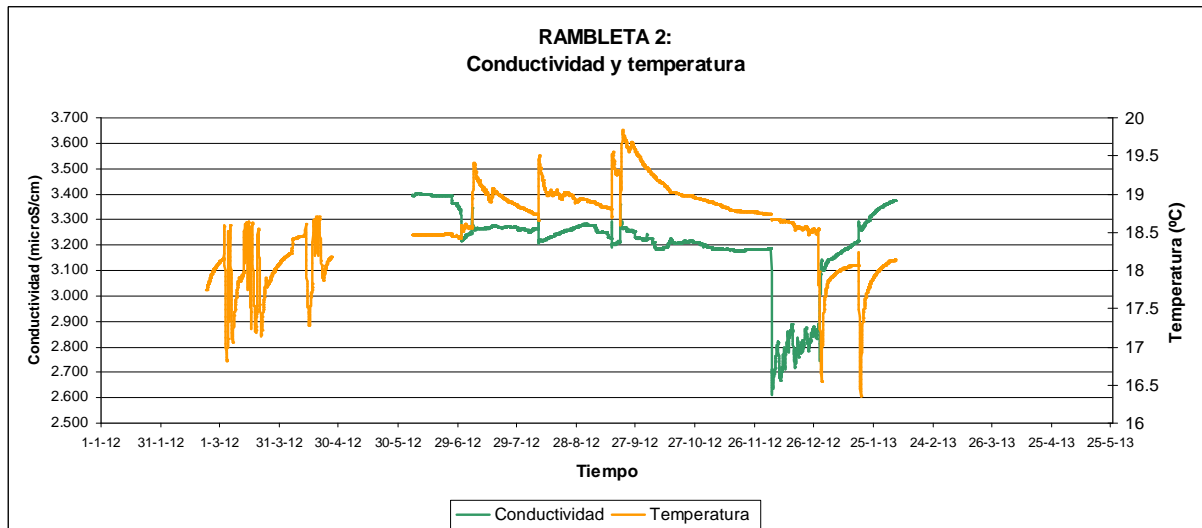
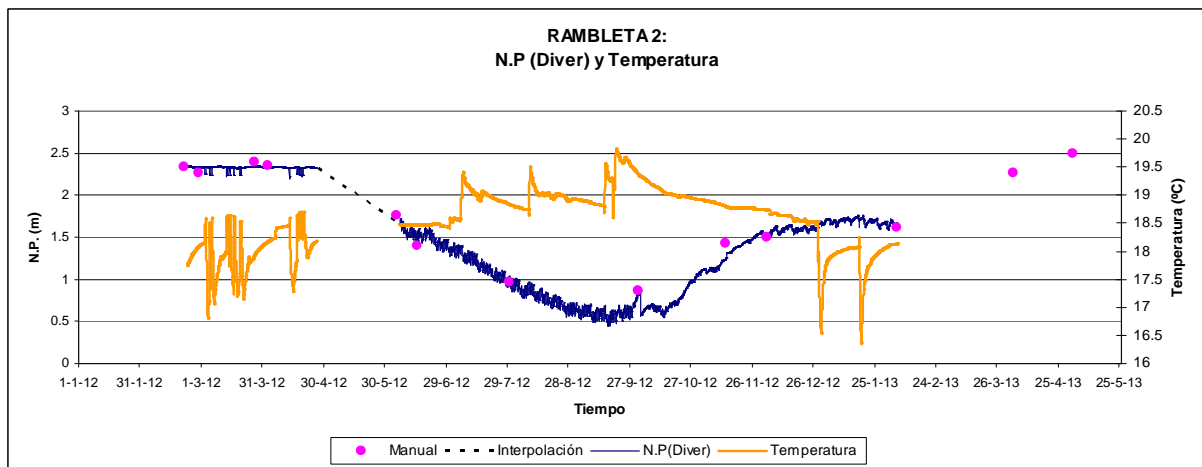
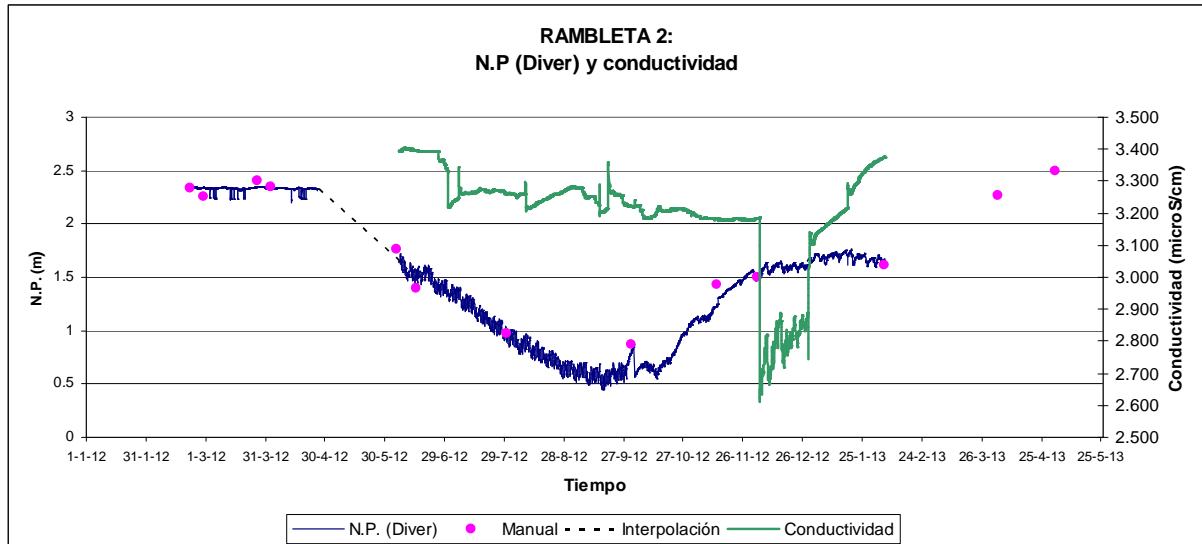
PERIODO MEDICIÓN: De febrero 2012 a febrero 2013

OBSERVACIONES:

- En el periodo comprendido entre febrero 2012 y abril 2012 se instaló un CERA-Diver y posteriormente, a partir de junio 2012, se instaló un CTD-Diver.
- A unos cinco metros del pozo donde está instalado el Diver hay otro pozo, llamado también Rambleta 2, que puntualmente se bombea para su mantenimiento. Además el pozo donde estaba instalado el CTD-Diver tiene conexión directa mediante tuberías con las Grutas de San José, por tanto cuando hay excedentes del río se introduce directamente agua dulce en el pozo, pero de forma muy esporádica.
- Entre finales de abril 2012 y principio de junio 2012 el Diver se instaló de forma incorrecta por tanto los datos obtenidos son erróneos y no se han utilizado. La piezometría utilizada en este periodo es la obtenida de interpolar la última piezometría del periodo que le precede y la primera del periodo posterior.
- Los niveles alcanzan los valores mínimos sobre el 15-20 de septiembre del 2012 (0.5 m s.n.m.); a partir de esta fecha empiezan las lluvias.
- En la gráfica que se observa la conductividad y la temperatura, los cambios bruscos de estos dos parámetros son debidos a los bombeos realizados en el pozo situado a 5 m.



Final Report

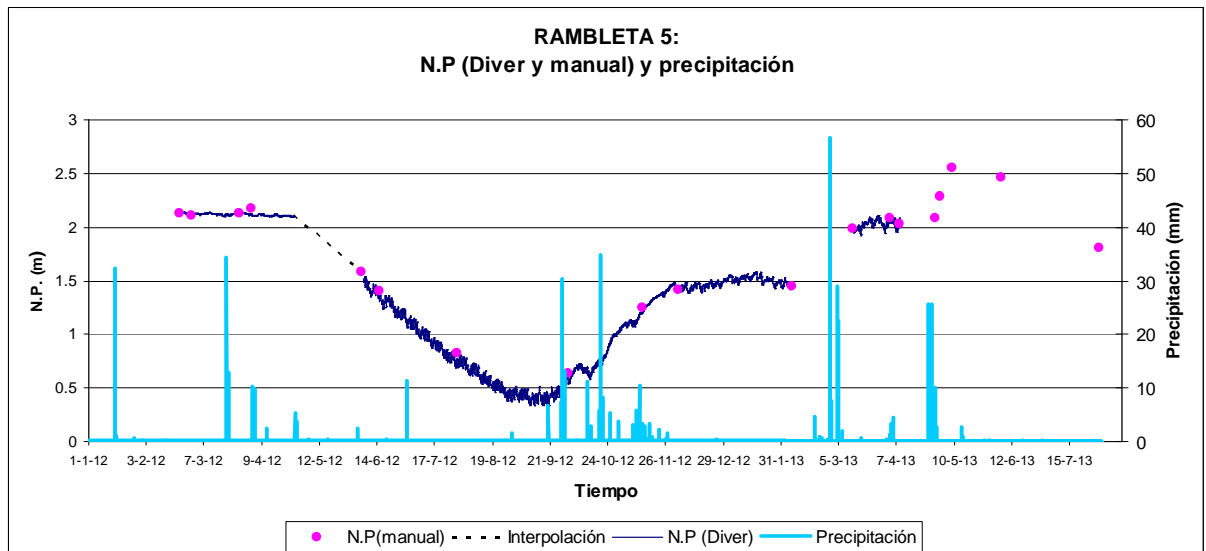


RAMBLETA 5 (Ref. N° 8)

