

2002-2012, UNA DÉCADA DE RECARGA GESTIONADA. ACUÍFERO DE LA CUBETA DE SANTIUSTE (CASTILLA Y LEÓN)

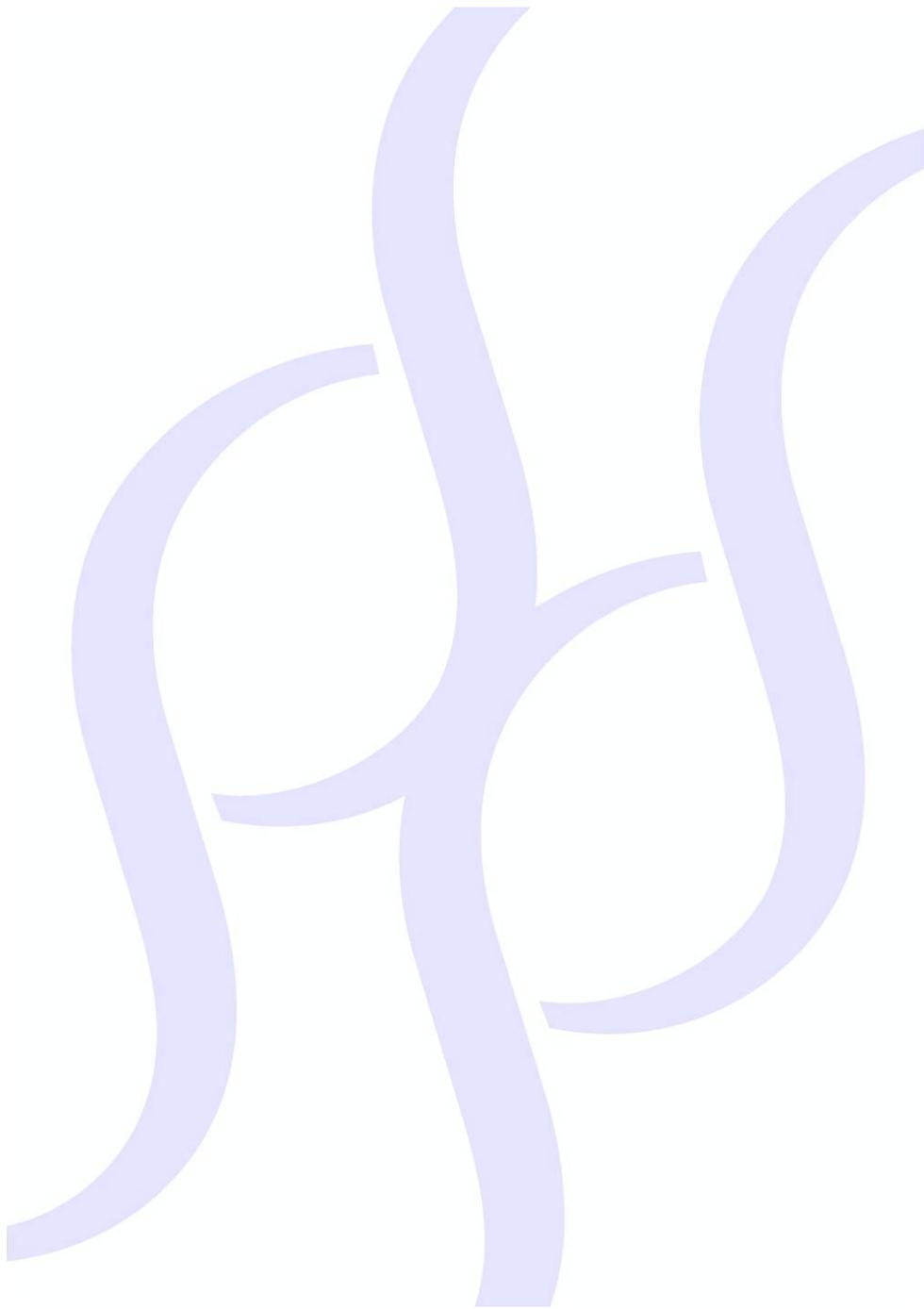


Enrique Fernández Escalante / Grupo Tragsa





Instantes de la obra. 2001 y 2002. Fotos por cortesía de Tragsa Segovia



Serie *Hidrogeología hoy*. Título 7

2002-2012, UNA DÉCADA DE RECARGA GESTIONADA. ACUÍFERO DE LA CUBETA DE SANTIUSTE (CASTILLA Y LEÓN)

Abril de 2014

Publicación relacionada con los proyectos de I+D+i:

DINA-MAR. *Depth investigation for New Activities on Managed Aquifer Recharge*

MARSOL. *Demonstrating Managed Aquifer Recharge as a Solution to Water Scarcity and Drought* (project related background)



“La clave es el almacenamiento”

DINA-MAR. UNESCO-MAR working Group, IGSTH 2009

Autor: A. Enrique Fernández Escalante (Grupo Tragsa)

Revisado por:

Andrés Díez Herrero (Instituto Geológico y Minero de España)
Víctor del Barrio Beato (Confederación Hidrográfica del Duero)



13/03/2009

Serie: *Hidrogeología hoy*

Título 7:

2002-2012, UNA DÉCADA DE RECARGA GESTIONADA. ACUÍFERO DE LA CUBETA DE SANTIUSTE (CASTILLA Y LEÓN)

Autor: A. Enrique Fernández Escalante, GRUPO TRAGSA. 2014.

ISBN-10: 84-616-8910-0. ISBN-13: 978-84-616-8910-1. Nº REG.: 201420693.

Depósito legal: M-8181-2014

Edita e imprime: MÉTODO GRÁFICO. C/ Albasanz, 14 B. 28.037, Madrid.

<http://www.metodografico.com/shg.htm> / metodografico@metodografico.com

Tf. 91 3045332. Fax: 91 3271031

Reservados todos los derechos ©.

0. PRESENTACIÓN

Presentamos el séptimo título de la serie *Hidrogeología hoy*, planteado, en esta ocasión, como un repositorio de información y datos obtenidos del proyecto de I+D+i DINA-MAR, financiado por SEPI y el Grupo Tragsa, y del nuevo proyecto MARSOL (*Demonstrating Managed Aquifer Recharge as a Solution to Water Scarcity and Drought*, FP7, convocatoria Water Inno Demo, 2013), proyecto de I+D+i desarrollado por el Grupo Tragsa como socio de un consorcio de 21 miembros desde enero de 2014.

El libro, además de haber sido escrito con una perspectiva de “hidrogeología histórica”, recopila gran parte de la información disponible sobre uno de los lugares demostrativos de ambos proyectos, de este modo la publicación tiene carácter de “*Project-related background*”. Constituye así, un repositorio en el que guardar la historia de la hidrogeología de esta comarca, desde el inicio de las labores de recarga artificial (o mejor recarga gestionada), su puesta en funcionamiento, datos e incluso anécdotas hidrogeológicas, hasta el décimo ciclo de recarga o décimo año hidrológico desde que comenzó la actividad.

A lo largo de todo este período el seguimiento ha sido llevado a cabo por distintas entidades y personas, empezando por la Dirección General de Desarrollo Rural del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), promotor de la obra, el desarrollo de la tesis doctoral del autor y las actividades del proyecto de I+D+i DINA-MAR, que eligió a la “*Cubeta*” como uno de sus laboratorios experimentales en el que estudiar procesos y probar dispositivos. Las medidas de las dos últimas anualidades se llevaron a cabo por el autor de manera personal y sin financiación externa.

El equipo investigador de este proyecto, promotor de la publicación, quiere dejar constancia expresa de su agradecimiento al Grupo Tragsa y a la Sociedad Española de Participaciones Industriales (SEPI) como su accionista principal, por haber posibilitado el mismo, a la Unión Europea, financiadora del proyecto a través de la convocatoria Water Inno-demo 2013 (FP7, GA 619.120), al MAPA (actual Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, MAGRAMA), así como a colaboradores externos que han participado en sus distintas etapas, tales como la Plataforma Tecnológica Española del Agua, la Universidad Complutense de Madrid, la Universidad Alfonso X el Sabio, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), la Confederación (o bien Demarcación, término que alberga dudas sobre su utilización en la actualidad) Hidrográfica del Duero, la Comunidad de Regantes de Santiuste... y la del Carracillo, los Exmos. Ayuntamientos de Santiuste de San Juan Bautista, Coca y Villeguillo (Segovia), etc.

Esperamos y deseamos una buena acogida por parte de la comunidad científica, de la sociedad en general y, muy especialmente, de los habitantes de la “*Cubeta*”, principales protagonistas de esta experiencia.

A. Enrique Fernández Escalante
Abril de 2014

ÍNDICE



1 INTRODUCCIÓN	21
2 CONTEXTO	25
2.1 ÁMBITO GEOGRÁFICO	25
2.2 CLIMATOLOGÍA DE LA ZONA	32
2.3 DEMOGRAFÍA Y PATRIMONIO CULTURAL.....	38
2.3.1 Población.....	38
2.3.2 Vegetación y fauna de la Cubeta	38
2.3.3 Puntos de Interés Natural y agropecuario	40
2.3.4 Patrimonio cultural.....	40
2.4 Marco Geológico E Hidrogeológico	42
2.4.1 Parámetros hidrogeológicos en situación preoperacional	45
2.4.2 Cartografías y perfiles hidrogeológicos en situación preoperacional	46
2.4.3 Manantiales en la Cubeta	51
2.4.4 Balance hídrico en la Cubeta	53
2.4.5 Datos y cálculos hidrogeológicos para el primer ciclo de recarga	54
2.5 Obras Civiles Sobre Hidrogeología Realizadas En La Zona.....	55
2.5.1 Piezómetros perforados en 1999. Primera etapa	55
2.5.2 Piezómetros perforados en 2001/02. Segunda etapa	55
2.5.3 Piezómetros perforados en 2003. Tercera etapa	56
2.6 Descripción De La Obra De Recarga Gestionada.....	58
2.6.1 Descripción detallada del dispositivo	58
2.6.2 Características de los materiales y coeficientes de seguridad según EH-91 ...	66
2.6.3 Cálculo hidráulico para prever el efecto de la apertura de la válvula	66
2.7 Inversión Económica En La Primera Etapa.....	67
3 ANTECEDENTES TÉCNICOS	70
3.1 Recarga Artificial De Acuíferos.....	70
3.2 Trabajos Públicos Previos Sobre Hidrogeología Realizados En La Zona	72
4 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO	
2002/03	78
4.1 Características Generales, Datos Y Cálculos Del Primer Ciclo (Año Hidrológico 2002-03).....	78
4.2 Fluctuación de la capa freática durante las operaciones de recarga artificial. Cuantificación y variaciones en el balance hídrico	82
4.3 Perfiles A Lo Largo Del Canal De Recarga	84
4.4 Ampliación De La Red De Control.....	84
4.5 Análisis de suelos	86
4.6 Calidad de las aguas	88
5 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO	
2003/04	89

5.1 Características Generales, Datos Y Cálculos Del Segundo Ciclo (Año Hidrológico 2003-04)	89
5.2 Instalación De Un Caudalímetro Totalizador	91
5.3 AFOROS SECUENCIALES A LO LARGO DEL CANAL DE RECARGA ARTIFICIAL. CAMPAÑAS DE 2004.	92
5.4 Campañas De Prospección Geofísica	96
5.5 Ampliación Del Canal De Recarga Inicial Hacia El Norte	96
6 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2004/05	99
6.1 Características Generales, Datos Y Cálculos Del Tercer Ciclo (Año Hidrológico 2004-05)	99
6.2 Descripción De Los Nuevos Dispositivos Construidos En El Tercer Ciclo (Años 2004 Y 2005)	100
6.2.1 Construcción de nuevas fosas y balsas	102
6.2.2 Modificación del canal previo (Este)	103
6.2.3 Trazado del nuevo canal (Oeste) y ampliación hacia el norte	104
6.2.4 Actuaciones complementarias	105
6.3 Estudio De La Evolución Del Aire Entrampado Como Consecuencia De Las Labores De Recarga Artificial O Gestionada	105
7 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2005/06	108
7.1 Características Generales, Datos Y Cálculos Del Cuarto Ciclo (Año Hidrológico 2005-06)	108
7.2 Nuevas Obras De Ampliación Y Mejora En Los Dispositivos (Años 2005 Y 2006)	109
7.2.1 Actuaciones en las balsas de infiltración/decantación	109
7.2.2 Actuaciones en los canales de infiltración	110
7.2.3 Actuaciones de interés medioambiental (regeneración hídrica de humedales)	111
7.2.4 Creación de humedales artificiales	113
7.2.5 Obras de mejora	113
7.3 Aforos Secuenciales A Lo Largo Del Canal. Campaña 2006	114
7.4 Estudio De Impacto Y Planificación De Labores De Mantenimiento	115
8 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2006/07	117
8.1 Características Generales, Datos Y Cálculos Del Quinto Ciclo (Año Hidrológico 2006-07)	117
8.2 Nuevas Actuaciones Para La Mejora Y Ampliación De Los Dispositivos	118
8.2.1 Modificaciones en el canal Oeste (Nuevo) y cruce con el AVE	119
8.2.2 Prolongación del canal desde los Llanos del Cuadrón a Llano de Olmedo	120
8.3 Actuaciones Para El Control De Zonas Inundadas Y Estudio De La Profundidad De Alerta	121
8.4 Nuevos Estudios De Los Procesos Colmatantes	122
8.5 Nuevas Campañas De Ensayos De Infiltración	123
9 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2007/08	125
9.1 Características Generales, Datos Y Cálculos Del Sexto Ciclo (Año Hidrológico 2007-08)	125
9.2 Obras De Ampliación Durante El Año Hidrológico 2007/08	127
9.2.1 Detección de impactos y nuevas modificaciones en el canal	130

9.2.2	Actuaciones en la Laguna de la Iglesia	132
9.3	Nuevos Estudios De Los Procesos Colmatantes	133
9.4	El Real Decreto 1.620/2007.....	133
9.5	Diseño De La Nueva Red De Control Rcp-08	135
9.6	Las Estaciones Dina-Mar Zns.....	135
9.7	Configuración Actual Del Dispositivo.....	139
10	MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2008/09	141
10.1	Características Generales, Datos Y Cálculos Del Séptimo Ciclo (Año Hidrológico 2008-09).....	141
10.2	Nuevos Estudios Para Incrementar La Efectividad De Los Dispositivos Mediante Técnicas De Tratamiento De Suelo Y Acuífero (Sat)	142
10.2.1	Aplicación De Técnicas (Sat) En La Balsa De Decantación/Infiltración Situada En Cabecera	142
10.2.2	Técnicas Sat En Los Canales De Recarga Artificial	144
10.2.3	Técnicas Sat En La Depuradora Por Lagunaje	146
10.3	Estudio para relacionar el oxígeno disuelto en las aguas de recarga con el caudal circulante	146
10.4	Estudio Para Relacionar El Caudal Circulante Por Los Canales Con La Tasa De Infiltración	147
10.5	Estudio De La Evolución De La Calidad De Las Aguas A Lo Largo Del Canal ...	148
10.6	Actuaciones Adicionales.....	150
10.7	Primeras Actuaciones De Difusión Y Señalética En La Cubeta.....	151
11	MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2009/10	153
11.1	Características Generales, Datos Y Cálculos Del Octavo Ciclo (Año Hidrológico 2009-10).....	153
11.2	Obras De Ampliación Durante El Año Hidrológico 2009/10	154
11.3	Registro Continuo Del Caudal De Recarga Artificial	156
11.4	Nuevos Ensayos De Infiltración.....	157
11.5	Evolución De Los Elementos Ambientales (Humedales Artificiales Y Regenerados)	158
11.6	Ensayos Con Termografía De Infrarrojos Para El Estudio De La Colmatación ...	158
11.7	Nuevas Acciones De Difusión Y Señalética En Santiuste	160
11.8	Caminitos de agua. Ruta hidrogeológica en la cubeta de santiuste	161
12	MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2010/11	166
12.1	Características Generales, Datos Y Cálculos Del Noveno Ciclo (Año Hidrológico 2010-11).....	166
12.2	Nuevas Acciones De Difusión Y Transferencia Tecnológica (Dy Tt)	167
13	MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2011/12	169
13.1	Características Generales, Datos Y Cálculos Del Décimo Ciclo (Año Hidrológico 2011-12).....	169
13.2	Labores realizadas durante este ciclo "de crisis"	170
13.3	Divulgación A Través De Las X Jornadas De Estudios De La Zona No Saturada Del Suelo.....	172
13.4	Caracterización De Los Procesos Colmatantes Y Su Distribución	172
13.5	Nuevas Acciones De Difusión Y Transferencia Tecnológica (Dy Tt)	174
13.6	Nuevos Estudios Sobre Los Humedales De La Cubeta Y Zonas Aledañas	175

13.7	Funesta Interrupción De Diez Años De Actividad	177
14	COMPENDIO DE LOS 10 CICLOS DE RECARGA GESTIONADA	178
14.1	Inversión económica.....	181
15	ALGUNAS IMPLICACIONES MEDIOAMBIENTALES DE LA RECARGA GESTIONADA DEL ACUÍFERO	182
16	CONCLUSIONES	184
17	AGRADECIMIENTOS	186
18	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	186
18.1	Direcciones Postales Y Web De Interés.....	189
19	ANEXOS. RECOPIACIÓN DE DATOS	191

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.- DETERMINACIONES CUALITATIVAS

ANEJO 1.1.- ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS AGUAS

ANEJO 1.2.- DETERMINACIONES DE PARÁMETROS INESTABLES DE LAS AGUAS DE RECARGA GESTIONADA

ANEXO 2.- CAUDALES

ANEJO 2.1.- CAUDALES CIRCULANTES POR EL CANAL

ANEXO 3.- DATOS METEOROLÓGICOS

ANEJO 3.1.- DATOS INFORIEGO

ANEXO 4.- ENSAYOS DE INFILTRACIÓN Y PERMEABILIDAD

ANEJO 4.1.- ENSAYOS DE INFILTRACIÓN

ANEJO 4.2.- ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

ANEXO 5.- CARTOGRAFÍAS HIDROGEOLÓGICAS PARA CADA CICLO DE AR

ANEXO 6.- PERFILES HIDROGEOLÓGICOS PARA CADA CICLO DE AR

ANEXO 7.- REDES DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DE LA PIEZOMETRÍA

ANEJO 7.1.- RED DE CONTROL 2003

ANEJO 7.2.- RED DE CONTROL 2008

ANEXO 8.- DOSSIER DE PRENSA. NOTICIAS

ÍNDICE DE FIGURAS¹

Figuras 1.1 a) y b). La historia de Santiuste de San Juan Bautista, portada de la publicación de Rosana Marugán y E-noticia de la presentación del libro (El Adelantado de Segovia, edición digital, 09/01/2012).....	22
Figuras 1-2 a) y b). Obra declarada de interés general (a). Las actuaciones realizadas han contado con apoyo técnico, legal y político. Este último se ha debido, en gran medida, a la Diputada de Segovia y ex-ministra D ^a Loyola de Palacio, que dio luz verde a las obras (b), y a su sucesor, D. Miguel Arias Cañete.	23
Figuras 1-3 a) y b). Cabecera del dispositivo (a), y placa conmemorativa, un tanto especial, dado que hasta la fecha resultaba poco habitual que un ministro inaugurara un dispositivo de aguas subterráneas (b).....	24
Figura 2-1. Situación geográfica de la zona sobre la cartografía provincial del Ministerio de Fomento de Segovia a escala 1:200.000 y su posición dentro de España.	25
Figura 2-2. Bloque diagrama (wireframe) que refleja la fisiografía de la Cubeta, zona comprendida entre la falda de las colinas por el oeste y el trazado de los ríos Voltoya y Eresma por el Este.....	26
Figuras 2-3 a) a c). Mapas topográficos de la Cubeta de Santiuste a escala 1:25.000, norte, centro y sur respectivamente, representados a escala aproximada 1:40.000 (a y c) y 1:50.000 (b). Fuente IGN, 1985.	26
Figuras 2-4 a) y b). Colinas de margas que delimitan la Cubeta por el oeste (a) y talud sobre el río Voltoya, límite este (b).	30
Figuras 2-5 a) y b). Cultivos sobre el sustrato arenoso pobre en nutrientes (a); y aspecto de antiguas construcciones dotadas de aljibe para riego en el pinar de Ciruelos (b).....	30
Figura 2-6. El alumbramiento de aguas mediante norias y acémilas fue una pauta habitual en la Cubeta durante el desarrollo agrícola de los siglos XIX y XX, hasta la implantación de la bomba con motor de explosión. (Fotografía por cortesía de D. Luis Galán, IGME).....	31
Figura 2-7. La gestión del agua de riego se ha llevado a cabo mediante pequeñas celdas de almacenamiento de aguas subterráneas o riego mediante la extracción directa desde pozos. Santiuste, foto tomada el 06/06/2003.....	31
Figura 2-8. Índices evapotranspirativos calculados para el año tipo medio en la estación 2502 con hipótesis de reserva de 40 mm.	33
Figuras 2-9 a) y b). Estación meteorológica 2502, “Santiuste de San Juan Bautista” del Instituto Nacional de Meteorología, INM (actual AEMET), con registro de datos pluvio y termo. Hoy por hoy inoperativa.....	33
Figura 2-10. Rosa de los Vientos para la localidad de Coca. La velocidad media del viento en la actualidad se cifra en 11,26 km/h. Fuente: www.inm.es.....	33
Figuras 2-11 a) y b). Estación SG-02, Nava de la Asunción de la red Inforiego de la Junta de Castilla y León (a), y posición de la estación sobre la ortoimagen SIG-PAC a escala aproximada 1:20.000.	34
A continuación se exponen un pluviograma y un termograma para el período comprendido entre las fechas 1 de octubre de 2002 y el 30 de septiembre de 2012.	34

¹ Las fotografías que aparecen intercaladas en el texto han sido consideradas “figuras”.

Figuras 2-12 a) y b). Pluviograma y termograma (respectivamente) de la estación meteo SG-02, Nava de la Asunción, para la década de estudio (entre el 1 de octubre de 2002 y el 30 de septiembre de 2012).	35
Figuras 2-13 a) y b). Ribera del río Voltoya en otoño junto al puente de la carretera de Santiuste a Nava de la Asunción. Fotos del 14/10/2008.	39
Figuras 2-14 a) y b). La extracción de resina ha sido una actividad clásica en los pinares de Coca y Santiuste, profesión todavía activa. Fotos 27/11/2003.	39
Figuras 2-15 a) y b). Iglesia de Santiuste de San Juan Bautista (a) y entrada a la localidad de Coca por el Puente Chico. Aún sin interés patrimonial, cabe mencionar en este segundo punto, por su interés técnico, el dique de contención para frenar los movimientos de tierras, como los habidos en las inundaciones del 25/08/2007 (19,6 mm) y del 3/07/2010 (13,2 mm).	41
Figuras 2-16 a) y b). Vistas del Castillo Mudéjar de Coca, quizás el punto más emblemático de la comarca. Fotos: 27/05/2009.	41
Figura 2-17. Esquema estratigráfico del Neógeno en la transversal Norte-Sur de la Cuenca del Duero (Tomado de Portero et al., 1979-1983 en memoria de la cartografía MAGNA, hoja 428). La zona de trabajo se ubica en el área sedimentaria de la mitad derecha.	43
Figura 2-18. Bloque diagrama del MDT de la zona de estudio con una capa ráster sobrepuesta correspondiente a la combinación de los mapas geológicos 428 y 455 revisados.	44
Figura 2-19. Rosa de fracturación elaborada con datos tomados en ortoimágenes, fotos aéreas y estaciones meso-estructurales distribuidas por toda la Cubeta.	45
Figuras 2-20 a) y b). Cartografías hidrogeológicas con el trazado del canal de recarga artificial, la ubicación de los puntos de control y de elementos singulares. Situación preoperacional (septiembre de 2002) (a), y sin-operacional temprana (febrero de 2003) (b). Las cartografías restantes para toda la década se encuentran en el anexo 5. Numerados del uno al cinco aparece el trazado de los perfiles de las figuras 2-21.	47
Figuras 2-21 a) a e). Perfiles hidrogeológicos longitudinales y transversales en la Cubeta (acuífero superficial), para la situación de febrero de 2003 (aguas altas). La posición de los perfiles está reflejada en las cartografías hidrogeológicas del acuífero superficial. Los números corresponden a la proyección del sondeo eléctrico o perforación realizada. Téngase en cuenta que la escala vertical está muy exagerada, con objeto de detectar las variaciones.	51
Figuras 2-22 a) y b). Fuente del Batán, con una galería de ladrillo y aguas “zarcas” o blanquecinas. Actualmente tapada por vegetación. Fotografía de 28/09/2002 (a) y esquema con la localización de los manantiales conocidos sobre un bloque diagrama al que se ha añadido la cartografía geológica (b).	53
Figuras 2-23 a) y b). Ensayos de infiltración en balsas “provisionales” en Santiuste. Octubre de 2000.	55
Figuras 2-24 a) y b). Perforación del sondeo SW-3 mediante rotación con extracción de testigo continuo.	56
Figuras 2-25 a) a c). Perforación del piezómetro SW-7 por rotación con extracción de testigo continuo. Aspecto final del piezómetro SW-4. Fotos 18/12/2002.	57
Figuras 2-26 a) y b). Perforación a percusión del sondeo P-4, y aspecto de sondeo P-2 ya finalizado. Fotos: 06/08/2003.	57
Figuras 2-27 a) y b). Estructura de retención, filtrado y derivación del río Voltoya con su correspondiente señalética.	59

Figuras 2-28 a) a d). La cabecera del dispositivo debe ir dotada de un caudalímetro totalizador, preferentemente con medida en continuo, intercalado en la tubería de recarga antes del dispositivo de entrada. Su protección es llevada a cabo mediante una garita de hormigón y su alimentación mediante paneles fotovoltaicos. Es recomendable su medición en continuo y televolcado de datos.	60
Figura 2-29. Chimenea de aireación. La presa queda conectada con la cabecera del dispositivo de AR mediante una tubería de más de 9 km de longitud, en la que hay intercalados dispositivos de disipación de energía para evitar el golpe de ariete.	61
Figuras 2-30 a) y b). El canal tiene una sección de 1,5 m de altura, 1 m de anchura en la base y pendientes 1/1 a ambos lados. A lo largo del mismo se disponen las obras de parada construidas en hormigón armado y provisto de tajadera de 1 m de calado máximo y 0,50 m de mínimo en situación estática.	63
Figuras 2-31 a) y b). Punto de coincidencia de obra de paso y parada del Sanchón y aliviadero de la cacera de Betaya (a), que vuelve al río Voltoya junto al molino del Batán y el viaducto del AVE Madrid-Valladolid (b). Fotos 28/06/2007.	63
Figura 2-32. Cartografía con el trazado del canal de recarga artificial y la ubicación de las estaciones de aforo y de estudio de la tasa de infiltración. El mapa presenta, además, otros puntos singulares tales como puntos de agua de la red de control de la piezometría, la depuradora, las estaciones DINA-MAR ZNS, etc. Escala gráfica. ***	68
Figura 3-1. Definición de "recarga artificial de acuíferos" en la Wikipedia, propuesta inicialmente por el autor de esta publicación, ha tenido algunas modificaciones posteriores.	71
Figura 3-2. Esquema de un sistema MAR operativo con carácter didáctico elaborado durante el desarrollo del proyecto de I+D+i DINA-MAR y cargado en la Wikipedia.	72
Figura 3-3. Mapa hidrogeológico de la Cubeta publicado en el estudio realizado por el IRYDA en 1990 y 1991.	74
Figura 3-4. Fotografía del interior de un sondeo profundo en Villeguillo. IRYDA, 1991. ..	74
Figura 3-5. Segundo estudio detallado simultáneo al anteproyecto de obra en el que se profundizó en el conocimiento y la estructura tridimensional del acuífero.	76
Figura 3-6. Tercer estudio sobre aspectos técnicos y modelación. Fue promovido por la Administración con objeto de prever la evolución del dispositivo.	77
Figuras 4-1 a) y b). Cabecera del dispositivo al término del primer ciclo de recarga gestionada en la Cubeta de Santiuste (22/01/2003 y 06/06/2003).	80
Figuras 4-2 a) a c). El control sobre el nivel del agua de recarga dentro del dispositivo y de la profundidad de alerta constituyen elementos de gestión básicos. El control sobre las estructuras de parada y caudal entrante debe ser continuo, para evitar impactos tales como desbordamientos e inundaciones por el ascenso excesivo del nivel freático como consecuencia de la recarga artificial (a). Así mismo debe gestionarse el caudal fluyente durante los días de helada, dada su influencia directa en los procesos colmatantes carbonatados. Superficie del canal congelada (b) y de la balsa (c). Fotos de fecha 15/02/2003 (a) y 1/02/2006 (b y c).	81
Figuras 4-4 a) y b). Perforación del piezómetro SW-7 y aspecto de una caja de testigo. 13/06/2003.	85
Figuras 4-5 a) y b). Momentos durante la perforación y entubación del sondeo de investigación P-3. Foto: 07/08/2003.	85
Figuras 4-6 a) y b). Aspecto y formato de ficha empleado en la descripción de los piezómetros y sondeos de investigación (a). Ejemplo para el piezómetro SW-7 (b).	86

Figuras 4-7 a) y b). Carteles informativos de la presencia de arsénico en las aguas subterráneas en concentraciones susceptibles de provocar arsenicosis. Ciruelos de Coca.	88
Figuras 4-8 a) y b). Fotos de la estación SAICA A-70, río Eresma en Villeguillo.	88
Figuras 5-1 a) y b). Cabecera de un dispositivo tipo canal en Santiuste de San Juan Bautista (Segovia). Válvula, canal, pozos en la vía de servicio y primer dispositivo de parada. Fotos de fecha 23/01/2004 y 18/03/2004.	90
Figuras 5-2 a) a d). Dispositivos de parada y pasos del canal. Primer paso (ya inexistente) en el camino de Correlagua (a); cruce del canal en el Sanchón con la carretera de Santiuste a Coca (b); obra de parada y taludes verticales cubiertos por gaviones (c) y cruce del canal con la carretera de Coca a Villagonzalo (d). Fotos de fecha 18/03/2004.	91
Figuras 5-7 a) a d). Elementos de control del caudal conducido en las inmediaciones de la cabecera del canal y elementos auxiliares. Caudalímetro por ultrasonidos intercalado en la conducción (a), caseta prefabricada para albergar la instrumentación (b), montaje eléctrico inicial (c) y caudalímetro totalizador Siemens (d).	92
Figura 5-8. Cabecera del dispositivo al término del segundo ciclo, con taludes revestidos y vertido de grava calcárea para preservar la estructura y elevar ligeramente su pH inicial. Foto: 01/04/2004.	92
Figuras 5-3 a) y b). Fotografías de aforo secuencial en el canal de recarga artificial, Estación 1 (cabecera) y 4, (Pradillos del Barco). Fotos: 21/01/2004.	93
Figura 5-4. Evolución del caudal circulante por el canal Este (Viejo) de recarga artificial el 16 de marzo de 2004. Columna 1: distancia a la cabecera; columna 2: caudal medio fluente, en litros por segundo.	94
Figuras 5-5 a) y b). Drenaje de la vía del Tren de Alta Velocidad y estructuras asociadas en el paso del canal de recarga Este (o Viejo) bajo la vía. Vista hacia el oeste (a) y hacia el este (b). En este punto se ha aforado un volumen superior al de la estación anterior por aportaciones en forma de escorrentía superficial canalizada.	95
Figura 5-6. Perfil hidrogeológico del canal de recarga artificial con la ubicación de los puntos donde se han realizado los aforos secuenciales y caudales medidos en fecha 21/01/04 (azul) y 16/03/04 (morado). La totalidad de los perfiles para esta década se encuentran en el anexo 6.	95
Figuras 5-9 a) y b). Ejecución de la campaña de geofísica eléctrica (Sondeos Eléctricos Verticales o SEVs) de octubre de 2003. Ejemplo de perfil de tomografía obtenido y posición e imagen de la realización de un SEV.	96
Figuras 5-10 a) y b). Tramo en el que el canal de recarga artificial atraviesa soterrado el casco urbano de Villeguillo desde la periferia sur (a) hasta aflorar por el norte (b), en la zona de alcance de la excavación, junto a una antigua acequia que discurre por una superficie prácticamente plana en las inmediaciones de la zona donde estaban establecidos antiguos humedales, rebosadero natural del acuífero.	97
Figura 5-11. Cartografía con la configuración del dispositivo de recarga gestionada de la "Cubeta de Santiuste" para el año hidrológico 2003/04 (página siguiente).	97
Figuras 6-1 a) y b). Canal Este. Determinación de los tramos de infiltración efectiva. Fotos 24/01/2005 y 06/06/2005.	101
Figuras 6-2 a) y b). Aspecto de la balsa de decantación-infiltración de cabecera ampliada durante el verano de 2004 que empezó a funcionar con el inicio del tercer ciclo de recarga gestionada (año hidrológico 2004/05). Fotos 18/10/2004.	102

Figuras 6-3 a) y b). Aspecto de algunos de los nuevos dispositivos construidos a lo largo del año hidrológico 2004/05 (balsa de decantación-infiltración de cabecera). Fotos 23/01/2005.	102
Figuras 6-4 a) a d). Aspecto de algunos de los nuevos dispositivos construidos a lo largo del año hidrológico 2004/05. Balsas de infiltración de la depuradora por lagunaje. Fotos tomadas el 15-10-04.	103
Figuras 6-5 a) y b). Modificaciones en el diseño inicial del canal Este, con cambios en los taludes, revestimientos y apertura de la curvatura en tramos donde se registraban fuertes procesos erosivos. Asimismo se construyeron nuevos pozos en las inmediaciones del canal. Fotos tomadas el 18-01-05.	104
Figuras 6-6 a) y b). Aspecto de algunos de los nuevos dispositivos construidos a lo largo del año hidrológico 2004/05. Canal Oeste. Fotos tomadas el 18-01-05.	104
Figuras 6-7 a) a c). Ampliación del canal de recarga artificial hacia el norte de Villeguillo (Llanos del Cuadrón), zona de “rebosadero” del acuífero en la que antiguamente había varios humedales bien desarrollados, según los testimonios de la población local.	105
Figuras 6-8 a) a c). Ramal del canal Este especialmente acondicionado para la ejecución seriada de ensayos de infiltración a lo largo de un ciclo de recarga. Fotos: 07/10/2004 (a) y 23/01/2005 (b y c).	106
Figura 6-9. Gráfica y datos que refleja la evolución de la tasa de infiltración a lo largo del ciclo de de recarga gestionada en una zona aislada del canal Este de Santiuste.	106
Figuras 7-1 a) y b). Pozo (RCP-1) y piezómetro (RCP 21) de la Red de Control de la Piezometría 03 de la Cubeta de Santiuste.	109
Figuras 7-2 a) y b). Mejoras en el vallado perimetral en la balsa de cabecera y accesos. Fotos: 01/02/2006.	110
Figuras 7-3 a) y b). Balsas de infiltración empleadas para la depuradora de lagunaje, acondicionamiento y vallado. Fotos: 01/02/2006 y 16/05/2006 respectivamente.	110
Figuras 7-4 a) a d). Mejoras en los dispositivos de parada para minimizar el aire disuelto en el agua de recarga por el batido de las aguas (a y b); instalación de pasos en los dispositivos de parada por “vasos comunicantes” (c) y provistos de compuerta (d). Fotos de 15/02/2006 (a y b) y 16/05/2006 (c y d).	111
Figuras 7-5 a) a d). Actuación de regeneración hídrica en la Laguna de la Iglesia de Villagonzalo. El agua de recarga artificial se hace discurrir por el sustrato salino para aumentar su concentración en sales y originar aguas parecidas a las originarias. Fotos: 01/02/2006 (a a c) y 15/02/2006 (d).	112
Figuras 7-6 a) y b). Obras de construcción de los humedales artificiales del Sanchón. Fotos de fecha 01/02/2006.	113
Figuras 7-7 a) a d). Obras de mejora: dispositivos de parada mejorados, gaviones y/o escolleras en los taludes, desviación al canal de excedentes mediante conducciones, muros de contención. Fotos de 01/02/2006 (a y b) y 15/02/2006 (c y d).	114
Figuras 7-8 a) y b). Fotografías de aforos secuenciales en el canal de recarga y en los cauces fluviales relacionados. Campaña de marzo de 2006.	114
Figura 7-9. Evolución del caudal circulante por el canal Este (Viejo) el 11/03/2006.	115
Figura 7-10. Cartografía de la configuración del dispositivo de recarga gestionada “Cubeta de Santiuste” en el año hidrológico 2005/06, tras las obras de ampliación. Escala gráfica.	116
Figuras 8-1 a) y b). Nuevas actuaciones en el canal Este. Fotos 14/10/2006.	118

Figuras 8-2 a) y b). Muestreo para análisis en la cabecera del dispositivo y en el canal de recarga. Fotos: 06/03/2007.	119
Figuras 8-3 a) a c). Drenaje de la vía del Tren de Alta Velocidad, estructuras asociadas y paso del canal de recarga bajo la vía (a y b). Vertedero en uve (c).	120
Figuras 8-4 a) y b). Modificaciones en el canal de recarga, en general con tendencia a aumentar el eje de giro en las curvas e inicio de los estudios de los procesos colmatantes en la balsa de decantación/infiltración. Fotos: 22/05/2007.	120
Figuras 8-5 a) a d). Obras de prolongación del canal desde los Llanos del Cuadrón al Medianero (Llano de Olmedo). Fotos: 22/05/2007 (a y b) y 28-06-07 (c y d).	121
Figura 8-6 a) y b). Pequeños desbordamientos del canal de recarga e inundación de zonas puntuales de terreno de labor. Fotos: 24 de mayo de 2007.	122
Figuras 8-7 a) y b). Nuevo canal (Oeste) de recarga gestionada en situación de aguas altas a su paso por La Revilla. Fotos: 6 de marzo de 2007 (a) y 22 de mayo de 2007 (b).	122
Figuras 8-8 a) y b). Estudio y procesado de las muestras de colmatación muestreadas en las estaciones de control. La caracterización y estudio de la distribución de los distintos procesos se presenta en la cartografía 13-5.	123
Figuras 8-9 a) a d). Muestreo de procesos colmatantes en el fondo de la balsa de infiltración y decantación de cabecera (a); en el canal aguas abajo de la depuradora (b y c) y en la estación IN-1 (d). Fotos: 28/06/2007 (a) y 28/08/2007 (b, c y d).	123
Figuras 8-10 a) y b). Ensayo de infiltración con infiltrómetro de doble anillo. Fotos: 12/07/2007.	124
Figuras 8-11 a) a c). Toma de datos en el caudalímetro totalizador, anotadas en un esfuerzo conjunto entre los regantes y autoridades de la localidad (D. Pablo Herrero, D. Ramiro Gutiérrez y D. Octavio Esteban) y los técnicos de Tragsa.	124
Figuras 9-1 a) a d). El sexto ciclo de recarga terminó después de la fecha de concesión habitual, motivado por las precipitaciones. Cabecera del dispositivo con un caudal de entrada superior a 750 l/s (a), caudalímetro totalizador (b), balsa de decantación/ infiltración (c), y cacería de Correlagua (d). Fotografías de fecha 02/06/2008 (a) y 06/06/2008 (b a d).	126
Figuras 9-2 a) y b). Canal de infiltración en el extremo norte de la Cubeta. Fotos 06/11/2007.	127
Figuras 9-3 a) a d). Obras para atravesar la localidad de Villeguillo con el canal de recarga gestionada, aprovechando el trazado del antiguo arroyo de la Ermita. Extremo sur de la localidad, llegada del canal y emboquille de la obra de soterramiento (a y b). Afloramiento al norte de la localidad, junto al cementerio y obras de prolongación hacia el norte (c y d). Fotos de fecha 11/10/2007.	128
Figuras 9-4 a) y b). Extremo norte del canal en los Prados del Cuadrón, con instalación de PTPs como obras de parada y de paso (a). Poco más al norte afloran las calizas del Páramo (b) que coronan vastas extensiones de Castilla-León. Fotos: 11/10/2007.	128
Figuras 9-5 a) y b). Evento de caudales máximos que llegó a sobrepasar la altura de algunas compuertas de parada. Fotos de fecha 06/03/2007.	129
Figuras 9-6 a) y b). Días después del cierre de la válvula se inicia la campaña de riegos. Fotos: 22/05/2007.	129
Figuras 9-7 a) a d). Regadío en cuatro sectores de la Cubeta. Durante el inicio de la campaña de riegos el nivel del agua en los pozos adyacentes al canal estaba a la misma cota que el agua en el canal, lo que propicia un importante ahorro energético en los costes de bombeo. Fotos: 08/07/2008.	130

Figuras 9-8 a) y b). Perfil del canal Oeste a su paso por el paraje El Barco (a), cuya coronación generalmente se mezcla con los cultivos (b). Fotos: 22/05/2007.	131
Figuras 9-9 a) y b). Salida de un vehículo de la vía de servicio y caída al canal. Este acontecimiento es un ejemplo de un tipo de impacto escasamente evaluado hasta la fecha y desencadenó el estudio de medidas para minimizarlo. Fotos: 06/11/2007.	131
Figura 9-10. Inundaciones puntuales en el sector del Corbazo como consecuencia de las fuertes precipitaciones (80 mm en cuatro días). Este hecho llevó a incorporar nuevas medidas al programa de vigilancia y control. Fotos: 22/05/2007.	132
Figuras 9-11 a) y b). Laguna de la Iglesia, tras la reciente creación de dos islotes en su cuenco para refugio y nidificación de la avifauna. El material fue traído de zonas aledañas, dañando el perfil sedimentológico de la laguna. Fotos: 11/10/2007.	132
Figuras 9-12 a) y b). Colonias de algas filamentosas recubriendo el fondo del canal (a) y zonas con desarrollo de lemnáceas (b), en general en el canal Este aguas abajo de la depuradora por lagunaje. Fotos de 13/12/2007.	133
Figuras 9-13 a) y b). Prosigue la toma de datos puntuales paralela a las medidas en el caudalímetro totalizador. Ejemplo del esfuerzo conjunto entre los regantes (D. Pablo Herrero, D. Ramiro Gutirérrez, D. Octavio Esteban y Primitivo Hebrero de Andrés) y los técnicos de Tragsa.	134
Figuras 9-14 a) a c). Fotografías de la parcela en la se instalara la estación de control y medida de la zona no saturada DINA-MAR ZNS-1 (sector de Correlagua) y 2 (sector de Dehesa Tetuán); a y b respectivamente. Fotos: 06/11/2007. Inicio de las obras de construcción (c). Foto: 13/02/2008.	136
Figura 9-15. Configuración de las estaciones DINA-MAR ZNS y sensores instalados (tomado del proyecto de obra, Tragsatec, 2007/8).	137
Figuras 9-16 a) y b). Instrumentación de las estaciones DINA-MAR ZNS (tensiómetro y aspecto del Microterm).	138
Figuras 9-17 a) a d). Momentos de la instalación de los sensores, aspecto final y placa identificativa de la estación DINA-MAR ZNS 1 en Santiuste de San Juan Bautista (Segovia). Fotos: 26/05/2008.	138
Figuras 9-18 a) a d). Momentos de la instalación de los sensores, aspecto final y placa identificativa de la estación DINA-MAR ZNS 2 en Villagonzalo de Coca (Segovia). Fotos: 07/06/2008.	139
Figura 9-19. Configuración final del dispositivo de recarga gestionada “Cubeta de Santiuste”. A partir de 2008 no ha habido cambios relevantes (página siguiente).	139
Figuras 10-1 a) y b). Labrado de caballones a distintas anchuras en la balsa de infiltración / decantación de cabecera. Fotos: 27/05/2009.	143
Figuras 10-2 a) a d). Ensayos de infiltración en la estación IN-1 de septiembre de 2007, junio de 2008 y 2009. Gráficas de resultados de los ensayos de infiltración con infiltrómetro de doble anillo e interpretación.	143
Figuras 10-3 a) y b). Instalación de geotextiles en dos tramos longitudinales de 5 metros semienterrados en la zona más profunda del canal, formando un caballón. Fotos: 30/10/2008.	145
Figuras 10-4 a) y b). Zona de vertido de las aguas depuradas procedentes de la depuradora por lagunaje en el canal de recarga Este. Analizando la calidad de las aguas, estas se ajustaban a los requerimientos del RD 1.620/2007. Fotos 13/02/2008 y 13/04/2008.	146
Figura 10-5. Medidas que relacionan el oxígeno disuelto con el caudal circulante en el canal de recarga gestionada a lo largo de 2008.	147
Figuras 10-6 a) a d). Registro manual de caudales sobre el caudalímetro totalizador instalado en cabecera.	148

Figuras 10-7 a) y b). Laguna de la Iglesia y dispositivo para su regeneración hídrica (a). Presión de los cultivos sobre el humedal (b). Fotos: 22/01/2009.	150
Figuras 10-8 a) y b). Aspectos de los humedales artificiales en la zona del Sanchón. Humedal principal (a) y zona con ensanchamiento del canal (b) y derivación hacia este nuevo sistema. Fotos de fecha 23/05/2009.	151
Figuras 10-9 a) y b). Panel de aluminio informativo sobre la gestión de la recarga de acuíferos en España y datos específicos de la Cubeta hasta 2009 (a) y Panel de aluminio informativo en la Estación DINA-MAR ZNS-1, con información sobre los métodos de estudio de la Zona No Saturada del acuífero en las inmediaciones de los canales de recarga gestionada (b). Fotos del día de su instalación: 12/03/2009...	152
Figuras 11-1 a) y b) .Baliza sobre dado de hormigón en la balsa de infiltración-decantación para controlar la altura de la lámina de agua, como criterio para decidir la altura de los dispositivos de parada a la salida de la balsa hacia los canales. Fotos tomadas el 15/10/2009 y el 04/03/2010, respectivamente.	155
Figura AX1-1. Hidrograma de Piper-Hill-Langelier con la representación de alícuotas de la red de control de calidad de las aguas inicial. FUENTE: MAPA, 1999.	194
Figuras AX1-2. Histogramas de determinaciones y gráficas evolutivas de los parámetros inestables del agua a lo largo de los canales Este y Oeste.	197
Figuras AX2-1 a) a i). Fotos y perfiles de las Estaciones de aforo en los canales de recarga gestionada.	215
Figuras AX2-2 a) y b). Variación del caudal fluyente y su porcentaje respecto al inicial en cabecera.	222
Figura AX3-1. Rosa de vientos de Santiuste	225
Figuras AX6-1 a) a j). Perfiles a lo largo de los canales de recarga trazados conforme a la reinterpretación con nuevos datos de la prospección geofísica.	238

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Días con precipitación total acumulada superior a 20 mm en esta década, en orden descendente.....	36
Tabla 2-2. Días con velocidad del viento máxima por encima de 15 m/s registradas en esta década en la estación SG-02, en orden ascendente.	37
Tabla 2-3. Parámetros hidrogeológicos calculados para el acuífero superficial de la Cubeta de Santiuste previos al inicio de las labores de recarga artificial o en su etapa inicial (diversas fuentes).	46
Tabla 2-4. Parámetros hidrogeológicos calculados para el acuífero superficial de dos sectores puntuales de la Cubeta de Santiuste en situación sin-operacional avanzada (2009) determinados mediante el seguimiento en continuo y tiempo real de los sensores instalados las estaciones DINA-MAR ZNS durante el ciclo 2008-09.....	46
Tabla 2-5. Manantiales en la margen izquierda de los ríos Voltoya y Eresma a su paso por la zona de estudio.	52
Tabla 2-6. Datos disponibles para la resolución de la ecuación general del balance hídrico. Cubeta de Santiuste. Año hidrológico 2002/03.	53
Tabla 2-7. Posición y profundidad de los primeros piezómetros perforados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación (en adelante MAPA) en la zona.....	55
Tabla 2-8. Posición y profundidad de los piezómetros perforados por el MAPA en una segunda etapa.	56
Tabla 2-9. Posición y profundidad de los piezómetros perforados por el MAPA en la tercera etapa.	56
Tabla 2-10. Sondeos de investigación con un diámetro suficiente para introducir una bomba. La sexta columna es la cota del contacto arena-marga. La séptima columna corresponde a la profundidad del nivel del agua al terminar la perforación.	57
Tabla 2-11. Coordenadas UTM de las principales estructuras de concentración y aliviaderos del agua superficial que discurre por la obra de recarga inicial.	64
Tablas 2-12. Resistencia y coeficiente de seguridad de los elementos prefabricados. Fuente: Tragsa.	66
Tabla 4-1. Piezómetros perforados por el MAPA en la tercera etapa (junio de 2003). Posición, profundidad total, profundidad del nivel estático y del contacto entre el acuífero arenoso y su sustrato margoso (en metros).	84
Tabla 4-2. Sondeos de investigación perforados por el MAPA en la tercera etapa.	85
Tablas 4-3 a) a c). Localización, geoquímica y análisis granulométrico de muestras de suelos previamente a las labores de recarga gestionada.....	87
Tabla 5-1. Posición de los puntos de aforo y caudales obtenidos en las campañas efectuadas durante el ciclo de recarga 2003/04. Caudales en litros por segundo.....	93
Tabla 5-2. Porcentaje del caudal derivado por el dispositivo de recarga artificial, medido en las distintas estaciones de aforo.....	94
Tabla 6-1. Posición de los tramos de infiltración efectiva a lo largo del canal Este de recarga artificial y distancia con respecto a la cabecera.	101
Tabla 7-1. Resultados de la campaña de aforos secuenciales de marzo de 2006. Las columnas corresponden a: Estación (a), coordenadas UTM (b,c), distancia a cabecera (d), longitud del tramo (e), caudal aforado (l/s) (f), porcentaje del caudal inicial (g), variación con respecto a la estación previa (h) e infiltración media en l/s por cada m ² de canal (l).	115
Tabla 9-1. Requisitos cualitativos para el agua de “Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno” establecidos en el RD 1.620/2007.....	134
Tabla 9-2. Ubicación de las estaciones DINA-MAR ZNS-1 Y DINA-MAR ZNS-2.	136
Tabla 10-1. Ensayos de infiltración sobre y cerca de los tramos de canal con instalación de geotextiles sintéticos. Valores para septiembre de 2007 (preoperacional), junio de 2008 y junio de 2009 (post-operacional) respectivamente. IV-1 GT 2 carece de dato por efecto de una inundación por lluvia intensa. Test se refiere a la duración del ensayo.....	145

Tabla 10-2. Parámetros inestables determinados en seis estaciones a lo largo del canal de recarga gestionada.....	149
Tablas 10-3 a) y b). Toma de datos de campo de parámetros inestables.	149
Tabla 14-1. Período y duración de cada ciclo de recarga gestionada en la primera década de actividad.	178
Tabla 14-2. Medidas y cálculos de flujos y caudales para cada ciclo de recarga gestionada en la primera década de actividad.	179
Tabla 14-3. Datos meteorológicos principales para la primera década de recarga gestionada en la estación de la red Inforiego de Nava de la Asunción. Datos disponibles en Internet en: http://www.inforiego.org/opencms/opencms/estaciones/listado/index.html	179
Tabla 14-4. Valores indicativos de la permeabilidad (K) calculada en distintos sectores de la <i>Cubeta</i> de conductividad hidráulica homogénea, posicionados en la figura 2-32.	181
Tablas AX1-1 a) y b). Datos de la red de control de la hidroquímica del MAPA, 1999.	193
Tablas AX1-2 a) a c). Análisis de los “polos fríos” o entradas de agua del exterior a la <i>Cubeta</i>	194
Tablas AX1-3. Análisis químicos de las tres muestras de agua, junto con una muestra del río <i>Voltoya</i> y del agua de lluvia en la zona. Cationes y aniones macroconstituyentes más: concentración en nitratos, sílice (como ácido), conductividad en microSiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, sólidos en suspensión (SS) y total de sólidos disueltos (TSD). Las concentraciones se expresan en mg/l.....	196
Tabla AX1-4. Posición de las estaciones de aforo y distancia a la cabecera del dispositivo. La ubicación se presenta en la cartografía 14-5.	197
Tabla AX2-1. Posición de los puntos de aforo y caudales obtenidos en las campañas efectuadas durante el ciclo de recarga artificial 2003/04.....	221
Tabla AX2-2. Porcentaje del caudal derivado por el dispositivo de recarga artificial, medido en las distintas estaciones de aforo.	221
Tabla AX2-3. Resultados de las campañas de aforos diferenciales de marzo de 2004 y 2006....	221
Tabla AX3-1. Parámetros climáticos en los 10 ciclos de recarga.	223
Tabla AX3-2. Tabla resumen de los datos meteorológicos relativos a viento, radiación solar y precipitación para los 10 ciclos de recarga gestionada.	224
Tabla AX3-3. Tabla resumen de los principales cálculos con datos meteorológicos para los 10 ciclos de recarga gestionada.....	224
Tabla AX4-1. Parámetros hidráulicos resultantes de aplicar el método de las curvas de Breddin a las muestras obtenidas en perforaciones.....	226
Tabla AX4-2. Datos hidráulicos resultantes de los ensayos empleando un permeámetro triaxial sobre muestras de perforaciones seleccionadas.	226
Tabla AX4-3. Determinaciones de la tasa de infiltración mediante infiltrómetro de doble anillo. ..	227
Tabla AX7-1. Red de control de la piezometría (RCP) 2003.....	248
Tabla AX7-2. Red de control de la piezometría (RCP) 2008.....	251
Tabla AX7-3. Posición y características de los nuevos piezómetros del MAPA. Referencia de medida en observaciones, tubería de revestimiento (INT) o tubería de protección (EXT).	282

2002-2012, UNA DÉCADA DE RECARGA GESTIONADA.

ACUÍFERO DE LA CUBETA DE SANTIUSTE (CASTILLA Y LEÓN)



1 INTRODUCCIÓN

El 5 de diciembre de 2002, a mediodía, se abrió por primera vez la válvula de derivación de agua desde el río Voltoya hacia el dispositivo de recarga artificial de la llamada Cubeta de Santiuste (a pesar de que, técnicamente hablando, el término “Cubeta” resulte controvertido). Se inició así un ejemplo de recarga inducida de acuíferos que en la actualidad ha alcanzado repercusión internacional.

Hasta entonces hubo un intenso trabajo desarrollado antes de abrir aquella válvula, tanto técnico (ya que los estudios previos para hacer este proyecto realidad se habían iniciado en 1990), como político, administrativo y, por qué no, ciudadano. Todos ellos han sido intensos, lo que ha permitido que este ejemplo de recarga gestionada constituya un estandarte de sostenibilidad a nivel mundial.

El dispositivo de recarga “artificial” surgió como consecuencia de la presión iniciada por los agricultores de la Cubeta, quienes viendo el descenso de sus reservas para riego en el acuífero bajo sus pies, prendieron una iniciativa popular. Esta culminaría años después con la ejecución de unas obras y la puesta en funcionamiento de un complejo sistema que acaban de cumplir 10 años de operatividad. Esto no habría sido posible sin la intercesión de “hidrogestores” que les escucharon y apoyaron la iniciativa, hasta el punto de adquirir la declaración de Obra de Interés General, “la recarga del acuífero de la cubeta de Santiuste de San Juan Bautista” (RDL 9/1998, de 28 de agosto).

Los antecedentes administrativos son complejos, ya que ha habido un abultado número de personas que hicieron este proyecto realidad. La historia de los antecedentes se ha documentado lo mejor posible, aunque sin pretensiones de ser exhaustivo.

El autor ha estado involucrado desde 1999 en los aspectos técnicos del dispositivo, su anteproyecto, obras, gestión y seguimiento, así como en las mejoras aplicadas y en el continuo “intercambio de información” entre el funcionamiento de los dispositivos y la técnica. Con el tiempo, esta técnica ha llegado a ser un arte, y necesitado grandes dosis de “hidroimaginación” para resolver problemas de operatividad (zonas con escasa infiltración, inundaciones, convergencia de períodos de fuertes lluvias y altos caudales, etc.).

El seguimiento del acuífero se ha convertido en una labor personal, al haber tomado los datos precisos en los períodos en los que no ha habido subvención pública alguna para ello.

Algunos de los aspectos restantes, especialmente administrativos, han sido realizados por otras personas.

Esta publicación se centra en aspectos puramente tecnológicos, sin ánimo de entrar en aspectos históricos, ya que para ello hay publicaciones modernas y muy bien documentadas, tales como el libro “Historia de Santiuste de San Juan Bautista”, de Rosana Marugán, el blog www.descubrecoca.com y otras reseñas que se han agregado a la bibliografía.



Figuras 1.1 a) y b). La historia de Santiuste de San Juan Bautista, portada de la publicación de Rosana Marugán y E-noticia de la presentación del libro (El Adelantado de Segovia, edición digital, 09/01/2012).

Es posible que algunos de los antecedentes y protagonistas de este periplo queden en el tintero, sin mala intención alguna. A todos ellos presento mis disculpas.

Así mismo la información técnica recopilada en esta década ha sido muy abultada, hasta el punto de que solo una parte de ella (datos de campo, ensayos, medias, etc.) puede quedar para siempre en esta publicación. Se pretende así reducir el riesgo de que gran parte de estos datos, cuya recopilación ha constituido un gran esfuerzo de varios equipos, instituciones y dedicación personal, acabaran perdiéndose.

Uno de los aspectos más difíciles de abordar al planear escribir esta publicación ha sido el tipo de lenguaje a utilizar, ya que la información seleccionada puede resultar de interés a personas de perfiles muy dispares. El lenguaje técnico podría resultar inapropiado para determinados sectores, mientras que el lenguaje excesivamente coloquial podría no satisfacer a técnicos y científicos. De este modo, el libro se ha escrito en un lenguaje “intermedio”, aún a riesgo de no satisfacer a nadie.

En estos casi 13 años me he referido a la “*Cubeta*” como “mi acuífero”, “mi segundo hogar” y términos parecidos, al haberla visitado con cadencia, por lo menos, mensual, habiendo conocido gran parte de sus facetas y sentirme uno más de sus habitantes.

Es justo mencionar la buena acogida y la ayuda prestada por los agricultores y las corporaciones de los municipios desde el principio, facilitando información, guiando visitas técnicas a puntos recónditos, dando su mejor voluntad y facilitando las gestiones que requerían permisos. Sin ellos esta actividad no habría tenido continuidad. Mi más sincero agradecimiento a todos los implicados en el proyecto, no solo en estos 10 años de actividad, sino desde el principio, y muy especialmente a las sucesivas juntas directivas de la Comunidad de regantes, siempre dispuestos a ayudar y brindar apoyo al que ellos llaman “el que mide los pozos”.

BOE núm. 207 de 29-08-1998

Real Decreto-Ley 9/1998, de 28 de agosto, por el cual se aprueban y declaran de interés general determinadas obras hidráulicas.

ANEXO II

.../...

3. Recarga del acuífero de la cubeta de Santiuste de San Juan Bautista. Obras de toma, conducción principal, infiltración y adecuación de las zonas regables (Segovia).

Para la recarga de la cubeta de Santiuste de San Juan Bautista (Segovia) se pretende un trasvase desde el río Voltoya hasta la citada cubeta. Las obras a realizar consisten en un azud de derivación en el citado río y una tubería de 9.823 metros de longitud y 1.100 milímetros de diámetro, derivándose un caudal de 1 metro cúbico por segundo. El período de recarga considerado es desde el 1 de noviembre al 1 de mayo.



Figuras 1-2 a) y b). Obra declarada de interés general (a). Las actuaciones realizadas han contado con apoyo técnico, legal y político. Este último se ha debido, en gran medida, a la Diputada se Segovia y ex-ministra Dª Loyola de Palacio, que dio luz verde a las obras (b), y a su sucesor, D. Miguel Arias Cañete.

Este proyecto fue declarado obra de interés general, en gran medida gracias al esfuerzo de la ex-ministra y diputada por Segovia, Loyola de Palacio, junto con varios Cargos castellano y leoneses, que iniciaron las labores para que los anteproyectos redactados se hicieran realidad.

El hecho de que se involucraran personalmente los funcionarios de la Dirección General de Desarrollo Rural del Ministerio de Agricultura y de la Junta de Castilla y León, así como de la Consejería de Medio Ambiente de Segovia, y la demanda y participación activa de los regantes, junto al respaldo de la Confederación (o bien Demarcación) Hidrográfica del Duero, permitieron que la *Cubeta* cuente en la actualidad con un dispositivo de recarga artificial de acuíferos de tipo superficial (básicamente balsas y canales) conocido internacionalmente.



Figuras 1-3 a) y b). Cabecera del dispositivo (a), y placa conmemorativa, un tanto especial, dado que hasta la fecha resultaba poco habitual que un ministro inaugurara un dispositivo de aguas subterráneas (b).

Operativo desde el 5 de diciembre de 2002 e inaugurado oficialmente el 11 de marzo de 2003 (figura 3-32 en su configuración final), este dispositivo constituye una tipología pionera en España en su género que, además, es de gran efectividad.

2 CONTEXTO

2.1 ÁMBITO GEOGRÁFICO

La Cubeta de Santiuste de San Juan Bautista (en adelante “la *Cubeta*”) está comprendida en el sector oeste de la provincia de Segovia y sector sureste de la provincia de Valladolid, y engloba total o parcialmente en sus aproximadamente 85 km² de superficie los términos municipales de Llano de Olmedo, Villeguillo, Ciruelos de Coca, Villagonzalo de Coca, Coca y Santiuste de San Juan Bautista. Se encuentra en la margen izquierda de los ríos Voltoya y Eresma.



Figura 2-1. Situación geográfica de la zona sobre la cartografía provincial del Ministerio de Fomento de Segovia a escala 1:200.000 y su posición dentro de España.

La red hidrográfica principal de la zona de estudio delimitada está constituida por la confluencia del arroyo Balisa con el Voltoya (a unos 1.000 m al SO del municipio de Coca), y la confluencia del río Eresma con el Voltoya a unos 500 m hacia el NNO de Coca. Los principales cauces presentan trazados sinuosos (a pesar de que conforme a su índice de sinuosidad, serían ríos rectos, al discurrir por una zona de escasa pendiente. A este respecto cabe subrayar que los tramos de orientación NE-SO son más rectilíneos, aparentemente por condicionantes tectónicos.

Los ríos son ganadores, recibiendo parte del drenaje del acuífero, al ir encajados sobre el sustrato impermeable de las margas de las Facies Cuestas. En situaciones de

crecidas extraordinarias su funcionamiento es influente, es decir, ceden aguas al acuífero en zonas puntuales, como se ha constatado en la cartografía hidrogeológica para la situación de febrero de 2003, en una situación anormalmente húmeda y durante las operaciones de recarga artificial (MAPA, 2005).

Atravesando la Cubeta de Santiuste, de sur a norte, se identifica el trazado del Arroyo de la Ermita, totalmente seco por efecto de la explotación intensiva del acuífero superficial. Su antiguo trazado ha sido empleado para el diseño del canal de recarga artificial, con el que coincide en un 30 % de su longitud, garantizando una cota descendente en todo su trayecto (MAPA, 1999c).

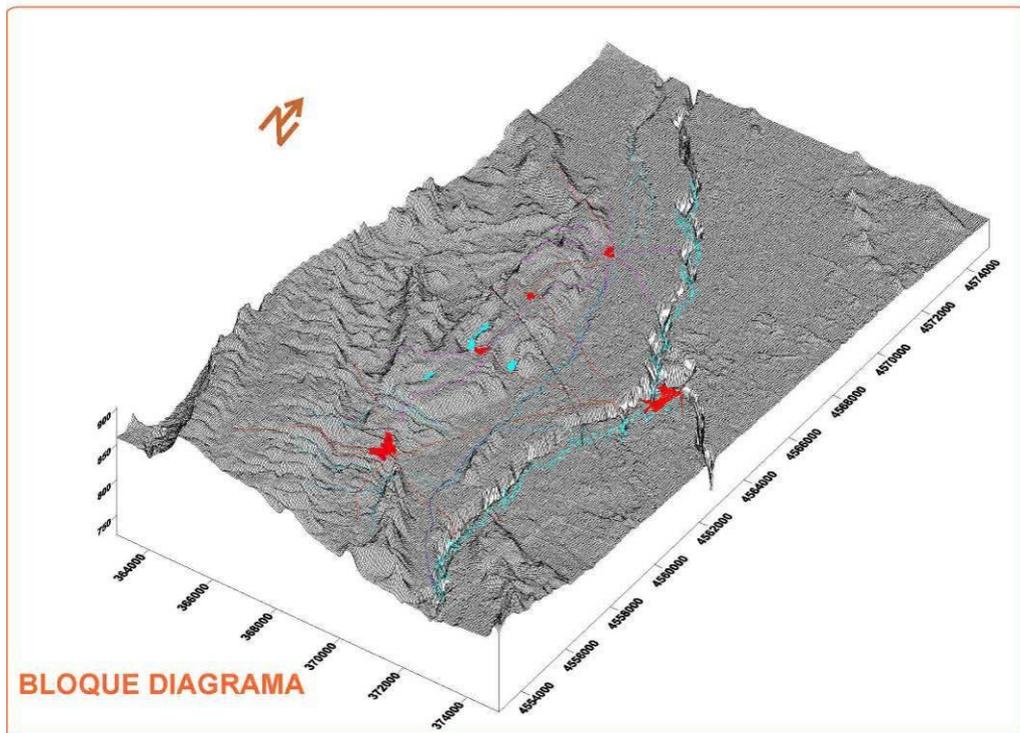
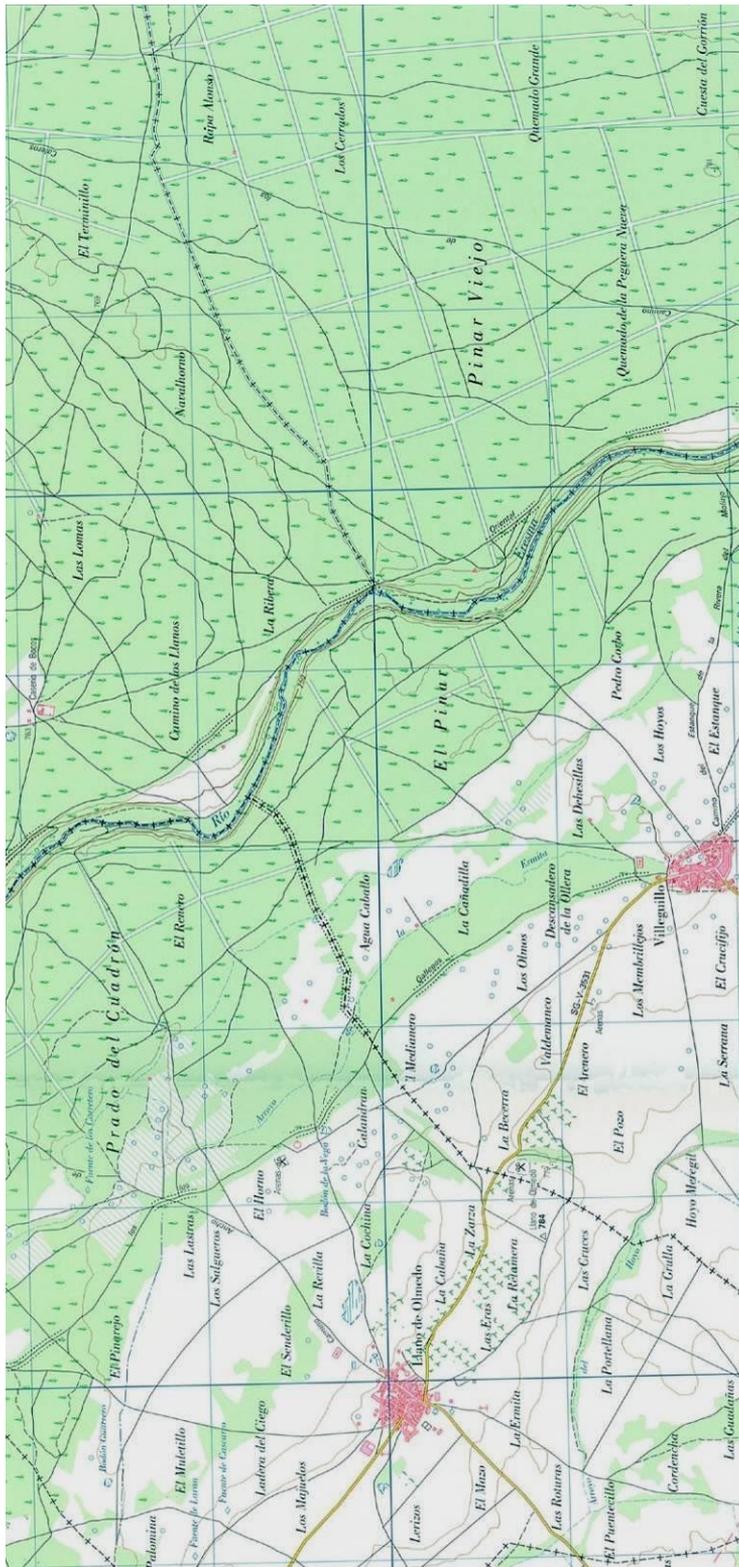
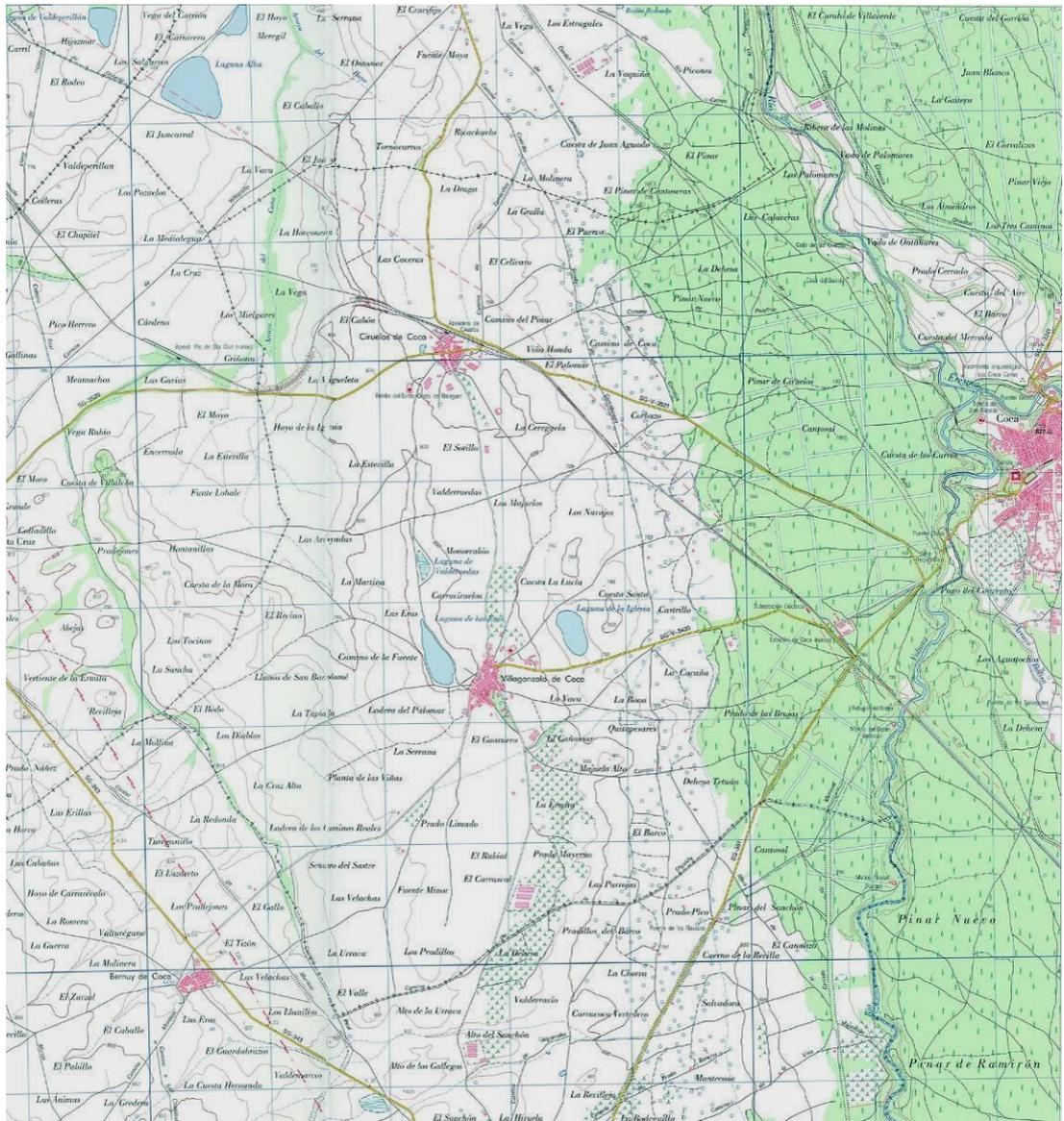


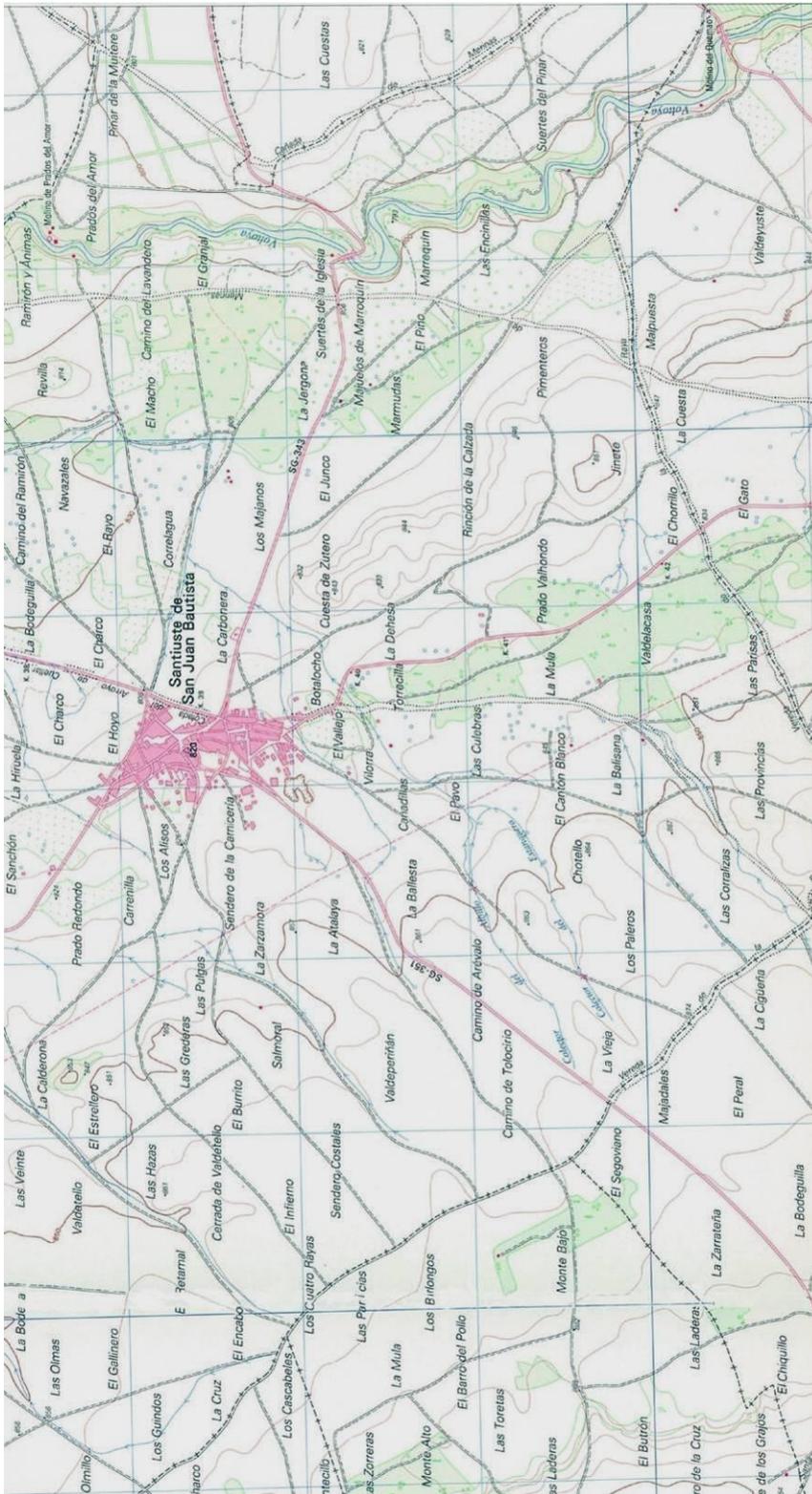
Figura 2-2. Bloque diagrama (*wireframe*) que refleja la fisiografía de la Cubeta, zona comprendida entre la falda de las colinas por el oeste y el trazado de los ríos Voltoya y Eresma por el Este.

Con objeto de ubicar los topónimos citados a lo largo del escrito, en las figuras 2-3 se adjuntan las cartografías del IGN del sector norte, central y sur de la Cubeta, respectivamente.

Figuras 2-3 a) a c). Mapas topográficos de la Cubeta de Santiuste a escala 1:25.000, norte, centro y sur respectivamente, representados a escala aproximada 1:40.000 (a y c) y 1:50.000 (b). Fuente IGN, 1985.









Figuras 2-4 a) y b). Colinas de margas que delimitan la *Cubeta* por el oeste (a) y talud sobre el río Voltoya, límite este (b).



Figuras 2-5 a) y b). Cultivos sobre el sustrato arenoso pobre en nutrientes (a); y aspecto de antiguas construcciones dotadas de aljibe para riego en el pinar de Ciruelos (b).

En tan reducida extensión se ha ubicado una importante zona de cultivo, basada en la explotación de aguas subterráneas del acuífero cuaternario superficial, provocando un descenso del nivel freático acumulativo de hasta 10 metros, lo que ha provocado que se secaran los pozos antiguos de gran diámetro, comenzando una etapa de construcción de sondeos y reperforación de las captaciones preexistentes “por contagio².”

Independientemente de su estado actual o su estacionalidad, la toponimia denota un extenso sistema de humedales, más o menos someros, extendidos por la zona de estudio del Complejo Coca-Olmedo, especialmente en la margen oeste. Cabe destacar La Laguna de la Iglesia, de las Eras, Valderruedas, de Ciruelos, Alba, Valdeperillán, como humedales con cierto grado de preservación.

² Este efecto es el producido entre los usuarios de aguas subterráneas (principalmente agricultores), al ver las importantes ventajas y beneficios económicos obtenidos por otros usuarios de aguas subterráneas, con costes asequibles (Llamas, 2001).



Figura 2-6. El alumbramiento de aguas mediante norias y acémilas fue una pauta habitual en la *Cubeta* durante el desarrollo agrícola de los siglos XIX y XX, hasta la implantación de la bomba con motor de explosión. (Fotografía por cortesía de D. Luis Galán, IGME).



Figura 2-7. La gestión del agua de riego se ha llevado a cabo mediante pequeñas celdas de almacenamiento de aguas subterráneas o riego mediante la extracción directa desde pozos. Santiuste, foto tomada el 06/06/2003.

2.2 CLIMATOLOGÍA DE LA ZONA

Climáticamente, la zona de estudio está incluida en la provincia Carpetano-Ibérico-Leonesa de la región mediterránea, sector Guadarrámico.

La bibliografía consultada indica que se ha realizado un estudio climático con datos tomados en la estación de Sequero de Coca durante 45 años. El tratamiento de estos datos desprende unos resultados que indican que la temperatura media en la zona oscila entre 10° y 12° C, con mínimas de 2 a 4° C y media de las máximas en torno a 20-22°C. La oscilación térmica media anual es superior a los 30° C (claro indicio de continentalidad), con sólo cinco meses libres de heladas (de junio a septiembre, ambos incluidos). Los valores termométricos máximos se sitúan en verano cerca de 40° C, mientras que los mínimos pueden llegar a ser inferiores a los -12 ° C, con el mes de enero con helada segura.

La pluviometría ronda los 600 mm y presenta una distribución irregular en la zona, ligeramente mayor en el norte que en el sur. La evapotranspiración media anual ronda los 700 mm. El período de estiaje dura entre 4 y 5 meses con un déficit medio mensual de entre 250 y 350 mm. A partir de estas características el clima queda definido como Mediterráneo Seco, (MAPA, 1999b).

Con respecto a los mapas de series de vegetación de España a escala 1:1.000.000, queda situada en una comarca de clima mediterráneo genuino, moderadamente cálido, seco y de inviernos secos.

Desde el punto de vista agroclimático, los inviernos son de tipo avena o trigo-avena y el verano de maíz. Estas condiciones permiten establecer cultivos cerealistas para grano de invierno y primavera, leguminosas para grano en siembra otoñal o primaveral, tubérculos, cultivos industriales, forrajeros, hortalizas de hoja o tallo, de fruto, de flor, raíces o bulbo, frutales de pepita o hueso, de fruto seco, vid, y de manera creciente, fresa, etc.

Los datos calculados para el año tipo medio se han realizado con los datos de la antigua estación 2502 del Instituto Nacional de Meteorología (ACTUALMENTE Agencia AEMET) situada dentro del casco urbano de Santiuste de San Juan Bautista, medida por D^a Ana María Herrero durante décadas. Con la totalidad de datos disponibles se han calculado los índices evapotranspirativos, representados en la figura 2-8.

Los vientos dominantes se concentran en el cuadrante noreste.

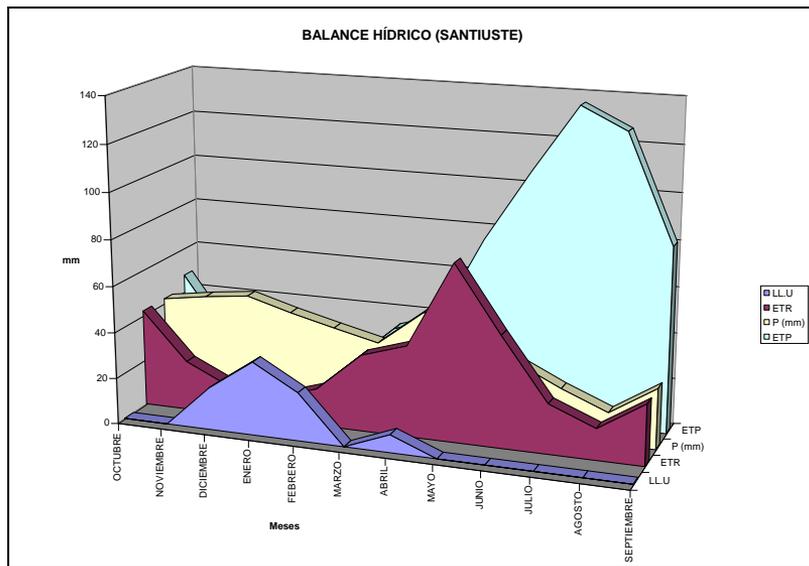


Figura 2-8. Índices evapotranspirativos calculados para el año tipo medio en la estación 2502 con hipótesis de reserva de 40 mm.



Figuras 2-9 a) y b). Estación meteorológica 2502, “Santiuste de San Juan Bautista” del Instituto Nacional de Meteorología, INM (actual AEMET), con registro de datos pluvio y termo. Hoy por hoy inoperativa.

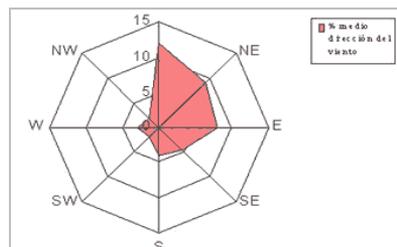


Figura 2-10. Rosa de los Vientos para la localidad de Coca. La velocidad media del viento en la actualidad se cifra en 11,26 km/h. Fuente: www.inm.es.

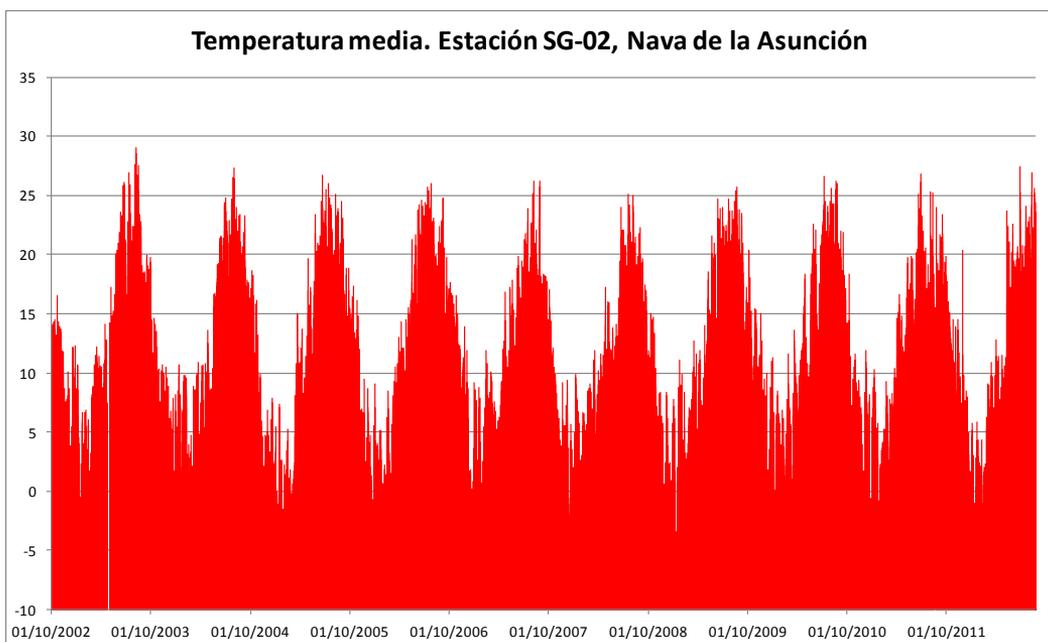
En 2002 la Junta de Castilla y León construyó la estación SG-02, de la Red Inforiego. Se trata de una estación pluviometeorológica adyacente a la *Cubeta* en el término municipal de Nava de la Asunción. Su posición es: UTM: X: 376254,97 / Y: 4559087,71 / Z: 822 msnm).

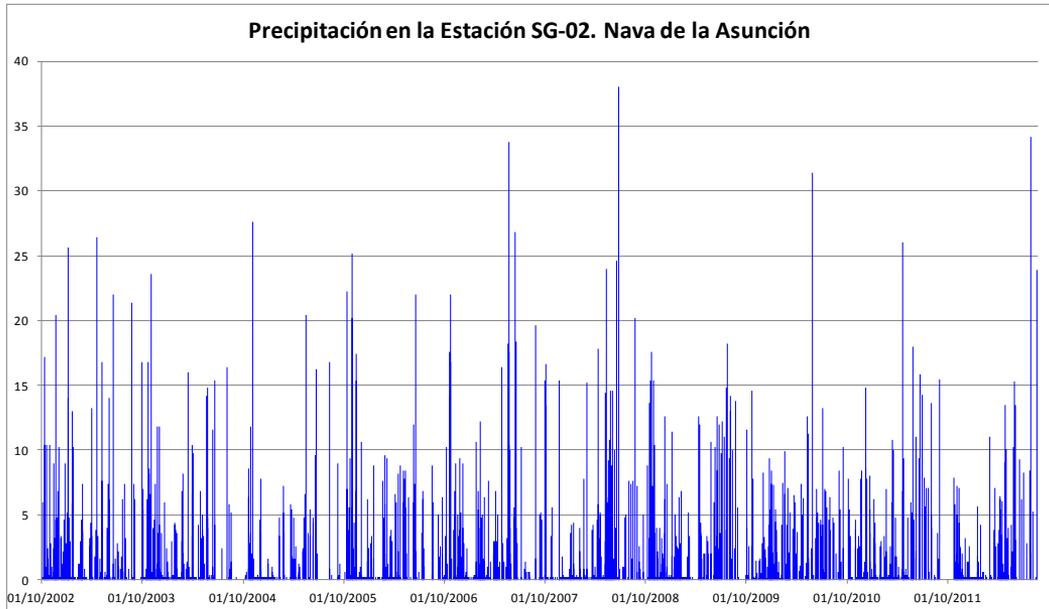


Figuras 2-11 a) y b). Estación SG-02, Nava de la Asunción de la red Inforiego de la Junta de Castilla y León (a), y posición de la estación sobre la ortoimagen SIG-PAC a escala aproximada 1:20.000.

Los datos registrados y sus componentes se encuentran disponibles en Internet en la dirección web: <http://www.inforiego.org/opencms/opencms/estaciones/listado/index.html>

A continuación se exponen un pluviograma y un termograma para el período comprendido entre las fechas 1 de octubre de 2002 y el 30 de septiembre de 2012.





Figuras 2-12 a) y b). Pluviograma y termograma (respectivamente) de la estación meteo SG-02, Nava de la Asunción, para la década de estudio (entre el 1 de octubre de 2002 y el 30 de septiembre de 2012).

Como síntesis del tratamiento estadístico de los datos meteorológicos de la década de estudio (Anexo 3), cabe mencionar que la temperatura media registrada en esta estación para la década estudiada ha sido de 11,16°C, con un valor máximo para el período de 37,79° C (3 de agosto de 2003) y mínimo de -14,06°C, (12 de enero de 2009).

La radiación solar media ha sido de 17,16 MJ/m², con un valor máximo de 34,97 el 28 de mayo de 2009.

La precipitación media ha sido de 460,71 mm al año. En la década cayeron 4.607,1 l/m². El rango de precipitaciones diarias ha oscilado entre 0 y 38 mm como precipitación máxima total el 23 de junio de 2008. En la tabla 2-1 se presentan los eventos de precipitaciones máximas en orden descendente que han sobrepasado los 20 mm acumulados en un mismo día, en su mayor parte registrados en primavera.

La humedad media ha sido de 67,52%, con valores comprendidos entre los extremos 40,78 (17 de diciembre de 2010) y 89,29% el 27 de noviembre de 2003.

La velocidad del viento media es de 1,94 m/s, según una orientación de 171,6°. Las velocidades (medias diarias) han estado comprendidas entre los valores extremos de 0 y 7,19 m/s el 4 de marzo de 2004, con un valor máximo puntual de 22,46 m/s el 20 de diciembre de 2006 a las 09:34 h. Los días con velocidades de viento máximas por encima de 15 m/s aparecen registrados en la tabla 2-2.

FECHA	PRECIPITACION TOTAL (mm)
23/06/2008	38
26/07/2012	34,17
23/05/2007	33,8
27/05/2010	31,4
04/11/2004	27,6
14/06/2007	26,8
19/04/2003	26,4
21/04/2011	26
02/01/2003	25,6
28/10/2005	25,2
16/06/2008	24,6
10/05/2008	24
19/08/2012	23,92
31/10/2003	23,6
12/10/2005	22,2
16/06/2003	22
17/06/2006	22
22/10/2006	22
22/08/2003	21,4
19/11/2002	20,4
16/05/2005	20,4
30/10/2005	20,2
22/08/2008	20,2

Tabla 2-1. Días con precipitación total acumulada superior a 20 mm en esta década, en orden descendente.

Fecha	Vel. media viento	Dir. viento	Vel. Máx.	Hora Vel. Max.	Dirección Vel. Max.
16/12/2011	5,73	255,3	15,11	13:49	243
21/11/2002	5,88	225,1	15,17	10:23	243
15/01/2008	5,21	218,1	15,17	23:51	240,9
24/04/2005	3,96	237,4	15,2	17:15	224,3
11/01/2008	5,52	240,7	15,27	11:16	247,9
25/02/2010	4,94	223	15,27	15:08	246,5
23/12/2009	3,84	151,4	15,28	10:37	235,7
16/01/2008	6,26	268,3	15,31	11:38	283,1
13/11/2002	4,77	187,1	15,66	15:19	255,2
10/03/2008	5,75	248,9	15,66	13:00	244,9
05/03/2006	4,35	309,1	15,82	1:02	4,02
22/02/2005	4,82	227,5	15,83	8:59	239,2
18/02/2006	5,19	219,8	15,86	22:02	235,3
08/11/2010	6,87	255,2	16,09	14:11	254,8
19/02/2006	6,85	238,4	16,1	14:33	275,7
07/03/2007	6,67	275,4	16,1	16:04	310,5
25/08/2007	2,77	82,9	16,18	18:12	237,2
05/03/2009	6,82	297,3	16,22	14:44	310,5
23/01/2009	6,35	245,3	16,27	23:02	225,2
04/03/2009	5,72	271,8	17,02	13:07	277,8
24/02/2010	6,02	239,6	17,48	15:00	245,5
28/12/2003	3,77	263,4	17,9	2:22	258,9
09/02/2007	5,12	254,9	18,36	48	278,5
27/02/2010	7,35	191,7	18,43	17:06	201,7
22/10/2009	5,73	261,7	18,66	4:12	287,6
04/03/2006	4,38	199,7	18,76	11:11	268,2
16/02/2007	4,98	177,3	18,9	17:09	276,7
15/07/2003	2,9	220,3	19,16	10:27	239,6
14/01/2010	7,06	264,4	20,42	4:21	253,1
16/02/2011	4,37	207,9	21	18:28	251
20/12/2006	1,72	32,36	22,46	9:34	40,32

Tabla 2-2. Días con velocidad del viento máxima por encima de 15 m/s registradas en esta década en la estación SG-02, en orden ascendente.

2.3 DEMOGRAFÍA Y PATRIMONIO CULTURAL

2.3.1 Población

En vista de los objetivos propuestos, no parece procedente realizar un análisis socioeconómico, si bien cabe apuntar algunas pinceladas para el conocimiento más preciso del marco físico.

Los datos de población y estudios demográficos son indicadores indirectos de la evolución económica de una zona.

Tal como se puede apreciar en las tablas de población, Navas de la Asunción y Coca son las poblaciones más pobladas de la Villa y Tierra. Su población (entre 2000 y 2500 habitantes) ha sido estable desde los años 60, lo que puede ser indicativo de la prosperidad económica de la zona.

Caso contrario es el que presentan las poblaciones más pequeñas, como Villeguillo y Fuente de Santa Cruz, en las que a partir de este mismo año, 1960, su población se ve muy disminuida, no llegando a superar, desde entonces, los 200 habitantes.