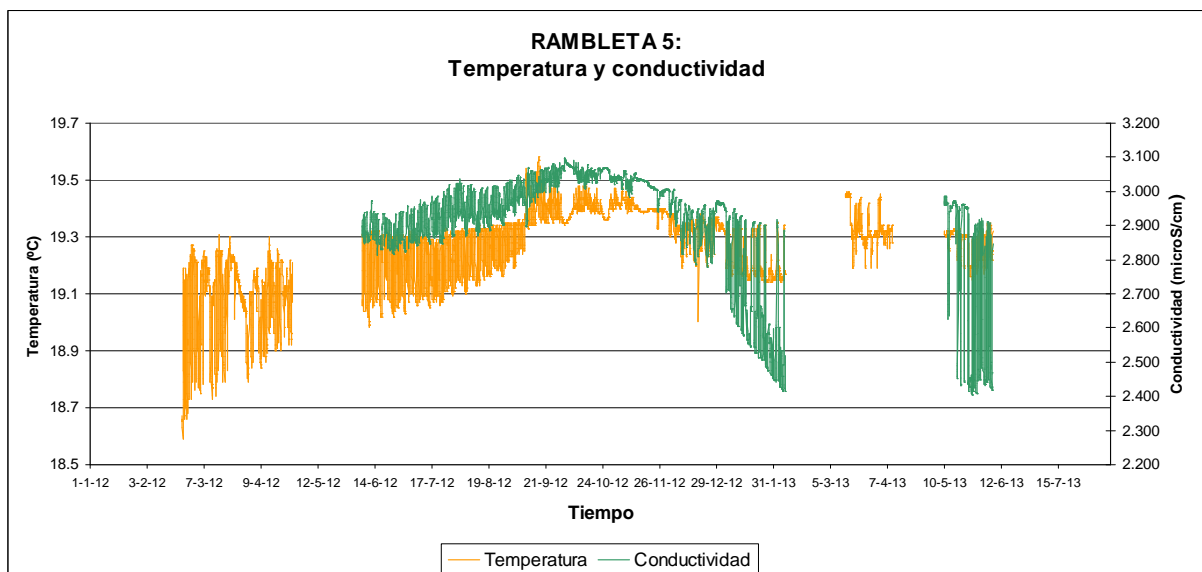
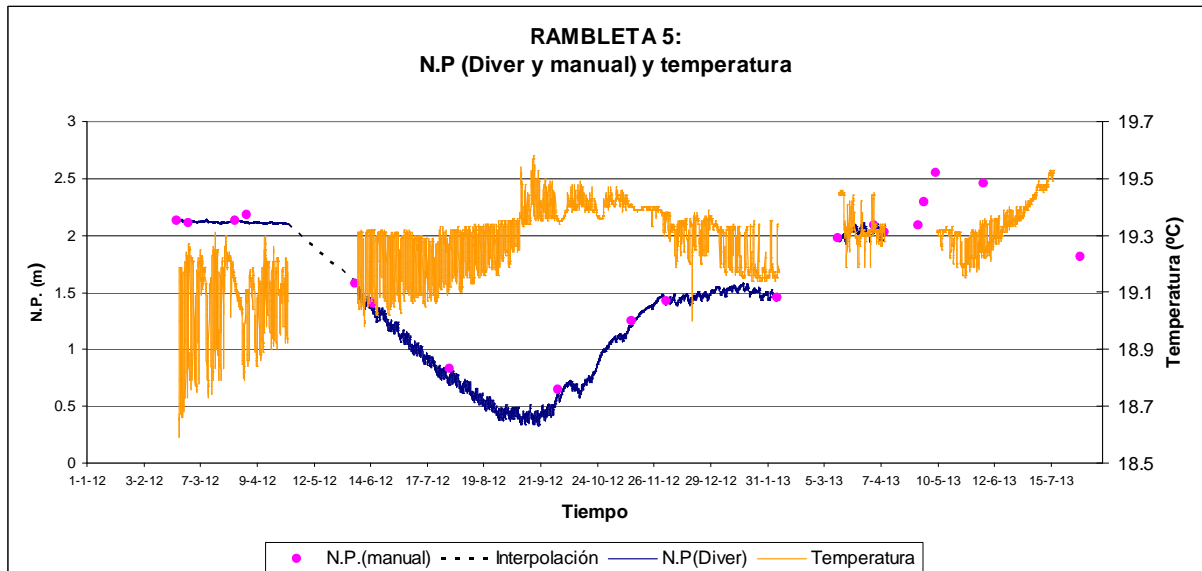
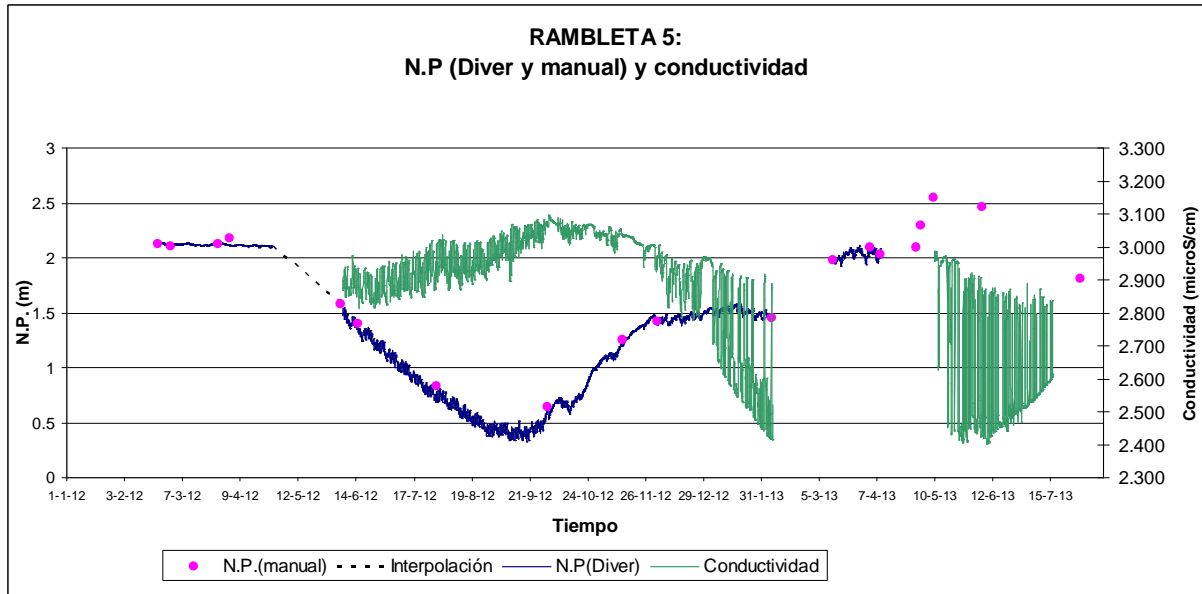
PERIODO MEDICIÓN: De febrero 2012 a julio 2013

OBSERVACIONES:

- Durante el periodo comprendido entre febrero 2012 y abril 2012 se instaló un CERA-Diver y posteriormente un CTD-Diver.
- Entre finales de abril 2012 y principio de junio 2012 el Diver se instaló de forma incorrecta por tanto los datos obtenidos son incorrectos y no se han utilizado. La piezometría utilizada en este periodo es la obtenida de interpolar la última piezometría del periodo que le precede y la primera del periodo posterior.
- La gráfica que relaciona la piezometría con las precipitaciones muestra que la piezometría mínima se dio a mitad de septiembre (15-20 de septiembre) a partir de este momento comienzan las lluvias características de este periodo y la piezometría empezó a aumentar, alcanzándose casi 1,5 m s.n.m. a principio de diciembre 2012. Cabe destacar el aumento de la piezometría en un metro durante los meses de septiembre y noviembre 2012.



Final Report

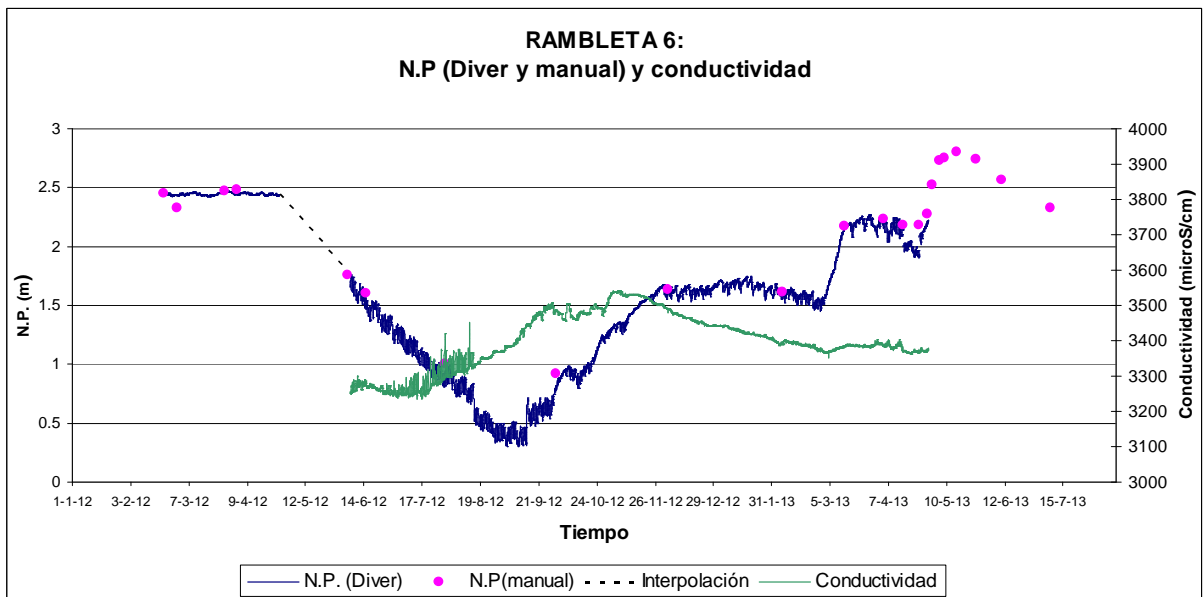
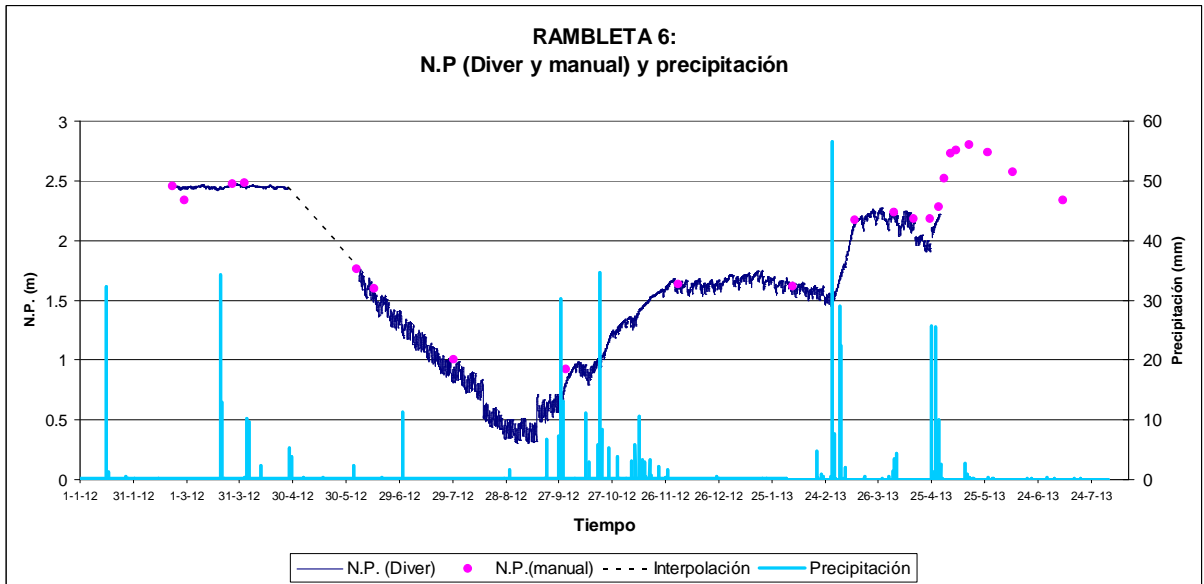


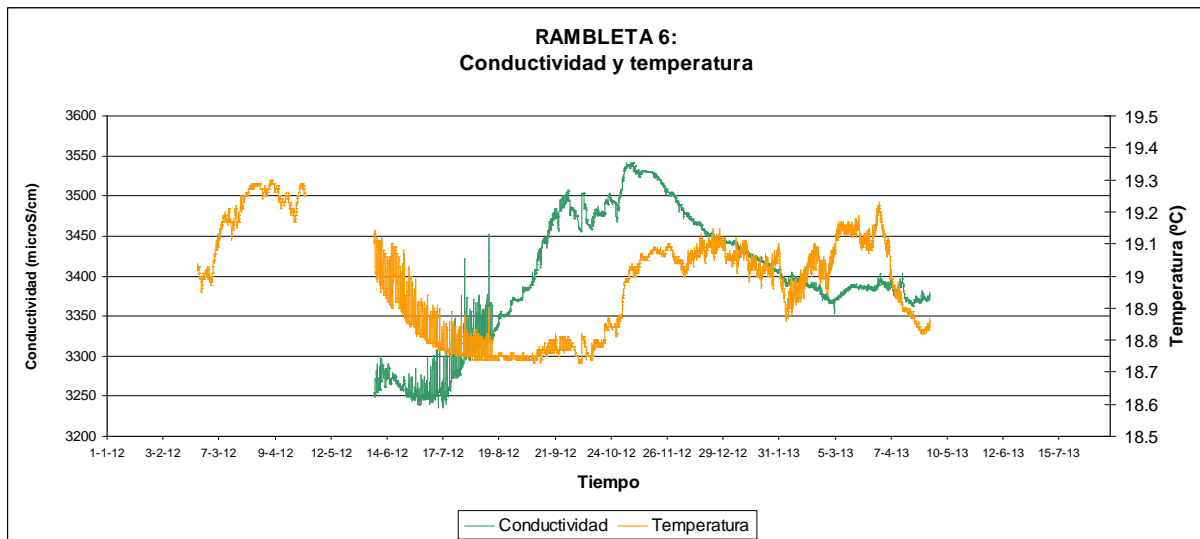
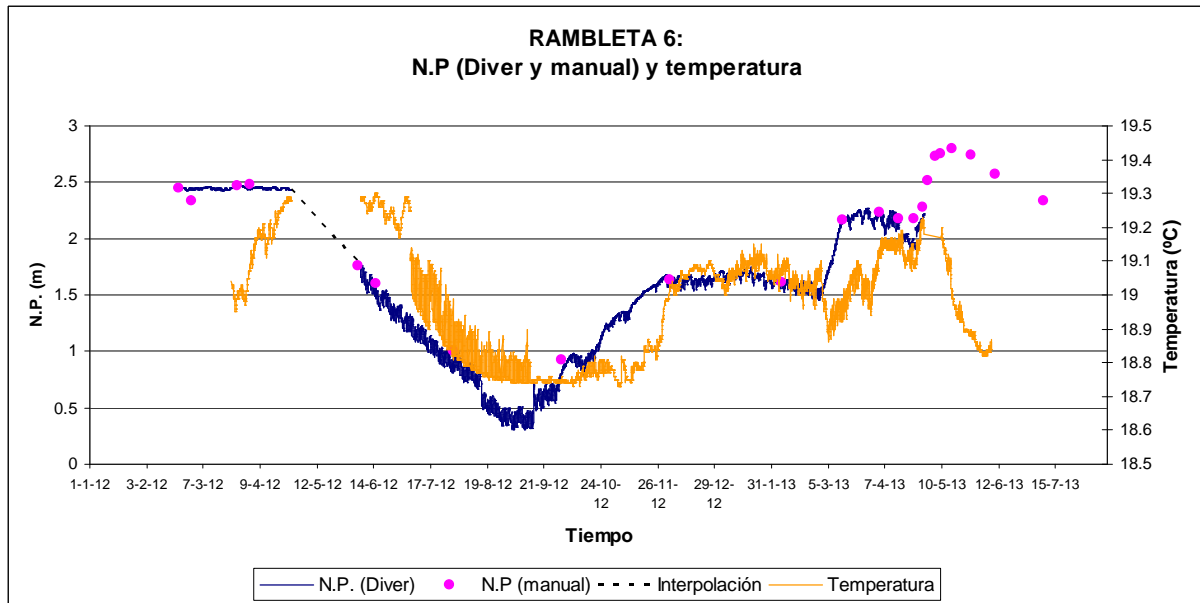
RAMBLETA 6 (Ref. N° 15)

PERIODO MEDICIÓN: De febrero 2012 a mayo 2013

OBSERVACIONES:

- Durante el periodo comprendido entre febrero 2012 y abril 2012 se instaló un CERA-Diver y posteriormente (junio 2012) se instaló un CTD-Diver. A partir de mayo 2013 el Diver comenzó a dar problemas y se estropeó, por tanto a partir de esta fecha ya no existen datos tomados por el dispositivo.
- Entre finales de abril 2012 y principio de junio 2012 el Diver se instaló de forma incorrecta y los datos obtenidos son erróneos. La piezometría utilizada en este periodo es la obtenida de interpolar la última piezometría del periodo que le precede y la primera del periodo posterior.
- En la gráfica comparativa entre la piezometría y la conductividad, parece observarse que cuando la piezometría aumenta la conductividad también pero con un desfase.



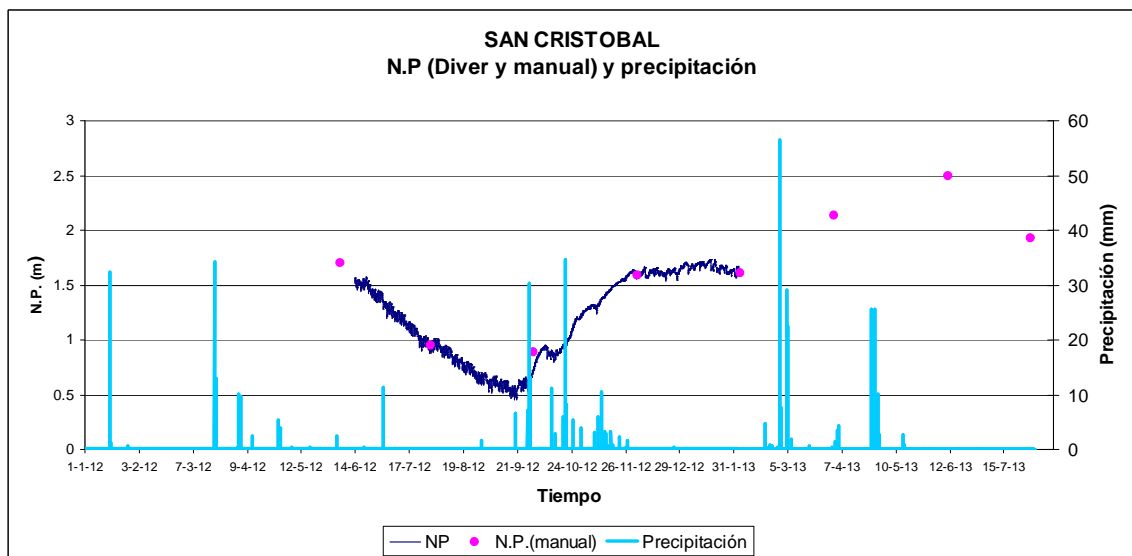


SAN CRISTOBAL (Ref. N° 9)