La relación varones/mujeres es muy similar en todas las poblaciones, estando muy equiparado.

Como rasgo más destacable cabe mencionar la disminución de la población coincidiendo con los períodos de mayores sequías históricas, manifestadas en forma de penuria para los agricultores, quienes encuentran problemas para alumbrar el agua por su escasez, distribución y carestía. Estas sequías se han presentado a primeros de los años 80 y segundo quinquenio de los 90.

2.3.2 Vegetación y fauna de la Cubeta

En el sector Este de la *Cubeta* se localiza una extensa área de pinos conformada por dos especies: el pino piñonero (*Pinus pinea*) y pino resinero o negral (*Pinus pinaster*), siendo mucho más abundante el segundo, que es la base de la industria local de obtención de aguarrás y colofonia obtenida de su resina. Además se aprovecha en la obtención de madera, leña para autoconsumo y venta, pez, carbón, piñón y recolección de setas..., lo que ha representado para la Comunidad un buen complemento económico. Actualmente el pinar está ordenado y gestionado desde la Casa Forestal "Sequero de Coca."

Junto a las riberas se encuentran importantes masas de chopos, fresnos y sauces, que conforman los bosques de galería en los principales cauces de la zona. Aunque es en las laderas de los ríos, entre el nivel de los álamos y de los pinos, donde la variedad vegetal es más abigarrada y sorprendente: avellanos, quejigos, sabinas, endrinos, robles y otras variedades caducifolias que aprovechan la abundancia de agua que, en forma de manantiales, fluyen desde el pinar a los ríos.



Figuras 2-13 a) y b). Ribera del río Voltoya en otoño junto al puente de la carretera de Santiuste a Nava de la Asunción. Fotos del 14/10/2008.

La recolección de setas se ha convertido en una actividad económica de gran importancia para la zona. La especie más buscada es el níscalo (*Lactarius deliciosus*).

En cuanto a la fauna, es de destacar toda la relacionada con la zona de pinares: liebres, ardillas, jabalí, conejos, etc. Entre las rapaces destacan el ratonero común, el águila calzada y milano negro y real, que encuentran aquí lugar de cría y de caza. Hay incluso una pareja de águila real censada. Entre los córvidos, las urracas, cuervos, grajos, rabilargos, además de otras muchas aves como palomas torcaces, tórtolas, abubillas, picapinos, carboneros, herrerillos, trepadores, alcaudones, cárabos, autillos, etc. En las riberas, petirrojos, chochines, ruiseñores y mirlos.



Figuras 2-14 a) y b). La extracción de resina ha sido una actividad clásica en los pinares de Coca y Santiuste, profesión todavía activa. Fotos 27/11/2003.

2.3.3 Puntos de Interés Natural y agropecuario

A modo de listado, se presentan los puntos de interés considerados más relevantes desde un punto de vista del medio natural, a riesgo de que se haya omitido alguno importante:

- Moraleja de Coca: Cauce del río Voltoya.
- Santiuste: Presencia de aguilucho cenizo.
- Ciruelos y, en general, para toda la zona: Presencia de alondras y avutardas.
- Villeguillo: Laguna de Caballo de Alba, de interés ecológico.
- Navas de Oro: Lagunas de interés para las aves migratorias.
- Villagonzalo de Coca: Laguna de la Iglesia, Laguna de las Eras y Laguna de Valderruedas, de interés para las aves migratorias.
- Bernuy de Coca: Colonia de cernícalos en la torre de la iglesia parroquial.
- Moraleja de Coca: Vinos (considerado bien agropecuario).
- Santiuste: Vinos de la denominación de origen "Rueda".

2.3.4 Patrimonio cultural

- Bernuy de Coca: Retablo barroco en su iglesia parroquial.
- Villeguillo: Iglesia parroquial, dedicada a san Pedro apóstol, con una interesante colección de piezas de plata.
- Ciruelos de Coca: Iglesia parroquial de San Cipriano, con cáliz y cruz de plata del siglo XVI.
- Villagonzalo de Coca: Escultura románica de la Virgen de Negrillán, patrona de la Comunidad (Iglesia de San Juan Bautista).
- Santiuste de San Juan Bautista: Iglesia románica de San Juan Bautista. Cristo templario del siglo XII y cruz de plata realizada en 1618 por Antonio de Olmedo.
- Coca: Ciudad histórica con un gran legado patrimonial:
 - Verracos celtíberos hechos en granito (Edad del Hierro).
 - Restos de la muralla medieval, donde se conservan tres torreones y la Puerta de la Villa.
 - Castillo mudéjar: erigido en 1453 por orden de Alonso de Fonseca, arzobispo de Sevilla y señor de Coca y Alaejos. Es de planta cuadrada con foso y triple recinto; en el segundo se encuentra la "torre del homenaje".
 - Ayuntamiento, de estilo neomudéjar (1927-1930).
 - Torre románica de la iglesia de San Nicolás.
 - Iglesia Santa María la Mayor, de finales del gótico. Sepulcros renacentistas de la familia de los Fonseca (señores de la villa), realizados en mármol de Carrara por los escultores Doménico Fancelli y Bartolomé Ordóñez, en 1520.
 - Restos romanos en la fuente de los Cinco Caños y el paraje de Las Pizarras.



Figuras 2-15 a) y b). Iglesia de Santiuste de San Juan Bautista (a) y entrada a la localidad de Coca por el Puente Chico. Aún sin interés patrimonial, cabe mencionar en este segundo punto, por su interés técnico, el dique de contención para frenar los movimientos de tierras, como los habidos en las inundaciones del 25/08/2007 (19,6 mm) y del 3/07/2010 (13,2 mm).



Figuras 2-16 a) y b). Vistas del Castillo Mudéjar de Coca, quizás el punto más emblemático de la comarca. Fotos: 27/05/2009.

El castillo de Coca fue construido bajo el reinado del rey Juan II de Castilla en el año 1453. Con estilo mudéjar militar castellano, cuenta con foso perimetral, dos recintos, torres en las esquinas, patio de armas y varias salas interiores, de gran riqueza cromática.

En la actualidad, y desde hace 50 años, tiene la función de Escuela de Capacitación Forestal de la Junta de Castilla y León.

2.4 MARCO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

La *Cubeta* de Santiuste cuenta con una superficie aproximada de 48 km² al oeste de la provincia de Segovia, en la margen izquierda de los ríos Voltoya y Eresma.

Se trata de una superficie poligénica (con varios procesos geológicos sobrepuestos), caracterizada por un depósito complejo de materiales arenosos fluviales que han sufrido remodelación eólica.

Como rasgo más perceptible destaca la presencia de arena dunar en todo el sistema, procedente de formaciones cuaternarias entre las que cabe destacar la Unidad Arévalo. Esta unidad está constituida por arenas silíceas de grano fino. Su espesor es variable y alcanza hasta 55 m de espesor. Los cordones dunares se extendieron en amplias extensiones durante el Cuaternario, interrumpidas localmente por depósitos arcillosos o dunas de otros tipos. Esta formación rellena una cavidad compleja de un sustrato de edad miocena, bien arcilloso (Facies Cuestas) o areno-arcilloso subyacente (Facies Puente Runel), cuyas facies afloran en los bordes de la superficie del páramo y en los escarpes de los ríos Eresma y Voltoya.

La unidad Arévalo da origen a la superficie morfológica de Coca-Arévalo. En su conjunto está constituida por depósitos arenosos de origen fluvial, parcialmente recubiertos por depósitos eólicos y áreas endorreicas. Hay varios sistemas lagunares ya fosilizados, lo que lleva a cuestionar el término "*Cubeta*", habida cuenta de los distintos procesos que han contribuido en la formación de este sistema (fluviales, eólicos y lagunares)

Las facies Cuestas son, fundamentalmente, detríticas, y están constituidas por fangos arcósicos con intercalaciones de arcosas finas a gruesas y arenas fangosas con frecuente cementación carbonatada. Su permeabilidad es muy baja, especialmente en su parte superior.

Las facies Puente Runel se encuentran en la base y desconectadas del acuífero superficial. De composición margo-arcillosa, corresponden a depósitos de transición hacia las facies químicas del Centro de la Cuenca del Duero, sistema acuífero nº 8 o "Terciario Detrítico Central del Duero" (el llamado "acuífero profundo").

Los principales relieves coinciden en gran medida con los afloramientos de facies terciarias, así como la presencia de depósitos de piedemonte en la margen oeste del arroyo de la Ermita. A este respecto cabe destacar todas las colinas que delimitan la *Cubeta* por el Oeste, así como los "isleos" existentes, como el Cuerno de la Revilla, al noreste de Santiuste de San Juan Bautista.

También es importante mencionar la presencia de varios sistemas de terrazas fluviales sobrepuestos en las márgenes de los ríos Voltoya y Eresma.

El área fuente de los sedimentos que rellenaron el antiguo relieve terciario son los materiales del borde Sur y Suroeste (en un contexto subregional), donde se encuentran las alineaciones plutónicas ácidas y, en menor proporción, las metamórficas del Sistema Central y de los macizos de Zarzuela del Pinar y Santa María la Real de Nieva,

cuya erosión originó la arena silíceo de los sistemas dunares. La presencia de carbonatos en el sistema denota otro área madre adicional, cuya procedencia se atribuye a los afloramientos de materiales cretácicos carbonáticos que coronan u orlan los macizos citados, o bien que ocuparon depresiones del paleorrelieve.

Continuando en una escala subregional, y conforme a su estratigrafía, se han diferenciado tres Unidades para este sector de la Cuenca del Duero (conforme a la memoria de la hoja geológica 428, Olmedo):

- Unidad Inferior. Integrada por depósitos neógenos detríticos, concretamente miocenos, pertenecientes a las unidades de Tierra de Campos y Facies Marginales.
- Unidad Media. Está constituida por materiales carbonatados y yesíferos (calizas, dolomías, margas, margas yesíferas y yesos) que, por lo general, configuran el resalte morfológico de los páramos en el centro de la Cuenca (Caliza del Páramo).
- Unidad Superior. Está formada por sedimentos detríticos (lutitas, limos, areniscas, calizas y conglomerados) en proporciones variables, con cambios de facies entre la Comarca del Carracillo y la *Cubeta* de Santiuste, zona de tránsito donde los términos superiores pasan a facies yesíferas y carbonáticas que caracterizan a las "Facies Cuestas" que afloran ocasionalmente en el sector suroriental de la Cuenca del Duero.

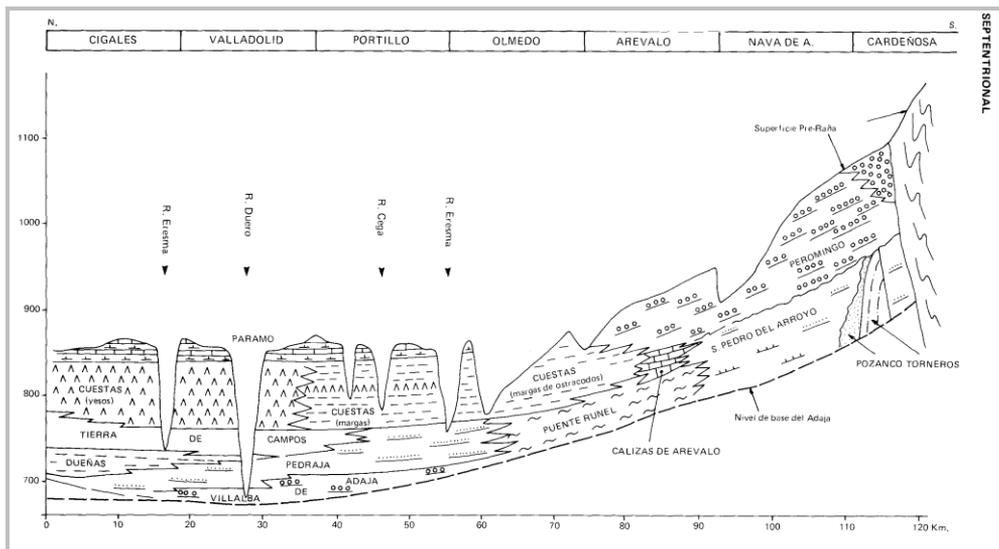


Figura 2-17. Esquema estratigráfico del Neógeno en la transversal Norte-Sur de la Cuenca del Duero (Tomado de Portero et al., 1979-1983 en memoria de la cartografía MAGNA, hoja 428). La zona de trabajo se ubica en el área sedimentaria de la mitad derecha.

La potencia de este conjunto es muy variable (por lo general unos 4-5 m), siendo máxima en las zonas de coalescencia entre dunas, donde pueden alcanzarse hasta 10-15 m de espesor y en zonas de relleno del paleorrelieve previo, que presentaba zonas abruptas, constatándose espesores de hasta 50 m en el sector Central de la Cubeta de Santiuste, que en su base están entremezclados con facies terciarias alteradas.

En las zonas de cultivo, con frecuencia rodeadas por pinares, el alto dinamismo del manto eólico se manifiesta con tapices de arena sobre las Uds. media e inferior.

Los procesos de movilización eólica de los materiales han originado cubetas de deflación en algunas zonas, que con frecuencia están encharcadas e incluso ocupadas por “bodones o lavajos” de génesis compleja con fuerte influencia de procesos tectónicos.

De manera ocasional y con un alto control topográfico aparecen elementos cuaternarios típicos, tales como coluviones, fondos de valle y conos de deyección del Holoceno.

A continuación se presenta la cartografía geológica de la *Cubeta* mediante un bloque diagrama con el Modelo Digital del Terreno (MDT). Los principales relieves coinciden en gran medida con los afloramientos de facies terciarias, bien marginales o centrales constituyendo isleos, así como la presencia de depósitos de piedemonte en la margen oeste del arroyo de la Ermita. Además hay varios sistemas de terrazas fluviales sobrepuestos en las márgenes de los ríos Voltoya y Eresma, con distribución asimétrica y mayor desarrollo en la margen izquierda de los cauces.

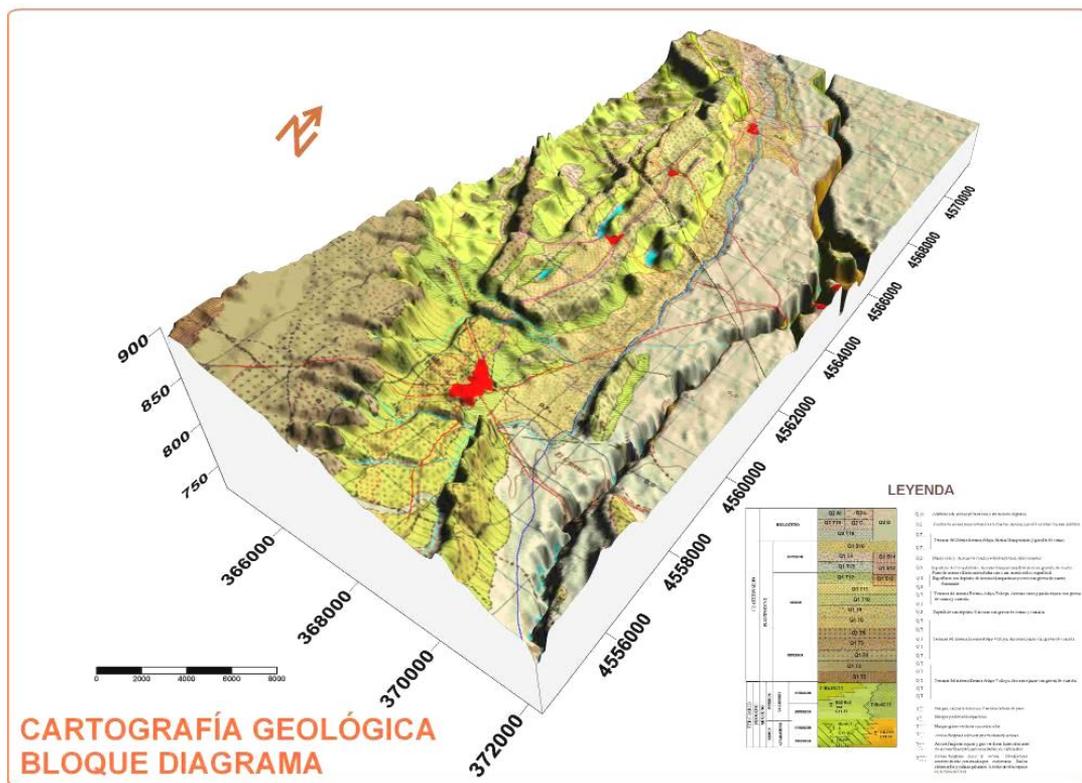


Figura 2-18. Bloque diagrama del MDT de la zona de estudio con una capa ráster sobrepuesta correspondiente a la combinación de los mapas geológicos 428 y 455 revisados.

Conviene destacar la alta influencia de la tectónica en los distintos elementos geológicos e hidrogeológicos, tales como la orientación de los meandros, de los ríos, de los humedales del Complejo Coca-Olmedo y consecuentemente de la configuración del acuífero.

En la figura 2-19 se presenta la rosa de fracturación para la Cubeta de Santiuste, deducida de sus lineamientos (Fernández, 2005), cuya orientación es coincidente con numerosos componentes del sistema, tales como el trazado del río Eresma, de algunos meandros, etc.

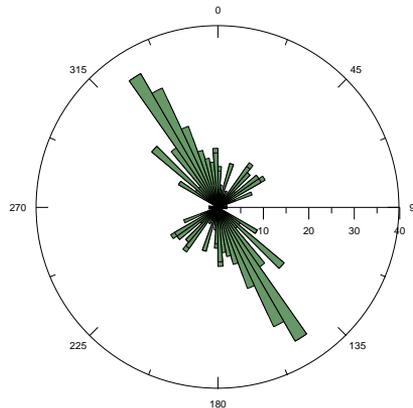


Figura 2-19. Rosa de fracturación elaborada con datos tomados en ortoimágenes, fotos aéreas y estaciones meso-estructurales distribuidas por toda la Cubeta.

La descripción geológica e hidrogeológica detallada aparece en abundantes reseñas bibliográficas, como Fernández (2005).

2.4.1 Parámetros hidrogeológicos en situación preoperacional

Los parámetros hidráulicos del acuífero superficial de la Cubeta de Santiuste, conforme a referencias bibliográficas, aparecen resumidos a continuación (Tabla 2-3).

PARÁMETRO HIDRÁULICO	IRYDA 1991	MAPA, 1999	MAPA, 2005	OBSERVACIONES
Transmisividad (m ² /día)	305-563	240-678		Coincidente con resultados del CEDEX, 1994
Permeabilidad vertical (Kv) (m/día)		2,97-30,2	0,6 - 3	MOPU, 1990: 3 SGOP, 1994: 6-10 Laboratorio: 0,0025-77,8
Permeabilidad horizontal (Kh) (m/día)	32 - 67	0,24-16,8	2 - 30	Valor medio: 41
Coefficiente de almacenamiento (%)	0,15	0,11- 0,28	10	Valor medio: 18,6

Tabla 2-3. Parámetros hidrogeológicos calculados para el acuífero superficial de la Cubeta de Santiuste previos al inicio de las labores de recarga artificial o en su etapa inicial (diversas fuentes).

En 2009 y gracias a la instalación de las estaciones DINA-MAR ZNS (descritas en el apartado 9-6) se ha podido afinar en la determinación de estos parámetros en los sectores donde están ubicadas estas estaciones. Los resultados para estas áreas, en una situación sin-operacional más avanzada, se presentan en la tabla 3-4.

PARÁMETRO HIDRÁULICO	DINA-MAR, 2009	OBSERVACIONES
Transmisividad ($m^2/día$)	1.200 - 1.400	Rango entre ZNS-1 y ZNS-2
Permeabilidad vertical (K_v) (m/día)	0,32	Sector sur de la <i>Cubeta</i>
Permeabilidad horizontal (K_h) (m/día)	4,4 - 5,0	Rango entre ZNS-1 y ZNS-2

Tabla 2-4. Parámetros hidrogeológicos calculados para el acuífero superficial de dos sectores puntuales de la Cubeta de Santiuste en situación sin-operacional avanzada (2009) determinados mediante el seguimiento en continuo y tiempo real de los sensores instalados las estaciones DINA-MAR ZNS durante el ciclo 2008-09.

En el anexo 4 se presentan distintos valores puntuales obtenidos por varios procedimientos sobre estos parámetros hidráulicos.

En cuanto al coeficiente de almacenamiento, se ha establecido una correlación entre los ensayos de bombeo, los ensayos bajo carga constante y los límites establecidos en las curvas de Breddin para asociar los datos de las diferentes zonas y profundidades.

Como valor aproximado del coeficiente de almacenamiento se ha utilizado el de la porosidad eficaz, puesto que nos encontramos en un acuífero detrítico libre. En la Cubeta de Santiuste la porosidad total se estima en torno al 20%, y la eficaz en torno al 15 %.

Los datos relativos a coeficiente de almacenamiento encontrados en los antecedentes arrojan valores entre 15 y 17 (DGDR, 1999), si bien su distribución es bastante heterogénea. El valor medio para toda la zona de actuación se ha estimado en 18,6 (media geométrica).

2.4.2 Cartografías y perfiles hidrogeológicos en situación preoperacional

En la figura 2-20a se presenta una cartografía hidrogeológica para la situación de septiembre de 2002, poco antes de empezar las labores de recarga gestionada en este sector. Dicho mapa se ha elaborado con las directrices establecidas y publicadas por la UNESCO en 1968. Dicha cartografía sirve de elemento de ayuda para interpretar el funcionamiento del acuífero, las zonas de alimentación, drenaje, divisorias, etc.

Se han agregado las cartografías sucesivas, elaboradas con los datos obtenidos de la medición periódica de la red de control (Anexo 5), que permiten apreciar la evolución de las aguas subterráneas a medida que se han llevado a cabo acciones de recarga gestionada. Como rasgos más relevantes cabe mencionar el incremento del almacenamiento de agua en el acuífero, que se manifiesta por la migración de las líneas equipotenciales, y ligeros cambios en las líneas de flujo provocados por la

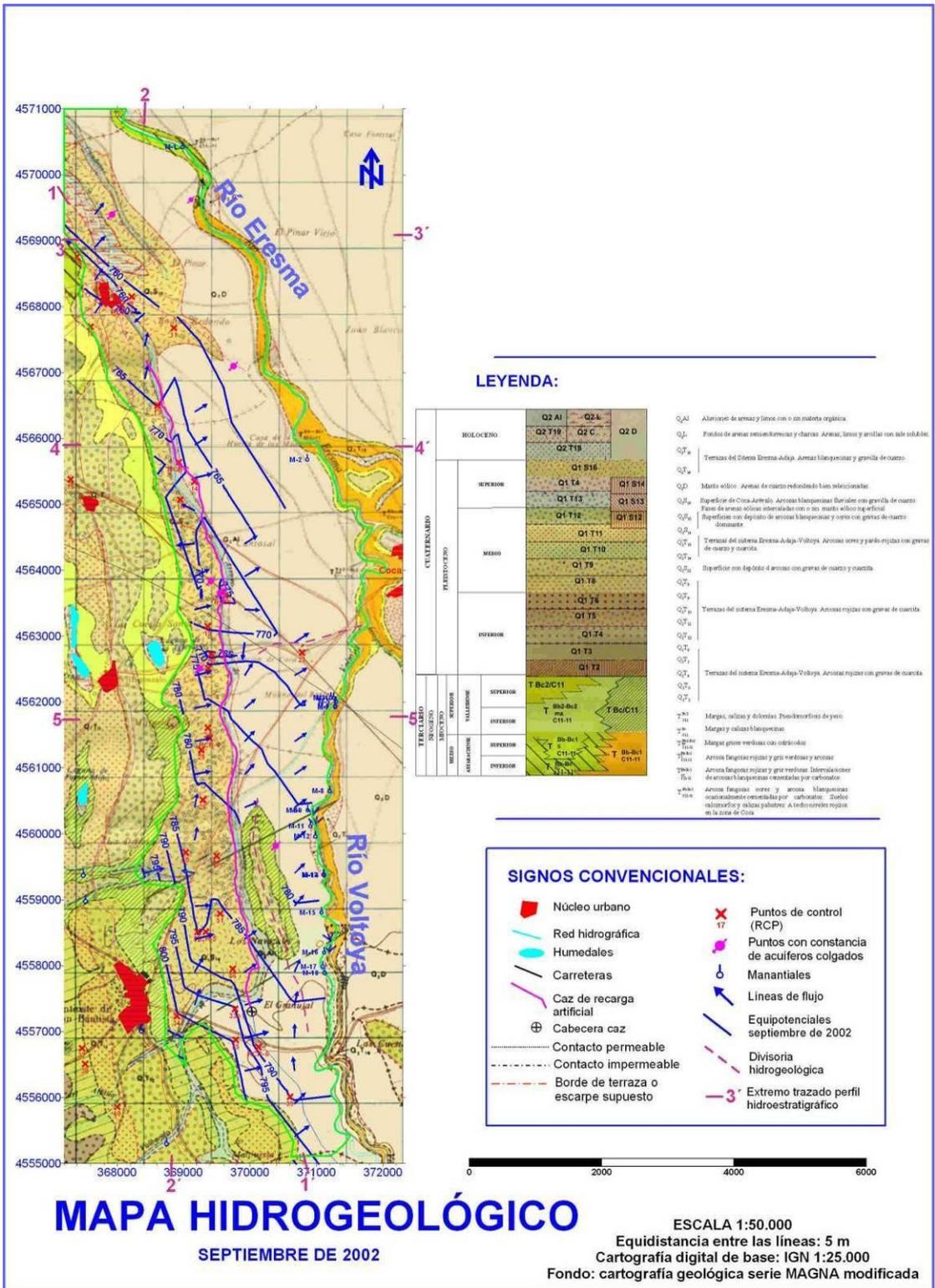
situación de "llenado" del paleorrelieve previo, recubierto, en general, por arenas dunares. El acuífero profundo lleva un comportamiento diferenciado.

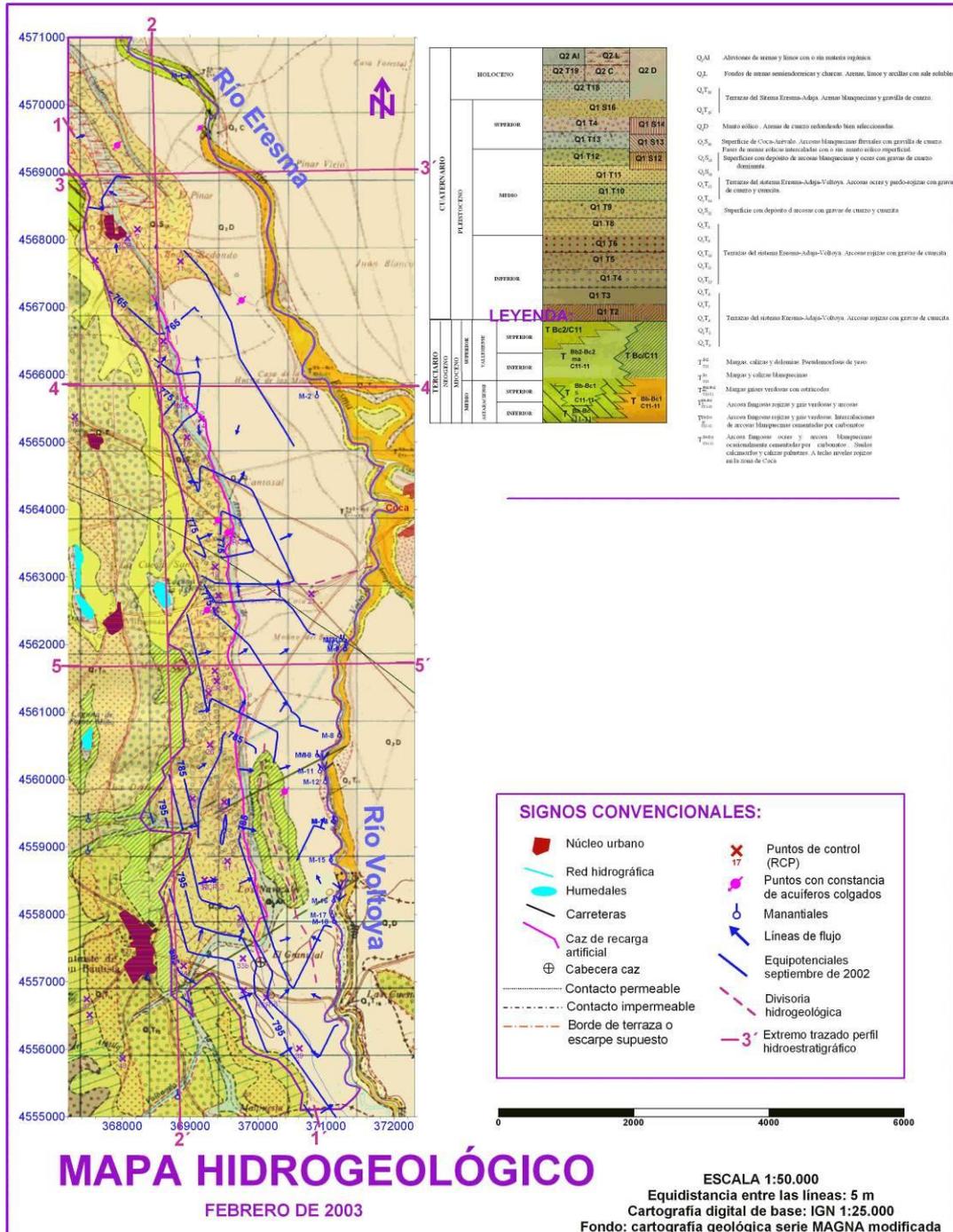
Las cartografías adjuntas se han elaborado mediante interpoladores automáticos para constatar o revisar la interpretación manual mediante el método de los polígonos de Thiessen. Las equipotenciales no cortan afloramientos impermeables y presentan inflexiones en las inmediaciones de los lentejones de grava, que funcionan como drenes. Se han tenido en consideración algunos elementos singulares, tales como humedales relícticos, presencia de sondeos profundos a través de los cuales se descuelga agua desde el acuífero superficial (medida media de la profundidad de la capa freática en febrero de 2003 de 4,28 m) hacia el acuífero profundo regional (en el que la medida del nivel piezométrico medio es de 55,68 m para la misma fecha), etc.

Los afloramientos de margas se localizan en las inmediaciones del Cuerno de la Revilla, junto a la loma de Facies Cuestas. El canal de recarga artificial, al igual que el arroyo de la Ermita, discurren bordeándola y drenando las aguas de escorrentía; por tanto, la infiltración es muy baja en esta zona.

En la zona comprendida entre el Sanchón y el cruce con la carretera de Coca a Villagonzalo de Coca se han detectado margas a escasa profundidad (inferior a 4 m). Aparecen además a una profundidad inferior a 5 m en la zona entre la vía del tren antigua y el cruce con la carretera de Coca a Ciruelos de Coca. En estos tramos se ha constatado una tasa de infiltración de las más bajas del acuífero, debido a la de estas margas terciarias a escasa profundidad.

Figuras 2-20 a) y b). Cartografías hidrogeológicas con el trazado del canal de recarga artificial, la ubicación de los puntos de control y de elementos singulares. Situación preoperacional (septiembre de 2002) (a), y sin-operacional temprana (febrero de 2003) (b). Las cartografías restantes para toda la década se encuentran en el anexo 5. Numerados del uno al cinco aparece el trazado de los perfiles de las figuras 2-21.





Una vez conocida la geometría del acuífero, se ha realizado una serie de perfiles con objeto de facilitar la comprensión del sistema. Su trazado (dos longitudinales y tres transversales) se presenta en la cartografía hidrogeológica en color granate, con las etiquetas fuera del marco.

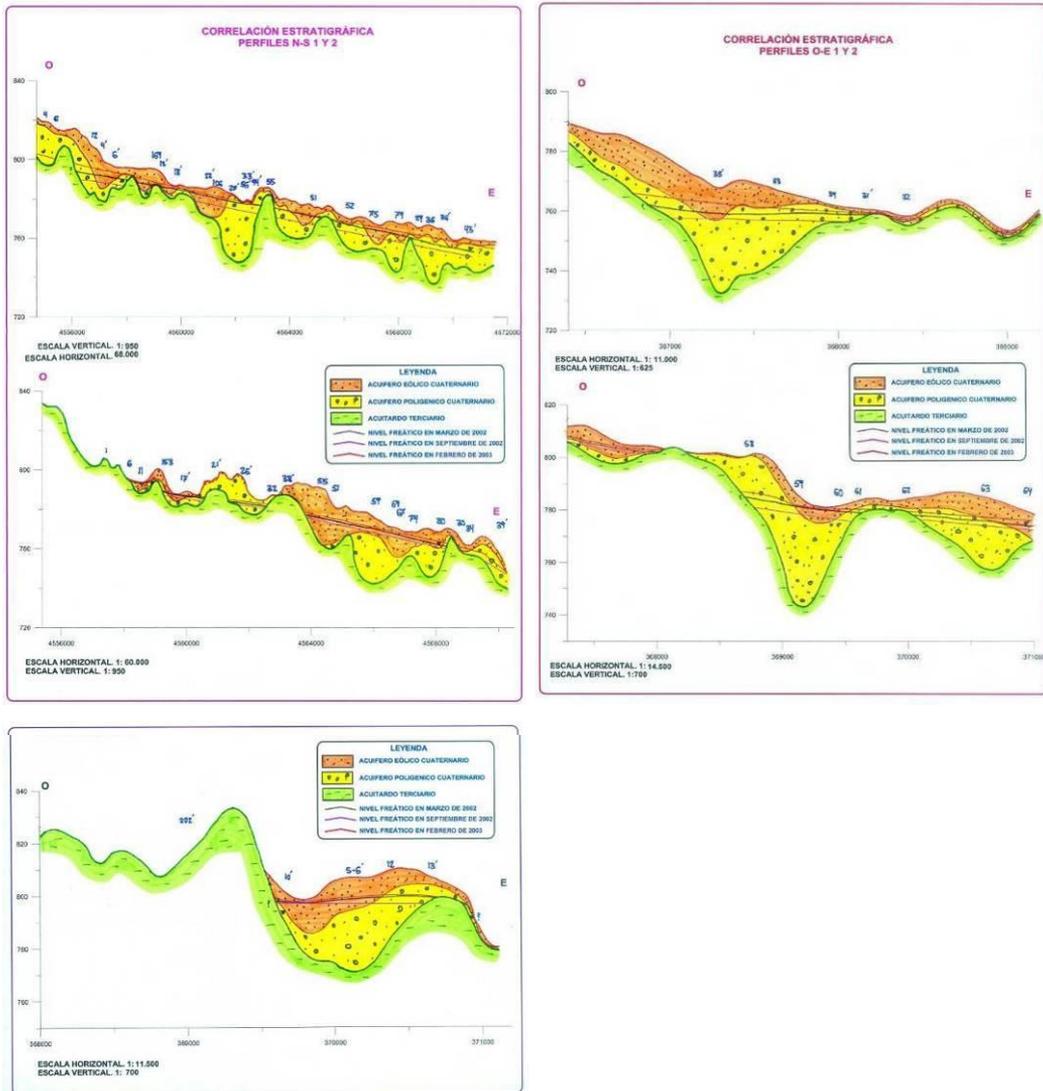
Los perfiles transversales indican también que la divisoria hidrogeológica longitudinal se prolonga hacia el norte y sur desde la zona donde aflora. En el sector septentrional oriental pierde definición (perfil 1), mientras que en los sectores restantes queda confirmada la presencia de acuíferos conectados hidráulicamente, aunque separados con umbrales topográficos que delimitan pequeñas cubetas.

En estos perfiles se aprecia que el nivel freático presenta ciertas anomalías (variaciones en su gradiente) en las cubetas del paleorrelieve. Este hecho puede ser atribuible al descuelgue hacia niveles inferiores del agua del acuífero superficial a través de perforaciones profundas que intercomunican distintos niveles, a la explotación de sondeos profundos (realizados generalmente con estudios previos y perforados en zonas coincidentes con el depocentro de las pequeñas depresiones o cubetas), al régimen influenciado en que se encuentra el acuífero y, actualmente, a las operaciones de recarga gestionada.

En el Anexo 6 se presentan los perfiles a lo largo de los canales de recarga gestionada para toda la década de estudio.

Estos perfiles hidrogeológicos han sido elaborados a partir de las cotas de intersección con las distintas capas: topografía actual, nivel freático en septiembre de 2002 (aguas bajas, línea rosada), febrero de 2003 (aguas altas, línea roja), quedando el trazado del nivel en la fase preoperacional con trazado negro. La base del acuífero cuaternario mixto arenoso y principalmente eólico se ha trazado con color naranja, y la base del acuífero aluvial cuaternario en amarillo. El techo del acuífero terciario en gris.

En ellos se aprecia la evolución del nivel del agua y se constata el hecho de que, en general, la recarga gestionada no representa un aumento fijo y constante del nivel del agua. Más bien es raro apreciar cierto paralelismo entre estos niveles a pesar de estar trazados a lo largo de ambos canales de recarga. Por tanto, las variaciones en la permeabilidad del acuífero en distintos sectores es clave para entender en qué manera evoluciona la capa freática.



Figuras 2-21 a) a e). Perfiles hidrogeológicos longitudinales y transversales en la Cubeta (acuífero superficial), para la situación de febrero de 2003 (aguas altas). La posición de los perfiles está reflejada en las cartografías hidrogeológicas del acuífero superficial. Los números corresponden a la proyección del sondeo eléctrico o perforación realizada. Téngase en cuenta que la escala vertical está muy exagerada, con objeto de detectar las variaciones.

2.4.3 Manantiales en la Cubeta

Esta componente afecta exclusivamente al sector este del acuífero, por sus descargas hacia el cauce de los ríos Voltoya y Eresma.

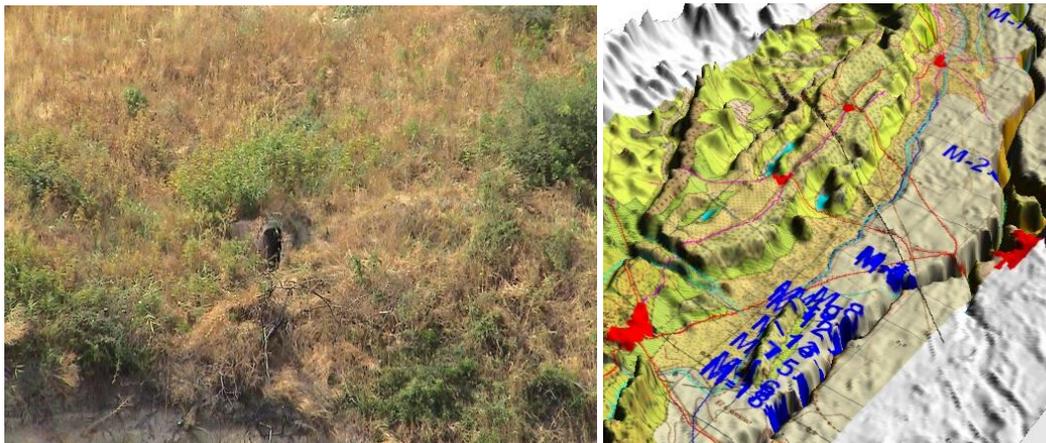
Las salidas del sistema a través de manantiales han sido calculadas por la medición de los caudales de las surgencias localizadas junto al cauce de los ríos. Estos han sido

inventariados con la mayor exhaustividad posible, localizados en su mayoría con la ayuda de testimonios y visitas guiadas con la población local. A pesar de los 18 manantiales inventariados, se trataba de una zona de surgencia, según testimonios verbales, y gran parte de estas han desaparecido en la actualidad.

De los 18 manantiales inventariados, hay 15 localizados en la margen izquierda, que, presentados de norte a sur, son:

Nº	toponimia	X	Y	Z	C (µS/cm)	pH	Tª agua	FECHA	Q (l/s)
M-1	Manantial Villeguillo	368985	4570423	740,7				ene-04	SECO
M-2	Casa de los Oviedos	370865	4565679	775,3				ago-03	SECO
M-3	El Batán- Puente de Hierro	371219	4562067	775,8				jul-03	0,1
M-4	El Batán. Descarga cauce	371261	4562064	762,2				jul-03	0,1
M-8	Molino Nuevo	371200	4560649	761,3					0,1
M-9	Fuente Fría	370868	4560359	773,6	818	8,53	17	jul-03	0,3
M-10	Manantial de las Endrinas	370868	4560359	773,6					0,1
M-11	Rezume camino cacera Betaya	370908	4560120	774,1					0,1
M-12	Rezumes mi Voltoya	370985	4559961	770,6				jul-03	<0,1
M-13	Manantial Chopera	371103	4559381	767,4				jul-03	<0,1
M-14	Fuente camino Ramirón	371117	4559375	767				jul-03	<0,1
M-15	Fuente de la Olma	371073	4558807	777,4				jul-03	0,2
M-16	Molino del Amor-lavadero	371113	4558201	771,7				jul-03	SECO
M-17	El Granjal	371090	4557986	770,6				jul-03	0,1
M-18	Manantial Marote	371119	4557889	775,9				jul-03	0,1

Tabla 2-5. Manantiales en la margen izquierda de los ríos Voltoya y Eresma a su paso por la zona de estudio.



Figuras 2-22 a) y b). Fuente del Batán, con una galería de ladrillo y aguas “zarcas” o blanquecinas. Actualmente tapada por vegetación. Fotografía de 28/09/2002 (a) y esquema con la localización de los manantiales conocidos sobre un bloque diagrama al que se ha añadido la cartografía geológica (b).

2.4.4 Balance hídrico en la Cubeta

La resolución de la ecuación general del balance hídrico en la *Cubeta*, en un entorno preoperacional, arroja los siguientes resultados:

ENTRADAS	Infiltración directa del agua de lluvia	De 2,825 a 3,287 hm ³ /año
	Infiltración a través de la escorrentía superficial	
	Importaciones	0,18
	Entradas por arroyos	0,056
	Retornos de riegos	0,26 a 0,30 (0,28)
RECARGAS	Recarga artificial del acuífero	0,933 a 1,344 hm ³ /año
	Flujo subsuperficial y manantiales entrantes	0,061 hm ³ /año
SALIDAS	Salidas por bombeo:	
	Destino del agua de las captaciones:	
	Regadíos	2,649 a 2,966 hm ³ /año
	Abastecimiento urbano	(Importaciones)
	Abastecimiento industrial	0,165 hm ³ /año
	Abastecimiento ganadero	0,154 hm ³ /año
	Salidas por cauces superficiales.	0*
	Percolación hacia el acuífero profundo.	0,762 a 1,107 (1,0) hm ³ /año
DESCARGAS	Descargas Manantiales y rezumes	De 0,241 (0,3) a 0,677 hm ³ /año
	Drenaje subsuperficial y subterráneo hacia el norte de la <i>Cubeta</i>	0,039 hm ³ /año
TOTAL	E (de 3,382 a 3,817) + (AR) - S (De 4,010 a 5,108)= ΔV	De - 0,628 a -1,291 hm ³ /año (promedio = -0,959 hm ³ /año
	/AR = volumen de entradas por recarga artificial.	3,422- 4,307= 0,885 hm ³

Tabla 2-6. Datos disponibles para la resolución de la ecuación general del balance hídrico. Cubeta de Santiuste. Año hidrológico 2002/03.

Una descripción detallada y la actualización del balance para 2005 puede ser consultado en Fernández, 2005. <http://eprints.ucm.es/7154/>

2.4.5 Datos y cálculos hidrogeológicos para el primer ciclo de recarga

En el documento MAPA, 2005 reseñado en las referencias, aparece una ficha técnica que expone datos y cálculos hidrogeológicos del acuífero, tales como los detalles de la cartografía hidrogeológica, parámetros hidráulicos acuífero superficial y del acuitardo, del dispositivo de infiltración, el volumen estimado para los distintos compartimentos del acuífero, volumen almacenado y su variación, rango de infiltraciones, superficie de oscilación, etc.

A modo de resumen se han extractado aquéllos considerados de mayor relevancia:

Cartografía hidrogeológica:

- Gradiente hidráulico acuífero oeste: 5 ‰.
- Líneas de flujo acuífero este: 3 ‰.
- Nivel freático medio, situación de aguas altas: **4,25 metros**.
- Cota media de la capa freática: 776,87 m en febrero de 2003.

Parámetros hidráulicos acuífero superficial:

- La permeabilidad vertical oscila entre 0,32 (DINA-MAR, 2009), **0,64** (MAPA, 2003) y **3 m/día** (MAPA, 1999a).
- Permeabilidad entre 2 y 30 m/día.
- Coeficiente de almacenamiento: de 0,11 a 0,28 con un promedio del 18,6% (MAPA, 1999a), y 10% (MAPA, 2003).

Parámetros hidráulicos acuitardo:

- Permeabilidad: de $1.1 \cdot 10^{-6}$ y $9.8 \cdot 10^{-7}$, con velocidades de infiltración inferiores a $1,5 \cdot 10^{-3}$ m/día.

Volumen de las capas del acuífero:

- El volumen calculado del acuífero mixto: **317.041.552 m³**.
- Volumen calculado del acuífero eólico: **181.958.951 m³**.
- Volumen calculado del acuífero fluvial: **135.082.601 m³**.

Rango de infiltraciones:

- Superficie de infiltración efectiva, sector occidental (7,128 km²): de 140,29 a 188,55 l/m² o bien entre 0,140 y 0,189 m³/año/m².
- Tasa de infiltración en el acuífero oeste: de 43,54 a 86,75 l/m² o bien entre 0,43 y 0,87 m³/año/m².

Cálculos espesor ZNS, septiembre de 2002:

- Espesor medio de la ZNS para la *superficie de infiltración efectiva*: **7,27 m**.
- Espesor medio del acuífero (ZNS+ZS) es **8,87 m**.

Superficie de oscilación:

- Oscilación de la capa freática medida entre 0,06 m y 4,74 m.
- Intervalo de oscilación medio: 2,67 m.

2.5 OBRAS CIVILES SOBRE HIDROGEOLOGÍA REALIZADAS EN LA ZONA

Las principales obras son piezómetros de control. Se trata de sondeos de pequeño diámetro que permiten conocer la evolución de la calidad de las aguas. En general su diámetro es insuficiente para la extracción de aguas subterráneas.

Se han llevado a cabo cuatro campañas de perforación diferentes, cuyas perforaciones quedan enumeradas a continuación:

2.5.1 Piezómetros perforados en 1999. Primera etapa

SONDEO	X	Y	Z	PROF.
RCR-1	368074	4568022	768,58	18
RCR-2	368926	4565642	775	20
RCR-3	369626	4563622	779,65	23
RCR-4	369393	4561456	786,42	18
RCR-5	369339	4558514	796,24	20
RCR-6	370124	4556765	800,28	39

Tabla 2-7. Posición y profundidad de los primeros piezómetros perforados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación (en adelante MAPA) en la zona.



Figuras 2-23 a) y b). Ensayos de infiltración en balsas “provisionales” en Santiuste. Octubre de 2000.

2.5.2 Piezómetros perforados en 2001/02. Segunda etapa

Piezómetros perforados por el MAPA en 2002:

SONDEO	X	Y	Z	PROF.
SW-1	367419	4570177	763	29
SW-3	369306	4566315	778,7	21
SW-4	369787	4565325	780,9	21
SW-6	370037	4564627	779,4	20
SW-8	369475	4559082	798,3	21
SW-9	369662	4560253	790,8	12
SW-10	370474	4556999	803,8	28
SW-11	370648	4560956	791,9	21

Tabla 2-8. Posición y profundidad de los piezómetros perforados por el MAPA en una segunda etapa.



Figuras 2-24 a) y b). Perforación del sondeo SW-3 mediante rotación con extracción de testigo continuo.

2.5.3 Piezómetros perforados en 2003. Tercera etapa

Piezómetros de investigación a rotación perforados en 2003 (tabla 2-9). NE corresponde al nivel del agua a término de la perforación. Q-T es la profundidad a la que se encuentra el contacto entre el acuífero cuaternario y el sustrato terciario.

Nº	X	Y	Z	PROF	NE	Q-T	FECHA
SW-2	368686	4567906	771,1	21	5,31	> 21 ?	jun-03
SW-5	368958	4564189	782,0	15	10,2	11,9	jun-03
SW-7	369337	4562450	786,6	21	8,63	15,25	jun-03
SW-12	367529	4569305	766,2	40	6,32	> 40	jun-03
SW-13	369979	4558559	798,3	21	14,66	18,3	jun-03
SW-14	371224	4564445	782,2	12	4,6	5	jun-03
SW-15	370689	4561876	789,1	18	13,43	10,4	jun-03

Tabla 2-9. Posición y profundidad de los piezómetros perforados por el MAPA en la tercera etapa.



Figuras 2-25 a) a c). Perforación del piezómetro SW-7 por rotación con extracción de testigo continuo. Aspecto final del piezómetro SW-4. Fotos 18/12/2002.

Sondeos de investigación a percusión perforados en 2003:

Nº	X	Y	Z	profundidad	Q-T	N.E. inicial
P-1	368629	4565382	778,1	25	15,5	8,78
P-2	369694	4563335	783,8	>13	4,5	3,66
P-3	369655	4562513	785,2	25	5,5	22,75 (nulo)
P-4	369377	4560682	790,8	18	6,5	n/a
P-5	370816	4561789	788,6	24	16	n/a

Tabla 2-10. Sondeos de investigación con un diámetro suficiente para introducir una bomba. La sexta columna es la cota del contacto arena-marga. La séptima columna corresponde a la profundidad del nivel del agua al terminar la perforación.



Figuras 2-26 a) y b). Perforación a percusión del sondeo P-4, y aspecto de sondeo P-2 ya finalizado. Fotos: 06/08/2003.

En total se perforaron 23 piezómetros y pozos de investigación a cargo del MAPA entre 1999 y 2003. De ellos, apenas quedan 14, en general como consecuencia de ser tapados en movimientos de tierras, vandalismo, roturas accidentales por el paso de maquinaria agrícola y forestal, rotura o enterramiento durante la concentración parcelaria, etc.

2.6 DESCRIPCIÓN DE LA OBRA DE RECARGA GESTIONADA

El dispositivo está compuesto por canales, balsas y pozos, que se encargan de infiltrar los excedentes invernales derivados del río Voltoya, para luego usarse en el periodo estival. Comienza a partir de un pequeño embalse en el río Voltoya. Desde aquí sale una tubería enterrada de 10 km de longitud pendiente abajo, que termina en un depósito (cabecera del dispositivo) de 36 m³ en cuya entrada hay instalado un caudalímetro. A continuación, aparece una balsa de decantación de 14.322 m² de superficie, de la que parten los dos canales principales.

El originario o “Caz Viejo” (“caz” es la terminología regional empleada para este tipo de canales), comenzó a funcionar en 2002 por el este de la *Cubeta*; y el “Caz Nuevo”, operativo desde 2005, discurre semiparalelo al anterior y a su izquierda.

Como datos técnicos, cabe añadir que el diseño fue realizado para un caudal máximo a derivar desde el río Voltoya de 1.000 l/s.

El caudal de avenida punta calculado para distintos períodos de retorno alcanza los 560 m³/s en un período de retorno de 500 años (método racional). Los resultados del cálculo hidrológico son:

T (años)	Caudal punta (m ³ /s)	
5	100 Máxima avenida ordinaria
10	150
25	250
50	300
100	380
500	560

2.6.1 Descripción detallada del dispositivo

La estructura de recarga superficial (obra) consta de tres elementos principales: azud y obra de toma, conducciones y obra de recarga.

AZUD Y OBRA DE TOMA

El **azud y obra de toma** consta de tres elementos principales dispuestos en el cauce de la margen izquierda del río Voltoya, que son:

- Vertedero con compuertas.
- Pared de retención de flotantes.
- Rejilla para minimizar los sólidos en suspensión. En principio se considerará que la rejilla está obstruida cuando lo esté en un 50% de su superficie:

La toma de aguas del río Voltoya se realiza a través de una pequeña presa. La derivación se lleva a cabo desde el punto de coordenadas UTM (373835 / 4548551), desde una cota de 817 m sobre el nivel del mar. El agua es conducida por gravedad hasta una estación de transferencia, emplazada a 814 msnm, donde comienza el trazado de una tubería de conducción de 9.864 m de longitud.



Figuras 2-27 a) y b). Estructura de retención, filtrado y derivación del río Voltoya con su correspondiente señalética.

Datos y detalles técnicos:

AZUD

- MATERIAL: Hormigón en masa con acero de cosido entre cuerpo de azud y cimentación.
- TIPO: Azud de planta recta.
- PERFIL DEL VERTEDERO: Tipo Creager.
- LONGITUD UTIL DE VERTIDO: 106'64 m.
- ALTURA TOTAL: 3'00 m.
- PROFUNDIDAD DE CIMENTACION: 1'50 m.
- LONGITUD ZAMPEADO AGUAS ARRIBA: 1'50 m.
- LONGITUD ZAMPEADO AGUAS ABAJO: 7'00 m.
- LONGITUD PROTECCION ESCOLLERA: 3'00 m.

OBRA DE TOMA

- Nº DE TOMAS: 1
- COTA DE TOMA: 815'75 m.
- CAUDAL A DERIVAR: 1.000 l/s.
- DIMENSIONES DE LA TOMA: 2'00 x 1'25 m.
- DIMENSIONES DE LA ARQUETA: 2'50 x 10'00 m.
- COTA SALIDA TUBERIA EN ARQUETA: 814'75 m.
- COTA CORONACION MUROS ARQUETA: 818'00 m.

CONDUCCIÓN

La **conducción** consta de cuatro elementos principales:

- Dispositivo de disipación de energía. Se trata de una conducción de fibrocemento 1000 B en el proyecto original, modificado a PRFV de Ø900 SN5000.
- Estructuras metálicas (piezas transversales y vigas de sujeción, con sus correspondientes estribos y zapatas.
- Desagües dispuestos en todos los puntos bajos de la conducción, en número total de 10 unidades constituidos por una tubería de fibrocemento de 250 mm., en la que

se dispone una válvula de compuerta, alojada en una arqueta de hormigón de 1,0 x 1,0 m².

- Chimeneas de aireación dispuestas en todos los puntos altos de la conducción siguiendo la recomendación de separación entre 500 y 1000 m con pendiente uniforme, evitando que la rasante de la tubería pase por tramos de pendiente nula, con el fin de facilitar la evacuación del aire. Se han realizado dos tipos de chimeneas de aireación, bien de 300 mm de diámetro para todos los casos, o de 1000 mm para los puntos altos en los que se establecen secciones de control con cambio de régimen. Las chimeneas se construyen mediante la inserción en la tubería de una T de chapa de acero, de 8 mm de espesor, que se integra en un dado de hormigón 2,054 x 2,054 x 3,0 m³, que sobresale 0,40 m sobre la superficie del terreno. La base de la chimenea se protege con hormigón, y el resto con un anillo de ladrillo que se prolonga en 3,00 m, dejando la parte superior restante del tubo con fibrocemento visto.
- La conducción finaliza en un depósito de hormigón de 36 m³ de capacidad en la cabecera del canal de recarga, en el punto de coordenadas UTM 370032 /4557301.



Figuras 2-28 a) a d). La cabecera del dispositivo debe ir dotada de un caudalímetro totalizador, preferentemente con medida en continuo, intercalado en la tubería de recarga antes del dispositivo de entrada. Su protección es llevada a cabo mediante una garita de hormigón y su alimentación mediante paneles fotovoltaicos. Es recomendable su medición en continuo y teleenvío de datos.



Figura 2-29. Chimenea de aireación. La presa queda conectada con la cabecera del dispositivo de AR mediante una tubería de más de 9 km de longitud, en la que hay intercalados dispositivos de disipación de energía para evitar el golpe de ariete.

Datos y detalles técnicos:

- TUBERIA.	. Material	PRFV SN5000
	. Diámetro	900 mm
	. Presión de trabajo	5 Atm
	. Espesor de pared	46 mm
	. Longitud de tubo	6 m
	. Tipo de punta	RK
- LONGITUD DE LA CONDUCCION:	.....	9.863,63 m
	. Tubería fibrocemento.....	9.823,63 m
	. Tubería de acero (Sifón)	40,00 m
- COTA DE RASANTE: Toma	.....	815,37 m
	. Llegada	797,56 m
- COTA PIEZOMETRICA: Toma	.....	816,67 m
	. Llegada	802.647 m
- PERDIDAS EN LINEA (K = 0'1 mm.)	.....	0,114 %
- OBRAS DE FÁBRICA:		
	. Chimeneas de aireación Ø 300 mm.	13 Ud.
	. Chimeneas de aireación Ø 1.000 mm.	3 Ud.
	. Desagües Ø 250 mm.	10 Ud.
	. Pasos de carretera	2 Ud.
- EXCAVACION EN ZANJA	.....	118.479,66 m ³

OBRA DE RECARGA

El “Caz Viejo” de recarga consiste en una excavación de 10.667 m de longitud, coincidente en un 20% con el antiguo cauce del arroyo de la Ermita, discurriendo la totalidad por sus terrazas o llanuras de inundación, buscando siempre la pendiente. Discurre entre las cotas 714 y 684, salvando una diferencia de 30 m. Por tanto, su gradiente es de 0,028‰.

El canal tiene una sección de 1,5 m de altura, 1 m de anchura en la base y pendientes 1/1 a ambos lados. A lo largo del mismo se disponen las obras de parada construidas en hormigón armado y provisto de tajadera de 1 m de altura sobre las que verterá el agua, de forma que el calado máximo sea de 1 m y el calado mínimo en cola de tramo sea 0,50 m en situación estática.

Tomando como valor de cálculo un calado medio de 0,75 m se obtiene un valor del perímetro mojado de 3,12 m. La longitud, estricta de canal necesaria sería entonces de $21.600 \text{ m}^2 / 3,12 \text{ m} = 6.293 \text{ m}$.

En los 10.671 m. de longitud del canal Este (viejo o primera etapa) se consigue una mayor homogenización del proceso de infiltración en todo el acuífero y suplir las deficiencias que se producirán por la colmatación y cubierta vegetal que aparecerá en los taludes, permitiendo también un mayor espaciamiento entre las operaciones de limpieza.

La altura media del agua a lo largo del dispositivo oscila entre 50 y 100 cm, con un nivel medio de 80 cm, lo que representa un nivel de la cresta del bulbo de humidificación de 120 cm bajo la cota del nivel medio del terreno (en adelante n.m.t.). Funcionando el canal o caz en régimen permanente, la superficie de infiltración efectiva equivalente (considerando el fondo y las paredes) es de 33.300 m^2 .

Presenta intercalados 64 dispositivos de parada a través de una superficie que ronda los 33.300 m^2 , considerando la infiltración por el fondo y por las paredes. Estos consisten en compuertas de hormigón con posibilidad de desplazamiento en la vertical, que minimizan la velocidad de las aguas para favorecer la infiltración y favorecer los procesos de decantación. Estos han sido construidos con cuatro módulos prefabricados de $2 \times 1,5 \times 1 \text{ m}$ sobre solera de hormigón H-125. Dos de ellos son abiertos con tajadera de $2 \times 1 \text{ m}$ (parada) y los otros dos son cerrados, sirviendo de pasarela de manipulación y protección contra la erosión de la lámina vertiente.



Figuras 2-30 a) y b). El canal tiene una sección de 1,5 m de altura, 1 m de anchura en la base y pendientes 1/1 a ambos lados. A lo largo del mismo se disponen las obras de parada construidas en hormigón armado y provisto de tajadera de 1 m de calado máximo y 0,50 m de mínimo en situación estática.



Figuras 2-31 a) y b). Punto de coincidencia de obra de paso y parada del Sanchón y aliviadero de la cacera de Betaya (a), que vuelve al río Voltoya junto al molino del Batán y el viaducto del AVE Madrid-Valladolid (b). Fotos 28/06/2007.

De acuerdo con su diseño preliminar, el nivel estático en el calado en cabecera de cada tramo entre dos paradas consecutivas debe oscilar en torno a 0,5 m bajo el nivel medio del terreno.

En los cruces con caminos y accesos a fincas se han construido 30 obras de paso, que constan de ocho módulos cerrados de hormigón, colocados sobre solera de hormigón armado y con una capa de aglomerado en frío de 5 cm en la losa superior de regularización y tapajuntas. La anchura total del paso es de 4 m, lo que se ha constatado que resulta insuficiente en ángulos de 90 grados para el tránsito de tractores si van provistos de remolque (cubas, etc.).

En los dos puntos de coincidencia de obra de paso y parada se ha construido una obra mixta, que consta de 10 módulos, dos abiertos y ocho cerrados, localizados en el Sanchón y en el cruce con la carretera de Coca a Ciruelos de Coca.

El canal fue revestido con 2 m de escollera a ambos lados (gaviones de cuarcitas) en las zonas de transición a las obras de fábrica.

Se ha construido además un camino de servicio paralelo, distante 4 m del caz, compuesto de capa de rodadura sobre tierra y elevado 50 cm sobre la cota del terreno, para facilitar las operaciones de mantenimiento y servir de barrera ante posibles inundaciones extraordinarias. Este camino de servicio será condicionante para el diseño de mecanismos de limpieza y mantenimiento.

El dispositivo cuenta con dos aliviaderos. El primero está ubicado en el Sanchón, en el punto de coordenadas UTM 369697 / 4560321, controlado con compuerta de hormigón y válvula. Se trata de la cacera de Betaya, en el sector central, que conecta el pinar del

Sanchón con el Molino del Batán, en la margen izquierda del río Voltoya. Esta cacera coincide con el drenaje del sector este de la *Cubeta*, y tiene una orientación acorde con las directrices tectónicas principales, por lo que parece haber funcionado desde la Era Terciaria. Este dispositivo fue empleado como aliviadero durante el primer ciclo de recarga, resultando importante en tanto se conocieron los parámetros de gestión precisos para el funcionamiento óptimo del dispositivo.

Este desfase advierte de la necesidad de crear dispositivos complementarios para aumentar la efectividad de las operaciones de recarga artificial, ya que las operaciones que se llevan a cabo en la *Cubeta* en la actualidad son exclusivamente de carácter superficial, así como operaciones de mantenimiento para conservar la capacidad de infiltración inicial en los dispositivos dentro de lo posible.

El final del caz o canal de recarga artificial en este ciclo estaba situado en el aliviadero del Camino del Castrillo, coordenadas UTM 368482 / 4567100, donde presenta una bifurcación. Por el Este existe un segundo aliviadero natural que se dirige hacia las zonas endorreicas del Bodón de Pedro Corbo, al este de Villeguillo, en el sector septentrional de la *Cubeta*. Por el norte, el trazado continúa a través del cauce del antiguo arroyo de la Ermita, por el lateral del Cordel de Ruta, hasta Villeguillo, localidad que bordeaba por el este en el diseño inicial. A partir de 2004, el canal atraviesa el casco urbano a través de una antigua canalización que fue rehabilitada (apartado 9-2).

PUNTO	X	Y	Z
PRESA RÍO VOLTOYA	373785	4548534	718
CABECERA CANAL	370024	4557313	714
ALIVIADERO SANCHON	369697	4560321	709
ALIVIADERO Cº DE CASTRILLO	368482	4567100	684

Tabla 2-11. Coordenadas UTM de las principales estructuras de concentración y aliviaderos del agua superficial que discurre por la obra de recarga inicial.

La superficie de infiltración inicialmente calculada era cercana a 33.300 m², considerando la infiltración por el fondo y por las paredes. El dispositivo fue diseñado para un caudal de derivación del río Voltoya cercano a 8 hm³ por año, con un caudal instantáneo máximo de 1 m³/s. La concesión final de la CHD (N/E: C-21.766-SG) limita el caudal máximo de derivación a 8,5 hm³ anuales, condicionado por el carácter del año hidrológico.

El Nuevo Caz (o canal Oeste) fue construido a partir de 2005 en sucesivas etapas. Tiene una longitud total de 17.293 m. Está ubicado en el sector de máximos espesores del acuífero, por lo que su superficie de infiltración efectiva es prácticamente total. Se ha construido en dos etapas: La primera, hasta la confluencia con el canal Viejo, al sur de Villeguillo, que comenzó su operatividad en el ciclo de recarga artificial 2006/07, sobrepasando el doble del volumen de agua infiltrado en el acuífero en el ciclo precedente.

La segunda etapa prolonga el caz Viejo, atravesando Villeguillo por un sistema de drenaje antiguo, y va a salir en las inmediaciones del cementerio, discurriendo hacia el norte, hasta Llano de Olmedo. Este trazado estuvo en desuso en los ciclos 2005/06 y 2006/07, cuando la recarga artificial cesó en las inmediaciones de Villeguillo. En ese bienio se llevaron a cabo obras de mejora.

La superficie de infiltración, que era de aproximadamente 23.850 m², fue ampliada a 27.960 m², tras las obras de ampliación hacia el norte en Llano de Olmedo, llevadas a cabo por la JCL en 2007.

Se ha construido una vía de servicio paralela a ambos canales de 4 m de anchura y elevada 50 cm con respecto al terreno, como barrera ante posibles inundaciones y acceso para las operaciones de mantenimiento.

El caudal procedente del río Voltoya ronda los 0,5 m³/s, con un periodo de concesión que se extiende desde el primero de noviembre al último día de abril, si bien esta concesión ha tenido cierta flexibilidad dependiendo del carácter del año hidrológico.

Como complemento del canal como principal dispositivo de infiltración, a lo largo de 2004 fueron construidas cuatro balsas de infiltración, la de cabecera de decantación y las de la depuradora. En 2005, dos más con fines medioambientales.

Datos y detalles técnicos:

DIMENSIONAMIENTO Y SECCIONES TIPO PRIMERA ETAPA

• Superficie mínima de infiltración necesaria	21.600 m ²
• Caudal máximo	1,00 m ³ /s
• Longitud total	10.671,50 m lineales

TIPO DE OBRA: Canal excavado en tierra provisto de pequeñas obras de regulación.

- LONGITUD DEL CANAL: 10.671,50 m.l
- SECCION TIPO: TRAPEZOIDAL
 - . Anchura base: 1,00 m
 - . Altura: 1,50 m
 - . Taludes: 1/1
- SUPERFICIE MINIMA DE INFILTRACION NECESARIA: 21.600 m²
- SUPERFICIE INFILTRACION CONSEGUIDA: 33.294 m²
- OBRAS DE FABRICA: Marcos prefabricados de hormigón armado.
 - . Obra de parada: 53 Uds. (4,80 x 2,00 x 1,90 m)
 - . Obra de cruce de camino o paso de finca: 30 Uds. (4,80 x 4,00 x 1,90 m.)
 - . Obra mixta 2 Uds.
- VOLUMEN DE DESMONTE 44.333 m³
- VOLUMEN DE TERRAPLEN 26.826 m³

En la figura 2-32 se muestra el dispositivo sobre la cartografía de isopacas del acuífero arenoso cuaternario. En él se pueden diferenciar los canales, balsas, etc., así como la ubicación de los puntos de la red de control de la piezometría (RCP), la ubicación de las estaciones de aforo secuenciales y de estudio de evolución de la tasa de infiltración.

2.6.2 Características de los materiales y coeficientes de seguridad según EH-91

A) ELEMENTOS FABRICADOS "IN SITU"

Elemento	Tipo	kg/cm ²	Control	Coefficiente seguridad
HORMIGONES:				
. Capas de regularización	Fck	125	Normal	-
. Azud y escala de peces	Fck	150	Normal	$\gamma_c = 1,50$
. Obra de toma, obra de llegada, desagües, chimeneas y estribos de paso aéreo	Fck	175	Normal	$\gamma_c = 1,50$
ACERO:				
. Azud y estribos paso aéreo	Fyk	4.100	Normal	$\gamma_s = 1,15$
. Resto obras	Fyk	5.100	Normal	$\gamma_s = 1,15$
ACCIONES	Daños medios		Normal	$\gamma_f = 1,60$

B) ELEMENTOS PREFABRICADOS

Elemento	Tipo	kg/cm ²	Control	Coef. Seguridad
Marcos	Fck	350	Intenso	$\gamma_c = 1,40$
Acero	Fyk	5.100	Intenso	$\gamma_s = 1,10$
ACCIONES	Daños medios		Intenso	$\gamma_f = 1,50$

Tablas 2-12. Resistencia y coeficiente de seguridad de los elementos prefabricados.
Fuente: Tragsa.

2.6.3 Cálculo hidráulico para prever el efecto de la apertura de la válvula

Según se detalla en el proyecto de obra (MAPA, 1999c):

- I) Funcionamiento del tramo de cauce con la presencia de un azud de derivación con coronación a la cota 817,0 m.
 - Nivel mínimo de energía en arqueta de salida de tubería de conducción a la cota 816,67 m.

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{1}{(0'46 \cdot 1'60)} = 1'36 \text{ m/s}$$

A esa velocidad, la llegada requiere 7.252 segundos o 120 minutos.

- II) Pérdida de carga total: $h_T = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 = 0,32 \text{ m}$.

La cota de coronación del azud para que se cumpla la condición de nivel mínimo de energía en arqueta de toma deberá ser por tanto:

$$CC = 816,67 + h_T = 816,67 + 0,32 = 816,99 \text{ m.}$$

Se adopta C.C. = 817,0 m.

Se adoptó para todos los cálculos posteriores el valor $H_0 = 1'06 \text{ m} \approx 1'10 \text{ m}$, por ser éste el más desfavorable de los dos obtenidos.

Los cálculos hidráulicos de la conducción se realizan en base a los siguientes parámetros:

- Caudal de Diseño ----- 1000 l/s
- Tubería: Fibrocemento ----- 1000 B
- Diámetro interior----- 1,00 m
- Rugosidad equivalente (Nikuradse) ----- $K=0,1 \text{ mm}$
- Temperatura del agua ----- 10° C
- Viscosidad cinemática ----- $\nu=1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

CÁLCULOS

Los cálculos realizados según el método diseñado y con los parámetros anteriores, se desarrollan en los cuadros siguientes, obteniéndose los siguientes valores:

- Pérdida de carga total -----11,125 m
- Desnivel-----14,110 m
 - Cota toma-----816,670 m
 - Cota llegada-----802,560 m
- Margen de maniobra-----2,985 m
- Pendiente de la línea piezométrica-----1,14 m/km

Con estos valores, se obtienen en el perfil longitudinal de la tubería tres puntos en los que para el caudal de diseño de $1,00 \text{ m}^3/\text{s}$ se producirá circulación en lámina libre, presentando la tubería en estos tramos las siguientes condiciones de circulación:

TRAMO (P.K.)	PENDIENTE %	CALADO (m)
4300	0,93	0,40
5883	1,81	0,33
6405	0,32	0,56

Por la misma fórmula usada anteriormente, se obtiene para la conducción un CAUDAL MAXIMO de 1.203 l/s para la avenida extraordinaria de diseño.

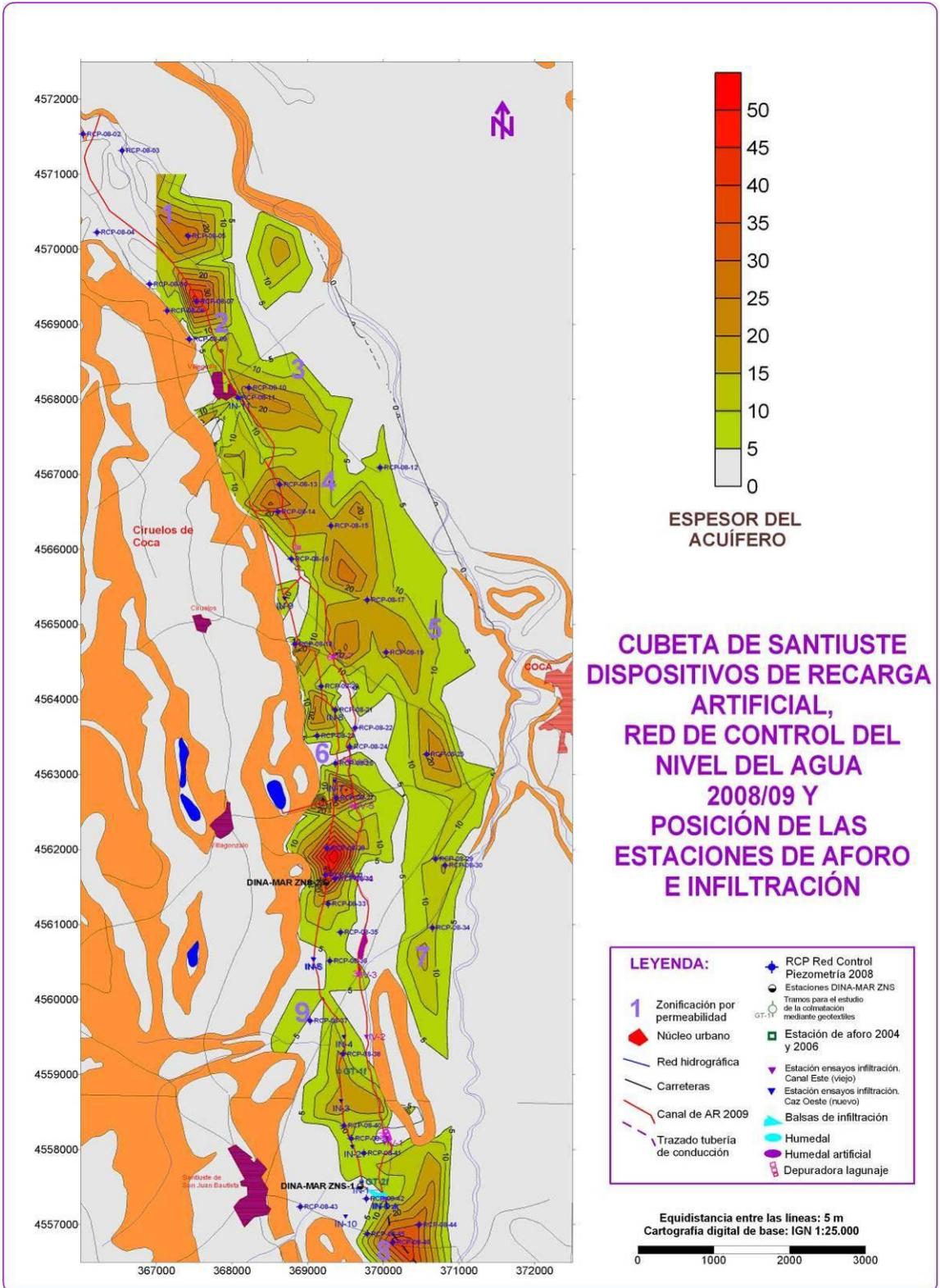
2.7 INVERSIÓN ECONÓMICA EN LA PRIMERA ETAPA

La inversión económica inicial (primera etapa), desglosada conforme a los elementos de obra principales, queda así:

1. OBRA DE TOMA ----- 409.657 EUROS
2. CONDUCCIÓN DE TRASVASE ----- 2.641.615 EUROS
3. ARROYO DE RECARGA 1 ----- 289.940 EUROS
4. ARROYO DE RECARGA 2 (NUEVO) ----- 606.867 EUROS

A continuación se presenta la memoria de cada ciclo de recarga gestionada para la década recogida en esta publicación.

Figura 2-32. Cartografía con el trazado del canal de recarga artificial y la ubicación de las estaciones de aforo y de estudio de la tasa de infiltración. El mapa presenta, además, otros puntos singulares tales como puntos de agua de la red de control de la piezometría, la depuradora, las estaciones DINA-MAR ZNS, etc. Escala gráfica. ***



3 ANTECEDENTES TÉCNICOS

3.1 RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS

El detonante principal que dio lugar a estas actuaciones de recarga “artificial” de acuíferos, o mejor, recarga inducida o gestionada, fue la declaración previa de sobreexplotación que tuvo el acuífero de los Arenales, conforme al artículo 171 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RDPH). Ésta estuvo propiciada por el progresivo descenso de niveles freáticos acumulados a lo largo de años de riego desde la década de los 60, y en consecuencia, la merma del volumen de agua disponible.

La gestión hídrica en la zona apostó por la recarga inducida como técnica para salvaguardar el estado del acuífero y para recuperar el deterioro progresivo motivado por el descenso de niveles.

La definición de “recarga artificial” que consta en la Wikipedia, inicialmente propuesta por el autor y posteriormente mejorada por participantes anónimos, dice así:

La recarga artificial de un acuífero, también llamada gestión de la recarga de acuíferos o Managed Aquifer Recharge (abreviatura: MAR o GRA) es un método de gestión hídrica que permite introducir agua en los acuíferos subterráneos (en general, agua de buena calidad y pretratada, aunque ha habido varias experiencias de recarga con aguas residuales). Una vez almacenada en estos, puede ser extraída para distintos usos (abastecimiento, riego, etc.) frenar la intrusión marina, contaminación y otros usos.

El agua puede proceder de ríos, depuradoras, escorrentía urbana, desaladoras o humedales entre otros orígenes, es introducida al acuífero mediante zanjas, balsas, pozos, sondeos de inyección, etc., generalmente en invierno. Esta agua es almacenada en el acuífero en cantidad superior a lo normal, y sigue su circuito natural subterráneo, depurándose durante un periodo de tiempo variable. Más tarde es extraída y empleada para diferentes usos como abastecimiento y regadío, generalmente con una calidad adecuada.

Esta técnica es considerada una Driving Force o actividad capacitada para provocar un impacto ambiental (positivo o negativo) sobre la cantidad y la calidad de las masas de agua.

Recarga artificial de acuíferos

La **recarga artificial de un acuífero**, también llamada gestión de la recarga de acuíferos o *Managed Aquifer Recharge* (abreviatura: **MAR** o **GRA**) es un método de gestión hídrica que permite introducir agua en los acuíferos subterráneos (en general, agua de buena calidad y pretratada, aunque ha habido varias experiencias de recarga con aguas residuales). Una vez almacenada en estos, puede ser extraída para distintos usos (abastecimiento, riego, etc.) frenar la intrusión marina, contaminación y otros usos.

El agua puede proceder de ríos, depuradoras, escorrentía urbana, desaladoras o humedales entre otros orígenes, es introducida al acuífero mediante zanjas, balsas, pozos, sondeos de inyección, etc., generalmente en invierno. Esta agua es almacenada en el **acuífero** en cantidad superior a lo normal, y sigue su circuito natural subterráneo, depurándose durante un periodo de tiempo variable. Más tarde es extraída y empleada para diferentes usos como abastecimiento y regadío, generalmente con una calidad adecuada.

Esta técnica es considerada una *Driving Force* o actividad capacitada para provocar un **impacto ambiental** (positivo o negativo) sobre la cantidad y la calidad de las masas de agua.

Contenido [ocultar]

- 1 Pros y contras de la técnica MAR
- 2 Comparativa con otras técnicas de gestión hídrica
- 3 Conclusiones
- 4 Bibliografía
- 5 Véase también
- 6 Enlaces externos

PERFIL TIPO DE UN DISPOSITIVO DE RECARGA ARTIFICIAL (CANAL) EN "CONTROL LATERAL" EN UNA ZONA REGABLE

Figura 3-1. Definición de "recarga artificial de acuíferos" en la Wikipedia, propuesta inicialmente por el autor de esta publicación, ha tenido algunas modificaciones posteriores.

Se trata de una técnica de gestión hídrica que permite la introducción y almacenamiento de agua en los acuíferos, como si de una hucha se tratara. Estas formaciones geológicas preservan el agua en buena calidad y la resguardan de su evaporación, para su extracción cuando sea preciso mediante pozos o sondeos y utilización directa.

La figura 3-2 esquematiza el proceso: el agua se introduce cuando hay excedentes, generalmente en épocas lluviosas, alcanza el nivel freático y se incorpora al circuito natural. Más tarde es extraída, en el caso del ejemplo a los dos meses, para su uso directo, en este caso el regadío.

PERFIL TIPO DE UN DISPOSITIVO DE RECARGA ARTIFICIAL (CANAL) EN “CONTROL LATERAL” EN UNA ZONA REGABLE



Figura 3-2. Esquema de un sistema MAR operativo con carácter didáctico elaborado durante el desarrollo del proyecto de I+D+i DINA-MAR y cargado en la Wikipedia. http://es.wikipedia.org/wiki/Recarga_artificial_de_acu%C3%ADferos

3.2 TRABAJOS PÚBLICOS PREVIOS SOBRE HIDROGEOLOGÍA REALIZADOS EN LA ZONA

La *Cubeta* de Santiuste es un acuífero bastante bien conocido gracias a las actuaciones llevadas a cabo por el entonces llamado Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (en adelante MAPA), la Junta de Castilla y León y por actividades de I+D+i. Se encuentra en el sector oeste de la provincia de Segovia y sureste de la provincia de Valladolid, y está comprendida entre los términos municipales de Llano de Olmedo, Villeguillo, Coca y Santiuste de San Juan Bautista. Ubicada en la margen izquierda de los ríos Voltoya y Eresma, cuenta con una superficie aproximada de 42 km².

El río Voltoya, hasta su confluencia con el río Eresma, funciona como una red de drenaje rápida. En cabecera discurre sobre un sustrato granítico con altas pendientes, por tanto está fuertemente condicionada por los períodos de sequía.

Más tarde se adentra en el acuífero de Los Arenales, encajándose sobre él, y marcando en muchos casos el nivel de base el contacto entre los materiales cuaternarios y los terciarios. Este mismo indicador sucede con el río Eresma, en el que confluye, desde Coca hasta las afueras de Villeguillo. El mencionado contacto se aprecia en los taludes pocos metros por encima del *talveg* (espacio geográfico correspondiente con la zona más profunda del valle en cada perfil transversal del río), donde presentan frecuentes rezumes y una franja de vegetación hidrófila desarrollada en la interfaz de facies con un alto contraste de permeabilidades.

Se trata de una zona con intensa utilización de aguas subterráneas para la agricultura de regadío, que representa un importante recurso socioeconómico para sus habitantes.

La progresiva explotación de los recursos hídricos subterráneos y la necesidad de atender una demanda suficiente para salvaguardar la producción de las cosechas, provocó un descenso acusado de los niveles del agua en las últimas décadas de en torno al 50-60% de su espesor saturado inicial (IRYDA, 1991). Esta circunstancia propició la realización de una serie de estudios específicos promovidos por la Dirección General de Desarrollo Rural del MAPA para la recarga del acuífero con los excedentes hídricos derivados del río Voltoya durante la época invernal.

El primer trabajo al que hemos tenido acceso fue fechado en 1989, se trata del “Informe sobre la hidrogeología de la zona de Villagonzalo de Coca, Villeguillo, Ciruelos de Coca y Santiuste de S. Juan Bautista”, elaborado por el entonces llamado ITGE (Instituto Tecnológico Geominero de España), actual IGME o Instituto Geológico y Minero de España).

El estudio contiene una minuciosa recopilación de antecedentes del acuífero superficial, incidiendo especialmente en la problemática de los descensos de los niveles de agua como consecuencia de la “sobreexplotación”, analiza algunos de los problemas socioeconómicos implicados (abandono de cultivos, etc.). El informe indicaba que, como consecuencia de la explotación intensiva de aguas subterráneas, habían variado las condiciones naturales del acuífero, lo que motivó la desaparición temporal o definitiva de algunos de los drenajes naturales de la zona. Asimismo, predice un aumento de hectáreas de regadío, cuya dimensión hídrica implicaría un bombeo de cerca de 1.000 l/s del río Voltoya, caudal que resultaría imposible de derivar en muchos años hidrológicos. Para paliar estos problemas propone una serie de alternativas.

- **IRYDA-MAPA: Proyecto de Asistencia Técnica para el Estudio Hidrogeológico de la *Cubeta de Santiuste (Segovia)* (1991)**

En 1990 el antiguo IRYDA (Instituto para la Reforma y el Desarrollo Agrario), entidad adscrita al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), junto con el ITGE elaboraron el “Proyecto de Asistencia Técnica para el Estudio Hidrogeológico de la *Cubeta de Santiuste (Segovia)*”, documento técnico que no fue publicado pero que se encuentra disponible para su consulta en la biblioteca del MAGRAMA.

El estudio fue firmado por D. Guillermo Casas, ingeniero agrónomo del IRYDA, contribuyendo a su desarrollo varios técnicos del ITGE, como D. Víctor del Barrio.

El informe recomienda la recarga artificial como principal alternativa y propone recomendaciones específicas para la ejecución material de las obras e infraestructura de recarga, distinguiendo básicamente la recarga profunda mediante sondeos profundos y la recarga artificial del acuífero superficial con aguas procedentes del río Voltoya.

Muchos de estos aspectos han sido considerados en estudios posteriores, si bien otros todavía no han visto la luz en la actualidad.

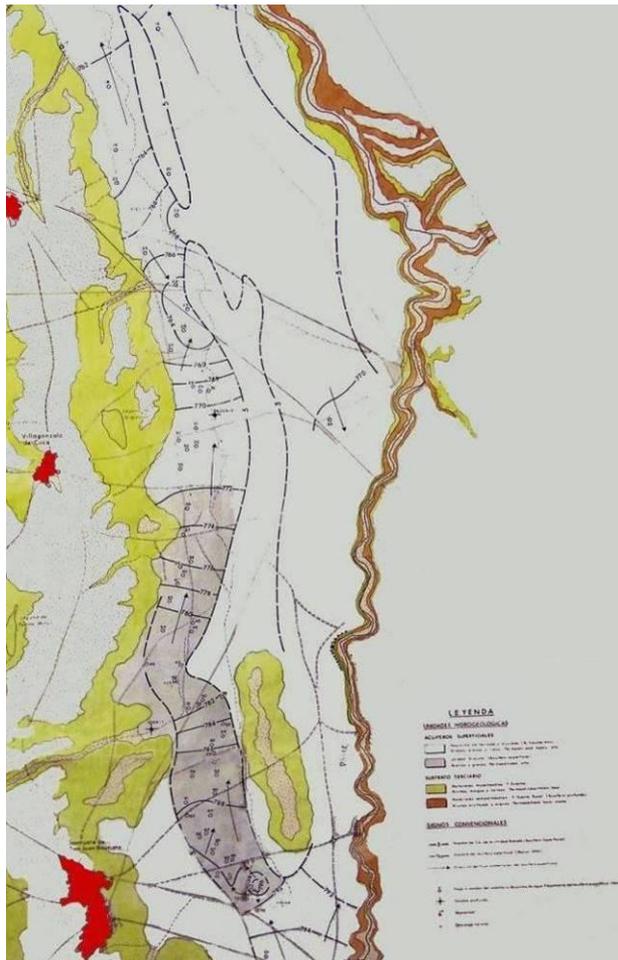


Figura 3-3. Mapa hidrogeológico de la Cubeta publicado en el estudio realizado por el IRYDA en 1990 y 1991.

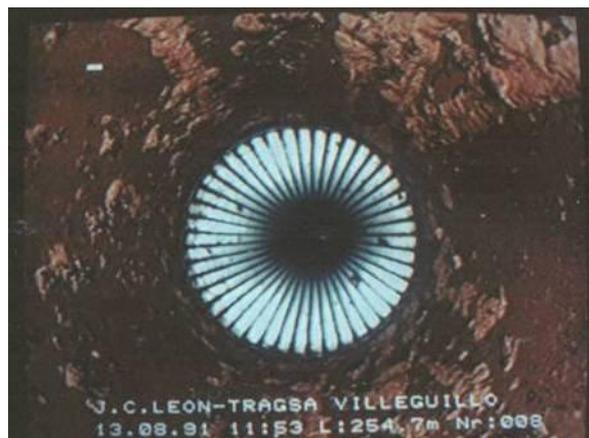


Figura 3-4. Fotografía del interior de un sondeo profundo en Villeguillo. IRYDA, 1991.

Los aspectos contemplados en el estudio se inspiran en una filosofía que caracteriza a la mayoría de los proyectos del MAPA: el estudio representa uno de los pilares de obras civiles futuras.

En este contexto aparecen estudios y publicaciones de carácter medioambiental que complementan a los hidrogeológicos, destacando el trabajo del Dr. Francisco González Bernáldez “Valores y funciones de los ecosistemas de descarga de acuíferos en Los Arenales” (1992), que indica el importante valor de sistemas presentes en la zona tales como los humedales interiores de carácter estepario, núcleos endorreicos, etc.

El autor hizo hincapié en que, en muchas ocasiones, el deterioro por parte de la actividad humana de los humedales viene condicionado porque “no los entendemos lo suficiente y los menospreciamos”.

- **MOPTMA: Informe sobre la posibilidad de recarga artificial en la Cubeta de Santiuste (Segovia) (1994)**

Este estudio, eminentemente empírico, fue realizado para estudiar la viabilidad de utilización de aguas del río Voltoya para recargar el acuífero de los Arenales. Para ello se realizaron unos ensayos de permeabilidad con balsas de ocho días de duración. El caudal de deriva fue de aproximadamente 441 y 243 l/s, que equivalen a 4,4 hm³/año, con un aporte inicial de 8 hm³/año. Los resultados obtenidos fueron de 6 m/día de velocidad de infiltración para la balsa 1 y de 10 m/día para la segunda.

La conclusión principal es que la viabilidad técnica de recarga del acuífero con agua del río Voltoya durante un período de siete meses al año es favorable para la “situación óptima” descrita, en base a que los valores de permeabilidad son adecuados.

- **CEDEX: “Estudio de la hidrología isotópica e hidroquímica del Acuífero de los Arenales” (1996)**

Estudio realizado por el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (MOPTMA), en concreto por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), que tuvieron como objetivo principal averiguar características hidrogeológicas del acuífero a partir de investigaciones hidroquímicas y de hidrología isotópica.

- **MAPA: “Estudio hidrogeológico complementario para la recarga artificial en la Cubeta de Santiuste (Segovia).” Dirección General de Desarrollo Rural (MAPA) (1999)**

Informe complementario al realizado por el IRYDA en 1991, que estudia qué aspectos estaban insuficientemente definidos en estudios previos para su desarrollo posterior. En él se revisó y completó la caracterización física de la *Cubeta*, se realizaron nuevos sondeos de investigación con obtención de testigo continuo, ensayos de bombeo y pruebas experimentales de recarga. Durante el estudio se realizó un seguimiento de la evolución piezométrica y una caracterización hidrogeoquímica inicial de los acuíferos. Este estudio representa la base sobre la que fue realizado el proyecto de obra,

reuniendo por tanto la información hidrogeológica y geotécnica precisa para contemplar aspectos ingenieriles.

- **MAPA: “Proyecto de las obras para la recarga artificial del acuífero de los Arenales, Cubeta de Santiuste (Segovia)” (1999)**

El proyecto está realizado desde una perspectiva puramente de ingeniería. Describe y da instrucciones para el diseño y construcción del azud y obra de toma de aguas fluviales, conducción y obra de recarga, justificando la solución elegida y presentando los cálculos justificativos del diseño, materiales, dimensiones y características de la obra civil. Tiene en cuenta siete criterios básicos: económicos, de sencillez, hidrográficos, geológicos y geotécnicos, hidrogeológicos, medioambientales y constructivos.

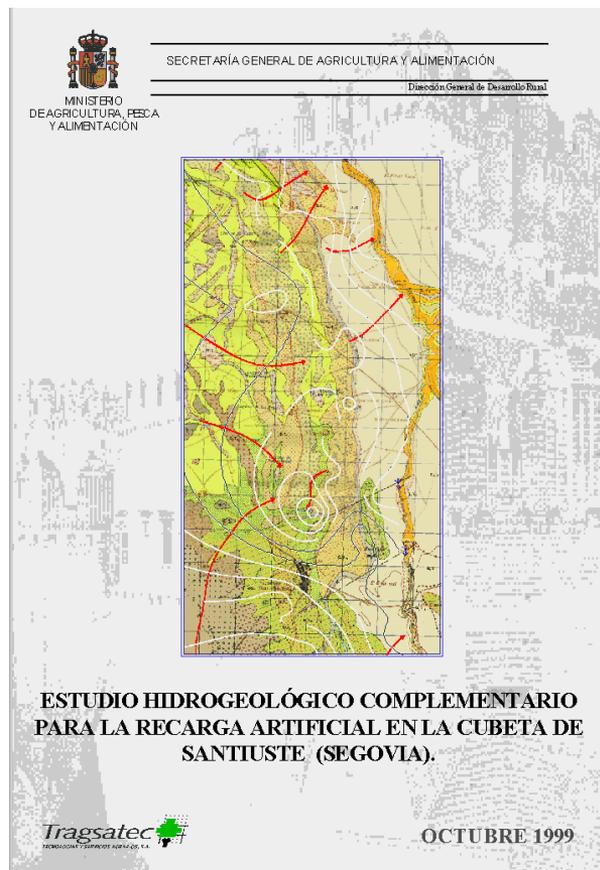


Figura 3-5. Segundo estudio detallado simultáneo al anteproyecto de obra en el que se profundizó en el conocimiento y la estructura tridimensional del acuífero.

- **MAPA: “Proyecto de asistencia técnica para la modelización matemática de la recarga artificial del acuífero de los Arenales, Cubeta de Santiuste (Segovia)”, (2002-2004)**

El principal objetivo a cumplir por el MAPA fue la adquisición de nuevos datos esenciales para la realización y posterior calibración de un modelo matemático, que facilitara la gestión y las actuaciones de recarga mediante derivación de excedentes invernales del río Voltoya. Para ello desarrolló estudios sobre caudales de aguas superficiales, profundidad de las aguas subterráneas, propiedades hidráulicas y morfología del acuífero, calidad de las aguas, balance hídrico, sondeos de investigación, diseño de los dispositivos para la "recarga artificial", soluciones técnicas y legales para abordar el problema de la conexión vertical entre acuíferos a través de los sondeos profundos (con redacción de un informe-propuesta dirigido a la Confederación Hidrográfica del Duero) e incorporación de nuevos datos al modelo matemático de flujo para el acuífero superficial.



Figura 3-6. Tercer estudio sobre aspectos técnicos y modelación. Fue promovido por la Administración con objeto de prever la evolución del dispositivo.

4 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2002/03



20/12/2002

4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES, DATOS Y CÁLCULOS DEL PRIMER CICLO (AÑO HIDROLÓGICO 2002-03)

En las condiciones iniciales, la concesión otorgada por la Confederación hidrográfica del Duero (CHD) permitía derivar del río Voltoya un máximo de $8,5 \text{ hm}^3$ “durante los meses de octubre a marzo” (N/E: C-21.766-SG) de cada año en que la disponibilidad hídrica lo permitiese, en caso de haber un caudal circulante por el río Voltoya superior a 600 l/s medido en la estación de aforo del Puente Chico de Coca “a fin de garantizar el caudal ecológico”. El primer ciclo de recarga, dado el carácter anormalmente húmedo de aquel año hidrológico, no alcanzó la cifra máxima contemplada en la citada concesión.

El inicio de las labores de recarga gestionada en este dispositivo se remonta a la apertura de la válvula el 05/12/2002 a las 12:00 h; y el cierre el primero de mayo de 2003 a las 15:00 h. Hubo una interrupción en la derivación por motivos técnicos del 31 de enero a las 19 h hasta el 3 de febrero a las 12 h. En consecuencia, este primer ciclo contó con 145 días de recarga artificial efectiva.

Por aquel entonces el dispositivo carecía de contador, por lo que los cálculos se llevaron a cabo mediante aforos en el canal en las inmediaciones de la cabecera y encuestas a la comunidad de regantes, dado que el caudal fue tremendamente discontinuo.

Con los datos recopilados, el caudal medio a la entrada del canal de recarga fue de 278 l/s. El volumen derivado del río Voltoya en el periodo de actividad reseñado ascendió a 3,5 hm³. La oscilación media del agua en los pozos que integraban la Red de Control de la Recarga (RCR), constituida por 50 pozos adyacentes al canal, fue de 2,30 m.

Como se ha indicado, el carácter del año hidrológico (que coincide a efectos terminológicos con los “ciclos” de recarga gestionada), fue húmedo, aunque las precipitaciones fueron muy irregulares, llegando a alcanzar el valor máximo del siglo. La precipitación total acumulada medida en la estación pluvió-termométrica SG-02 entre estas fechas (menos de cinco meses) fue de 232,60 mm.

La tasa de recarga natural, consecuentemente, fue especialmente alta, lo que dificultó disociar el volumen recargado al acuífero de manera natural y artificial.

En una primera etapa y como es natural, se realizaron las pruebas oportunas para comprobar la efectividad de las estructuras y conducciones, así como de los dispositivos hidráulicos oportunos para evitar el golpe de ariete, etc. Para ello se liberó un caudal circulante cercano a 20 l/s. Una vez comprobado el correcto funcionamiento de la obra, a mediados de diciembre se incrementó el caudal, con frecuentes variaciones de ajuste entre 150 y 600 l/s. El 20 de enero fue abierta la compuerta de desagüe al río Voltoya a través de la cacera de Betaya, en la confluencia del Sanchón, aliviando un caudal cercano a 20 l/s.

El riesgo de inundaciones en la zona de estudio propició que el caudal derivado no fuera constante, de modo que la compuerta inicial (válvula de cabecera) fue controlada por personal de la “Comunidad de regantes Cubeta de Santiuste de S.J.B., Villagonzalo de Coca, Ciruelos de Coca y Villeguillo” (en adelante, comunidad de regantes de Santiuste...). De este modo se redujo “manualmente” el caudal de entrada al dispositivo procedente del río Voltoya durante los días de precipitaciones máximas y de aguas más cargadas de partículas finas, como es habitual en las aguas fluviales después de episodios de tormenta.

Fue preciso, además, adecuar dos aliviaderos para el retorno al río Voltoya de un cierto caudal desde el canal o caz de recarga, dado que al confluir fuertes precipitaciones con niveles del canal bastante altos, el riesgo de inundación en determinados sectores era mayor. Este es el caso, por ejemplo, del sector sur del Pinar de Ciruelos, en el cruce del canal con la carretera de Coca a Ciruelos de Coca.

El primero de estos aliviaderos coincide con la cacera de Betaya, antigua derivación del arroyo de la Ermita que parte del camino del Sanchón (junto al cruce del canal Este o Viejo con la carretera de Santiuste a Coca), que fue drenado y limpiado de maleza para este fin. Este aliviadero natural conocido como “del Sanchón”, parte del punto de coordenadas UTM 369697 / 4560321 (figura 2-31 a). Fue empleado desde el 20 de enero al 1 de mayo de 2003. Las aguas drenadas alcanzaron el Molino del Batán a mediados de abril, dado que el sustrato del aliviadero es permeable y actúa como canal de recarga del acuífero.

El otro aliviadero se encuentra al sur de Villeguillo y bordea el pinar de Ciruelos por el norte hasta el río Eresma. Conocido como aliviadero norte o “Cordel de Ruta” también es

natural, al discurrir por el antiguo cauce del camino de los Torrecillos, al sur del término municipal de Villeguillo. Parte del Camino del Castrillo, en el punto de coordenadas UTM 368482 / 4567100, donde el antiguo arroyo que condiciona su trazado presenta una bifurcación. Fue abierto a mediados de febrero de 2003, tras una acelerada labor de limpieza, puesto que llevaba décadas en desuso. Mediante éste se drenaron las aguas del canal hacia el río Eresma, dado que concurrieron caudales circulantes altos con fuertes precipitaciones, con el consiguiente riesgo de inundación por desbordamientos puntuales en el mes de abril de 2003.

El día 31 enero de 2003 a las 19:00 h se cerró el dispositivo de entrada por problemas técnicos (inundaciones en la zona del Corbazo, en Ciruelos de Coca, como consecuencia de fuertes precipitaciones), reiniciándose el 3 febrero de 2003 a las 12:00 h. El día 6 abril de 2003 fue abierto el nuevo desagüe del canal por el aliviadero norte. El 1 mayo de 2003 se cerró el dispositivo de entrada a las 15 h, finalizando este primer ciclo.

El dispositivo estuvo funcionando, por tanto, durante 148 días, con 3 días de parada, lo que representa un total de 3.490 horas.

El caudal instantáneo derivado, controlado por la comunidad de regantes y la C.H.D., osciló entre 150 y 600 l/s, con derivaciones iniciales de prueba de unos 20 l/s. Aunque el volumen total de agua derivado del río Voltoya en este primer ciclo no fue controlado con precisión, según la información recibida de distintas fuentes (MAPA, C.H.D., comunidad de regantes y estimaciones de los técnicos del Grupo Tragsa) fue cercano a 3,5 hm³ (conviene recordar que fue un año hidrológico especialmente húmedo).

Los principales eventos recogidos a modo de memoria de la recarga artificial del primer ciclo son los siguientes:

- **5 de diciembre de 2002.12 h. Comienzo de la recarga artificial.**
- 31 enero de 2003.- Se para la recarga a las 19:00 h.
- 3 febrero de 2003.- Se reinicia la recarga a las 12:00 h.
- 15 febrero de 2003.- Bajada de caudal.
- 1 abril de 2003.- apertura del aliviadero al sur de Villeguillo.
- 1 mayo de 2003.- Fin del primer ciclo de recarga artificial.



Figuras 4-1 a) y b). Cabecera del dispositivo al término del primer ciclo de recarga gestionada en la Cubeta de Santiago (22/01/2003 y 06/06/2003).

El caudal instantáneo medio derivado al canal de recarga artificial fue de 278 l/s, dato que se encuentra en el orden de magnitud de los aforos puntuales realizados en el cauce junto a la cabecera del dispositivo.

En este período se constataron dos de los principales parámetros de gestión que fue preciso mejorar en ciclos posteriores: la inundación de ciertos sectores cuando la profundidad de alerta no es muy “conservadora” (figura 4-2a), y la influencia de los ciclos de helada en la recarga (figura 4-2b), iniciando una línea de acción que terminó en la gestión manual “asesorada” de la válvula, resultando preferible el cierre de la misma en días extremadamente fríos, habida cuenta de la precipitación de calcita a modo de costras colmatantes en situaciones ambientales muy frías, y en los días de tormenta con fluencia de aguas turbias en el río Voltoya.



Figuras 4-2 a) a c). El control sobre el nivel del agua de recarga dentro del dispositivo y de la profundidad de alerta constituyen elementos de gestión básicos. El control sobre las estructuras de parada y caudal entrante debe ser continuo, para evitar impactos tales como desbordamientos e inundaciones por el ascenso excesivo del nivel freático como consecuencia de la recarga artificial (a). Así mismo debe gestionarse el caudal fluyente durante los días de helada, dada su influencia directa en los procesos colmatantes carbonatados. Superficie del canal congelada (b) y de la balsa (c). Fotos de fecha 15/02/2003 (a) y 1/02/2006 (b y c).

A lo largo del ciclo 2002/03 se realizaron un total de cuatro campañas de medidas de los puntos de control del nivel del agua, en general pozos y piezómetros situados en las inmediaciones del canal originario. Las fechas de medición fueron el 13/01/03, 07/02/03, 20/02/03 y 24/03/03. Como situación inicial se parte de los datos obtenidos en la campaña de piezometría de septiembre de 2002 (figura 2-20a).

El estudio de la evolución del bulbo de humidificación a lo largo del periodo de recarga aportó información adicional para conocer la geometría del acuífero en profundidad. Por ejemplo, los puntos más cercanos a la cabecera del canal presentaron variaciones de nivel muy dispares según estuvieran ubicados en la margen Este u Oeste del dispositivo: los puntos del sector Oeste presentaron una tendencia alcista generalizada del nivel freático con respecto a los del Este. En cambio el sondeo SW-10 tuvo un registro de niveles descendente. Este hecho, tras analizar varias alternativas, permitió deducir la existencia de una divisoria hidrogeológica entre la cabecera del canal y el sondeo, prolongación subterránea del isleo del Cuerno de la Revilla (afloramiento alargado de margas terciarias que queda recubierto por arenas hacia el sur, véase figuras 2-20, sector central-sur).

4.2 FLUCTUACIÓN DE LA CAPA FREÁTICA DURANTE LAS OPERACIONES DE RECARGA ARTIFICIAL. CUANTIFICACIÓN Y VARIACIONES EN EL BALANCE HÍDRICO

El volumen total recargado, calculado mediante operaciones de álgebra de mapas (método conocido como Water Table Fluctuation o WTF) con datos de la Red de Control de la Recarga RCR (red diseñada para controlar la medida y evolución del bulbo de humidificación constituida por los puntos de agua más cercanos al canal), dio como resultado un volumen infiltrado desde el inicio de la recarga artificial hasta el 24 de marzo de 2003 de $0,5 \text{ hm}^3$ (con respecto a la situación del inicio del año hidrológico y considerando un coeficiente de almacenamiento promediado del 15 %).

Repitiendo este cálculo para la totalidad de los puntos de control (RCP), es decir, considerando tanto el bulbo de avance como los volúmenes desplazados por zonas del acuífero más alejadas del dispositivo, la variación en el almacenamiento oscila entre 1 y $1,3 \text{ hm}^3/\text{año}$, dependiendo del procedimiento de cálculo y de los interpoladores empleados. Este volumen incluye una fracción infiltrada de modo natural que más tarde fue disociada mediante modelación, y un volumen de aire que se incorpora al acuífero como impacto inevitable en las operaciones de recarga artificial.

El cierre del balance hídrico descrito en el apartado 4-4 supuso un incremento de $0,9 \text{ hm}^3/\text{año}$ en la variación en el almacenamiento con respecto al de IRYDA, 1991, sin diferenciar la procedencia de las aguas de recarga (natural o artificial).

Las cartografías y perfiles de los anexos 5 y 6 permiten visualizar la morfología del bulbo de humidificación a partir de las inflexiones de las isopiezas, las cuales resultan indicativas de los obstáculos que encuentran las aguas subterráneas en su flujo como consecuencia de la recarga inducida, las zonas del acuífero de mayor permeabilidad, etc.

En recarga gestionada, resulta de aceptación general que es más útil una cartografía que indique la profundidad del nivel del agua con respecto a la superficie que una que indique la cota de la lámina de agua, puesto que el dato de a qué profundidad se encuentra queda omitido en el segundo caso a pesar de su importancia. Por tanto, se ha generado una nueva cartografía de isovariaciones de la capa freática, es decir, el intervalo de oscilación entre su profundidad máxima y mínima antes y después de las operaciones de recarga gestionada (figura 4-3).

Las zonas que presentan mayores variaciones del nivel del agua quedan ubicadas al oeste de la cabecera del dispositivo, hasta el casco urbano de Santiuste de San Juan Bautista, en las paleocubetas localizadas entre Villagonzalo de Coca y Coca, en la margen sur de la divisoria hidrogeológica transversal del sector central cercana al trazado de la carretera de Coca a Villagonzalo (sector de la Cucaña), en la zona del Pinar Nuevo de Ciruelos de Coca y en la zona regable localizada al sureste de Villeguillo.

Las variaciones máximas registradas ascienden a 4,8 m. La oscilación media, calculada por el tratamiento estadístico de la malla, es de 2,30 m (incluida la fracción infiltrada de forma natural).

Las isopiezas fueron indicativas de los tramos del canal de recarga artificial con distintas tasas de infiltración, lo que fue crucial para planificar el trazado del nuevo canal que fue construido en una etapa posterior, de efectividad muy superior.

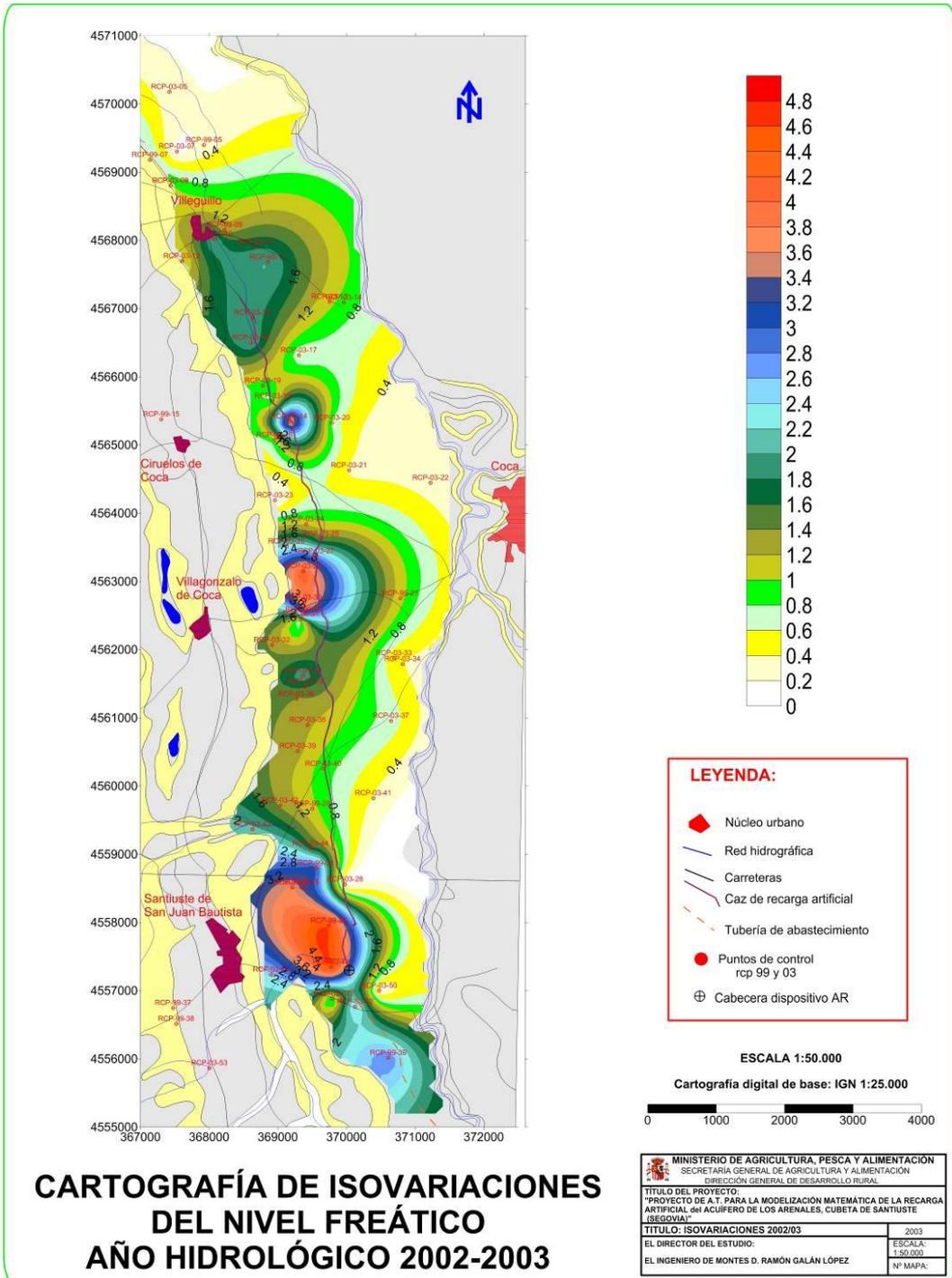


Figura 4-3. Cartografía de isovariaciones de la capa freática durante el ciclo de recarga gestionada 2002/03 (tomado de MAPA, 2005).

4.3 PERFILES A LO LARGO DEL CANAL DE RECARGA

Desde el primer ciclo de recarga se han realizado perfiles hidrogeológicos a lo largo de cada canal de recarga. Para ello se trazaron los contactos a partir de los datos disponibles de las campañas de prospección geofísica y columnas de las sucesivas perforaciones, que permitieron mejorar el modelo a lo largo del tiempo.

Sobre cada perfil se han proyectado las superficies piezométricas deducidas a partir de las campañas de medición de las redes de control. Todos los perfiles elaborados, con expresión de las fechas de toma de datos, se adjuntan en el anexo 6.

4.4 AMPLIACIÓN DE LA RED DE CONTROL

El inventario de puntos de agua llevado a cabo por el MAPA y Tragsatec recogía 300 puntos, distribuidos de la siguiente manera (MAPA, 2005):

- Sondeos y minisondeos (sondeos de pequeño diámetro y profundidad inferior a 30 m en terminología local): 68 puntos.
- Pozos: 157.
- Manantiales: 20.
- Bodones: 4.
- Pozo-charca (pozo de gran diámetro excavado en el centro de una zona de encharcamiento superficial o asociada a la escorrentía o red hidrográfica): 1.
- Piezómetros: 25.
- Pozos-sondeo (sondeos excavados en el fondo de un pozo de gran diámetro): 25.

Al término del primer ciclo de recarga y dentro del mismo año hidrológico se amplió la red de control, perforando siete nuevos piezómetros de investigación a rotación con extracción de testigo continuo. Se construyeron además cinco sondeos de investigación a percusión, complementando los trece perforados con anterioridad.

REF	X	Y	Z	PROF	N.E.	Q-T
SW-2	368686	4567906	771,1	21	5,31	> 21
SW-5	368958	4564189	782,0	15	10,2	11,9
SW-7	369337	4562450	786,6	21	8,63	15,25
SW-12	367529	4569305	766,2	40	6,32	> 40
SW-13	369979	4558559	798,3	21	14,66	18,3
SW-14	371224	4564445	782,2	12	4,6	5
SW-15	370689	4561876	789,1	18	13,43	10,4

Tabla 4-1. Piezómetros perforados por el MAPA en la tercera etapa (junio de 2003). Posición, profundidad total, profundidad del nivel estático y del contacto entre el acuífero arenoso y su sustrato margoso (en metros).



Figuras 4-4 a) y b). Perforación del piezómetro SW-7 y aspecto de una caja de testigo. 13/06/2003.

Los sondeos de investigación a percusión perforados en 2003 fueron cinco (tabla 4-2). La columna seis corresponde al nivel del agua a término de la perforación y la séptima al caudal específico previo al desarrollo.

REF	X	Y	Z	PROF	N.E.	Q-T
P-1	368629	4565382	778,1	25	8,78	15,5
P-2	369694	4563335	783,8	>13	3,66	4,5
P-3	369655	4562513	785,2	25	22,75 (nulo)	5,5
P-4	369377	4560682	790,8	18	n/a	6,5
P-5	370816	4561789	788,6	24	n/a	16,0

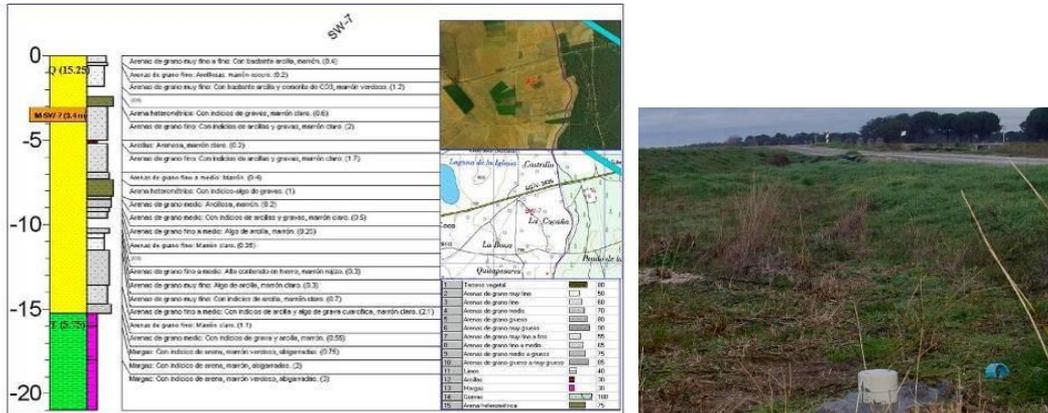
Tabla 4-2. Sondeos de investigación perforados por el MAPA en la tercera etapa.



Figuras 4-5 a) y b). Momentos durante la perforación y entubación del sondeo de investigación P-3. Foto: 07/08/2003.

Las columnas litoestratigráficas de los piezómetros se han incorporado al final del Anexo 7, con su testificación, croquis, posición, etc. conforme al formato de la Fig. 4-6.

En total se perforaron 23 piezómetros y pozos de investigación a cargo del MAPA entre 1999 y 2003. De ellos, apenas quedan 14, en general como consecuencia de ser tapados en movimientos de tierras, vandalismo, roturas accidentales por el paso de maquinaria agrícola, rotura o enterramiento durante la concentración parcelaria, etc.



Figuras 4-6 a) y b). Aspecto y formato de ficha empleado en la descripción de los piezómetros y sondeos de investigación (a). Ejemplo para el piezómetro SW-7 (b).

4.5 ANÁLISIS DE SUELOS

Se realizó además la analítica geoquímica de seis muestras de suelos distribuidas uniformemente por la *Cubeta*. Tres de ellas corresponden al sector oeste, en concreto a los sectores con abundancia de lagunas y facies salinas. Las restantes al sector este, donde hay un mayor desarrollo y acumulación de facies arenosas francas. Se muestrearon dos muestras de arena dunar, dos de facies Cuestas y dos de facies salinas lagunares.

El objetivo pretendido con esta analítica fue caracterizar el estadio geoquímico inicial de la *Cubeta* previamente a las operaciones de recarga gestionada, con objeto de contar con un punto de partida para estudiar las reacciones de interacción. Así mismo estudiar la evolución de determinados parámetros a lo largo del tiempo, especialmente la variación en la concentración de materia orgánica (MOO) y fósforo (P), compuestos cuyo rango de variabilidad oscila entre límites anchos en las operaciones de recarga artificial de acuíferos, según se ha constatado en escenarios análogos de la literatura hidrogeológica. La composición de las facies analizadas se presenta en las siguientes tablas, donde quedan descritas la posición de muestreo, la analítica resultante del análisis sobre el extracto saturado en laboratorio homologado y el análisis granulométrico final.

LOCALIZACIÓN

N	NOMBRE	X	Y	Z	fecha
1	Facies Cuestas Coca	371615	4563282	769,7	28/06/2002
2	Paraje Cañadilla	367939	4569405	768,0	28/06/2002
3	Laguna de la Iglesia	368550	4562780	786,7	28/06/2002
4	Laguna Caballo Alba	365500	4567250	767,0	28/06/2002
5	Arena Dunar	370061	4562904	786,0	28/06/2002
6	Sanchón	369695	4560322	792,0	28/06/2002

GEOQUÍMICA

N	fecha	C (mhos/cm)	pH	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	N t %	P (ppm)	MOO %
1	6/28/02	0,60	7,8	194	62	45	0,021	8	0,12
2	6/28/02	0,70	8,1	181	98	39	0,022	24	0,18
3	6/28/02	1,50	9,0	259	204	168	0,105	20	1,12
4	6/28/02	2,10	9,5	285	373	188	0,053	21	0,54
5	6/28/02	0,40	7,2	155	53	41	0,070	4	0,01
6	6/28/02	0,50	8,6	194	44	162	0,015	4	0,10
Método		*	*	Volumétrico	*	*	*	*	*

* Análisis según la Orden de 5/12/1975

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

N	arena %	limo %	arcilla %
1	11,85	33,8	54,35
2	92,78	3,72	3,5
3	4,95	27,25	67,8
4	14,55	17,15	68,3
5	94,81	1,94	3,25
6	90,53	2,87	6,6

Tablas 4-3 a) a c). Localización, geoquímica y análisis granulométrico de muestras de suelos previamente a las labores de recarga gestionada.

En base a estos resultados, se aprecia un fuerte contraste en la composición geoquímica de las muestras tomadas en el sector occidental de la *Cubeta*, donde abundan las facies salinas asociadas al “Complejo de humedales de Coca-Olmedo”; y el sector oriental, con mayor abundancia de minerales silíceos y arenas francas.

Las muestras tomadas son ligeramente básicas en su totalidad. El compuesto predominante es la sílice, con una proporción destacable de sulfatos, cloruros y fósforo en el sector oriental.

La evolución en la concentración o proporción de estos compuestos/parámetros constituye un indicador para el seguimiento de la colmatación de las arenas del medio receptor (especialmente la materia orgánica total (TOC) y la arcilla), principal condicionante de las variaciones en la tasa de infiltración colmatación física y, consecuentemente, de la efectividad de las operaciones de recarga gestionada del acuífero.

Las arenas francas del sector más sometido a operaciones de recarga artificial de acuíferos presentan una ligera presencia en fósforo y materia orgánica, cuya evolución fue creciente a lo largo del tiempo.

La proporción de arcilla en los puntos muestreados dentro del canal oscila entre 3,5 y 6,6 % en la etapa preoperacional. Tras dos ciclos de recarga, este indicador aumentó hasta cerca del 27 % en el fondo del dispositivo en el sector cercano a la cabecera.

4.6 CALIDAD DE LAS AGUAS

La zona está incluida en un sector calificado "de contaminación regional" por la CHD, debido a la presencia de metales pesados en concentraciones excesivas. El problema adquirió dimensiones importantes en el tratamiento del arsénico, detectado a nivel regional por encima de los límites de potabilidad, así como el hierro y manganeso. Para combatir este problema, en 2002 fue inaugurada una planta de tratamiento de aguas extraídas del río Eresma, aplicando la técnica del River Bank Filtration (RBF). El agua extraída se trataba mediante ozonización en la planta de tratamiento de Íscar, para después, ser distribuida por la mayoría de las localidades de la zona.



Figuras 4-7 a) y b). Carteles informativos de la presencia de arsénico en las aguas subterráneas en concentraciones susceptibles de provocar arsenicosis. Ciruelos de Coca.

La instalación a finales del año 2002 de una estación del Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas (red SAICA) en el cauce del río Eresma en la localidad de Villeguillo (Estación A-70 de la CHD) ha permitido, desde entonces, el control los parámetros químicos más relevantes.



Figuras 4-8 a) y b). Fotos de la estación SAICA A-70, río Eresma en Villeguillo.

5 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2003/04



27/11/2003

5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES, DATOS Y CÁLCULOS DEL SEGUNDO CICLO (AÑO HIDROLÓGICO 2003-04)

El segundo ciclo de recarga gestionada empezó con la derivación de aguas desde el río Voltoya el 10 de octubre de 2003 y terminó el 1 de abril de 2004. El ciclo tuvo, por tanto, 175 días de duración.

El volumen de concesión se mantuvo en un máximo de 8,5 hm³/año. En cumplimiento de los requisitos establecidos por la Confederación hidrográfica del Duero, se mantuvo el caudal ecológico de 600 l/s en la estación de aforo del Puente Chico de Coca. Con los datos recopilados, el volumen total derivado fue de 2,25 hm³ y el caudal medio en cabecera del canal de recarga artificial fue de 149 l/s.

El carácter hidrológico de este año fue húmedo, si bien la precipitación fue muy inferior a la registrada en el año precedente, totalizando 267,4 mm en este ciclo de 175 días en la estación SG-02.

El volumen total recargado, calculado mediante operaciones de álgebra de mapas (WTF), dio como resultado que desde el inicio de la recarga artificial hasta el final del ciclo, la variación de almacenamiento en la *Cubeta* (malla generada a partir de los datos de la RCP) ascendió al intervalo entre 1,2 y 1,8 hm³ (según el método de cálculo empleado). La estimación más realista, en base a otros criterios, fue de 1,5 hm³ entre recarga natural y artificial, lo que representa un incremento importante con respecto al ciclo precedente.

La oscilación media del agua en los pozos que integraban la Red de Control de la Recarga (RCR) fue de 2,10 m.



Figuras 5-1 a) y b). Cabecera de un dispositivo tipo canal en Santiuste de San Juan Bautista (Segovia). Válvula, canal, pozos en la vía de servicio y primer dispositivo de parada. Fotos de fecha 23/01/2004 y 18/03/2004.

Los principales eventos recogidos a modo de memoria de la recarga artificial del segundo ciclo son:

- 20 de noviembre de 2003. Comienzo de la recarga artificial a bajo caudal (50 l/s aproximadamente).
- 23 de noviembre de 2003. Ascenso de caudal a 150 l/s a las 12 h.
- 27 de noviembre de 2003. 154 l/s (caudalímetro).
- 21 de enero de 2004. 334 l/s. Dato de aforo con molinete.
- 26 de febrero de 2004. 280 l/s. Total, 2,233.356 hm³ (caudalímetro). Las aguas alcanzaron la localidad de Villeguillo. Se llevó a cabo la apertura de ambos aliviaderos, con un caudal de retorno al río cercano a 10 l/s en el primero (Sanchón) y cercano a 5 l/s en el segundo (Cordel de Ruta).
- 27 de febrero de 2004. 322 l/s. Total, 2,276.074 hm³ (caudalímetro).
- 1 de marzo de 2004. 327 l/s. Total, 2,305.589 hm³ (caudalímetro).
- 11 de marzo de 2004. 140 l/s. Total, 2,466.477 hm³ (caudalímetro).
- 16 de marzo de 2004. 209 l/s. Total, 2,531.420 hm³ (caudalímetro).
- 17 de marzo de 2004. 324 l/s (caudalímetro).
- 18 de marzo de 2004. 267 l/s (caudalímetro).
- 1 de abril de 2004. Fin de la recarga artificial. Total, 2,896.329 hm³ (Dato totalizado del caudalímetro).



Figuras 5-2 a) a d). Dispositivos de parada y pasos del canal. Primer paso (ya inexistente) en el camino de Correlagua (a); cruce del canal en el Sanchón con la carretera de Santiuste a Coca (b); obra de parada y taludes verticales cubiertos por gaviones (c) y cruce del canal con la carretera de Coca a Villagonzalo (d). Fotos de fecha 18/03/2004.

5.2 INSTALACIÓN DE UN CAUDALÍMETRO TOTALIZADOR

La instalación del caudalímetro totalizador junto a la cabecera del dispositivo se llevó a cabo el 27 de noviembre de 2003, con medidas ocasionales del caudal entrante mediante afloros en el canal hasta esa fecha.

El 28 de noviembre de 2003 se acometieron las obras de instalación del caudalímetro por ultrasonidos desde la válvula en la conducción hasta la caseta de hormigón prefabricado. Se instalaron además todos los elementos auxiliares.





Figuras 5-7 a) a d). Elementos de control del caudal conducido en las inmediaciones de la cabecera del canal y elementos auxiliares. Caudalímetro por ultrasonidos intercalado en la conducción (a), caseta prefabricada para albergar la instrumentación (b), montaje eléctrico inicial (c) y caudalímetro totalizador Siemens (d).

En definitiva el caudal derivado en este ciclo fue bastante uniforme a lo largo del tiempo y su cuantía total fue de 2,25 hm³.



Figura 5-8. Cabecera del dispositivo al término del segundo ciclo, con taludes revestidos y vertido de grava calcárea para preservar la estructura y elevar ligeramente su pH inicial. Foto: 01/04/2004.

5.3 AFOROS SECUENCIALES A LO LARGO DEL CANAL DE RECARGA ARTIFICIAL. CAMPAÑAS DE 2004.

Para complementar el seguimiento de la evolución del bulbo de humidificación, se realizaron dos campañas de aforos secuenciales a lo largo del canal de recarga artificial, con fechas 21 de enero y 16 de marzo de 2004.



Figuras 5-3 a) y b). Fotografías de aforo secuencial en el canal de recarga artificial, Estación 1 (cabecera) y 4, (Pradillos del Barco). Fotos: 21/01/2004.

En estas campañas se perseguía un objetivo doble: por un lado, obtener una visión más amplia de la efectividad de la recarga artificial en los distintos tramos por los que discurría el canal original, y por otro, tratar de hacer una estimación del volumen total infiltrado entre las distintas estaciones de aforo, de ahí el término secuencial.

El criterio seguido para la ubicación de los puntos a aforar se basó en la intersección del trazado del canal con el mapa de isopacas, buscando zonas del acuífero de mayor espesor, así como en el perfil hidrogeológico longitudinal a lo largo del cauz.

El primer punto de control del canal Viejo o Este se ubicó a pocos metros de la cabecera del dispositivo u “hongo”, lo que permitió contrastar el caudal obtenido a través del aforo con micromolinetes calibrados con el dato del caudalímetro totalizador instalado al inicio del circuito. La diferencia de caudal no superó en ninguna de las dos campañas los 5 l/s, lo que representa un error aceptable inherente a la técnica de medida. Consecuentemente, los datos de aforo se consideraron fiables (Tabla 5-1).

Nº	ESTACIÓN	X	Y	Q (21/01/04)	Q (16/03/04)
1	HONGO	370013	4557343	334	243
2	CURVA	370020	4558189	246	193
3	SANCHON	369680	4560341	239	170
4	CARRETERA DE VILLAGONZALO	369622	4562578	240	164
5	CRUCE AVE SUR	369547	4563190	274	155
6	CARRETERA DE CIRUELOS	369342	4564562	181	102
7	PUNTO SIETE	368883	4566020	56	70

Tabla 5-1. Posición de los puntos de aforo y caudales obtenidos en las campañas efectuadas durante el ciclo de recarga 2003/04. Caudales en litros por segundo.

DIST (m)	Qm (l/s)
0	243
1011	193
2419	170
3262	164
4593	155
5641	102
6264	70
7007	0

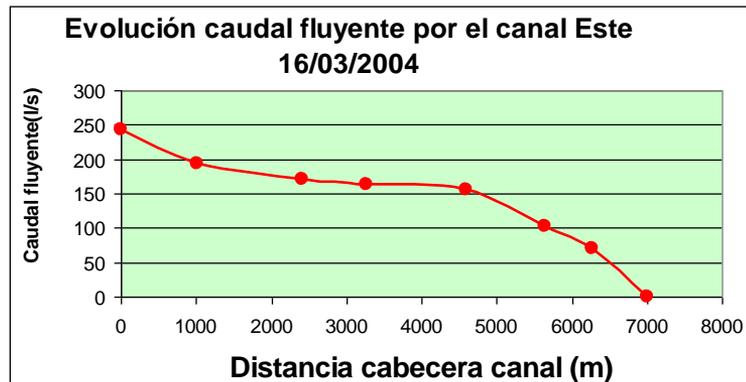


Figura 5-4. Evolución del caudal circulante por el canal Este (Viejo) de recarga artificial el 16 de marzo de 2004. Columna 1: distancia a la cabecera; columna 2: caudal medio fluente, en litros por segundo.

Estos datos se confirmaron con los distintos perfiles elaborados, en los que la recarga va rellenando las cubetas del acuífero sobre las que pasa el canal en su avance de sur a norte. Por tanto, el avance del bulbo se produce a favor del sentido del agua a lo largo del dispositivo, rellenando las cubetas por las que pasa. Se constata además la salida del dispositivo de un volumen a través de los aliviaderos mayor el 16 del marzo que el 21 de enero de 2004.

A tenor de estas observaciones se constató que la efectividad de la recarga artificial era menor tras alcanzar determinados niveles de llenado. La zona situada al norte de Villeguillo presentaba una capacidad de almacenamiento apta para ser recargada, de ahí la prolongación del canal hacia el norte llevada a cabo en la primavera de 2003.

Estas campañas de aforo permitieron contrastar, además, la fiabilidad de los resultados del volumen total infiltrado calculados por otros métodos para ciertos sectores, detectando ciertos tramos del canal con una infiltración prácticamente nula.

	Estación	X	Y	21/01/2004	16/03/2004	Media
1	HONGO	370013	4557343	100%	100%	100%
2	CURVA	370020	4558189	76,65 %	79,42 %	76,53 %
3	SANCHON	369680	4560341	71,55 %	69,95 %	70,75 %
4	CARRETERA DE VILLAGONZALO	369622	4562578	71,85 %	67,48 %	69,66 %
5	CRUCE AVE SUR	369547	4563190	82,03 %	63,78 %	72,5 %
6	CARRETERA DE CIRUELOS	369342	4564562	54,19 %	41,97%	48,08 %
7	PUNTO SIETE	368883	4566020	16,7 %	28,8 %	22,75 %

Tabla 5-2. Porcentaje del caudal derivado por el dispositivo de recarga artificial, medido en las distintas estaciones de aforo.

Estudiando los resultados de esta campaña, se apreció un brusco aumento de caudal circulante por el canal a su paso por la vía del tren AVE Madrid-Valladolid, que se

encontraba en obras por aquel entonces. Se constató en campo que este aumento del canal era debido a la escorrentía de la vía, conducida por los cuentones perimetrales de la obra del tren de alta velocidad hasta el canal de recarga.



Figuras 5-5 a) y b). Drenaje de la vía del Tren de Alta Velocidad y estructuras asociadas en el paso del canal de recarga Este (o Viejo) bajo la vía. Vista hacia el oeste (a) y hacia el este (b). En este punto se ha aforado un volumen superior al de la estación anterior por aportaciones en forma de escorrentía superficial canalizada.

En la figura 5-6 se constata que las oscilaciones máximas del nivel freático en el acuífero presentaban relación directa con los espesores de sedimentos existentes bajo el canal.

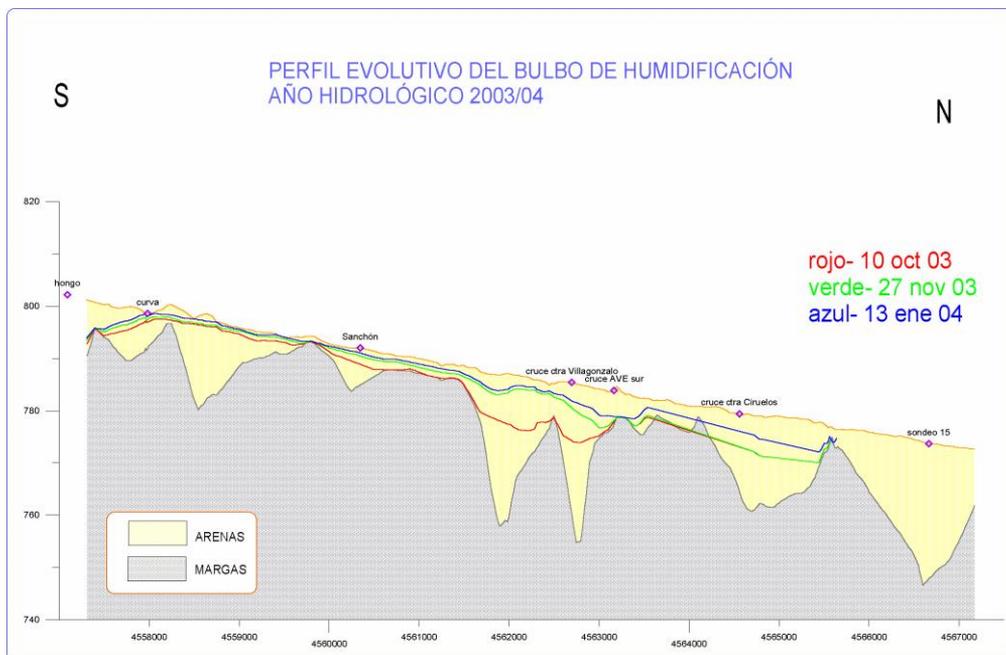


Figura 5-6. Perfil hidrogeológico del canal de recarga artificial con la ubicación de los puntos donde se han realizado los aforos secuenciales y caudales medidos en fecha 21/01/04 (azul) y 16/03/04 (morado). La totalidad de los perfiles para esta década se encuentran en el anexo 6.

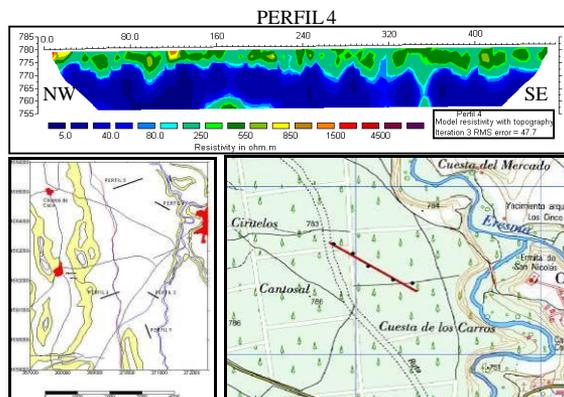
5.4 CAMPAÑAS DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Los datos obtenidos de las campañas de prospección geofísica realizados hasta la fecha durante los años 1990 (87 Sondeos Eléctricos Verticales o SEVs.) y 1999 (60 SEVs.), fueron reinterpretados. En la calibración del modelo geofísico se tomaron como espesores “paramétricos” los datos obtenidos en las nuevas perforaciones.

Con objeto de estudiar el grado de adecuación de la tomografía eléctrica al acuífero arenoso, el 26 de mayo de 2003 se realizó un primer ensayo de comprobación de la idoneidad del método. Para ello fue prospectado un perfil tomográfico de 360 m de longitud en una zona con abundancia de datos transversal al canal en el sector de Correlagua. Más tarde se realizaron cuatro perfiles más.

Para refinar la malla inicial, se añadieron 141 puntos más, que corresponden a afloramientos de facies Cuestas terciarias, puntos del caz que en su excavación ha alcanzado materiales de la Era Terciaria, puntos en el talud de los ríos Voltoya y Eresma en los cuales se aprecia algún contacto litológico entre facies del terciario y cuaternario y puntos de borde de la *Cubeta*.

La información relativa a los resultados de las campañas de geofísica puede ser consultada en las memorias técnicas correspondientes (MAPA, 1999, 2002 y 2005).



Figuras 5-9 a) y b). Ejecución de la campaña de geofísica eléctrica (Sondeos Eléctricos Verticales o SEVs) de octubre de 2003. Ejemplo de perfil de tomografía obtenido y posición e imagen de la realización de un SEV.

5.5 AMPLIACIÓN DEL CANAL DE RECARGA INICIAL HACIA EL NORTE

En marzo de 2004 se iniciaron las labores de ampliación del canal hacia el norte, a partir del segundo aliviadero, siguiendo la bifurcación del Camino de las Carretas hacia el norte, por el trazado antiguo del arroyo de la Ermita, discurriendo por la margen oeste del Cordel de Ruta hasta la localidad de Villeguillo.

La conducción fue prolongada una semana después, atravesando el casco urbano a través de una antigua canalización, hacia el norte, todavía por el trazado del arroyo de la Ermita. Más tarde, bordea el cementerio de Villeguillo por el este y conecta con una antigua acequia que derivaba aguas hacia los “huertos sociales” del pueblo en la década de 1950.

Esta excavación inicialmente no contaba con revestimientos, obras de paso ni dispositivos de parada. Se trataba de una excavación de emergencia y experimental que más tarde fue integrada al dispositivo, con características análogas.

Las coordenadas UTM del extremo norte del dispositivo de recarga provisional al término de este ciclo eran X: 367069 / Y: 4569969. Las siguientes figuras ilustran la excavación provisional realizada.



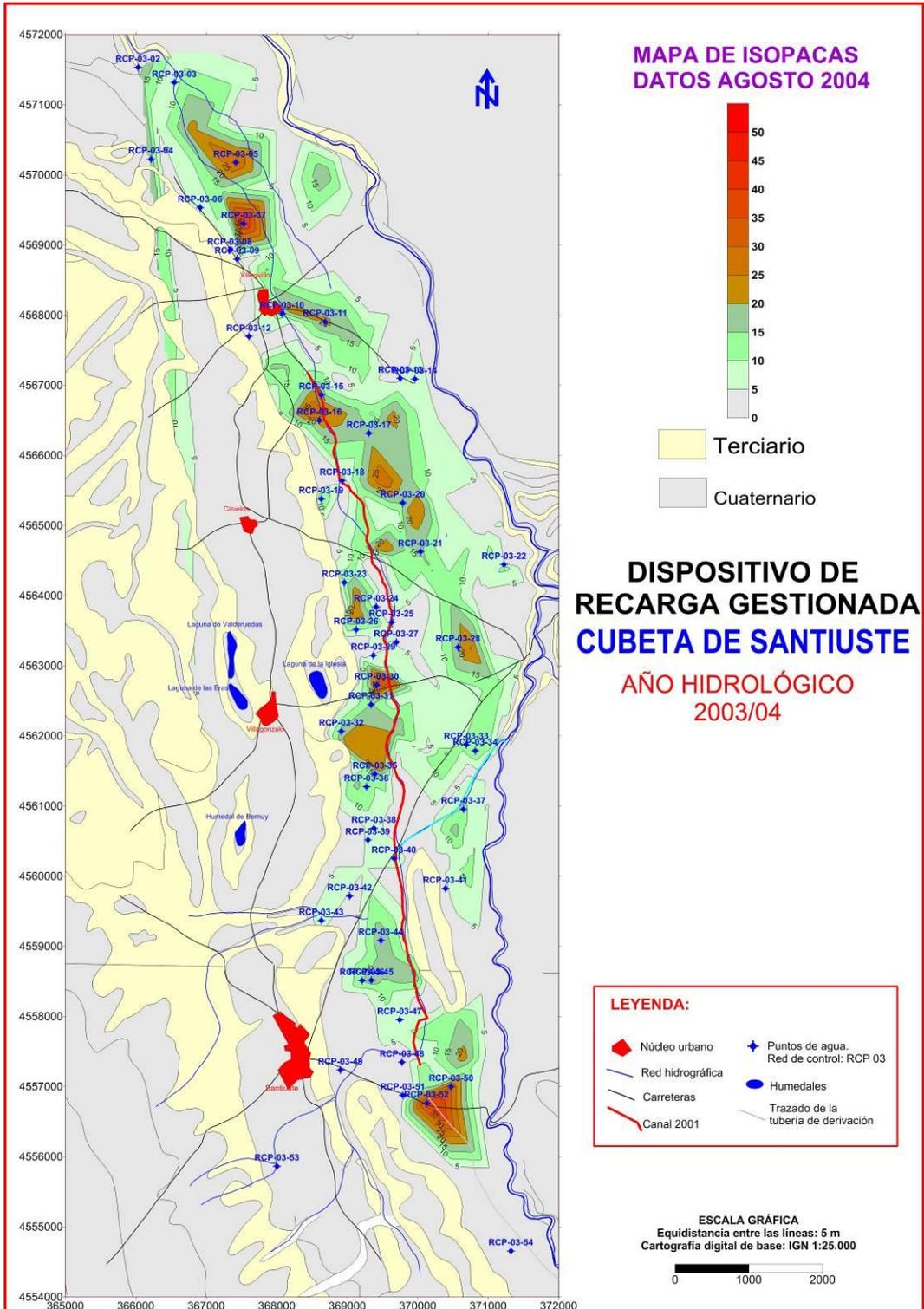
Figuras 5-10 a) y b). Tramo en el que el canal de recarga artificial atraviesa soterrado el casco urbano de Villeguillo desde la periferia sur (a) hasta aflorar por el norte (b), en la zona de alcance de la excavación, junto a una antigua acequia que discurre por una superficie prácticamente plana en las inmediaciones de la zona donde estaban establecidos antiguos humedales, rebosadero natural del acuífero.

En fecha 19 de marzo de 2004 el agua del canal alcanzó el final del dispositivo excavado, fuera de las tierras de labor, en el paraje de la Cañadilla, dentro del TM de Villeguillo. En esta zona había desarrollado un importante sistema de humedales, correspondiendo al sistema de desagüe natural del acuífero, que desaparecieron tras la implantación del regadío.

Este trazado, de carácter semi-experimental, sería prolongado en ciclos posteriores en sucesivas etapas hasta el paraje del Medianero, ya en término de Llano de Olmedo.

El efecto de la ampliación del canal hacia el norte se hace patente en la cartografía hidrogeológica elaborada para el año hidrológico 2003/2004 (Anexo 5). Las equipotenciales de las aguas subterráneas trazadas con medidas tomadas el 9 de octubre de 2003 se desplazan hacia el noreste, según se aprecia con las calculadas a partir de las mediciones del 30 de abril de 2004. La configuración del dispositivo al término del ciclo aparece representada en dicha cartografía.

Figura 5-11. Cartografía con la configuración del dispositivo de recarga gestionada de la “Cubeta de Santiuste” para el año hidrológico 2003/04 (página siguiente).



6 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2004/05



15/10/2004

6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES, DATOS Y CÁLCULOS DEL TERCER CICLO (AÑO HIDROLÓGICO 2004-05)

En este ciclo el dispositivo de recarga artificial experimentó una serie de mejoras, materializadas, en su mayoría, a partir de los fallos y errores en el diseño inicial detectados en los dos primeros años de funcionamiento. Además se llevaron a cabo sendas ampliaciones.

A lo largo del verano de 2004 se crearon nuevas balsas de decantación e infiltración y se comenzó la construcción de un nuevo canal por el sector occidental de la *Cubeta* (Canal Oeste o Nuevo), cuyo trazado estuvo condicionado por un estudio de microtopografía para que el agua discurriera por gravedad y por el conocimiento de las zonas con mayor capacidad de almacenamiento del acuífero, evitando las llamadas “superficies de infiltración inefectiva”.

Con objeto de estudiar el funcionamiento de los nuevos dispositivos, prosiguieron las campañas de tomas de datos y la subsiguiente elaboración de cartografías y perfiles con la nueva información recopilada. Dado que el MAPA había transferido a la comunidad de regantes el mantenimiento de los dispositivos, la medición de las redes de control RCP y RCR fue llevada a cabo personalmente por el autor principal de esta publicación, con objeto de evitar la pérdida de una secuencia de datos de seis años con varias mediciones interanuales.

El nuevo ciclo fue bastante constante y transcurrió entre el 1 de octubre de 2004 y el 30 de abril de 2005, lo que representa un total de 212 días. Tuvo, por tanto, 212 días de operatividad.

Con los datos recopilados (el caudalímetro era totalizador y las medidas puntuales del caudal se llevaron a cabo por las personas implicadas en la actividad), el caudal medio a la entrada del canal de recarga artificial fue de 68 l/s. El volumen total derivado fue de 1,26 hm³, como consecuencia de ser un año más seco que los dos precedentes (la precipitación total durante el ciclo fue de 167,2 mm).

La derivación no fue constante, siendo disminuido el caudal a medida que la sequía se iba consolidando, de modo que el caudal circulante por cada canal disminuyó progresivamente. De este modo, la efectividad del dispositivo fue alta en cuanto a tasa de infiltración se refiere, pero también la evapotranspiración.

La primera campaña de medidas de la Red de Control de la Piezometría (RCP) fue llevada a cabo los días 19 y 20 de enero de 2005. Esta red tuvo que ser rediseñada al haber sido tapados varios puntos durante la construcción del nuevo canal y las balsas.

Con estos datos se calculó que la oscilación media del agua en los pozos que integraban la Red de Control de la Recarga (RCR) fue de 1,17 m. Con estos datos obtenidos se calculó además que la variación del almacenamiento en el acuífero estaba en torno a 0,97 hm³, aplicando la misma metodología que en los dos ciclos previos.

6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS NUEVOS DISPOSITIVOS CONSTRUIDOS EN EL TERCER CICLO (AÑOS 2004 Y 2005)

Las nuevas obras fueron construidas con carácter de emergencia, complementando al canal principal, si bien, gran parte de ellas fueron posicionadas en lugares donde era viable operativamente, dado que en esas fechas se llevaba a cabo la concentración parcelaria en la *Cubeta*, lo que impidió que prevalecieran ciertos criterios técnicos sobre otros sociales.

Con el grado de conocimiento del acuífero y de su funcionamiento alcanzado hasta la fecha, se realizaron nuevas obras teniendo en cuenta el avance en el grado de conocimiento. Uno de los factores de mayor peso fue conocer con exactitud qué fracción del canal discurría sobre materiales acuíferos de espesor inferior a 3 metros (tramos que habían sido considerados a efectos operativos "longitud del canal inefectiva"). En la tabla 6-1 se presentan las coordenadas de los extremos de estos tramos de infiltración inefectiva, su longitud y la distancia con respecto a la cabecera del dispositivo.

Tramo inefectivo	N	X	Y	Distancia desde cabecera canal (m)
SUP INEF 1	1	369787	4559357	2.239
	2	369706	4561419	4.373
SUP INEF 2	3	369563	4563484	6.582
	4	369544	4564129	7.254
SUP INEF 3	5	369065	4565484	8.771
	6	368911	4565631	8.889

Tabla 6-1. Posición de los tramos de infiltración efectiva a lo largo del canal Este de recarga artificial y distancia con respecto a la cabecera.

- Longitud total del canal Este: 10.667 m.
- Longitud del caz inefectiva: 3.027 m (2.134 + 672 + 118 m).
- Longitud del caz efectiva: 7.640 m.



Figuras 6-1 a) y b). Canal Este. Determinación de los tramos de infiltración efectiva. Fotos 24/01/2005 y 06/06/2005.

El trazado del canal de mayor efectividad presentaba una capacidad de infiltración variable en el espacio y en el tiempo. De acuerdo con los ensayos de infiltración en canales y balsas realizados en 2003 y 2004, la tasa de infiltración o permeabilidad media a lo largo del ciclo de recarga oscilaba entre 0,86 y 3 m/día. De acuerdo con los datos bibliográficos, la K_v se estimaba en 3 m/día (IRYDA, 1991; MAPA, 1999a). Según otras fuentes oscila entre 6 y 10 m/día (MOPTMA, 1994). Estos parámetros hidrogeológicos fueron actualizados en 2009 bajo condiciones *hipercontroladas*, como se detalla en el apartado 10-2.

Estas observaciones justificaron gran parte de las obras de mejora y ampliación realizadas a lo largo del año 2004, que se han desglosado en cuatro tipologías:

6.2.1 Construcción de nuevas fosas y balsas

Este tipo de dispositivos representa una novedad con respecto al diseño inicial: su ubicación, en la cabecera del dispositivo previo, permite retroalimentar paleocubetas localizadas al sur del canal originario, además de almacenar un volumen importante de agua en la zona más elevada del acuífero.



Figuras 6-2 a) y b). Aspecto de la balsa de decantación-infiltración de cabecera ampliada durante el verano de 2004 que empezó a funcionar con el inicio del tercer ciclo de recarga gestionada (año hidrológico 2004/05). Fotos 18/10/2004.

Estas obras requirieron un importante movimiento de tierras. Su efectividad, además de incrementar las reservas en el subsuelo, se manifestó en elementos de interés medioambiental, por ejemplo, se registró un incremento del caudal importante en los manantiales del Lavadero, en la margen izquierda del río Voltoya, frente a los Prados del Amor (ver Fig. 2-3 c), conectados hidráulicamente con estas balsas.

La balsa de decantación e infiltración ubicada en cabecera ha estado operativa desde los primeros días de noviembre de 2004 (figuras 6-3).



Figuras 6-3 a) y b). Aspecto de algunos de los nuevos dispositivos construidos a lo largo del año hidrológico 2004/05 (balsa de decantación-infiltración de cabecera). Fotos 23/01/2005.

Las balsas y fosas adicionales (lagunas de la depuradora por lagunaje) empezaron a funcionar en diciembre de 2004 (figuras 6-4 y 7-3).



Figuras 6-4 a) a d). Aspecto de algunos de los nuevos dispositivos construidos a lo largo del año hidrológico 2004/05. Balsas de infiltración de la depuradora por lagunaje. Fotos tomadas el 15-10-04.

6.2.2 Modificación del canal previo (Este)

Se llevaron a cabo variaciones en el trazado del canal Este o Viejo, suavizando los trazados en ángulo recto por trazados más suaves. Además se suavizaron algunos taludes y revistieron con gaviones zonas con frecuentes desprendimientos debidos al efecto de la alta energía del agua circulante en determinados tramos.

La mayor modificación se realizó entre la zona del camino del Lavandero de Santiuste en la zona del Ramirón. Por ejemplo se llevó a cabo la corrección del trazado del canal al sur del Cuerno de la Revilla, suavizando un quiebro a 90 grados que tenía problemas de erosión y derrumbes del talud.



Figuras 6-5 a) y b). Modificaciones en el diseño inicial del canal Este, con cambios en los taludes, revestimientos y apertura de la curvatura en tramos donde se registraban fuertes procesos erosivos. Asimismo se construyeron nuevos pozos en las inmediaciones del canal. Fotos tomadas el 18-01-05.

6.2.3 Trazado del nuevo canal (Oeste) y ampliación hacia el norte

La actuación fue llevada a cabo ante la gran cantidad de agua derivada que retornaba al río Voltoya a través de los dos aliviaderos del caz (cacera de Betaya y de Villeguillo).

El caz o canal Oeste, también llamado “Nuevo”, fue construido a partir de 2005. Tiene una longitud total de 17.293 m. Está ubicado en el sector de máximos espesores del acuífero, por lo que su superficie de infiltración efectiva es prácticamente total.

Fue construido en dos etapas: la primera, hasta la confluencia con el caz Viejo, al sur de Villeguillo, que comenzó su operatividad en el ciclo de recarga artificial 2006/07, sobrepasando al volumen de agua infiltrado en el acuífero en el ciclo precedente en más del doble.



Figuras 6-6 a) y b). Aspecto de algunos de los nuevos dispositivos construidos a lo largo del año hidrológico 2004/05. Canal Oeste. Fotos tomadas el 18-01-05.

La segunda etapa prolonga el canal Viejo (o caz Este), con el que se une al sur de Villeguillo, atraviesa esta localidad por un sistema de drenaje enterrado antiguo, y va a salir en las inmediaciones del cementerio, discurriendo hacia el norte, hasta Llano de Olmedo por el paraje del Medianero. Este trazado estuvo en desuso en los ciclos 2005/06 y 2006/07, cuando la recarga artificial cesó en las inmediaciones de Villeguillo, bienio en el que se llevaron a cabo obras de mejora adicionales.

La superficie de infiltración, que era de aproximadamente 23.850 m² aumentó hasta 27.960 m², tras estas obras de ampliación llevadas a cabo por la Junta de Castilla y León (JCL) en distintas etapas hasta 2007.

En enero de 2005 se construyó la primera parte del canal, semiparalelo al anterior, cuyo trazado se encuentra en la cartografía 7-10 (trazado de color morado).



Figuras 6-7 a) a c). Ampliación del canal de recarga artificial hacia el norte de Villeguillo (Llanos del Cuadrón), zona de “rebosadero” del acuífero en la que antiguamente había varios humedales bien desarrollados, según los testimonios de la población local.

6.2.4 Actuaciones complementarias

En este grupo de actuaciones se han incluido los elementos auxiliares de las nuevas construcciones: pasos elevados, construcción de caminos, ampliación de la vía de servicio, implantación de zahorra en los taludes de las balsas, gaviones en los taludes más vulnerables, etc. Todas ellas estaban consideradas en el proyecto de obra.

6.3 ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL AIRE ENTRAMPADO COMO CONSECUENCIA DE LAS LABORES DE RECARGA ARTIFICIAL O GESTIONADA

El estudio del aire que penetra en el acuífero por efecto de la recarga gestionada constituye una apasionante línea de acción. Iniciada en este ciclo, todavía prosigue en la actualidad.

Los primeros ensayos se llevaron a cabo en un pequeño canal acondicionado paralelo a la carretera de Coca a Villagonzalo, a partir de una derivación en la margen derecha (Este), perpendicular al Este, en las inmediaciones del antiguo sondeo “Coca-2” del IRYDA (369607, 4562731). En éste se realizaron hasta ocho ensayos de infiltración de larga duración entre el 1 de octubre de 2004 y el 26 de febrero de 2005, consistentes en estudiar

la evolución de la tasa de infiltración en el ramal piloto, confinado y acondicionado a tal efecto para constatar y estimar la entrada de aire al acuífero con el agua de recarga.



Figuras 6-8 a) a c). Ramal del canal Este especialmente acondicionado para la ejecución seriada de ensayos de infiltración a lo largo de un ciclo de recarga. Fotos: 07/10/2004 (a) y 23/01/2005 (b y c).

La gráfica generada con los resultados de estos ocho ensayos presenta una morfología acorde con la “curva tipo” de Blaxejewski (1979).

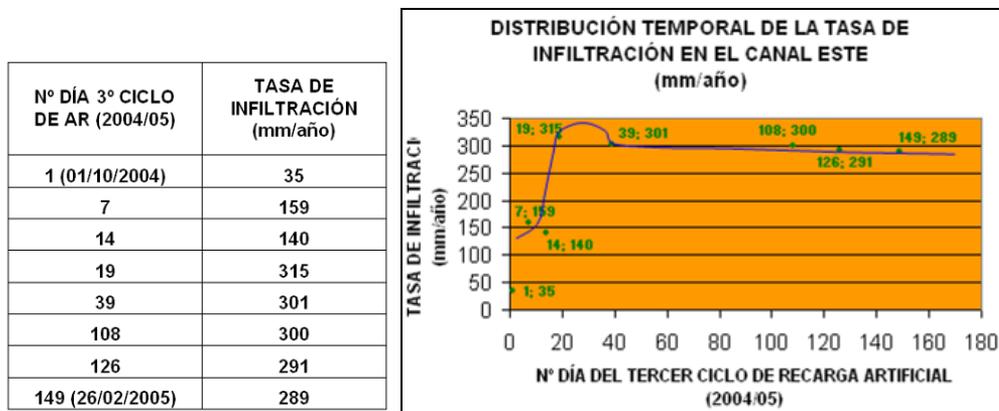


Figura 6-9. Gráfica y datos que refleja la evolución de la tasa de infiltración a lo largo del ciclo de de recarga gestionada en una zona aislada del canal Este de Santiuste.

En dicha gráfica se aprecia una tendencia creciente y constante de la tasa de infiltración desde el primero de octubre, alcanzando su tasa máxima en torno al mes de iniciarse el ciclo y hasta la caída térmica de los primeros días de diciembre. En esta fecha la tasa descendió durante, aproximadamente, una quincena, por efecto del aire entrampado en los poros del acuífero y de las bajas temperaturas. El resto del ciclo de recarga artificial presenta una tendencia ligeramente descendente durante el resto del invierno (los ciclos de helada parecen provocar un retardo en el ascenso en la tasa de infiltración).

Llegado un punto ligeramente después de la mitad del periodo (febrero-marzo), el acuífero ha entrampado importantes volúmenes de aire (hasta un 35% conforme a las referencias bibliográficas, en Stuyfzand, 2002), que puede ir acompañado de efecto Lisse (Krul & Liefwinck, 1946).

Este aire atrapado ha sido cuantificado por métodos indirectos en este laboratorio experimental, apreciando su presencia e influencia negativa en la recarga artificial mediante las variaciones registradas en los tensiómetros de las estaciones DINA-MAR ZNS (Fernández y García, 2009).

La analogía entre las curvas que representan la evolución de la tasa de infiltración y de la tensión capilar en la zona no saturada del suelo han permitido realizar estimaciones de la cantidad de aire que queda retenido en el suelo, en forma de burbujas o adherido a las arenas. Este volumen llega a alcanzar, según en torno al 25 % del volumen total infiltrado al final del segundo mes de cada nuevo ciclo de recarga. Al acercarse la primavera, con la desaireación, la curva presenta una morfología más o menos constante (asintótica).

El resultado final es una disminución de la tasa de infiltración aparentemente acumulativa en sucesivos ciclos.

Los aspectos operativos derivados de este estudio van encaminados al control manual de la válvula de entrada, en función del caudal circulante, en general cerrando durante los ciclos de helada o inmediatamente después de producirse fuertes precipitaciones. Este control ha sido llevado a cabo, en general, por los sucesivos presidentes de la "Comunidad de regantes Cubeta de Santiuste de S.J.B., Villagonzalo de Coca, Ciruelos de Coca y Villeguillo".

7 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2005/06



15/02/2006

7.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES, DATOS Y CÁLCULOS DEL CUARTO CICLO (AÑO HIDROLÓGICO 2005-06)

El cuarto ciclo de recarga inducida empezó el 15 de noviembre de 2005 y terminó el primero de abril de 2006; por tanto tubo 137 días de recarga efectiva.

En el mes de febrero hubo una avería en el contador, según indicaciones verbales de los regantes encargados de su gestión, por lo que una parte de los cálculos proceden de datos de aforos directos.

El caudal medio a la entrada del canal de recarga artificial fue de 372 l/s. El volumen total derivado fue de 5,11 hm³ a pesar de que este año fue más seco que los precedentes (la precipitación total durante el ciclo fue de 148,2 mm).

El volumen concedido a la Comunidad de regantes por la Confederación Hidrográfica del Duero fue sobrepasado accidentalmente (según indicaciones verbales del

presidente de dicha comunidad), lo que trajo problemas administrativos y una sanción. Este suceso ha resultado único en esta década de actividad, en la que los gestores de los dispositivos han respetado escrupulosamente las concesiones otorgadas y la normativa medioambiental e hídrica aplicable a este tipo de operaciones.

La oscilación media del agua en los pozos que integraban la Red de Control de la Recarga (RCR) fue de 3,36 m, al haber un volumen mayor en un periodo más corto.

Este fue el último ciclo con seguimiento de la RCR. En adelante las campañas de medida y cálculos se llevaron a cabo en la Red de Control de la Piezometría (RCP), cuyos datos han permitido elaborar las cartografías hidrogeológicas anuales con trazados de equipotenciales y líneas de flujo para, por lo menos, una campaña antes y otra después del ciclo de recarga. La decena de cartografías generadas se encuentran en el anexo 5. Al final de este apartado se presenta la correspondiente a este ciclo, con objeto de representar la configuración del dispositivo al término de las obras realizadas en esta anualidad.



Figuras 7-1 a) y b). Pozo (RCP-1) y piezómetro (RCP 21) de la Red de Control de la Piezometría 03 de la Cubeta de Santiuste.

7.2 NUEVAS OBRAS DE AMPLIACIÓN Y MEJORA EN LOS DISPOSITIVOS (AÑOS 2005 Y 2006)

A lo largo de esta anualidad se llevaron a cabo nuevas obras de ampliación del dispositivo de recarga artificial. Los elementos adicionales fueron:

7.2.1 Actuaciones en las balsas de infiltración/decantación

- Obras menores en la balsa de decantación en cabecera (acondicionamiento de la rampa de acceso, vallado perimetral, etc.).



Figuras 7-2 a) y b). Mejoras en el vallado perimetral en la balsa de cabecera y accesos. Fotos: 01/02/2006.

- Reacondicionamiento de las balsas para la depuradora por lagunaje y mejora de su comunicación con el canal Este (Viejo), creando conducciones de toma y alternativas al vertido directo.



Figuras 7-3 a) y b). Balsas de infiltración empleadas para la depuradora de lagunaje, acondicionamiento y vallado. Fotos: 01/02/2006 y 16/05/2006 respectivamente.

7.2.2 Actuaciones en los canales de infiltración

Cabe destacar:

- Instalación de gaviones en las laderas del canal Este en las inmediaciones de la depuradora por lagunaje.
- Modificación del trazado del canal Oeste o Nuevo desde la balsa de decantación hasta el Pinar del Sanchón, donde acababa el canal con forma de "Y", con un ramal buscando el depocentro de una paleocubeta y el otro en el sentido general del acuífero.
- Dragado del canal de desagüe o aliviadero del Sanchón, que drenaba el Arroyo de la Ermita por el Pinar del Sanchón y el Cantosal hacia el Molino del Batán (actualmente en

ruinas). Quedó así plenamente operativo y limpio el aliviadero desde el actual canal Este hasta el río Voltoya.

- El 18 de enero empezaron las obras de duplicación del canal en el sector del Pinar de Ciruelos.

- Comienza la instalación de nuevas compuertas en algunos dispositivos de parada para inducir el paso del agua por la parte inferior o central, evitando el efecto *cascading* por vertido directo desde la parte superior del dispositivo de parada, lo que aumentaba la concentración de aire disuelto en el agua de recarga.



Figuras 7-4 a) a d). Mejoras en los dispositivos de parada para minimizar el aire disuelto en el agua de recarga por el batido de las aguas (a y b); instalación de pasos en los dispositivos de parada por "vasos comunicantes" (c) y provistos de compuerta (d). Fotos de 15/02/2006 (a y b) y 16/05/2006 (c y d).

7.2.3 Actuaciones de interés medioambiental (regeneración hídrica de humedales)

Como actuación destacable por su alta innovación, cabe destacar la instalación de una tubería de derivación desde la carretera de Coca a Villagonzalo hasta la Laguna de la Iglesia. Esta obra constituye un elemento único en España para la regeneración hídrica de un humedal degradado mediante operaciones de recarga inducida. Se basa en la

derivación de una pequeña fracción de la concesión para recarga artificial para fines medioambientales.

El 1 de febrero de 2006 la válvula de derivación a la Laguna de la Iglesia empezó su operatividad. En total se derivó un volumen de agua desde el canal hacia el humedal de 11.600 m³ a lo largo del ciclo, lo que representa un 0,13% del caudal total derivado del río Voltoya.

Se llevaron a cabo, además, movimientos de tierras en la orilla y en el cuenco de la Laguna de la Iglesia. Se construyeron dos islotes en el centro de la Laguna, para refugio de la avifauna, por iniciativa de la Consejería de Medio Ambiente de la Diputación de Segovia.

Esta actuación tuvo un impacto en general positivo, aunque cabe mencionar como negativo el deterioro del perfil sedimentológico del sustrato, de estratigrafía muy compleja habida cuenta de la presencia de minerales salinos y biominerales en el sustrato de estos humedales. Este hecho propició que algunas acciones de I+D tuvieran que ser derivadas a la Laguna de las Eras.



Figuras 7-5 a) a d). Actuación de regeneración hídrica en la Laguna de la Iglesia de Villagonzalo. El agua de recarga artificial se hace discurrir por el sustrato salino para aumentar su concentración en sales y originar aguas parecidas a las originarias. Fotos: 01/02/2006 (a a c) y 15/02/2006 (d).

7.2.4 Creación de humedales artificiales

Otro hecho destacable fue la construcción de dos humedales artificiales en la zona de la Dehesa Tetuán, al norte del Pinar del Sanchón, en general mediante movimiento de tierras y un pequeño dispositivo de represa. Se crearon dos cuencos que quedan conectados en un único humedal artificial en situaciones de agua altas.

Al inicio del ciclo y durante las obras no hubo flujo de agua en el canal nuevo (Oeste), lo que favoreció su llenado.



Figuras 7-6 a) y b). Obras de construcción de los humedales artificiales del Sanchón. Fotos de fecha 01/02/2006.

7.2.5 Obras de mejora

Se llevaron a cabo nuevas modificaciones en los elementos auxiliares de las nuevas construcciones, tales como obras de paso, paradas, gaviones en los taludes y entradas al canal procedentes de aguas de escorrentía, de la depuradora y por retornos de riego.





Figuras 7-7 a) a d). Obras de mejora: dispositivos de parada mejorados, gaviones y/o escolleras en los taludes, desviación al canal de excedentes mediante conducciones, muros de contención. Fotos de 01/02/2006 (a y b) y 15/02/2006 (c y d).

7.3 AFOROS SECUENCIALES A LO LARGO DEL CANAL. CAMPAÑA 2006

Como complemento al seguimiento de la evolución de la piezometría, se llevó a cabo una nueva campaña de aforos secuenciales a lo largo del canal, complementando a las campañas previas realizadas el 21 de enero y 16 de marzo de 2004.

Su comparación aporta información valiosa sobre el descenso de la tasa de infiltración global por efecto de la colmatación, la efectividad de la recarga inducida en los distintos tramos por los que discurre el canal y su evolución, etc. (Tabla 7-1).



Figuras 7-8 a) y b). Fotografías de aforos secuenciales en el canal de recarga y en los cauces fluviales relacionados. Campaña de marzo de 2006.

N	X	Y	Distancia (m)	L (m)	Q (l/s)	% Q (l/s)	ΔQ (l/s)	I (l/s · m ²)
E 2004-1	370013	4557343	0		551	100		
E 2004-2	370020	4558189	1.011	1011	424,8	77,1	22,9	0,0126
E 2004-3	369680	4560341	2.419	1408	434,7	78,9	-1,8	-0,0007
E 2004-4	369622	4562578	3.262	843	392,9	71,3	7,6	0,0050
E 2004-5	369547	4563190	4.593	1331	257,9	46,8	24,5	0,0102
E 2004-6	369342	4564562	5.641	1048	247,4	44,9	1,9	0,0010

E 2004-7	368883	4566020	6.264	623	176,3	32	12,9	0,0115
E 2004-8	368809	4564981	7.007	743	160,3	29,1	2,9	0,0022
E 2006-9	368511	4566096	8.162	1155	0	0	29,1	0,0140

Tabla 7-1. Resultados de la campaña de aforos secuenciales de marzo de 2006. Las columnas corresponden a: Estación (a), coordenadas UTM (b,c), distancia a cabecera (d), longitud del tramo (e), caudal aforado (l/s) (f), porcentaje del caudal inicial (g), variación con respecto a la estación previa (h) e infiltración media en l/s por cada m² de canal (l).

La gráfica 7-9 refleja la evolución del caudal circulante desde el dispositivo de cabecera hasta el punto máximo que alcanzaba el agua a lo largo del canal el 11 de marzo de 2006.

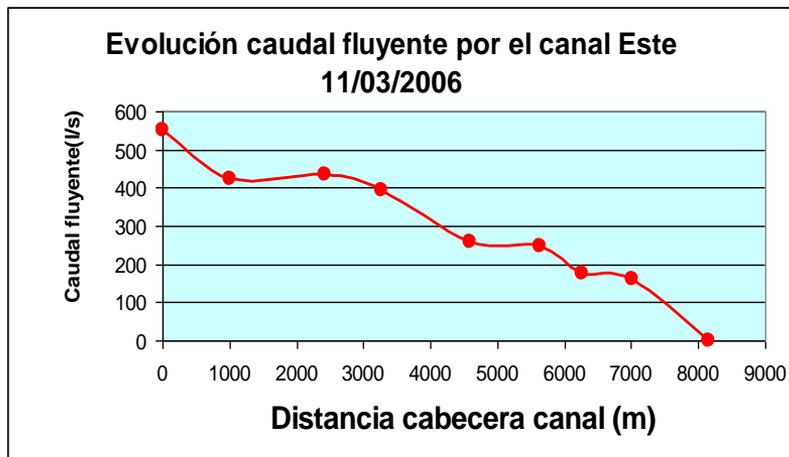


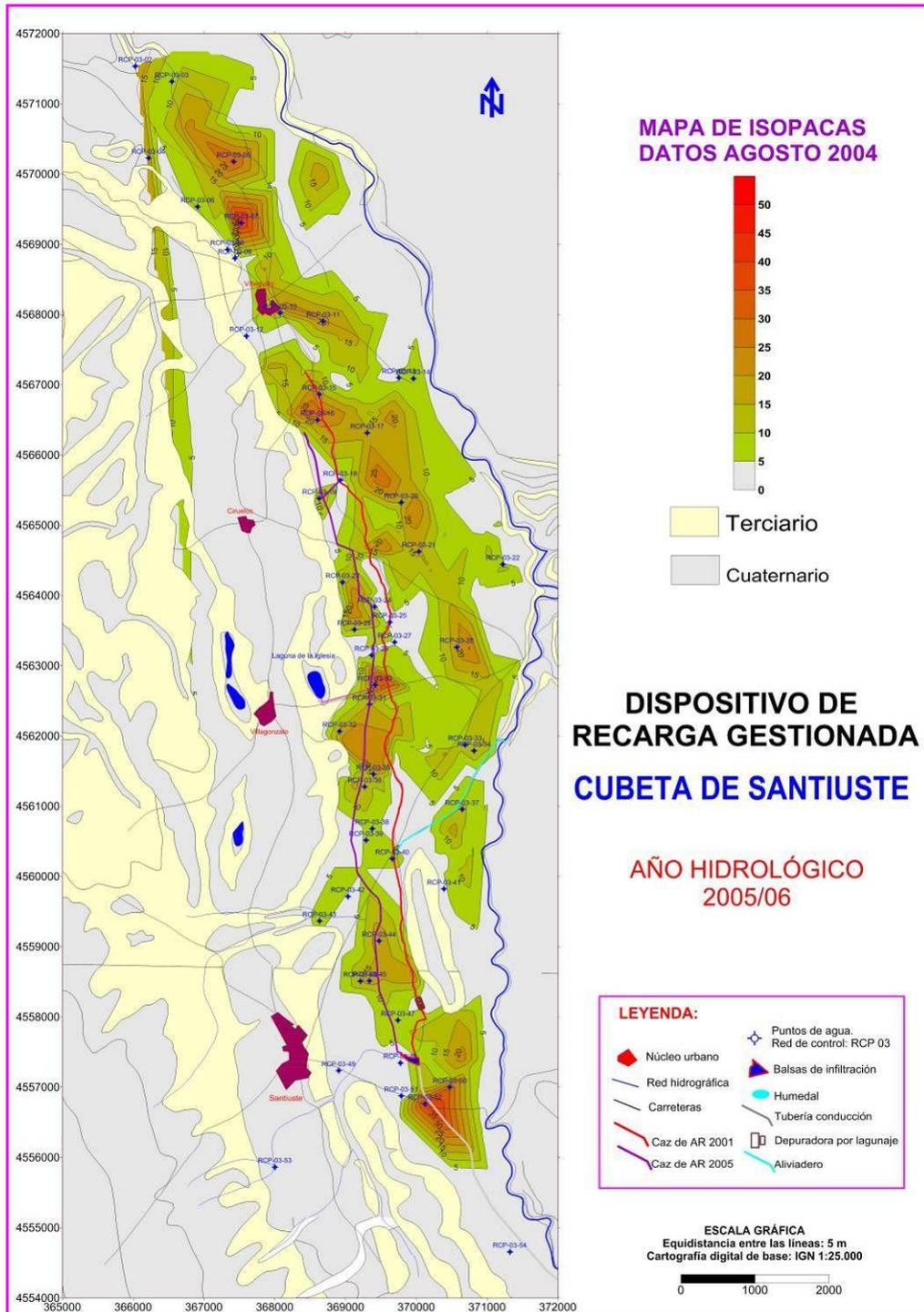
Figura 7-9. Evolución del caudal circulante por el canal Este (Viejo) el 11/03/2006.

7.4 ESTUDIO DE IMPACTO Y PLANIFICACIÓN DE LABORES DE MANTENIMIENTO

En mayo de 2006 se llevó a cabo una campaña de reconocimiento para comprobar el deterioro de los distintos dispositivos a cargo del personal de I+D+i de Tragsa. En general se constataron problemas de colmatación en la balsa y los canales, diferenciando tipologías físicas, químicas, biológicas y sus combinaciones, además de la colmatación gaseosa. Se planteó entonces la conveniencia de llevar a cabo una caracterización y estudio de la distribución de los distintos procesos colmatantes, iniciando una etapa que terminaría en 2009.

Se detectó además que el crecimiento de vegetación en los taludes del canal provocó varios deslizamientos, amenazando su estabilidad. En general la vegetación en el fondo del canal se consideraba que ayudaba a la retirada de nutrientes y crear discontinuidades en las capas de colmatación por efecto de sus raíces. No obstante, el crecimiento de plantas también en las laderas amenazaba la estabilidad de los taludes, surgiendo un nuevo enigma relativo a la conveniencia de permitir el asentamiento de vegetación, de qué tipo y dónde, tarea que prosigue en la actualidad.

Figura 7-10. Cartografía de la configuración del dispositivo de recarga gestionada “Cubeta de Santiuste” en el año hidrológico 2005/06, tras las obras de ampliación. Escala gráfica.



8 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2006/07



06/03/2007

8.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES, DATOS Y CÁLCULOS DEL QUINTO CICLO (AÑO HIDROLÓGICO 2006-07)

El quinto ciclo de recarga artificial empezó el 1 de octubre de 2006 y terminó el 30 de abril de 2007 (período máximo de la concesión). Hubo, por tanto, 212 días de recarga efectiva.

Este año fue el más húmedo de la década de seguimiento (la precipitación total durante el ciclo fue de 330,6 mm).

En el mes de febrero hubo una nueva avería en el contador, por lo que, según el personal de la Comunidad de Regantes de Santiuste..., las mediciones del caudalímetro totalizador están exageradas. En esta publicación se han tenido en cuenta los datos registrados, aunque su fiabilidad queda en entredicho por este motivo.

El volumen total derivado desde el río Voltoya hacia los canales y balsas fue de 12,68 hm³. El caudal medio a la entrada del canal de recarga artificial fue de 692,37 l/s.

La oscilación media del nivel del agua, calculada a partir de las mediciones efectuadas en la RCP, fue ascendente y con un valor medio de 0,31 m.

8.2 NUEVAS ACTUACIONES PARA LA MEJORA Y AMPLIACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

Las mejoras llevadas a cabo en el dispositivo fueron.

- Cambio en el funcionamiento de dispositivos de parada adicionales para evitar el efecto *cascading*. El vertido por encima de estos suponía un aumento del aire disuelto en el agua de recarga. De este modo se prosiguió la actividad iniciada en el ciclo previo de elevar las compuertas de los dispositivos de parada, para que el agua pasara por abajo, instalando en los casos en que fue viable nuevas compuertas, para controlar su gestión manual conforme a las condiciones ambientales en cada momento (Fig. 7-4 d).
- Se llevó a cabo un nuevo ramal en el sector de Ciruelos (Camino de Coca y de Pelofino) para conectar ambos canales (figura 9-19).
- Fueron practicadas algunas mejoras técnicas en la depuradora, que ya se encontraba en funcionamiento al inicio de este ciclo.



Figuras 8-1 a) y b). Nuevas actuaciones en el canal Este. Fotos 14/10/2006.

Las mejoras estructurales fueron complementadas con estudios concretos (a partir de esta etapa el volumen de obra pasó a ser muy inferior y la actividad investigadora superior). Las líneas de acción principales se centraron en:

- Comprobar *in situ* el estado de los trabajos de construcción de las nuevas infraestructuras.
- Proseguir las labores de seguimiento del proceso de recarga del acuífero principal.
- Comprobar el resultado de las actuaciones y el funcionamiento del sistema.

- Estudio de la evolución morfométrica de la Laguna de la Iglesia.

Estas labores se llevaron a cabo mediante tomas de datos seriadas, inspección visual y toma de abundante información fotográfica.

Una nueva línea de acción fue el control hidrogeoquímico del agua corriente por el canal y de su evolución simultánea a su infiltración. Un aspecto muy tenido en cuenta fue la cantidad de oxígeno disuelto en función del caudal entrante. Por ejemplo, el caudal vertido en la balsa registrado por el caudalímetro el 06/03/2007 a las 10:35 AM era de 809 l/s. El contenido de O₂ disuelto en el agua era de 8,9 ppm. El 26 de abril, la medición en circunstancias análogas dio un resultado de 7,2 ppm para un caudal de 287 l/s, menor que en el mes anterior, concentraciones superiores a la determinación de oxígeno disuelto en el agua de la laguna, que el 06/03/2007 era de 6,9 ppm. Se inició así un estudio para correlacionar el oxígeno disuelto con el caudal circulante, cuyos primeros resultados fueron publicados en BGM 2009.



Figuras 8-2 a) y b). Muestreo para análisis en la cabecera del dispositivo y en el canal de recarga. Fotos: 06/03/2007.

8.2.1 Modificaciones en el canal Oeste (Nuevo) y cruce con el AVE

Un tramo del canal de especial singularidad fue el del cruce del canal con las vías del tren de Alta Velocidad (AVE) Madrid-Valladolid, en el sector de Los Navajos.

El cruce fue diseñado y construido mediante obra de hormigón de sección trapezoidal, con una anchura superior a los dos metros, un metro de anchura inferior y profundidad variable. En este tramo se intercalaron numerosos dispositivos de deceleración del caudal (parada con pequeños diques), lo que provocó en varias ocasiones la obturación parcial del canal por ramas, restos de plantas, etc.



Figuras 8-3 a) a c). Drenaje de la vía del Tren de Alta Velocidad, estructuras asociadas y paso del canal de recarga bajo la vía (a y b). Vertedero en uve (c).

El nivel de las aguas del canal a su paso por este cruce alcanzó en ocasiones el borde superior del mismo, con riesgo de desbordamiento, al ser una estructura impermeable en este tramo. Este aspecto fue controlado minuciosamente, dado el riesgo que supone para los cultivos adyacentes. Además se redujo la altura de los dispositivos de parada localizados inmediatamente aguas abajo.



Figuras 8-4 a) y b). Modificaciones en el canal de recarga, en general con tendencia a aumentar el eje de giro en las curvas e inicio de los estudios de los procesos colmatantes en la balsa de decantación/infiltración. Fotos: 22/05/2007.

8.2.2 Prolongación del canal desde los Llanos del Cuadrón a Llano de Olmedo

Las modificaciones adicionales en el canal Oeste se centraron en nuevas acciones en el tramo de canal que discurre bajo el casco urbano de Villeguillo, aflorando de nuevo junto al cementerio, y que desde ahí se dirige hacia el norte, por los parajes Prados del Cuadrón y la Cañadilla, hasta alcanzar el Medianero, en Llano de Olmedo.

La superficie de infiltración, que era de aproximadamente 23.850 m², fue ampliada hasta 27.960 m² en esta etapa tras la ampliación. Al término de este año hidrológico, las obras de este sector no habían concluido todavía.



Figuras 8-5 a) a d). Obras de prolongación del canal desde los Llanos del Cuadrón al Medianero (Llano de Olmedo). Fotos: 22/05/2007 (a y b) y 28-06-07 (c y d).

8.3 ACTUACIONES PARA EL CONTROL DE ZONAS INUNDADAS Y ESTUDIO DE LA PROFUNDIDAD DE ALERTA

Al ser un ciclo especialmente húmedo, se produjeron desbordamientos puntuales del canal de recarga que llegaron, en algunos casos, a pequeñas inundaciones de terrenos cultivados. Se trata de un impacto previsible en el análisis de riesgos, que tuvo que ser estudiado e integrado con mayor detalle en el programa de vigilancia y control.

Las medidas adoptadas fueron un control más riguroso de la profundidad de alerta en períodos de grandes precipitaciones, el cierre provisional de la válvula de entrada en la derivación del río Voltoya y el control manual más intenso de las compuertas de los dos aliviaderos.



Figura 8-6 a) y b). Pequeños desbordamientos del canal de recarga e inundación de zonas puntuales de terreno de labor. Fotos: 24 de mayo de 2007.



Figuras 8-7 a) y b). Nuevo canal (Oeste) de recarga gestionada en situación de aguas altas a su paso por La Revilla. Fotos: 6 de marzo de 2007 (a) y 22 de mayo de 2007 (b).

8.4 NUEVOS ESTUDIOS DE LOS PROCESOS COLMATANTES

El estudio de la colmatación se convirtió en una tarea prioritaria, al concurrir diversos procesos colmatantes con el paso del tiempo y uso del dispositivo.

Los estudios iban encaminados tanto a acciones preventivas como correctivas, así como mejoras de diseño a partir de esta experiencia.

En el período estival se iniciaron campañas de muestreo y análisis de procesos colmatantes, acompañadas de ensayos de infiltración. Estas tareas fueron apoyadas por técnicos del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Se realizaron tres campañas con fechas 28-06-07, 22-08-07 y 28-08-07. Al término se procesaron las muestras y estudiaron con lupa binocular. Así mismo se congelaron todas las probetas de los perfiles de colmatación para su análisis posterior.



Figuras 8-8 a) y b). Estudio y procesado de las muestras de colmatación muestreadas en las estaciones de control. La caracterización y estudio de la distribución de los distintos procesos se presenta en la cartografía 13-5.

La línea de acción para detectar los procesos y tipologías de procesos colmatantes en distintos sectores del canal todavía prosigue en la actualidad.



Figuras 8-9 a) a d). Muestreo de procesos colmatantes en el fondo de la balsa de infiltración y decantación de cabecera (a); en el canal aguas abajo de la depuradora (b y c) y en la estación IN-1 (d). Fotos: 28/06/2007 (a) y 28/08/2007 (b, c y d).

8.5 NUEVAS CAMPAÑAS DE ENSAYOS DE INFILTRACIÓN

El 28 de junio de 2007 se llevó a cabo una nueva visita técnica a la Cubeta de Santiuste con objeto de planificar las zonas donde se iban a llevar a cabo los experimentos de infiltración con infiltrómetro de doble anillo, de cara a estudiar su evolución en el tiempo.

Se concretaron los aspectos técnicos de los ensayos buscando criterios homogéneos entre los técnicos de ambas empresas o instituciones. Más tarde se visitaron y marcaron con estacas de madera y pintura las 19 estaciones para el muestreo de la colmatación.

Entre los días 3 y 12 de julio y 1 y 2 de agosto de 2007 se llevaron a cabo nuevos ensayos de infiltración a cargo de técnicos de Tragsa y del IGME.

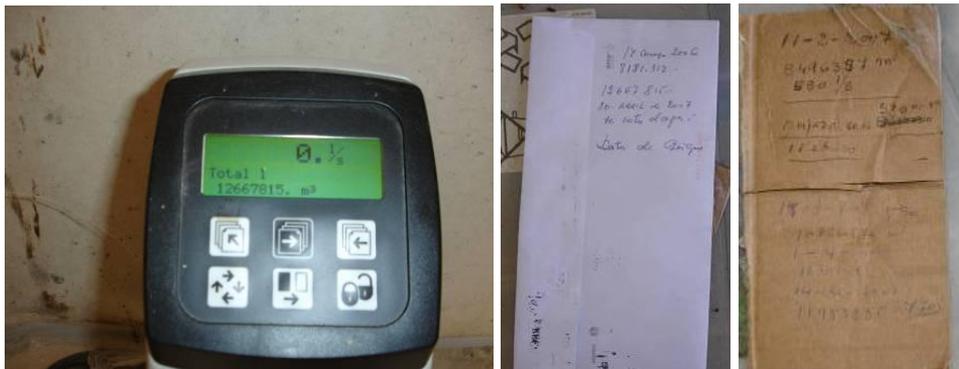


Figuras 8-10 a) y b). Ensayo de infiltración con infiltrómetro de doble anillo. Fotos: 12/07/2007.

El material empleado siempre fue el mismo en todas las pruebas con objeto de homogeneizar los resultados.

Se iniciaron los ensayos empezando por la cabecera del dispositivo y llevando más tarde un orden salteado, como consecuencia de que todavía quedaba agua en el caz de recarga artificial en bastantes zonas.

Los resultados e interpretación se encuentran en bibliografía técnica específica. Véase BGM, 2009.



Figuras 8-11 a) a c). Toma de datos en el caudalímetro totalizador, anotadas en un esfuerzo conjunto entre los regantes y autoridades de la localidad (D. Pablo Herrero, D. Ramiro Gutiérrez y D. Octavio Esteban) y los técnicos de Tragsa.

9 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2007/08



06/11/2007

9.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES, DATOS Y CÁLCULOS DEL SEXTO CICLO (AÑO HIDROLÓGICO 2007-08)

El sexto ciclo de recarga artificial empezó el 30 de mayo de 2008 a las 18:00 y terminó el 6 de junio a las 12:00 h. en consecuencia fue el ciclo de menor duración como consecuencia del carácter seco de la primera mitad del año hidrológico. La recarga fue posible por unos días de intensas precipitaciones en que se cumplió la condición impuesta por la CHD para derivar caudal del río Voltoya (caudal circulante en la estación de aforos del Puente Chico de Coca superior a 1.100 l/s). Hubo, por tanto, 7 días de recarga artificial, durante los cuales la precipitación total fue de 23 mm.

El caudal medio en cabecera fue de 902,35 l/s. El volumen total derivado en esa semana fue 0,526 hm³.

La oscilación media del nivel del agua entre noviembre y mayo, calculada a partir de la variación del nivel en los puntos de agua que integran la RCP, fue de 3,57 m, cuantía

no atribuible a la recarga inducida exclusivamente, habida cuenta de su escasa duración de este ciclo.



Figuras 9-1 a) a d). El sexto ciclo de recarga terminó después de la fecha de concesión habitual, como consecuencia de la irregularidad de las precipitaciones. Cabecera del dispositivo con un caudal de entrada superior a 750 l/s (a), caudalímetro totalizador (b), balsa de decantación/ infiltración (c), y cacera de Correlagua (d). Fotografías de fecha 02/06/2008 (a) y 06/06/2008 (b a d).

El 13 de febrero de 2008 visitó las instalaciones el Jefe de la Oficina de Planificación Hidrológica (OPH) de la CHD, D. Víctor Arqued. Se visitaron los principales elementos del sistema, tales como el azud de toma, la cabecera del dispositivos, la depuradora y la incorporación al canal del agua regenerada por lagunaje, los canales de recarga, un perfil del acuífero, el humedal en regeneración hídrica, el estado de las obras de ampliación del caz por el norte, etc.

Fueron comentados sobre la marcha los aspectos técnicos, con especial interés por los problemas técnicos y medioambientales encontrados durante los años de operatividad del dispositivo.

A tenor de esta visita se estableció un vínculo más estrecho entre los técnicos estudiosos de la *Cubeta*, la comunidad de regantes y la CHD.