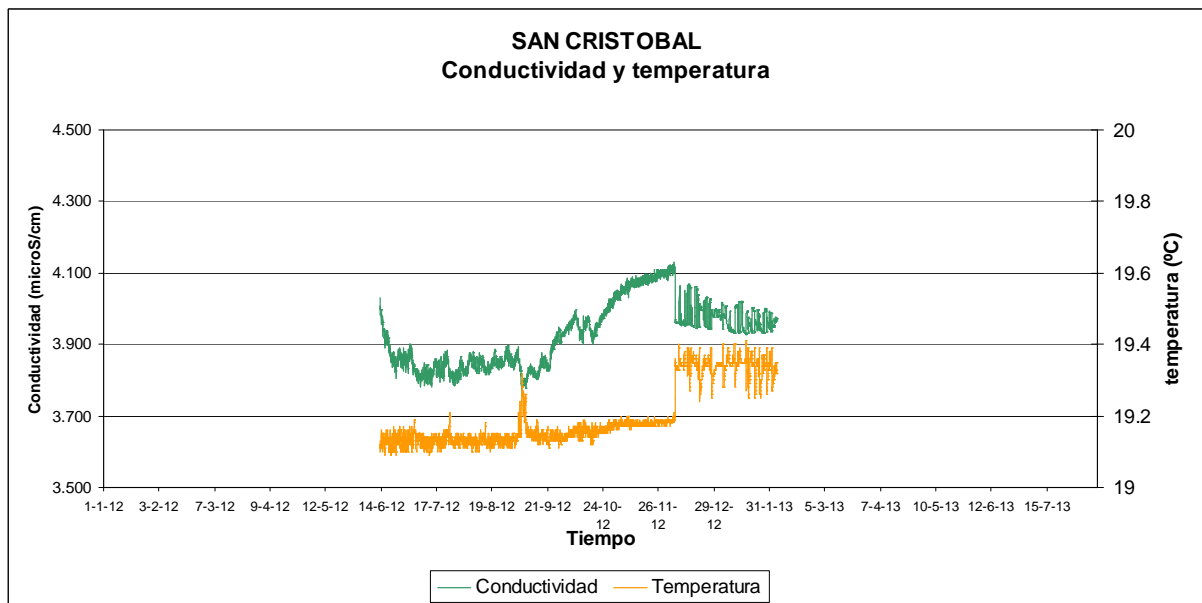
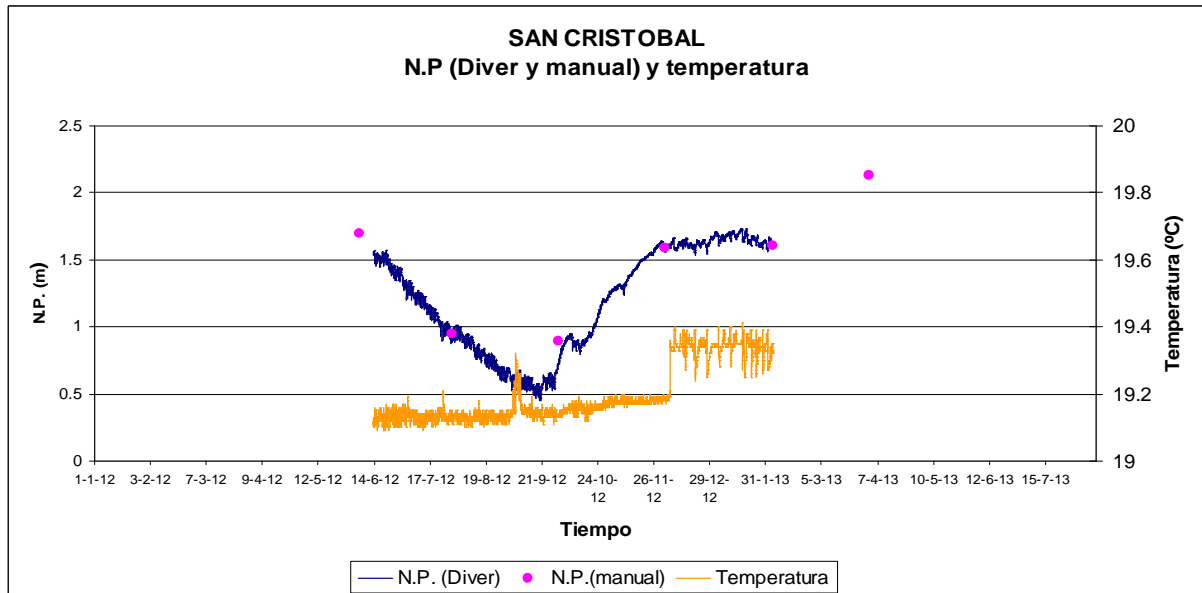
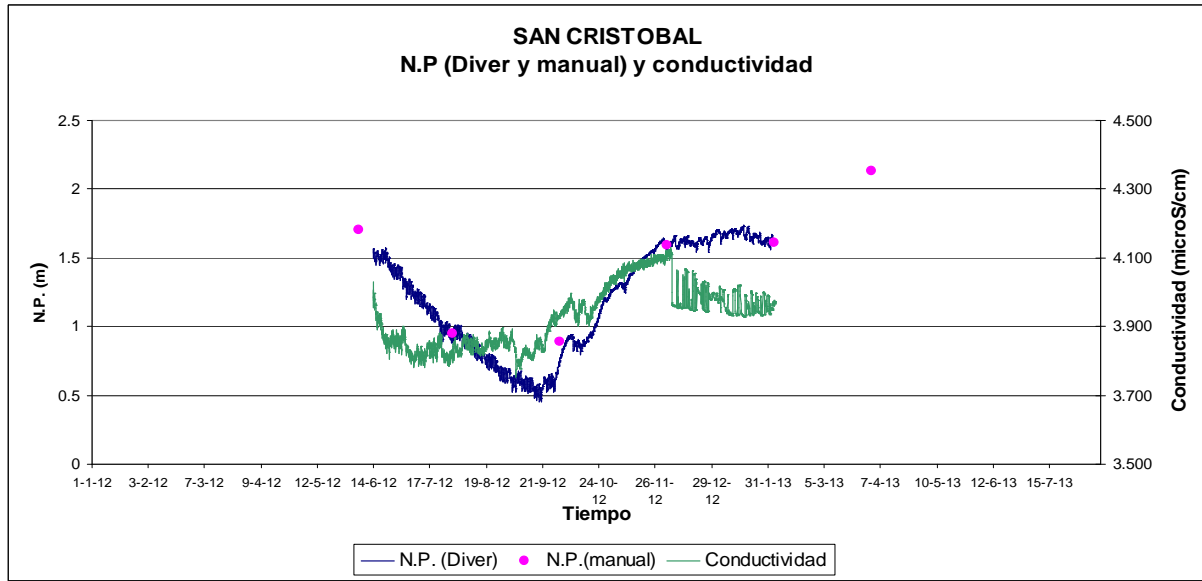
PERIODO MEDICIÓN: De junio 2012 a febrero del 2013

OBSERVACIONES:

- Se ha instalado un CTD-Diver y puesto en funcionamiento a partir del 13 de junio 2012.
- En la gráfica que relaciona el N.P (tanto el manual como el calculado por el Diver) con la precipitación, se observa que a partir de las lluvias del 28 de septiembre 2012 y del 20 de octubre la piezometría se recupera. Debido a las lluvias acaecidas a finales de febrero principio de marzo 2013 el N.P supera casi un metro al nivel de junio del 2012 que era aproximadamente de 1,5 m s.n.m. Además, en este caso se puede apreciar que desde junio 2012 hasta finales de septiembre del 2012 la curva característica del N.P. presenta una morfología de dientes de sierra debido a los bombeos cercanos que hay en funcionamiento, pero a partir de esta fecha, la gráfica se suaviza debido al cese de los mismos.
- En cuanto al comportamiento de la conductividad, en el primer periodo (desde junio a finales de septiembre 2012) se podría decir que la CE es constante con tendencia a descender, en cambio a partir del final de septiembre 2012 ésta aumenta con el aumento de la piezometría.
- La temperatura aumenta (de 19,1 °C a 19,2 °C), con un pico de valores máximos a principios de septiembre (19,3 °C).
- El salto brusco que hay tanto en la CE como en la temperatura a principios de diciembre de 2012 es debido al cambio de profundidad del dispositivo, pasa a soportar una columna de agua de 10 m a una columna de 5 m y las características del agua son diferentes.



Final Report

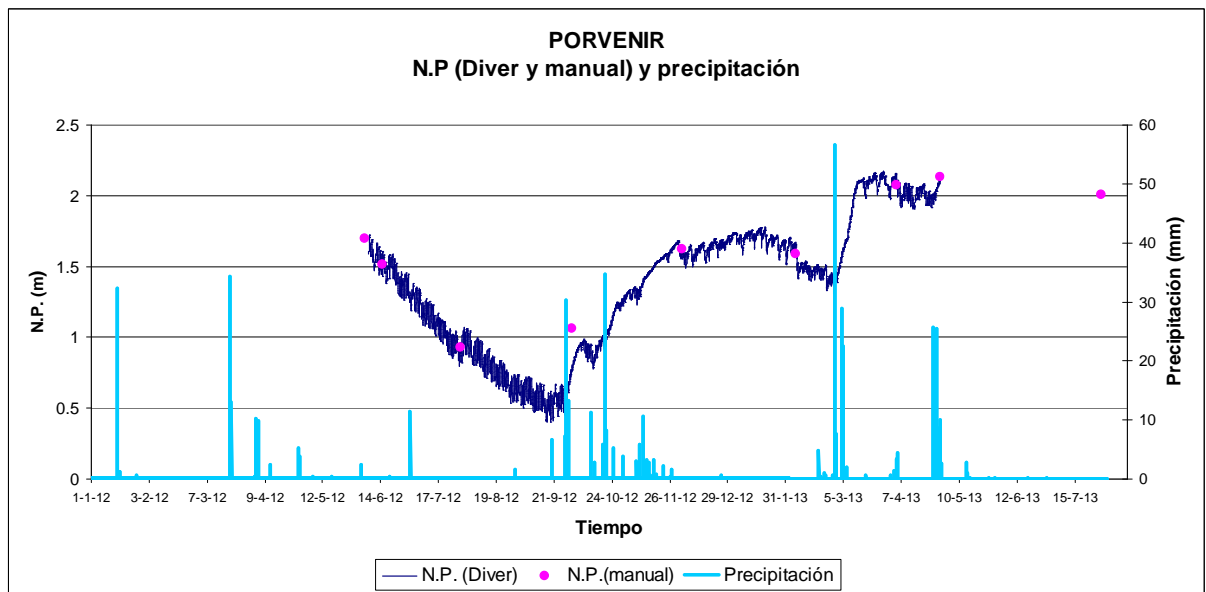


PORVENIR (Ref. N° 13)