9.2 OBRAS DE AMPLIACIÓN DURANTE EL AÑO HIDROLÓGICO 2007/08

Las obras llevadas a cabo durante esta anualidad fueron escasas:

- Fueron excavados dos nuevos *by-pass* transversales, uno en el sector central y otro en el norte. El primero conecta ambos canales junto a la linde de Santiuste con Coca, uniendo la Dehesa con los Navazos a través de los Pradillos del Barco. El segundo conectó el extremo norte del ramal izquierdo de la "Y" al sur de Villeguillo (extremo norte del canal Nuevo u Oeste) con el canal Este (Viejo) en la zona de la cuesta de Juan Aguado. Además fue prolongado el canal Oeste al Este de Ciruelos de Coca, excavando 200 metros de canal adicionales.



Figuras 9-2 a) y b). Canal de infiltración en el extremo norte de la Cubeta. Fotos 06/11/2007.

- Labrado del sector oeste de la balsa de decantación/infiltración situada en cabecera, con objeto de iniciar estudios sobre técnicas de tratamiento de suelo y acuífero (SAT) en este sector. Esta acción fue llevada a cabo gracias al presidente de la CCRR de Santiuste...

- Limpieza y profundización del extremo norte del canal este (Viejo) en la zona de la Vega y la Vaquiña hasta Villeguillo.





Figuras 9-3 a) a d). Obras para atravesar la localidad de Villeguillo con el canal de recarga gestionada, aprovechando el trazado del antiguo arroyo de la Ermita. Extremo sur de la localidad, llegada del canal y emboquille de la obra de soterramiento (a y b). Afloramiento al norte de la localidad, junto al cementerio y obras de prolongación hacia el norte (c y d). Fotos de fecha 11/10/2007.

- Profundización del canal iniciado en 2005 en los sectores de los Olmos y El Medianero, hasta Llano de Olmedo (extremo norte del canal actual), ya en la provincia de Valladolid. El canal también fue profundizado a su paso junto al cementerio de Villeguillo, con objeto de evitar inundaciones como la acaecida en febrero de 2004, en que como consecuencia de las condiciones ambientales, hubo un desbordamiento que alcanzó algunos nichos.



Figuras 9-4 a) y b). Extremo norte del canal en los Prados del Cuadrón, con instalación de PTPs como obras de parada y de paso (a). Poco más al norte afloran las calizas del Páramo (b) que coronan vastas extensiones de Castilla-León. Fotos: 11/10/2007.

El 6 de marzo de 2007 se llevó a cabo una campaña de medición del oxígeno disuelto a lo largo de todo el canal de recarga gestionada en puntos coincidentes con la toma de datos de colmatación. Los resultados de esta campaña se adjuntan en el anexo 1.

En la primera quincena de marzo de 2007, el canal se encontraba cerca del desbordamiento, y fue preciso abrir ambos aliviaderos, el del Sanchón y el de la cacera de la Vega, derivando aguas del canal hacia el río Voltoya y Eresma respectivamente.



Figuras 9-5 a) y b). Evento de caudales máximos que llegó a sobrepasar la altura de algunas compuertas de parada. Fotos de fecha 06/03/2007.

El 22 de mayo de 2007 el nuevo canal (Oeste) ya no presentaba agua corriente, a diferencia del Este. Este hecho se atribuye a ser un dispositivo más nuevo con un grado de colmatación muy inferior, además de tener un trazado por una zona mucho más receptiva de cara a la infiltración y almacenamiento subterráneo.



Figuras 9-6 a) y b). Días después del cierre de la válvula se inicia la campaña de riegos. Fotos: 22/05/2007.

El 8 de julio de 2008 se llevó a cabo una campaña de toma de datos. En ella se pudo constatar que los canales permanecían inundados en varios tramos, a pesar de haber transcurrido más de un mes desde el final de la recarga. Los niveles del agua estaban alcanzando los valores más altos desde el inicio de las operaciones de recarga gestionada.

En este reconocimiento fueron localizados dos nuevos pozos recientemente construidos en la Dehesa Tetuán y Quitapesares, que fueron agregados a la red de control 2008.



Figuras 9-7 a) a d). Regadío en cuatro sectores de la Cubeta. Durante el inicio de la campaña de riegos el nivel del agua en los pozos adyacentes al canal estaba a la misma cota que el agua en el canal, lo que propicia un importante ahorro energético en los costes de bombeo. Fotos: 08/07/2008.

9.2.1 Detección de impactos y nuevas modificaciones en el canal

En octubre de 2007, con el comienzo del año hidrológico, prosiguieron las campañas de tomas de muestras de procesos colmatantes, en trabajo conjunto entre Tragsa y el IGME. Así mismo se estudiaron alternativas para instrumentación.

Se tomaron algunas probetas del perfil superficial del fondo del canal, donde se acumulan espesores destacables, que también fueron congeladas hasta su procesado.

Se concretaron además algunos puntos idóneos para la medición de caudales, definiendo la actual red de control, todavía operativa en la actualidad.

Como evento anecdótico e impacto a cuantificar, el 6/11/07 un coche se precipitó dentro del canal en el Camino de las Carretas, junto al Pinar de Ciruelos.



Figuras 9-8 a) y b). Perfil del canal Oeste a su paso por el paraje El Barco (a), cuya coronación generalmente se mezcla con los cultivos (b). Fotos: 22/05/2007.

Se constató así que hay determinados sectores en los que la vía de servicio del canal resulta especialmente resbaladiza tras episodios de lluvia. A este respecto se empezó a barajar dos alternativas de diseño, o bien ampliar la anchura de la vía de servicio, o bien dotar al canal de una grada o espaldón en su coronación, opción rechazada salvo en zonas muy puntuales por constituir una barrera física a las aguas de escorrentía.

- Actuaciones para el control de zonas inundadas y estudio de la profundidad de alerta

Como consecuencia de las fuertes precipitaciones, (80 mm entre el 19 y 22 de mayo de 2008) hubo inundaciones en zonas puntuales de la *Cubeta*.



Figuras 9-9 a) y b). Salida de un vehículo de la vía de servicio y caída al canal. Este acontecimiento es un ejemplo de un tipo de impacto escasamente evaluado hasta la fecha y desencadenó el estudio de medidas para minimizarlo. Fotos: 06/11/2007.

Este impacto fue evaluado de nuevo y se propuso modificar la profundidad de alerta en determinados sectores. La medida adoptada y puesta en conocimiento de los regantes consistió en, al constatarse que el nivel del agua se encuentra por encima de dos metros de profundidad en determinados sectores, tales como El Corbazo, se cerraba manualmente la válvula de entrada, abriendo además el aliviadero del Sanchón.



Figura 9-10. Inundaciones puntuales en el sector del Corbazo como consecuencia de las fuertes precipitaciones (80 mm en cuatro días). Este hecho llevó a incorporar nuevas medidas al programa de vigilancia y control. Fotos: 22/05/2007.

9.2.2 Actuaciones en la Laguna de la Iglesia

En esta anualidad el humedal de la Iglesia no recibió aportes extras de caudal desde el canal de recarga gestionada por dos motivos, la lluvia proporcionó una reserva suficiente en el cuenco de la laguna para la avifauna, y la Consejería de Medio Ambiente de Segovia llevó a cabo la creación de dos islas para la nidificación de la avifauna en el cuenco de la Laguna. Esta actuación tuvo un gran sentido medioambiental para el vector fauna.



Figuras 9-11 a) y b). Laguna de la Iglesia, tras la reciente creación de dos islotes en su cuenco para refugio y nidificación de la avifauna. El material fue traído de zonas aledañas, dañando el perfil sedimentológico de la laguna. Fotos: 11/10/2007.

Como consecuencia del movimiento de tierras, el perfil edafológico de la laguna resultó dañado, siendo una zona extremadamente singular, como quedó constatado, años más tarde, al localizar el mineral trona en lentes de espesor inferior a un milímetro, según se describe en el apartado 13-5.

9.3 NUEVOS ESTUDIOS DE LOS PROCESOS COLMATANTES

En las campañas llevadas a cabo en este ciclo se constató, por primera vez, el desarrollo de colonias de algas filamentosas. Estas aparecen de manera puntual, constituyendo extensiones de tejido filamentososo que recubre el fondo del canal cuando éste se encuentra seco.

Así mismo, se detectaron concentraciones de materia orgánica asociadas a lemnáceas (lenteja de agua) en el canal Este, precipitados calcáreos en profundidad, procesos físicos, bacterianos, químicos y múltiples combinaciones.



Figuras 9-12 a) y b). Colonias de algas filamentosas recubriendo el fondo del canal (a) y zonas con desarrollo de lemnáceas (b), en general en el canal Este aguas abajo de la depuradora por lagunaje. Fotos de 13/12/2007.

9.4 EL REAL DECRETO 1.620/2007

El 7 de diciembre de 2007 fue promulgado el Real Decreto 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas (BOE núm. 294 de 8 de diciembre de 2007).

Este RD contempla los límites para seis parámetros de calidad en lo que denomina “usos ambientales” (punto 5), calidad 5.1: Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.

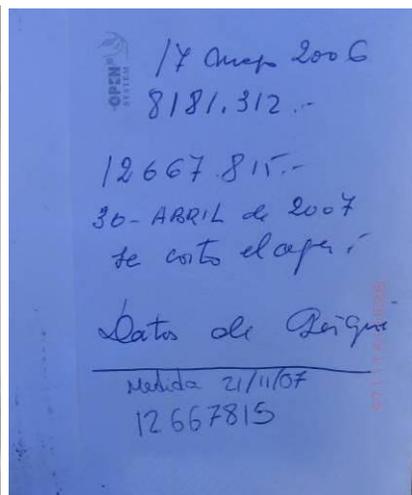
En consecuencia, se llevaron a cabo los análisis pertinentes para asegurar que el agua de recarga se ajustaba a la legislación vigente.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
5.- USOS AMBIENTALES					
CALIDAD 5.1 a) Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.	No se fija limite	1.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija limite	N _T ¹ : 10 mg N/L NO ₃ : 25 mg NO ₃ /L
CALIDAD 5.2 a) Recarga de acuíferos por inyección directa.	1 huevo/10 L	0 UFC/100 mL	10 mg/L	2 UNT	Art. 257 a 259 del RD 849/1986
CALIDAD 5.3 a) Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público. b) Silvicultura.	No se fija limite	No se fija limite	35 mg/L	No se fija limite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCA.
CALIDAD 5.4 a) Otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares).	La calidad mínima requerida se estudiará caso por caso				

Tabla 9-1. Requisitos cualitativos para el agua de “Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno” establecidos en el RD 1.620/2007.

Nota: Nitrógeno total, suma del nitrógeno inorgánico y orgánico presente en la muestra.

Se comprobó que todos los parámetros cumplían con los requisitos legales, al tratarse de agua de cabecera de cuenca de un área fuente granítica y contar con una presa de decantación previa a la derivación o “trasvase” de agua.



Figuras 9-13 a) y b). Prosigue la toma de datos puntuales paralela a las medidas en el caudalímetro totalizador. Ejemplo del esfuerzo conjunto entre los regantes (D. Pablo Herrero, D. Ramiro Gutiérrez, D. Octavio Esteban y Primitivo Hebrero de Andrés) y los técnicos de Tragsa.

9.5 DISEÑO DE LA NUEVA RED DE CONTROL RCP-08

Durante este ciclo y como medida de adaptación a las nuevas modificaciones de la red de canales, se diseñó una nueva red de control de la evolución de la profundidad del nivel freático. Se mantuvieron, en la medida de lo posible, los puntos de la red anterior; incorporando otros en sectores menos conocidos. Fue preciso además reemplazar puntos perdidos, tapados por movimientos de tierras o rotos por vandalismo.

Las campañas de medidas, desde entonces, consisten en la determinación del nivel del agua en 47 puntos de agua (más tarde se ampliaría la red a 54 puntos).

Las mediciones efectuadas y la posición de los pozos y piezómetros que constituyen esta nueva red, así como sus fotografías, se presentan en el anexo 7.

La cartografía 9-19 expone la posición de los puntos de la red de control 2008, todavía operativa en la actualidad. Su primera medición se realizó el 6 de noviembre de 2007.

9.6 LAS ESTACIONES DINA-MAR ZNS

En el marco del proyecto de I+D+i DINA-MAR, se planteó la necesidad de instalar unos sensores que permitieran controlar los principales parámetros de la zona no saturada del suelo en esta zona regable. De este modo se podría llevar a cabo un seguimiento mucho más exhaustivo de cómo prospera la recarga artificial en el espacio y tiempo.

El 13 de diciembre de 2007 se llevó a cabo una nueva visita técnica a la *Cubeta* de Santiuste con el presidente de la Comunidad de regantes por aquel entonces, D. Pablo Herrero, y el ingeniero de Tragsa, Roberto Fernández, quién se encargó de nuevo de la ejecución de estas pequeñas obras.

Se estudió la viabilidad para la ocupación de los terrenos previstos en los sectores de Correlagua y la Dehesa Tetuán, y las unidades de obra necesarias.

Se adoptaron dos zonas idóneas y tramitaron los correspondientes permisos, el primero a través del Sr. Presidente de la Comunidad de Regantes y del Sr. Alcalde de Santiuste, D. Octavio Esteban. El permiso para construir la segunda fue concedido por Señor D. Juan Carlos Cabrero, alcalde de Coca.

Conviene mencionar, en honor a la verdad, que las corporaciones municipales de Santiuste y Coca siempre han brindado un apoyo diligente para las actividades de I+D+i llevadas a cabo en la *Cubeta*, posibilitando la perforación de piezómetros y construcción de pequeñas obras en terrenos municipales, incluso intercediendo con propietarios.

El 13 de febrero de 2008 se inician las labores de construcción de las Estaciones DINA-MAR ZNS (vallado), si bien los sensores no serán instalados hasta meses más tarde.

La estación de medida e instrumentación de la zona no saturada, denominada Estación DINA-MAR ZNS-1, se situó en las proximidades de la balsa de decantación en la cabecera del dispositivo de recarga artificial, en el término municipal de Santiuste de

San Juan Bautista, parcela SIGPAC: 40:221:0:0:1:6244 (figura 9-14), cuyas coordenadas son X: 369694 / Y: 4557512.

Su diseño constructivo incluye los siguientes módulos o elementos:

- Arqueta Normalizada Tipo II.
- Sobrearqueta de telecontrol Mod. I.
- Tapa metálica galvanizada en frío.
- Cerramiento metálico de protección del perímetro de dimensiones 4,0 x 4,0 x 2,0 m³.
- Puerta de acceso.



Figuras 9-14 a) a c). Fotografías de la parcela en la se instalara la estación de control y medida de la zona no saturada DINA-MAR ZNS-1 (sector de Correlagua) y 2 (sector de Dehesa Tetuán); a y b respectivamente. Fotos: 06/11/2007. Inicio de las obras de construcción (c). Foto: 13/02/2008.

La estación de medida e instrumentación de la zona no saturada, denominada Estación DINA-MAR ZNS-2, se situó en la parcela Sig-Pac: 40:65: 265:0:7:5376:2 (figura 9-14), cuyas coordenadas son X: 369246 / Y: 4561559, incluida en el término municipal de Villagonzalo de Coca, diseñada con los mismos elementos (la única variación será la profundidad a que quedaron instalados los sensores).

El aspecto de ambas estaciones se presenta en las figuras 9-14 a 9-18, y su ubicación exacta en la tabla 9-2.

Estación	Coordenadas	Parcela Sig-Pac
DINA-MAR ZNS-1	X: 369694 / Y: 4557512	40:221:0:0:1:6244
DINA-MAR ZNS-2	X: 369246 / Y: 4561559	40:65: 265:0:7:5376:2

Tabla 9-2. Ubicación de las estaciones DINA-MAR ZNS-1 Y DINA-MAR ZNS-2.

Tras estudiar y seleccionar la instrumentación más adecuada para los fines pretendidos, cada estación fue equipada con tres sensores: Dos humidímetros SDEC, que además del porcentaje de humedad miden la temperatura, el superior ubicado en torno a 0,5 m de profundidad y el inferior a 2 m en la estación ZNS-1 y 1,1 en la ZNS-2 (en la que el nivel del agua es más somero), con objeto de que uno quede saturado al durante el ciclo de recarga artificial. Además cada una cuenta con un tensiómetro Bourdon (figura 9-16 a) ubicado entre los dos humidímetros-termómetros, cuya cápsula

cerámica se encuentra en torno a 1,05 m, (ligeramente por encima del nivel de aguas altas que se consigue al final de cada ciclo de recarga artificial).

Sus principales misiones eran y son controlar el avance del agua de recarga (bulbo de humidificación) desde el canal a cada sensor, permitir cálculos detallados de parámetros hidráulicos, cerrar balances hídricos, facilitar parámetros básicos de la ZNS, aproximarse a una medición del aire entrampado en los poros y la compresión que ejerce sobre los poros de la ZNS el avance del agua.

Los sensores están dispuestos de modo transversal al canal, uno gradiente hidráulico arriba y otro abajo, con objeto de detectar y cuantificar el avance del bulbo de humidificación y poder conocer mejor su morfología y simetría. La disposición de los sensores se presenta en la figura 9-15.

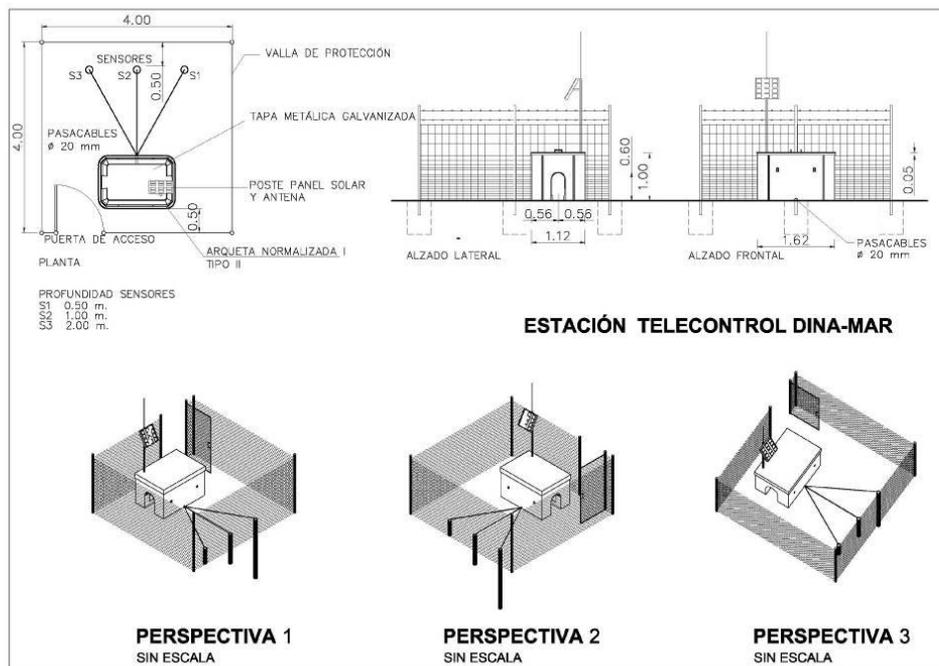


Figura 9-15. Configuración de las estaciones DINA-MAR ZNS y sensores instalados (tomado del proyecto de obra, Tragsatec, 2007/8).

De este modo quedan registrados en continuo cinco parámetros en cada una de las dos estaciones: Dos medidas de humedad, dos de temperatura y una de tensión capilar. La medición se efectúa cada 15 minutos, y las señales quedan recogidas en un data-logger. Así mismo se ha instalado el instrumental preciso para el televolcado de la información.

Además de las mediciones automatizadas se han realizado otras *in situ* mediante microterminal tipo *Microterm 4800* (figura 9-16b).

El 14 de octubre de 2008 las estaciones fueron dotadas de paneles solares, con objeto de recargar las baterías y hacerlas más autónomas.



Figuras 9-16 a) y b). Instrumentación de las estaciones DINA-MAR ZNS (tensiómetro y aspecto del *Microterm*).

El estudio de la variación del nivel del agua en las inmediaciones de las estaciones se ha realizado por la medición de dos pozos adyacentes a ambas y su inclusión en una cartografía hidrogeológica, que a su vez fue cargada a un modelo de flujo (*Modflow*).

La disociación entre el agua infiltrada procedente de la lluvia y de la recarga artificial se está llevando a cabo, hasta la actualidad, midiendo la humedad en la ZNS mediante humidímetro Eijkelkamp y aplicando el modelo HELP (*Hidrological Evaluation Landfill Performance*), elaborando balances hídricos parciales dentro del sistema. La corrección del modelo requiere series de datos, al menos, anuales.



ESTACIÓN PARA EL ESTUDIO Y EVOLUCIÓN
DE LA HUMEDAD Y TENSIÓN EN LA ZONA NO
SATURADA

DINA-MAR ZNS-1

Construcción y seguimiento: Grupo Tragsa
Más información en www.dina-mar.es

Coordenadas UTM:
X: 369694 / Y: 4557512
Parcela sigpac: 40:221:0:0:1:6244

La destrucción de esta placa
está penada por la Ley.



Figuras 9-17 a) a d). Momentos de la instalación de los sensores, aspecto final y placa identificativa de la estación DINA-MAR ZNS 1 en Santiuste de San Juan Bautista (Segovia). Fotos: 26/05/2008.

La estación SG-02 está situada a 6.747,62 m de la estación ZNS-01, a 7.431,81 de ZNS-2 y a 6.481 m de la cabecera del dispositivo principal de MAR.

La información detallada de ambas estaciones y la interpretación de los parámetros registrados en los primeros años de seguimiento puede ser consultada en bibliografía técnica específica (ZNS 09 y 11) y en Internet en <http://www.dina-mar.es/search.aspx?q=zns>.



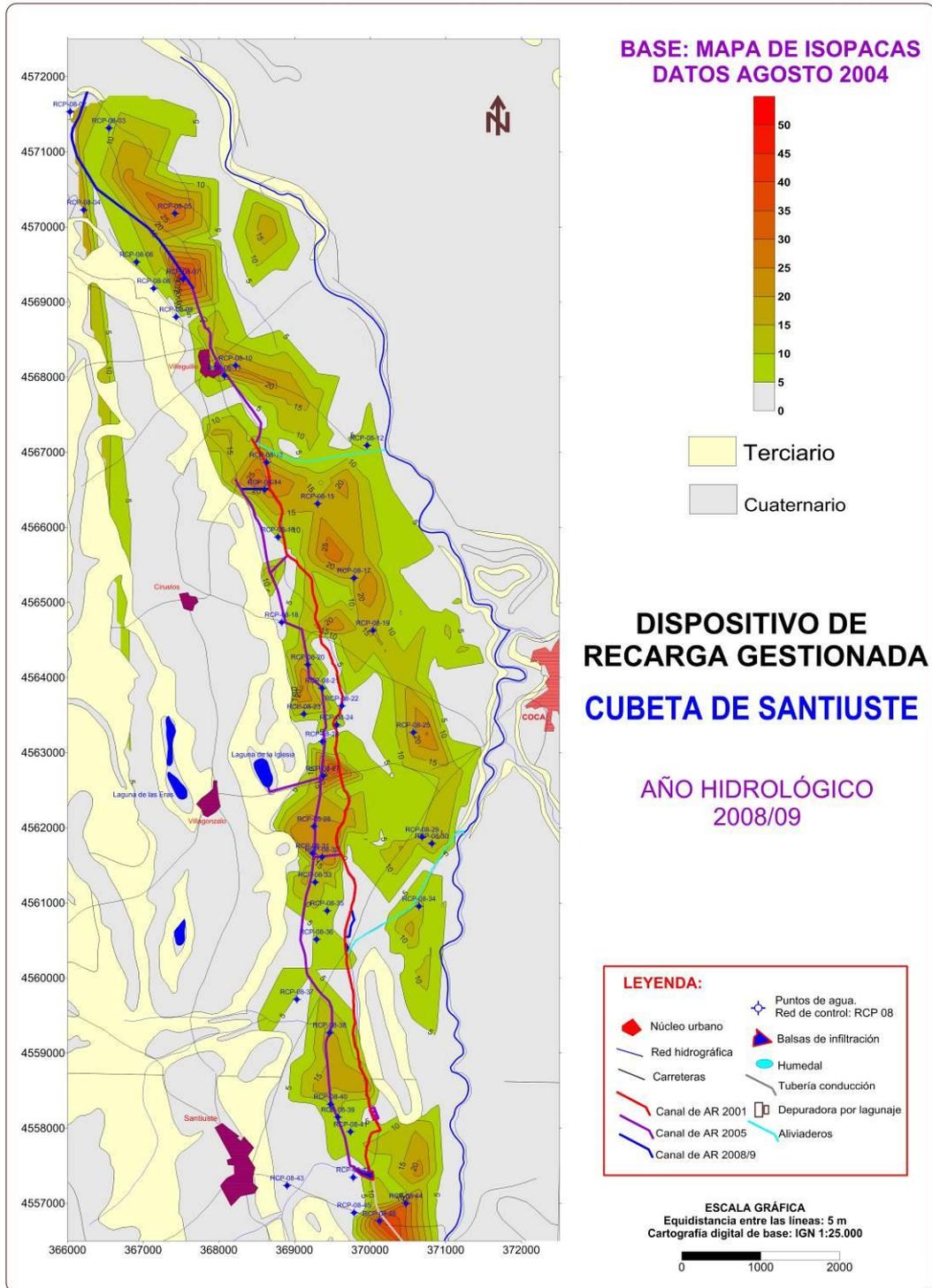
Figuras 9-18 a) a d). Momentos de la instalación de los sensores, aspecto final y placa identificativa de la estación DINA-MAR ZNS 2 en Villagonzalo de Coca (Segovia). Fotos: 07/06/2008.

9.7 CONFIGURACIÓN ACTUAL DEL DISPOSITIVO

La configuración del dispositivo de recarga gestionada al término de esta etapa se presenta en la figura 9-19, coincidente con la cartografía hidrogeológica. Estas actuaciones fueron llevadas a cabo por la Junta De Castilla y León en 2007. Esta morfología, con ligeras variaciones, es la que prosigue en la actualidad.

Se han realizado proyectos para recargar el acuífero en las zonas de pinar, que no han podido ser puestos en práctica como consecuencia de la crisis económica.

Figura 9-19. Configuración final del dispositivo de recarga gestionada “Cubeta de Santiuste”. A partir de 2008 no ha habido cambios relevantes (página siguiente).



10 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2008/09



07/11/2008

10.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES, DATOS Y CÁLCULOS DEL SÉPTIMO CICLO (AÑO HIDROLÓGICO 2008-09)

El séptimo ciclo de recarga artificial empezó el 1 de noviembre de 2008 y terminó el 30 de abril de 2009. Hubo, por tanto, 181 días de recarga efectiva.

La precipitación total durante el ciclo fue de 171,4 mm.

El volumen total derivado fue de 3,878 hm³. El caudal medio en cabecera del canal de recarga artificial fue de 247,97 l/s. La oscilación final del nivel del agua, conforme a las mediciones efectuadas en la RCP, fue de 0,62 m de elevación del nivel freático medio.

Las variaciones del nivel freático son más suaves que en períodos precedentes, ya que el nivel del llenado del acuífero había ya recuperado el descenso acumulado como consecuencia de la “sobreeplotación” a la que fue sometido en décadas anteriores para regadío, antes de empezar las labores de recarga gestionada.

La válvula de derivación a la laguna de la Iglesia estuvo cerrada durante todo este ciclo.

Durante el primer mes, el caudal de entrada en la cabecera del dispositivo tipo canal estuvo en torno a 750 l/s, durante el segundo mes bajó a 500 l/s y, desde entonces, el caudal entrante osciló en torno a 180 l/s, caudal que, como se justificará más adelante, resulta el más apropiado para conseguir las mayores tasas de infiltración.

Las condiciones climáticas en la estación más cercana reflejó oscilaciones importantes, con fuertes precipitaciones el primer mes, en la primera quincena de diciembre (nieve), en la primera y última semanas de enero y en la segunda de abril. Los valores máximos fueron registrados el 21, 27 y 18 de octubre, con 10,76; 9,34 y 9,32 mm respectivamente. Las temperaturas mínimas se dieron en la primera quincena de enero.

10.2 NUEVOS ESTUDIOS PARA INCREMENTAR LA EFECTIVIDAD DE LOS DISPOSITIVOS MEDIANTE TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE SUELO Y ACUÍFERO (SAT)

Las técnicas SAT, según su acepción originaria, son aquel conjunto de actuaciones a llevar a cabo en el agua de recarga y en el medio receptor para conseguir la máxima eficiencia en las labores de recarga gestionada.

Algunos autores designan con el mismo término a las actuaciones de recarga con aguas procedentes de depuradora, acepción más reciente y ampliamente extendida.

Respetando su acepción más antigua, las labores llevadas a cabo en este ciclo se centraron en estudios en el fondo de las balsas de infiltración y canales (medio receptor), así como la cantidad de aire disuelto en el agua de recarga y las medidas adoptadas para su minimización.

En segundo término, prosiguieron los estudios sobre las aguas depuradas vertidas al canal de recarga Este.

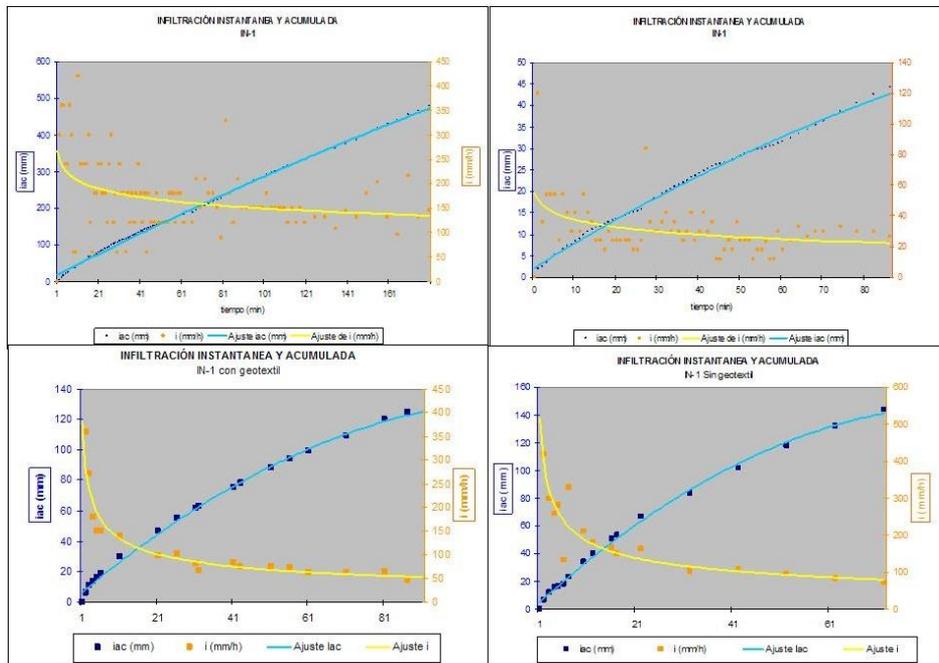
10.2.1 APLICACIÓN DE TÉCNICAS (SAT) EN LA Balsa DE DECANTACIÓN/INFILTRACIÓN SITUADA EN CABECERA

El 15 de febrero de 2008 se llevó a cabo el labrado del extremo oeste de la balsa de decantación-infiltración situada en cabecera. Esta acción, llevada a cabo con la colaboración de la Comunidad de regantes de Santiuste, fue de "programación y diseño", de manera que la distancia entre crestas consecutivas (o surcos) era variable, diferenciando tres sectores con espaciados diferentes (70, 80 y 90 cm).



Figuras 10-1 a) y b). Labrado de caballones a distintas anchuras en la balsa de infiltración / decantación de cabecera. Fotos: 27/05/2009.

Al término del ciclo se llevaron a cabo los correspondientes ensayos de infiltración, resultando las tasas más altas para el sector con una separación de 80 cm, para las condiciones en que se realizaron las pruebas. Las gráficas infiltración-tiempo se agregan en la figura 10-2.



Figuras 10-2 a) a d). Ensayos de infiltración en la estación IN-1 de septiembre de 2007, junio de 2008 y 2009. Gráficas de resultados de los ensayos de infiltración con infiltrómetro de doble anillo e interpretación.

Analizando los resultados, se apreciaba que la tasa solía ser más alta en ensayos de corta duración, si bien esta diferencia se redujo en ensayos más largos, hecho que inducía a pensar en la concentración de finos a cierta profundidad por debajo del canal. Además, y aunque fuese conveniente incrementar el número de pruebas para obtener

conclusiones fiables, la tendencia de la infiltración presentaba una pendiente más alta en las últimas pruebas, donde la curva de infiltración (en tono claro) permitió deducir que los sedimentos habían avanzado en el perfil del suelo, acumulándose en horizontes de menor conductividad hidráulica, primero en las inmediaciones de la superficie, y luego, en la franja de 40 a 60 cm, donde se genera una concentración de carbonatos. Estos resultados fueron tenidos en cuenta al planificar labores de mantenimiento.

Esta línea de acción fue mantenida en, al menos, el ciclo posterior, con objeto de estudiar cambios en la tasa de infiltración, si bien, los resultados han arrojado valores, en general, descendentes.

10.2.2 TÉCNICAS SAT EN LOS CANALES DE RECARGA ARTIFICIAL

Las principales líneas de acción para incrementar la tasa de infiltración y el volumen total infiltrado en el fondo y paredes de los canales se centraron en la propia morfología del canal, inclinación de los taludes y en el perímetro mojado final resultante de ambos parámetros. De manera adicional, se estudiaron las variaciones debidas a los cambios en el caudal circulante y en el filtrado de finos en suspensión en el agua de recarga. Una línea de estudio adicional y escasamente contemplada hasta la fecha fue la investigación de acciones para impedir el batido de las aguas, porque disuelve más gases de la atmósfera e incrementa la cantidad de aire disuelto, aire que va a parar al acuífero, reduciendo la efectividad de la actuación.

Con objeto de llevar a cabo estudios para facilitar las labores de mantenimiento y limpieza, se realizó una actuación experimental, instalando geotextiles en sentido longitudinal en la zona más profunda del canal, ligeramente enterrados, con morfología cóncava, simulando un caballón o *furrow*.

De este modo se intentaba retener la mayor cantidad de finos que, por decantación, quedarían depositados sobre estos geotextiles instalados a lo largo del fondo del canal en un caballón. La simple retirada y reemplazo de la membrana en las labores de mantenimiento podría ser suficiente para alargar la vida del dispositivo, facilitando tal labor y reduciendo el impacto "colmatación". Así mismo quedarían retenidos procesos colmatantes para su análisis y estudio. Para tal fin, los días 30 de octubre y 7 de noviembre de 2008 fueron instalados geotextiles en dos tramos previamente seleccionados del canal de cinco metros de longitud, con un caballón longitudinal, y equipados con un geotextil (figuras 10-3).

La posición del tramo con mayor número de ensayos es a partir del punto UTM 369417 / 4559040. El segundo tramo resultó malogrado durante el experimento por una tormenta que desenterró al geotextil y lo desplazó, hasta quedar retenido en un dispositivo de paso, llamando la atención sobre la necesidad de crear un protocolo de instalación determinado para estos materiales en este tipo de dispositivos.



Figuras 10-3 a) y b). Instalación de geotextiles en dos tramos longitudinales de 5 metros semienterrados en la zona más profunda del canal, formando un caballón. Fotos: 30/10/2008.

Durante dos anualidades se realizaron ensayos de infiltración en el centro y en los extremos de este tramo (tabla 10-1) y figura 11-6 a.

ESTACIÓN EN EL CANAL	Coordenadas UTM		Campañas de sept. 2007/jun. 08/jun. 09		Características	
	X	Y	Test (min)	Tasa de infiltración (mm/h)	Punto ensayo	Tipo de suelo
IV-1 GT-1i	369417	4559044	180/90/80	130/13/44	No geotextil	Arena
IV-1 GT-1f	369417	4559045	180/103/90	210/22/38	Sobre geotextil	Arcilla
IV-1 GT-2i	369714	4557572	120/86/na	90/108/na	Sobre geotextil	Arcilla
IV-1 GT-2f	369713	4557576	90/70/60	150/160/150	No geotextil	Arena

Tabla 10-1. Ensayos de infiltración sobre y cerca de los tramos de canal con instalación de geotextiles sintéticos. Valores para septiembre de 2007 (preoperacional), junio de 2008 y junio de 2009 (post-operacional) respectivamente. IV-1 GT 2 carece de dato por efecto de una inundación por lluvia intensa. Test se refiere a la duración del ensayo.

En las zonas con geotextil se observó que se había producido una retención efectiva de finos, con la consiguiente reducción de la infiltración que causaban. En los puntos sin geotextiles las tasas volvieron a valores de 2007.

El resultado más relevante, al igual que para los ensayos en balsas, fue la detección de una zona con alta concentración de carbonatos entre los 40 y 60 cm de profundidad, nivel de neoformación que reducía significativamente la tasa de infiltración.

Comparando los resultados de los ensayos de infiltración con los de años precedentes, se apreció una drástica caída de la tasa de infiltración entre 2007 y 2008, que pudo ser debida a múltiples factores, como el exceso de sedimentos en el agua de recarga, la

precipitación de calcita en profundidad y el exceso de aire. No obstante, en el año 2009, las tasas fueron de nuevo ascendentes.

Los detalles técnicos de ambos ensayos realizados en balsas y canales deben ser consultados en la bibliografía técnica específica, como BGM, IGME, 2009.

10.2.3 TÉCNICAS SAT EN LA DEPURADORA POR LAGUNAJE

El tramo de canal Este situado entre la zona de vertido del agua depurada y el Sanchón presenta una importante concentración de procesos colmatantes biológicos. En este sector la colmatación presenta una tonalidad más oscura, con abundancia de materia orgánica y desarrollo de especies vegetales singulares en la zona, como es la lenteja de agua. La caracterización de estos procesos se llevó a cabo con posterioridad, quedando representada su distribución en la cartografía de la figura 13-5.



Figuras 10-4 a) y b). Zona de vertido de las aguas depuradas procedentes de la depuradora por lagunaje en el canal de recarga Este. Analizando la calidad de las aguas, estas se ajustaban a los requerimientos del RD 1.620/2007. Fotos 13/02/2008 y 13/04/2008.

10.3 ESTUDIO PARA RELACIONAR EL OXÍGENO DISUELTUO EN LAS AGUAS DE RECARGA CON EL CAUDAL CIRCULANTE

Se han realizado determinaciones periódicas del oxígeno disuelto en las aguas de recarga en la cabecera del dispositivo piloto, confrontando los datos con los del caudalímetro.

Qm canal (l/s)	TOD ppm
278	7,2
149	7,0
68	6,9
372	7,5
692	8,9

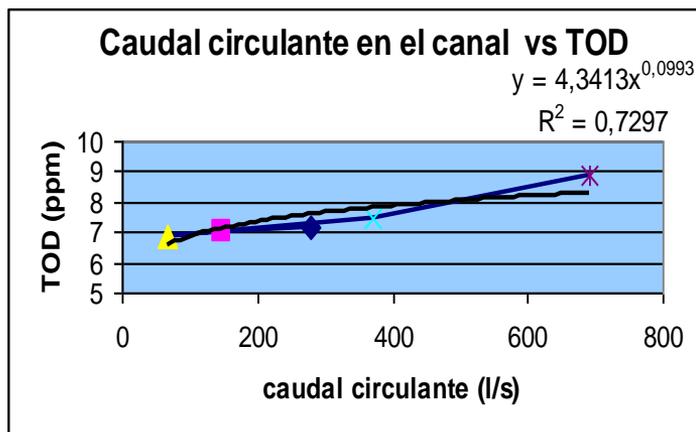


Figura 10-5. Medidas que relacionan el oxígeno disuelto con el caudal circulante en el canal de recarga gestionada a lo largo de 2008.

En general se aprecia una relación de proporcionalidad directa y exponencial entre en caudal de entrada y el oxígeno disuelto (consideramos para ello el aire total proporcional al oxígeno disuelto, por la Ley de Henry).

A partir de estos datos puntuales se han elaborado la gráfica de Scatter correspondiente y calculado la ecuación de la curva de regresión interpolada, que resulta (figura 10-5):

$$Y=4.3413 x^{0,0993}$$

La ecuación obtenida es exponencial, con un exponendo menor que uno. La curva es cóncava y ascendente. Esto permite deducir que existe un óptimo de oxígeno disuelto para un determinado caudal, que corresponde con el mínimo de la gráfica, que queda ubicado en torno al caudal de 300 l/s (de nuevo para las circunstancias específicas de los ensayos). Estas deducciones podrían ser extrapolables a escenarios análogos, pero no generalizables.

10.4 ESTUDIO PARA RELACIONAR EL CAUDAL CIRCULANTE POR LOS CANALES CON LA TASA DE INFILTRACIÓN

El control del caudal se llevaba a cabo todavía de manera manual a cargo de los comuneros y de los técnicos de Tragsa.

En este período se llevó a cabo una averiguación para correlacionar el caudal entrante al canal en cabecera y el volumen infiltrado. El procedimiento seguido fue de toma de datos, planteando después una ecuación a partir de los pares registrados.



Figuras 10-6 a) a d). Registro manual de caudales sobre el caudalímetro totalizador instalado en cabecera.

El cálculo técnico debe ser consultado en la bibliografía específica, como BGM, IGME, 2009. Como resultado cabe destacar que, a caudales bajos, se producen las mayores tasas de infiltración (caudal fluyente en cabecera de 180 a 200 l/s).

10.5 ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS A LO LARGO DEL CANAL

El 22 de enero de 2009 se llevó a cabo la medición de parámetros inestables en ambos canales, coincidiendo con los puntos de las estaciones de aforo. Las estaciones de muestreo seleccionadas están representadas en la cartografía 13-5.

Los parámetros controlados fueron conductividad, sólidos disueltos, salinidad, potencial REDOX, temperatura del agua y del aire, oxígeno disuelto total y pH. Los datos pueden ser consultados en las memorias anuales del proyecto (DINA-MAR 2009 b). Un resumen de todos ellos se presenta en la Tabla 10-2.

Las gráficas del anexo 1-2 muestran la evolución de estos parámetros a lo largo de los canales de estudio de manera más fácil.

ESTACIÓN	X	Y	TOD (ppm)	EC (µs/cm)	TSS (ppm)	SAL (ppm)	pH	Fecha
EA-0b	369833	4557404	10.7	171	138	0,13	7,5	22/01/2009
EA-2	369563	4558102	11	142	113	0,11		22/01/2009
EA-3b	369152	4560188	7.6	274	205	0,2	6,98	22/01/2009
EA-4b	369095	4560809	8.6	288	215	0,21	7,06	22/01/2009
EV-3b	369698	4560204	6.5	179	137	0,13	6,01	22/01/2009
EV-7b	368838	4565954	4.8	293	223	0,22	7,01	22/01/2009

Tabla 10-2. Parámetros inestables determinados en seis estaciones a lo largo del canal de recarga gestionada.

Tablas 10-3 a) y b). Toma de datos de campo de parámetros inestables.

En el canal Oeste, la conductividad aumentó muy rápidamente durante los primeros kilómetros, hasta alcanzar su máximo a una distancia aproximada de 6 km desde la cabecera. A partir de ese punto, las conductividades empezaron a disminuir. Este aumento tan drástico en las conductividades se puede interpretar como debido a la influencia de la profundidad del acuífero, la salinidad, incorporación de aguas regeneradas y las actividades agrícolas; mientras que el descenso fue atribuido a la entrada de aguas de escorrentía directamente al canal.

Los sólidos en suspensión siguen una tendencia similar, ya que las partículas suspendidas se mantienen dispersas en el agua en virtud de su naturaleza coloidal y su carga eléctrica semejante, lo que motiva que se mantengan en suspensión por repulsión electrocinética.

El contenido de oxígeno disuelto sufre fluctuaciones entre valores de 6 a 11 ppm a lo largo del recorrido del canal. Las oscilaciones registran con precisión cambios en las condiciones ambientales y procesos externos.

Los valores de pH fluctúan en el rango de 6,8 a 7,5 (valores prácticamente neutros).

En el canal Este, la conductividad registró un aumento muy suave a lo largo del canal hasta la estación EV-5, zona en la que el agua discurre sobre un sector de ambiente hidroquímico reductor, que fue atribuido a la abundancia de pirita (FeO₂) diagenética en

el acuífero, en general en forma de pepitas. A medida que avanzaba, la influencia debida a la oxidación de la pirita disminuía, así como la conductividad del agua resultante de los procesos de interacción. Sin embargo, en las últimas estaciones (EA-12 y EA-13) el canal se encuentra situado en la proximidad de terrenos salinos con humedales, y las conductividades registradas aumentaron fuertemente.

El parámetro oxígeno disuelto total (TDO según su acrónimo en inglés) disminuía desde 10,2 hasta 6,5 ppm en una distancia a cabecera de unos 3 km. A partir de ahí aumentaba hasta 7,7 en la estación EV-4. Entre EV-4 y EV-5 es dónde había un ambiente reductor más marcado y, por lo tanto, este parámetro registraba una fuerte caída. En la estación EV-6 aumentaba de nuevo (a 7,6) como consecuencia de la entrada de aguas de escorrentía, y a una distancia de unos 9 km la concentración de oxígeno disminuyó de nuevo hasta un valor de 4,8 ppm.

El pH medido en cabecera fue 6,33, lo cual marca un ambiente ácido, pero a medida que el agua avanzaba por el canal hasta llegar a la estación EV-2 (distante 1 km) el pH registrado era 7,1 (neutro). Hasta la estación EV-3 (distante 3 km aguas abajo) se produjo un nuevo descenso del pH hasta 6,01 (ácido), y desde ahí aumentó hasta valores cercanos a 7, coincidiendo con los sectores de química reductora atribuible a la presencia de pepitas de pirita (FeO_2).

10.6 ACTUACIONES ADICIONALES

En este apartado se ha incluido el estudio de la evolución de la Laguna de la Iglesia y de los humedales artificiales mediante el seguimiento de la evolución de la morfometría de la Laguna de la Iglesia y de los humedales artificiales.

Con respecto a la primera, en este ciclo no hubo derivación de caudal alguno desde el canal de recarga hacia el cuenco de la laguna de la Iglesia.

Los islotes artificiales en el centro cumplieron bien su labor ecológica como zona de criadero y refugio de la avifauna.

La zonificación de la laguna se mantuvo invariable, así como la presión de los cultivos sobre el cuenco del humedal.



Figuras 10-7 a) y b). Laguna de la Iglesia y dispositivo para su regeneración hídrica (a). Presión de los cultivos sobre el humedal (b). Fotos: 22/01/2009.

En el caso de los humedales artificiales adyacentes al canal, estos tuvieron un funcionamiento previsible, las orlas de vegetación se distribuyeron paralelamente a como lo hacen los humedales, con su cuenco, playa y zonas de cultivo.

El sector donde el canal se ensancha presentaba un fuerte desarrollo de hidrófilas tipo enea y tifas, así como juncos "churreros".



Figuras 10-8 a) y b). Aspectos de los humedales artificiales en la zona del Sanchón. Humedal principal (a) y zona con ensanchamiento del canal (b) y derivación hacia este nuevo sistema. Fotos de fecha 23/05/2009.

10.7 PRIMERAS ACTUACIONES DE DIFUSIÓN Y SEÑALÉTICA EN LA CUBETA

A lo largo de estos ciclos de recarga ha habido visitas de varias delegaciones extranjeras y de estudiantes, habida cuenta de la singularidad de estas obras.

Será a partir de 2009 cuando se lleve a cabo un cierto registro y establecimiento de indicadores básicos, basados en el interés suscitado en entidades externas y solicitudes de visitas guiadas.

Ante la demanda creciente, se llevaron a cabo unas primeras actuaciones de instalación de paneles informativos en sitios de especial interés, coincidiendo con visitas técnicas. Por ejemplo, el 17 de febrero de 2009 hubo una visita técnica de alumnos de la Universidad Politécnica de Madrid.

El 12 de marzo de 2009 se instalaron dos paneles de aluminio en la caseta del caudalímetro y en la estación DINA-MAR ZNS-1, como acciones de Difusión y Transferencia tecnológica (DyTT) del proyecto de investigación DINA-MAR, financiado por el Grupo Tragsa.

El 13 de marzo de 2009 la *Cubeta* recibió la visita de los alumnos del máster de gestión de los recursos hídricos de la Universidad de Alcalá.

Ambas visitas guiadas contaron con la participación de miembros de la comunidad de regantes de Santiuste. Quizás el aspecto más destacable y la principal idea que transmitieron los regantes a los alumnos fue el carácter distintivo de esta actuación con

respecto a otras parecidas basada en que fueron obras ejecutadas como respuesta a una solicitud popular, un grupo de usuarios de las aguas subterráneas se dirigió a la Administración presentando un problema, que encontró una solución mediante un sistema de actuaciones y obras cuyo principal vector es el Agua subterránea.



Figuras 10-9 a) y b). Panel de aluminio informativo sobre la gestión de la recarga de acuíferos en España y datos específicos de la *Cubeta* hasta 2009 (a) y Panel de aluminio informativo en la Estación DINA-MAR ZNS-1, con información sobre los métodos de estudio de la Zona No Saturada del acuífero en las inmediaciones de los canales de recarga gestionada (b). Fotos del día de su instalación: 12/03/2009.

Surgió así la idea de preparar una ruta hidrogeológica visitable, que vería la luz un año después mediante la publicación "Caminitos de Agua, tres rutas hidrogeológicas en la provincia de Segovia", que fue propuesta a la UNESCO por su interés hidrogeológico y medioambiental, solicitud que todavía espera resolución.

11 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2009/10



16/12/2009

11.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES, DATOS Y CÁLCULOS DEL OCTAVO CICLO (AÑO HIDROLÓGICO 2009-10)

El octavo ciclo de recarga inducida empezó el 17 de febrero de 2010 a las 13:50 h y terminó el 31 de marzo del mismo año. Antes de esto se llevaron a cabo ensayos y comprobaciones del caudalímetro de escasa entidad. Hubo, por tanto, 43 días de recarga efectiva.

La precipitación total durante el ciclo fue de 66,20 mm.

Comenzó la recarga con un caudal de 150 l/s. la medida inicial del contador era 17.071.976. Desde la apertura de la válvula hasta la aparición del agua derivada por el dispositivo de cabecera (hongo) pasaron dos horas y cinco minutos, lo que permitió comprobar que este cálculo hidráulico era correcto en el proyecto de obra y que la velocidad del agua dentro de la tubería era de 1,36 m/s. El sábado 20 de febrero a las 12:30 h se incrementó el caudal en la válvula hasta 220 l/s.

El piezómetro 42, punto de agua más cercano a la cabecera, presentaba el nivel del agua a 5,20 m de profundidad a las 14:20 h del día de apertura. El 4 de marzo de 2010 a las 10:30 la profundidad del nivel freático en este mismo piezómetro era de 2,74 m.

El octavo ciclo, 2009/10, fue de carácter húmedo y tuvo una duración muy corta (43 días). Fueron derivados 910.168 m³ del río Voltoya entre el 17 de febrero y el 15 de abril. La infiltración para este período, como variación en el almacenamiento del acuífero, fue de 0,887 hm³, lo que representa un 96,4 % del volumen derivado del río.

La oscilación media del nivel del agua, conforme a las mediciones efectuadas en la Red de control RCP, fue de 0,41 m.

El avance del agua por el canal, al tener una única válvula en cabecera, ha representado un sistema de recarga del acuífero "ordenado" de sur a norte. Este sistema ha recibido frecuentes críticas de los agricultores del extremo norte de la *Cubeta*, especialmente de Villeguillo, donde hay importantes cultivos de fresas como plantación predominante, al llegar el agua del canal incluso semanas después del inicio de la actividad.

En esta anualidad el agua alcanzó la localidad de Villeguillo (sumidero sur) el 4 de marzo de 2010 a las 10:10 h. El retardo, por tanto, fue cercano a dos semanas con un caudal en cabecera cercano a 200 l/s y un nivel de llenado en la balsa de decantación/infiltración de 94 cm (espesor de la lámina de agua).

En esta anualidad tuvieron lugar las primeras elecciones celebradas en esta comunidad de regantes, formándose la primera Junta de Gobierno (hasta entonces estaba regida por una Junta Rectora), con el consecuente cambio de presidente, cesando D. Pablo Herrero y ocupando el cargo D. Primitivo Hebrero de Andrés, de Ciruelos de Coca, quién también siempre mantuvo una actitud colaborativa con los técnicos.

Los condicionantes de la concesión otorgada por la CHD no tuvieron cambio alguno a pesar de solicitarse una revisión. Según indicaciones verbales de la nueva Junta de gobierno, siguió siendo preciso mantener un caudal en el río Voltoya de, al menos, 600 l/s en el puente Chico de Coca para poder llevar a cabo las labores de recarga.

En este ciclo se llevaron a cabo varias visitas de Universidades y técnicos interesados al sector. Cabe mencionar visitas de las universidades de Alcalá, Rey Juan Carlos y Politécnica de Madrid. La actuación había llegado a ser una experiencia de relevancia mundial, gracias a artículos técnicos publicados en revistas científicas, que suscitaron el interés de técnicos. En este contexto, desde el proyecto de I+D DINA-MAR se fomentó la instalación de una señalética "mínima" y la elaboración de una "ruta hidrogeológica" para la visita de los puntos de interés hidrogeológico y obras de mayor interés.

11.2 OBRAS DE AMPLIACIÓN DURANTE EL AÑO HIDROLÓGICO 2009/10

Durante este ciclo se llevaron a cabo labores de mantenimiento y mejora más que nuevas obras. Cabe destacar:

- Protección de los taludes con piedra calcárea y corrección del pH.
- Mejora de los canales del extremo norte (parajes Llanos del Cuadrón y el Medianero).
- Sustitución del tensiómetro de la estación ZNS-2 (averiado como consecuencia de un hormiguero en su cajetín).
- El 15 de octubre de 2009 se instalaron balizas en el interior de las balsas de decantación e infiltración para controlar la altura de la lámina de agua.



Figuras 11-1 a) y b) .Baliza sobre dado de hormigón en la balsa de infiltración-decantación para controlar la altura de la lámina de agua, como criterio para decidir la altura de los dispositivos de parada a la salida de la balsa hacia los canales. Fotos tomadas el 15/10/2009 y el 04/03/2010, respectivamente.

- El 15/10/2009 los comuneros adoptaron la técnica de hacer pasar el agua por debajo de los dispositivos de parada, evitando así el efecto *cascading* y el incremento de aire disuelto en las aguas de recarga.



Figuras 11-2 a) y b). Dispositivos de parada que permiten el caudal fluyente a distintas alturas para minimizar el efecto *cascading* y la disolución de aire. Fotos: 15/10/2009.

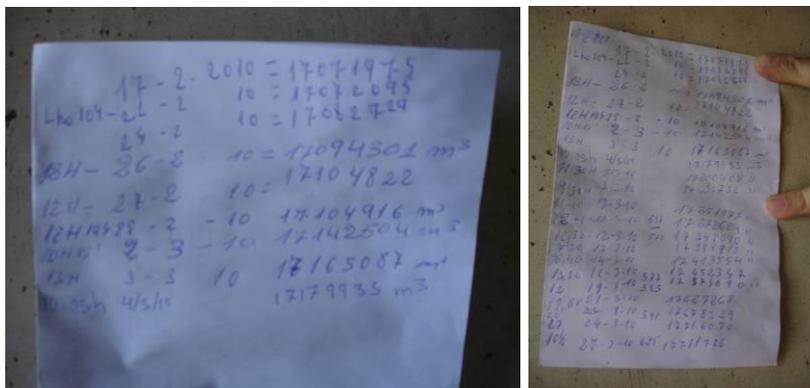
- El 16 de diciembre de 2009 se visitó la *Cubeta* en medio de una nevada reciente, con objeto de estudiar el funcionamiento de la instrumentación ante situaciones adversas.



Figuras 11-3 a) y b). Estación DINA-MAR ZNS-2 (a) y lectura directa de los sensores con *Microterm* (b). Los sensores funcionaron correctamente en estas condiciones. Fotografías tomadas el 16/12/2009.

11.3 REGISTRO CONTINUO DEL CAUDAL DE RECARGA ARTIFICIAL

Uno de los parámetros más importantes, el caudal en cabecera, contó hasta la fecha con un registro discontinuo y de oportunidad (cada persona que llevaba a cabo una medición eventual dejaba registro de la misma, permitiendo un registro histórico relativamente detallado). Por ejemplo el 4 de marzo de 2010 a las 10:30 la medida del contador era: 17.179.957, con 397 l/s de caudal fluyente. En este contexto se hizo conveniente instalar la adecuada instrumentación para obtener un registro continuo de caudales entrantes en el dispositivo.



Figuras 11-4 a) y b). Registro de caudales entrantes "presencial". Fotos 04/03/2010 y 15/04/2010 respectivamente.

La válvula fue cerrada el 1 de abril a las 09:00 horas, con un caudal de $615 \text{ m}^3/\text{s}$, por imperativo de la CHD. El contador marcaba 17.982.144 con 0 l/s

En este período se instaló un data-logger IT para el registro continuo del caudal de entrada, dotado de tarjeta de telefonía para el televolcado de datos (Figs. 11-5).



Figuras 11-5 a) a c). Caudalímetro totalizador (a), data-logger para el registro en continuo del caudal de entrada al dispositivo con volcado telefónico de datos (b) y configuración final (c). Fotos 04/03/2010 (a) y 01/04/2010 (b y c).

11.4 NUEVOS ENSAYOS DE INFILTRACIÓN

En octubre de 2009 se llevaron a cabo ensayos en los mismos puntos que en las dos anualidades precedentes, con objeto de estudiar las distintas tendencias evolutivas en los puntos investigados en el fondo de canales y balsas. Estos fueron repetidos en una nueva campaña llevada a cabo los días 20 y 21 de mayo de 2010.

Los datos se han presentado en la tabla 10-1, con objeto de ver su tendencia evolutiva con respecto a las campañas precedentes.



Figuras 11-6 a) y b). Ensayos de infiltración en los tramos experimentales de canal donde fueron instalados geotextiles en el fondo siete meses antes (a) y en la zona del fondo de la balsa con caballones (b). Fotos: 15/10/2009.

11.5 EVOLUCIÓN DE LOS ELEMENTOS AMBIENTALES (HUMEDALES ARTIFICIALES Y REGENERADOS)

El 4 de marzo de 2010 se llevó a cabo una nueva caracterización de la Laguna de la Iglesia y de los humedales artificiales del Sanchón, a partir de la medida de una serie de parámetros básicos, parámetros calculados e indicadores.

Se estudió la evolución del sistema de indicadores establecido, con objeto de evaluar el grado de "naturalización" de estos humedales con intervenciones "artificiales", con objeto de determinar su estado ecológico y su evolución. entre las conclusiones del estudio cabe destacar que las franjas de vegetación y las especies inventariadas son muy similares a las caracterizadas en otros humedales estudiados en la zona que nunca han tenido intervención antrópica directa, o al menos esta es desconocida.

En este ciclo sí hubo derivación desde el canal de recarga para la regeneración hídrica de la Laguna de la iglesia.

El resultado de este estudio puede ser consultado en la documentación específica generada (memoria del proyecto de I+D+i DINA-MAR, 2010).



Figura 11-7 .Laguna de la Iglesia, receptora de una fracción del caudal derivado a los canales de recarga gestionada (a) el 04/03/2010 y humedales artificiales del Sanchón (b) el 15/04/2010.

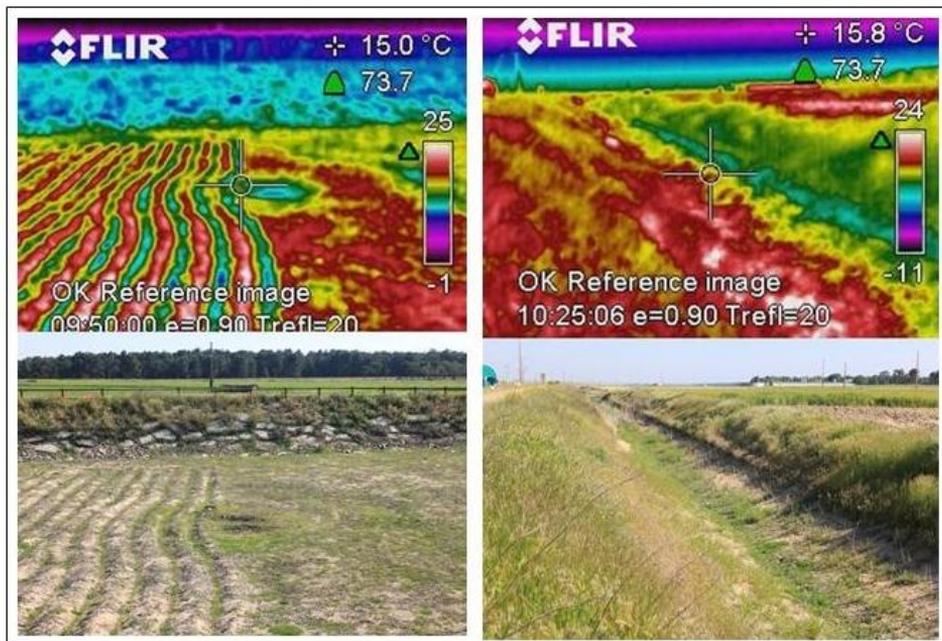
11.6 ENSAYOS CON TERMOGRAFÍA DE INFRARROJOS PARA EL ESTUDIO DE LA COLMATACIÓN

En mayo de 2010 se inició una nueva línea de acción con el objetivo de detectar, mediante la distribución de la temperatura en las balsas, canales y perfiles realizados en su fondo, zonas preferenciales de generación de colmatación.

En general las arenas eólicas son más claras que los procesos colmatantes por su elevado porcentaje de finos de naturaleza arcillosa y, en general, tonalidad más oscura. Estos contrastes permiten corroborar aspectos tales como la efectividad de los

caballones, con mayor colmatación en surcos que en valles y diferencias cuantitativas a lo largo de los surcos. En la figura 8 a) se muestra el aspecto de una balsa junto a su termografía. Las variaciones térmicas en los surcos se deben, bien a diferencias de altura, de vegetación, o a la aparición en superficie de procesos orgánicos y físicos, con tonalidad más oscura en general y mayor absorción de calor.

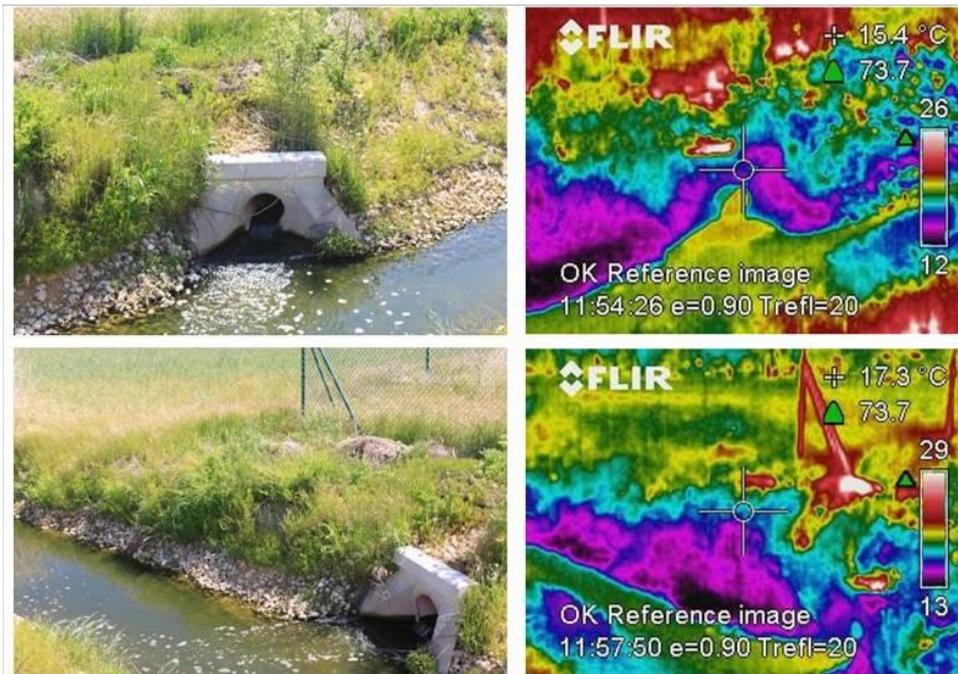
En las paredes de los canales se detectan tonalidades más oscuras hasta la cota del agua circulante. En el fondo se puede diferenciar, además, los tramos donde hay geotextiles enterrados, que dan tonos más fríos con respecto a aquellos sin equipar, que concentran procesos colmatantes alrededor (figuras 11-8).



Figuras 11-8 a) y b). Comparación entre los aspectos de una fotografía normal y una termografía, con objeto de detectar procesos colmatantes. Fotos: 20/05/2010.

En las figuras 11-9 se han montado nuevos pares termografía-fotografía de cara a estudiar los procesos de mezcla del vertido al canal de la depuradora por lagunaje de Santiuste y el agua circulante por el canal de recarga artificial. Ambas aguas presentan temperaturas diferentes y las tomas permiten apreciar el proceso de mezcla, la creación de contornos isotérmicos, islas de calor, etc., lo que resulta además indicativo de la velocidad de las aguas.

Aunque esta técnica no está tan desarrollada como para hacer mediciones cuantitativas, presenta una gran validez en cualitativas, abriendo una interesante línea de acción, en permanente mejora.



Figuras 11-9 a) y b). Comparación entre los aspectos de fotografías y termografías en la zona de mezcla del vertido desde la depuradora por lagunaje de Santiuste de San Juan Bautista al canal de recarga artificial. Fotos: 20/05/2010.

A tenor de los resultados alcanzados en la primera etapa, se ha publicado una primera contribución en una revista científica (BGSM, 2013).



Figuras 11-10 a) y b). Mediciones de termografía en balsa de recarga gestionada y verificación de las medidas mediante termómetro de suelos. Fotos: 20/05/2010.

11.7 NUEVAS ACCIONES DE DIFUSIÓN Y SEÑALÉTICA EN SANTIUSTE

El 17 de febrero de 2010 hubo una visita técnica de los alumnos del Máster de Agroingeniería de la Universidad Politécnica de Madrid. En esta visita de nuevo hubo una involucración "docente" por parte de los técnicos de la comunidad de regantes,

quienes acompañaron a la explicación y procedieron a la apertura de la válvula de entrada junto al alumnado.



Figuras 11-11 a) y b). Visita técnica de un máster de la UPM a las instalaciones. Fecha 17/02/2010.

11.8 CAMINITOS DE AGUA. RUTA HIDROGEOLÓGICA EN LA CUBETA DE SANTIUSTE

“Caminitos de agua” fue planteado como un conjunto de “rutas hidrogeológicas” con opción para visitar tres zonas de gran interés hidrogeológico y medioambiental en la provincia de Segovia, La Cubeta de Santiuste, la comarca del Carracillo y el exterior del qanat de Carbonero el Mayor.

Todavía en la actualidad no hay acuñada ninguna “ruta hidrogeológica” como tal en nuestra legislación, intentando así ampliar los Lugares de Interés Geológico en esta comarca e iniciar el proceso para instaurar ese término, con objeto de dar a la hidrogeología la importancia que merece.

La primera de las tres "rutas hidrogeológicas" recopila varios puntos destacables y obras en la *Cubeta*, donde, en un espacio de unos 12 km lineales, cabe destacar, al menos, 10 puntos de interés hidrogeológico visitables.

El “visitante” interesado puede ser el excursionista al que le guste el campo, si bien, da gran cabida a visitas técnicas de estudiantes: facultades, escuelas de Ingeniería, másteres de hidrogeología y/o medioambiente, etc.

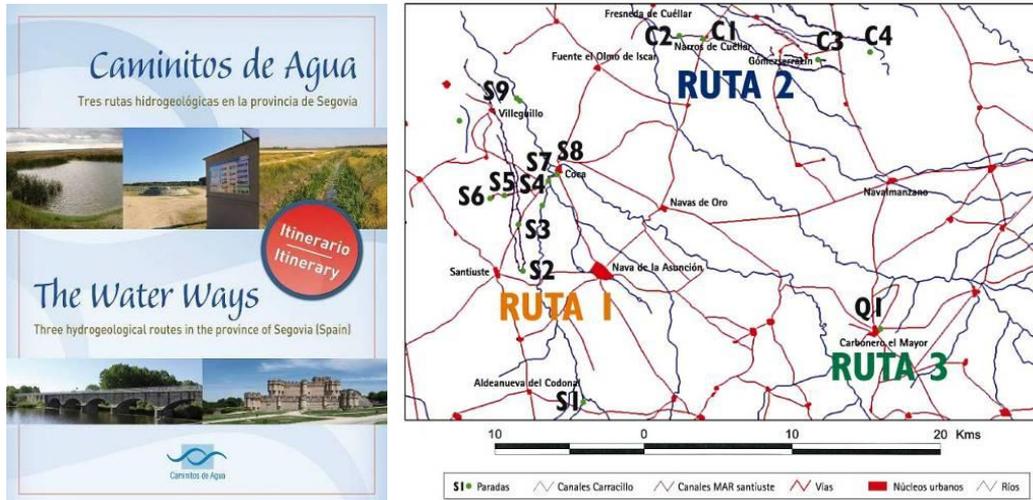
La zona cuenta con la ventaja de tener una buena disposición por parte de sus agricultores, quienes han colaborado a gestar las rutas y a incrementar el interés hidrogeológico de la zona, y por ende, de la técnica de la recarga artificial de acuíferos.

Los puntos seleccionados cuentan con una amplia diversidad: Espacios Naturales Protegidos, infraestructuras hidráulicas, “curiosidades hidrogeológicas”, nodos de esquemas de gestión hídrica, patrimonio histórico, etc.

La entidad propia de las zonas y su complejidad hidrogeológica permite además plantear ejercicios de interpretación, problemas con varias soluciones que requieren un

esfuerzo interpretativo, dada la alta componente en educación ambiental con que han sido diseñados los paneles, el itinerario, y, especialmente, la guía de interpretación.

Los “Caminitos de Agua” cuentan con una breve descripción general del entorno y de los mismos, reseñas para su acceso, localización e incluso coordenadas incorporadas a un fichero para cualquier GPS que puede ser descargado de la página Web <http://www.dina-mar.es/post/2011/05/10/CAMINITOS-DE-AGUA.aspx>, lo que facilita los accesos en campo. La visita a los caminitos puede ser complementada con su cartografía topográfica o geológica: hojas a escala 1:50.000 n° 428, 429, 455 y 456.



Figuras 11-12 a) y b). Caminitos de Agua. Portada de la guía de itinerario (a) y cartografía esquemática del sector NO de Segovia (b) con la posición de las rutas hidrogeológicas propuestas y sus paradas (orientado al norte y con escala gráfica).



Figuras 11-13 a) y b). Paneles de aluminio divulgativos. Guía de itinerario, formato panel (a) y la recarga de acuíferos en España (b).

Al final del apartado se presenta una reproducción del panel que resume los distintos itinerarios, cuyo original se encuentra en la parada s-02. El fichero de imagen de dichos paneles (en español y en inglés, versión para impresión) es accesible por Internet a través de la página www.dina-mar.es.

Caminitos de Agua, TRES RUTAS HIDROGEOLOGICAS EN LA PROVINCIA DE SEGOVIA

Comunidad de Regantes de Segovia

El presente itinerario de Caminitos de Agua, en la provincia de Segovia, tiene como objetivo dar a conocer a los usuarios de los recursos hídricos de esta provincia, las acciones que se están realizando para mejorar la gestión de los recursos hídricos y la calidad del agua.

Este itinerario está dividido en tres rutas: Ruta Hidrogeológica de la Cubeta de Santillana, Ruta Hidrogeológica del Carracillo y Ruta Hidrogeológica en Carbonero el Mayor, Qanar, Galería o Mina.

Este itinerario está dividido en tres rutas: Ruta Hidrogeológica de la Cubeta de Santillana, Ruta Hidrogeológica del Carracillo y Ruta Hidrogeológica en Carbonero el Mayor, Qanar, Galería o Mina.

Ruta Hidrogeológica de la Cubeta de Santillana

DESCRIPCIÓN: Esta ruta hidrogeológica muestra los diferentes tipos de recargas de agua que se realizan en la provincia de Segovia.

ACTIVIDADES: Recorrido por la zona de Santillana, visitando los diferentes tipos de recargas de agua que se realizan en esta zona.

ACTIVIDADES: Recorrido por la zona de Santillana, visitando los diferentes tipos de recargas de agua que se realizan en esta zona.

ACTIVIDADES: Recorrido por la zona de Santillana, visitando los diferentes tipos de recargas de agua que se realizan en esta zona.

Ruta Hidrogeológica del Carracillo

DESCRIPCIÓN: Esta ruta hidrogeológica muestra los diferentes tipos de recargas de agua que se realizan en la provincia de Segovia.

ACTIVIDADES: Recorrido por la zona de Carracillo, visitando los diferentes tipos de recargas de agua que se realizan en esta zona.

ACTIVIDADES: Recorrido por la zona de Carracillo, visitando los diferentes tipos de recargas de agua que se realizan en esta zona.

ACTIVIDADES: Recorrido por la zona de Carracillo, visitando los diferentes tipos de recargas de agua que se realizan en esta zona.

Ruta Hidrogeológica en Carbonero el Mayor, Qanar, Galería o Mina

DESCRIPCIÓN: Esta ruta hidrogeológica muestra los diferentes tipos de recargas de agua que se realizan en la provincia de Segovia.

ACTIVIDADES: Recorrido por la zona de Carbonero el Mayor, Qanar, Galería o Mina, visitando los diferentes tipos de recargas de agua que se realizan en esta zona.

ACTIVIDADES: Recorrido por la zona de Carbonero el Mayor, Qanar, Galería o Mina, visitando los diferentes tipos de recargas de agua que se realizan en esta zona.

ACTIVIDADES: Recorrido por la zona de Carbonero el Mayor, Qanar, Galería o Mina, visitando los diferentes tipos de recargas de agua que se realizan en esta zona.

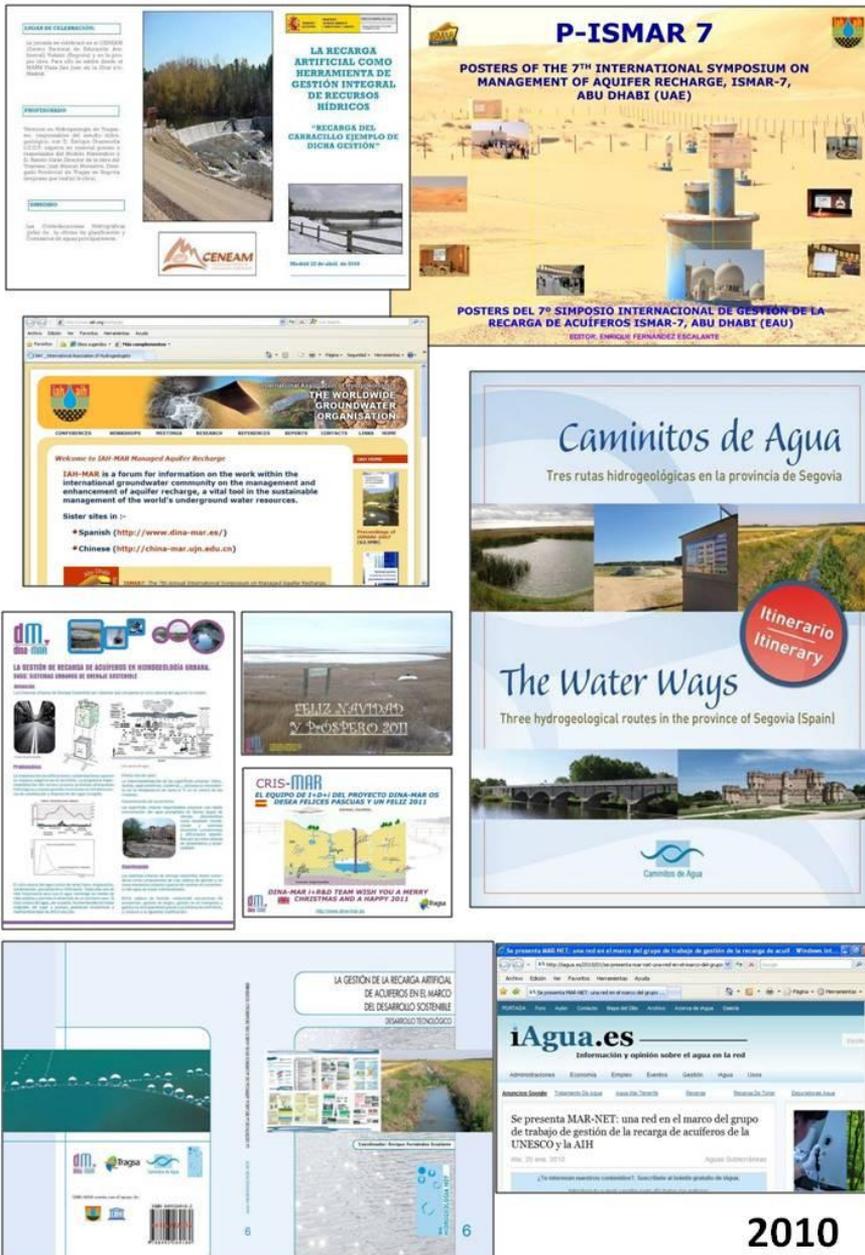
www.dina-mar.es

Figura 11-14. Detalle de la guía de itinerario, formato panel, en español. En <http://www.dina-mar.es/post/2011/05/10/CAMINITOS-DE-AGUA.aspx>



Figura 11-15. Detalle de la guía de itinerario, formato póster, publicada en inglés.

Además de esta actuación, se llevaron a cabo otras acciones en materia de difusión y transferencia tecnológica (DyTT), que aparecen resumidas en las figuras 11-16.



2010

Figuras 11-16 a) a h). Materiales de DyTT generados durante el proyecto DINA-MAR en 2010. Tríptico divulgativo (a); publicación P-ISMAR recopilando los pósters con congreso internacional ISMAR 7 (b); contribuciones a la página web de la Asociación internacional de Hidrogeólogos, Grupo de trabajo de MAR (c); folletos divulgativos sobre las ventajas e inconvenientes de la técnica MAR (d); felicitación navideña con una imagen de la laguna de la Iglesia (e); publicación "Caminitos de Agua (f); libro final de resultados del proyecto DINA-MAR (g); y aparición de noticias en canales de difusión de noticias sobre el agua, como iAgua (h).

12 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2010/11



17/05/2013

12.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES, DATOS Y CÁLCULOS DEL NOVENO CICLO (AÑO HIDROLÓGICO 2010-11)

El noveno ciclo de recarga artificial empezó el 22 de febrero de 2011 a las 11:00 h y terminó el 30 de abril a las 22:00. En consecuencia, el ciclo duró 68 días.

La precipitación total durante el ciclo fue de 92,40 mm.

El volumen total derivado fue de 3,13 hm³. El caudal medio a la entrada del canal de recarga artificial fue de 493,72 l/s. La oscilación media del nivel del agua, conforme a las mediciones efectuadas en la RCP, fue de 0,54 m.

Se trata de un período de profunda crisis económica, y como consecuencia no se construyeron nuevas obras ni llevado a cabo ampliaciones.

Las labores de limpieza y mantenimiento se realizaron cubriendo las necesidades más urgentes, en un esfuerzo de adaptación marcado por la realidad socio-económica del país.

Los estudios en la zona quedaron limitados a acciones puntuales, tras haber finalizado el proyecto de I+D+i DINA-MAR, que se encontraba en fase de difusión y transferencia tecnológica (DyTT) y sin presupuesto para seguir con la toma de datos al ritmo de las anualidades precedentes.

Las medidas de las redes de control fueron llevadas a cabo por el autor de manera personal. Se llevaron a cabo dos mediciones de la red RCP al inicio del año hidrológico y el final del ciclo de recarga (primeros de mayo). Estas mediciones se encuentran en el anexo 7.

Las estaciones ZNS continuaron recogiendo datos, aunque no en su totalidad, como consecuencia de la avería de un sensor que no fue posible reemplazar. La recopilación de información se llevó a cabo mediante conexión directa con un PC en las visitas a campo.

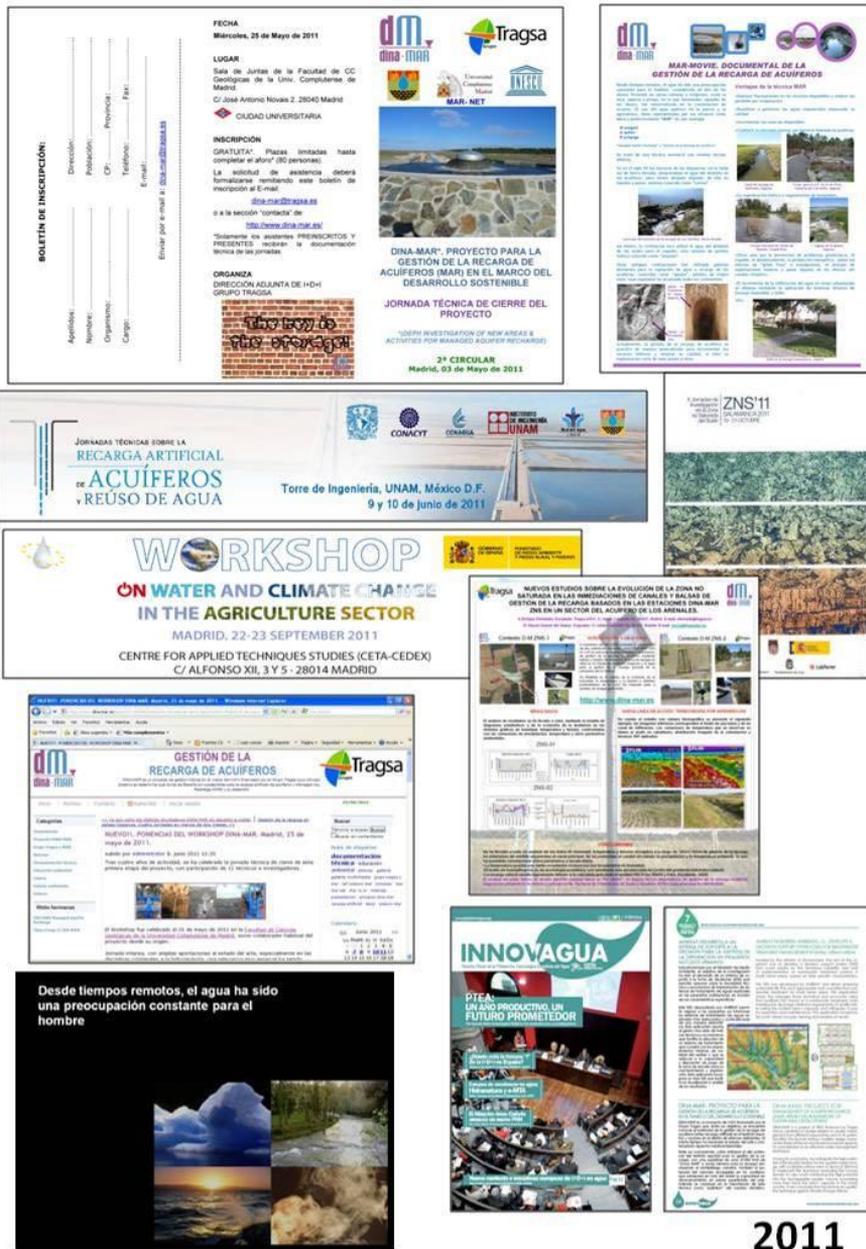
12.2 NUEVAS ACCIONES DE DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA (DY TT)

Durante este ciclo se llevaron a cabo acciones de difusión y transferencia tecnológica, generando variados materiales y celebrando diversas actuaciones, manteniendo la relación de la *Cubeta* con el proyecto anteriormente mencionado, al haber sido su principal "laboratorio experimental" durante los años de recopilación de datos e interpretación.

En esta etapa hubo acciones diversas, desde la celebración de una jornada técnica a la elaboración de un documental sobre el estado de la técnica de la recarga gestionada en general, con casos de dispositivos españoles, vídeo llamado "DINA-MAR movie" accesible gratuitamente por Internet a través de la URL: <http://www.dina-mar.es/post/2013/01/02/DINA-MAR-MOVIE-Video-divulgativo-sobre-la-gestion-de-la-recarga-de-acuiferos.aspx>.

Así mismo se generaron nuevas hojas divulgativas, publicaciones y materiales diversos.

Las acciones más destacables en este sentido y en este año hidrológico fueron (figuras 12-1):



2011

Figuras 12-1 a) a h). Materiales de DyTT generados durante el proyecto DINA-MAR en 2011. Jornada técnica de cierre del proyecto (a); hoja divulgativa relativa al audiovisual sobre la técnica MAR de acceso libre por Internet; (b); contribución al primer ciclo de conferencias sobre recarga artificial celebrado en México City (c); participación en otro Workshop internacional (d); publicación sobre la *Cubeta* en las actas del congreso de la ZNS´11 (e); póster técnico (f); actualización de la página web con frecuentes noticias sobre la cubeta (g); escena del *dina-mar movie* (h) y aparición de noticias en canales de difusión de noticias sobre el agua, como Innovagua (h).

13 MEMORIA DEL CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL DEL AÑO HIDROLÓGICO 2011/12



11/05/2011

13.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES, DATOS Y CÁLCULOS DEL DÉCIMO CICLO (AÑO HIDROLÓGICO 2011-12)

El décimo año tras iniciarse las labores de recarga artificial, no pudo llevarse a cabo derivación de caudal alguna del río Voltoya, debido a que fue un año muy seco (360,35 mm en todo el año hidrológico) y no se cumplieron los condicionantes legales para ello en ningún momento.

Las mediciones de la RCP para un régimen natural indican una variación en la piezometría entre el 3 de octubre de 2011 y el 11 de mayo de 2012 (fechas de las campañas de medición) de $0,11 \text{ hm}^3$. La oscilación media del nivel del agua en régimen natural, calculada a partir de las mediciones de los puntos de la RCP con el mismo método que para los ciclos precedentes, y entre las fechas señaladas, fue de 0,28 m.

13.2 LABORES REALIZADAS DURANTE ESTE CICLO "DE CRISIS"

En este ciclo, al igual que en el anterior, se llevaron a cabo escasas acciones de obra, mantenimiento e investigación.

A pesar del registro continuo de caudales, se llevaban a cabo mediciones puntuales que quedaban reflejadas en estadillos elaborados al respecto, que eran enviados a la Confederación Hidrográfica del Duero (CHD) para su registro.

Figura 13-1 a) March 20, 2011

MESES	MAR 20		
DIA	HORA	Q (instantáneo) m³/s	Q (total) m³
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7	13:30	722	18591360
8			
9			
10	15:10	720	18527760
11			
12	10:45	749	18828360
13			
14	4:30	717	17039280
15			
16			
17			
18	18:40	750	17829720
19			
20			
21	10:30	747	19562480
22			
23	12:00	726	17601680
24			
25			
26	10:00	738	19897980
27			
28			
29			
30	10:00	784	20078400
31			

Caudal más 2011: 2792176 m³

Figura 13-1 b) April 11, 2011

MESES	ABR 11		
DIA	HORA	Q (instantáneo) m³/s	Q (total) m³
1	8:55	262	22781220
2	7:15	267	22152360
3			
4			
5	11:25	269	20225895
6			
7			
8	8:00	250	21291670
9			
10			
11			
12			
13	27:00	390	20458910
14			
15	11:45	188	22378280
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22	15:00	342	26312880
23			
24			
25	11:00	269	20373091
26			
27			
28			
29	12:00	261	20890593
30			
31			

Figuras 13-1 a) y b). Estadillos de medida de caudales de entrada a cabecera (marzo y abril de 2011).

La toma de datos de piezometría tuvo continuidad gracias a la labor del autor de la publicación. Así mismo prosiguió la recolección de medidas captadas por las estaciones DINA-MAR ZNS en las inmediaciones del canal de recarga gestionada (figura 13-3 a).

El 15 de septiembre de 2011 fue preciso realizar reparaciones en la Estación ZNS-1. Quedó un nuevo sensor inutilizado, sin contar con presupuesto para su reemplazo.

El estudio de procesos colmatantes también tuvo continuidad en la zona de estudio con carácter privado (figuras 13-2 a y b), con muestreo y conservación en congelador hasta disponer de fondos para su análisis.

El estudio de humedales en el sector se verá fortalecido gracias a un nuevo estudio coordinado por la Universidad Complutense de Madrid que eligió el sistema de humedales de Coca-Olmedo como una de sus dos zonas de estudio.



Figuras 13-2 a) a d). Medidas in situ mediante *Microterm* en las estaciones DINA-MAR ZNS (a); procesos colmatantes en el fondo de la balsa con caballones situada en cabecera (b); desarrollo de lemnáceas en determinados sectores del canal (c) y seguimiento de los humedales artificiales del Sanchón (d). Fotos: 11/05/2011.



Figuras 13-3 a) y b). Perfiles de colmatación en probetas.

El 12 de octubre de 2011 comenzó la perforación de dos nuevos sondeos particulares en las inmediaciones del canal Oeste en el sector de Correlagua, que permitieron obtener nuevas columnas litológicas detalladas.



Figuras 13-4 a) y b). Instalación de la máquina para la perforación de dos nuevos sondeos de iniciativa privada en el paraje de Correlagua, que permitieron llevar a cabo un levantamiento detallado de sus columnas. Fotos: 12/10/2011.

13.3 DIVULGACIÓN A TRAVÉS DE LAS X JORNADAS DE ESTUDIOS DE LA ZONA NO SATURADA DEL SUELO

Entre los días 19 y 21 de octubre, comenzando el año hidrológico, se celebró la X edición de las jornadas de la ZNS en Salamanca.

El día 21 de octubre se llevó a cabo una visita técnica a la *Cubeta* por los asistentes al simposio.

La escuela de capacitación forestal de Coca, a través de su Director D. Carlos Mendiguchía, tuvo a bien prestar sus instalaciones para la presentación de las ponencias, que fueron complementadas con la visita de campo a los puntos más emblemáticos del dispositivo.

13.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS COLMATANTES Y SU DISTRIBUCIÓN

En el verano de 2011 se avanzó en la línea de acción para detectar las tipologías de colmatación en distintos sectores del canal. Se elaboró una cartografía con la distribución de los procesos colmatantes, que vería la luz en la publicación científica indexada: BGSM, 2013.

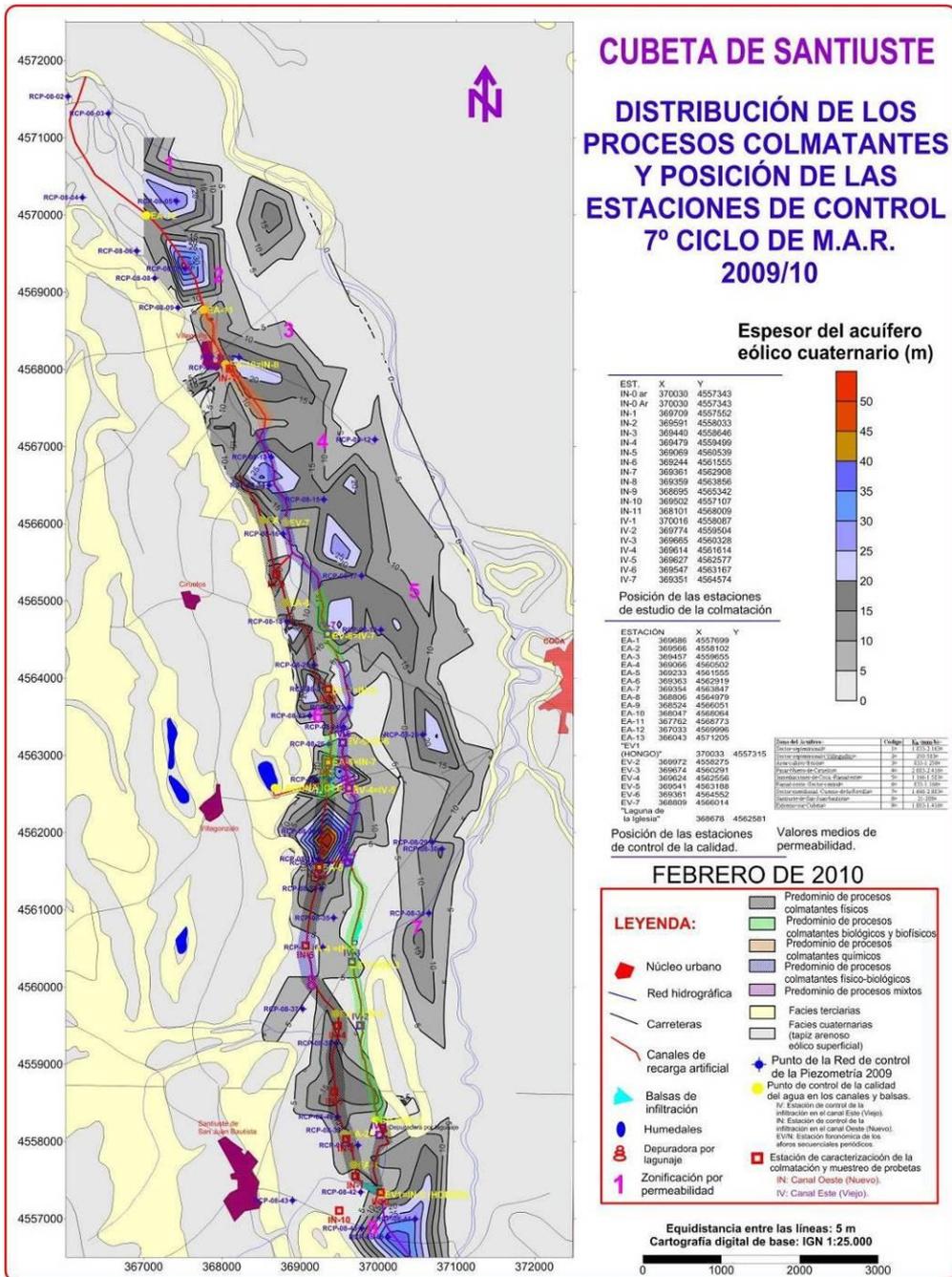


Figura 13-5. Cartografía con el trazado de los canales de recarga gestionada y la distribución de los procesos colmatantes predominantes por su naturaleza. El mapa presenta además las facies geológicas, la posición de los ensayos de infiltración y determinación de parámetros inestables (medidos en los puntos de la red de control de la piezometría, RCP) y otros elementos singulares. Escala gráfica. Tomado de Fernández y Prieto, 2013.

13.5 NUEVAS ACCIONES DE DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA (DY Tt)

Manteniendo la etapa de difusión y transferencia tecnológica, en esta anualidad se generaron nuevos materiales y acciones, destacando las reseñadas en la Fig. 13-6.



2012

Figuras 13-6 a) a h). Materiales de DyTT generados durante el proyecto DINA-MAR en 2012. Aparición de noticias en canales de difusión de noticias sobre el agua, como la Revista Tecnología del Agua (a); publicación "sostenibilidad recargable" (b); nueva publicación en el marco del Grupo de trabajo de MAR de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (c); hidrogeoportal DINA-MAR (d y g); noticias en Agua.org.mx (e); creación de un grupo sobre MAR en Linked-In (f) y noticias en el boletín News & Information de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH) (h).

13.6 NUEVOS ESTUDIOS SOBRE LOS HUMEDALES DE LA CUBETA Y ZONAS ALEDAÑAS

Los humedales del sistema Coca-Olmedo constituyen un sistema de singular interés referenciado en la literatura científica. Por citar algunos, se mencionan los trabajos de Alonso, 1986 y de Rey Benayas, 1991. Una descripción más centrada en la zona se encuentra en la ruta hidrogeológica “Caminitos de Agua”, guía de interpretación, segunda publicación ampliada de la guía itinerario ya referenciada (Fernández, 2010).

A tenor de los humedales, durante el último ciclo tuvo inicio el nuevo proyecto de I+D+i “*Mineralogénesis, procesos geobiológicos y evolución ambiental en lagunas salinas del Centro Peninsular. Implicaciones para la interpretación de sucesiones evaporíticas*”, cuyo investigador principal es la doctora M^a Esther Sanz Montero, profesora del Departamento de Petrología de la Universidad Complutense de Madrid. El 7 de junio de 2012 se llevó a cabo la primera campaña de toma de datos de campo en los bodones de la Hiruela, laguna de las Eras y otros humedales de Aguasal, al norte del Complejo.

Se llevaron a cabo estudios de ecología y mineralogía en algunos humedales seleccionados, con muestreo y análisis con difracción por rayos X sobre muestras tomadas en, al menos, la laguna de las Eras, en Villagonzalo y el bodón de la Hiruela, en las afueras de Santiuste. La laguna de la Iglesia fue rechazada por haber sido modificado su perfil sedimentológico recientemente.

El hallazgo de mineral trona en lenticulas representa un importante avance en el grado de conocimiento de la salinidad del sector, al ser un mineral extremadamente escaso en Europa. Cabe esperar los resultados finales del estudio para ver si se podría hablar del primer troncal descubierto en territorio europeo.

Algunos aspectos técnicos de este estudio se encuentran en publicaciones específicas, tales como Geogaceta 53 (2013).



Figuras 13-7 a) y b). Aspecto de la Laguna de la Iglesia el 12/10/2011 (a) y 7/06/2012 (b).

Descubre Coca

Descubre Coca, un viaje al conocimiento de nuestra tierra.

31.8.12

Nuevo estudio de los humedales de nuestra zona



Un equipo de investigación multidisciplinar compuesto por geólogos, ecólogos, biólogos y geógrafos, pertenecientes a las Universidades Complutense y Autónoma de Madrid y al Consejo Superior de Investigaciones Científicas dirigido por la profesora Esther Sanz Montero, se halla realizando, desde inicios de este año, un proyecto de investigación subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Su objetivo es el estudio de algunos humedales de excepcional interés existentes en la Submeseta Norte y Sur, entre ellos los situados en el sistema lagunar Coca-Olmedo. Están analizando las características de sus sedimentos, de su salinidad y sus complejos biológicos, así como su evolución geológica y paisajística.

Con este motivo se recibió la visita de los profesores Concepción Fidalgo y Juan Antonio González, catedráticos de Geografía Física de la citada Universidad Autónoma de Madrid, que en compañía de Felipe Rodríguez y de David Rubio, hicieron un recorrido por diversos parajes del entorno de Coca y sus localidades limítrofes así como una detenida consulta a los fondos del Archivo Histórico Municipal donde se guarda la historia de estos humedales en los últimos siglos.

Al final de la jornada ambos investigadores agradecieron la cordial y rigurosa atención científica dispensada y manifestaron su deseo de seguir recorriendo y estudiando estos ámbitos de gran interés para su investigación con el concurso de los estudiosos locales.



Imágenes de la visita de los catedráticos de Geografía Física Concepción Fidalgo y Juan Antonio González, en las instalaciones del Archivo Municipal y en algunos de los humedales de nuestra zona

Figura 13-8. Pantallazo del blog [descubrecoca.com](http://www.descubrecoca.com), donde fue publicada la noticia relativa a este nuevo proyecto. <http://www.descubrecoca.com/2012/08/nuevo-estudio-de-los-humedales-de.html>



Figuras 13-9 a) y b). Bodón tipo en la zona de estudio. Obsérvese el sistema bodón-montículo, las eflorescencias en el montículo, la abundancia de vegetación hidrófila, halófila y nitrófila en orlas perimetrales y su drenaje artificial en un antiguo intento de desecación (canal antrópico de drenaje). Se trata del Bodón de la Hiruela, en Santiuste de San Juan Bautista, localizado a escasos metros del contacto entre las arenas eólicas cuaternarias y las facies Cuestas.

Fotografías de 9 de julio de 2002 (seco), 7 de agosto de 2003 (con lámina de agua) y 07/06/2012 (muestreo).

13.7 FUNESTA INTERRUPCIÓN DE DIEZ AÑOS DE ACTIVIDAD

En febrero de 2012, la caseta que albergaba el caudalímetro fue saqueada, el caudalímetro sustraído, así como el panel solar y el material complementario. El data logger fue destrozado, así como el registro de datos de los últimos meses. Este hecho, tan funesto como difícil de entender, ha supuesto el final de la toma de datos tras 10 años de actividad, volviendo a las mediciones manuales y puntuales.

Además este hecho vandálico supuso la rotura de los cables de conexión enterrados entre el caudalímetro y la válvula.



Figuras 13-10 a) a c). Saqueo de la caseta que albergaba el instrumental, interrumpiendo la recogida de datos hasta varios meses después. Fotos: 27/05/2012.

14 COMPENDIO DE LOS 10 CICLOS DE RECARGA GESTIONADA

Los datos numéricos más destacables mencionados al inicio de cada ciclo han sido sintetizados en las tablas siguientes, que indican las fechas de inicio y final, algunas anotaciones y los días con derivación de caudal fluvial hacia el dispositivo.

Año hidrológico	Ciclo	Inicio ciclo	Final ciclo	Notas	Días
2002/03	1	5-12-02 12:00	1-5-03 15:00	Cierre 31/01, 19 h hasta el 03/02, 12 h. Año hidrológico (A.H.) húmedo	145
2003/04	2	10/10/2003	30/04/2004	Instalador contador 27-11-03	175
2004/05	3	01/10/2004	30/04/2005	A.H. seco	212
2005/06	4	15/11/2005	01/04/2006	Avería contador. A.H. seco	137
2006/07	5	01/10/2006	30/04/2007	A.H. muy húmedo	212
2007/08	6	30-5-08 18:00	6-6-08 12:00	A.H. seco	7
2008/09	7	01/11/2008	30/04/2009	A.H. seco	181
2009/10	8	17-2-10 13:00	31/03/2010	Pruebas antes inicio ciclo	43
2010/11	9	22-2-11 11:00	30-4-11 22:00		68
2011/12	10	n/a	n/a	A.H. muy seco	0

Tabla 14-1. Período y duración de cada ciclo de recarga gestionada en la primera década de actividad.

En la tabla 14-2 se amplía esta información indicando, cuando ha sido posible, el conteo del caudalímetro totalizador al inicio y final de cada ciclo, el volumen derivado (en ocasiones no coincide por averías, reparaciones, etc.) y el caudal medio que ha circulado por el tramo inicial de la cabecera cuando había un canal único y repartido entre ambos tras construirse el canal Oeste (ciclo 4). De este modo, el caudal corriente medio durante las operaciones de recarga gestionada en la primera década de operatividad ha sido de 362,59 l/s.

La tabla 14-3 presenta un resumen con tratamiento estadístico de los datos meteorológicos (precipitación y temperatura) para cada año hidrológico y para el período en que ha habido recarga gestionada, que se ha denominado "ciclo".

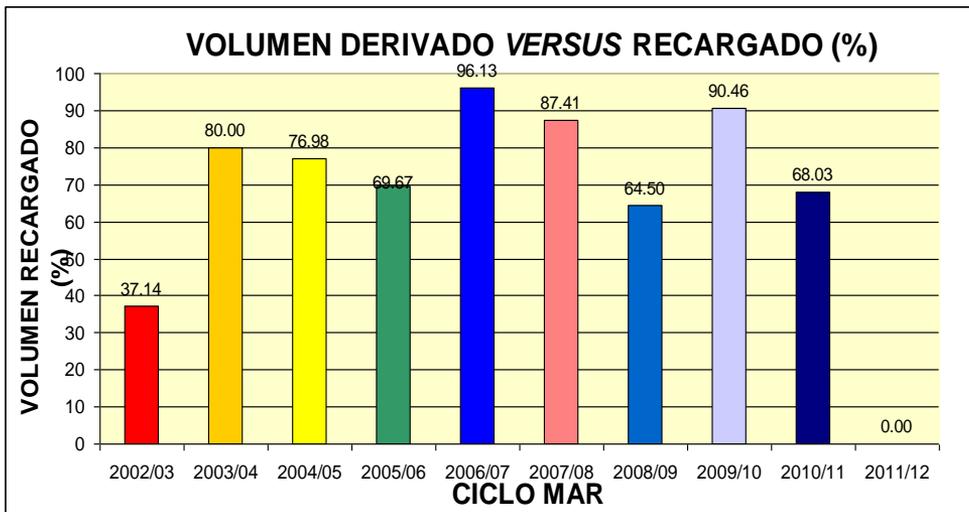
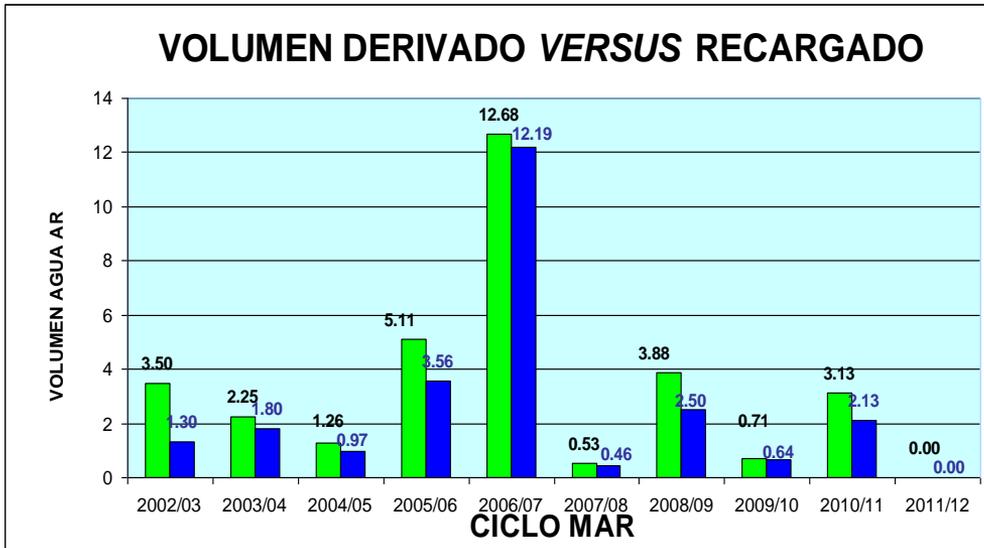
La relación entre el volumen derivado del río Voltoya hacia los dispositivos y la variación registrada en el almacenamiento del acuífero mediante el método WTF, así como su porcentaje, quedan reflejados en los histogramas 14-1a y b respectivamente.

ciclo	contador inicio	contador final ciclo	Diferencia medidas	Volumen derivado (hm ³)	Caudal medio canal/es (l/s)
1	no	no	no	3,500000	278,00
2	n/a	n/a	no	2,250000	149,00
3	n/a	5406311	n/a	1,260000	68,00
4	5406311	8181312	2775001	5,110000	372,00
5	8181312	12667815	4486503	12,681369	692,37
6	12667815	13194064	526249	0,526249	902,35
7	13194064	17071965	3877901	3,877901	247,97
8	17071976	17781726	709750	0,709750	191,04
9	17781726	20915274	3133548	3,133548	493,72
10	20915274	20915274	n/a	0,00	0,00

Tabla 14-2. Medidas y cálculos de flujos y caudales para cada ciclo de recarga gestionada en la primera década de actividad.

Ciclo	Cálculo para cada anualidad		Cálculo para cada ciclo de recarga gestionada MAR	
	Prec. Total periodo (mm)	Temp. Media periodo (°C)	Prec. Total ciclo (mm)	Temp. Media ciclo (°C)
2002/03	583,60	12,74	232,60	6,17
2003/04	405,20	11,22	267,40	6,16
2004/05	297,20	10,84	167,20	5,37
2005/06	475,00	11,31	148,20	3,62
2006/07	558,00	11,15	330,60	7,21
2007/08	510,40	10,31	23,00	12,53
2008/09	520,00	11,01	171,4	4,82
2009/10	470,00	11,49	66,20	6,06
2010/11	427,35	10,94	92,40	9,08
2011/12	360,35	10,47	360,35	10,47

Tabla 14-3. Datos meteorológicos principales para la primera década de recarga gestionada en la estación de la red Inforiego de Nava de la Asunción. Datos disponibles en Internet en: <http://www.inforiego.org/opencms/opencms/estaciones/listado/index.html>



Figuras 14-1 a) y b). Histogramas para el volumen total derivado del río Voltoya y la variación de almacenamiento en el acuífero registrada (a). Relación porcentual entre ambas fracciones (b).

Los datos de carácter más técnico y parámetros calculados deben ser consultados en la bibliografía específica, como BGM 2009 o DINA-MAR, 2010. Como extracto de los datos que podrían resultar de mayor interés, en la tabla 14-4 se presenta un resumen de las determinaciones efectuadas, sectorizando la *Cubeta* en base a zonas de diferente permeabilidad constatada, cuya zonificación se encuentra en la cartografía 2-32 con la numeración presentada al final de la primera columna.

Zona del Acuífero	K (m/d)
Sector septentrional (1)	44-52
Sector septentrional (Villeguillo) (2)	6-14
Área cultivo fresón (3)	20-30
Pinar Nuevo de Ciruelos (4)	50-58
Inmediaciones de Coca. Ramal este (5)	28-38
Ramal oeste. Sector central (6)	20-28
Sector meridional. Cuerno de la Revilla (7)	40-50
Extremo sur Cubeta (8)	26-34
Santiuste de San J&B (9)	15-25

Tabla 14-4. Valores indicativos de la permeabilidad (K) calculada en distintos sectores de la Cubeta de conductividad hidráulica homogénea, posicionados en la figura 2-32.

14.1 INVERSIÓN ECONÓMICA

Podemos diferenciar dos etapas.

- Primera etapa. El presupuesto total invertido en estudios y obra en la primera etapa (hasta 2006). Desglose:
 - OBRA DE TOMA ----- 409.657 €
 - CONDUCCIÓN DE TRASVASE ----- 2.641.615 €
 - ARROYO DE RECARGA 1 ----- 289.940 €
 - ARROYO DE RECARGA 2 (2006) ----- 606.867 €

Total: 3.948.079 € hasta 2006.

- Segunda etapa.

La inversión de la segunda etapa, labores de mantenimiento, estudios y proyectos eleva la cifra a un total de 606.867 €.



04/03/2010



11/05/2011

15 ALGUNAS IMPLICACIONES MEDIOAMBIENTALES DE LA RECARGA GESTIONADA DEL ACUÍFERO

La actuación fue inicialmente promovida para compensar una serie de impactos medioambientales, en muchos casos acumulativos, en especial el descenso del nivel freático del acuífero como consecuencia del regadío, poniéndole al borde de la sobreexplotación.

El proyecto para la ejecución de las obras contiene un estudio de impacto ambiental (EsIA) de carácter genérico, del que se desprende que las actuaciones resultan beneficiosas en general, dado que los impactos positivos sobrepasan con creces a los negativos.

Un aspecto escasamente estudiado ha sido el estudio de la evolución hidroquímica de las aguas subterráneas por efecto de las operaciones de recarga artificial. Este aspecto ha sido abordado en otros foros (Fdez. Escalante, 2005), concluyendo que la recarga artificial está resultando beneficiosa en general en cuanto a la calidad de las aguas se refiere. Al principio había altas concentraciones de ión nitrato (hasta 274 mg/l en el NE de la *Cubeta*) que se han ido reduciendo progresivamente. En contraposición cabe destacar el incremento de hierro en disolución en el sector central oriental de la *Cubeta* (Pinar Nuevo de Coca), así como la generación de ambientes reductores con precipitación de carbonatos y la formación de costras impermeables en sectores puntuales del acuífero no detectados previamente.

Estos impactos deben ser abordados mediante una gestión adecuada de la recarga artificial, si bien, en general, son impactos inherentes a estas actividades en la mayoría de los dispositivos operativos en todo el mundo.

Otro aspecto escasamente estudiado es la influencia de la recarga artificial en la liberación y movilidad de metales pesados, lo que abre una interesante línea de investigación ya seguida por otros autores.

Un impacto ambiental negativo es la inundación de terrenos de labor tras sobrepasar la profundidad de alerta (establecida en 1,5 metros, Fernández, 2005), es decir, cota de la capa freática que resulta arriesgado sobrepasar en el almacenamiento inducido de agua en el acuífero. Como hemos visto, la gestión incipiente de la recarga artificial o la coincidencia con episodios de tormenta ha traído como consecuencia inundaciones puntuales de terrenos de labor, en general con cultivos de patata. Estos problemas fueron minimizados con una adecuada gestión de los dispositivos de parada, de los aliviaderos y de la válvula de entrada. De este modo, el control manual del dispositivo está siendo una medida que influye fuertemente en el éxito técnico.

Por el contrario, como impactos positivos, es digno de mención la regeneración hídrica de la laguna de la Iglesia, en Villagonzalo de Coca, seca desde hacía unos 30 años. En una actuación pionera, mediante una pequeña derivación enterrada desde el canal de recarga Este, se vierten aguas en las inmediaciones del cuenco de la laguna. Éstas aguas, tras un periodo de contacto con el sustrato salino, evolucionan por interacción

hasta adquirir una hidroquímica más parecida a las aguas originales de la laguna que la del río Voltoya, que suministra los caudales para la recarga artificial. Se compensa así con una superficie de contacto mayor entre la roca y el sustrato salino el elevado tiempo de residencia para conseguir unas características hidroquímicas “afines”. Este ejemplo de recarga inducida ha abierto la puerta al inicio de otras actuaciones de regeneración de humedales del Complejo de Coca-Olmedo, actualmente muy degradados, gracias a caudales ecológicos derivados del canal de recarga artificial principal.

Las primeras actuaciones comenzaron en el invierno de 2005/06, y es previsible la regeneración hídrica de nuevos humedales, tales como la laguna de las Eras, en la misma localidad, que cuenta con el inconveniente de encontrarse a una cota topográfica superior cuando en todo el dispositivo el agua discurre por gravedad sin bombeo alguno más que para riego.

La generación de humedales artificiales constituye una experiencia muy positiva, por su función ecológica y por presentar una analogía cada vez mayor en cuanto a su uso y ecología con los humedales no salinos naturales del sector, aunque su funcionamiento sea muy dispar.

Otro aspecto bien estudiado ha sido la posible influencia sobre los pinares por efecto del ascenso del nivel freático. Este estudio fue encargado a un organismo independiente. En general no se ha detectado ninguna afección negativa, a pesar de la relativamente gran expansión radicular de esta especie en el sustrato arenoso.

Cabe mencionar además la expansión de los regadíos (frecuentes casos de transformación de secano a regadío por “efecto contagio”) y la buena acogida de la técnica entre los regantes, que ven así una posibilidad de obtener mejores cosechas y mejores resultados económicos, reduciendo así una tendencia migratoria destacada en los últimos años.



Figuras 15-1 a) y b). Fotografía de la laguna de la Iglesia tras las operaciones de regeneración hídrica iniciadas en el cuarto ciclo de recarga artificial. Detalle de la válvula de entrada (a) y aspecto general (b). Fotos de mayo de 2006.

16 CONCLUSIONES

Como conclusiones generales cabe destacar:

El dispositivo de recarga gestionada de la Cubeta de Santiuste ha cumplido diez años de operatividad, tras varios estudios previos y sucesivas obras de ampliación. Al tratarse de un ejemplo tan singular, la experiencia debe ser mantenida y prolongada en el tiempo, además ha alcanzado relevancia internacional.

A partir de la descripción y análisis de las distintas tipologías de impactos y problemas encontrados en estos dispositivos y, en general, en las experiencias de recarga gestionada, este sector constituye un ejemplo más de una actuación en la que los impactos medioambientales positivos desbordan a los negativos.

Su principal peculiaridad es que surgió de la iniciativa popular, de la demanda de una serie de agricultores que dirigieron sus preocupaciones a la Administración, que finalmente decidió llevar a cabo esta obra de interés general. La ayuda de los miembros de la comunidad de regantes durante toda la década ha sido clave para el avance de la investigación, si bien, todavía queda mucho por hacer.

El seguimiento de la recarga artificial permite aumentar su efectividad, la mejora de los dispositivos y el incremento de la tasa de infiltración y del volumen de agua almacenado en el acuífero.

La medición de datos de piezometría, meteorología, datos de la Zona No Saturada (ZNS) e hidroquímica cuenta con un registro importante, que se encuentra en su mayoría recogido en esta publicación, aunque se han omitido algunos datos por no contar con los permisos precisos. Resulta recomendable proseguir las mediciones en las zonas piloto, sea cual sea el ámbito de financiación. El telecontrol se perfila como una de las técnicas que está arrojando resultados idóneos.

Hay varios aspectos de diseño y operatividad que han sido mejorados mediante ensayos de prueba y error o por la simple experiencia. Gran parte de ellos se encuentran en la bibliografía técnica específica, como DINA-MAR, 2010 o Fernández, C.M., 2013.

Las mejoras basadas en estudios planificados han estado enfocadas, principalmente, en el pretratamiento de las aguas (acción considerada “clave” en ciertos antecedentes de la literatura hidrogeológica consultados), técnicas de regulación del caudal, filtrado de finos y reducción del aire (pretratamiento) con objeto de minimizar la colmatación. Resulta recomendable evitar batir las aguas y recargar a velocidades lentas y controlar manualmente la válvula de entrada a los canales, tarea que debe ser llevada a cabo por personal experto que en ocasiones puede requerir cierto asesoramiento técnico.

El mantenimiento de los dispositivos requiere labores de reconstrucción y limpieza de la colmatación, mantenimiento de los caballones en el fondo de las balsas y canales (aumentan la tasa de infiltración hasta en un orden de magnitud), retirada de vegetación en el período estival, cambios puntuales en la morfología del canal, etc.

Así mismo resulta imprescindible un seguimiento de la evolución del acuífero y de la efectividad de las actuaciones.

Los prototipos genéricos propuestos requieren un grado de desarrollo de ingeniería posterior que permitan llevar a la práctica los diseños, cumpliendo con los criterios objetivo, que, básicamente son: minimizar las pérdidas (evapotranspiración, colmatación, etc.), facilitar las labores de descolmatación, reducir los costes en el transporte, almacenamiento y bombeo, permitir funcionar en “óptimo”, es decir, conocer y mantener el caudal de recarga para conseguir la tasa de infiltración más efectiva, incluso en situaciones climatológicas adversas como congelación del suelo, tormentas o avenidas, y que tengan una vida útil suficientemente alta para obtener una alta rentabilidad. Además los costes de construcción y mantenimiento deben ser bajos.

La intervención “manual” y asesorada con criterios técnicos está propiciando buenos resultados. Cobra gran relevancia la calidad de las aguas de recarga artificial, de modo que, en caso de presentar una alta turbidez o materia orgánica en suspensión, se postergue la actividad (situación frecuente en días posteriores a fuertes precipitaciones o tormentas). Asimismo resulta recomendable detener la entrada de agua en días de fuertes heladas, etc. En este sentido el interés y ayuda de los miembros de la comunidad de regantes, conscientes de los efectos beneficiosos de esta técnica, es clave.

Cualquier actuación futura deberá tener un carácter integral y flexible, habida cuenta del alto dinamismo del sistema.

Todos estos aspectos operativos, con ciertas limitaciones, podrían resultar extrapolables a escenarios análogos del acuífero de Los Arenales y de otros comparables.

17 AGRADECIMIENTOS

El autor desea manifestar su agradecimiento al geólogo D. Manuel Álvarez Chaín y al Ingeniero de montes D. Ramón Galán, del MAPA, promotores de toda esta experiencia. También a SEPI y Grupo Tragsa, promotores del proyecto de I+D+i DINA-MAR y MARSOL, ambos motores de esta publicación. A los revisores de la misma, Andrés Díez y Víctor del Barrio. Asimismo a los alcaldes y concejales de los Exmos. Ayts. de Santiuste de San Juan Bautista, Coca y Villeguillo. A los técnicos, presidentes y administradores de la comunidad de regantes de Santiuste... por su ayuda ejemplar y aportaciones a cargo de su técnico Luis M. Sayarelo, a los técnicos de la oficina de Tragsa en Segovia, en especial a Roberto Fernández y Manuel Monsalvo, y al grupo de hidrogeología de Tragsatec. Finalmente a todos los habitantes de la *Cubeta*, por su buena acogida durante los 10 años que resume la publicación, y de manera particular, a los agricultores y usuarios de las aguas subterráneas.

18 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCALÁ DEL OLMO, L. (1975). "Estudio edáfico sedimentológico de los arenales de la cuenca del Duero." Tesis Doctoral J-11.038. Universidad Complutense (Madrid).
- BARROSO, J.L., LILLO, J., SAHÚN, B., TENAJAS, J.L. (2002). "Caracterización del contenido de Arsénico en las aguas subterráneas de la zona comprendida entre el río Duero, el río Cega y el Sistema Central." Jornadas "Presente y futuro del agua subterránea en España y la Directiva Marco Europea." Zaragoza. 2002
- BLAXEJEWSKI, M. (1979). Gases in the ground and their effect during artificial recharge of groundwater. Int. Symp. On Artificial Groundwater Recharge. Dortmund. Vol. IV, paper VI. 4. DVWK, Bull. 14. Verlag Paul Parey. Hamburg-Berlin, pp. 59-70.
- BOE. (1998). Real Decreto-Ley 9/1998, de 28 de agosto, por el que se aprueban y declaran de interés general determinadas obras hidráulicas (BOE nº 207, de 29 de agosto de 1998).
- BOUWER, H. (2002). "Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering". *Hydrogeology Journal* 10: 121-142. (<http://www.springerlink.com/content/u0r3xtxnfm4p6y/>).
- DINA-MAR. (2010). "DINA-MAR". Gestión de la recarga artificial de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible. Desarrollo Tecnológico. Colección "Hidrogeología hoy". Título 6. Ed. Grafinat. noviembre de 2010. ISBN 978-84-614-5123-4, 496 pg. <http://www.dina-mar.es/post/2012/02/08/DINA-MAR-Publicacion-final-del-proyecto-c2a1Inminente!.aspx>. Coordinador, E. Fernández.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A. E, (2005). "Recarga artificial de acuíferos en cuencas fluviales. Aspectos cualitativos y medioambientales. Criterios técnicos derivados de la experiencia en la Cubeta de Santiuste (Segovia)". Tesis Doctoral. Inscripción: septiembre de 2004. Defensa: enero de 2005. Universidad Complutense de Madrid. ISBN: 84-669-2800-6.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A. E, (2006). "Los humedales. Detección de impactos ambientales y posibilidades de regeneración hídrica mediante la gestión de la recarga artificial. El ejemplo de la laguna de la iglesia, Villagonzalo de Coca

- (Segovia)". *Tecnologí@ y Desarrollo*. Revista de ciencia, tecnología y medio ambiente. Volumen IV. Separata.
- FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E., (2006). Técnicas de tratamiento de suelo y acuífero (S.A.T.) aplicadas a la gestión de la recarga artificial. *Serie Hidrogeología Hoy*. Grafinat, noviembre de 2006.
 - FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E. y GARCÍA RODRÍGUEZ, M. (2006). Gestión de la recarga artificial de acuíferos (M.A.R.). *Serie Hidrogeología Hoy*. Grafinat, octubre de 2006.
 - FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E., GARCÍA RODRÍGUEZ, M. y VILLARROYA GIL, F. (2006). "Descripción de indicadores medioambientales para la Evaluación de Impacto Ambiental, seguimiento y control de la restauración de humedales mediante técnicas de recarga artificial de acuíferos" *Tecnología y desarrollo Vol. IV*. (http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEOC06_002.pdf).
 - FERNÁNDEZ, E., GARCÍA, J.M. y MINAYA, M.J. (2009). Propuestas para la detección y corrección de impactos producidos por procesos colmatantes en el dispositivo de recarga artificial de la Cubeta de Santiuste (Segovia). *Boletín Geológico Minero (BGM)*, Vol. 120, nº 2. IGME. Madrid.
 - FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E. y GARCÍA MERINO, A. (2009) "Estudio sobre la evolución de la Zona No Saturada en las inmediaciones de dispositivos de tipo superficial de gestión de la recarga de acuíferos. Las estaciones DINA-MAR ZNS. Primer ciclo de operatividad. *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo*. Vol IX. Barcelona, 18 a 20 de noviembre, 2009 (ZNS).
 - FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E. (2010). *Caminitos de Agua*. Tres rutas hidrogeológicas en la Provincia de Segovia. Guía de interpretación. Colección "Hidrogeología hoy". Título 5. Ed. Grafinat. Octubre de 2010. ISBN 978-84-614-4944-6, 146 pg. <http://www.dina-mar.es/post/2011/11/22/CAMINITOS-DE-AGUA.aspx>
 - FERNÁNDEZ ESCALANTE, A.E. y SENENT DEL ÁLAMO, M. "Nuevos estudios sobre la evolución de la Zona No Saturada en las inmediaciones de canales y balsas de gestión de la recarga del acuífero de los Arenales basados en las estaciones DINA-MAR ZNS. Vol X. Salamanca, 19 a 21 de octubre, 2011. Pg. 315-320. ISBN 978-84-694-6642-1. (ZNS).
 - FERNÁNDEZ ESCALANTE E. y SAN SEBASTIÁN SAUTO, J. (2012). *Rechargeable sustainability. The key is the Storage*. Editado por Tragsa. May 2012. 126 pg.
 - FERNÁNDEZ ESCALANTE E. y PRIETO LEACHE, I. 2013. Los procesos colmatantes en dispositivos de gestión de la recarga de acuíferos y empleo de la termografía para su detección y estudio. Un ensayo metodológico en el acuífero Los Arenales, España. Número especial *Geología Ambiental del Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana (BGSM)*. Volumen 65, nº 1. SCI. Pg. 51-69. Abril de 2013. ISSN 1405-3322.
 - GALAN de FRUTOS, L.A. (2003). Estudio para la ubicación del vertedero controlado Municipal de los residuos inertes y plan para la recuperación ambiental del área "Cantera Pinar Nuevo". Excelentísimo Ayuntamiento de Coca. Segovia.
 - GALÁN LÓPEZ, R., FDEZ ESCALANTE, A.E. y MARTÍNEZ RUBIO, J. (2001). "Contribuciones al estudio hidrogeológico para la recarga artificial del acuífero de la Cubeta de Santiuste. (Segovia)." VII Simposio de hidrogeología, AEH, Murcia.
 - GARCÍA-DEL-CURA, M.A., SANZ MONTERO, M.E, ARROYO, X., CABESTRERO, O., CALVO, J.P., FERNÁNDEZ-ESCALANTE, E., FIDALGO, C., GARCÍA-AVILÉS, J., GONZÁLEZ-MARTÍN, J.A., RODRÍGUEZ-ARANDA, J.P. (2013). El complejo

lagunar alcalino de Coca-Olmedo (Castilla y León). Un ejemplo de patrimonio geológico con valor didáctico. Patrimonio geológico. Un recurso para el desarrollo. Cuadernos del Museo Geominero, nº 15. IGME, Madrid 2013. ISBN 978-84-7840-901-3. Pg. 525-535.

- IGME (1982 a). Mapa Geológico de España. Escala 1: 50.000. Hoja de Olmedo (428). 2ª Serie.
- IGME (1982 b). Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Hoja de Arévalo (455). 2ª Serie.
- IGN (1985). Cartografía Geográfica Nacional a escala 1:25.000. Hoja 428-2, Olmedo.
- IGN (1985). Cartografía Geográfica Nacional a escala 1:25.000. Hoja 428-4, Olmedo.
- IGN (1985). Cartografía Geográfica Nacional a escala 1:25.000. Hoja 455, Arévalo.
- IRYDA. (1991). Proyecto de Asistencia Técnica para el Estudio Hidrogeológico de la Cubeta de Santiuste (Segovia).” Documento técnico no publicado. IRYDA-ITGE.
- JUNTA DE CASTILLA Y LEON (1985). Informe final del Estudio sobre la situación de los recursos del acuífero superficial de la intercuenca: Eresma-Adaja (zona de Coca. Segovia).
- KRUL, W.F Y LIEFRINCK, F.A. (1946). “Recent groundwater investigations in the Netherlands.” Monograph on the progress of research in Holland. Elsevier, New York, 78 Pág.
- LLAMAS, M.R. (2001). “Aguas subterráneas: retos y oportunidades.” Fundación Marcelino Botín. Ediciones Mundi-prensa.
- M.O.P.T.M.A. (1994) Informe sobre la posibilidad de recarga artificial en la cubeta de Santiuste (Segovia).
- MAPA (1990). “Proyecto de Asistencia Técnica para el Estudio Hidrogeológico de la Cubeta de Santiuste –Segovia-.” IRYDA.
- MAPA. (1996). “Nota Informativa del Estudio Hidrogeológico de la Cubeta de Santiuste (Segovia) para la Recarga del Acuífero”.1996. Informe interno de D. Manuel Álvarez Chaín, por entonces geólogo de la Secretaría General de Desarrollo Rural (MAPA.). No publicado.
- MAPA. (1999a). “Estudio hidrogeológico complementario para la recarga artificial en la Cubeta de Santiuste (Segovia).” Informe técnico no publicado. Secretaría Gral. de Desarrollo Rural-Tragsatec. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- MAPA. (1999b). “Anteproyecto de recarga del acuífero de la Cubeta de Santiuste de San Juan Bautista (Segovia).” IRYDA.
- MAPA. (1999c). “Proyecto de recarga del acuífero de la Cubeta de Santiuste de San Juan Bautista (Segovia).” Informe técnico no publicado. Secretaría General de Desarrollo Rural-Tragsatec.
- MAPA. (2005). “Asistencia técnica para el seguimiento y modelización de la recarga artificial en la cubeta de Santiuste de San Juan Bautista (Segovia)”. Dirección General de Desarrollo Rural-TRAGSATEC (no publicado).
- MIMAM. (2002). “Estudio del sistema de utilización conjunta de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de las cuencas del Cega-Pirón y del Adaja-Eresma.” MIMAM-PROINTEC.
- MOPTMA. (1993). “Estudio de caracterización de la unidad hidrogeológica “Región de Los Arenales” (02.17).” Dirección General de Obras Hidráulicas.

- MOPTMA. (1994). “Informe sobre la posibilidad de recarga artificial en la cubeta de Santiuste (Segovia).” Informe técnico no publicado. Servicio Geológico de Obras Públicas, SGOP.
- MOPTMA. (1995). “Actualización del Inventario de Zonas Húmedas.” Dirección General de Obras Hidráulicas, Madrid. Informe interno no publicado.
- MOPTMA. (1999). “Informe sobre la situación piezométrica actual de la unidad hidrogeológica Región de Los Arenales (02.17).” Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas.
- MOPTMA.-MINER (1994). “Libro Blanco de las Aguas Subterráneas (LBAS).” Serie Monografías. Secretaría General Técnica del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- REY BENAYAS, J. M. (1991). “Aguas Subterráneas y Ecología. Ecosistemas de descarga de Acuíferos en Los Arenales.” ICONA.-CSIC. Colección Técnica ICONA.- MAPA.
- SANZ MONTERO, M.E, ARROYO, X., CABESTRERO, O., CALVO, J.P., FERNÁNDEZ-ESCALANTE, A.E., FIDALGO, C., GARCÍA-DEL-CURA, M.A. GARCÍA-AVILÉS, J., GONZÁLEZ-MARTÍN, J.A., RODRÍGUEZ-ARANDA, J.P., ROVIRA, J.V. (2013). Procesos de sedimentación y biomineralización en la laguna alcalina de las Eras (Humedal Coca-Olmedo). Geogaceta 53. ISSN 0213-683X.
- S.G.O.P. (1994). Nota informativa de los trabajos realizados en Santiuste de S. Juan Bautista (Segovia). MOPTMA. Documento interno.
- STUYFZAND, P.J. (2002). “Quantifying the hydrogeochemical impact and sustainability of artificial recharge systems.” Management of Aquifer Recharge for Sustainability, Dillon, P.J. (Ed) Proceedings of ISAR 4, Adelaide, SA, Sept. 2002. Balkema Publishers-AIH. The Netherlands.

18.1 DIRECCIONES POSTALES Y WEB DE INTERÉS

- Comunidad de regantes de Santiuste...
Fuensol Ingenieros
C/Madre María Jesús, 17
47194 – Fuensaldaña, Valladolid
Teléfono: 983 583 041

- Comunidad de regantes del Carracillo
<http://www.regantesdelcarracillo.es/index.htm>

- Confederación/Demarcación Hidrográfica del Duero
<http://www.chduero.es/>
Sede Central en Valladolid
C/ Muro, 5, 47004, Valladolid
Teléfono: 983 21 54 00
Fax: 983 21 54 38

-Oficina en Segovia de la CHD
Presa del Pontón Alto
Ctra. Segovia a Navacerrada
40194 Palazuelos de Eresma, Segovia
Teléfono: 921 42 90 51

Fax: 921 42 90 51

<http://www.chduero.es/>

- Exmo. Ayuntamiento de Santiuste de San Juan Bautista

Dirección: Plaza Constitución, nº 1

Teléfono: 921 596 000

Fax: 921 596 000

Código Postal: 40460, Segovia

<http://www.ayuntamiento.es/santiuste-de-san-juan-bautista>

<http://www.segoviayprovincia.com/Pueblos.asp?p=49&l=348>

- Exmo. Ayuntamiento de Coca

Dirección: Plaza Mayor, nº 1

Teléfono: 921 586 011

Fax: 921 586 076

Código Postal: 40480, Segovia

<http://www.coca-ciudaddecauca.org>

<http://www.ayuntamiento.es/coca>

<http://www.segoviayprovincia.com/Pueblos.asp?p=49&l=110>

- Villagonzalo De Coca

<http://www.segoviayprovincia.com/Pueblos.asp?l=419&p=49>

- Proyecto de I+D+i DINA-MAR

<http://www.dina-mar.es/>

- Proyecto de I+D+i MARSOL

<http://www.marsol.eu/>

- Comisión de recarga gestionada de la Asociación internacional de hidrogeólogos

<http://www.iah.org/recharge>

- Inforiego. Datos meteorológicos de las estaciones del SIGA

<http://www.inforiego.org/opencms/opencms/estaciones/listado/index.html>

- Servidor de mapas y visualizador de cartografía de la Junta de Castilla y León

<http://www.itacyl.es>

19 ANEXOS. RECOPIACIÓN DE DATOS



ANEXO 1.- DETERMINACIONES CUALITATIVAS

ANEJO 1.1.- ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS AGUAS

ANEJO 1.2.- DETERMINACIONES DE PARÁMETROS INESTABLES DE LAS AGUAS DE RECARGA GESTIONADA

ANEXO 2.- CAUDALES

ANEJO 2.1.- CAUDALES CIRCULANTES POR EL CANAL

ANEXO 3.- DATOS METEOROLÓGICOS

ANEJO 3.1.- DATOS INFORIEGO

ANEXO 4.- ENSAYOS DE INFILTRACIÓN Y PERMEABILIDAD

ANEJO 4.1.- ENSAYOS DE INFILTRACIÓN

ANEJO 4.2.- ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

ANEXO 5.- CARTOGRAFÍAS HIDROGEOLÓGICAS PARA CADA CICLO DE AR

ANEXO 6.- PERFILES HIDROGEOLÓGICOS PARA CADA CICLO DE AR

ANEXO 7.- REDES DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DE LA PIEZOMETRÍA

ANEJO 7.1.- RED DE CONTROL 2003

ANEJO 7.2.- RED DE CONTROL 2008

ANEXO 8.- DOSSIER DE PRENSA. NOTICIAS

ANEXO 1.- DETERMINACIONES CUALITATIVAS

ANEJO 1.1.- ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS AGUAS

SITUACIÓN PREOPERACIONAL. ANÁLISIS QUÍMICOS DE LA RED DE CONTROL

Situación preoperacional: Datos de la red de control de la hidroquímica del MAPA, 1999:

RCH	INV	COORDENADAS				Nivel Estático/ piezométrico	NAT	Prof. (m)	N.E. (m)	Iz (cm)	N.E. (msnm)	fecha	USO	litolog.	C. (µS/cm)	pH c.	T. agua	T. aire	FECHA	Ox. Dis.	pH I.	Cond. (µS/cm)
		X	Y	Z	P																	
1	33	367202	4571760	756	P	S	7	5,48	70	751,22	Jun-99	R	DETR	870	8,1	18	35	Jun-99	6,9	7,50	844,0	
2	35	367202	4593388	765,296	S	>150	N.D.	0	N.D.	0	Jul-99	O	DETR	840	7,6	18	33	Jul-99	9,5	7,50	820,0	
3	30	367158	4563620	768	P	9,1	7,61	50	0	g	Jul-99	R	DETR	620	8,5	21	36	Jul-99	7,0	7,50	870,0	
4	50	367403	4563300	770	S	N.D.	11,30d	0	g	Jul-99	R	DETR	1200	7,85	20	36	Jul-99	8,0	7,50	1262,0		
5	63	369163	4567660	775	S	270	N.D.	0	g	Jul-99	R	DETR	510	8,4	22	34	Jul-99	8,3	8,20	483,0		
6	67	367914	4567270	770	S	>75	11d	0	N.D.	Jul-99	R	DETR	400	9,1	16	34	Jul-99	9,0	9,40	358,0		
7	70	369753	4567100	772,867	S	>150	49,71	30	723,467	Jul-99	C	DETR	520	8,1	20	34	Jul-99	5,2	7,60	540,0		
8	81	369604	4566501	772,632	S	17	8,82	0	763,812	Jul-99	R	DETR	1000	8,05	18	34	Jul-99	6,5	7,4	1333		
9	89	369670	4565940	770	S	18	11,3d	0	g	Jul-99	R	DETR	840	6	17	34	Jul-99	8,0	7,50	1199,0		
10	101	367302	4565377	785,631	P	4,05	2,33	40	787,701	Jul-99	C	DETR	1870	8,1	17	30	Jul-99	4,2	7,60	2040,0		
11	119	369188	4564550	775	S	30	N.D.	0	g	Jul-99	R	DETR	1100	9,6	15	36	Jul-99	10	7,6	1414,0		
12	131	369125	4563515	781,138	S	130	12,93d/13,5d	20	g	Jul-99	R	DETR	1093	9,4	18	34	Jul-99	8,8	7,70	1563,0		
13	160	368815	4562097	788,203	S	110	6,84d	17	g	Jul-99	R	DETR	412	10,15	28	34	Jul-99	9,2	9,10	375,0		
14	176	369268	4561050	785	S	25	9,80d	0	g	Jul-99	R	DETR	1200	9,08	14	34	Jul-99	10,1	7,70	1487,0		
15	192	369551	4560500	771	S	N.D.	N.D.	0	N.D.	Jul-99	R	DETR	680	9,2	16	32	Jul-99	6,4	7,90	1250,0		
16	190	369291	4560515	790,368	P	9,7	8,4	0	781,969	Jul-99	C	DETR	1100	8,6	23	40	Jul-99	9,2	7,50	1328,0		
17	205	369899	4560200	785	S	>100	11	-200	773	Jul-99	C	DETR	1100	8,21	19	38	Jul-99	11,4	8,00	1283,0		
18	217	370391	4559852	792,57	S	>100	41	0	757,57	Jul-99	O	DETR	400	10,2	21	35	Jul-99	16,0	7,70	1489,0		
19	224	369501	4559767	792,766	S	21,0*	N.D.	0	792,769	Jul-99	R	DETR	1010	8,15	16	33	Jul-99	N.D.	7,60	1214,0		
20	222	369333	4559716	790,902	P	14,2	11,20d	-200	g	Jul-99	R	DETR	1200	8,9	21	37	Jul-99	6,5	7,40	1247,0		
21	265	369209	4558572	795,611	P	11,2	9,8	0	786,811	Jul-99	C	DETR	1300	8,7	18	30	Jul-99	6,1	7,80	1289,0		
22	298	369444	4557520	803	P	16,5	11,00d	0	g	Jul-99	R	DETR	600	8,3	19	37	Jul-99	12,0	7,60	947,0		
23	298	370010	4557359	795,101	P	12,4	9,6	-400	781,501	Jul-99	C	DETR	300	8,7	18	34	Jul-99	7,6	7,30	326,0		
24	300	36857	4557330	805,29	P	9	11,7d	0	803,89	Jul-99	R	DETR	300	8,4	18	35	Jul-99	N.D.	7,30	1995,0		
25	310	368502	4556852	801,49	S	>150	N.D.	0	N.D.	Jul-99	R	DETR	410	8,85	20	36	Jul-99	8,2	8,60	412,0		
26	314	370500	4556814	800,991	P	13,9	12,7	-300	785,991	Jul-99	C	DETR	300	8,6	17	34	Jul-99	6,7	7,30	592,0		
27	318	368302	4556865	832,675	P	10,2	7	-40	626,075	Jul-99	R	DETR	1000	8,3	16	31	Jul-99	6,4	7,5	764		

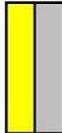
USCS:
Abastecimiento y Ganadería: A
Desconocido: O
Riego: R
No se usó: C

NATURALEZA:
Manantial: M
Sondeo: S
Pozo: P
Charca: CH

N.D. No determinado
d. Nivel cinámico (pozo bombeando durante el muestreo)
* Sondeo de 75 a 150 m de profundidad.
* Sondeo de profundidad superior a 150 m.

pH c: determinación en campo
pH I: determinación en laboratorio

RCH	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	FACIES
1	48,0	1,0	69,0	57,0	43,0	343,0	0	73,0	93,0	HCO-Mg-Ca
2	133,0	2,6	29,0	13,0	40,0	268,0	0	64,0	89,0	HCO-Na
3	13,0	1,0	53,0	39,0	43,0	147,0	0	48,0	121,0	HCO-Mg
4	54,0	1,2	101,0	80,0	81,0	342,0	0	141,0	168,0	HCO-Mg-Ca
5	78,0	1,1	23,0	6,8	26,0	176,0	4	22,0	58,0	HCO-Na
6	93,0	0,1	12,0	1,0	14,0	142,0	18	11,0	6,5	HCO-Na
7	97,0	8,9	19,0	1,9	16,0	324,0	0	2,0	2,4	HCO-Na
8	78	0,5	84	82	80	343	0	148	187	HCO-Mg-Ca
9	54,0	0,7	76,0	82,0	64,0	395,0	0	137,0	122,0	HCO-Mg
10	112,0	11,0	110,0	129,0	145,0	580,0	0	222,0	126,0	HCO-Mg-Ca
11	85	0,7	100	68	147	369	0	16	269	HCO-Mg-Ca
12	77	0,7	97	91	156	397	0	17	253	HCO-Mg-Ca
13	86,0	0,3	2,0	1,0	16,0	168,0	5	18,0	11,0	HCO-Na
14	61,0	1,1	82,0	102,0	153,0	375,0	0	162,0	172,0	HCO-Cl-Mg
15	68,0	1,0	78,0	82,0	101,0	370,0	0	129,0	122,0	HCO-Mg-Ca
16	80,0	5,0	120,0	75,0	105,0	380,0	0	66,0	237,0	HCO-Mg-Ca
17	84,0	4,0	124,0	62,0	90,0	405,0	0	55,0	180,0	HCO-Ca-Mg
18	74,0	7,0	127,0	68,0	136,0	338,0	0	65,0	284,0	HCO-Ca-Mg
19	89,0	4,0	116,0	40,0	86,0	395,0	0	54,0	139,0	HCO-Ca-Na
20	72,0	5,0	129,0	48,0	97,0	322,0	0	62,0	205,0	HCO-Ca-Mg
21	68,0	12,0	101,0	83,0	85,0	379,0	0	41,0	283,0	HCO-Mg-Ca
22	47,0	4,0	84,0	53,0	68,0	357,0	0	36,0	132,0	HCO-Mg-Ca
23	16,0	2,0	70,0	14,0	26,0	87,0	0	21,0	159,0	HCO-Cl-Ca
24	40,0	3,0	92,0	66,0	131,0	279,0	0	62,0	159,0	SO-Mg
25	52,0	7,0	79,0	56,0	92,0	349,0	0	31,0	37,0	HCO-Mg-Ca
26	72,0	2,0	14,0	12,0	29,0	174,0	7	11,0	11,9	HCO-Na
27	27,0	2,0	73,0	16,0	23,0	216,0	0	21,0	106,0	HCO-Ca
28	45	3	72	34	40	369	0	14	30,8	HCO-Ca-Mg

Sondeo de 75 a 150 m de profundidad.

Sondeo de profundidad superior a 150 m.

Tablas AX1-1 a) y b). Datos de la red de control de la hidroquímica del MAPA, 1999.

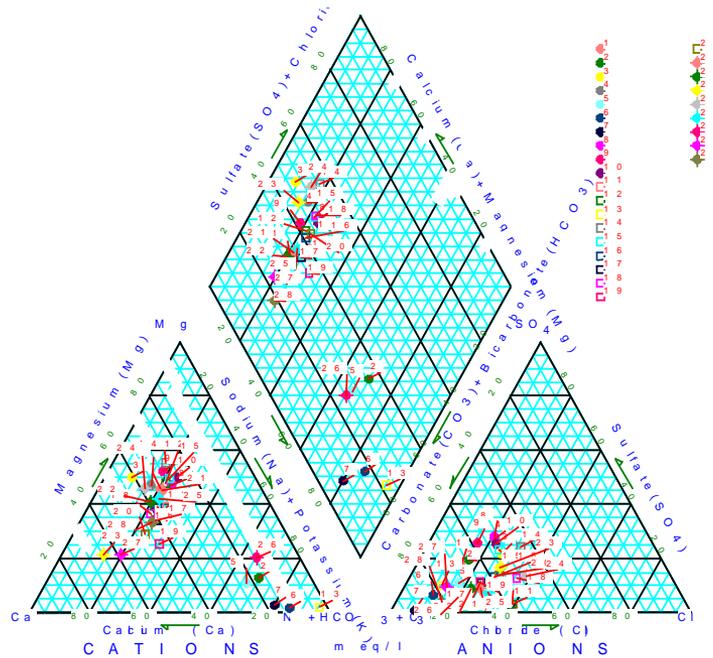


Figura AX1-1. Hidrograma de Piper-Hill-Langelier con la representación de alcúotas de la red de control de calidad de las aguas inicial. FUENTE: MAPA, 1999.

ANÁLISIS DE LAS AGUAS DE RECARGA GESTIONADA

A continuación se presentan los análisis de aguas cuyo permiso de publicación ha sido viable:

ANÁLISIS QUÍMICOS DE LOS POLOS FRÍOS (PUNTOS DE ENTRADA DE AGUA EN LA CUBETA)

Se han diferenciado ocho polos fríos. Sus análisis químicos disponibles, determinados para el estudio de procesos de interacción, son:

Tablas AX1-2 a) a c). Análisis de los “polos fríos” o entradas de agua del exterior a la Cubeta.

polo frio	X	Y	Z	NAT
RIO VOLTOYA 02	371113	4558201	1	RIO
AGUA DE LLUVIA 2502	368149	4557450	2	LLUVIA
AGUA RECARGA Dic. 02	371038	4558192	3	CAZ 0
AGUA RECARGA Feb. 03	370024	4557313	4	CAZ 1
POLO FRIO SO 03	368537	4556643	5	M
POLO FRIO O2	367579	4558949	5	M
Los Majuelos	364390	4570049	6	HUMEDAL
Ciruelos	367272	4565455	6	HUMEDAL

polo frío	Prof. (m)	N.E. (m)	N.E.	fecha	USO	Litología	C (µS/cm)	pH c	Tª agua	Tª aire	FECHA	O ₂ -Dis.	TSD
VOLTOYA	0	0	771,7	jul-02	AR	DETR	435	7,73			Jul-02	8,8	
LLUVIA Est. 2502	N/A	N/A	N/A	abr-03	NR	DETR	49	6,77			Mar-03		
AGUA RECARGA	0	0	789,7	feb-03	AR	DETR	165	8,6	5,9	6,5	Dic-02	5,1	75
AGUA RECARGA 2	0	0	789,73	feb-03	AR	DETR	165				Feb-03	8,8	
POLO FRIO SO	0	0	819,8	abr-03	A	DETR	829	7,8			Abr-03		
POLO FRIO Oeste	0	0	814,7	abr-03	O	DETR	932	8,1			Abr-03		

polo frío	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	C	pH	FACIES
VOLTOYA	31,54	2,23	70,54	1,95	39	247,74	0	2,19	2,71	N/A	N/A	N/A	HCO-Ca
LLUVIA	1,29	0,16	4,81	1,95	4,96	23,19	0	2,75	2,84	0,62	40	6,94	HCO-Ca
AGUA RECARGA 2	13	2	16	5	13	78	< 8	< 3	2	8,7	191	8,0	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -Cl
POLO FRIO SO	38	4	102	22	48	302	<8	27	103	33	829	7,8	Ca-Mg-HCO ₃
POLO FRIO Oeste	30	3	110	18	96	243	<8	35	82	21	932	8,1	Ca-Na-HCO ₃ -Cl

polo frío	pH	Cond	TDS	TOD	NO ₃	Th	Ta	FECHA
CABECERA	8,5	290	0,14	8,8	1,8	8	5	19/12/2002
SANCHON	8,8	280	0,13	10,6	5,3	8	6	19/12/2002
AGUA RECARGA Feb. 06				-				12/02/2006
AGUA RECARGA Mar. 07				8,9				06/03/2007

HUMEDALES

HUM-Nº	TIPO	NOMBRE	FECHA	X	Y	Z
19	AZUL	Los Majuelos	31-07-03	364390	4570049	778,2
46	AZUL	Ciruelos	06-08-03	367272	4565455	794,8

HUMEDAL	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	C (µS/cm)	pH c
19	972	1,148	217	451	2,139	775	318	1,373	2,01	8.790	8,74
46	112	11	110	129	145	580	0	222	126	1.870	8,1

Nº	Na	K	Ca	Mg	CL	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	NO ₃	NO ₂	NH ₃	B	P
Laguna Iglesia	388,27	16,87	45,31	78,58	460,52	362,4	92,13	318,3	0,00	0,00	0,17	0,23	0,26
Caz honguito	24,3	2,15	38,55	4,82	34,7	125,73	0,00	16,26	1,5	0,00	<0,04	0,00	<0,10

Nº	H ₂ SiO ₃	Fe	Mn	CO ₂	C	pH	Tª agua	Tª aire	Nº	NOMBRE	ID	FECHA
Laguna Iglesia	6,82	0,01	0,00	1,12	2002,00	8,93	22,00	34,00	1	laguna de la iglesia,	CAA/AG-773-06	12/02/2006
Caz honguito	5,01	0,06	0,00	1,6	285,00	8,1	18,00	34,00	2	Derivación caz,	CAA/AG-774-06	12/02/2006

CALIDAD DEL AGUA DE RECARGA GESTIONADA

CABECERA (HONGO DE SANTIUSTE). 22 DE ENERO DE 2009

Fecha muestreo: 22/1/2009 Hora: 10:20

Fecha recepción: 5/2/2009

Inicio análisis: 05/02/2009

Fin análisis: 12/02/2009

DETERMINACION	RESULTADO	METODOLOGIA
AMONIO	< 0,04 mg/l	Espectrofotometría de absorción molecular (PIE-AMON)
*ANHIDRIDO SILICICO	8,55 mg/l	Espectrofotometría de absorción molecular (PIE-SIL)
*BICARBONATOS	67,81 mg/l	Acidimetría, con anarajado de metilo (PIE-ALCA)
*BORO	0,06 mg/l	Espectrofotometría de absorción molecular (PIE-BORO)
*CALCIO	26,30 mg/l	Complejometría (PIE-CALC)
*CARBONATOS	< 5 mg/l	Acidimetría, con fenolftaleína (PIE-ALCA)
*CLORUROS	25,16 mg/l	Cromatografía iónica. (PIE-CION)
CONDUCTIVIDAD 25 °C	221 µS/cm	Electrometría (PIE-COND)
FOSFATOS	0,21 mg P-PO4 ³⁻ /l	Espectrofotometría de absorción molecular (PIE-FOSF)
*HIDROXIDOS	0,00 mg/l	Volumetría (PIE-ALCA)
*HIERRO	0,11 mg/l	Espectrometría de absorción atómica en llama (PIE-FeAA)
*MAGNESIO	< 2 mg/l	Complejometría (PIE-DURE)
*MANGANESO	< 0,02 mg/l	Espectrometría de absorción atómica en llama (PIE-MnAA)
*NITRATOS	1,32 mg/l	Cromatografía iónica. (PIE-CION)
*NITRITOS	0,13 mg/l	Cromatografía iónica. (PIE-CION)
pH	7,87 ud. de pH	Electrometría (PIE-FH)
*POTASIO	1,75 mg/l	Espectrometría de absorción atómica en llama (PIE-NaKA)
*SODIO	14,67 mg/l	Espectrometría de absorción atómica en llama (PIE-NaKA)
*SULFATOS	9,74 mg/l	Cromatografía iónica. (PIE-CION)

ESTACION	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO ₃	CO ₃	SO ₄	Fe	SiO ₂	NO ₃
REC 2003	5.0	1	15	6	2	78	0	5			
REC 2007	24.3	2.15	38.55	4.82	34.7	125.73	0	16.26	0.06	5.01	1.5
REC 2009	14.67	1.75	26.30	<2	25.16	67.81	0	9.74	0.11	8.55	1.32

SANTIUSTE. CABECERA

polo frío	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO3(mg/l)	CO3 (mg/l)	SO4 (mg/l)
s-01	31,54	2,23	70,54	1,95	39	247,74	0	2,19
AGUA DE LLUVIA	1,29	0,16	4,81	1,95	4,96	23,19	0	2,75
s-02	13	2	16	5	13	78	< 8	< 3

polo frío	NO3 (mg/l)	SiO2(mg/l)	COND	pH	SS(mg/l)	TDS(mg/l)	FACIES
s-01	2,71	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	HCO-Ca
AGUA DE LLUVIA	2,84	0,62	40	6,94	N/A	N/A	HCO-Ca
s-02	2	8,7	191	8,0	4	140,1	Ca-Na-Mg-HCO3-Cl

Tablas AX1-3. Análisis químicos de las tres muestras de agua, junto con una muestra del río Voltoya y del agua de lluvia en la zona. Cationes y aniones macroconstituyentes más: concentración en nitratos, sílice (como ácido), conductividad en microSiemens/cm (µS/cm), pH, sólidos en suspensión (SS) y total de sólidos disueltos (TSD). Las concentraciones se expresan en mg/l.

No es objeto de esta publicación entrar en interpretaciones de hidroquímica, si bien, se facilita un punto de partida para complementar la interpretación de aquellos más interesados en esta faceta.

ANEXO 1.- DETERMINACIONES CUALITATIVAS

ANEJO 1.2.-DETERMINACIONES DE PARÁMETROS INESTABLES DE LAS AGUAS DE RECARGA GESTIONADA

Los únicos datos no incluidos en los estudios del MAPA fueron tomados a lo largo de ambos canales de recarga en enero de 2009 y son los siguientes:

DETERMINACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS MEDIANTE EL ESTUDIO DE PARÁMETROS INESTABLES EN LAS ESTACIONES DE CONTROL A LO LARGO DE LOS CANALES DE RECARGA GESTIONADA:

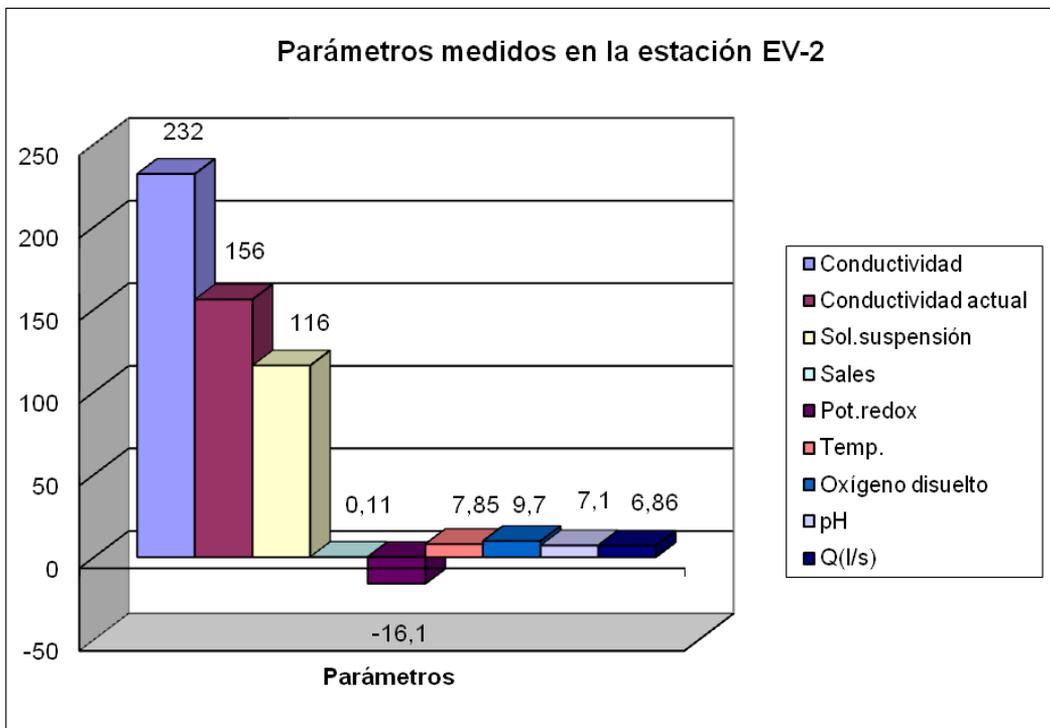
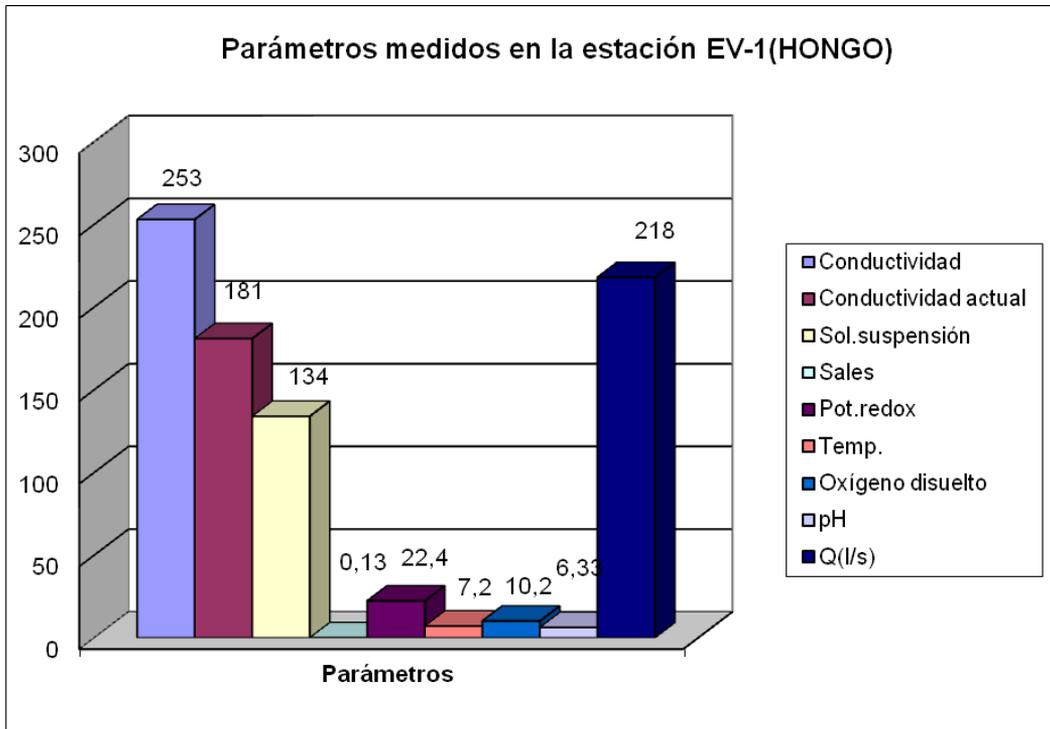
ESTACIÓN	X	Y	DISTANCIA A CABECERA (m)
EA-1	369686	4557699	271,72
EA-2	369566	4558102	693,7
EA-3	369457	4559655	2.288
EA-4	369066	4560502	3.253
EA-5	369233	4561555	4.321,88
EA-6	369363	4562919	5.694,54
EA-7	369354	4563847	6.636,85
EA-8	368806	4564979	8.008,17
EA-9	368524	4566051	9.124,96
EA-10	368047	4568064	11.523,82
EA-11	367762	4568773	12.315,92
EA-12	367033	4569996	13.760,15
EA-13	366043	4571205	15.380,5
EV1 (HONGO)	370033	4557315	0
EV-2	369972	4558275	996,63
EV-3	369674	4560291	3.082,13
EV-4	369624	4562556	5.495,25
EV-5	369541	4563188	6.145,01
EV-6	369361	4564552	7.630,03
EV-7	368809	4566014	9.273,14
Laguna de la Iglesia	368678	4562581	6.194,57

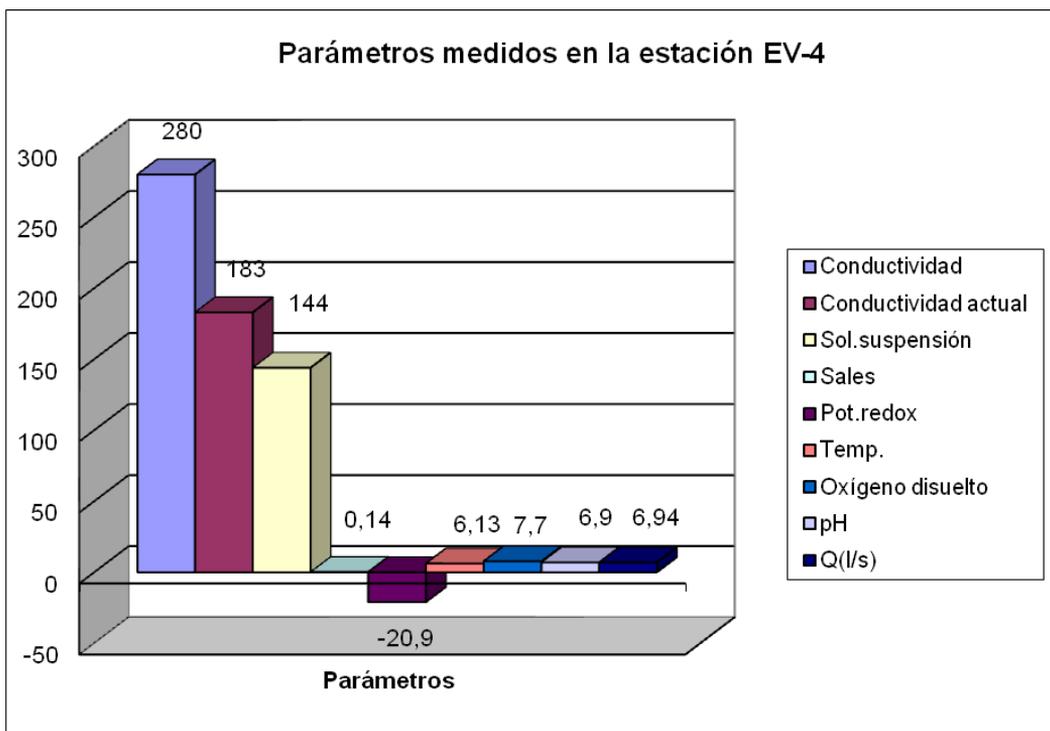
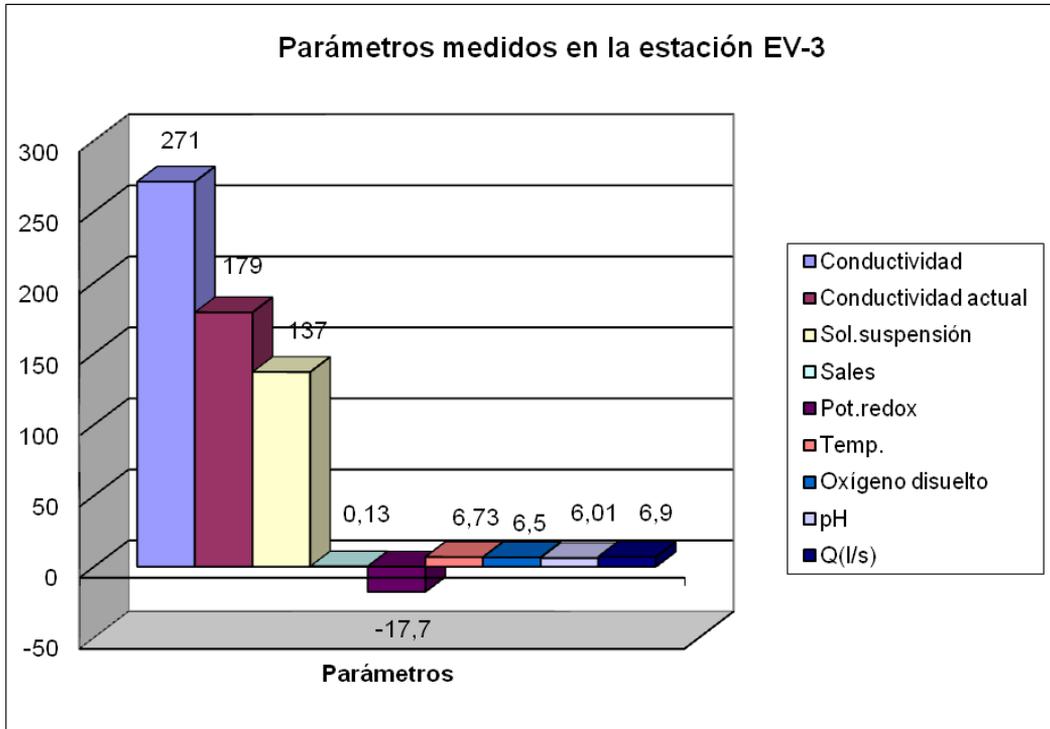
22/01/2009

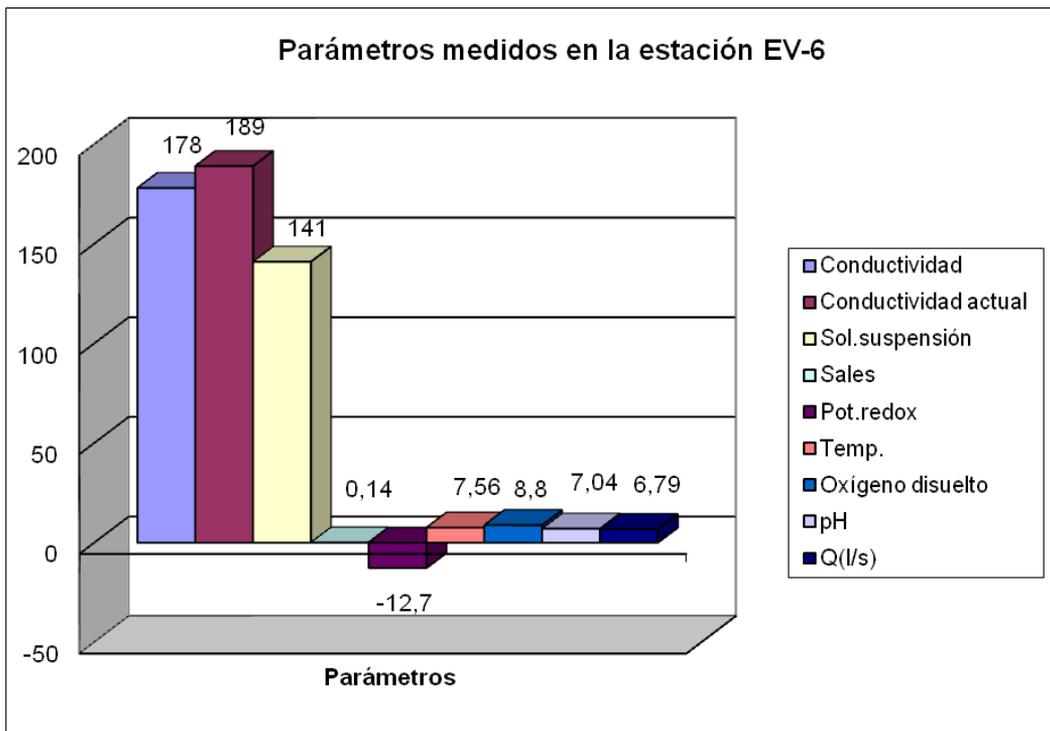
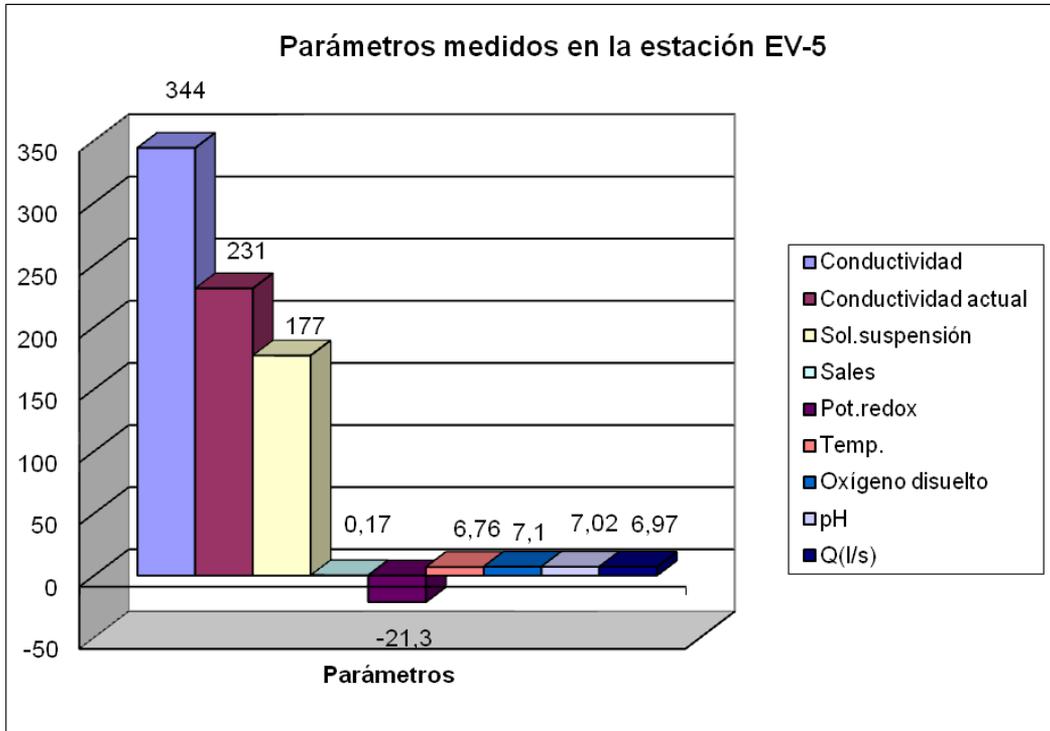
Tabla AX1-4. Posición de las estaciones de aforo y distancia a la cabecera del dispositivo. La ubicación se presenta en la cartografía 14-5.

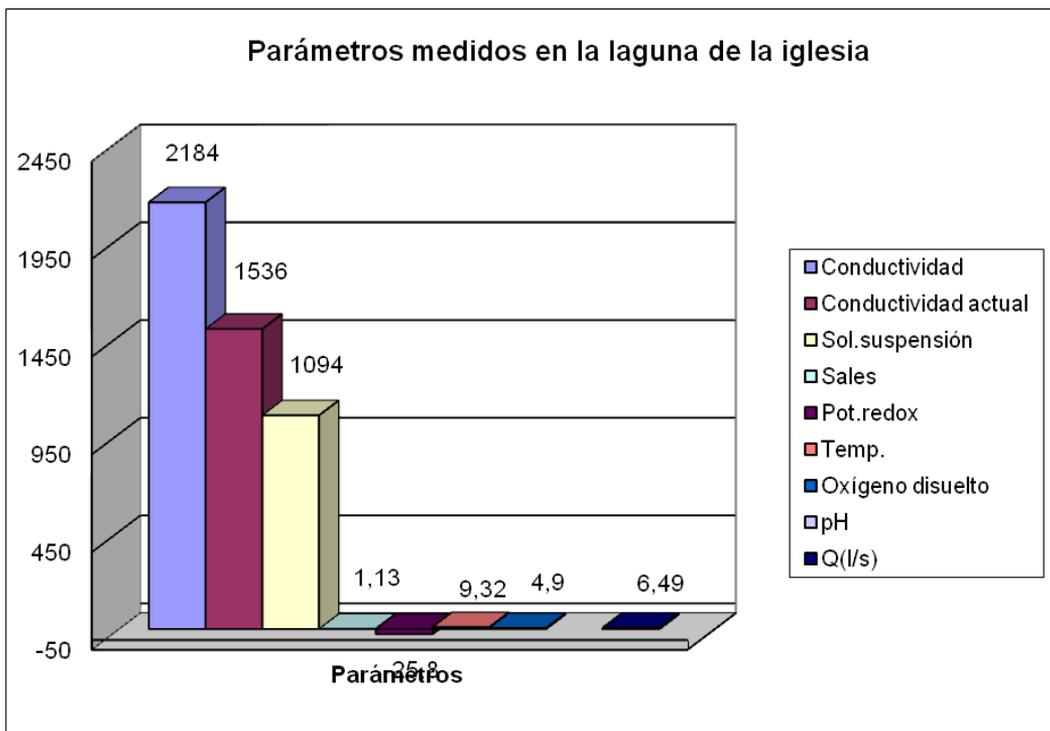
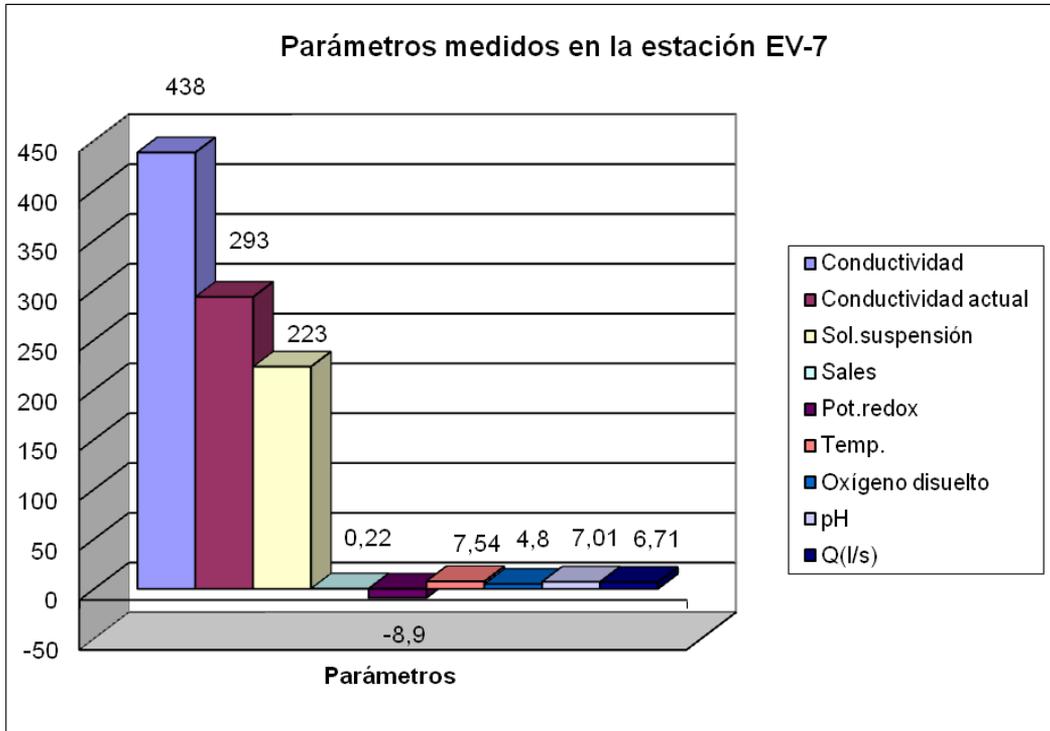
Figuras AX1-2. Histogramas de determinaciones y gráficas evolutivas de los parámetros inestables del agua a lo largo de los canales Este y Oeste.