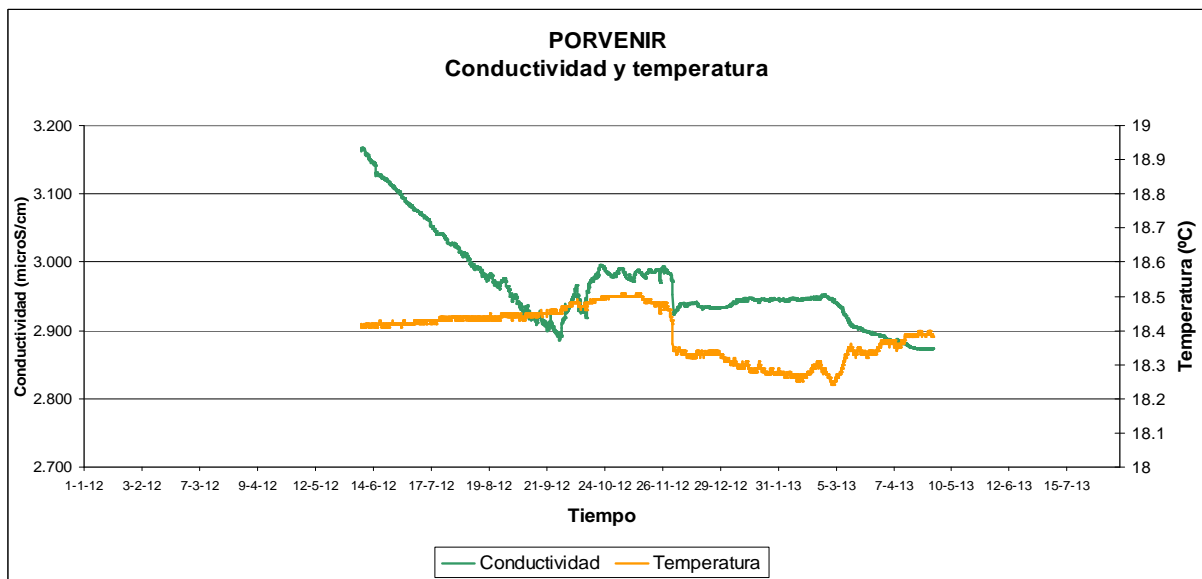
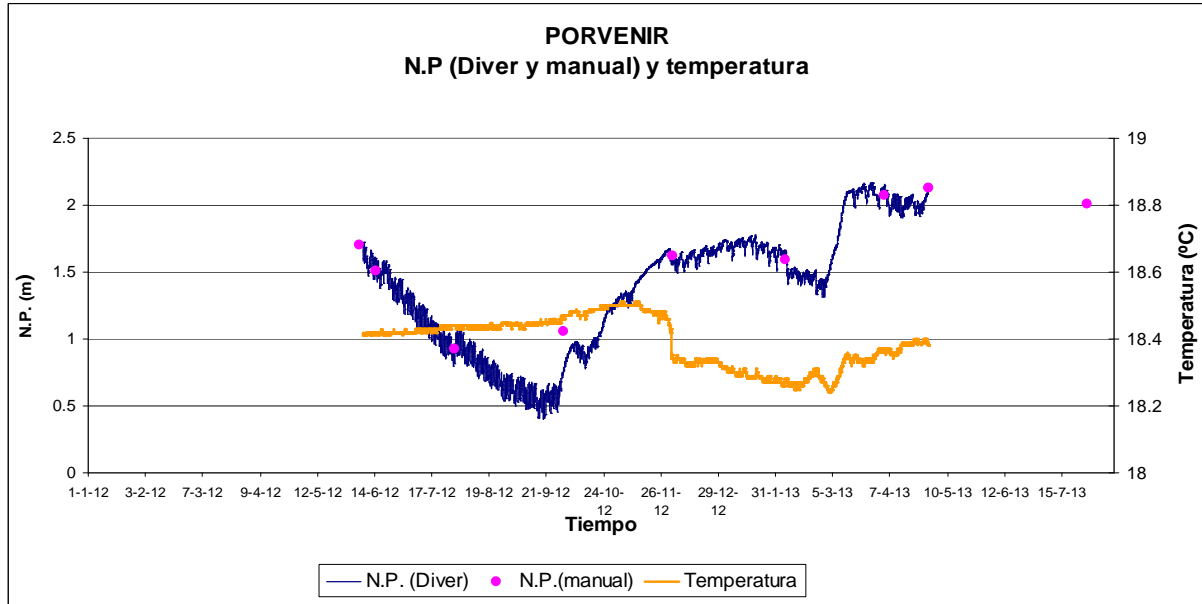
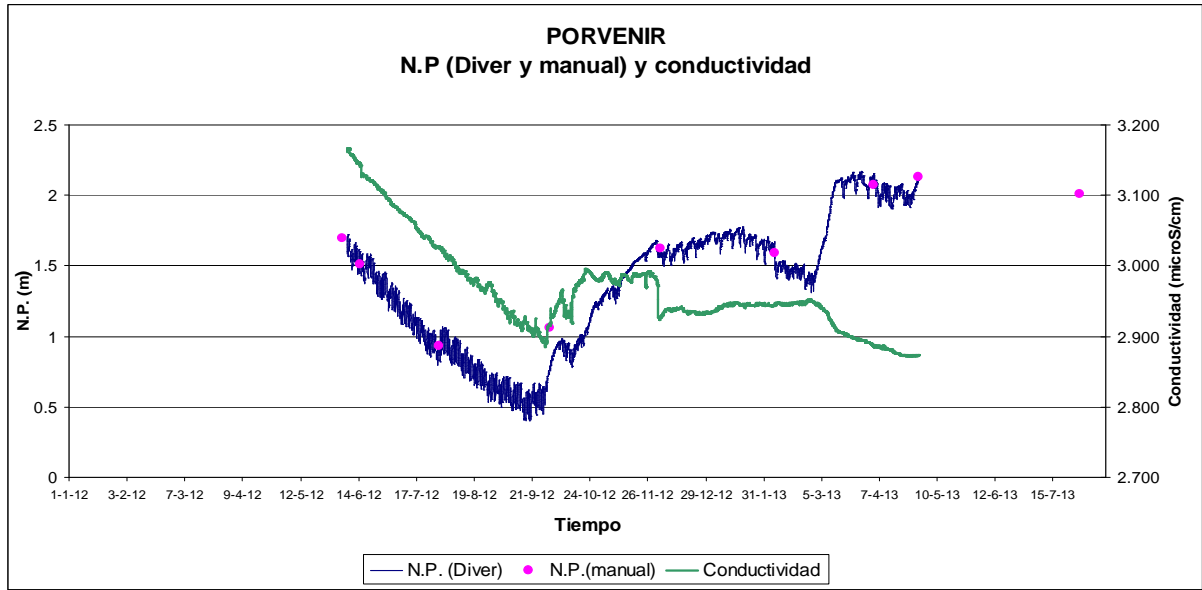
PERIODO MEDICIÓN: De junio 2012 a abril 2013

OBSERVACIONES:

- Se instaló un CTD-Diver el 7 de junio del 2012.
- En la gráfica que relaciona el N.P. con las precipitaciones se observa que la piezometría va descendiendo, de forma más o menos continua, hasta alcanzar los mínimos durante la primera quincena de septiembre (N.P. de 0.4 m s.n.m.). A partir de la segunda quincena de septiembre tienen lugar varios episodios de precipitaciones abundantes y la piezometría empieza a recuperarse.
- En cuanto al comportamiento de la conductividad (gráfica que relaciona la piezometría con la conductividad) se puede observar que ésta, a grandes rasgos, sigue la misma tendencia que la piezometría hasta que se dieron las precipitaciones finales de septiembre 2012 y el comportamiento cambió sin seguir un patrón.
- En este caso se puede observar claramente como el comportamiento de la CE y la temperatura es diferente cuando se cambió el Diver de profundidad y se subió 5 metros a principios de diciembre.



Final Report

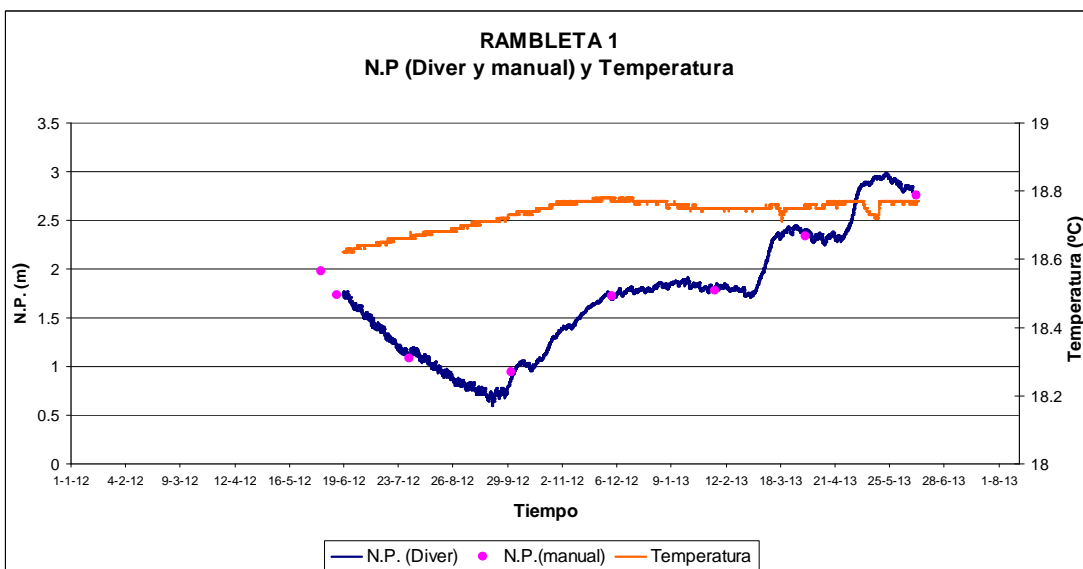
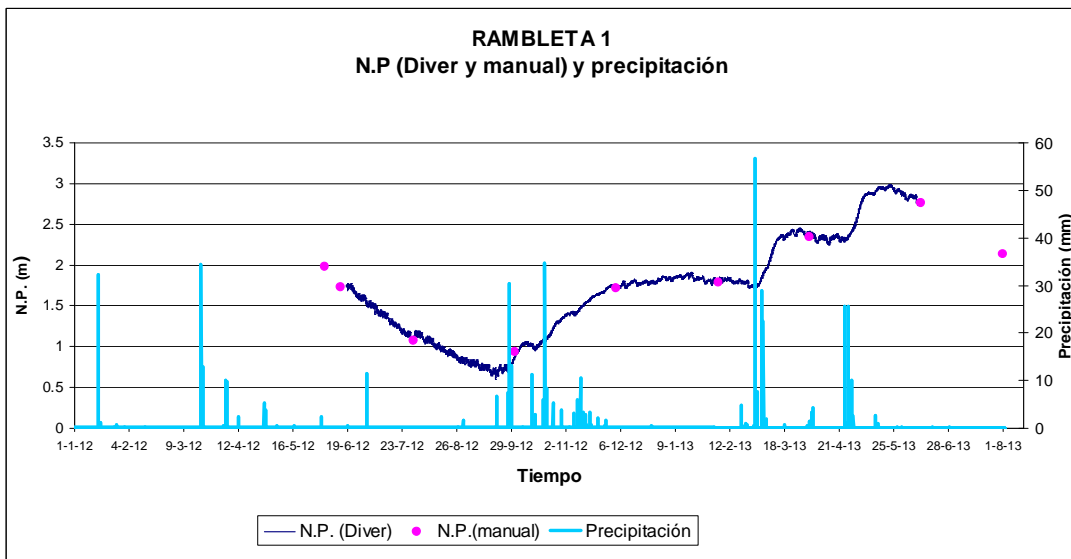


RAMBLETA 1 (Ref. N° 5)

PERIODO MEDICIÓN: De junio 2012 a junio del 2013

OBSERVACIONES:

- Se instaló un CERA-Diver el 18 de junio del 2012
- Como ocurre en todos los piezómetros instalados, a medida que va pasando el tiempo la piezometría va descendiendo hasta alcanzar el mínimo en la segunda quincena de septiembre 2012, a partir de ese momento se observan las primeras precipitaciones con episodios importantes y la piezometría empieza a recuperarse.
- La temperatura aumenta durante todo el periodo representado aproximadamente 0.2 °C.