MEDIDAS CANAL ESTE

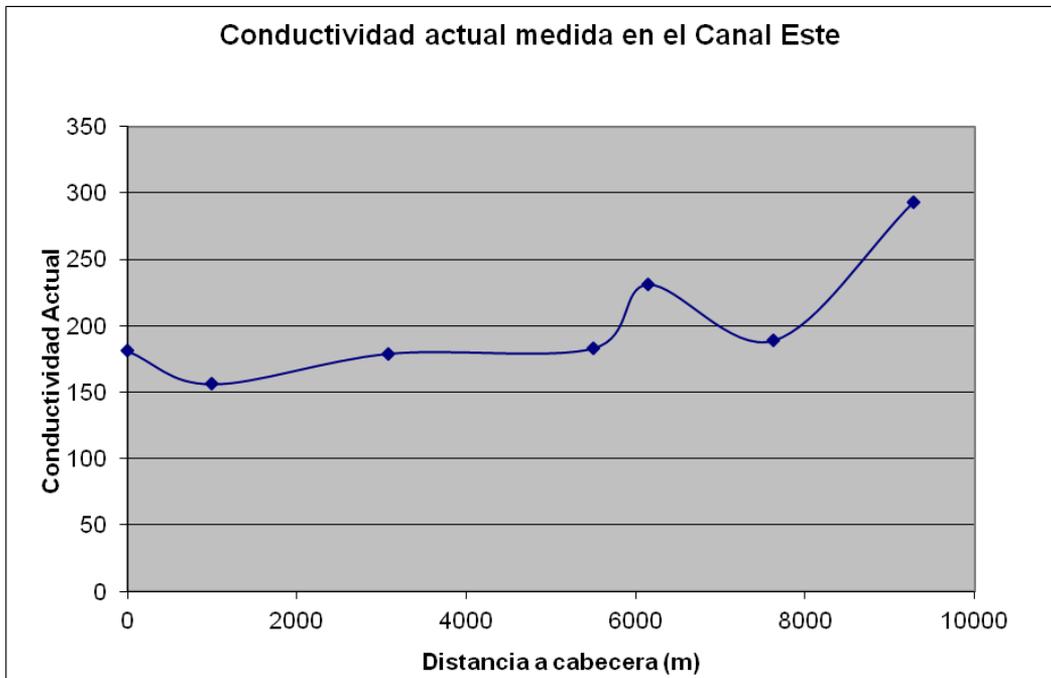
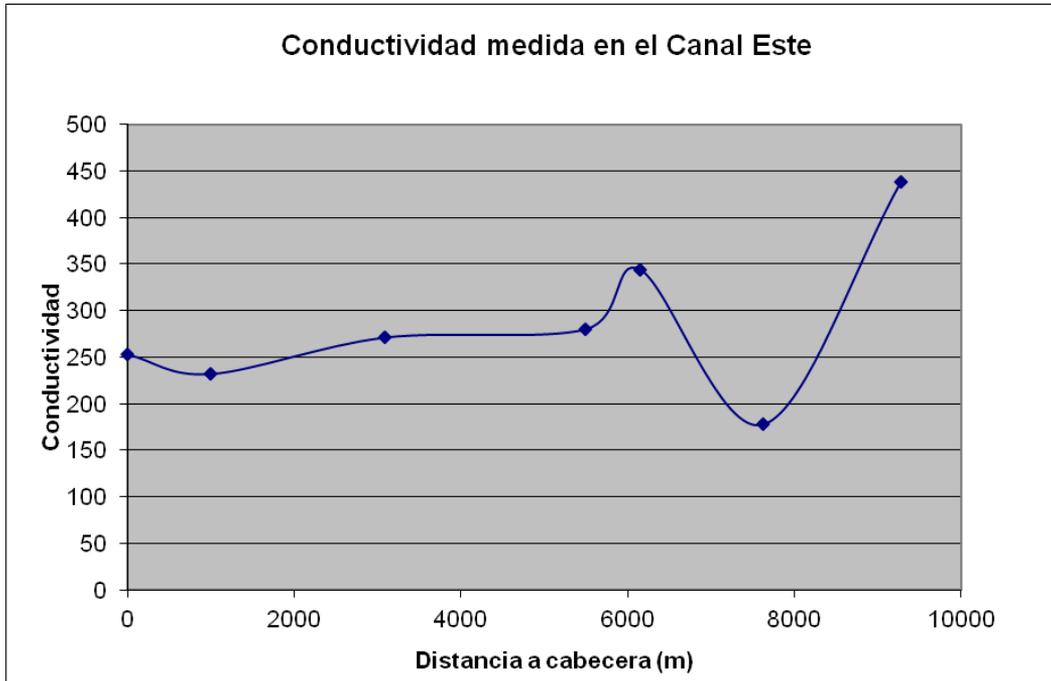


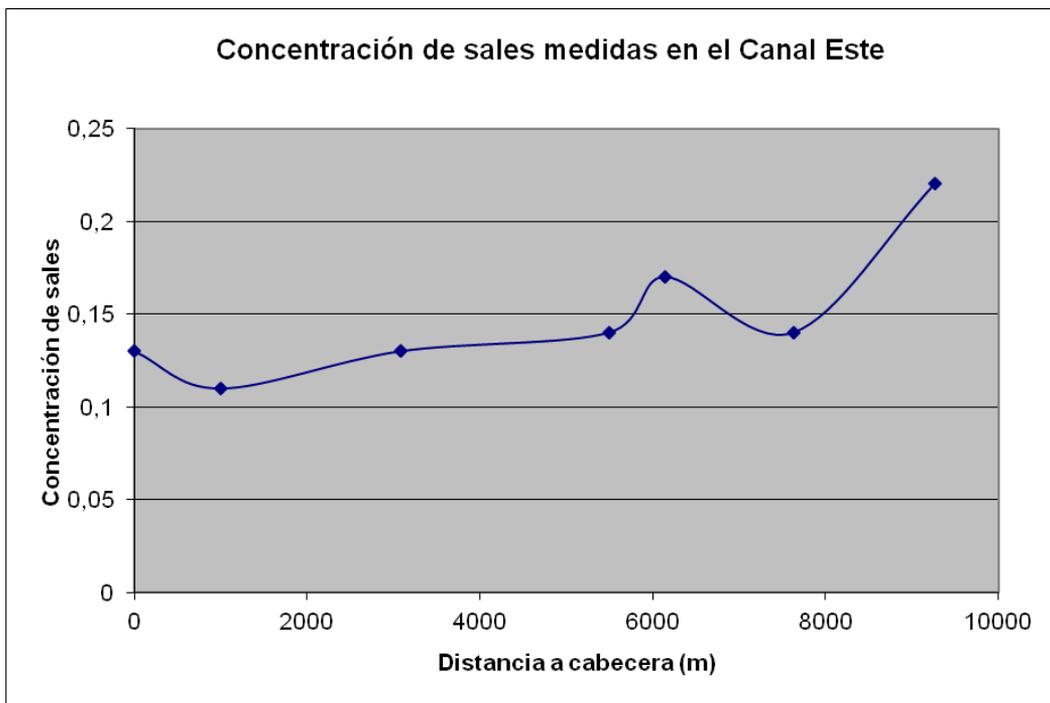
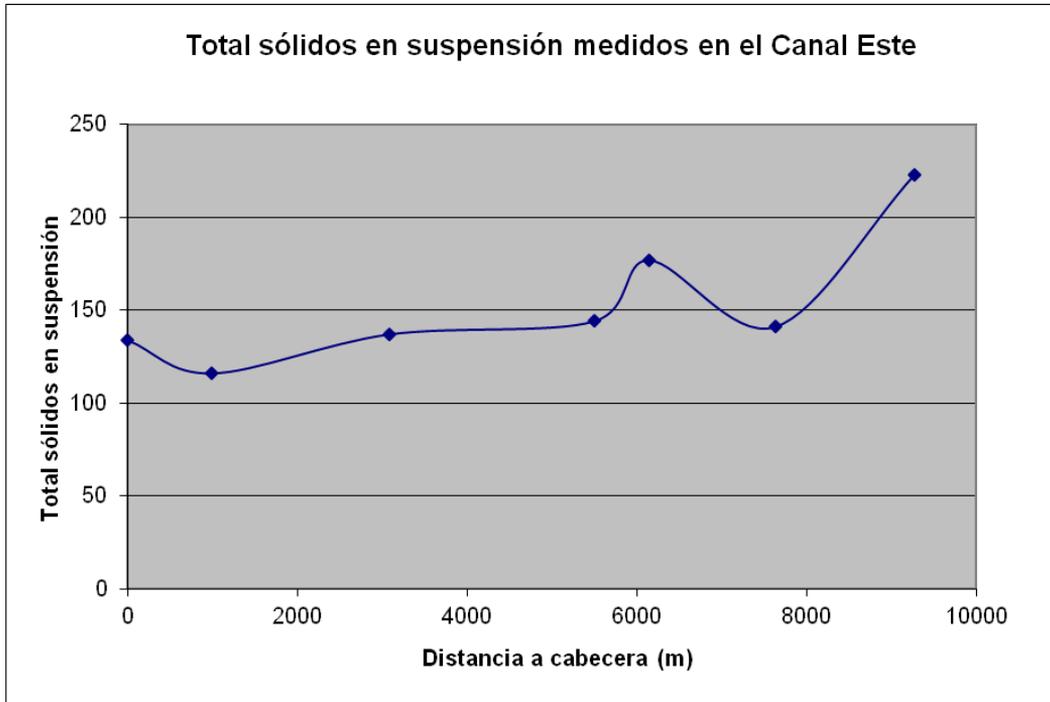


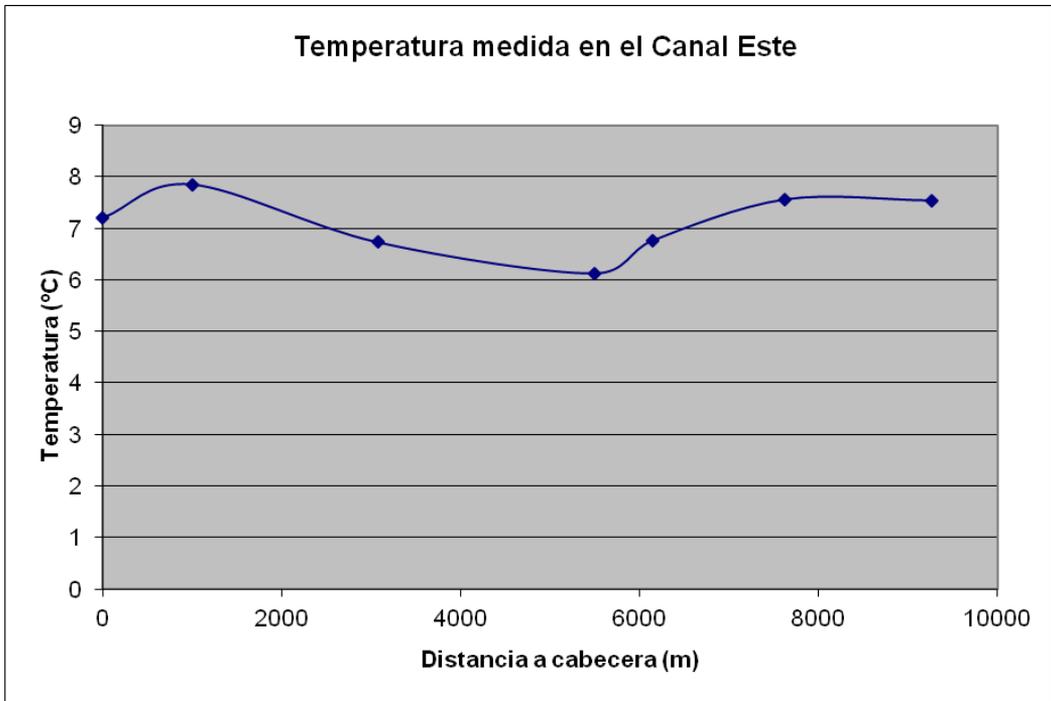
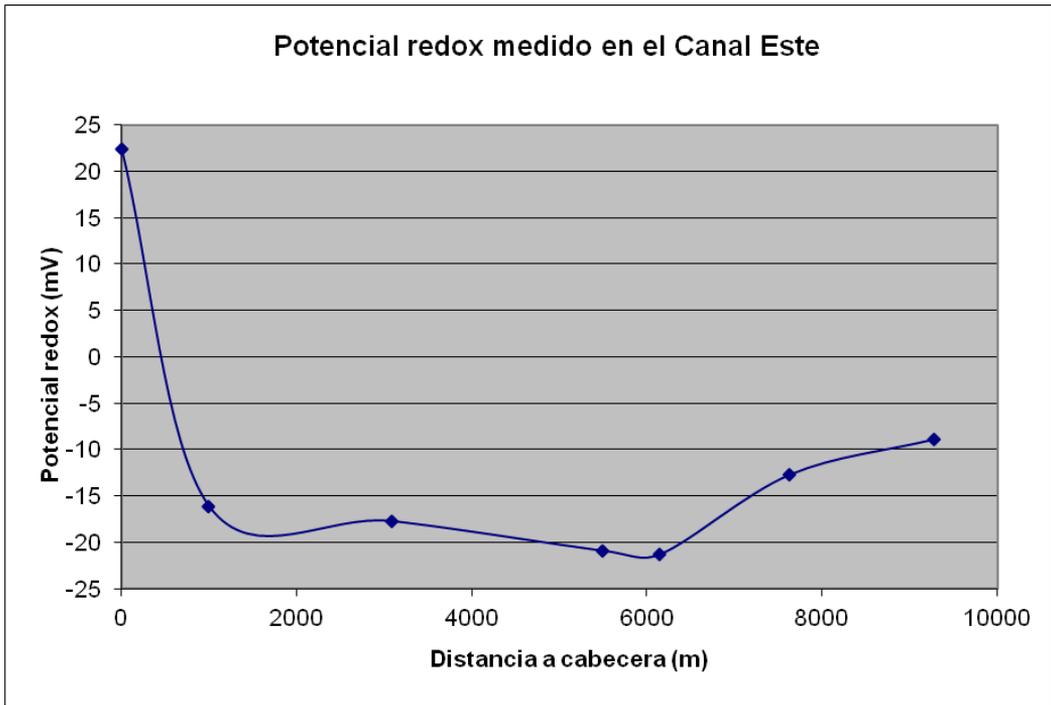


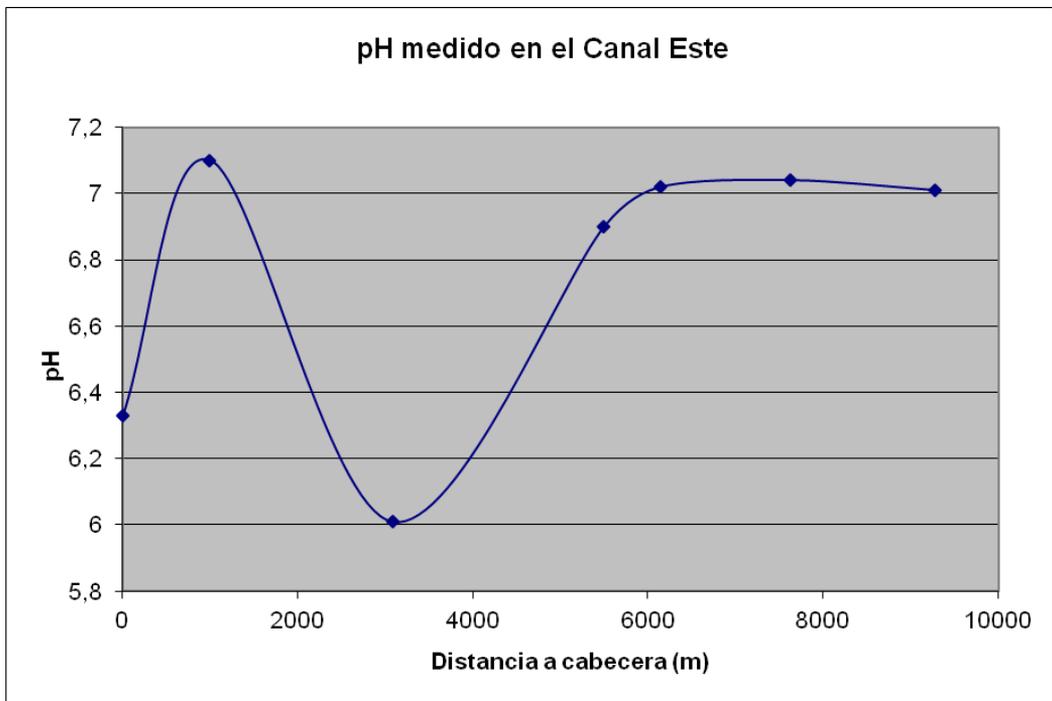
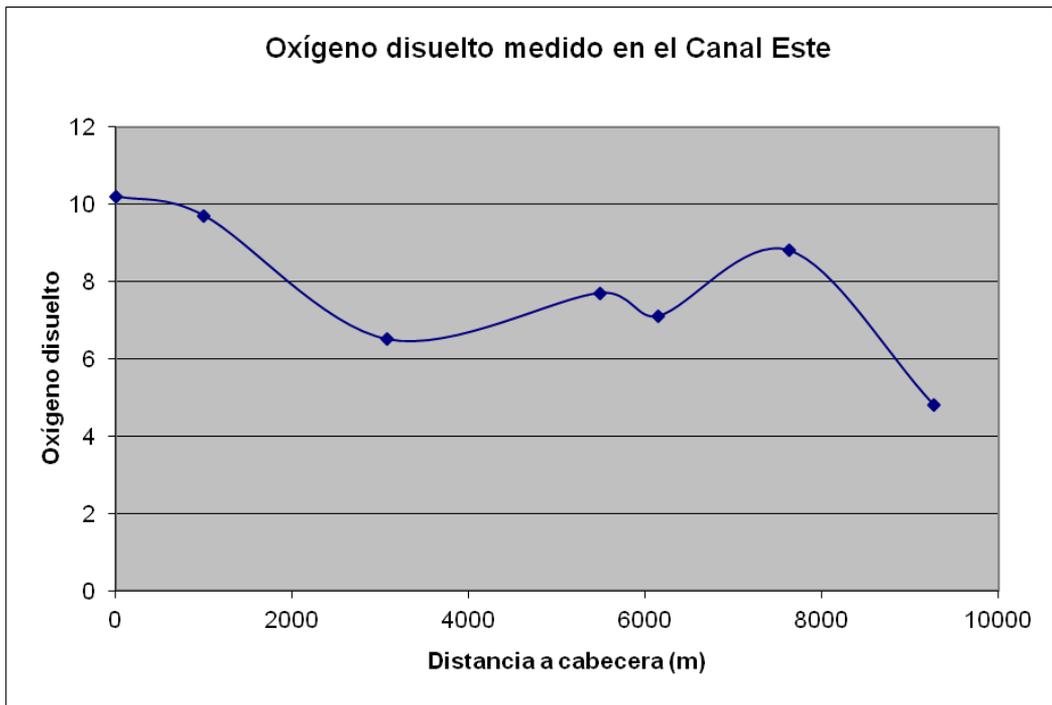


EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS INESTABLES A LO LARGO DEL CANAL ESTE (ESTACIONES EV)

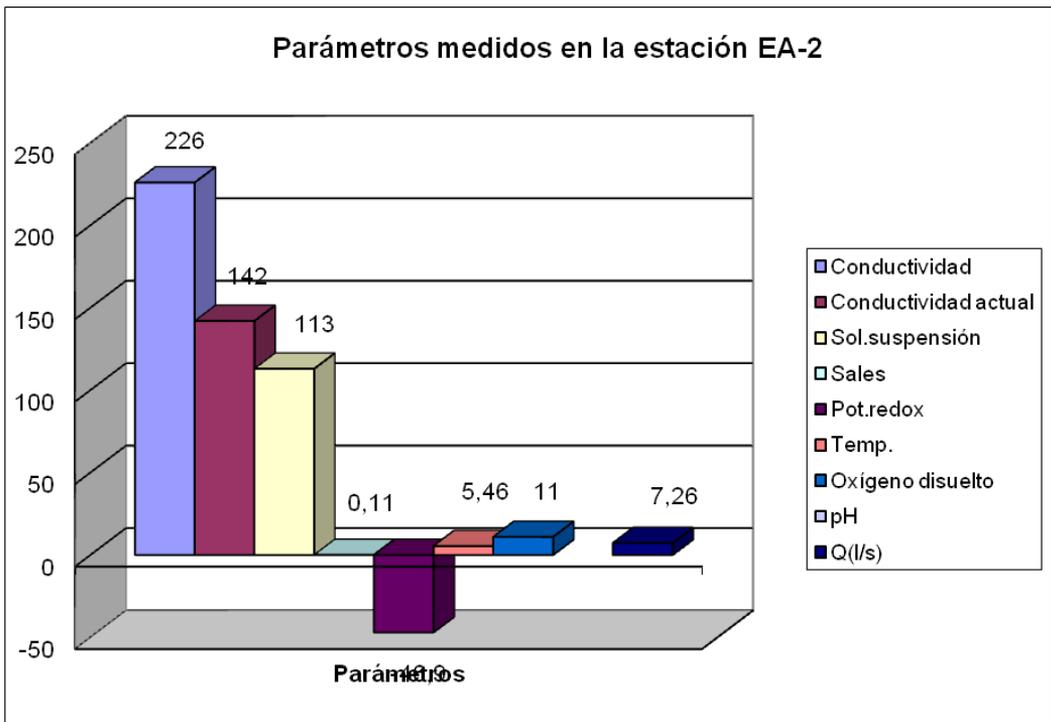
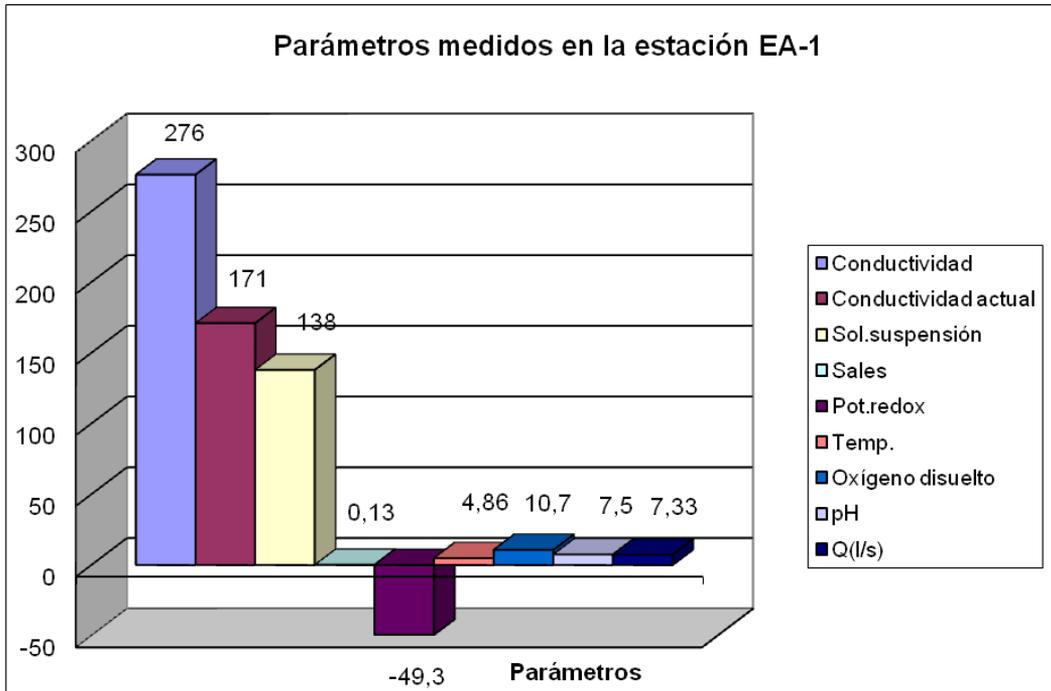




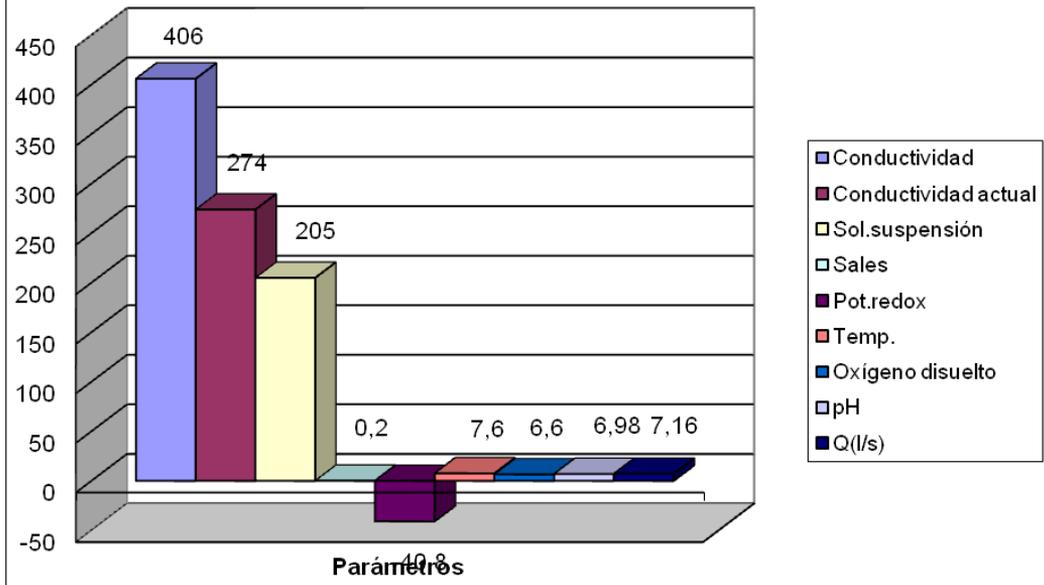




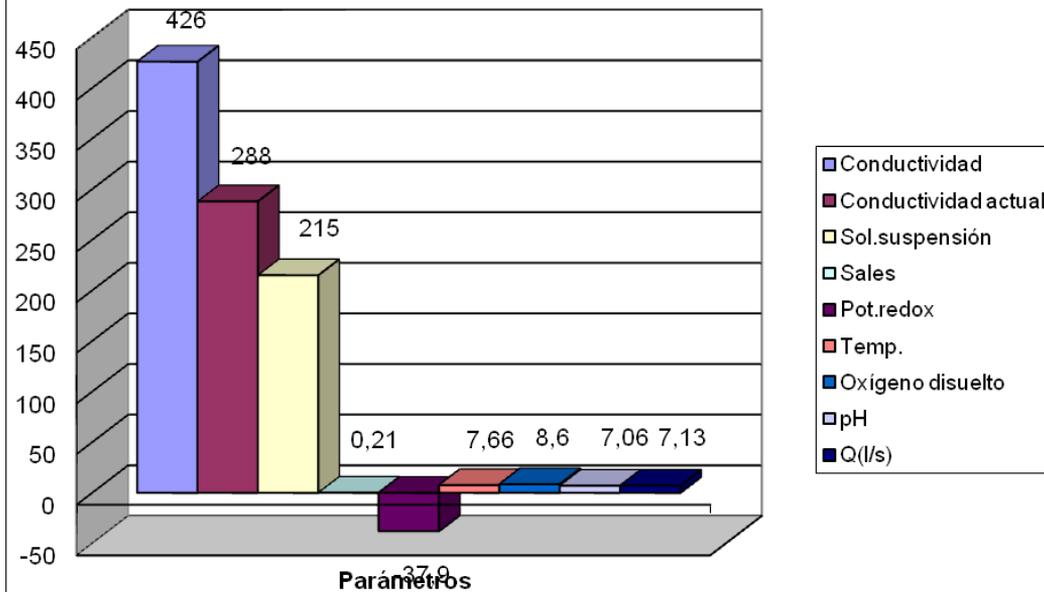
MEDIDAS CANAL OESTE

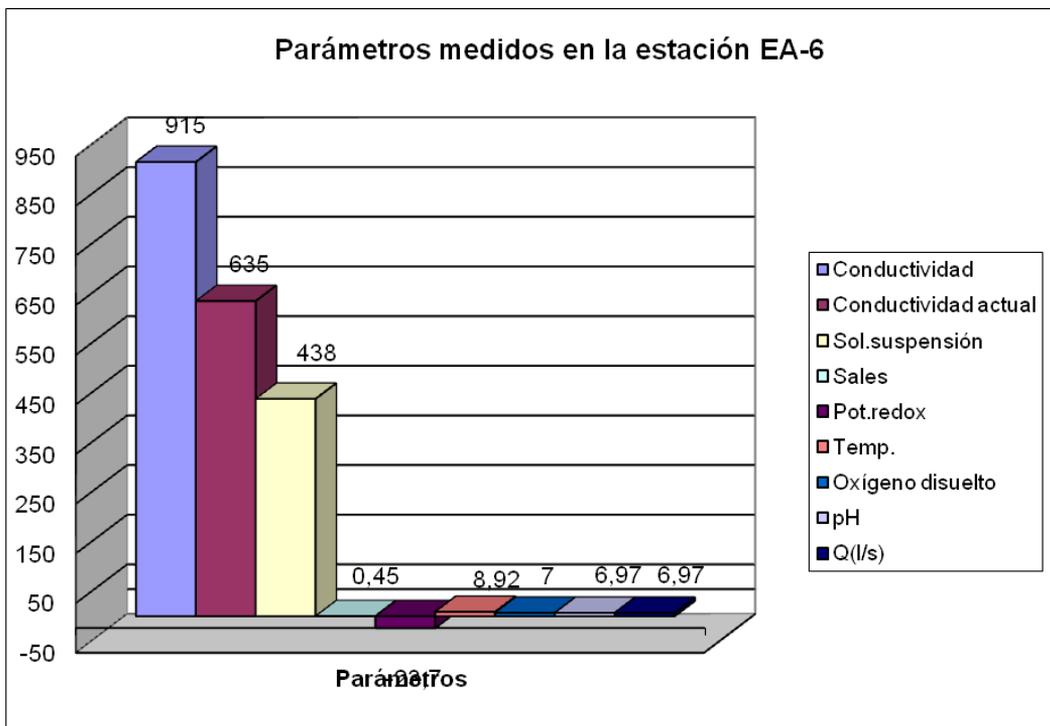
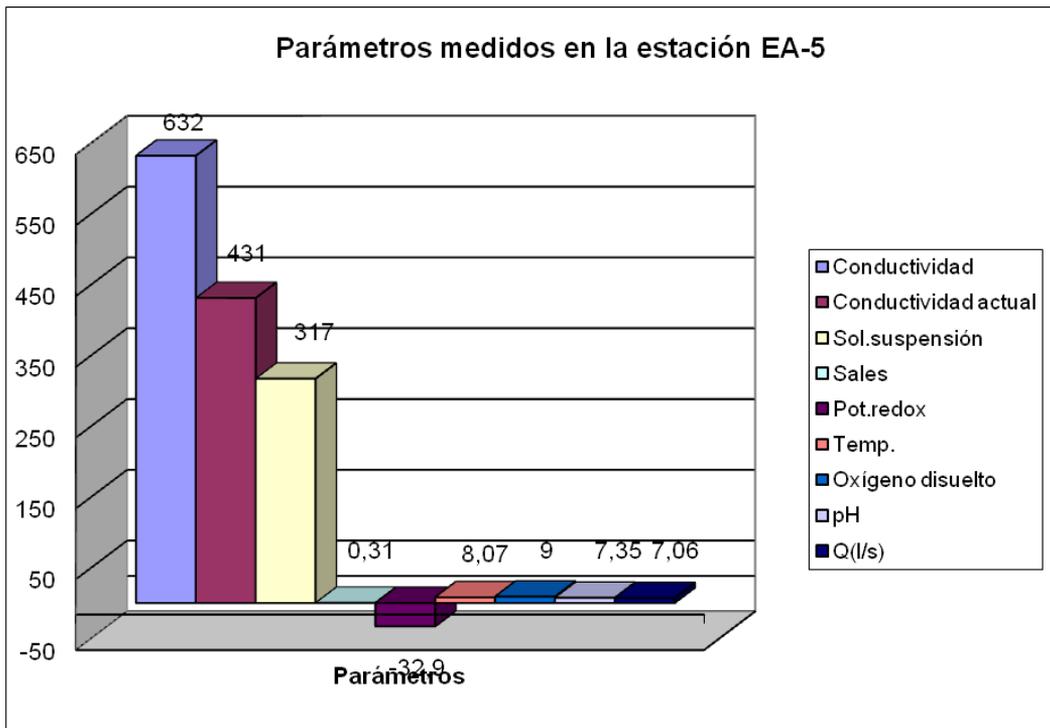


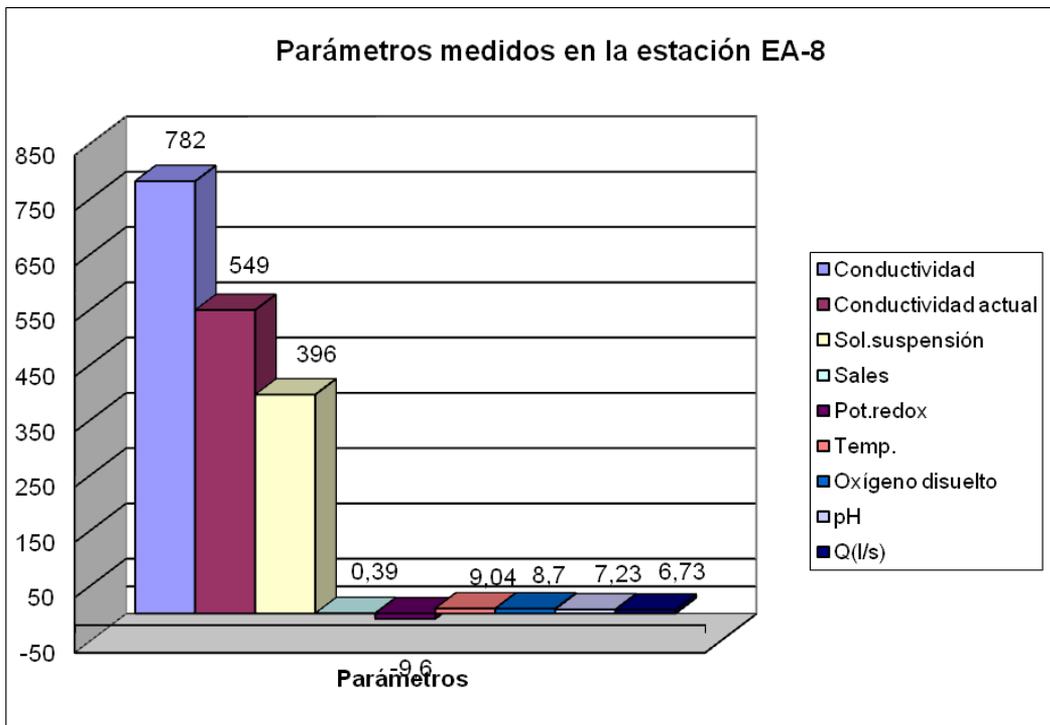
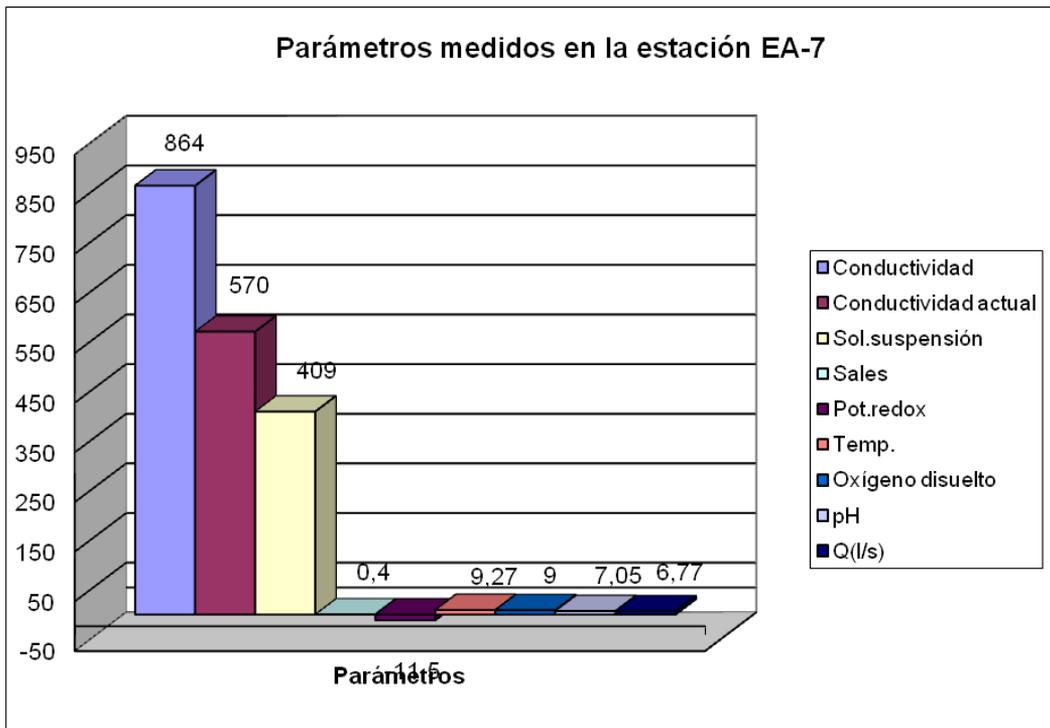
Parámetros medidos en la estación EA-3

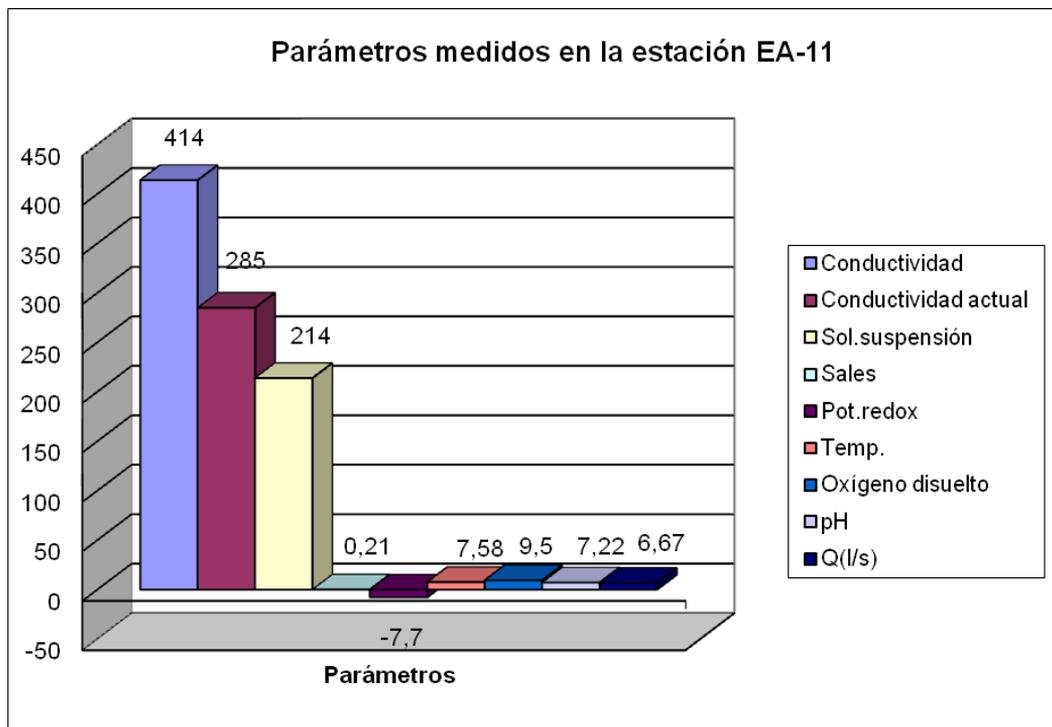
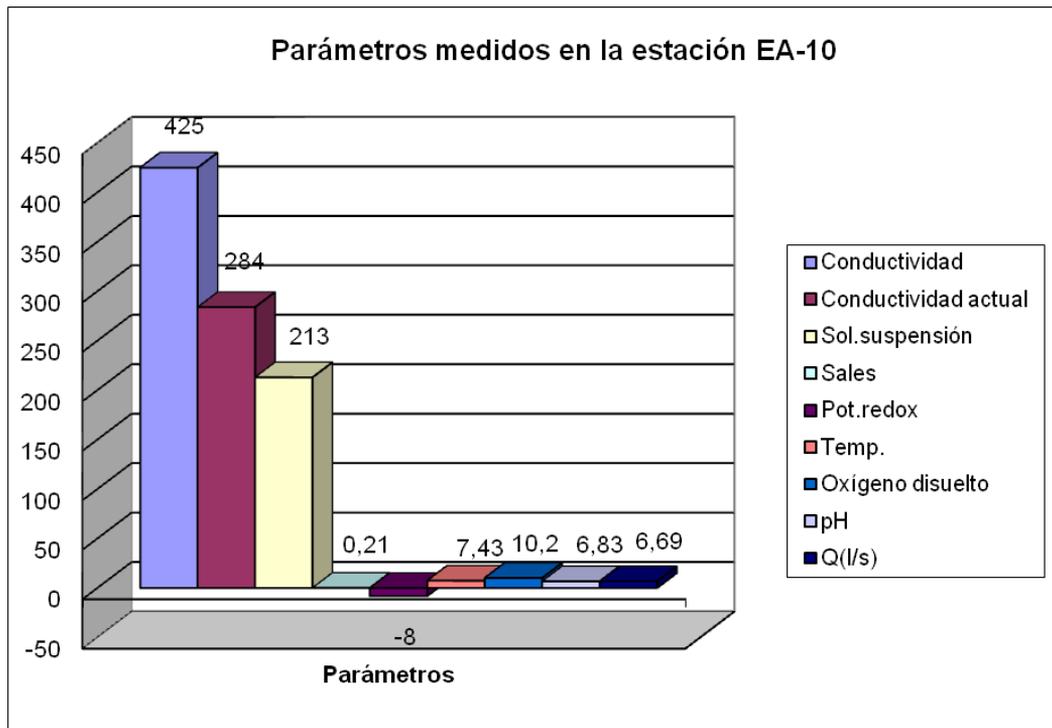


Parámetros medidos en la estación EA-4

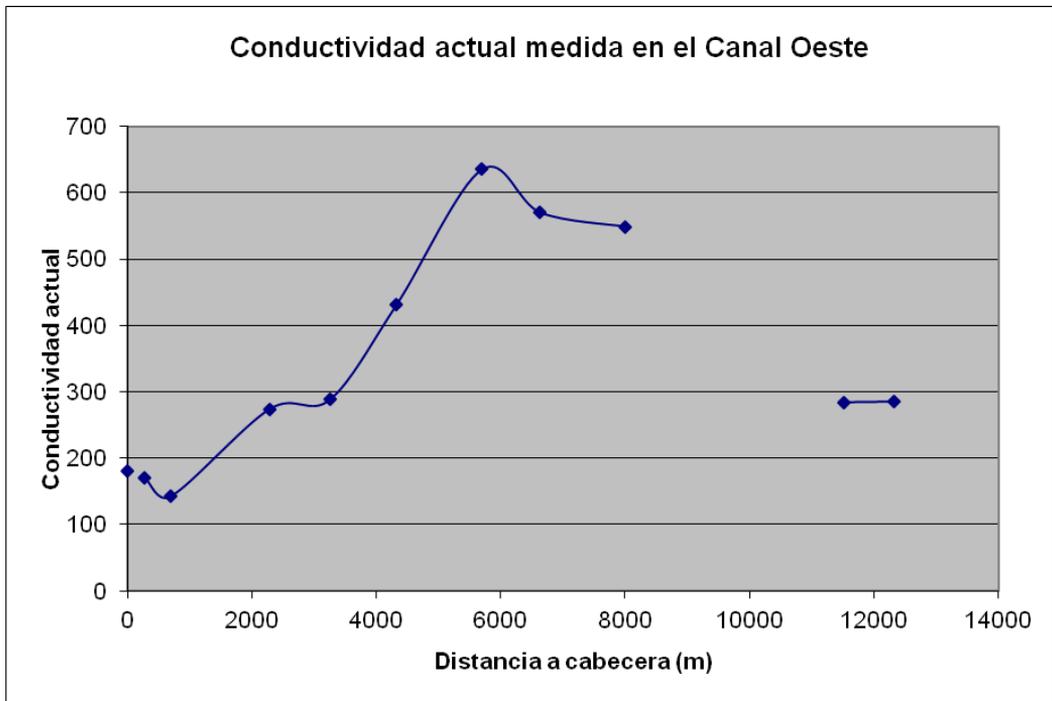
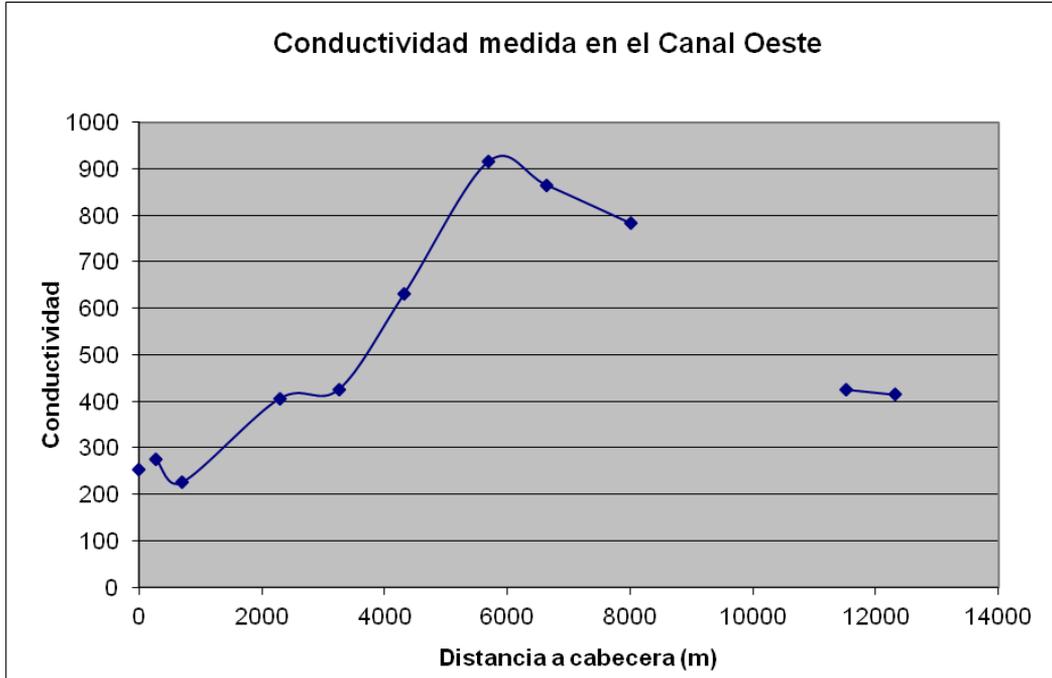


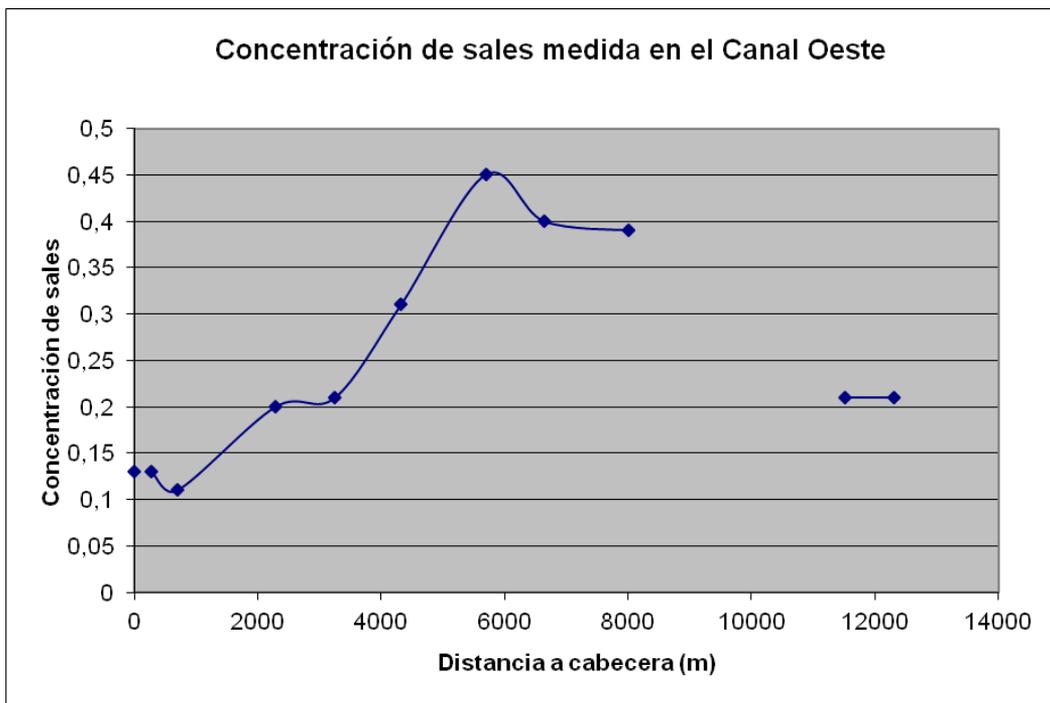
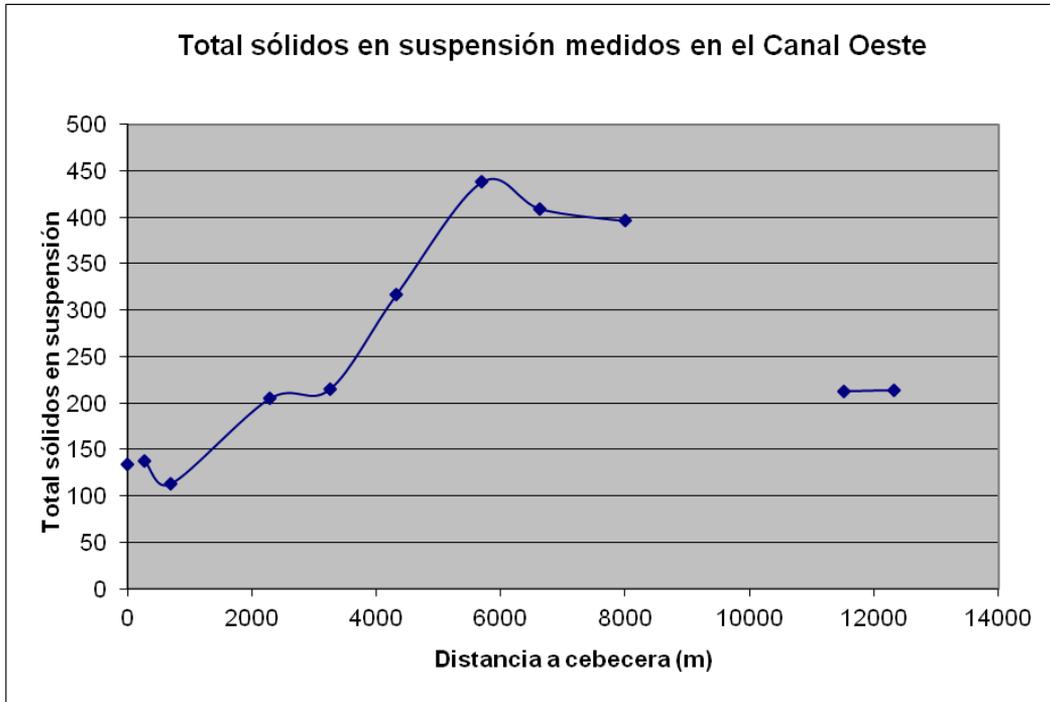


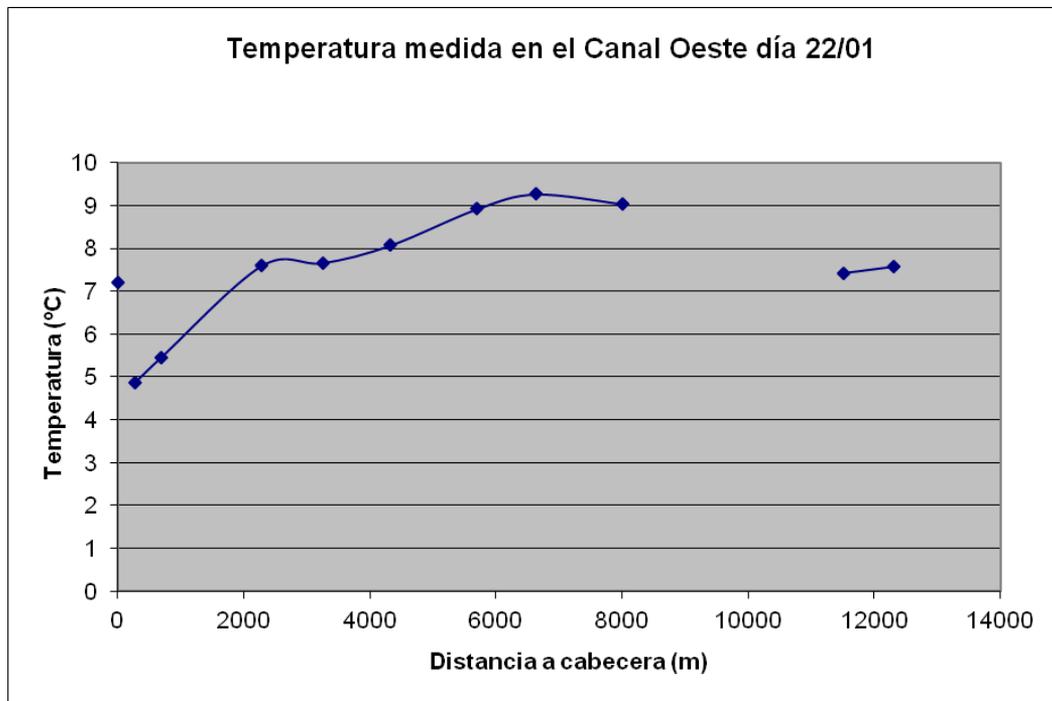
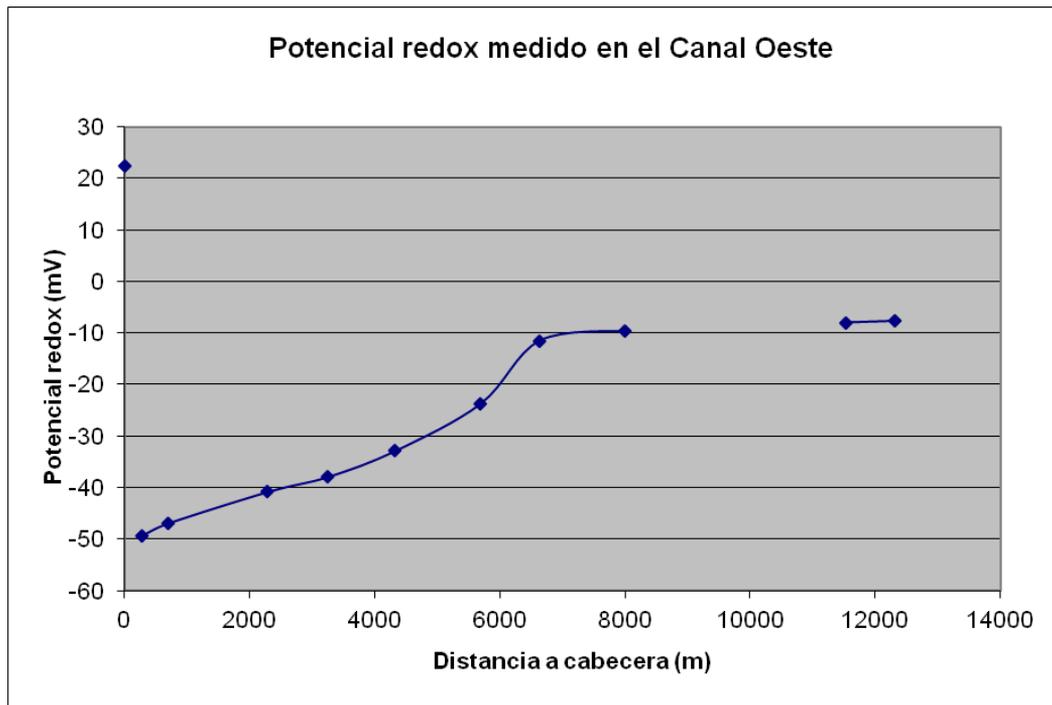


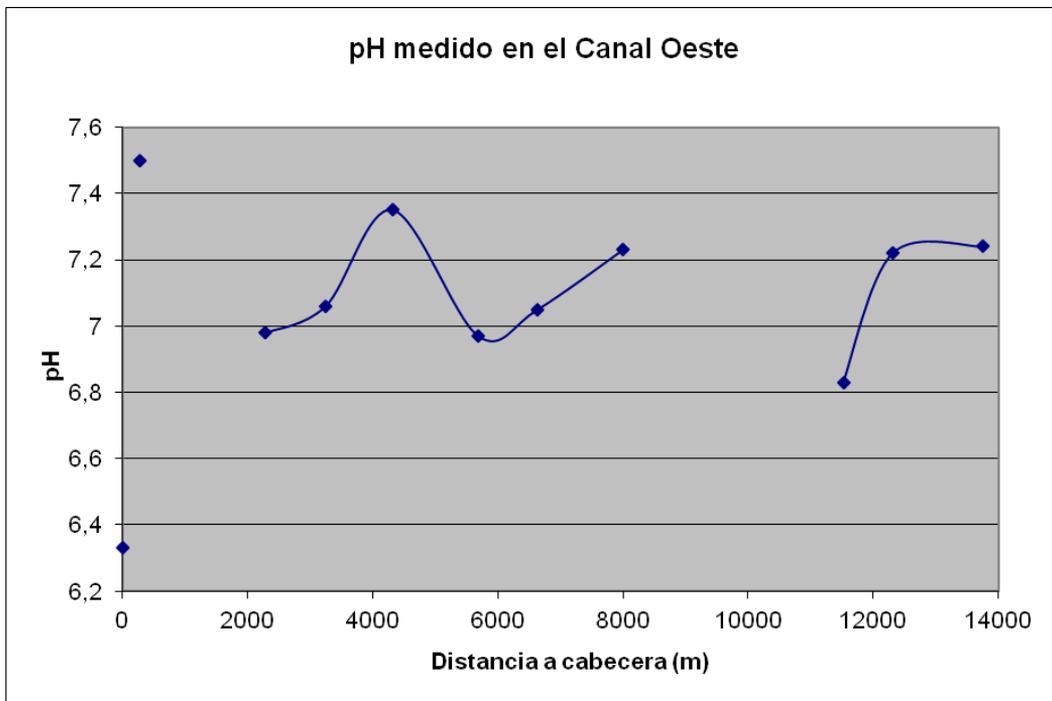
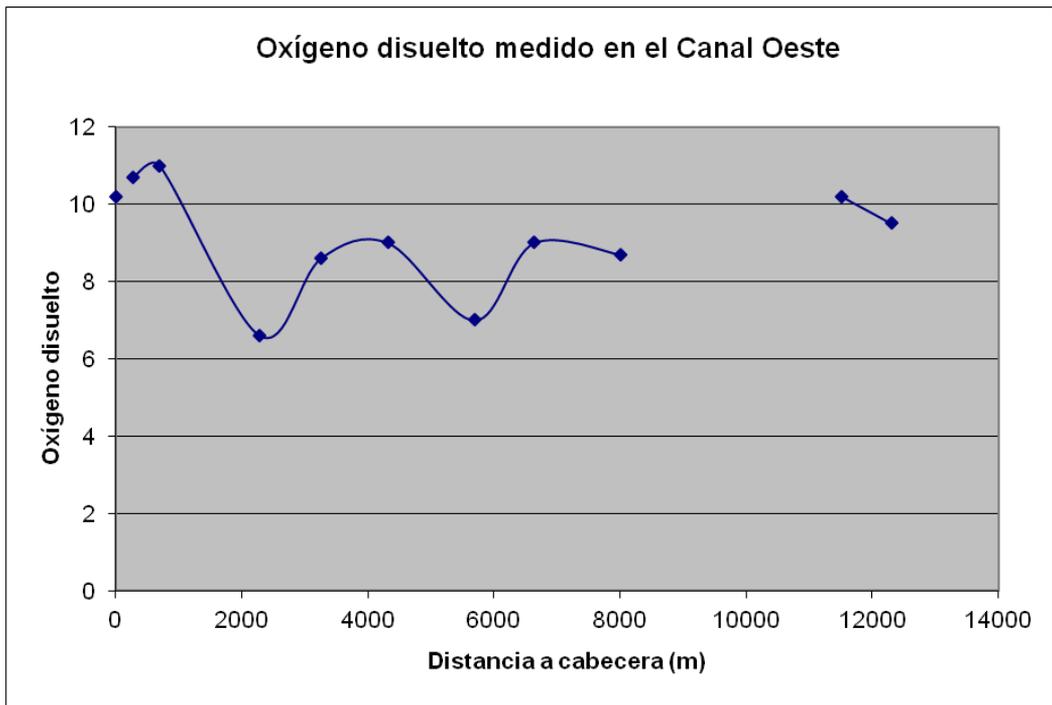


EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS INESTABLES A LO LARGO DEL CANAL OESTE (ESTACIONES EA)









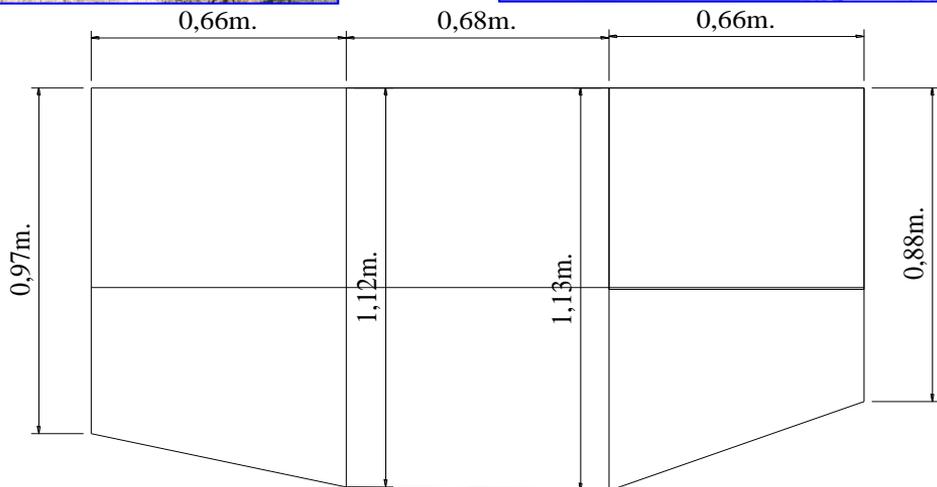
ANEXO 2.- CAUDALES

ANEJO 2.1.- CAUDALES CIRCULANTES POR EL CANAL

Los datos relativos a caudales derivados del río Voltoya hacia el dispositivo de recarga gestionada han sido incorporados a la memoria en el apartado 5-2. Las estaciones de medida, sus perfiles y cálculos han sido:

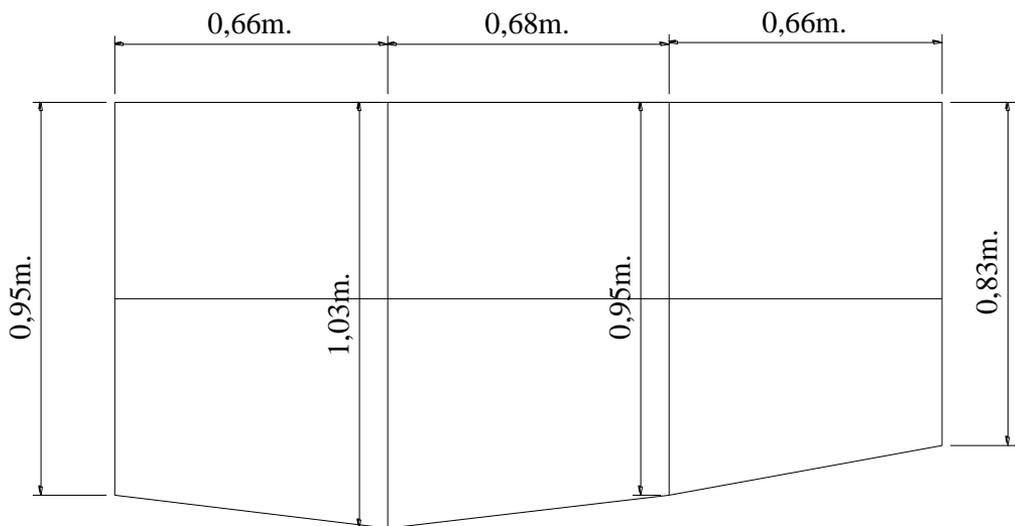
Figuras AX2-1 a) a i). Fotos y perfiles de las Estaciones de aforo en los canales de recarga gestionada.

ESTACIÓN 1 (369686 /4557696)



$$Q_{\text{TOTAL}} (1) = 591.52 \text{ l/s}$$

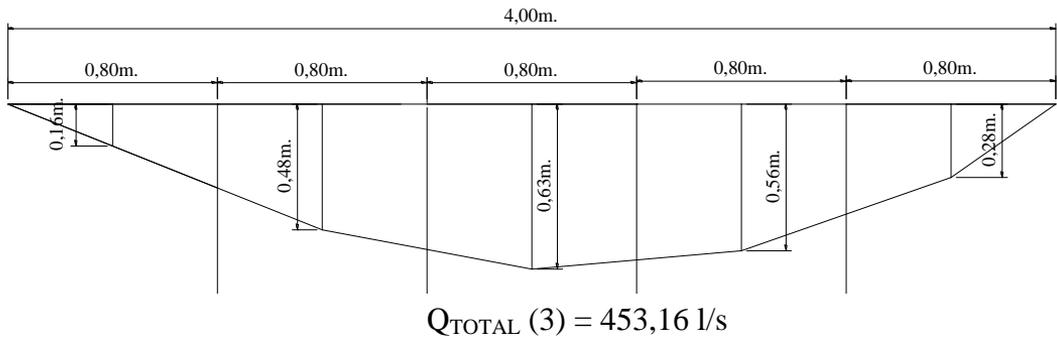
ESTACIÓN 2 (369566 /4558102)



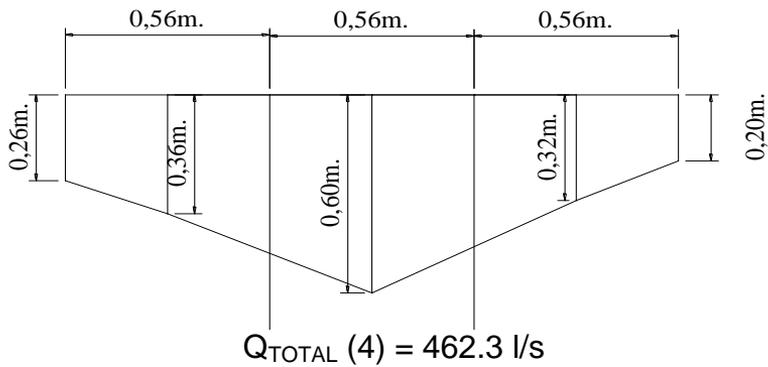
$$Q_{\text{TOTAL}} (2) = 544,12 \text{ l/s}$$

ESTACIÓN 3 (369490 /4559485)



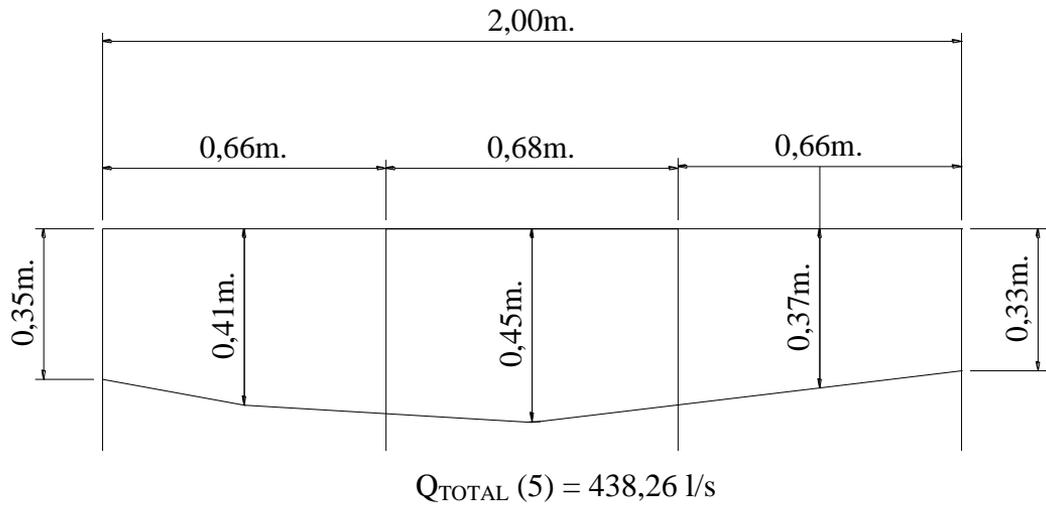


ESTACIÓN 4 (369069 /4560534)

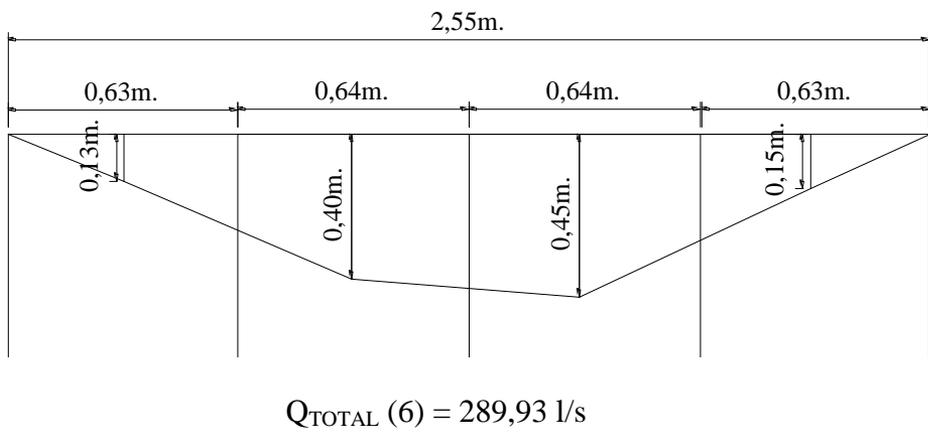


ESTACIÓN 5 (369234 /4561553)

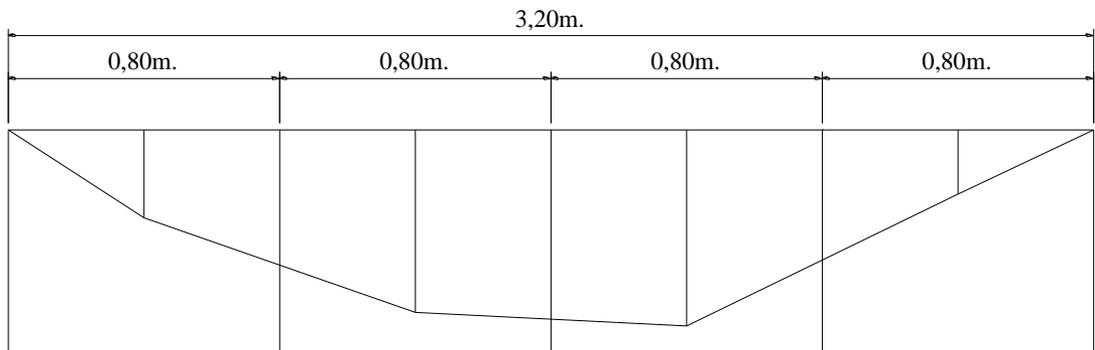




ESTACIÓN 6 (369371 /4562979)



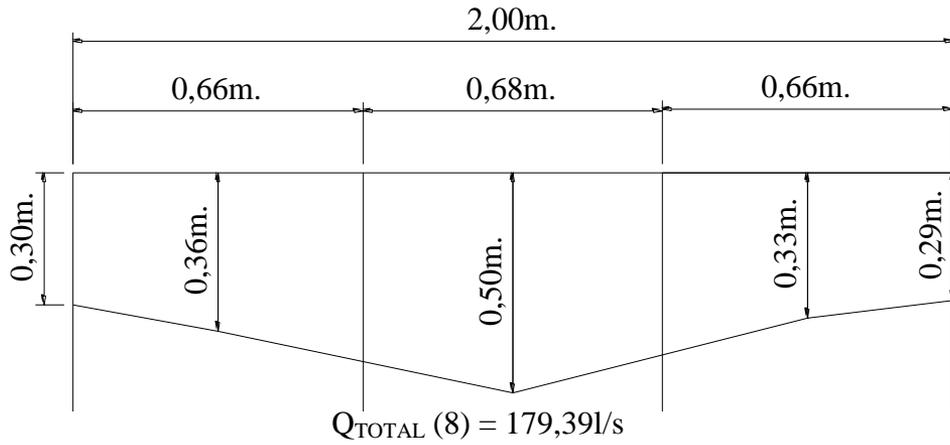
ESTACIÓN 7 (369282 /4563923)



$$Q_{\text{TOTAL}} (7) = 291,47 \text{ l/s}$$

ESTACIÓN 8 (368809 /4564981)





ESTACIÓN 9 (368551 /4566096)



		X	Y	Q (21/01/04)	Q (16/03/04)
1	HONGO	370013	4557343	334 (l/s)	243 (l/s)
2	CURVA	370020	4558189	246 (l/s)	193 (l/s)
3	SANCHON	369680	4560341	239 (l/s)	170 (l/s)
4	CARRETERA DE VILLAGONZALO	369622	4562578	240 (l/s)	164 (l/s)
5	CRUCE AVE SUR	369547	4563190	274 (l/s)	155 (l/s)
6	CARRETERA DE CIRUELOS	369342	4564562	181 (l/s)	102 (l/s)
7	PUNTO SIETE	368883	4566020	56 (l/s)	70 (l/s)

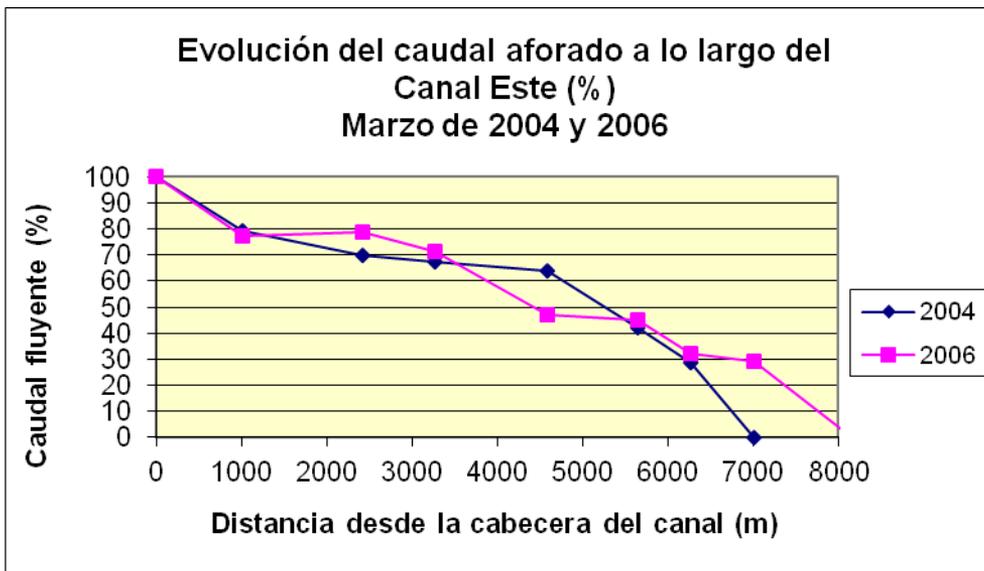
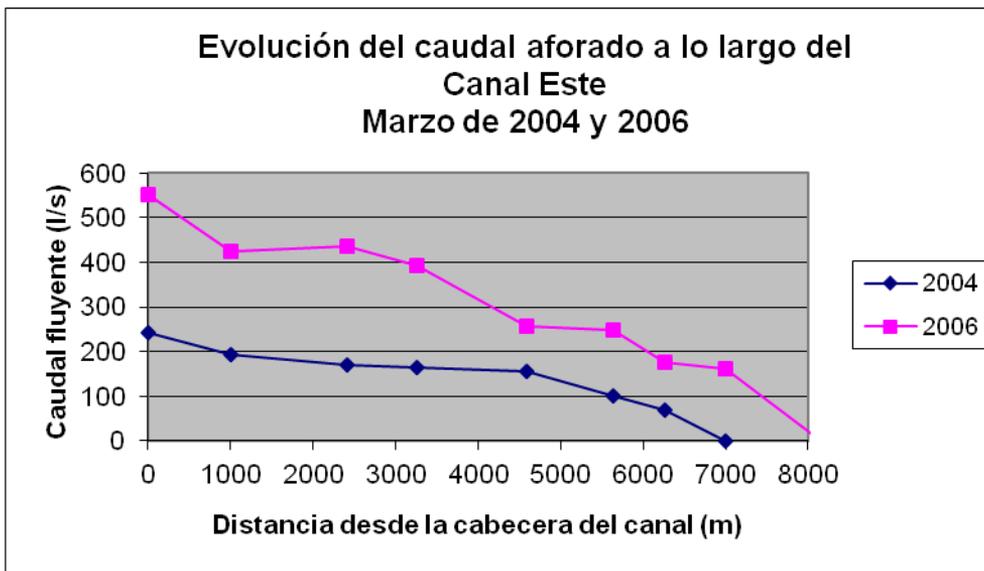
Tabla AX2-1. Posición de los puntos de aforo y caudales obtenidos en las campañas efectuadas durante el ciclo de recarga artificial 2003/04.

	Estación	X	Y	21/01/2004	16/03/2004	Media
1	HONGO	370013	4557343	100%	100%	100%
2	CURVA	370020	4558189	76,65 %	79,42 %	76,53 %
3	SANCHON	369680	4560341	71,55 %	69,95 %	70,75 %
4	CARRETERA DE VILLAGONZALO	369622	4562578	71,85 %	67,48 %	69,66 %
5	CRUCE AVE SUR	369547	4563190	82,03 %	63,78 %	72,5 %
6	CARRETERA DE CIRUELOS	369342	4564562	54,19 %	41,97%	48,08 %
7	PUNTO SIETE	368883	4566020	16,7 %	28,8 %	22,75 %

Tabla AX2-2. Porcentaje del caudal derivado por el dispositivo de recarga artificial, medido en las distintas estaciones de aforo.

N	Distancia (m)	I (m)	16/03/2004				11/03/2006			
			Q (l/s)	% Q (l/s)	ΔQ (l/s)	I (l/s/m ²)	Q (l/s)	% Q (l/s)	ΔQ (l/s)	I (l/s/m ²)
E 2004-1	0		243	100			551	100		
E 2004-2	1011	1011	193	79,42	20,58	0,0127	424,8	77,1	22,9	0,0126
E 2004-3	2419	1408	170	69,95	9,47	0,0042	434,7	78,9	-1,8	-0,0007
E 2004-4	3262	843	164	67,48	2,47	0,0018	392,9	71,3	7,6	0,0050
E 2004-5	4593	1331	155	63,78	3,7	0,0017	257,9	46,8	24,5	0,0102
E 2004-6	5641	1048	102	41,97	21,81	0,0130	247,4	44,9	1,9	0,0010
E 2004-7	6264	623	70	28,8	13,17	0,0132	176,3	32	12,9	0,0115
E 2004-8	7007	743	0	0	28,8	0,0242	160,3	29,1	2,9	0,0022
E 2006-9	8162	1155					0	0	29,1	0,0140

Tabla AX2-3. Resultados de las campañas de aforos diferenciales de marzo de 2004 y 2006.



Figuras AX2-2 a) y b). Variación del caudal fluyente y su porcentaje respecto al inicial en cabecera.

ANEXO 3.- DATOS METEOROLÓGICOS

ANEJO 3.1.- DATOS INFORIEGO

La totalidad de los datos meteorológicos de la Estación SG-02 de la red Inforiego es accesible mediante Internet a través de la dirección:

<http://www.inforiego.org/opencms/opencms/estaciones/listado/index.html>

Se ha realizado un tratamiento estadístico con la totalidad de los datos registrados desde el comienzo del año hidrológico 2002/03 hasta el final del 2011/12.

Los resultados se encuentran en las siguientes tablas:

AH	Temp. media	Temp. Máx.	Temp. mín.	Humedad med.	Humedad Máx.	Humedad mín.
dd/mm/aaaa	°C	°C	°C	%	%	%
ciclo 1	12,74	37,79	-10,29	67,05	98,40	8,61
ciclo 2	11,22	36,05	-9,55	68,66	97,70	7,40
ciclo 3	10,84	35,98	-13,85	64,04	100,00	6,66
ciclo 4	11,31	36,40	-13,45	66,56	96,10	8,88
ciclo 5	11,15	37,20	-13,18	69,52	97,70	7,53
ciclo 6	10,31	35,26	-12,78	69,61	97,50	8,49
ciclo 7	11,01	35,26	-14,06	64,85	95,90	8,81
ciclo 8	11,49	36,42	-12,71	70,67	100,00	8,95
ciclo 9	10,94	35,37	-19,79	68,87	99,50	6,66
ciclo 10	10,47	37,53	-11,82	65,19	100,00	7,20
media	11,16			67,52	89,29	40,78
total/ valor extremo		37,79	-19,79		100	6,66

Tabla AX3-1. Parámetros climáticos en los 10 ciclos de recarga.

AH	Vel. viento	Dir. viento	Vel. Max.	Dir. Vel. Max.	Radiación	Precipitación
dd/mm/aaaa	m/s	° (N=0°)	m/s	° (N=0°)	MJ/m ²	mm
ciclo 1	2,06	177,67	7,37	204,78	16,28	583,60
ciclo 2	2,01	163,01	7,23	203,36	16,93	405,20
ciclo 3	2,00	166,11	7,38	199,53	18,13	297,20
ciclo 4	1,90	170,25	7,02	200,25	17,93	475,00
ciclo 5	1,99	167,37	7,15	198,84	17,39	558,00
ciclo 6	1,79	172,29	6,61	212,21	17,85	510,40
ciclo 7	1,80	180,25	6,83	194,13	18,34	520,00
ciclo 8	2,03	168,75	7,30	189,27	15,66	470,00
ciclo 9	1,87	167,00	6,72	186,06	16,15	427,35
ciclo 10	1,99	184,11	7,19	210,25	16,92	360,35
media	1,94	171,60	7,08	199,82	17,16	460,71
total/valor extremo	2,06		7,37		18,13	4607,1

Tabla AX3-2. Tabla resumen de los datos meteorológicos relativos a viento, radiación solar y precipitación para los 10 ciclos de recarga gestionada.

Los datos extraídos de los distintos períodos durante los que se llevaba a cabo las labores de recarga gestionada han sido:

INICIO CICLO	FINAL CICLO	TEMP MEDIA CICLO	PREC. TOTAL CICLO
5-12-02 12:00	1-5-03 15:00	6,17	232,60
10/10/2003	30/04/2004	6,16	267,40
01/10/2004	30/04/2005	5,37	167,20
15/11/2005	01/04/2006	3,62	148,20
01/10/2006	30/04/2007	7,21	330,60
30-5-08 18:00	6-6-08 12:00	12,53	23,00
01/11/2008	30/04/2009	4,82	171,40
17-2-10 13:00	31/03/2010	6,06	66,20
22-2-11 11:00	30-4-11 22:00	9,08	92,40
01/11/2011	30/04/2012	13,86	1,00

Tabla AX3-3. Tabla resumen de los principales cálculos con datos meteorológicos para los 10 ciclos de recarga gestionada.

Como síntesis del tratamiento estadístico de los resultados, cabe mencionar que la temperatura media registrada en esta estación para la década de estudio ha sido de

11,16°C, con un valor máximo para el período de 37,79° C (3 de agosto de 2003) y mínimo de -14,06 (12 de enero de 2009).

La radiación solar media ha sido de 17,16 MJ/m², con un valor máximo de 34,97 el 28 de mayo de 2009.

La precipitación media ha sido de 460,71 mm al año. En la década cayeron 4.607, 1 l/m². El rango de precipitaciones ha oscilado entre 0 y 38 mm el 23 de junio de 2008.

La humedad media ha sido de 67,52%, con valores comprendidos entre los extremos 40,78 (17 de diciembre de 2010) y 89,29% el 27 de noviembre de 2003.

La velocidad del viento media es de 1,94 m/s, según una orientación de 171,6°. Las velocidades han estado comprendidas entre los valores extremos de 0 y 7,19 m/s el 4 de marzo de 2004.

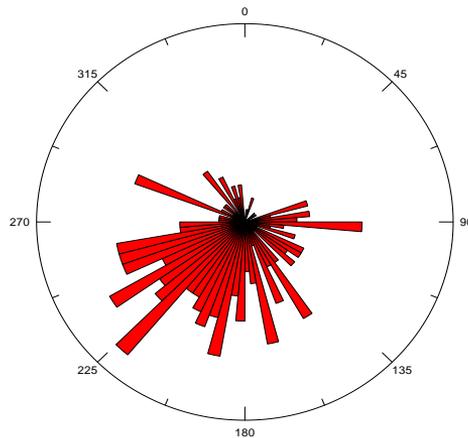


Figura AX3-1. Rosa de vientos de Santiuste

ANEXO 4.- ENSAYOS DE INFILTRACIÓN Y PERMEABILIDAD

Entre 1999 y 2006 se han ejecutado mediciones eventuales con infiltrómetro de doble anillo en zonas comunes para ver su evolución a lo largo del tiempo.

2003-04

Los cálculos de permeabilidad realizados en perforaciones son (Tabla AX4-1).

SONDEO	X	Y	Z	Prof. Muestra	K (Max)	K (estimada)	K (min)
SW-1	367419	4570177	763	9,9	86	59	7
SW-2	368686	4567906	771,1	2,4-2,6	8	4	1
SW-3	369306	4566315	778,7	13,8	64	50	3,4
SW-4	369787	4565325	780,9	13,7	86	59	7
SW-5	368958	4564189	782	6,4-6,6	35	8	5
SW-6a	370037	4564627	779,4	8,1	86	39	3,7
SW-6b	370037	4564627	779,4	14,5	56	36	7
SW-7	369337	4562450	786,6	3,4-3,6	57	43	25
SW-8	369475	4559082	798,3	12,1	19	8	6
SW-9	369662	4560253	790,8	2,4	86	51	5
SW-10	370474	4556999	803,8	14,5	150	53	5,5
SW-11	370648	4560956	791,9	7,2	20	8	2,5
SW-12	367529	4569305	766,2	12,4-12,5	15	6	1,5
SW-13	369979	4558559	798,3	8,4-9	65	50	8
SW-14	371224	4564445	782,2	4,8-5	<0,008	<0,008	<<0,008
SW-15a	370689	4561876	789,1	7,4-7,5	4,3	3	0,1
SW-15b	370689	4561876	789,1	7,8-8,4	43	35	8
SW-15c	370689	4561876	789,1	17,4-18	<0,008	<0,008	<<0,008
P-1	368629	4565382	777,1	3-3,1	86	40	4,3

Tabla AX4-1. Parámetros hidráulicos resultantes de aplicar el método de las curvas de Breddin a las muestras obtenidas en perforaciones.

Otros ensayos hidráulicos de permeabilidad se han realizado bajo carga constante.

PUNTO	X	Y	Z	PROF.	COTA	PERMEABILIDAD (cm/s)	PERMEABILIDAD (m/día)
SW-2	368686	4567906	771,1	3-3,6 m	767,5 - 768,1 m	2,68 e-5	0,0231552
SW-2	368686	4567906	771,1	5,4-6 m	765,1 - 765,7 m	5,95 e-5	0,051408
SW-13	369979	4558559	798,3	8,4-9 m	789,3 - 789,9 m	2,45 e-5	0,021168
SW-14	371224	4564445	782,2	6-6,6 m	775,6 - 776,2 m	1,3 e-5	0,011232
SW-15	370689	4561876	789,1	7,8-8,4 m	780,7 - 781,3 m	1,54 e-5	0,0133056

Tabla AX4-2. Datos hidráulicos resultantes de los ensayos empleando un permeámetro triaxial sobre muestras de perforaciones seleccionadas.

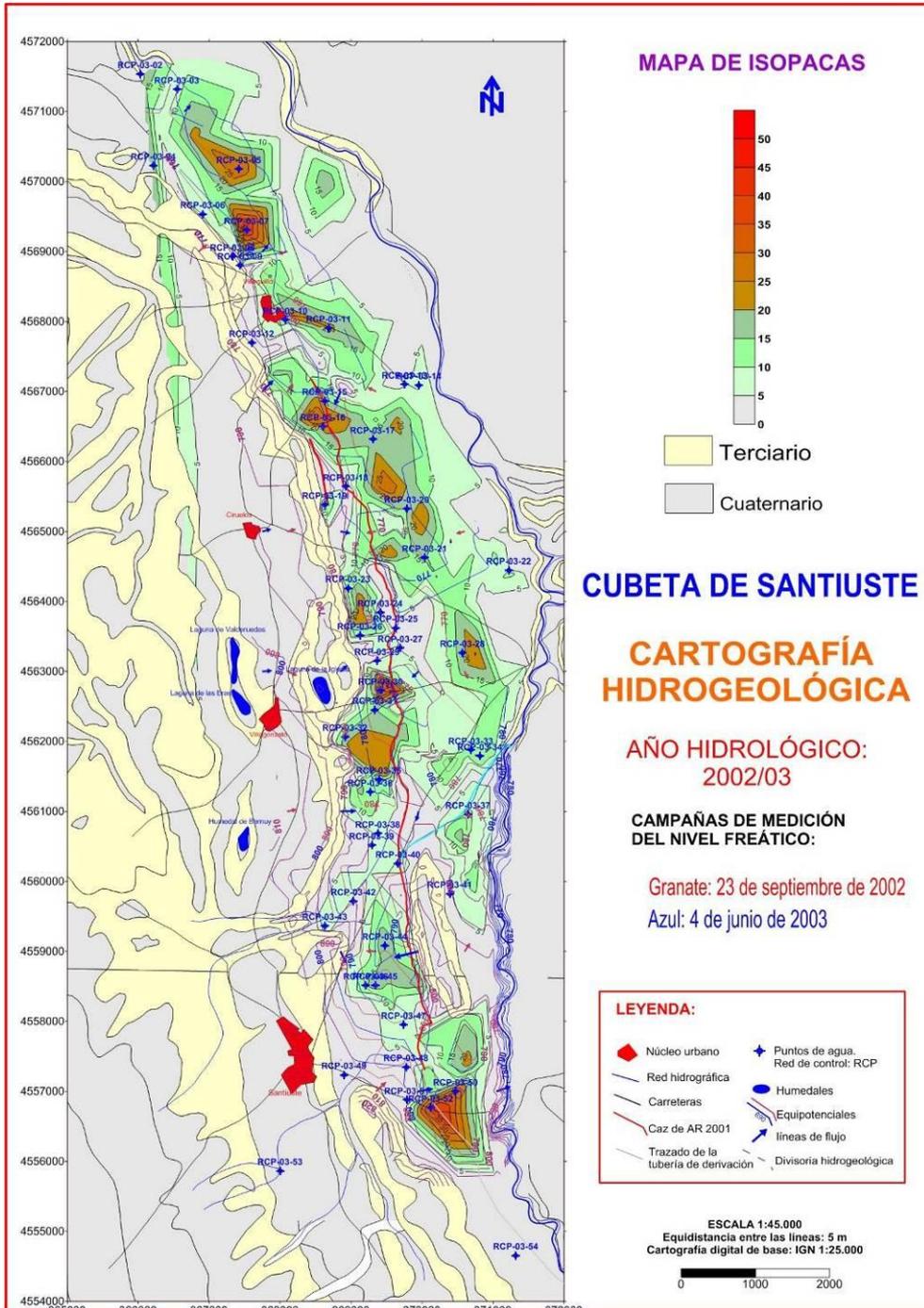
2007-08 y 2008-09

Desde 2007 hasta la actualidad se llevan a cabo campañas de medidas en puntos comunes. Los ensayos han tenido una duración entre una y seis horas, hasta conseguir la estabilización. Los resultados de las interpretaciones figuran en la tabla AX4-3.

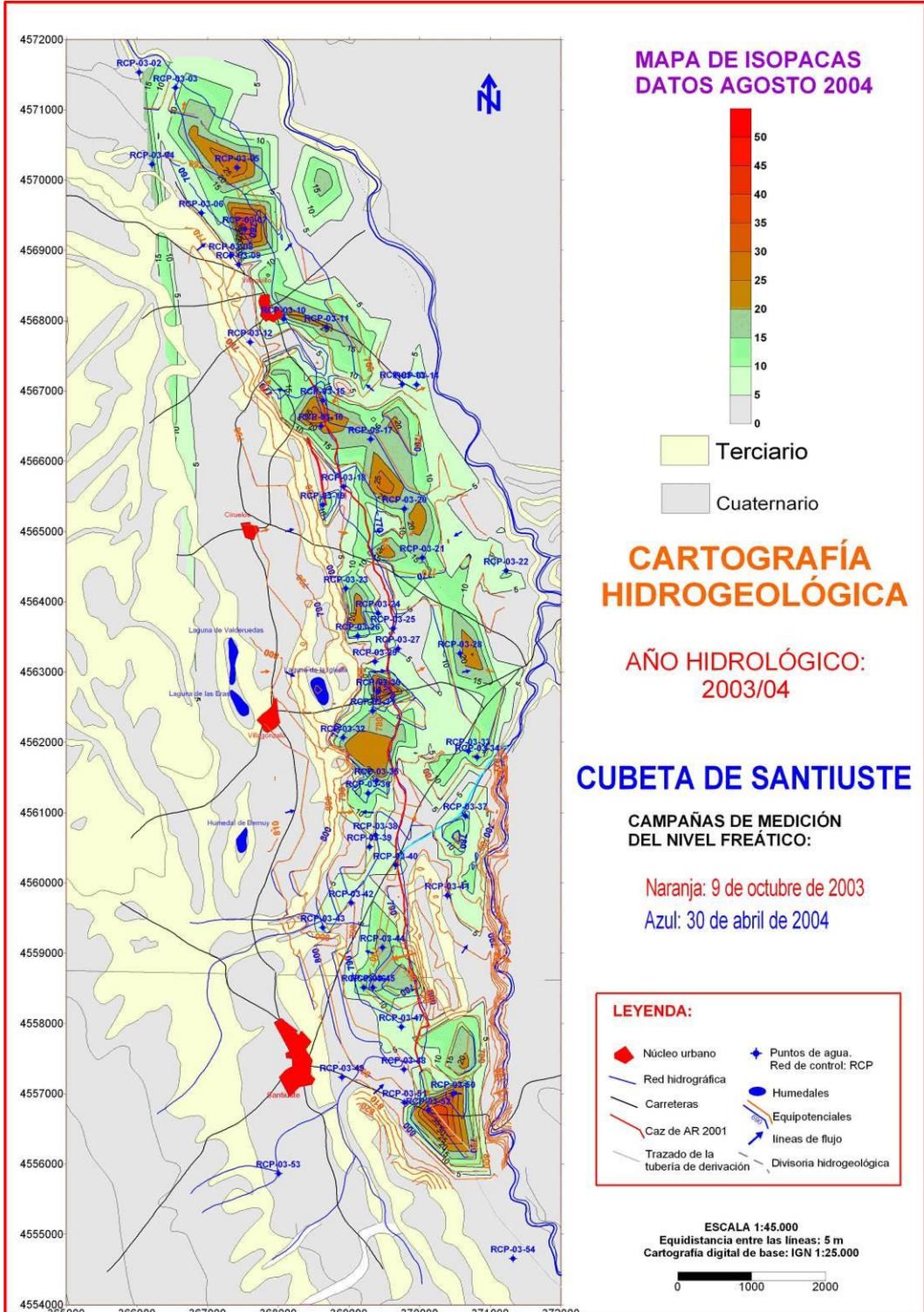
ESTACION	Coordenadas UTM X/Y	2007		2008	
		Duración del Ensayo (h)	Tasa de Infiltración (mm/h)	Duración del Ensayo (h)	Tasa de Infiltración (mm/h)
IN-0 Arenas	370030 / 4557343	4,15	2500	1,73	95
IN-0 Arcillas	370030 / 4557343	4,08	100		
IN-1	369709 / 4557552	3	130	1,43	22
IN-2	369591 / 4558033	2,03	250		
IN-3	369440 / 4558646				
IN-4	369479 / 4559499	3	1200		
IN-5	369069 / 4560539	2,3	27		
IN-6	369082 / 4560529				
IN-7	369361 / 4562908				
IN-8	369359 / 4563856	3,08	1300		
IN-9	368695 / 4565342	2,33	250		
IN-10	369502 / 4557107	0,75	65		
IN-11	368101 / 4568009	1,33	950	2,61	125
IV-1	370016 / 4558087	2,28	200		
IV-2	369774 / 4559504				
IV-3	369665 / 4560328				
IV-4	369614 / 4561614				
IV-5	369627 / 4562577	1	5	1,5	140
IV-6	369547 / 4563167				
IV-7	369351 / 4564574				
IV-8	368811 / 4566008				

Tabla AX4-3. Determinaciones de la tasa de infiltración mediante infiltrómetro de doble anillo.

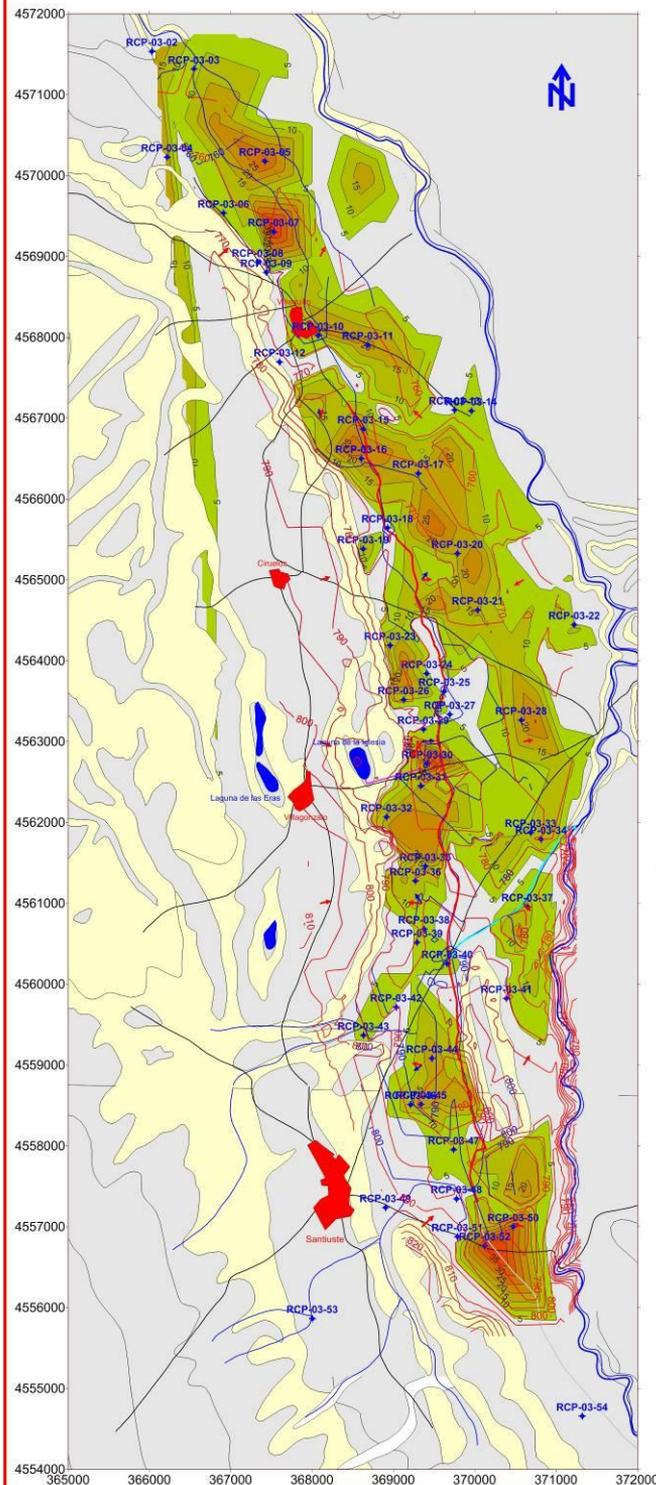
ANEXO 5.- CARTOGRAFÍAS HIDROGEOLÓGICAS PARA CADA CICLO DE RECARGA GESTIONADA AÑO HIDROLÓGICO 2002-03



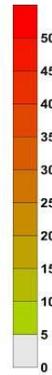
AÑO HIDROLÓGICO 2003-04



ÑO HIDROLÓGICO 2004-05



MAPA DE ISOPACAS DATOS AGOSTO 2004



Terciario
Cuaternario

CARTOGRAFÍA HIDROGEOLOGICA

AÑO HIDROLÓGICO:
2004/05

CUBETA DE SANTIUSTE

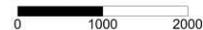
CAMPAÑAS DE MEDICIÓN
DEL NIVEL FREÁTICO:

Rojo: 13 de octubre de 2004
Azul: 13 de mayo de 2005

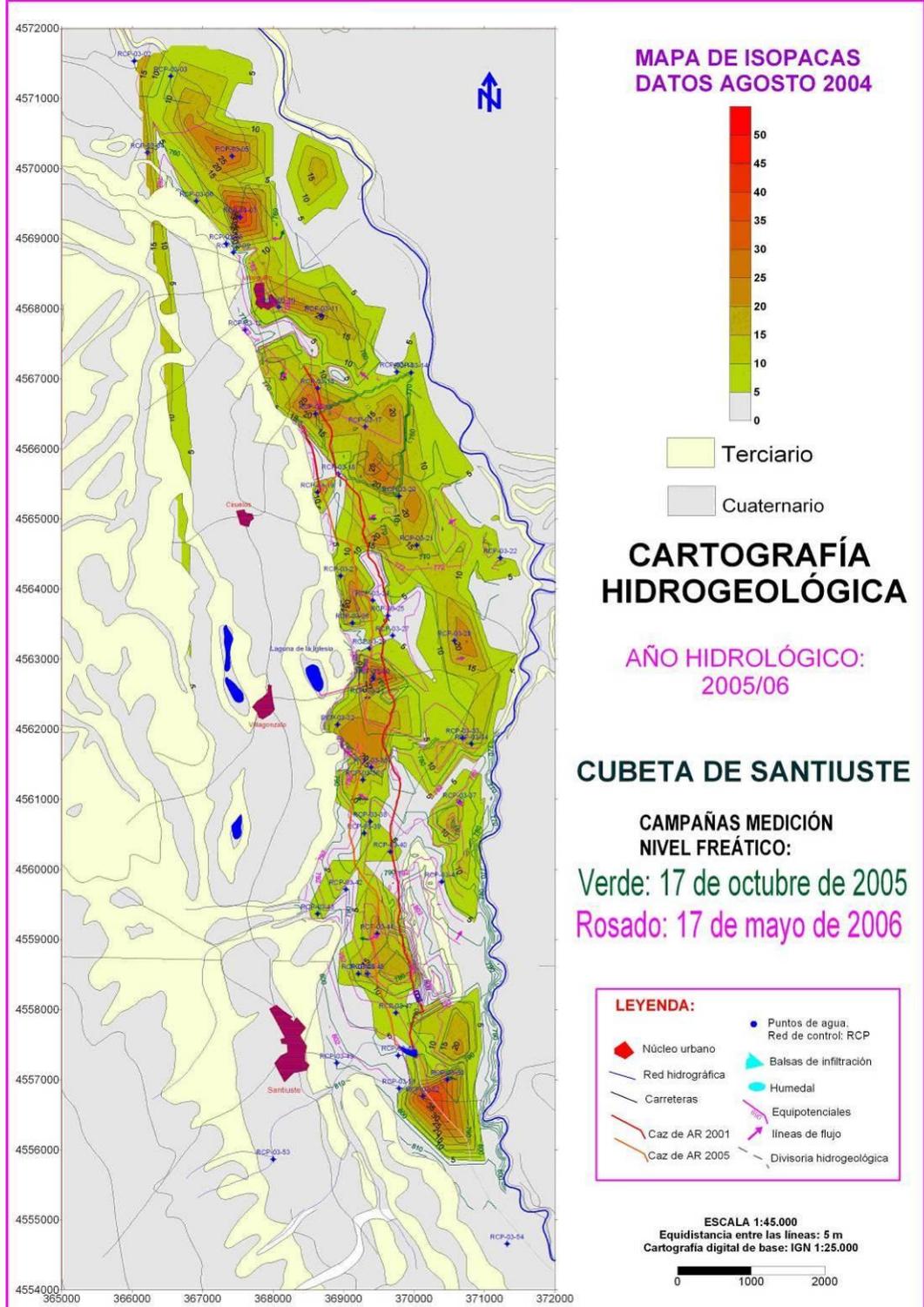
LEYENDA:

- Núcleo urbano
- Puntos de agua. Red de control: RCP
- Red hidrográfica
- Humedales
- Carreteras
- Caz de AR 2001
- Equipotenciales
- Trazado de la tubería de derivación
- líneas de flujo
- Divisoria hidrogeológica

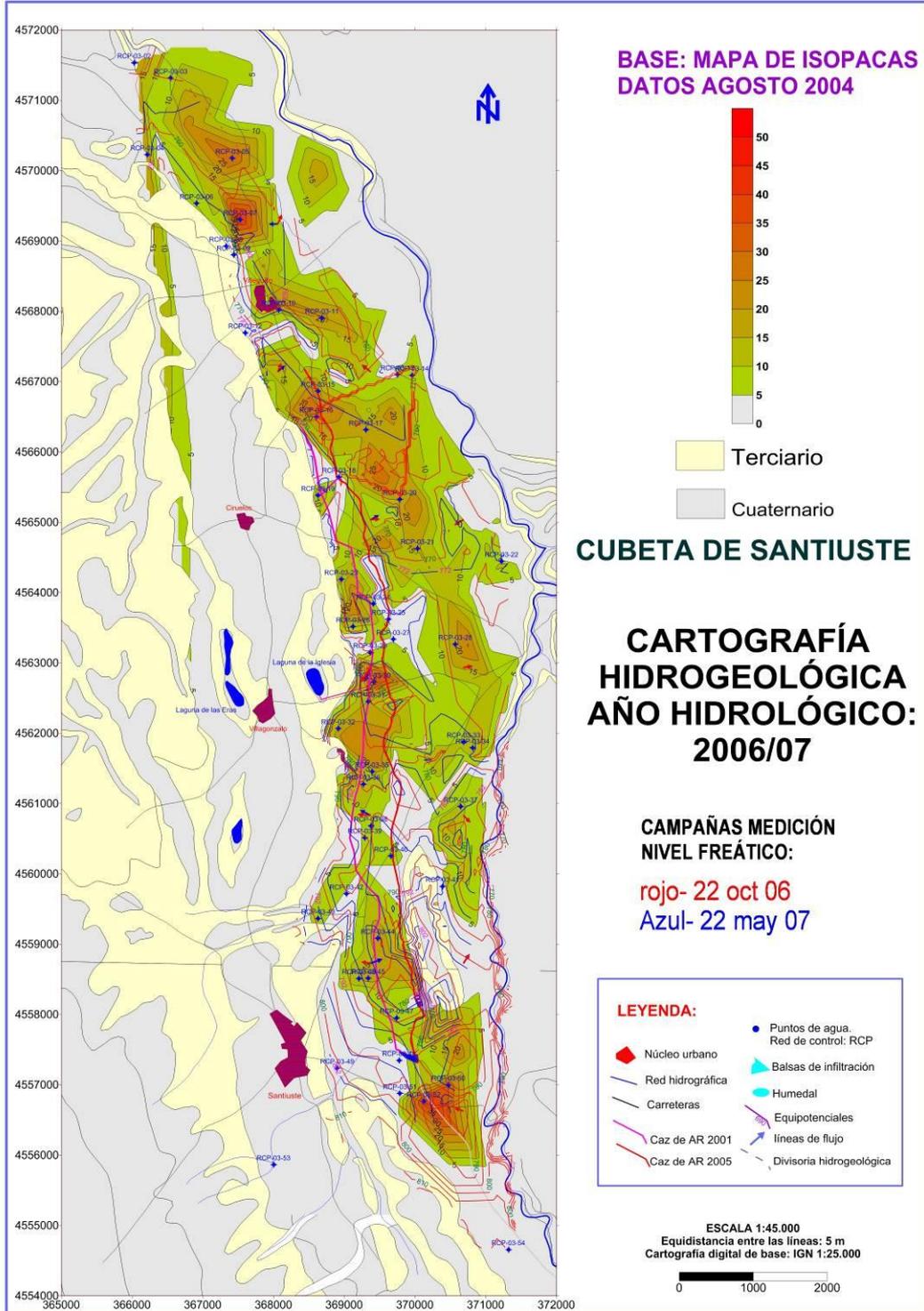
ESCALA 1:45.000
Equidistancia entre las líneas: 5 m
Cartografía digital de base: IGN 1:25.000



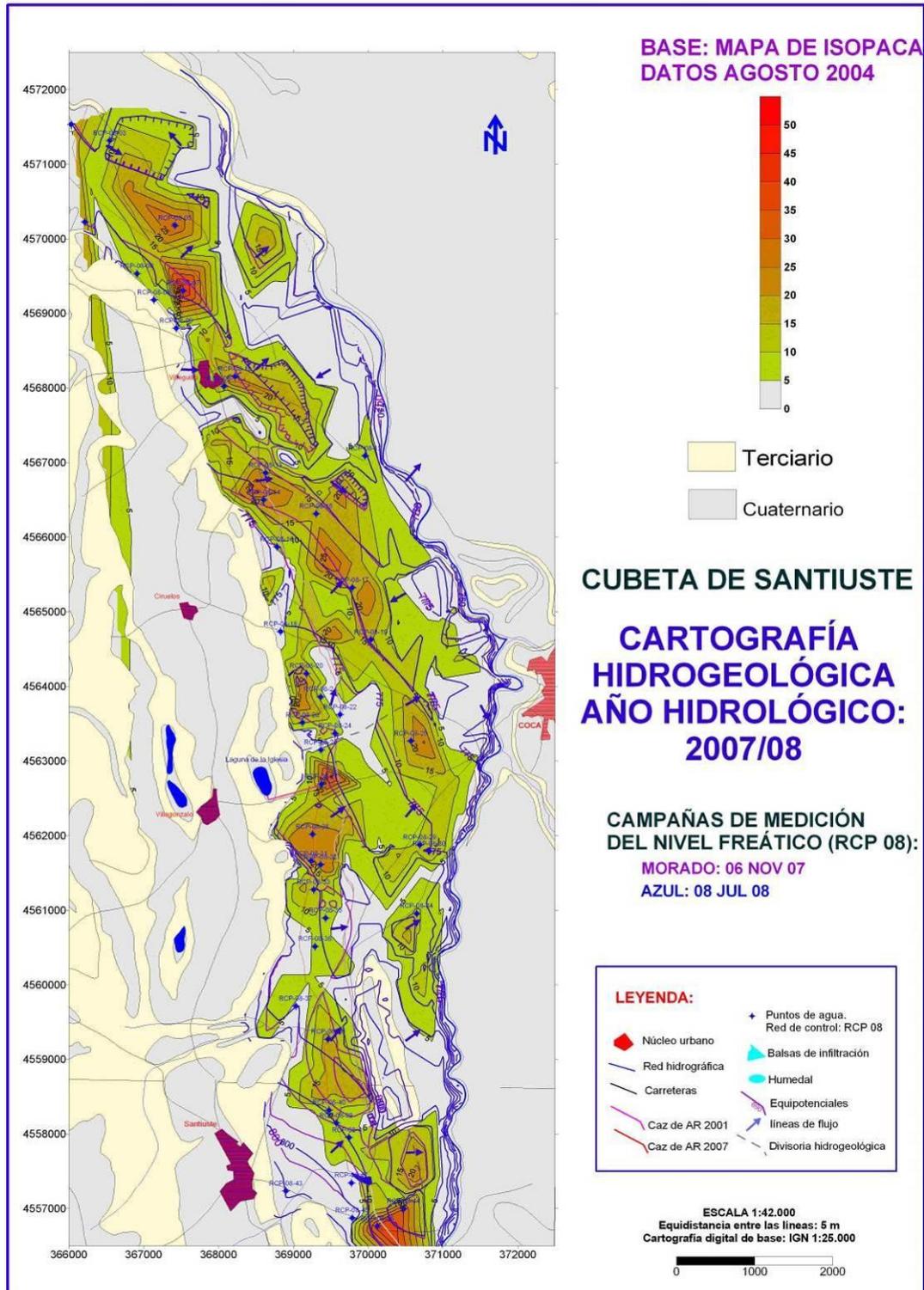
AÑO HIDROLÓGICO 2005-06



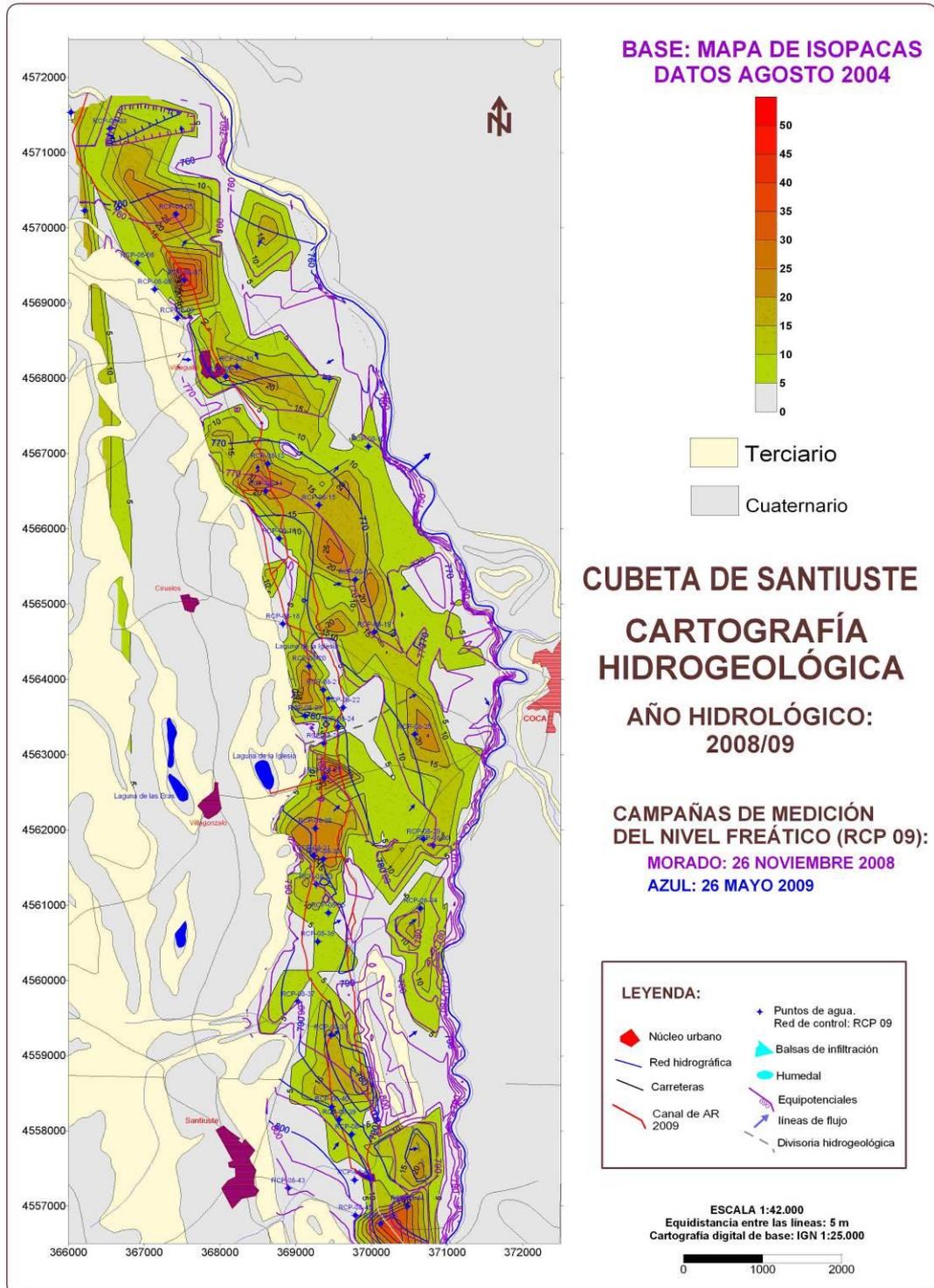
AÑO HIDROLÓGICO 2006-07



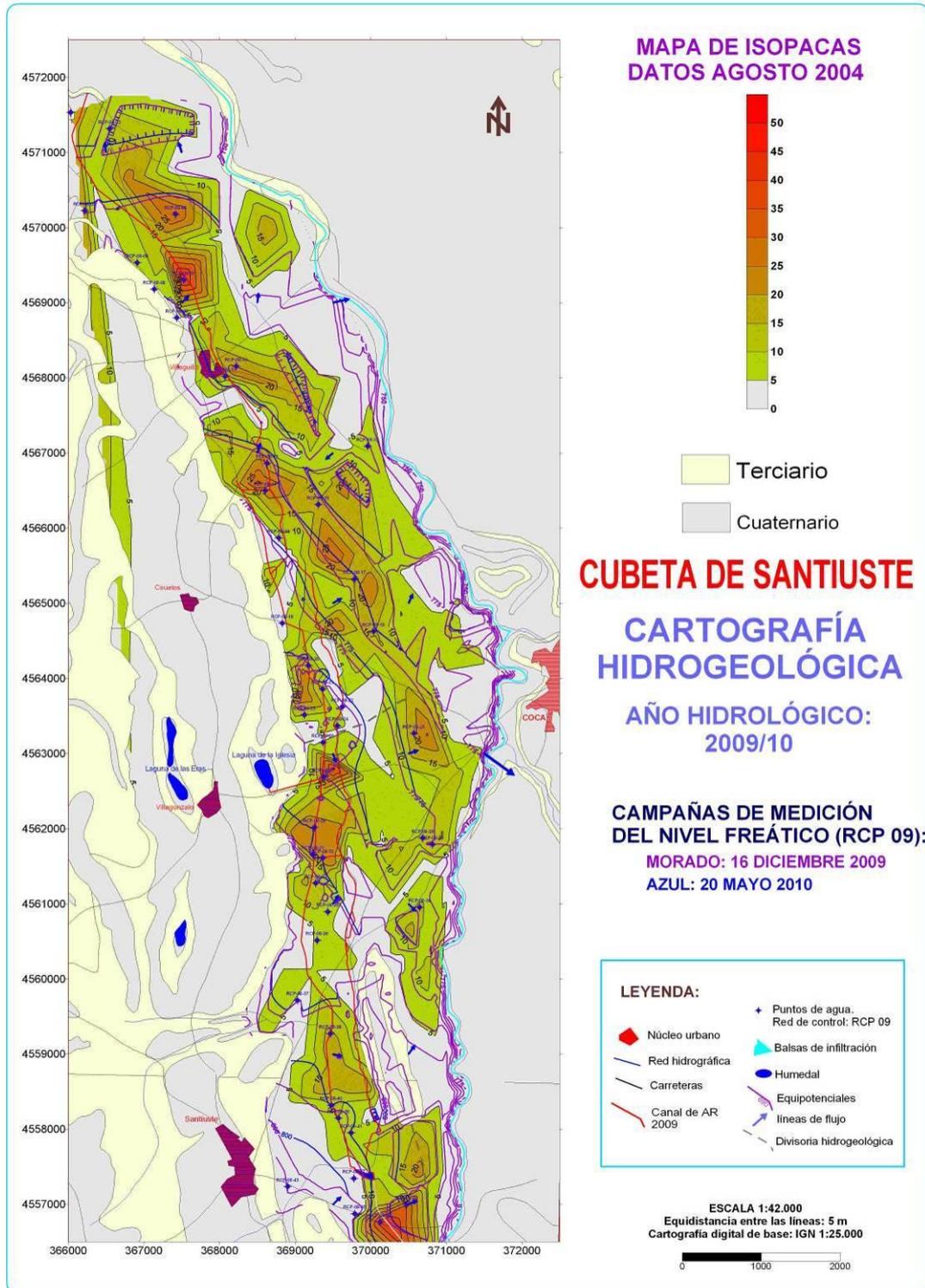
AÑO HIDROLÓGICO 2007-08



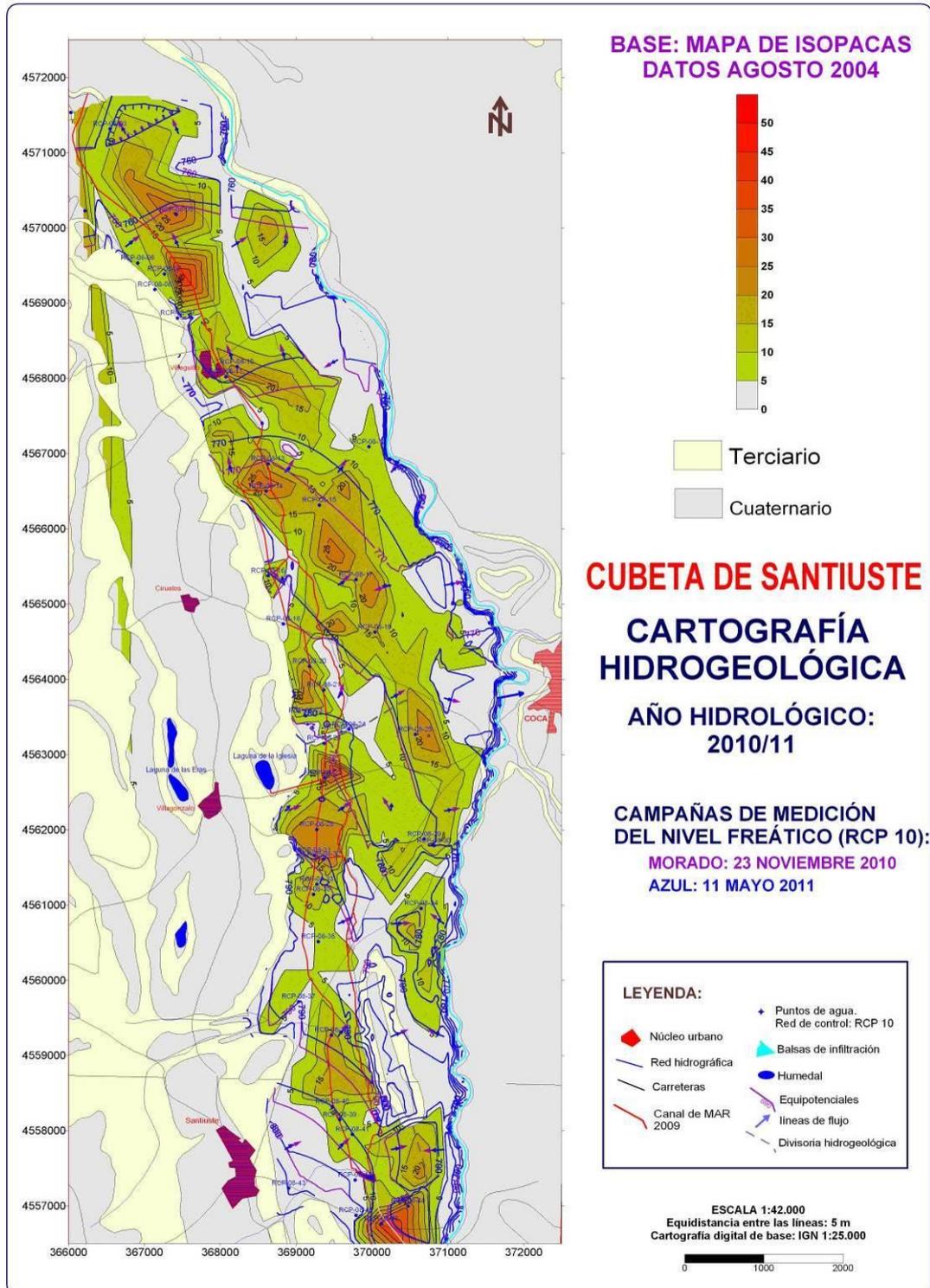
AÑO HIDROLÓGICO 2008-09



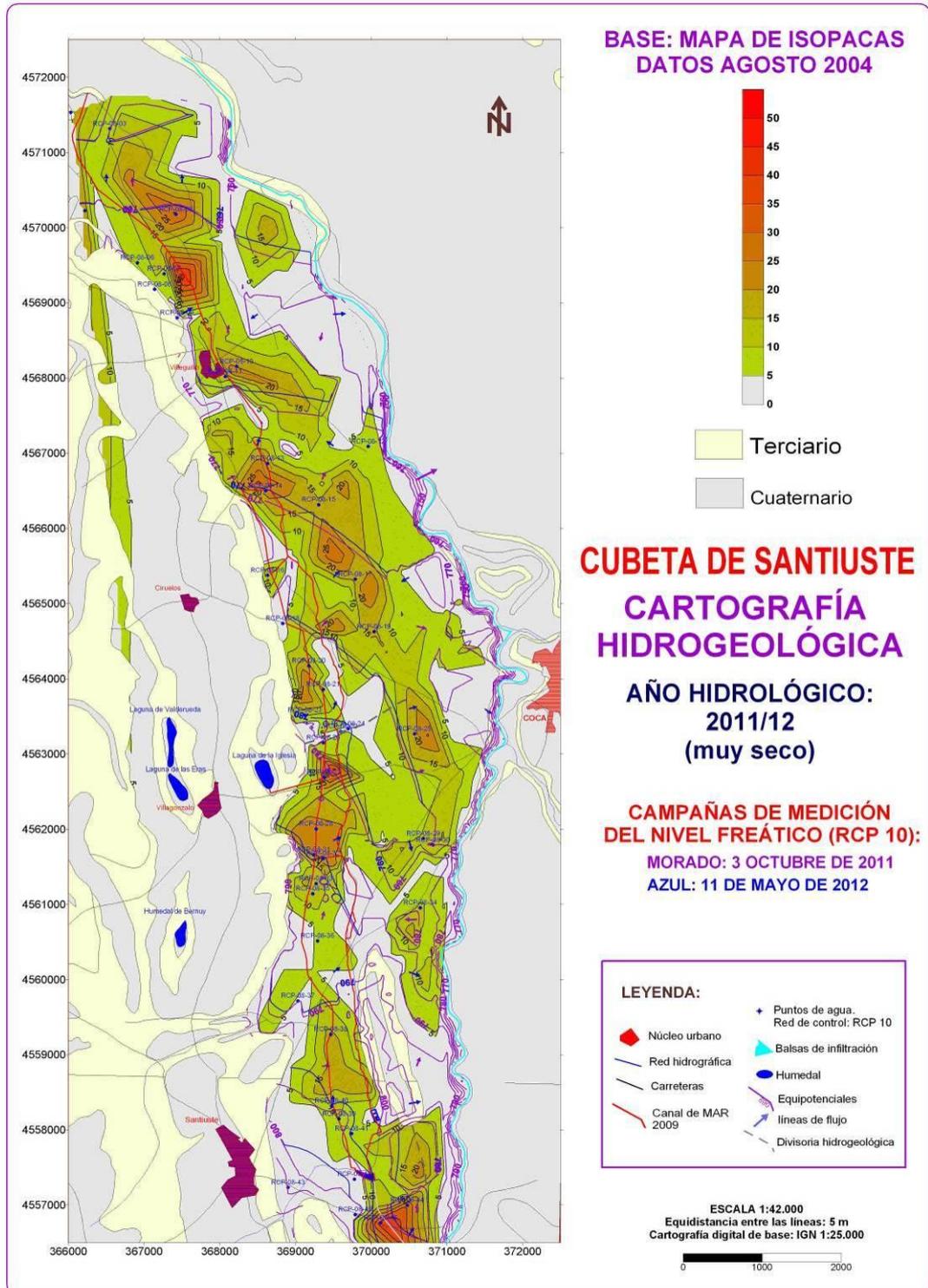
AÑO HIDROLÓGICO 2009-10



AÑO HIDROLÓGICO 2010-11



AÑO HIDROLÓGICO 2011-12

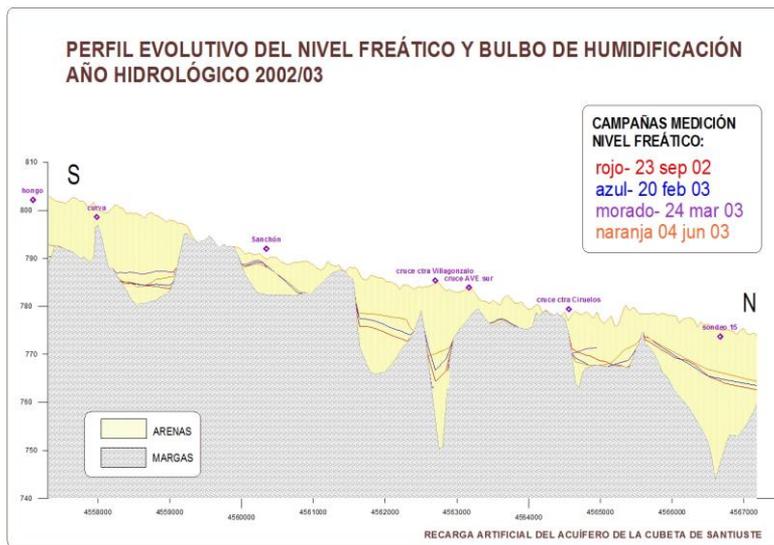


ANEXO 6.- PERFILES HIDROGEOLÓGICOS PARA CADA CICLO DE RECARGA GESTIONADA

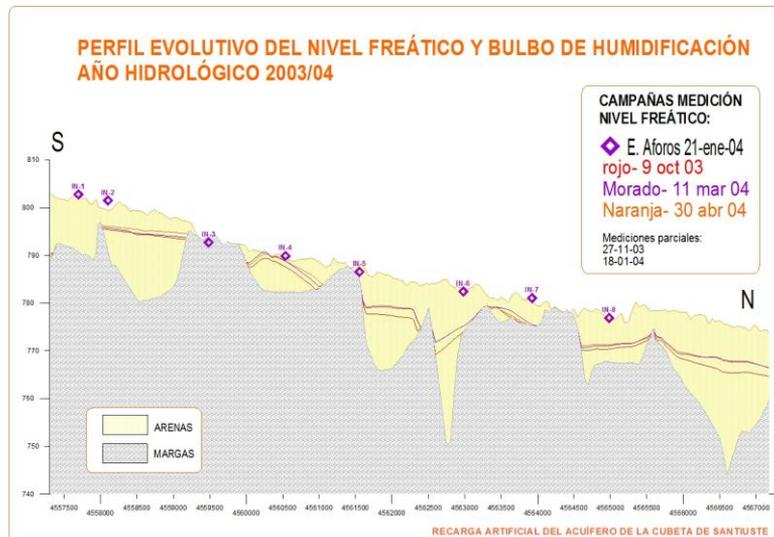
Perfiles a lo largo de los canales de recarga levantados conforme a la reinterpretación con los datos de las campañas de prospección geofísica.

Figuras AX6-1 a) a j). Perfiles a lo largo de los canales de recarga trazados conforme a la reinterpretación con nuevos datos de la prospección geofísica.

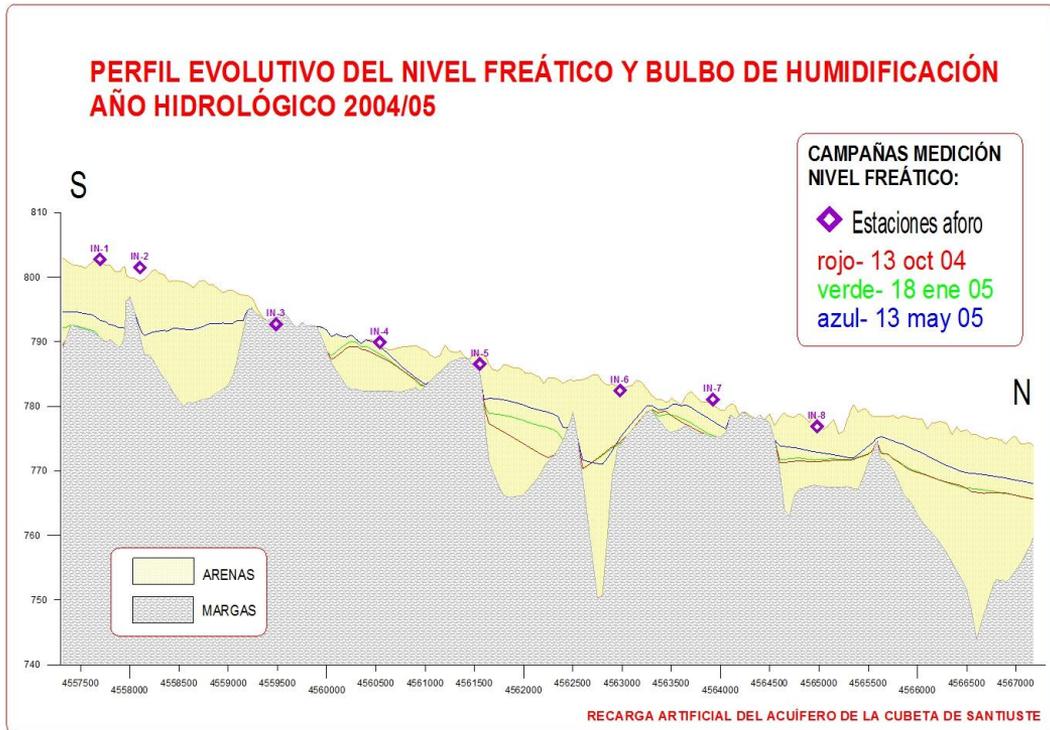
2002-03



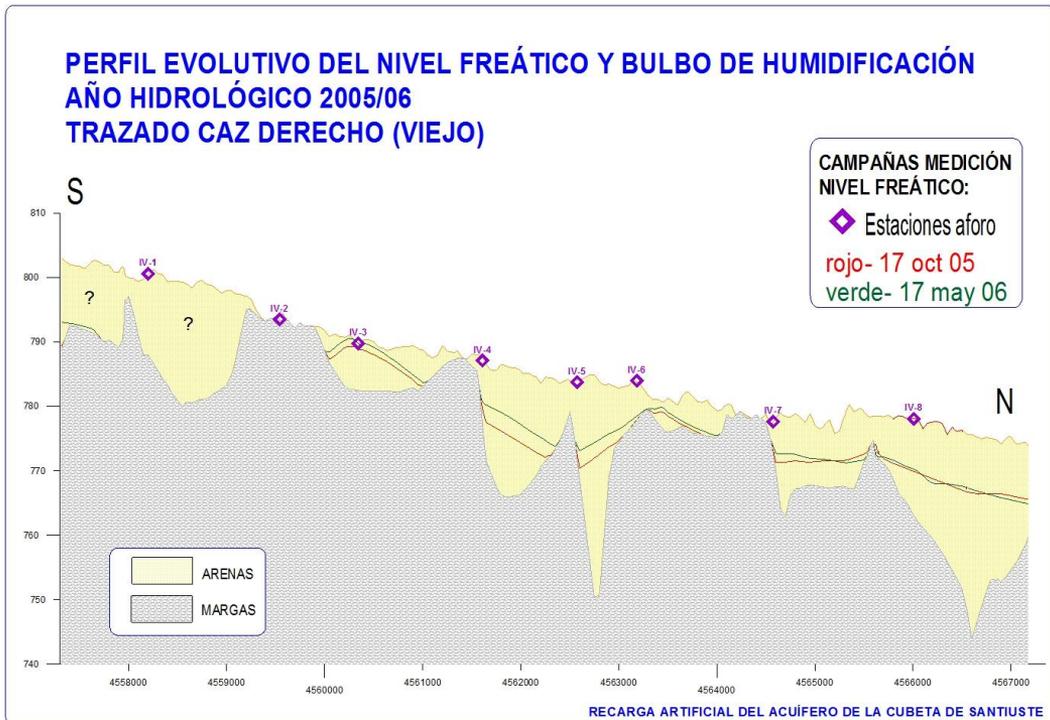
2003-04



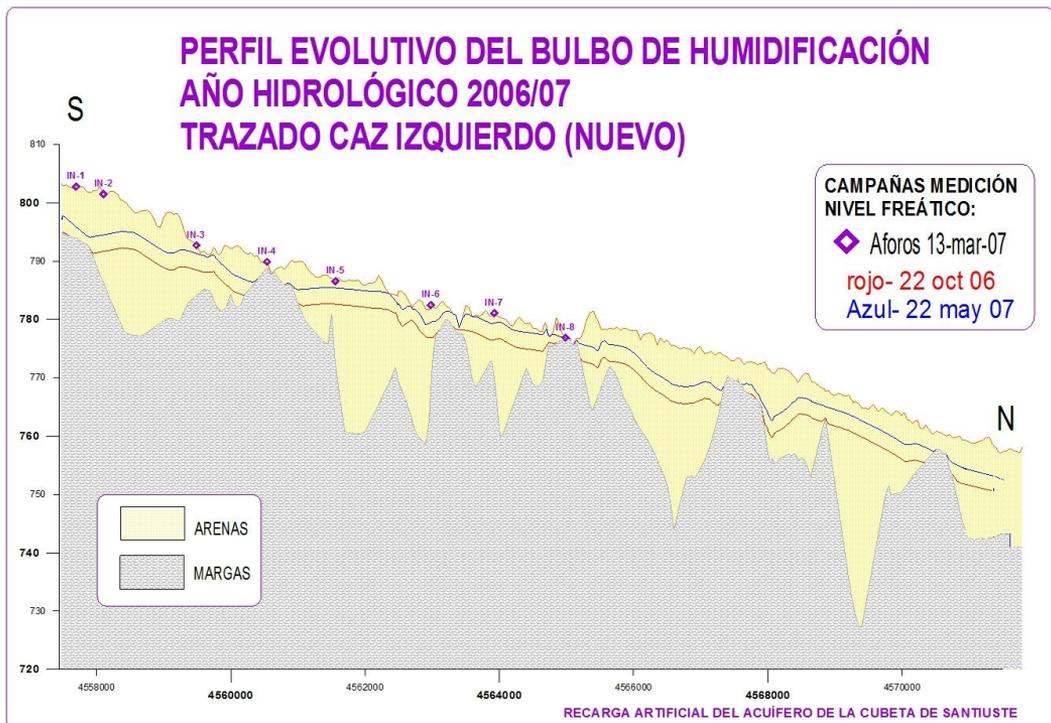
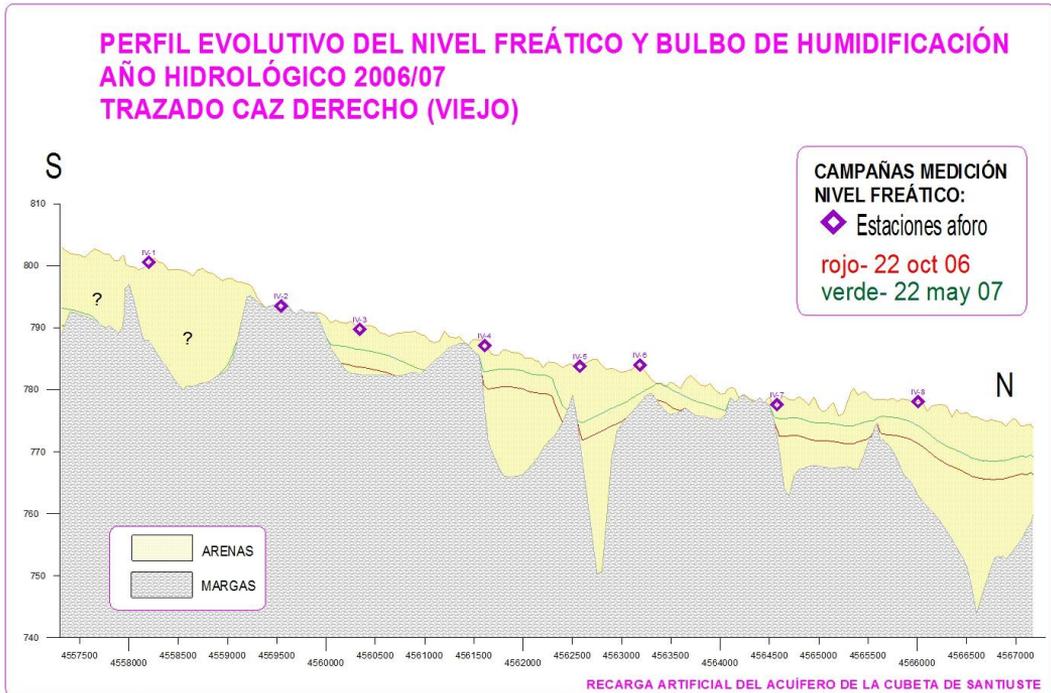
2004-05



2005-06

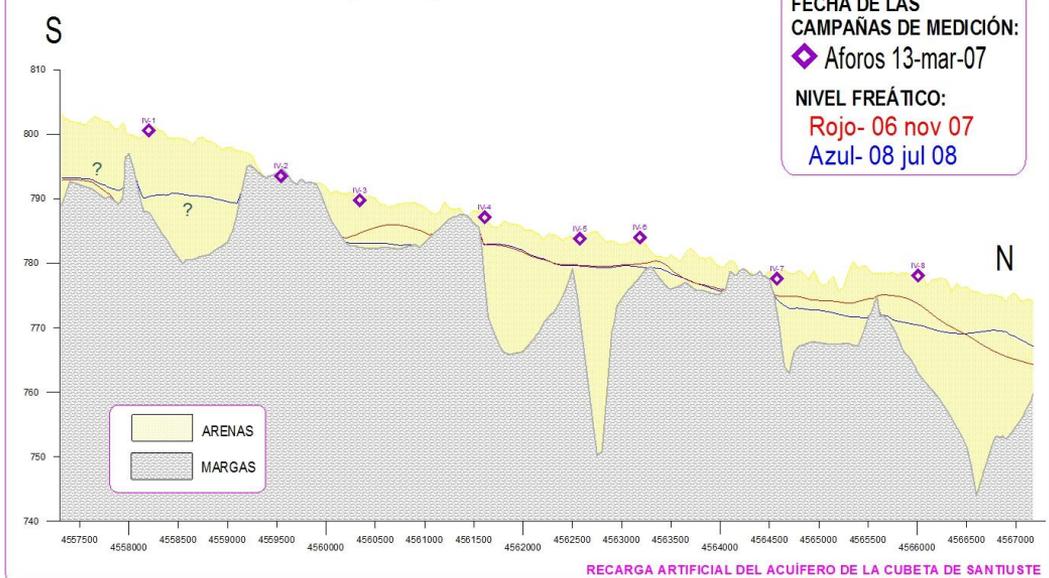


2006-07 (ENTRADA EN FUNCIONAMIENTO DEL CANAL OESTE)

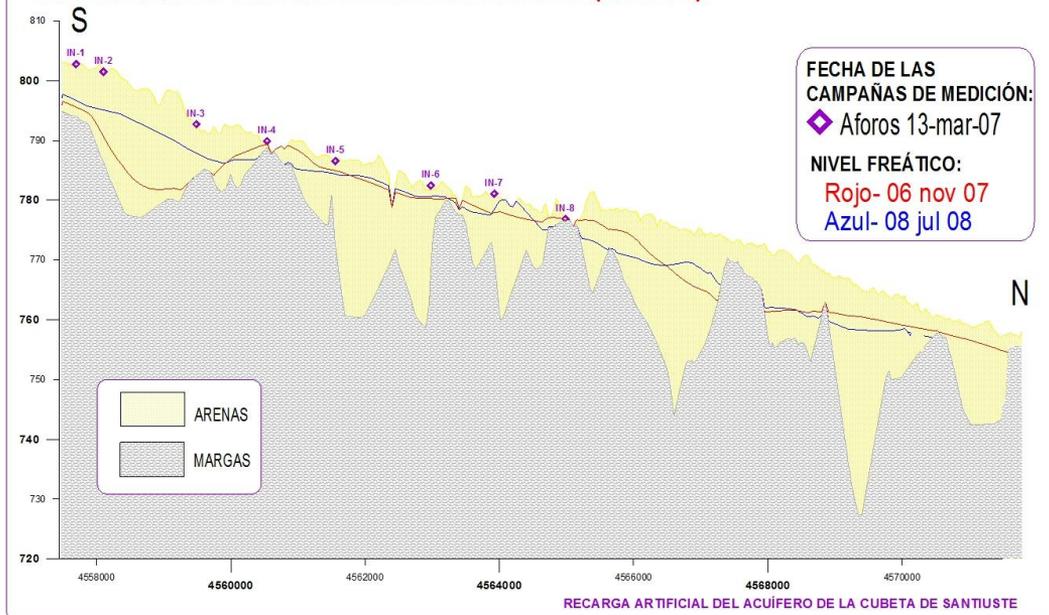


2007-08

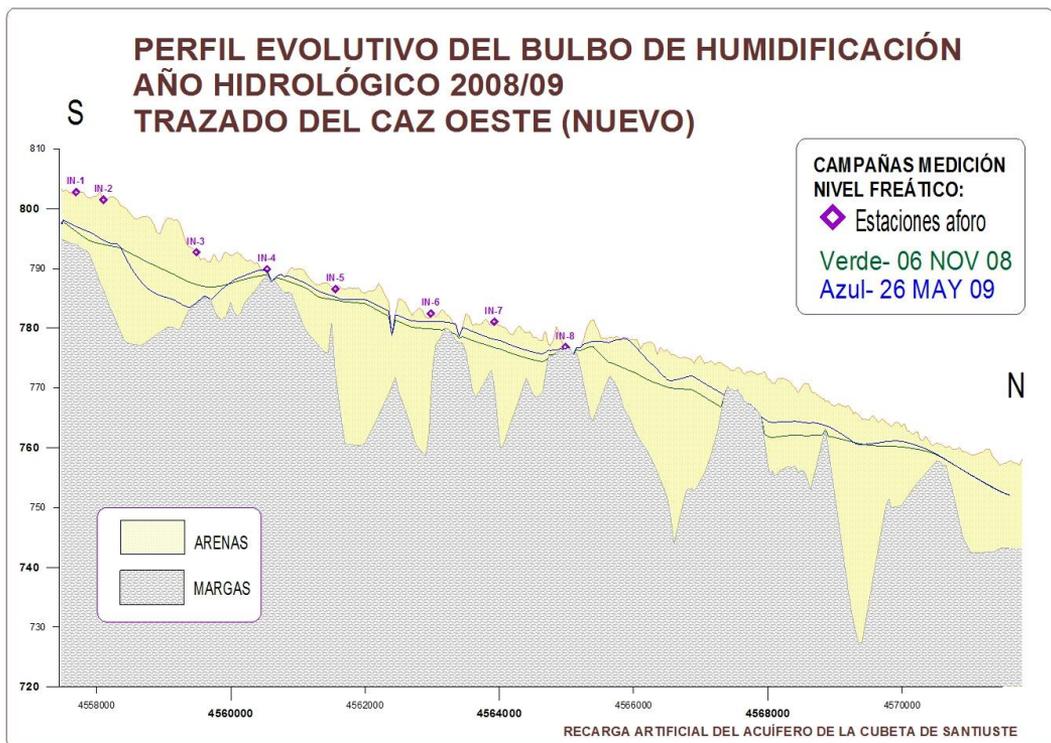
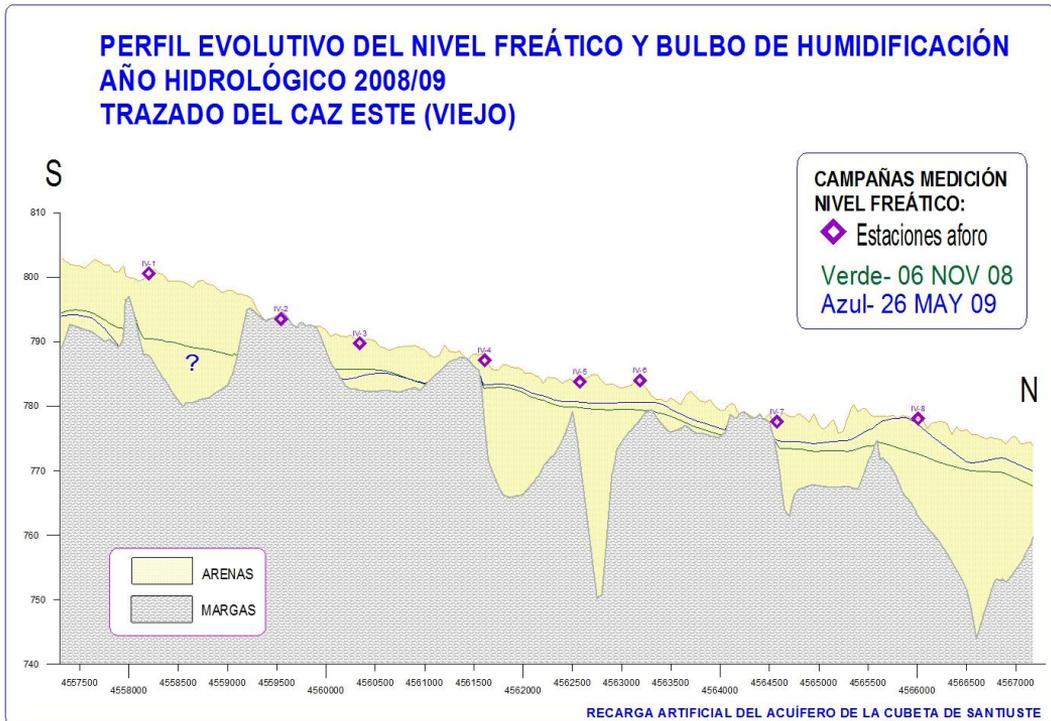
PERFIL EVOLUTIVO DEL NIVEL FREÁTICO DURANTE LA RECARGA ARTIFICIAL AÑO HIDROLÓGICO 2007/08 TRAZADO CANAL ESTE (VIEJO)



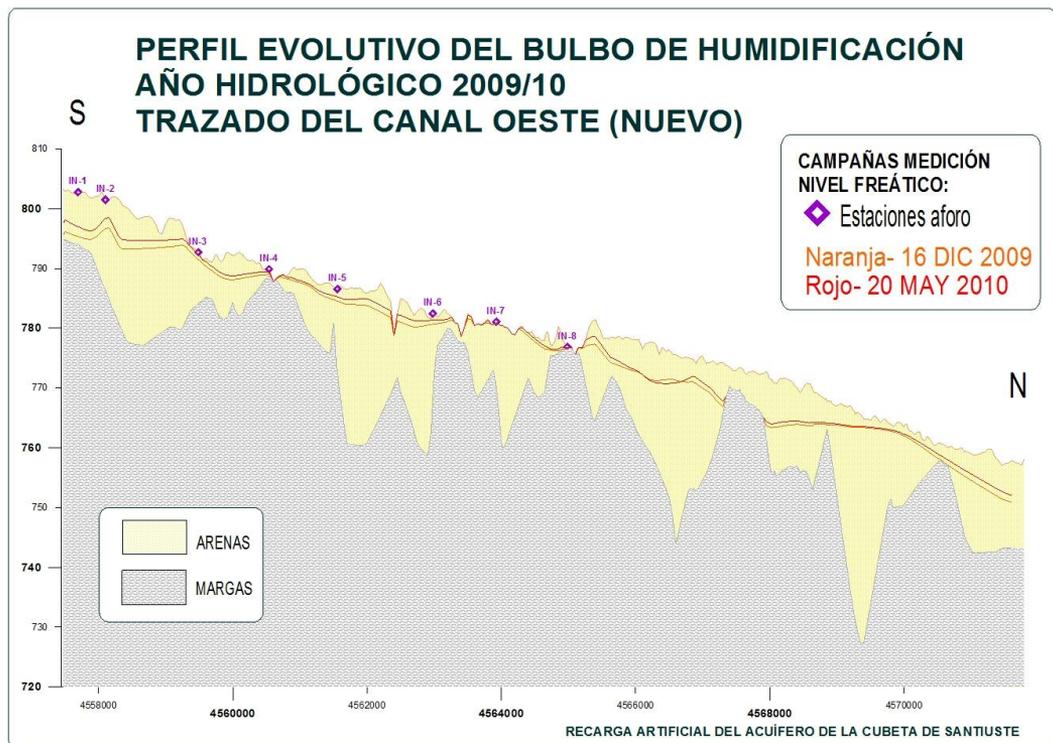
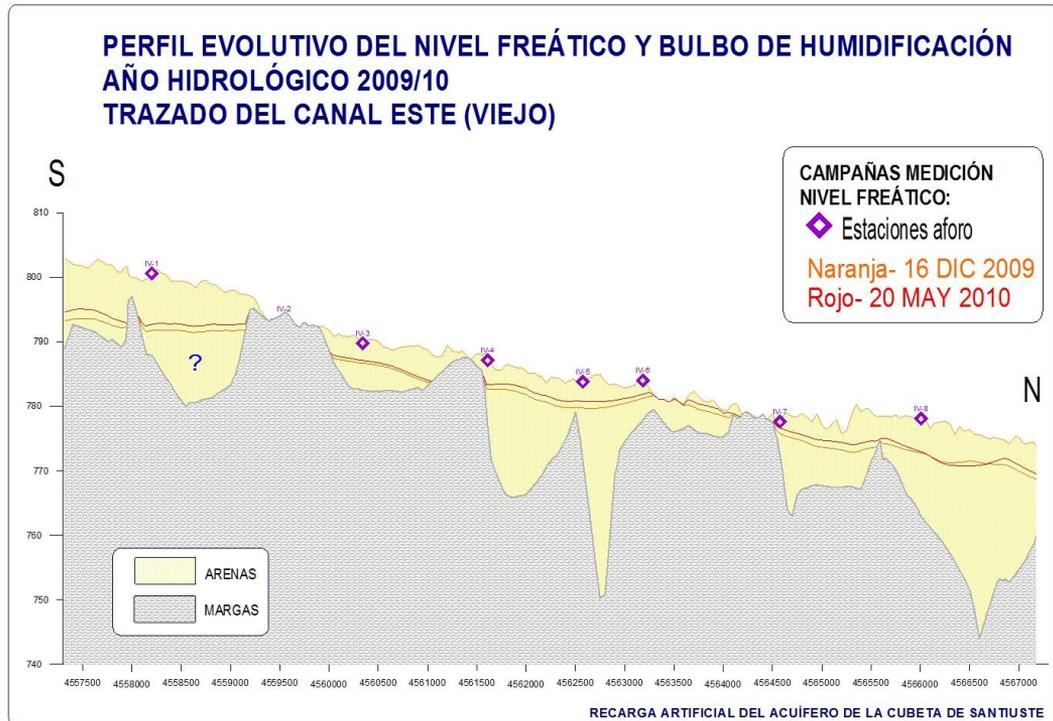
PERFIL EVOLUTIVO DEL NIVEL FREÁTICO DURANTE LA RECARGA ARTIFICIAL AÑO HIDROLÓGICO 2007/08 TRAZADO A LO LARGO DEL CANAL OESTE (NUEVO)



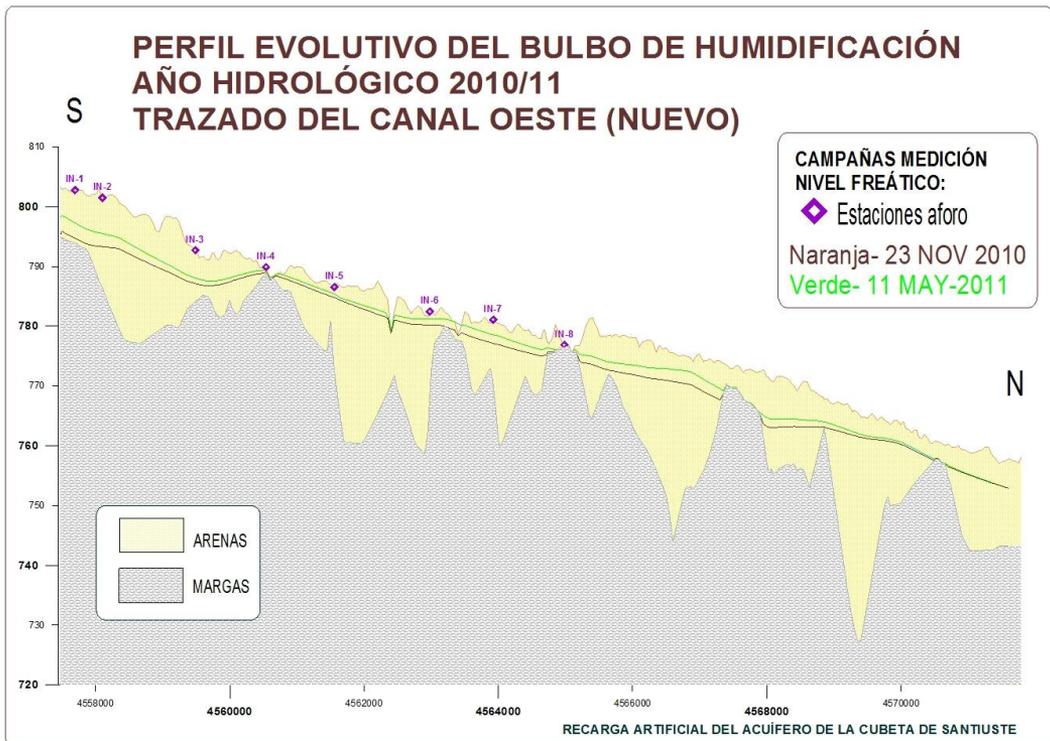
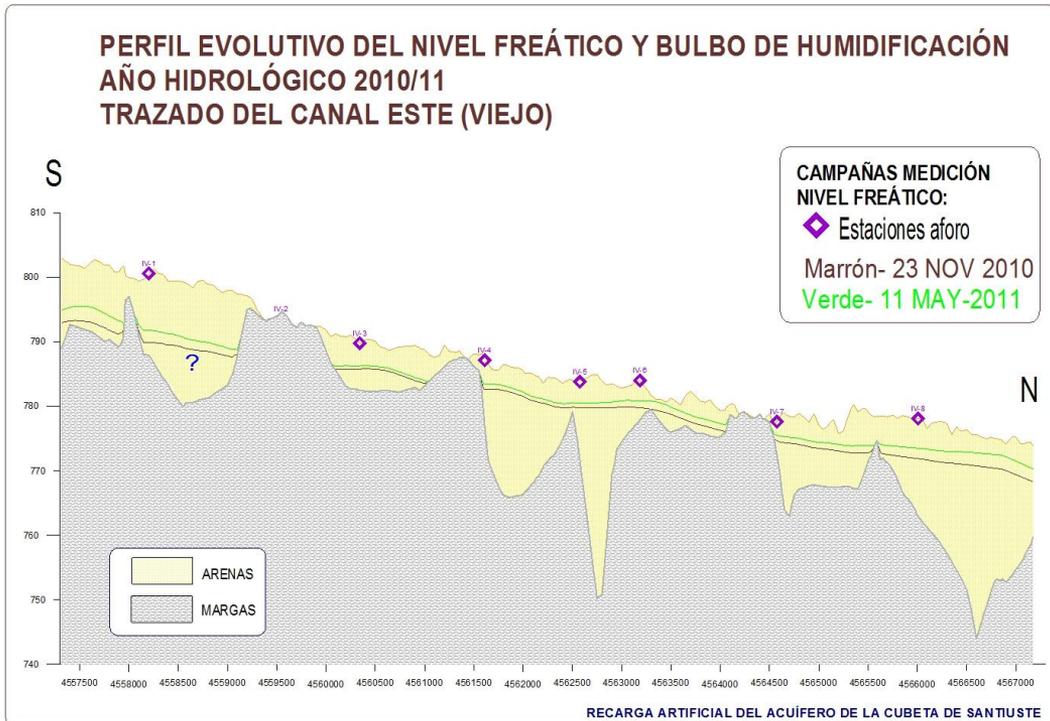
2008-09



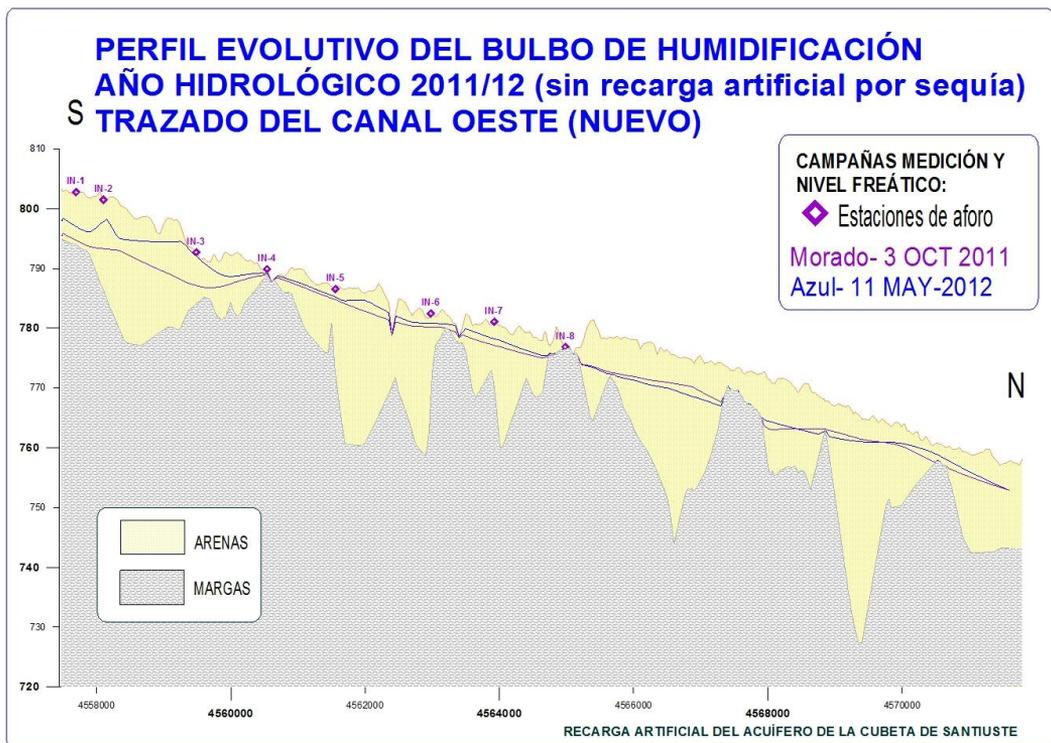
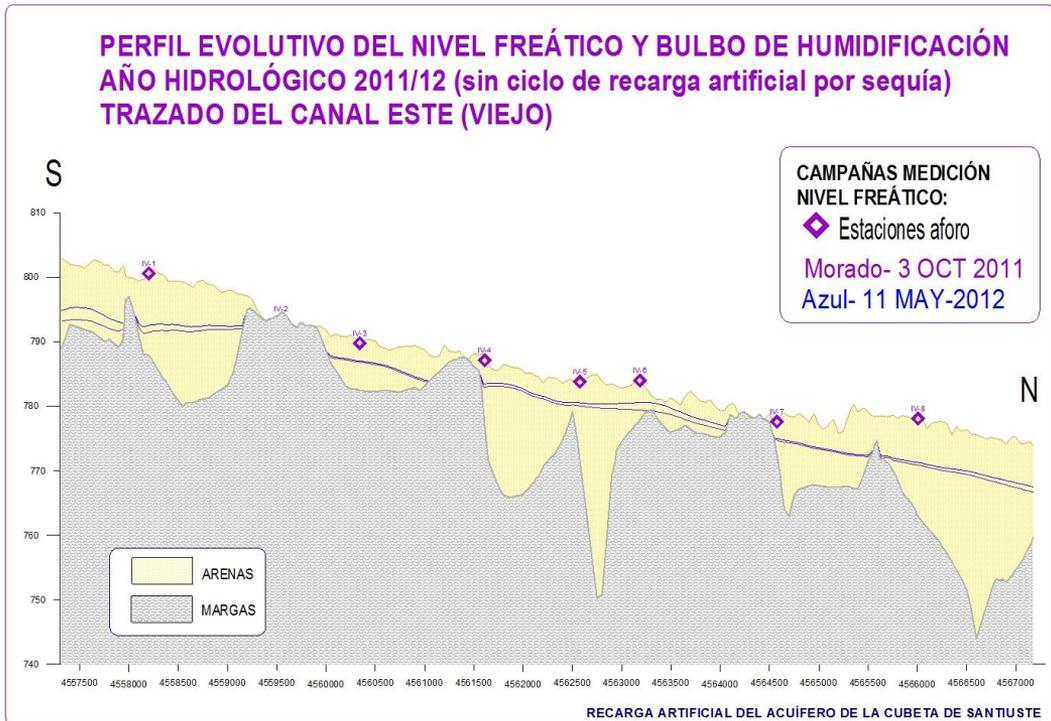
2009-10



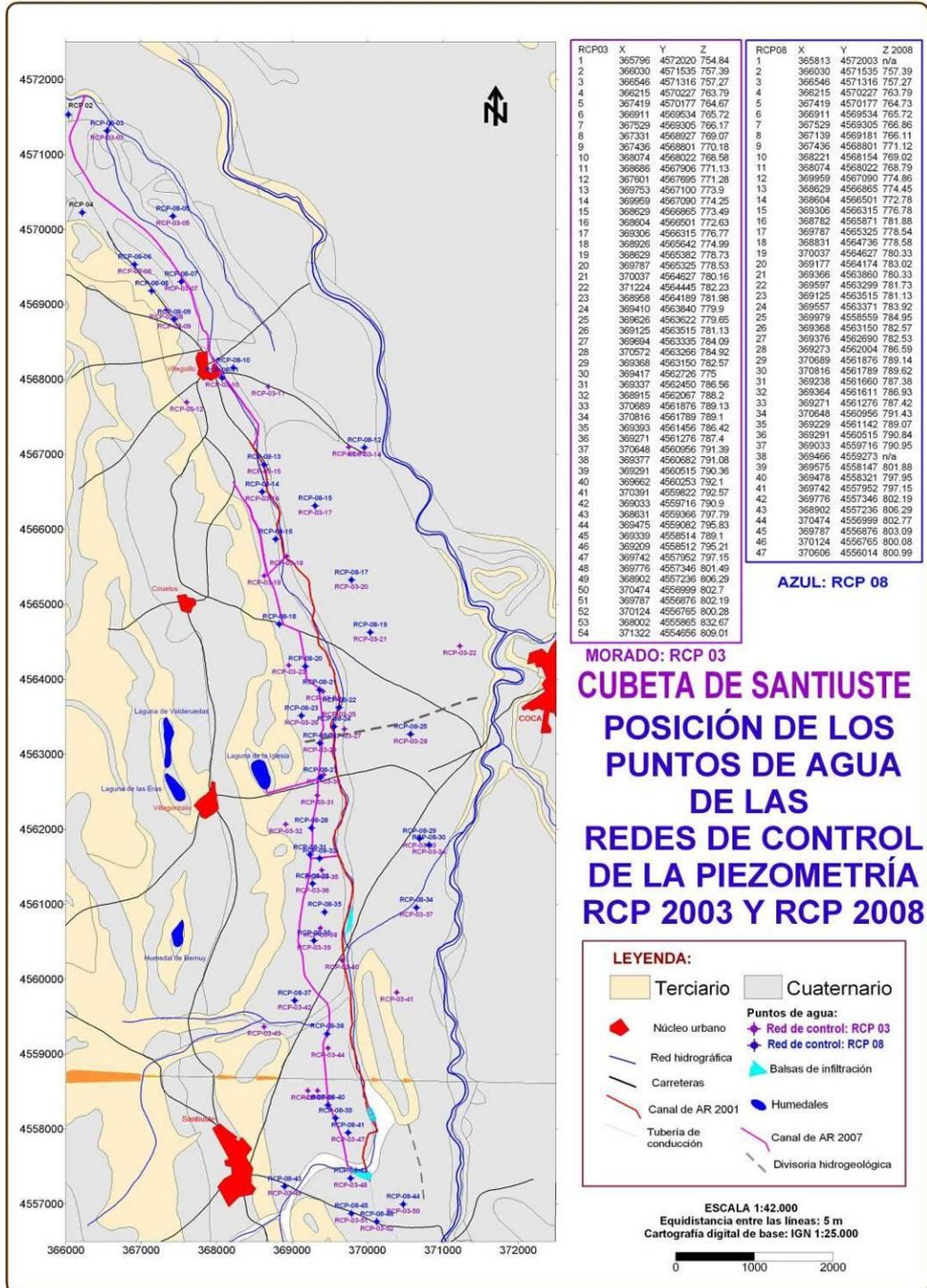
2010-11



2011-12



ANEXO 7.- REDES DE CONTROL DE LA PIEZOMETRÍA



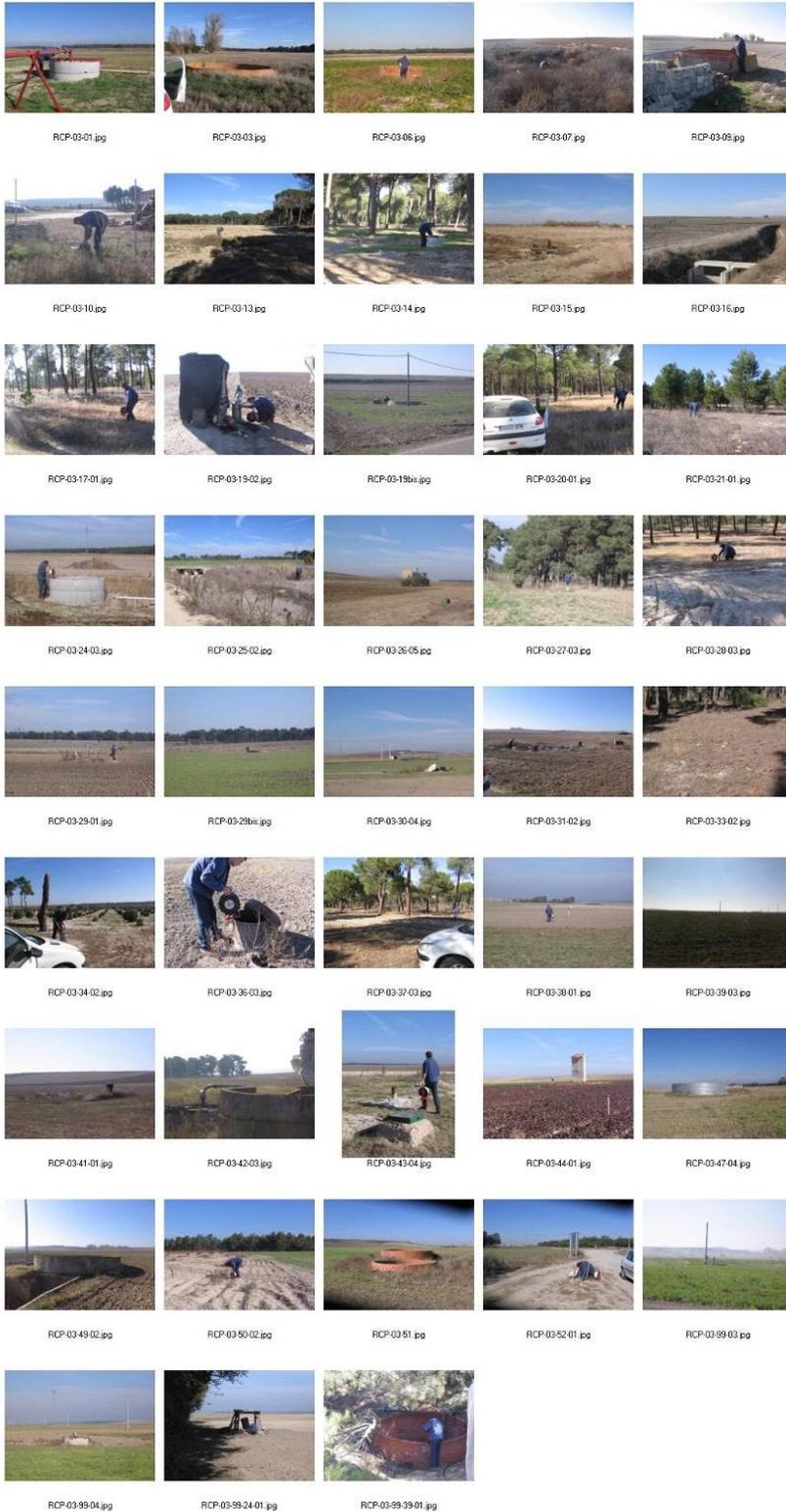
ANEJO 7.1.- RED DE CONTROL 2003

RCP 03	X	Y	Z
1	365796	4572020	754,84
2	366030	4571535	757,39
3	366546	4571316	757,27
4	366215	4570227	763,79
5	367419	4570177	764,67
6	366911	4569534	765,72
7	367529	4569305	766,17
8	367331	4568927	769,07
9	367436	4568801	770,18
10	368074	4568022	768,58
11	368686	4567906	771,13
12	367601	4567695	771,28
13	369753	4567100	773,9
14	369959	4567090	774,25
15	368629	4566865	773,49
16	368604	4566501	772,63
17	369306	4566315	776,77
18	368926	4565642	774,99
19	368629	4565382	778,73
20	369787	4565325	778,53
21	370037	4564627	780,16
22	371224	4564445	782,23
23	368958	4564189	781,98
24	369410	4563840	779,9
25	369626	4563622	779,65
26	369125	4563515	781,13
27	369694	4563335	784,09
28	370572	4563266	784,92
29	369368	4563150	782,57
30	369417	4562726	775
31	369337	4562450	786,56
32	368915	4562067	788,2
33	370689	4561876	789,13
34	370816	4561789	789,1
35	369393	4561456	786,42
36	369271	4561276	787,4
37	370648	4560956	791,39
38	369377	4560682	791,08
39	369291	4560515	790,36
40	369662	4560253	792,1

41	370391	4559822	792,57
42	369033	4559716	790,9
43	368631	4559366	797,79
44	369475	4559082	795,83
45	369339	4558514	789,1
46	369209	4558512	795,21
47	369742	4557952	797,15
48	369776	4557346	801,49
49	368902	4557236	806,29
50	370474	4556999	802,7
51	369787	4556876	802,19
52	370124	4556765	800,28
53	368002	4555865	832,67
54	371322	4554656	809,01

Tabla AX7-1. Red de control de la piezometría (RCP) 2003.

Estos puntos se encuentran representados en la cartografía anterior.



ANEXO 7.- REDES DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DE LA PIEZOMETRÍA

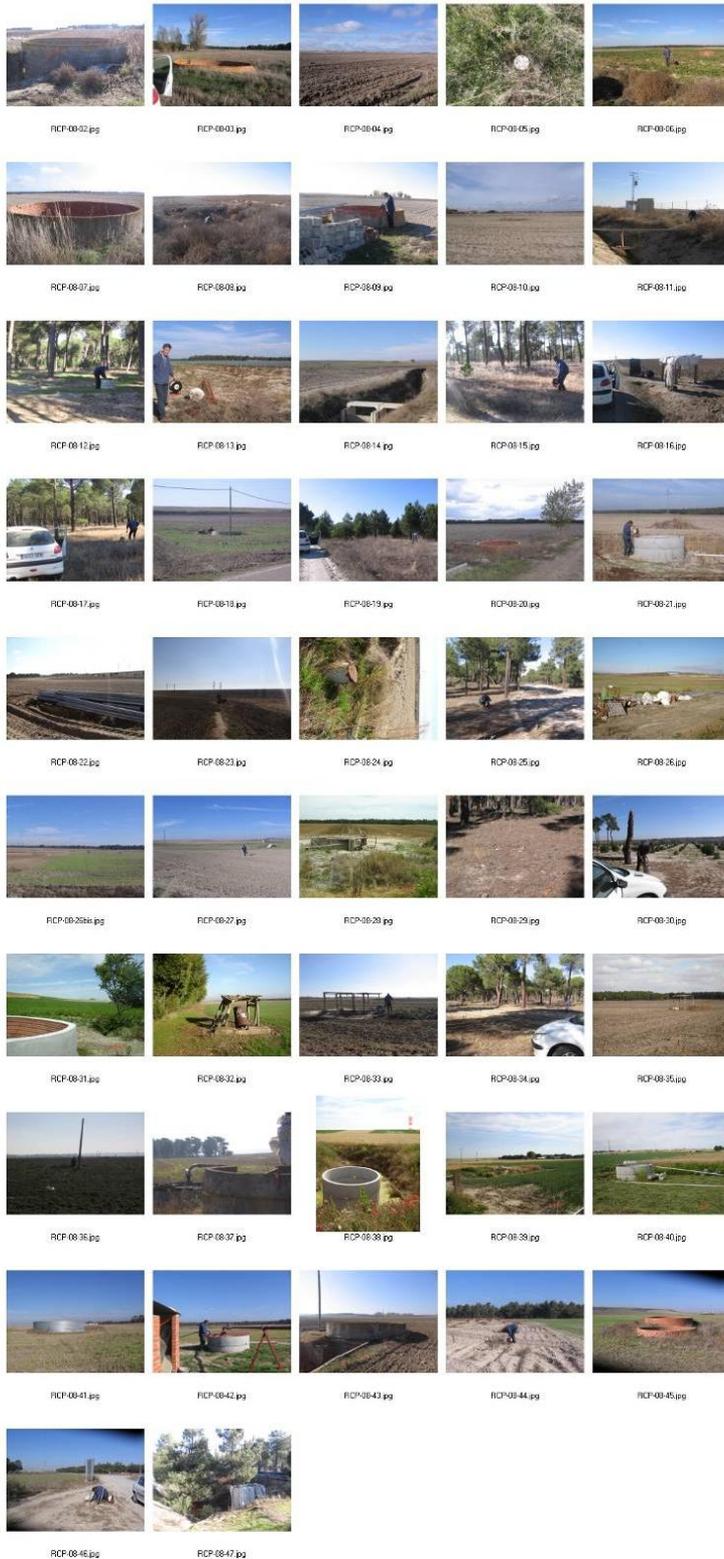
ANEJO 7.2.- RED DE CONTROL 2008

RCP 08	X	Y	Z 2008
1	365813	4572003	n/a
2	366030	4571535	757,39
3	366546	4571316	757,27
4	366215	4570227	763,79
5	367419	4570177	764,73
6	366911	4569534	765,72
7	367529	4569305	766,86
8	367139	4569181	766,11
9	367436	4568801	771,12
10	368221	4568154	769,02
11	368074	4568022	768,79
12	369959	4567090	774,86
13	368629	4566865	774,45
14	368604	4566501	772,78
15	369306	4566315	776,78
16	368782	4565871	781,88
17	369787	4565325	778,54
18	368831	4564736	778,58
19	370037	4564627	780,33
20	369177	4564174	783,02
21	369366	4563860	780,33
22	369597	4563299	781,73
23	369125	4563515	781,13
24	369557	4563371	783,92
25	369979	4558559	784,95
26	369368	4563150	782,57
27	369376	4562690	782,53
28	369273	4562004	786,59
29	370689	4561876	789,14
30	370816	4561789	789,62
31	369238	4561660	787,38
32	369364	4561611	786,93
33	369271	4561276	787,42
34	370648	4560956	791,43
35	369229	4561142	789,07

36	369291	4560515	790,84
37	369033	4559716	790,95
38	369466	4559273	n/a
39	369575	4558147	801,88
40	369478	4558321	797,95
41	369742	4557952	797,15
42	369776	4557346	802,19
43	368902	4557236	806,29
44	370474	4556999	802,77
45	369787	4556876	803,09
46	370124	4556765	800,08
47	370606	4556014	800,99

Tabla AX7-2. Red de control de la piezometría (RCP) 2008.

Estos puntos se encuentran representados en la cartografía anterior.

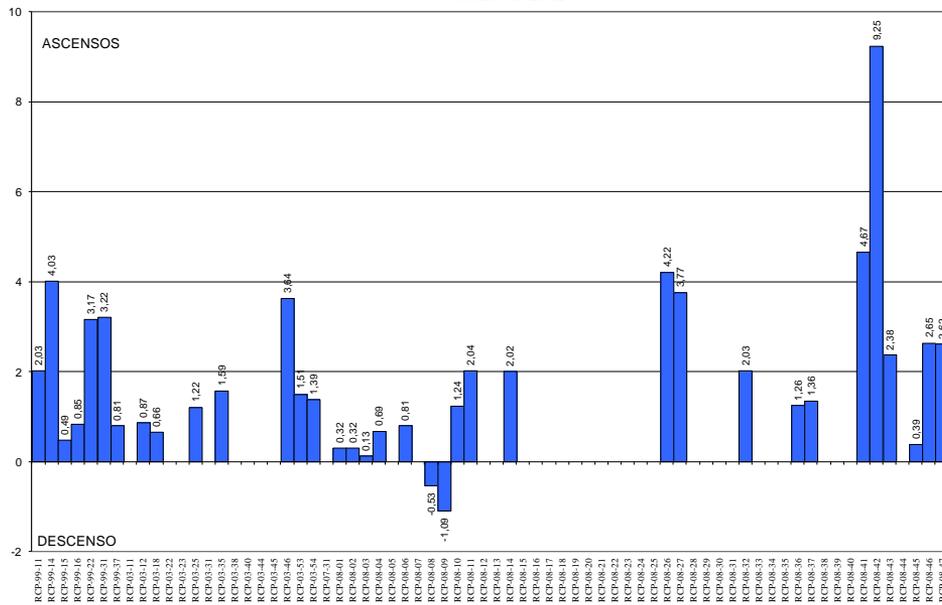


SEGUIMIENTO DE LA PIEZOMETRÍA EVOLUCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DEL AGUA EN LOS PIEZÓMETROS DE OBSERVACIÓN. RED DE CONTROL MODERNA

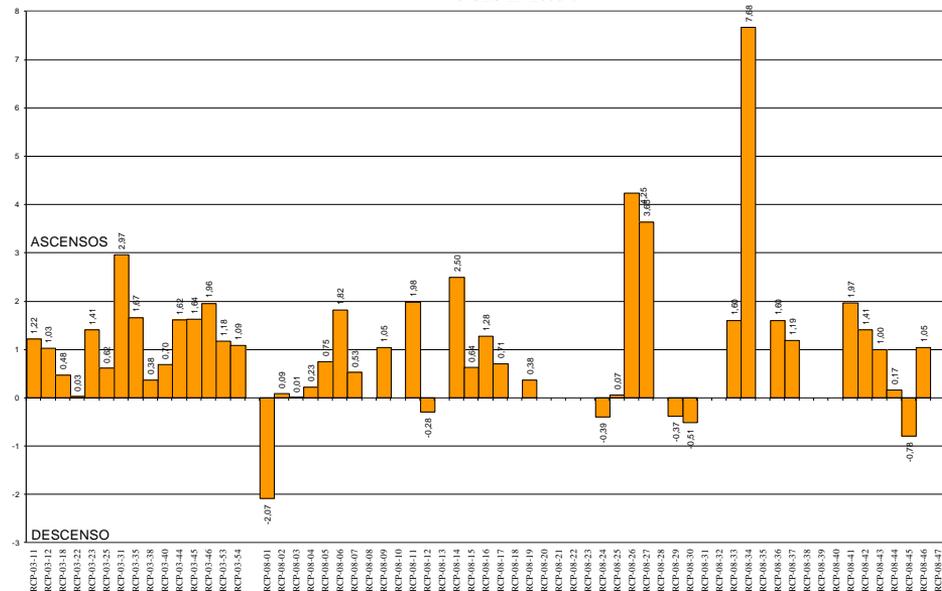
VARIACIONES DE CADA PIEZÓMETRO EN CADA CICLO CON RESPECTO A LA MEDIDA PREVIA

Datos con la evolución del nivel del agua a lo largo de una década de seguimiento.

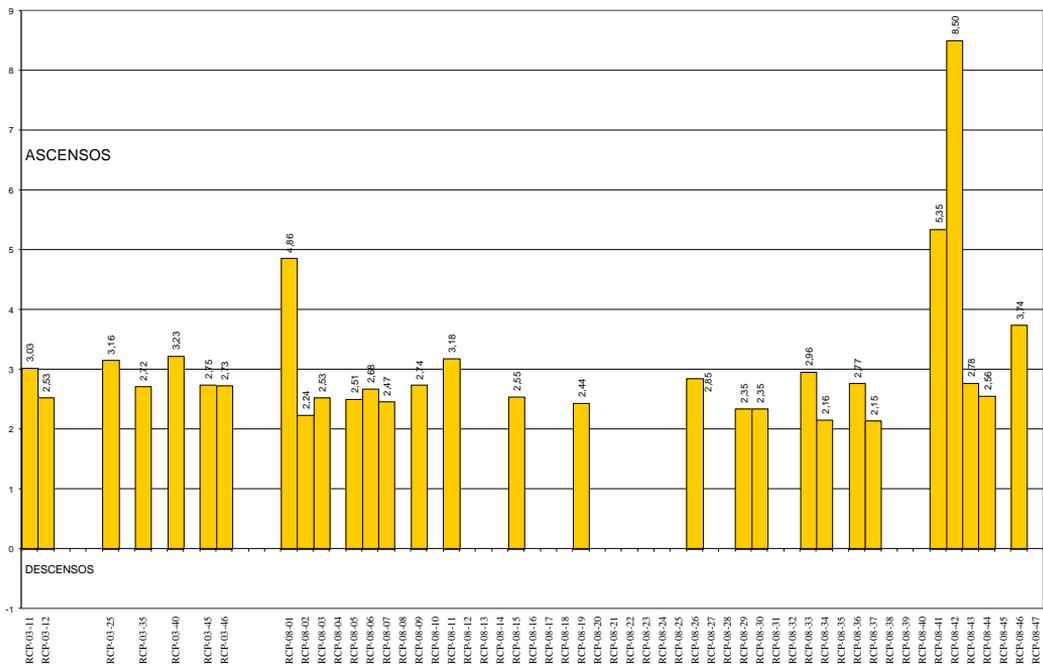
VARIACIONES DE NIVELES EN LOS PUNTOS DE LA RED PIEZOMÉTRICA DE LA CUBETA DE SANTIUSTE
CICLO 1. 2002-03



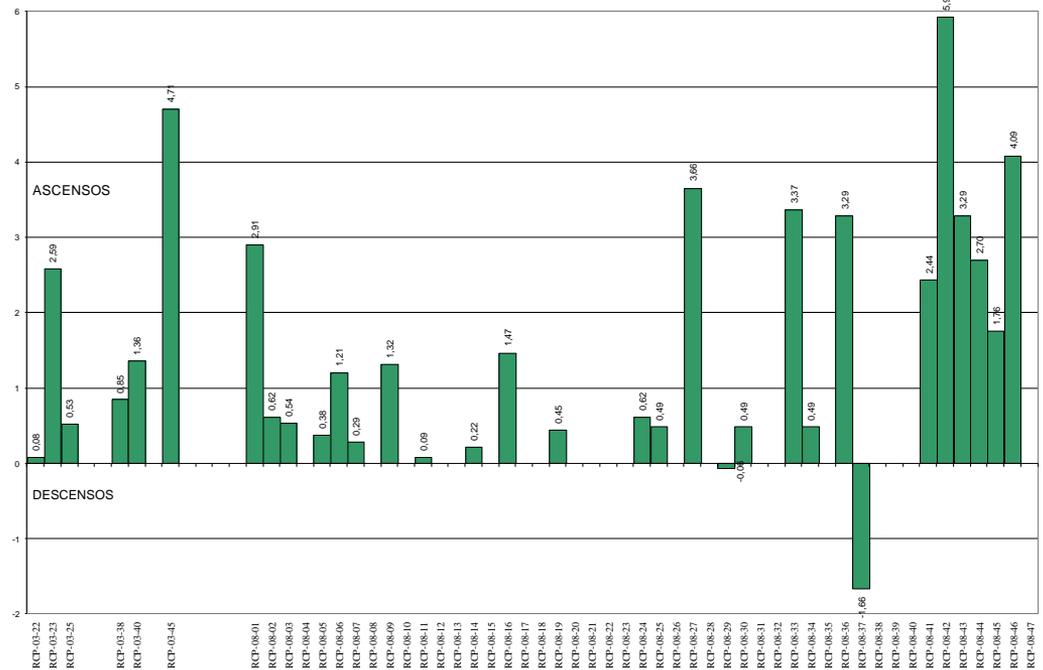
VARIACIONES DE NIVELES EN LOS PUNTOS DE LA RED PIEZOMÉTRICA DE LA CUBETA DE SANTIUSTE
CICLO 2. 2003-04



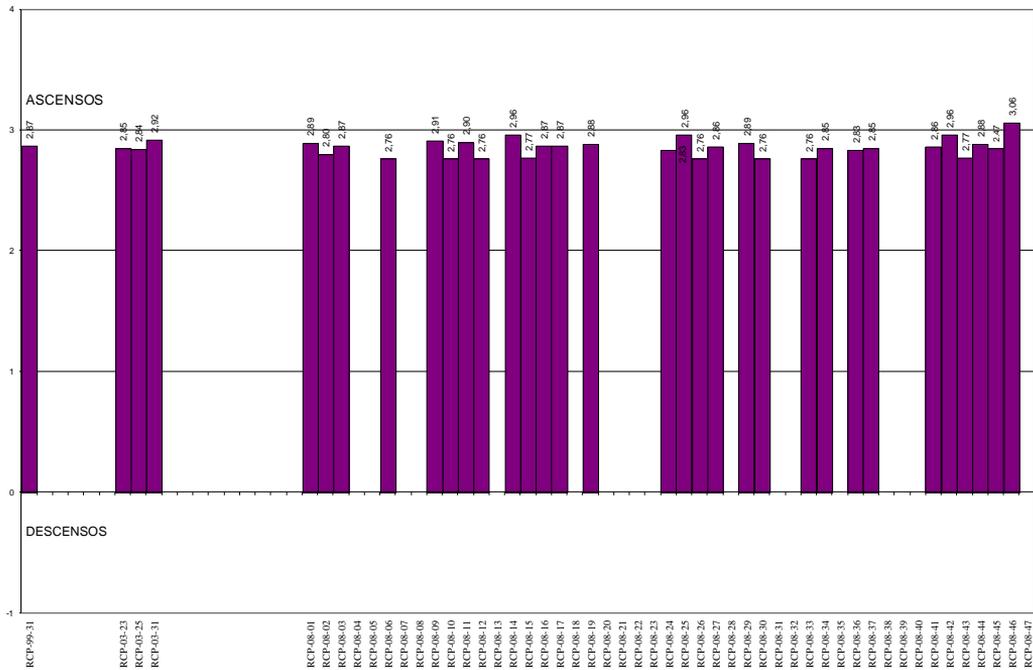
VARIACIONES DE NIVELES EN LOS PUNTOS DE LA RED PIEZOMÉTRICA DE LA CUBETA DE SANTIUSTE
CICLO 3. 2004-05



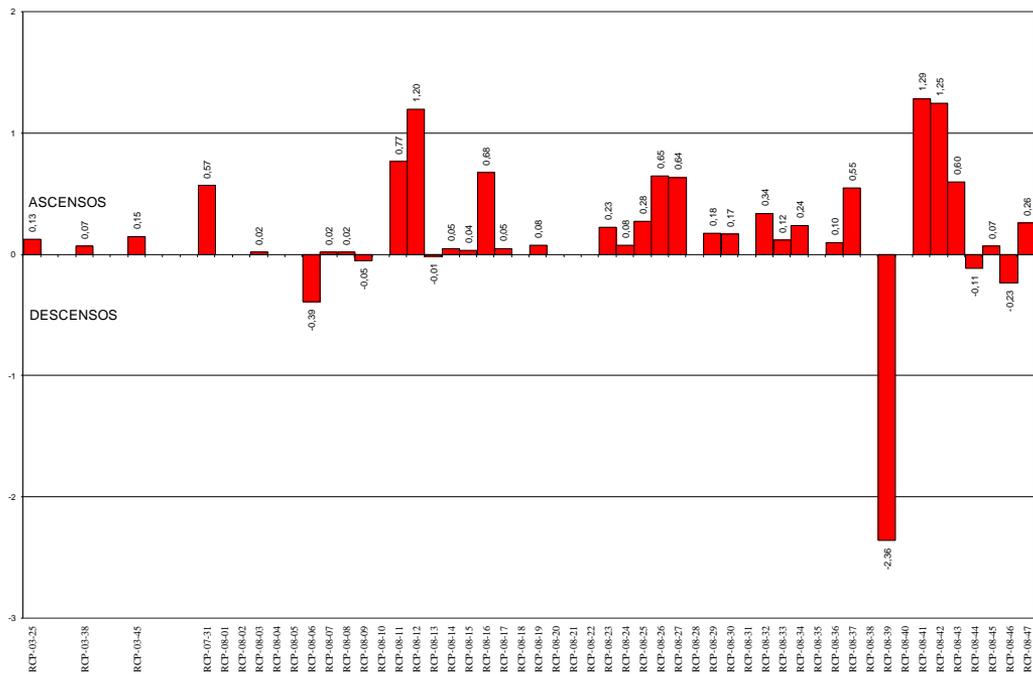
VARIACIONES DE NIVELES EN LOS PUNTOS DE LA RED PIEZOMÉTRICA DE LA CUBETA DE SANTIUSTE
CICLO 4. 2005-06



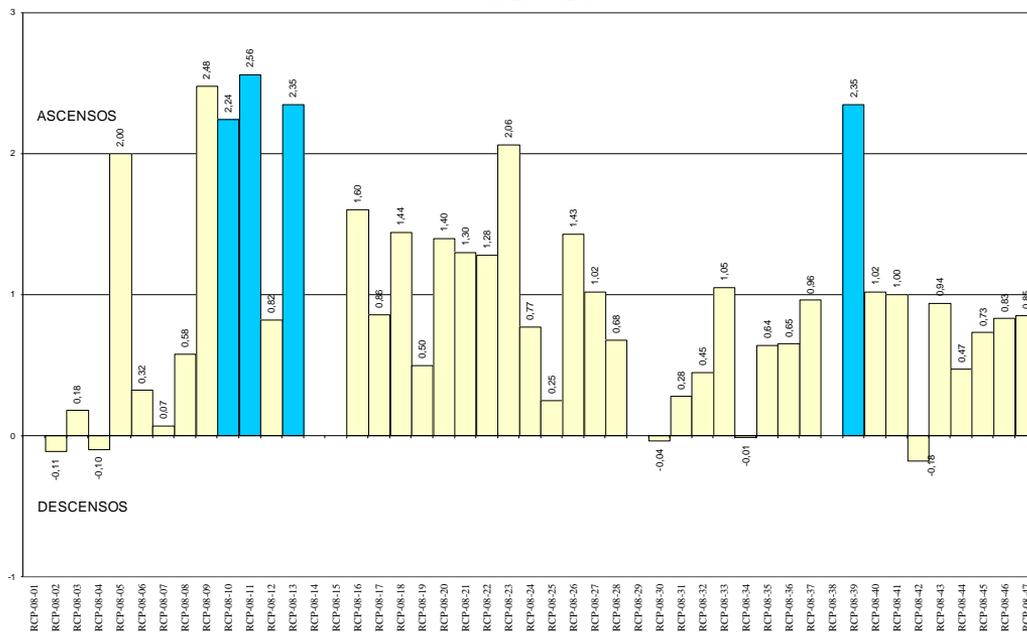
VARIACIONES DE NIVELES EN LOS PUNTOS DE LA RED PIEZOMÉTRICA DE LA CUBETA DE SANTIUSTE
CICLO 5. 2006-07



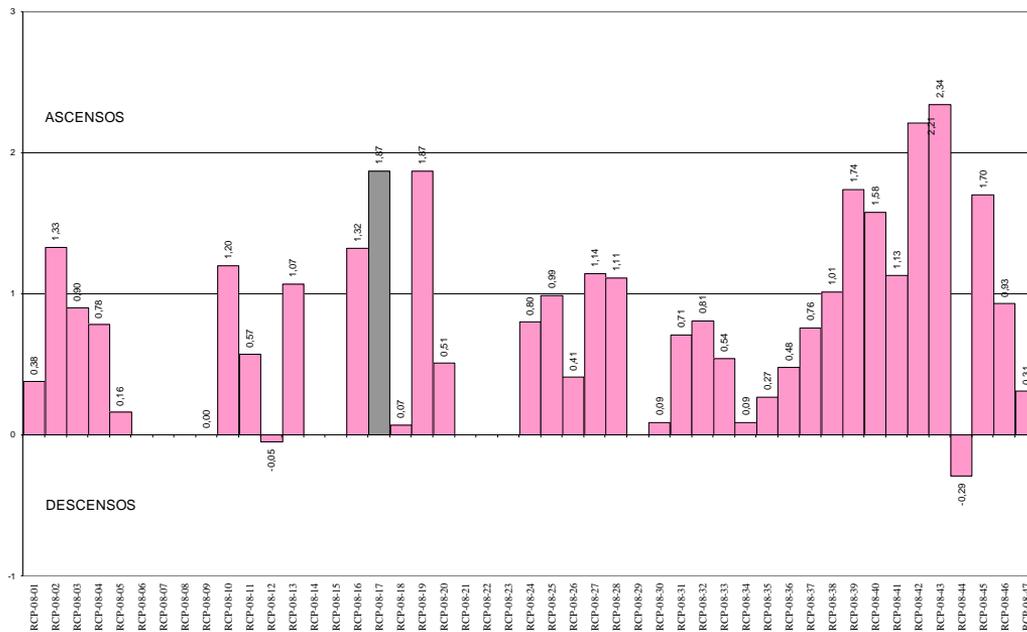
VARIACIONES DE NIVELES EN LOS PUNTOS DE LA RED PIEZOMÉTRICA DE LA CUBETA DE SANTIUSTE
CICLO 6. 2007-08



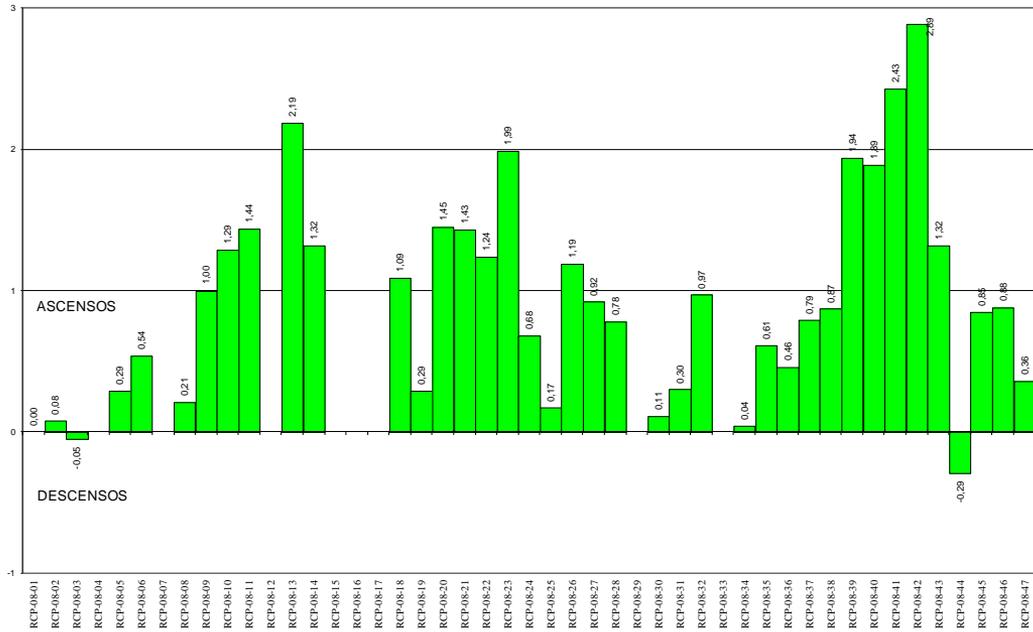
VARIACIONES DE NIVELES EN LOS PUNTOS DE LA RED PIEZOMÉTRICA DE LA CUBETA DE SANTIUSTE
CICLO 7. 2008-09



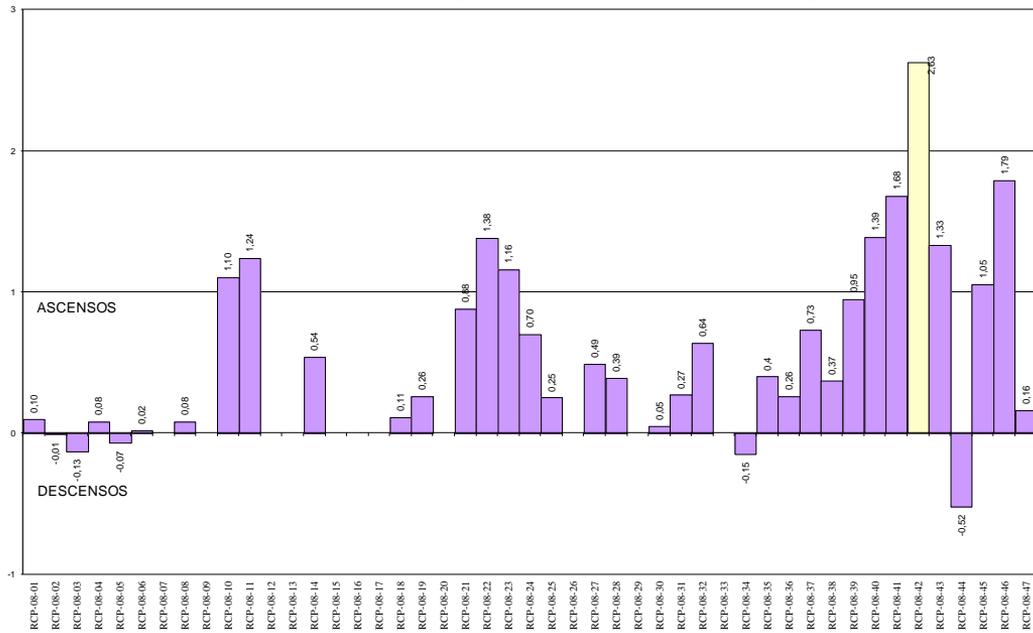
VARIACIONES DE NIVELES EN LOS PUNTOS DE LA RED PIEZOMÉTRICA DE LA CUBETA DE SANTIUSTE
CICLO 8. 2009-10



VARIACIONES DE NIVELES EN LOS PUNTOS DE LA RED PIEZOMÉTRICA DE LA CUBETA DE SANTIESTE
CICLO 9. 2010-11

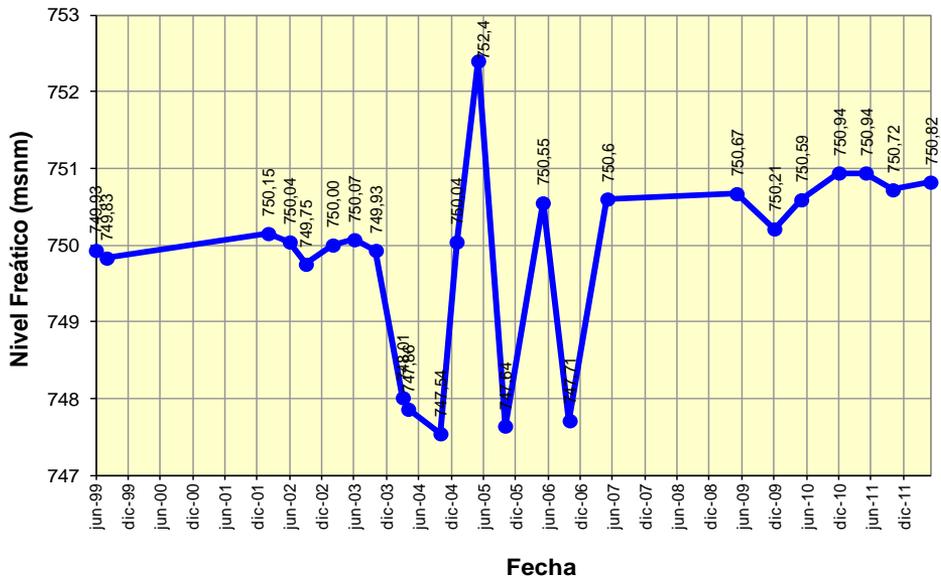


VARIACIONES DE NIVELES EN LOS PUNTOS DE LA RED PIEZOMÉTRICA DE LA CUBETA DE SANTIESTE
CICLO 10. 2011-12 (SIN RECARGA GESTIONADA POR SEQUÍA)

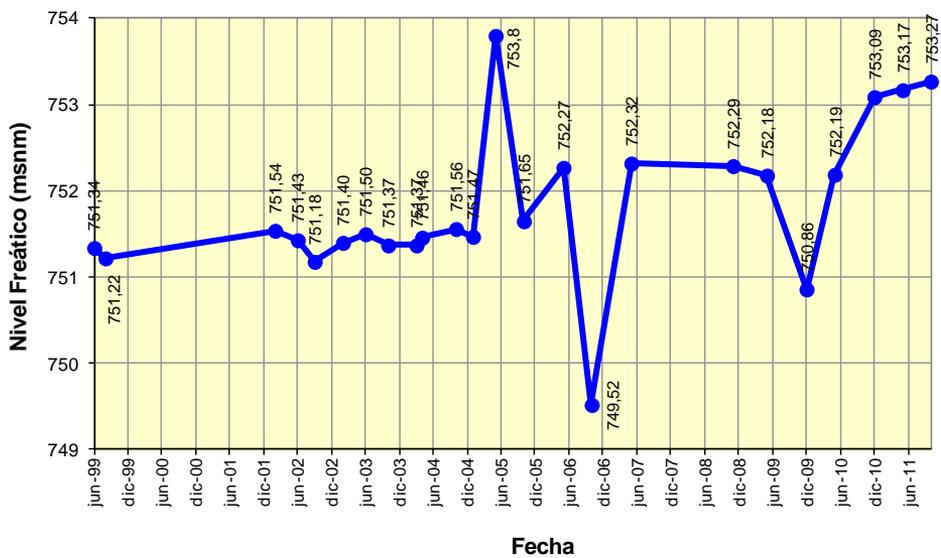


Gráficas con la evolución del nivel del agua a lo largo de una década de seguimiento y control.