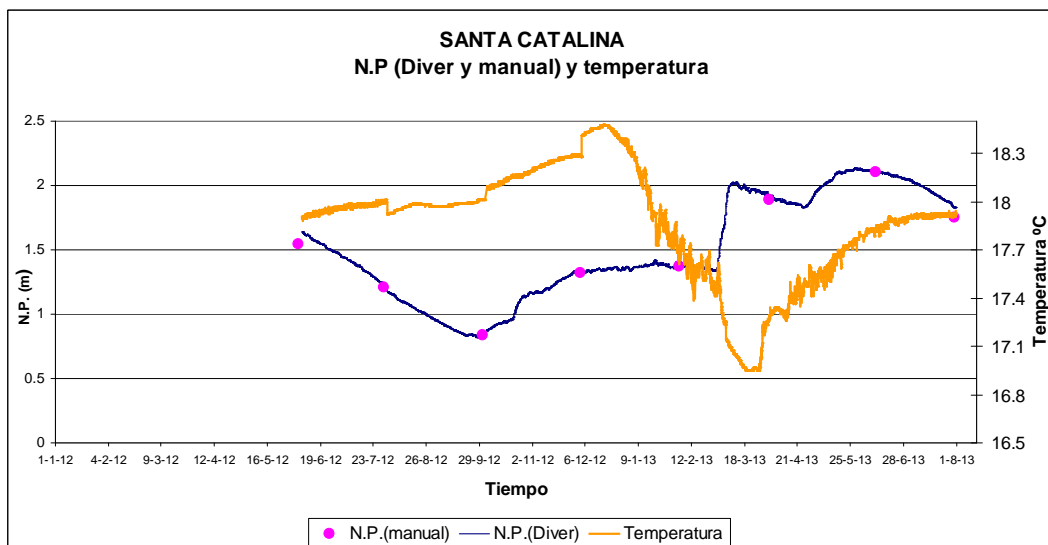
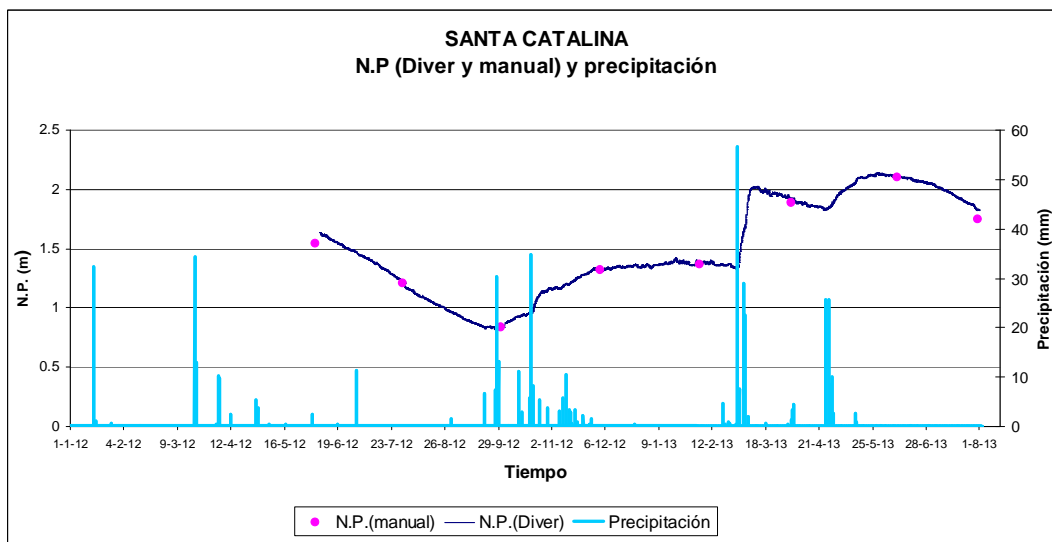


SANTA CATALINA (Ref. N° 25)

PERIODO MEDICIÓN: De junio 2012 a Julio 2013

OBSERVACIONES:

- Se instaló un CERA-Diver el 7 de junio del 2012 y en la actualidad sigue midiendo.
- En este caso (gráfica que relaciona las precipitaciones con el N.P.), se observa que desde que se instaló el Diver hasta el 28 de septiembre el N.P. desciende, alcanzándose en dicha fecha el mínimo (0.8 m s.n.m). A partir de las lluvias del 28 de septiembre éste empieza a recuperarse. Las precipitaciones de finales de febrero principios de marzo del 2013 fueron aproximadamente 117 mm (www.ivia.es), el acuífero en esta zona reacciona rápidamente y el N.P. aumenta más de 0.5 m en pocos días.

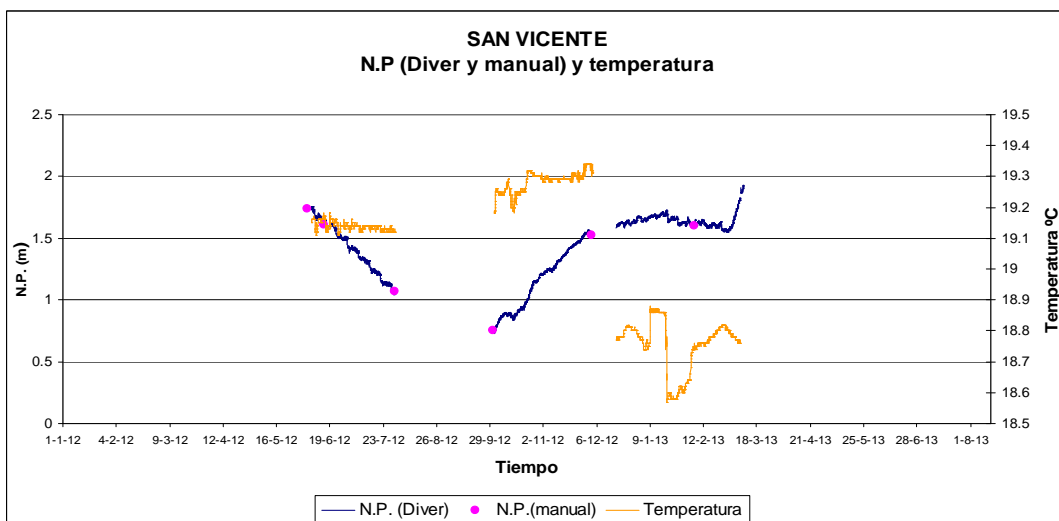
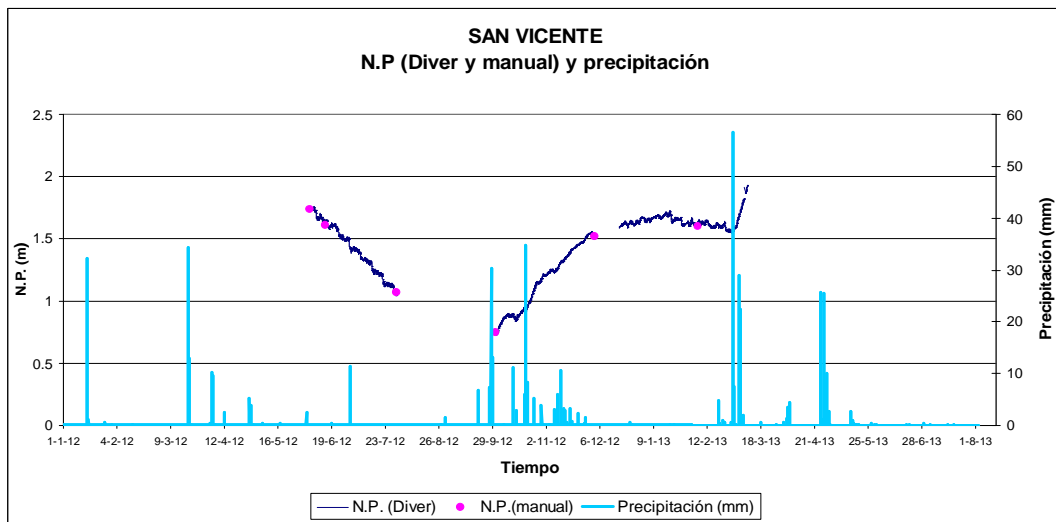


SAN VICENTE (Ref. N° 20)

PERIODO MEDICIÓN: De junio 2012 a marzo 2013

OBSERVACIONES:

- Se instaló un CERA-Diver el 7 de junio del 2012
- Entre julio 2012 y octubre 2012 el dispositivo se instaló de forma indebida por lo tanto los datos obtenidos no son correctos y por lo tanto la gráfica no es continua.
- Este pozo tiene conexión, mediante unas tuberías, con el barranco Belcaire. Durante las lluvias de finales de febrero 2013 y principios de marzo 2013, que como ya se ha comentado fueron muy copiosas, se introdujo agua mediante dicha tubería en el pozo, en este caso llevaba muchas algas, las cuales, además de inutilizar el pozo por la costra de algas que se formó, rompieron el dispositivo.
- La temperatura da muy poca información.

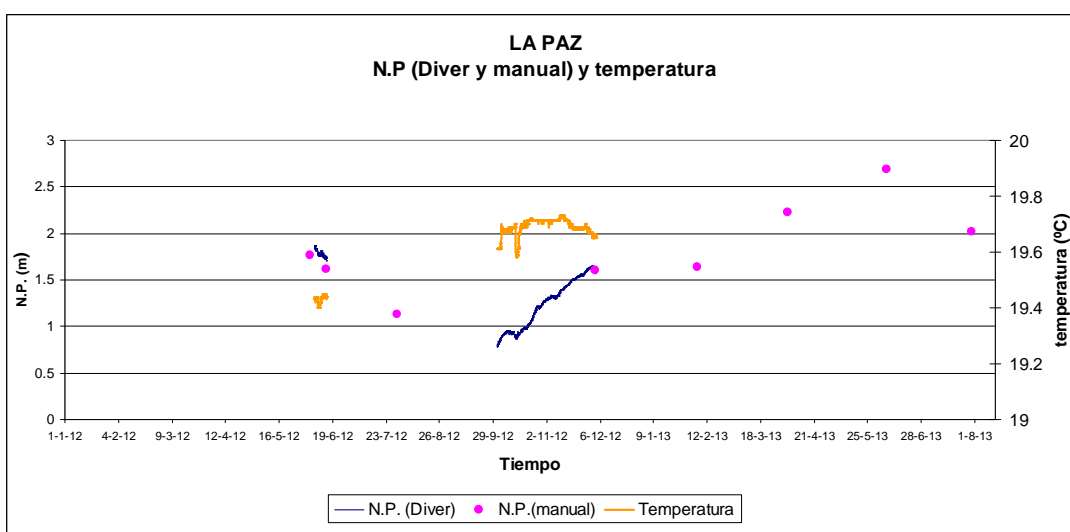
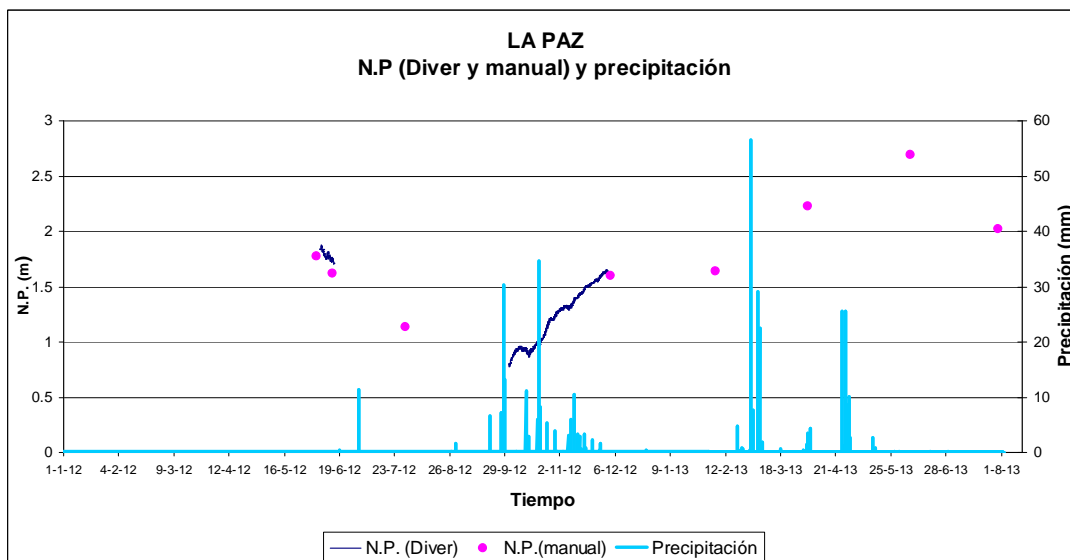


LA PAZ (Ref. N° 19)

PERIODO MEDICIÓN: De junio 2012 a diciembre 2012

OBSERVACIONES:

- Se instaló un CERA-Diver el 6 de junio del 2012
- Durante el periodo comprendido entre junio 2012 y octubre 2012 el Diver estuvo mal instalado y los datos obtenidos fueron erróneos por lo tanto no se han utilizado para estudiar la evolución del nivel piezométrico.
- En la campaña de febrero 2013, cuando fuimos a descargar los datos del dispositivo, se observó que alguien ajeno a la Cooperativa había entrado en el pozo, había robado material y la cuerda que mantenía el Diver dentro del pozo la había cortado, por lo tanto, solamente tenemos datos de este dispositivo hasta la ultima descarga realizada en diciembre 2012.

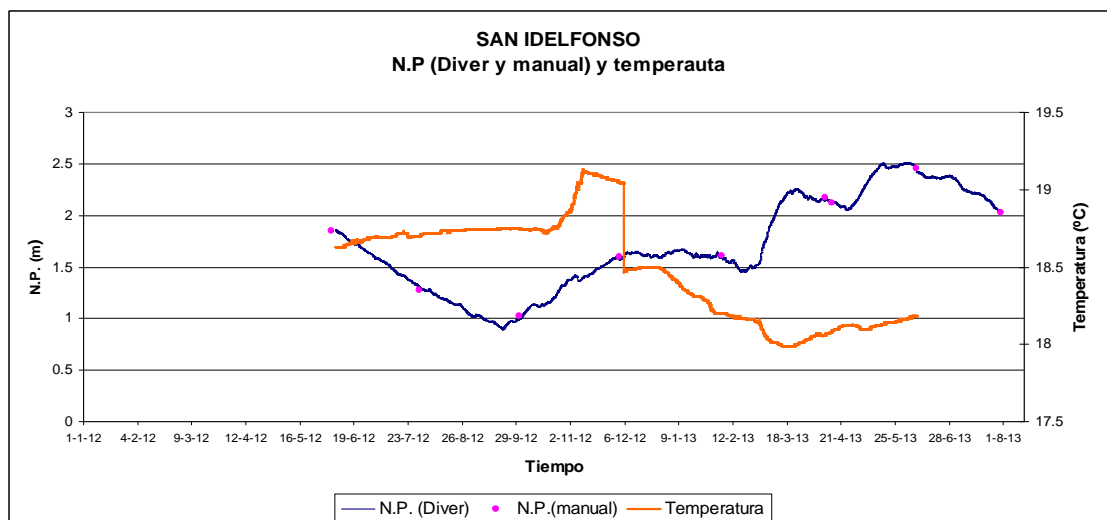
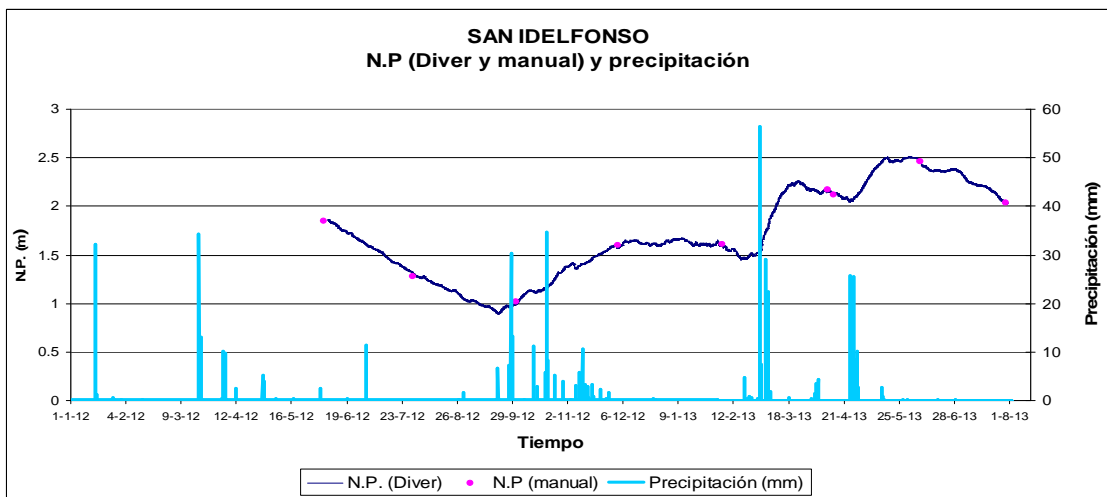


SAN IDELFONSO (Ref. N° 26)

PERIODO MEDICIÓN: De junio 2012 a julio 2013

OBSERVACIONES:

- Se ha instalado un CERA-Diver a partir del 7 de junio del 2012. En la actualidad sigue midiendo.
- Se observa, en la gráfica que representa el N.P. frente a la precipitación, que la piezometría desciende hasta finales de septiembre que es cuando comienzan las precipitaciones y a partir de este instante el N.P empieza a recuperarse. En junio 2013 el nivel piezométrico había superado al nivel existente el junio del 2012 en más de 0.5 metros.
- La temperatura se mantiene constante desde principios de junio hasta el 20 de octubre 2012. A partir de este momento, que llovieron 33.74 mm/día, la temperatura aumentó casi 0.5 °C en 20 días. La temperatura presenta un salto brusco a principios de diciembre, debido al cambio de profundidad del dispositivo.

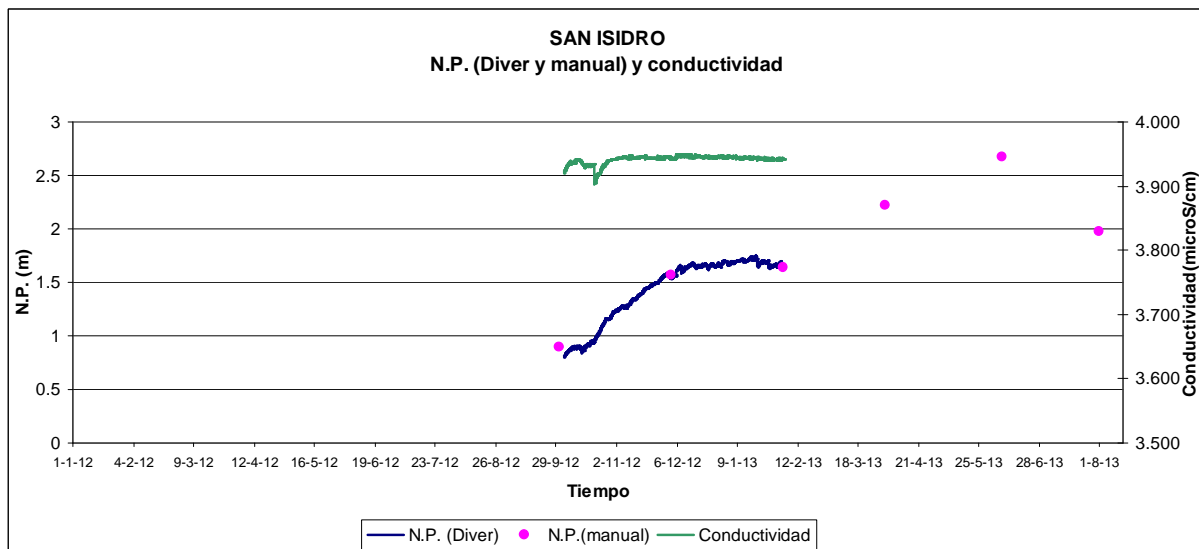
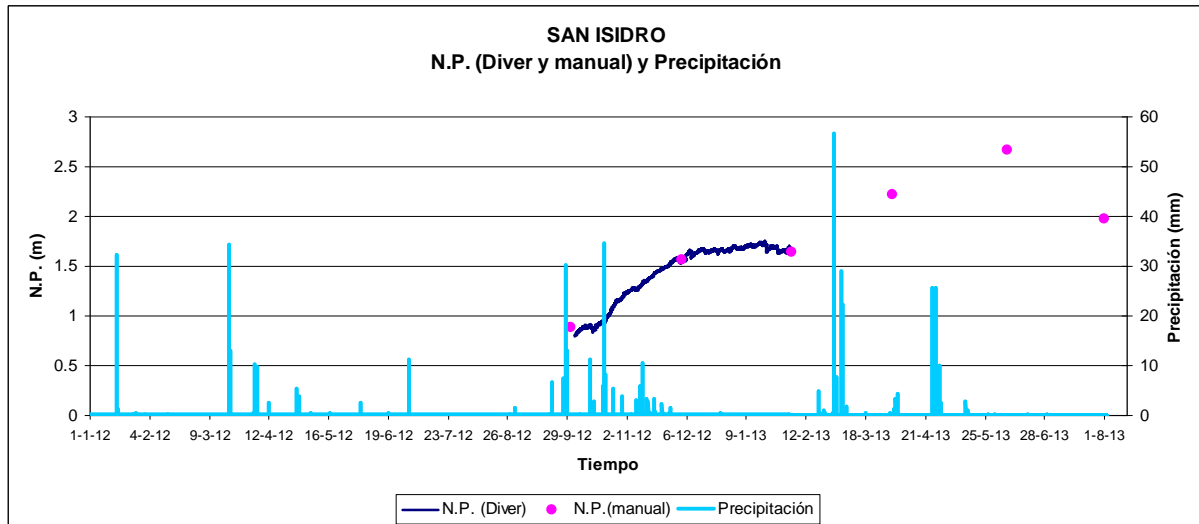


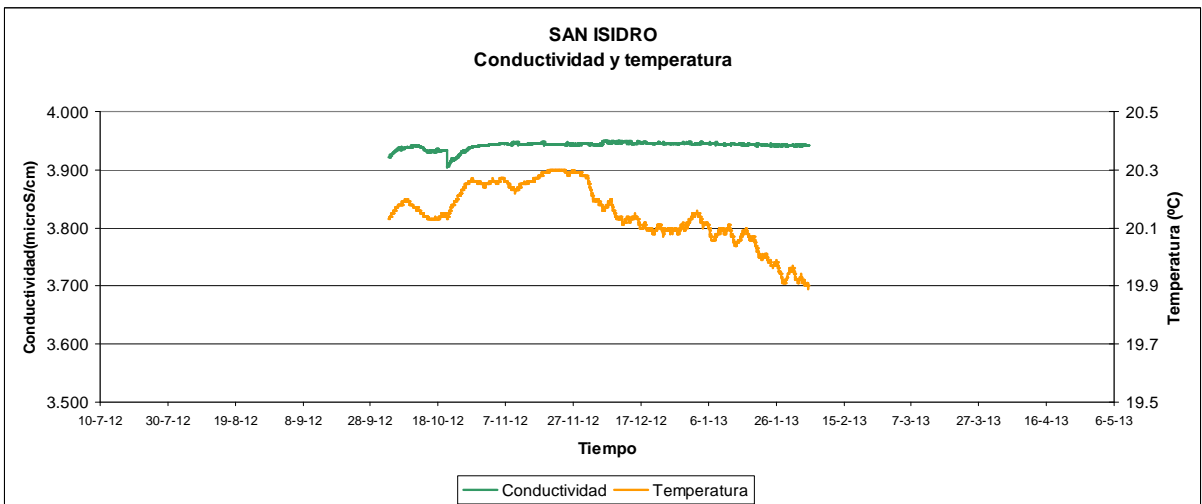
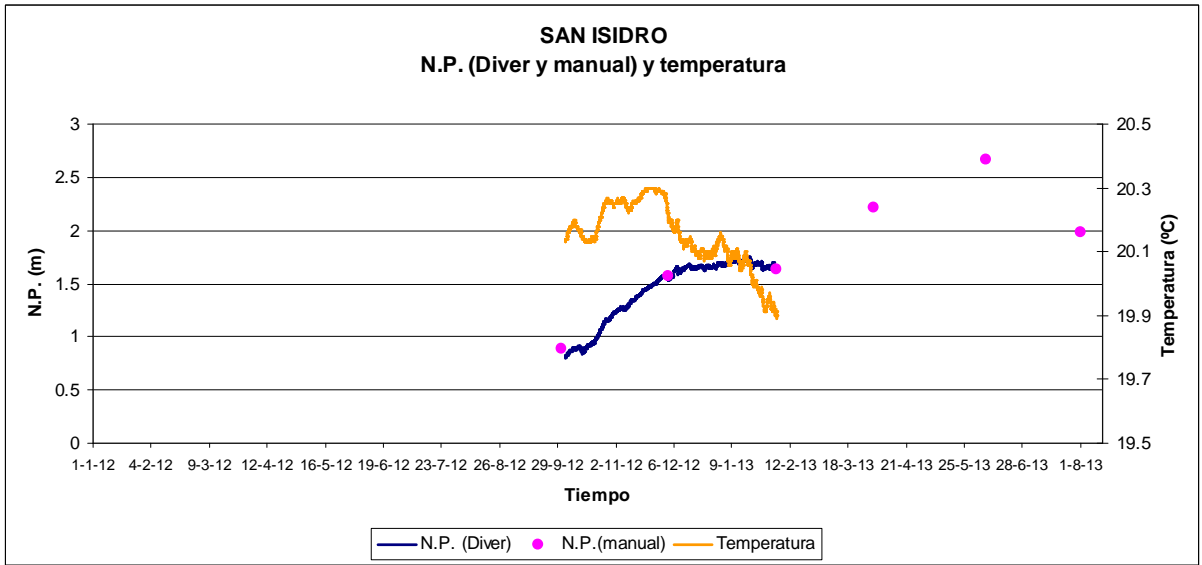
SAN ISIDRO (Ref. N° 21)

PERIODO MEDICIÓN: De octubre 2012 a febrero 2013

OBSERVACIONES:

- Se instaló un CTD-Diver el 3 de octubre del 2012.
- En este caso, el Diver se instaló después de las precipitaciones del 28 de septiembre, por tanto sólo se observa el aumento de las piezometrías.
- La temperatura en este pozo del agua es elevada en comparación con el resto de puntos de observación, el rango de temperaturas va entre 20,1°C y 20,3 °C



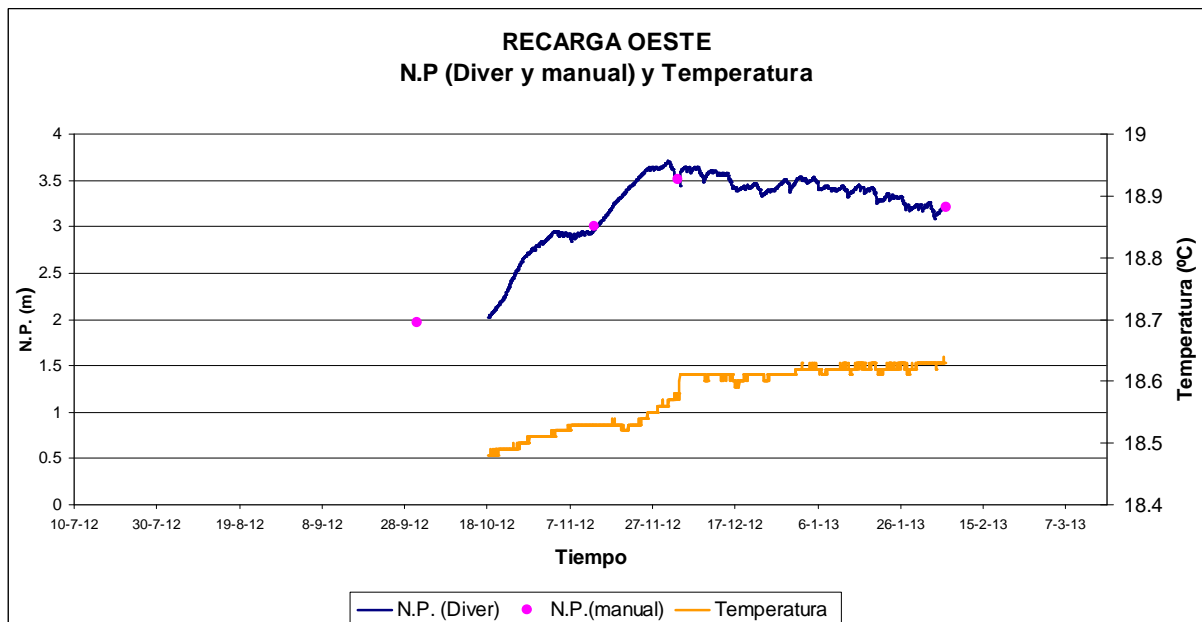
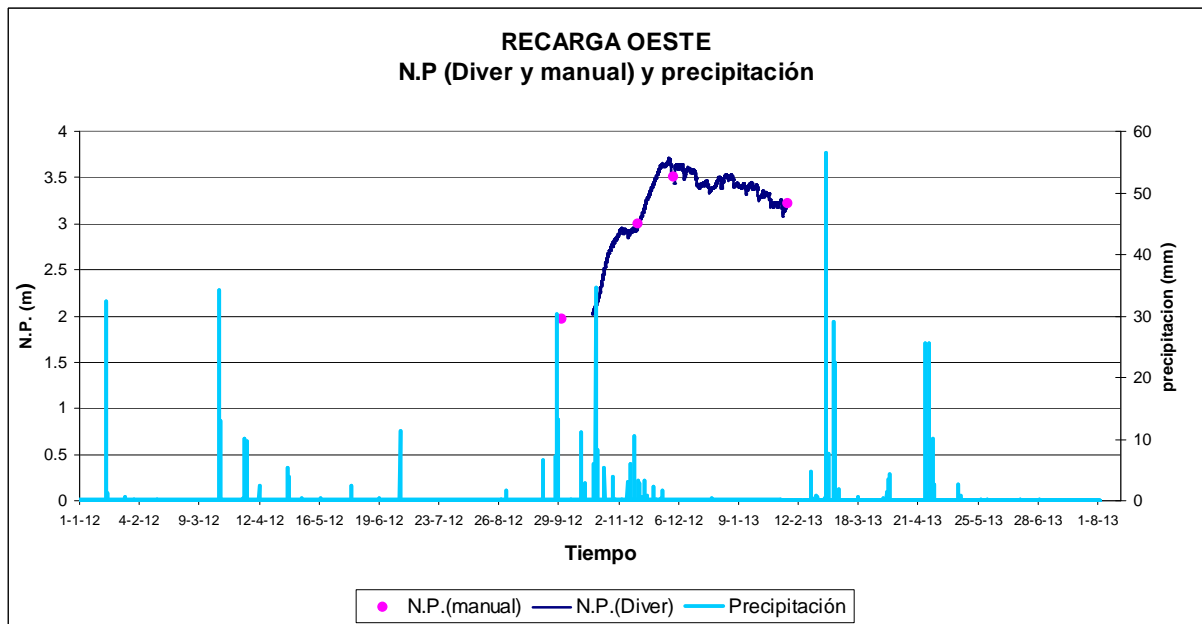


RECARGA OESTE (Ref. N° 33)

PERIODO MEDICIÓN: De octubre 2012 a febrero 2013

OBSERVACIONES:

- Se instaló un CTD-Diver el 18 de octubre del 2012. En febrero se desinstaló el Diver debido a que se colocó el codo del pozo para realizar la prueba piloto de recarga, que finalmente se llevo a cabo en abril 2013.
-



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