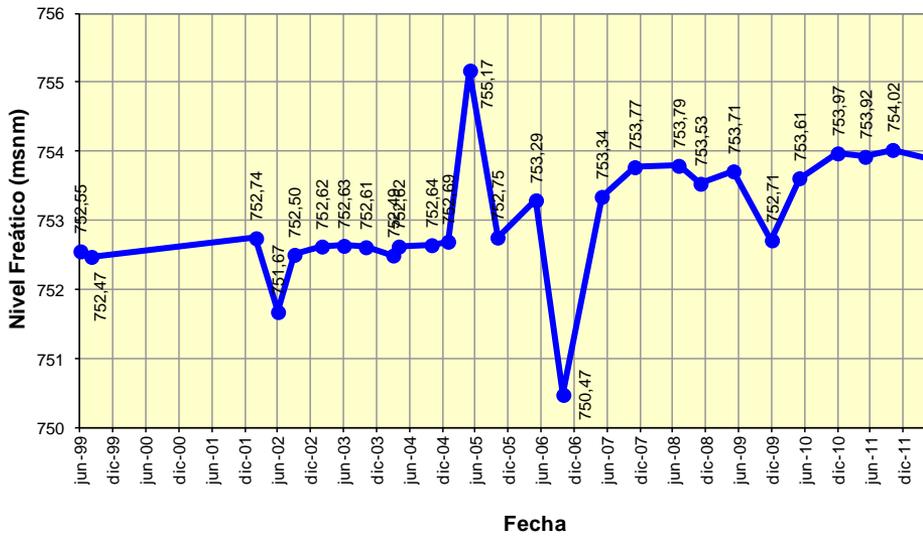
Piezómetro RCP-08-01



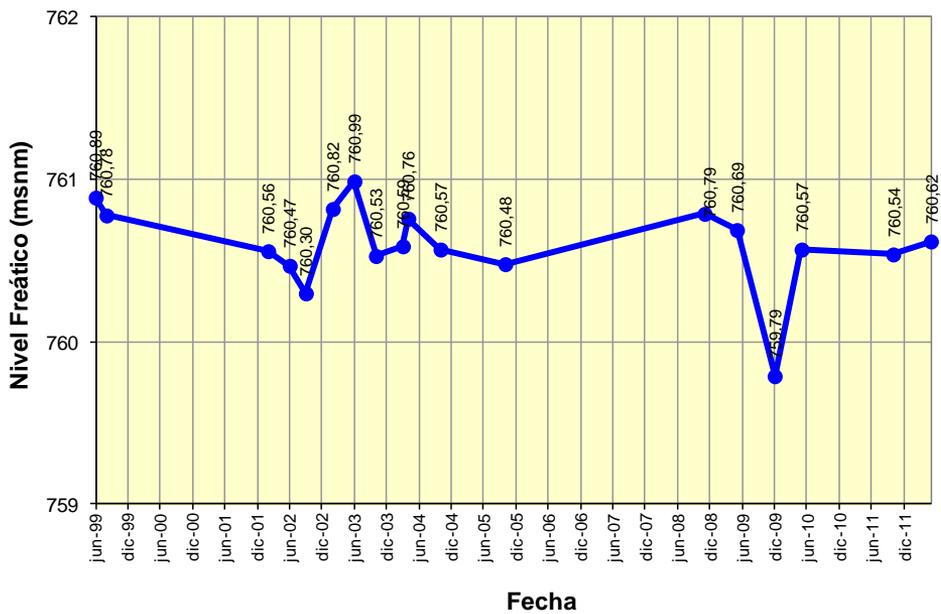
Piezómetro RCP-08-02



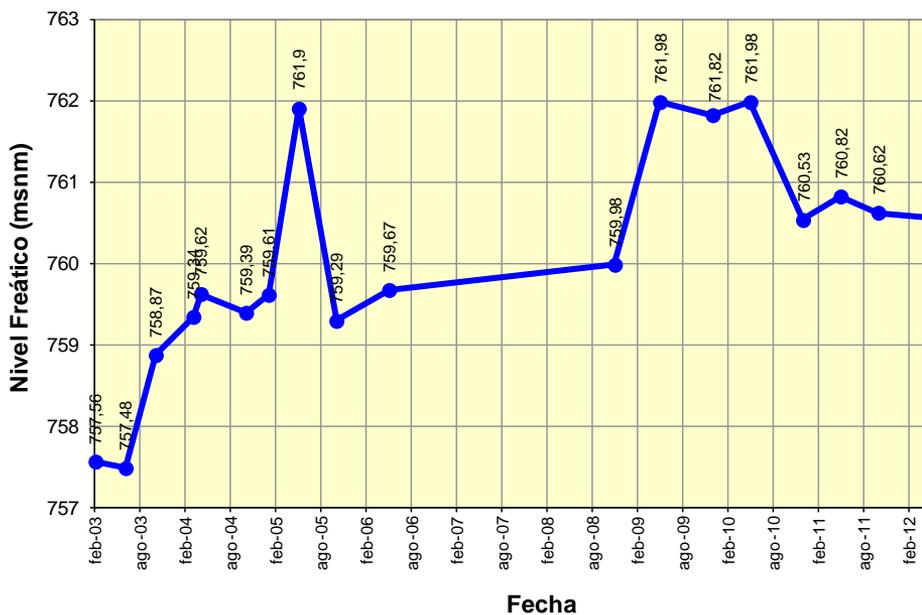
Piezómetro RCP-08-03



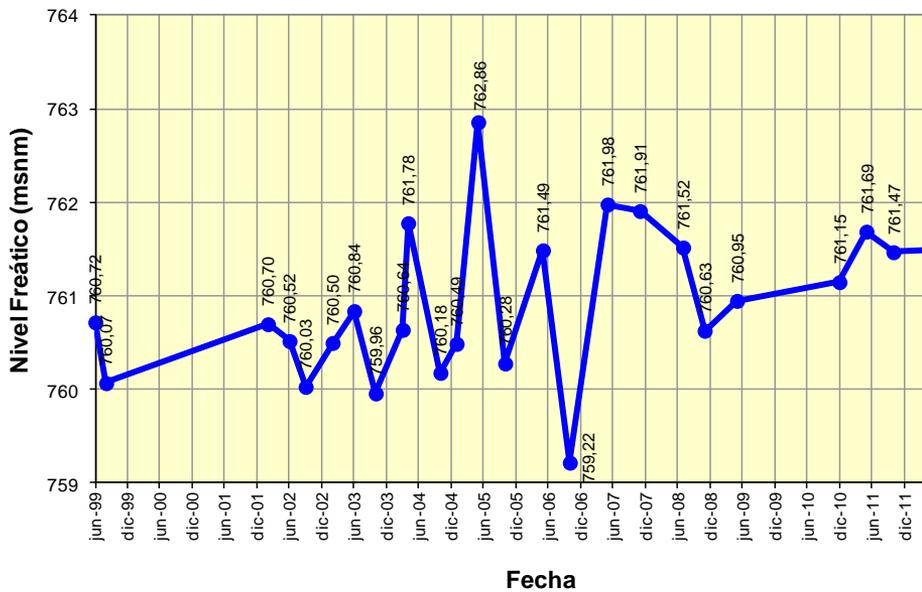
Piezómetro RCP-08-04



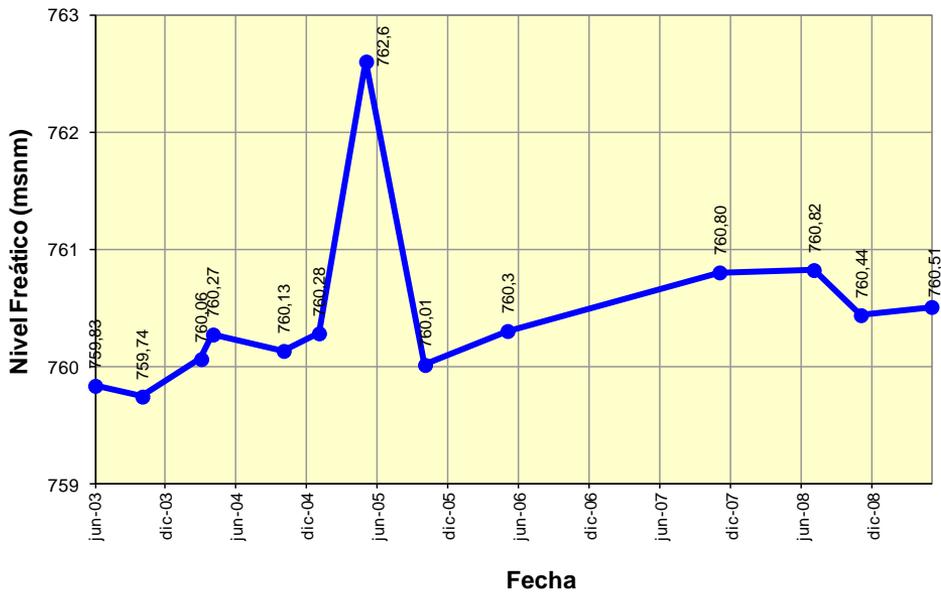
Piezómetro RCP-08-05



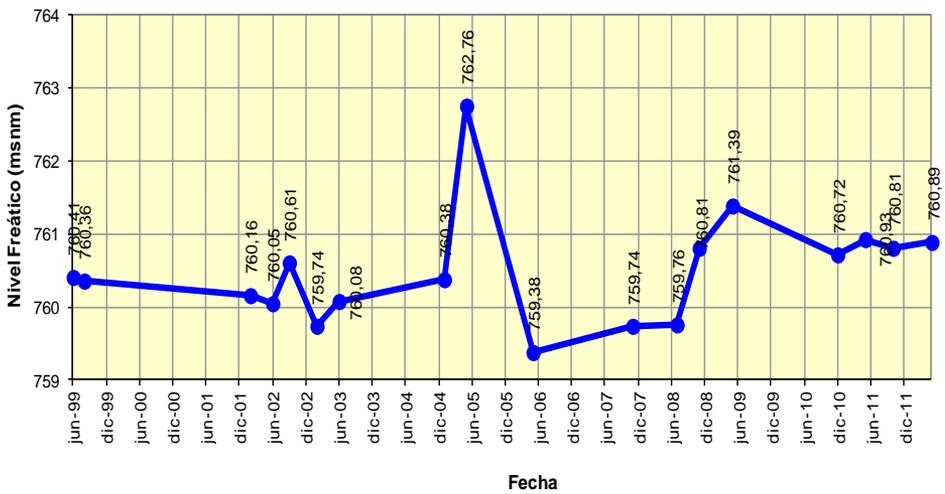
Piezómetro RCP-08-06



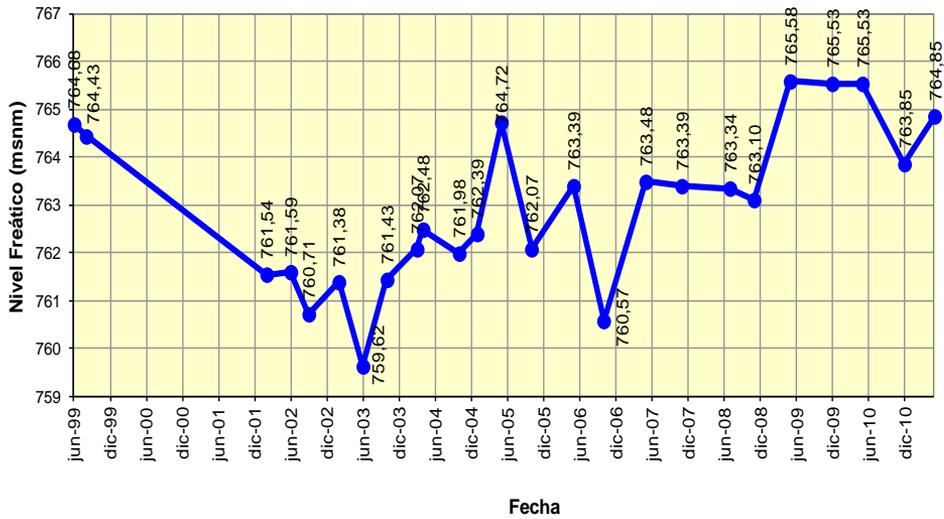
Piezómetro RCP-08-07



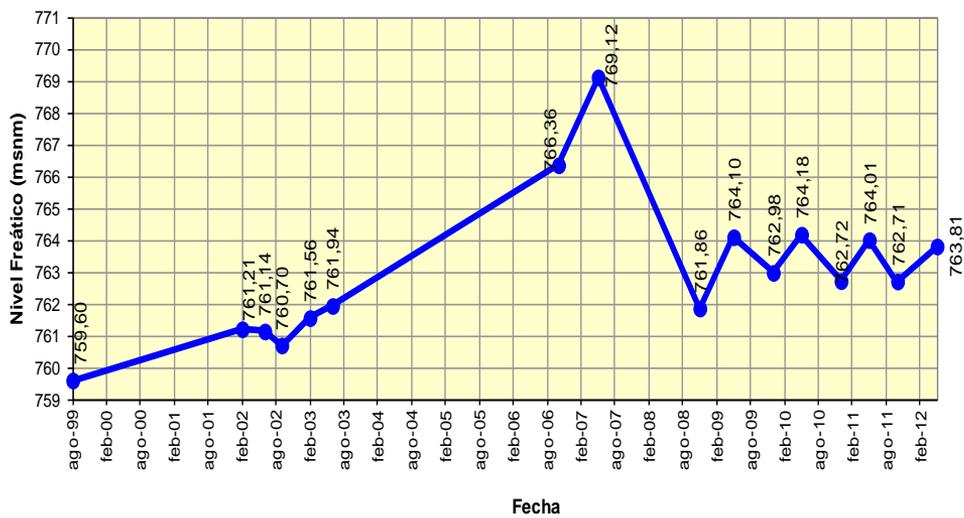
Piezómetro RCP-08-08



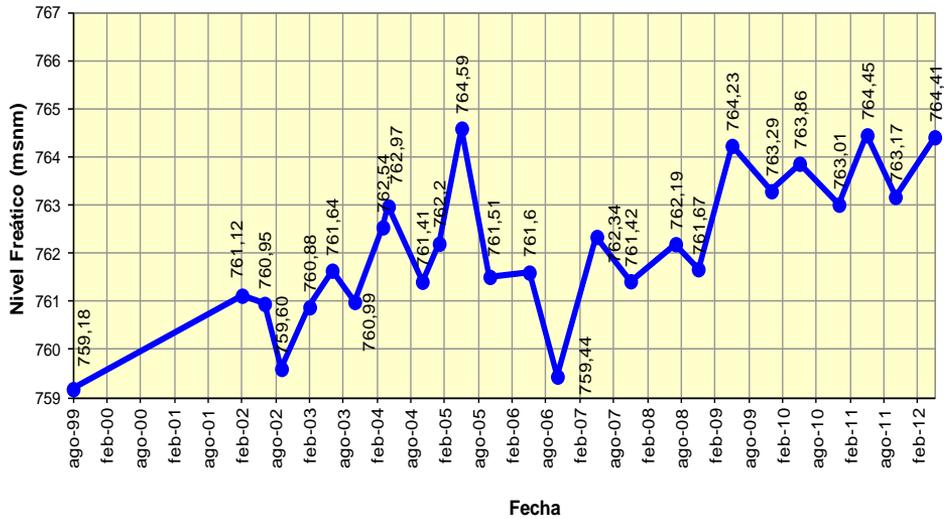
Piezómetro RCP-08-09



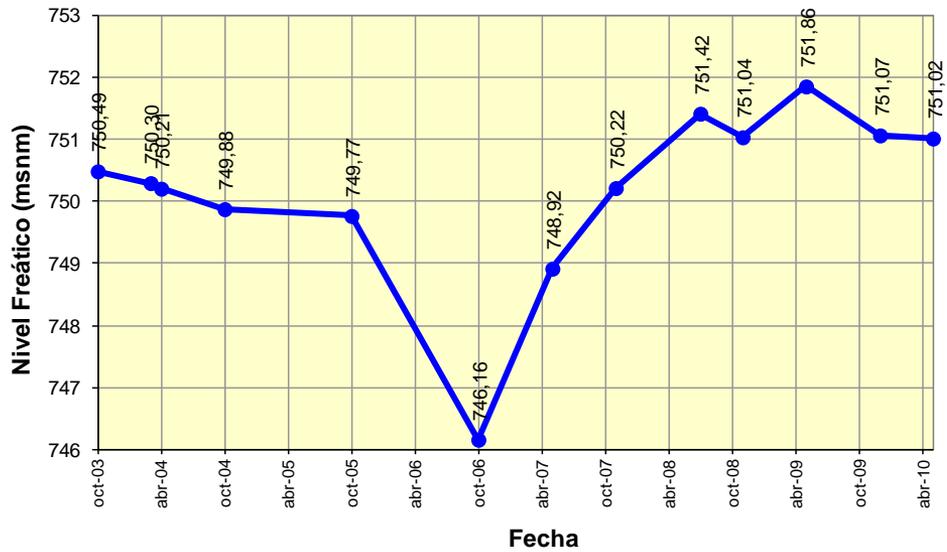
Piezómetro RCP-08-10



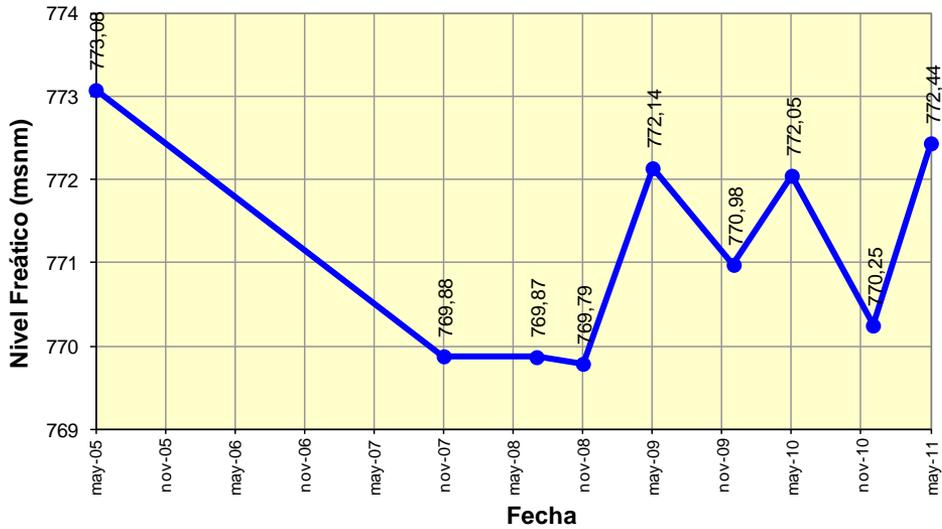
Piezómetro RCP-08-11



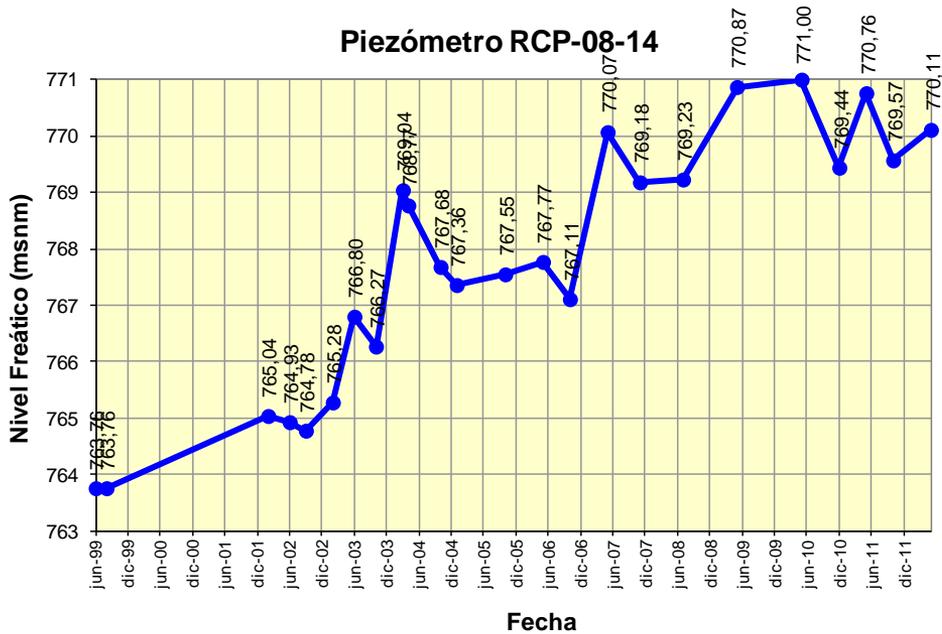
Piezómetro RCP-08-12



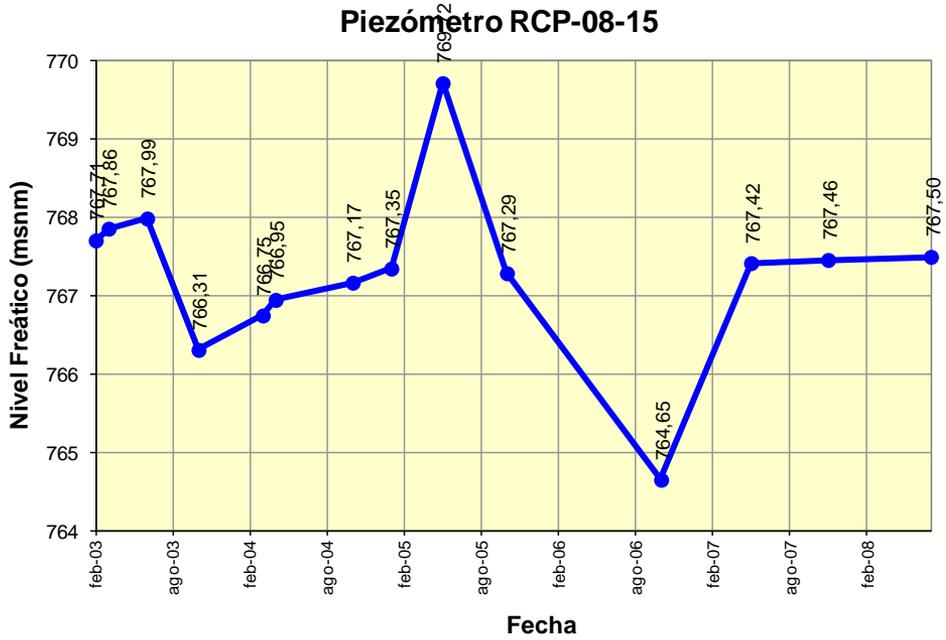
Piezómetro RCP-08-13



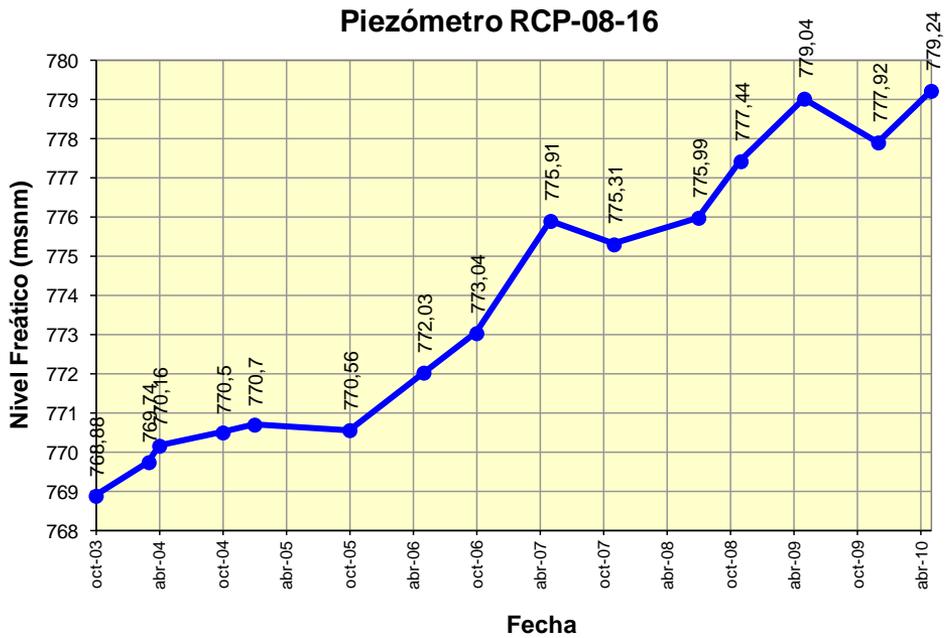
Piezómetro RCP-08-14



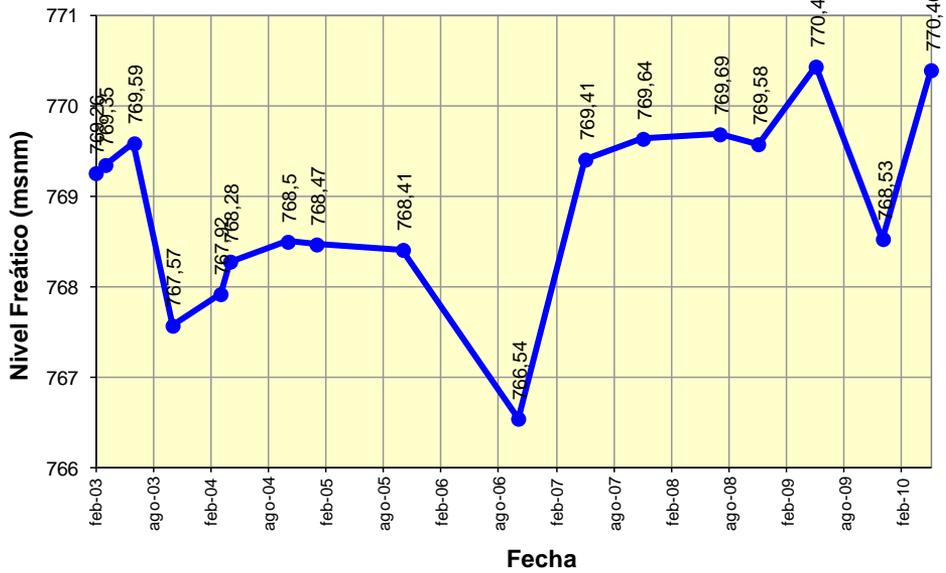
Piezómetro RCP-08-15



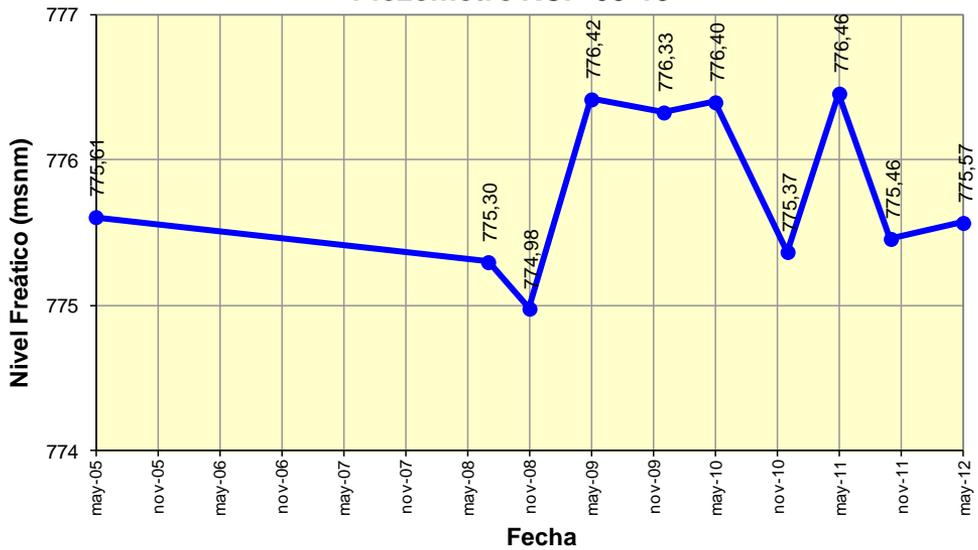
Piezómetro RCP-08-16

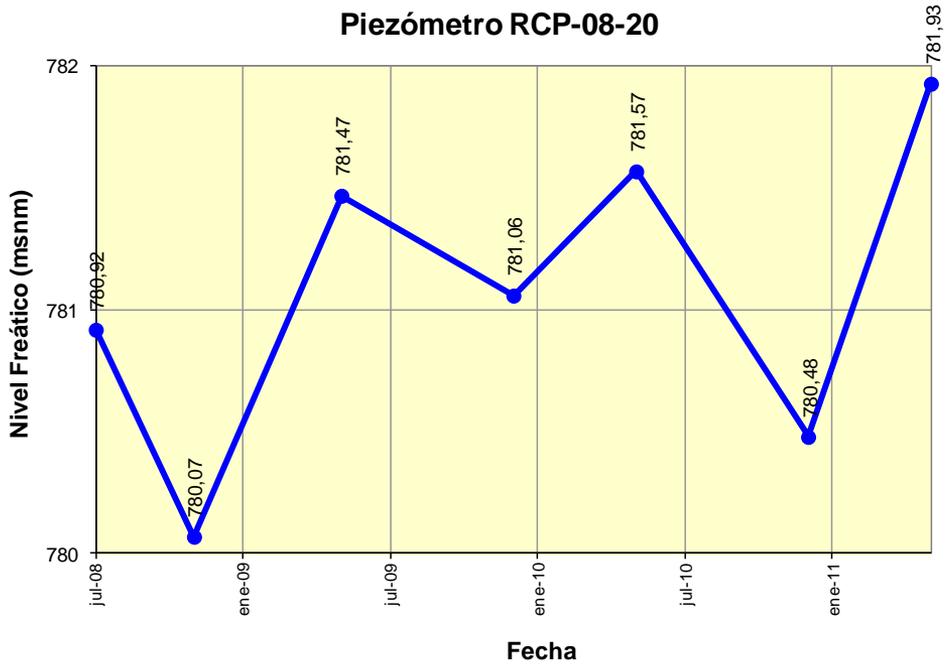
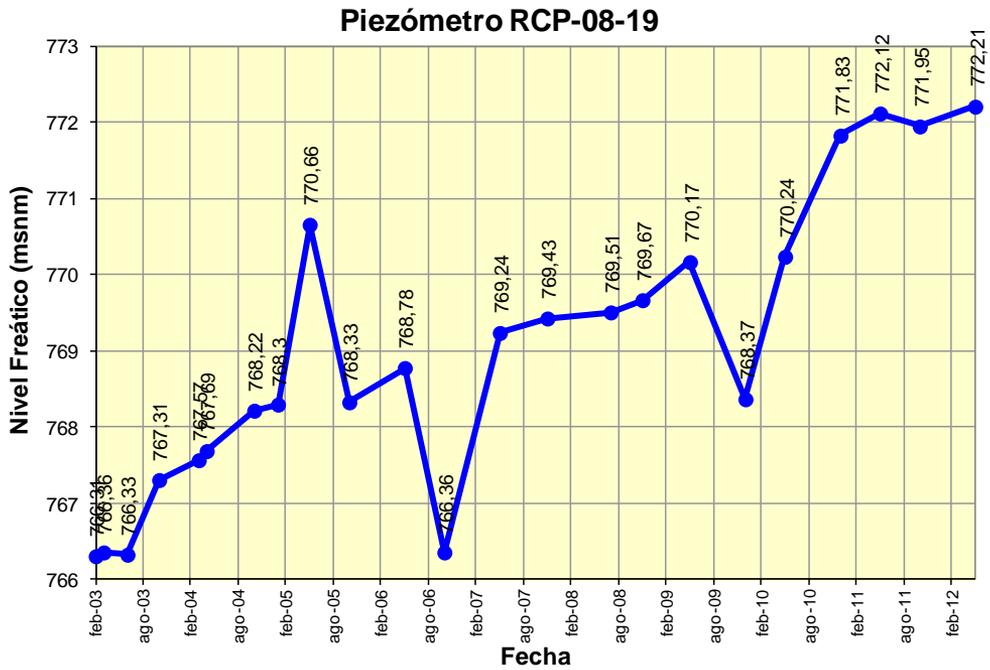


Piezómetro RCP-08-17

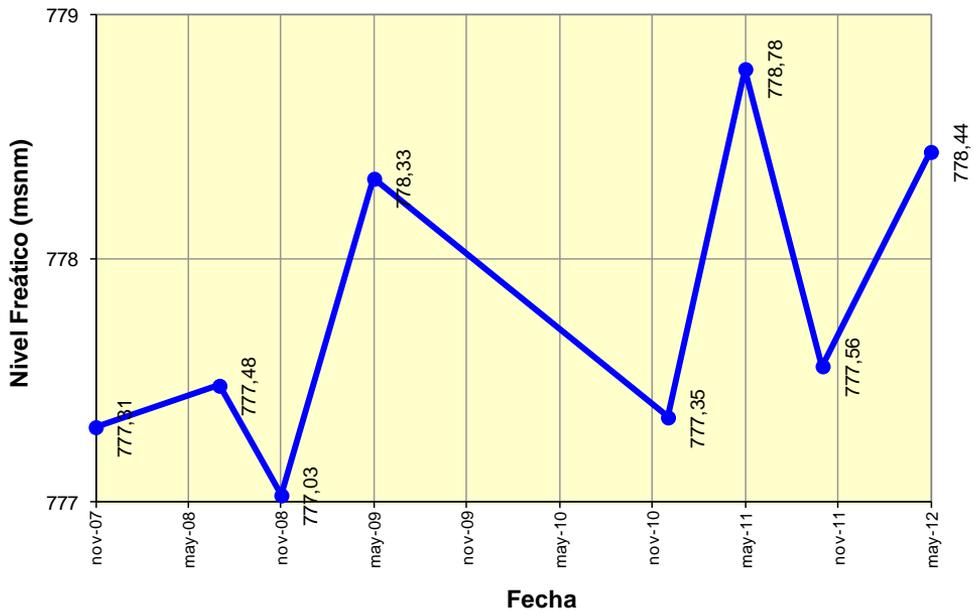


Piezómetro RCP-08-18

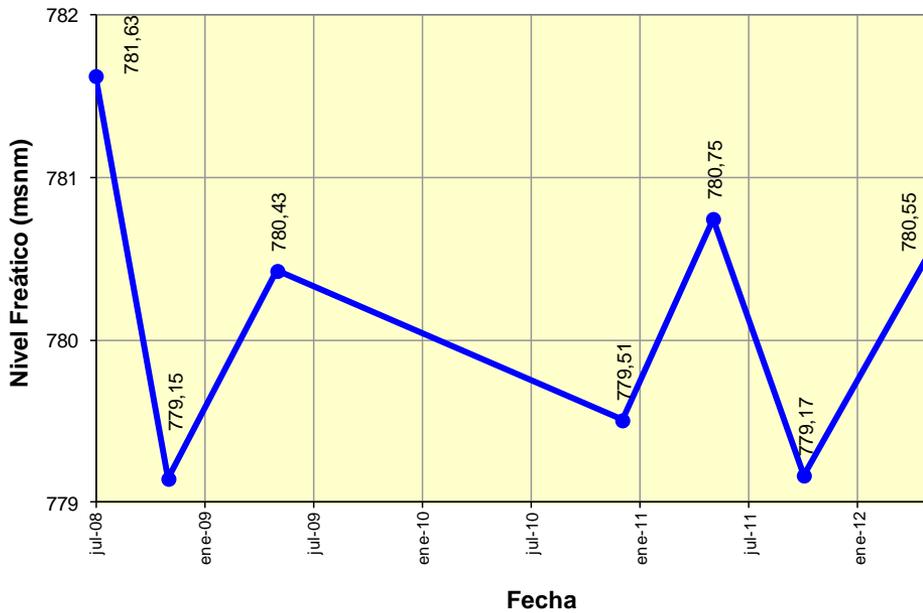




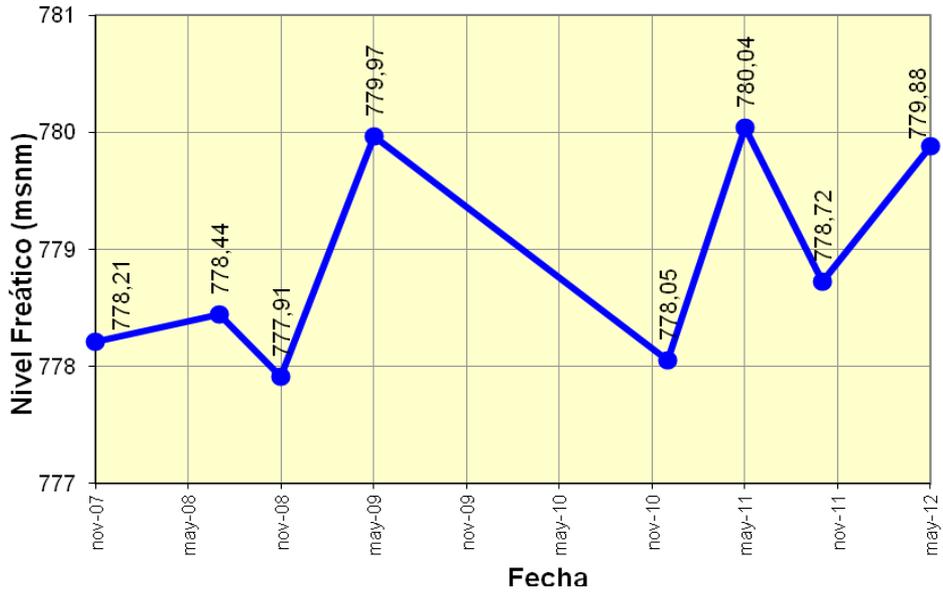
Piezómetro RCP-08-21



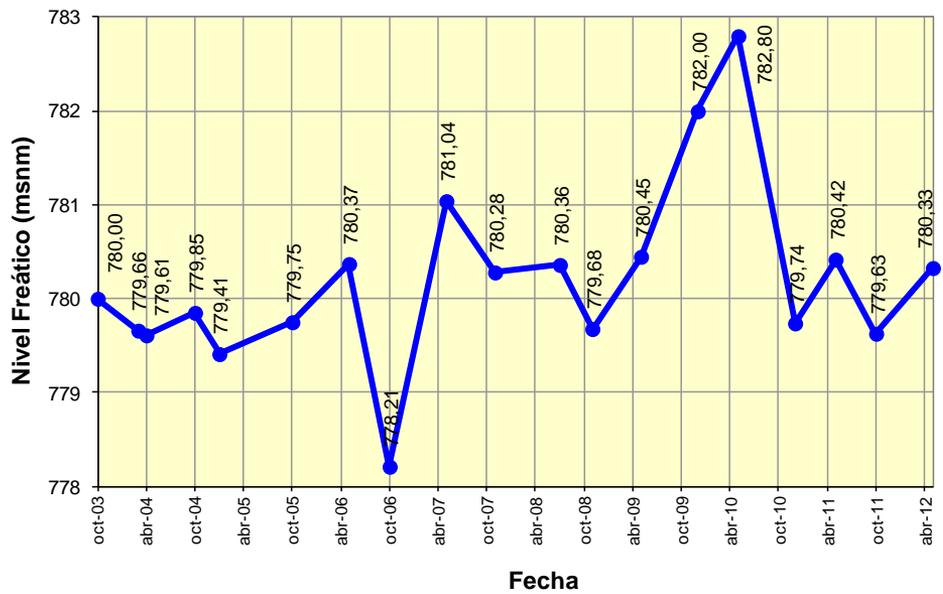
Piezómetro RCP-08-22

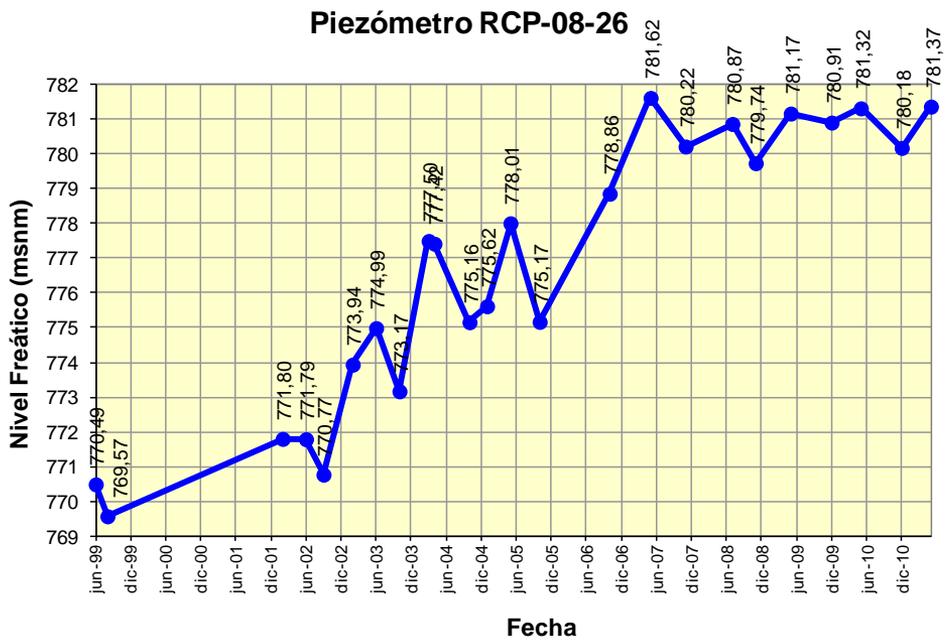
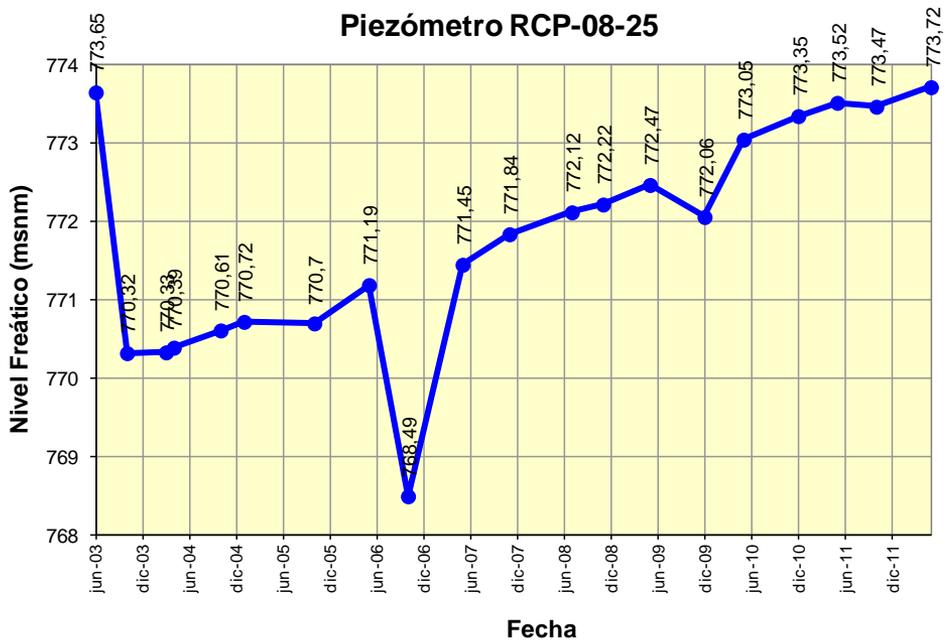


Piezómetro RCP-08-23

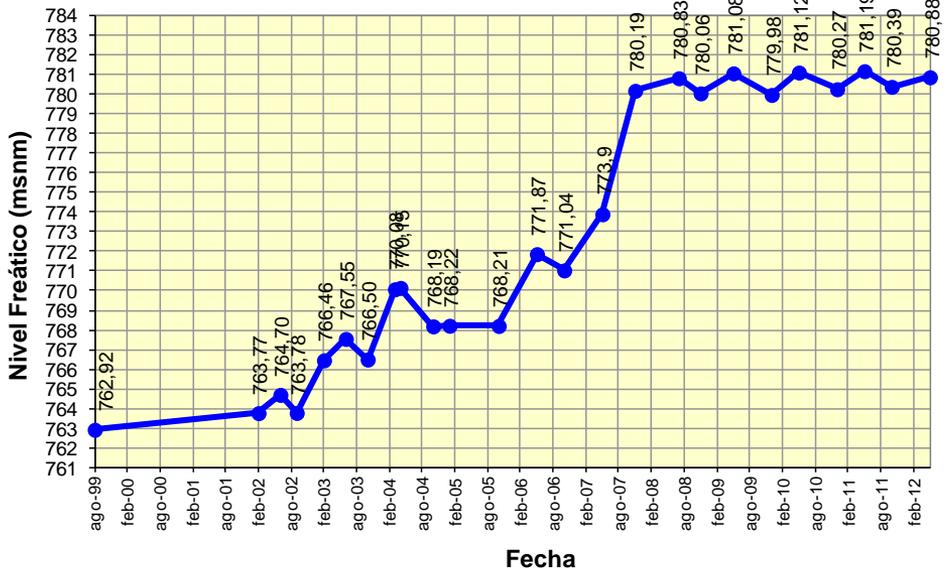


Piezómetro RCP-08-24

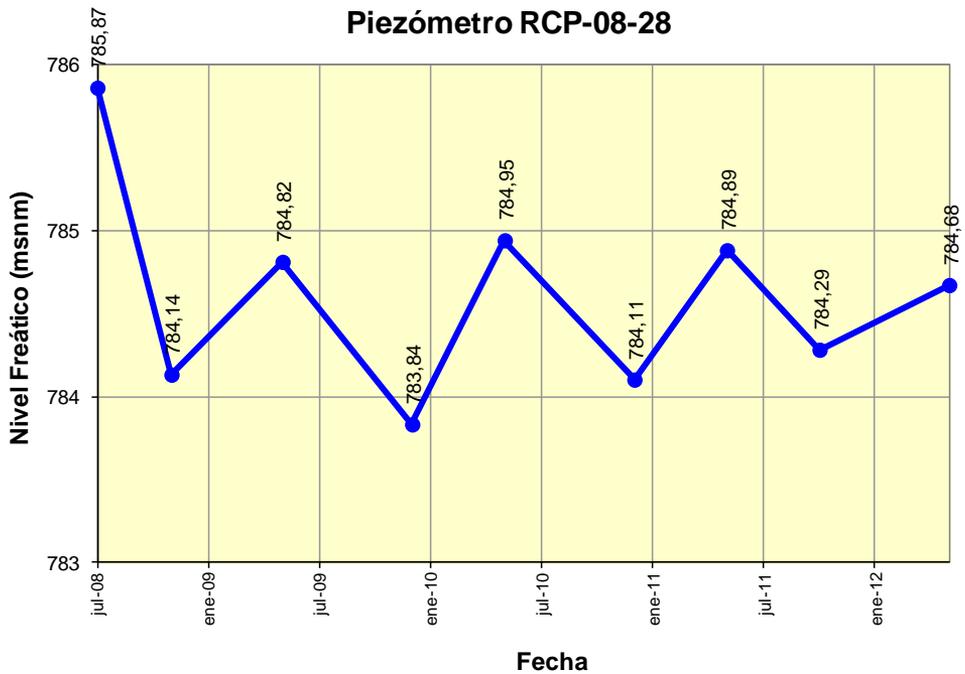




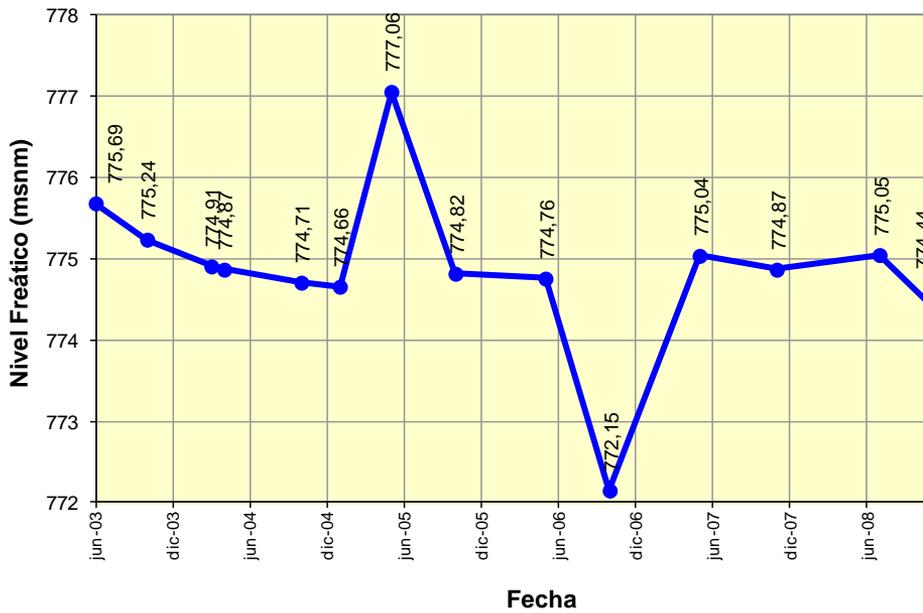
Piezómetro RCP-08-27



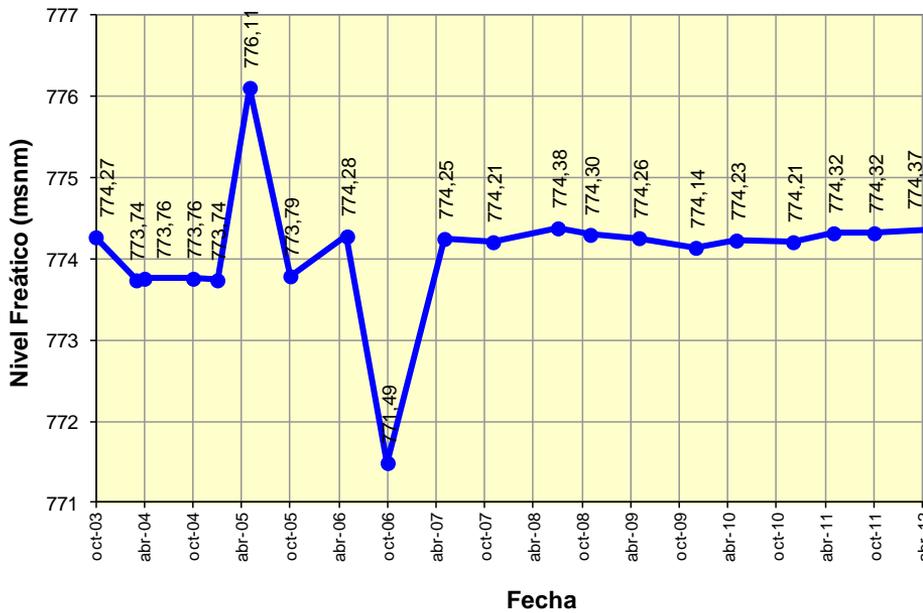
Piezómetro RCP-08-28



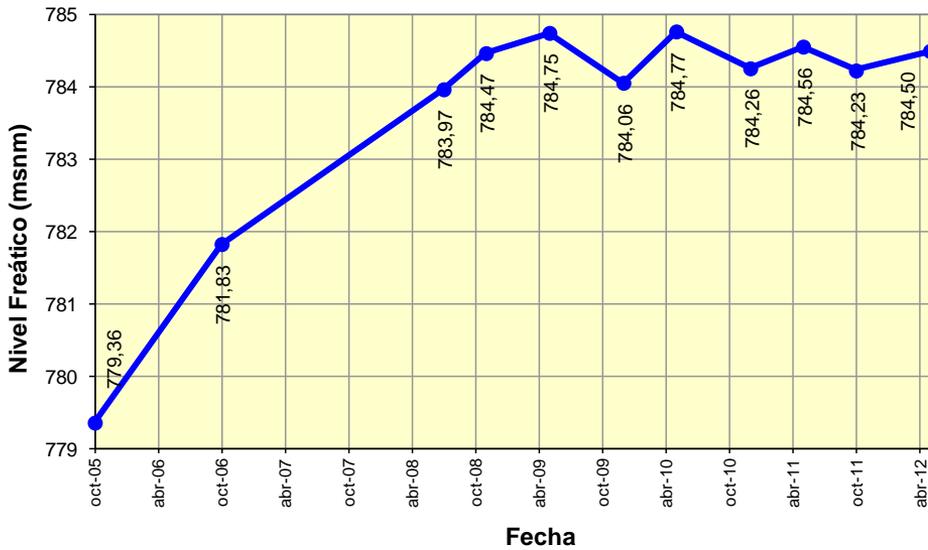
Piezómetro RCP-08-29



Piezómetro RCP-08-30



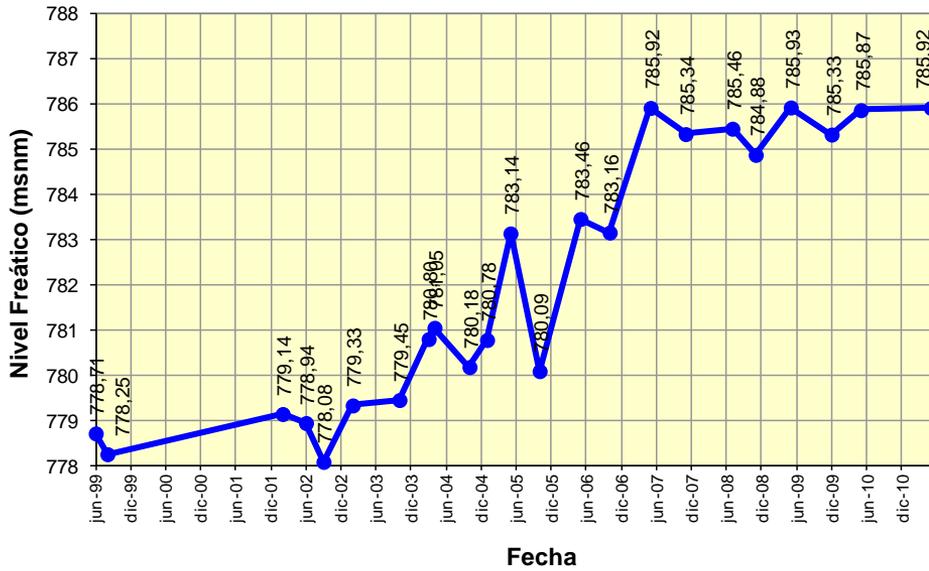
Piezómetro RCP-08-31



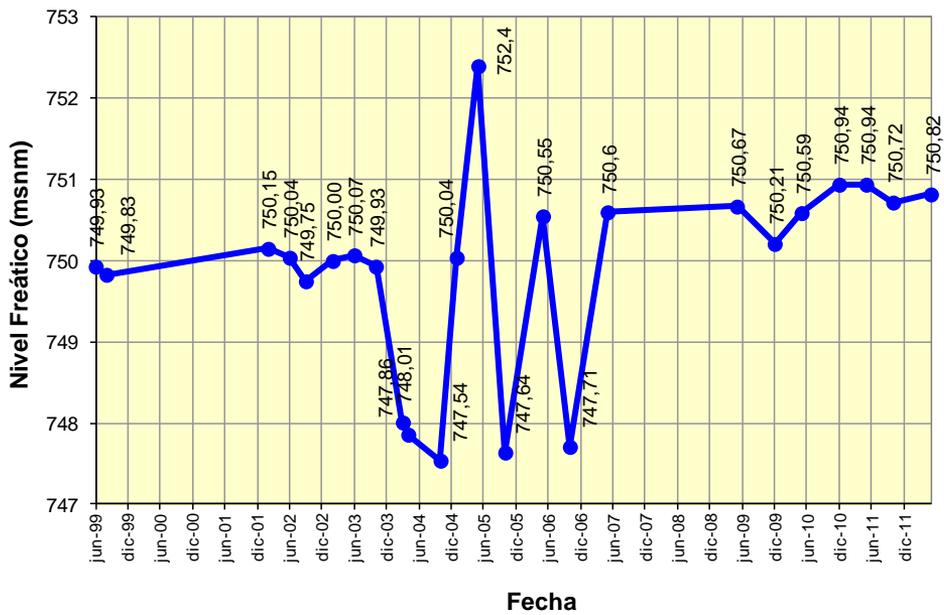
Piezómetro RCP-08-32



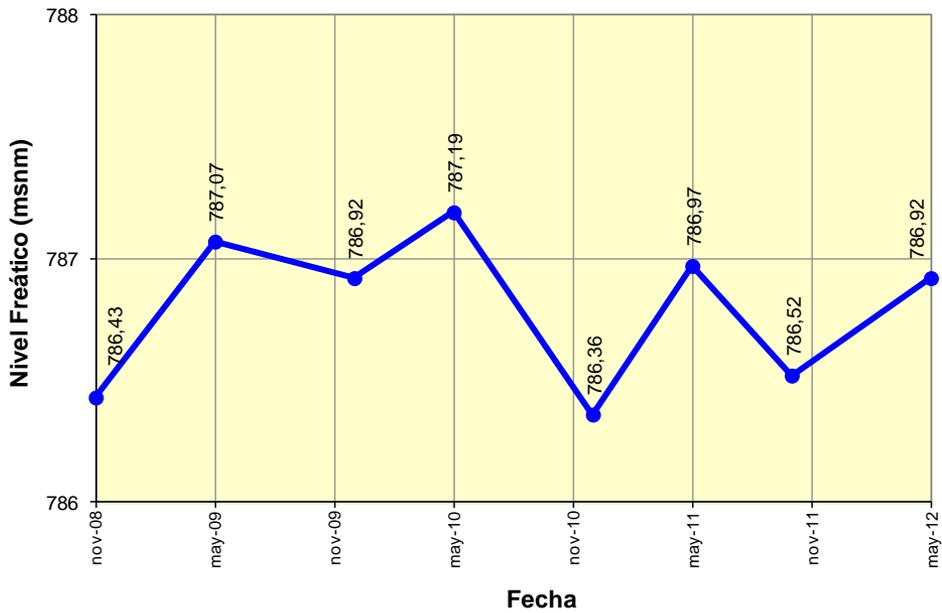
Piezómetro RCP-08-33



Piezómetro RCP-08-34



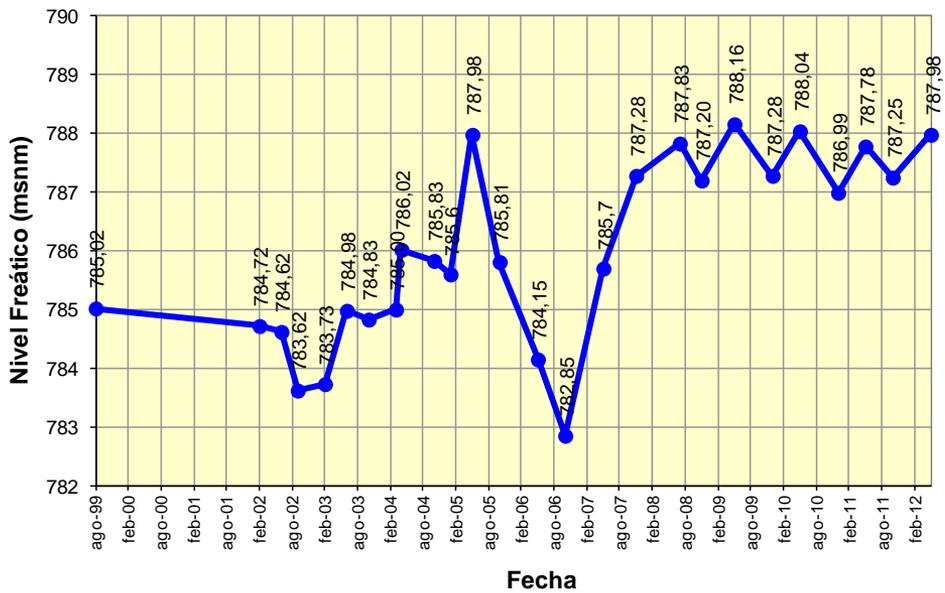
Piezómetro RCP-08-35



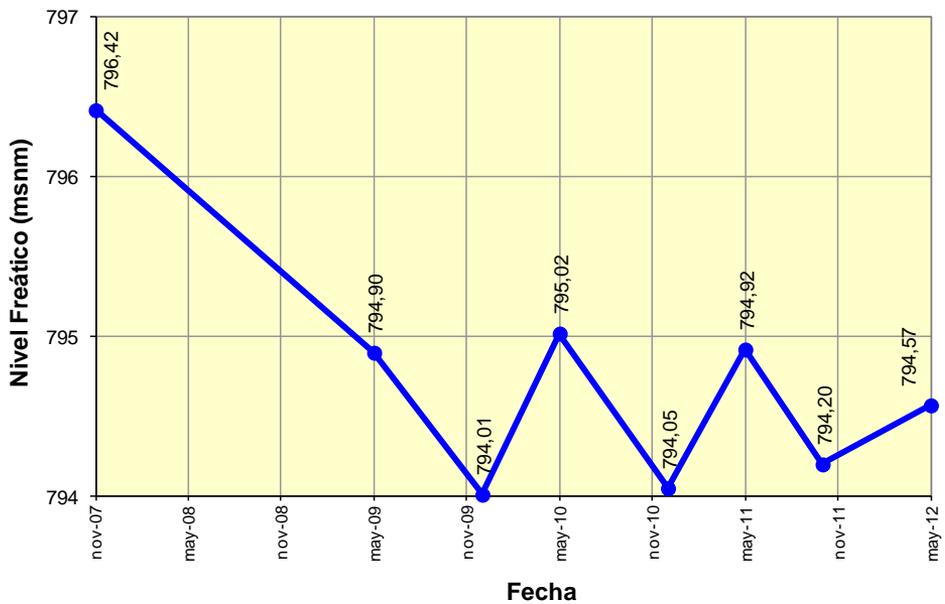
Piezómetro RCP-08-36



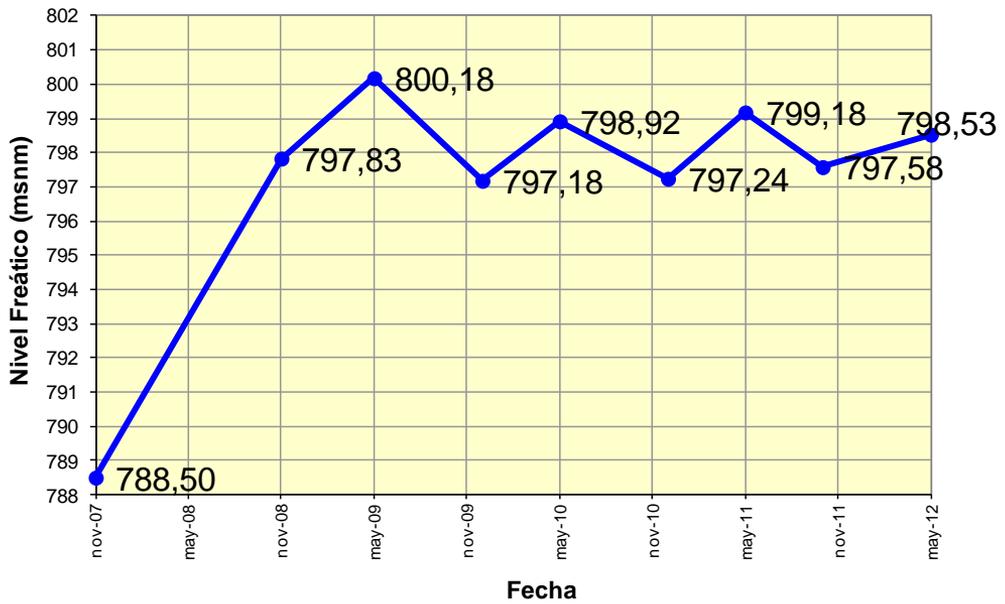
Piezómetro RCP-08-37



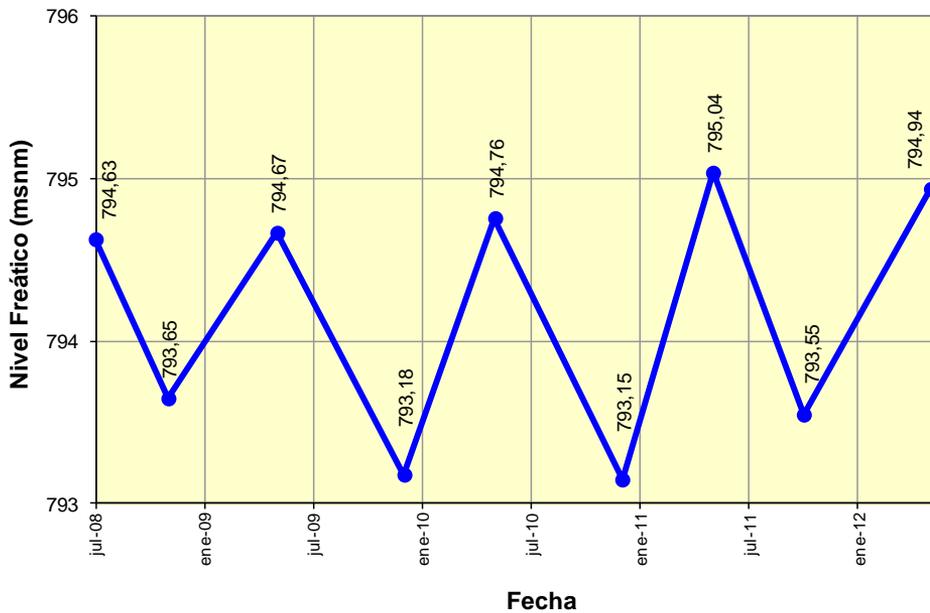
Piezómetro RCP-08-38



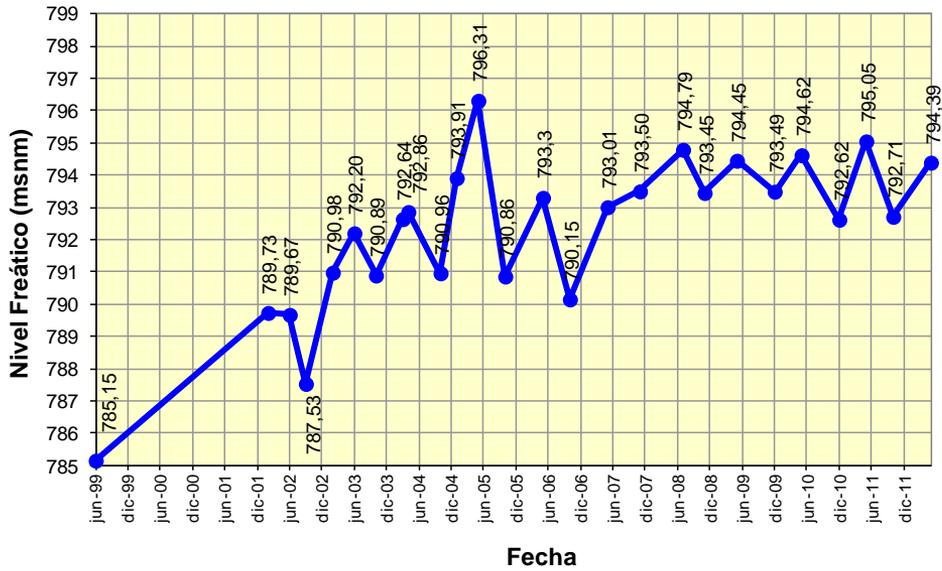
Piezómetro RCP-08-39



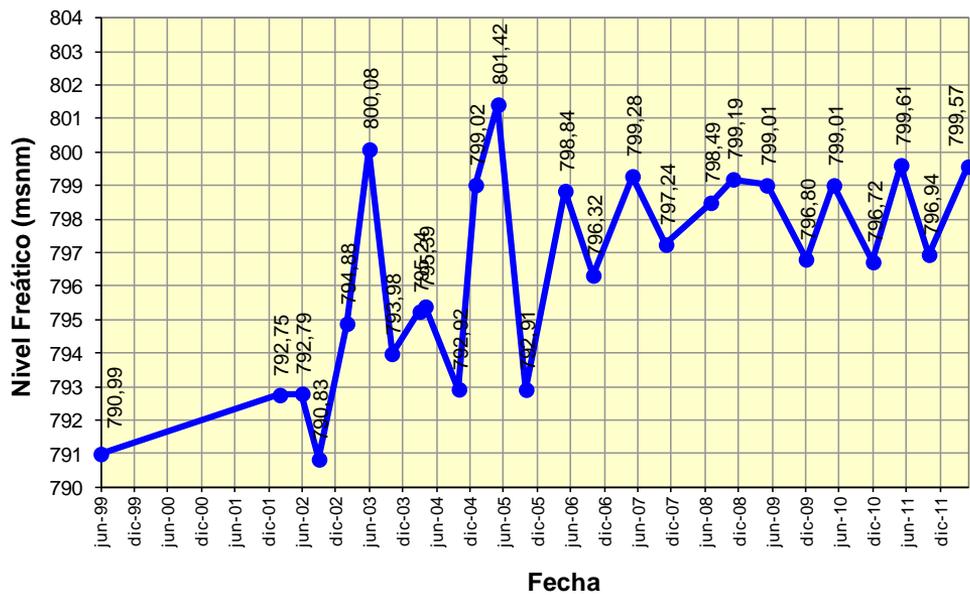
Piezómetro RCP-08-40



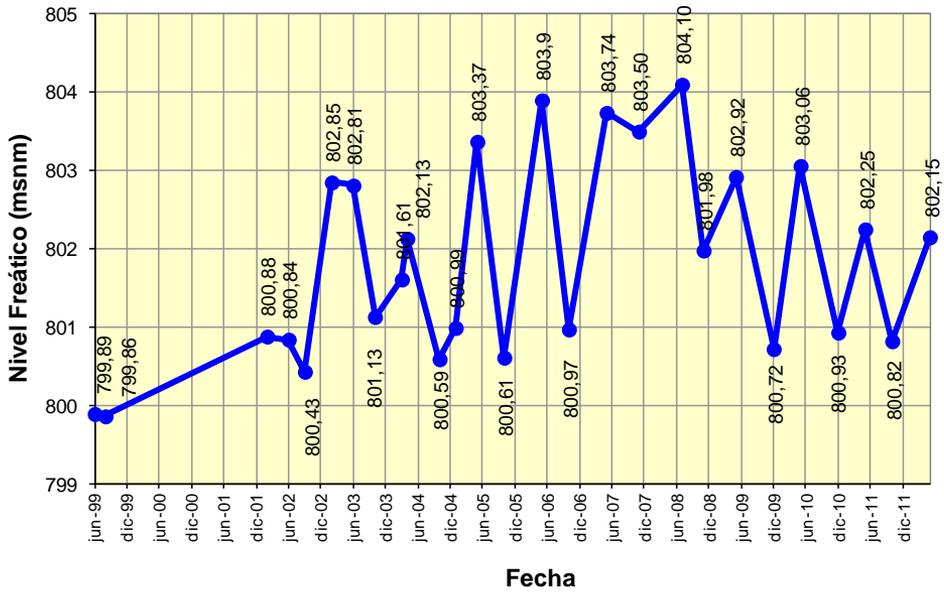
Piezómetro RCP-08-41



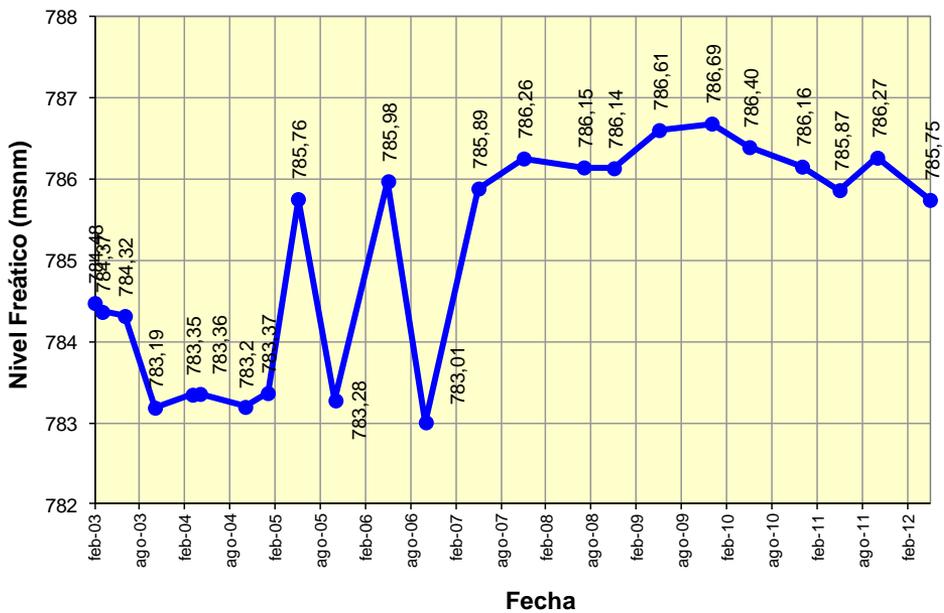
Piezómetro RCP-08-42



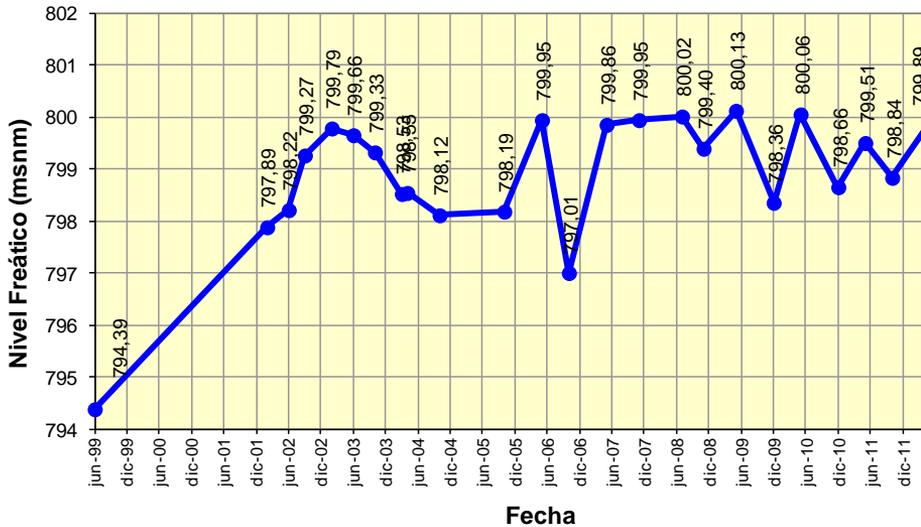
Piezómetro RCP-08-43



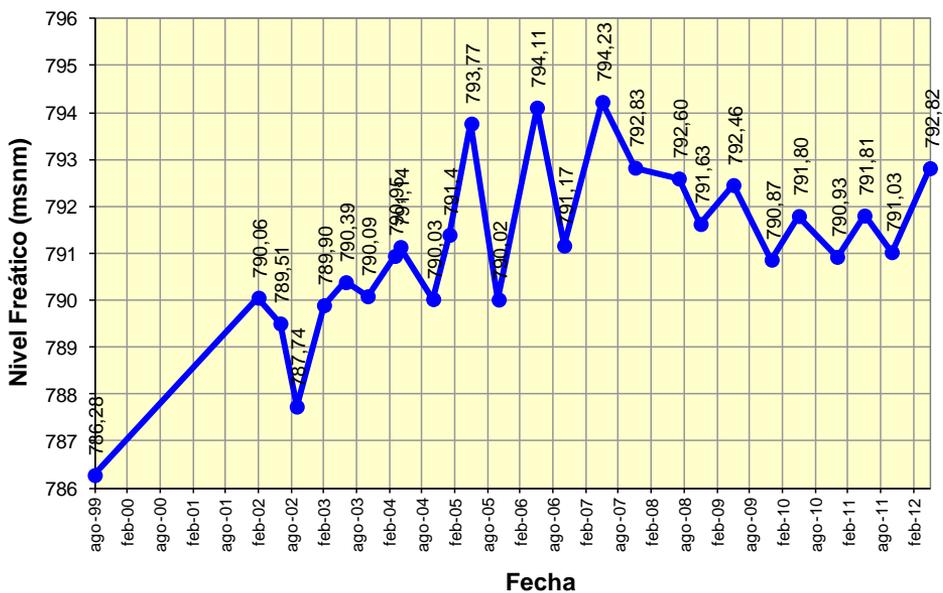
Piezómetro RCP-08-44

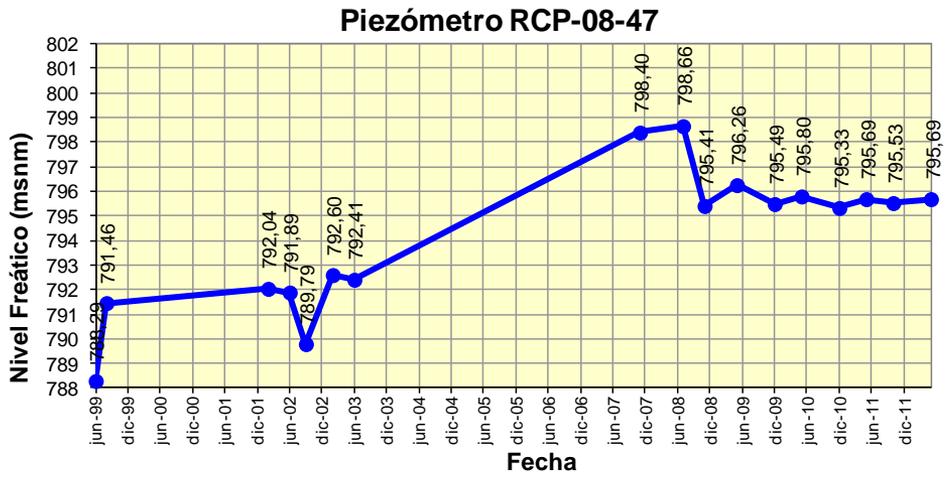


Piezómetro RCP-08-45



Piezómetro RCP-08-46





ANEXO 7.- REDES DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DE LA PIEZOMETRÍA

ANEJO 7.3.- COLUMNAS GEOLÓGICAS DE LOS PIEZÓMETROS (LITOESTRATIGRAFÍA)

TABLA PIEZÓMETROS PERFORADOS EN 1999

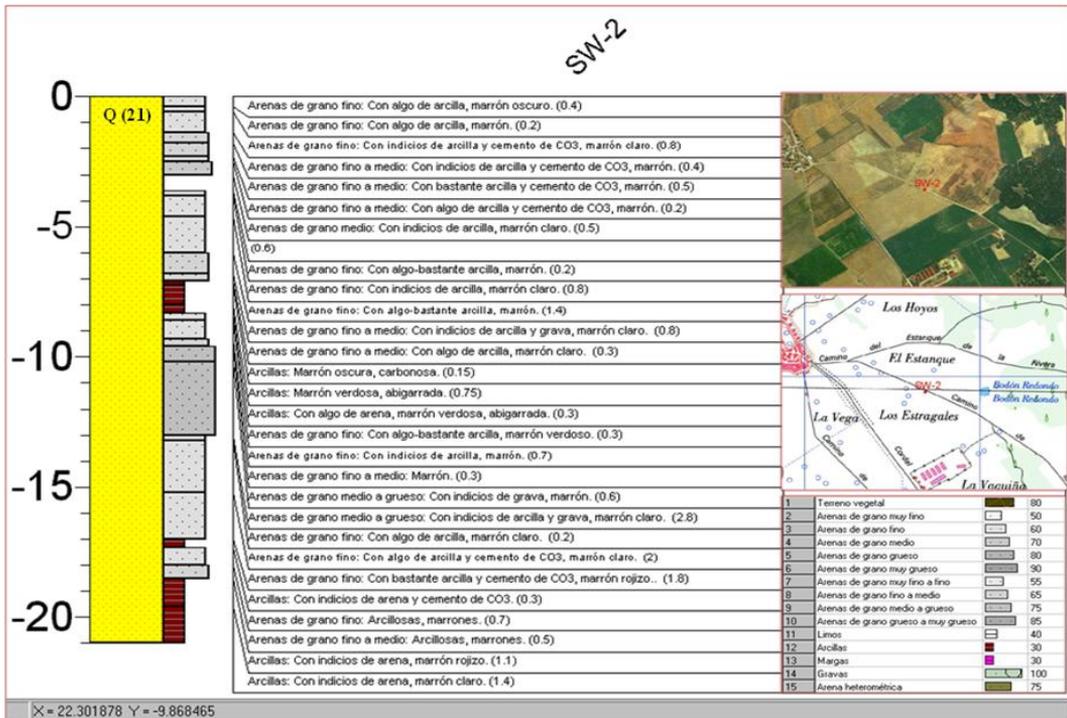
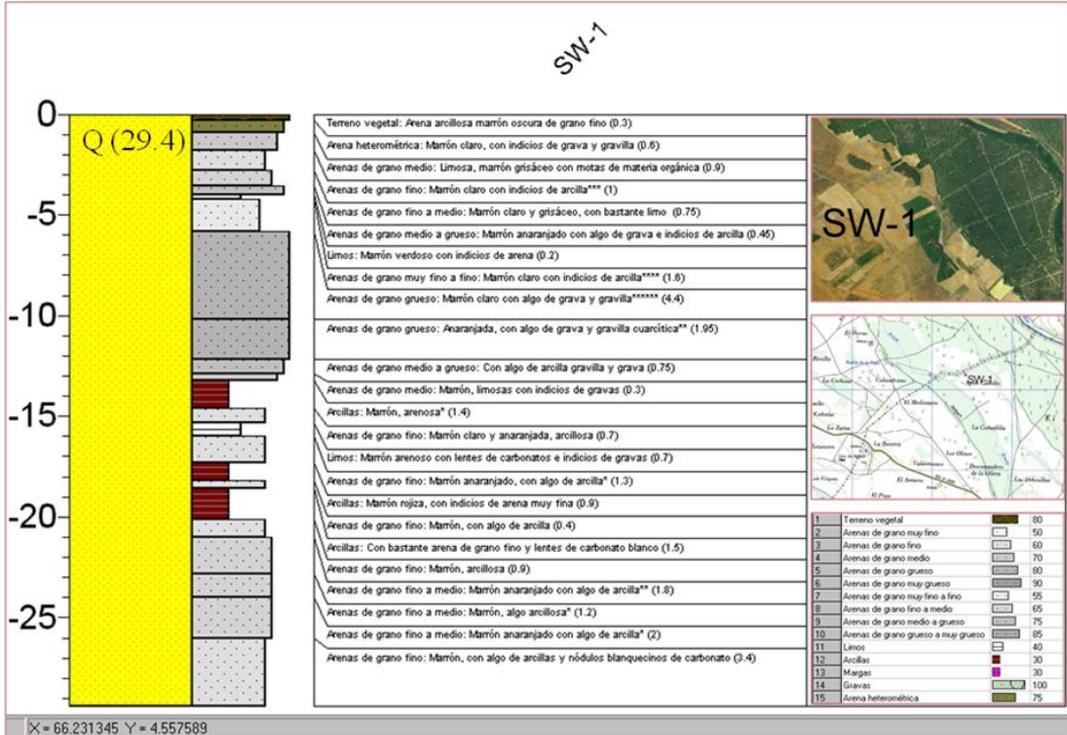
RCP	Nº f	X	Y	Z	NAT	Prof. (m)
RCR-1	P-1	368074	4568022	768,58	Pi	18
RCR-2	P-2	368926	4565642	775	Pi	20
RCR-3	P-3	369626	4563622	779,65	Pi	23
RCR-4	P-4	369393	4561456	786,42	Pi	18,3
RCR-5	P-5	369339	4558514	796,24	Pi	20
RCR-6	P-6	370124	4556765	800,28	Pi	39,2

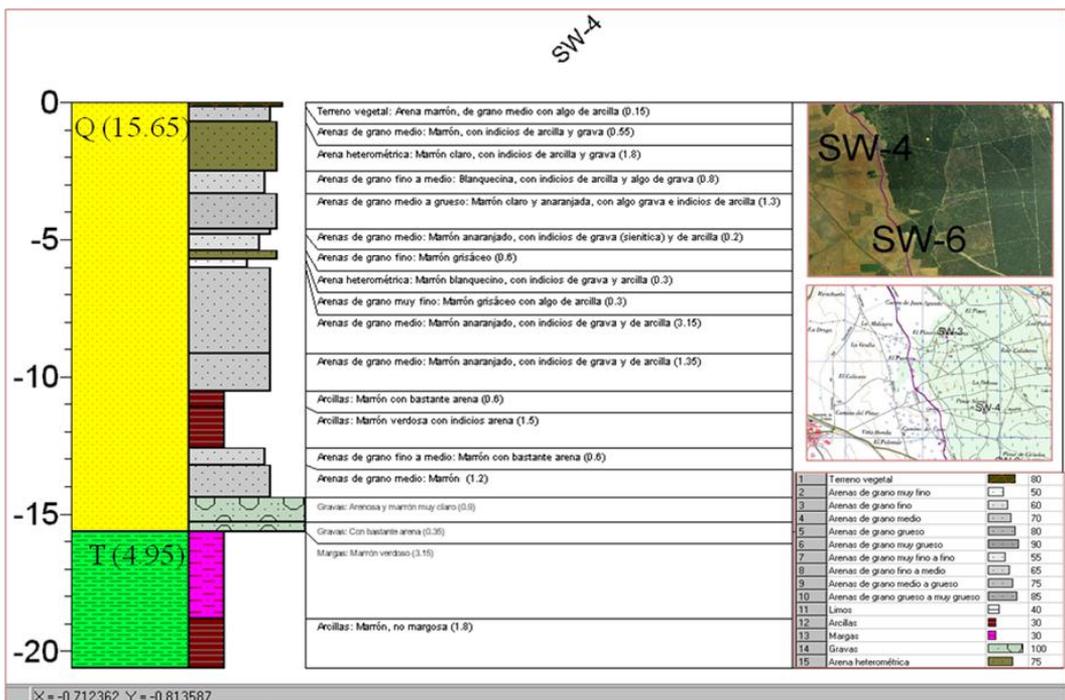
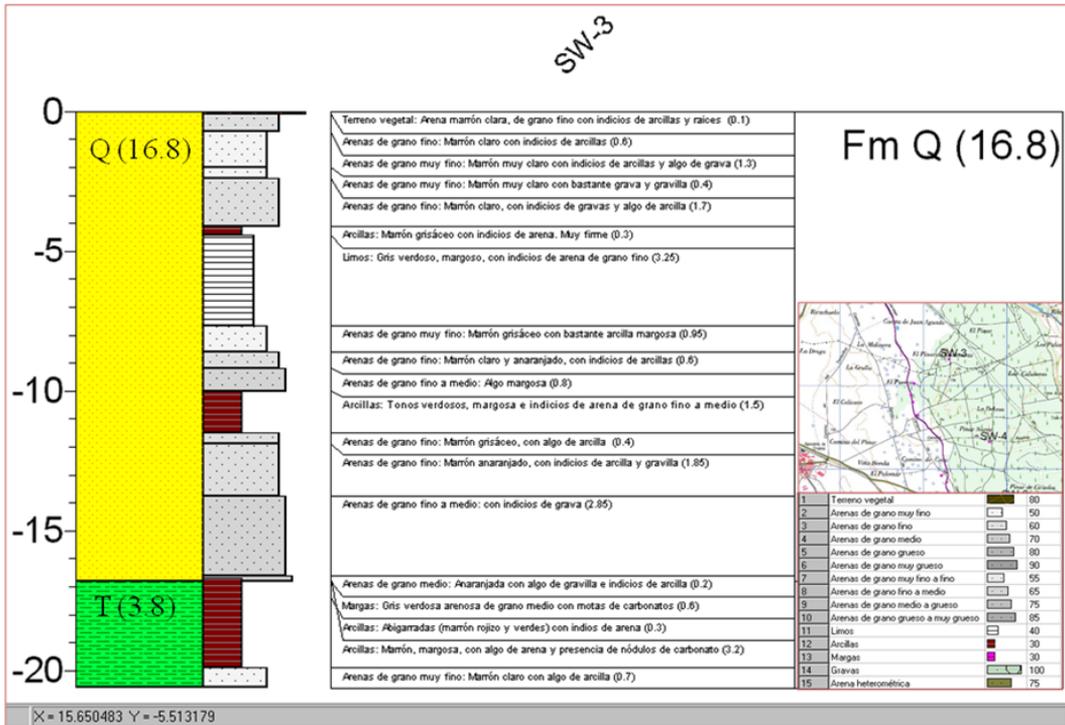
TABLA PIEZÓMETROS PERFORADOS ENTRE 2002 Y 2004

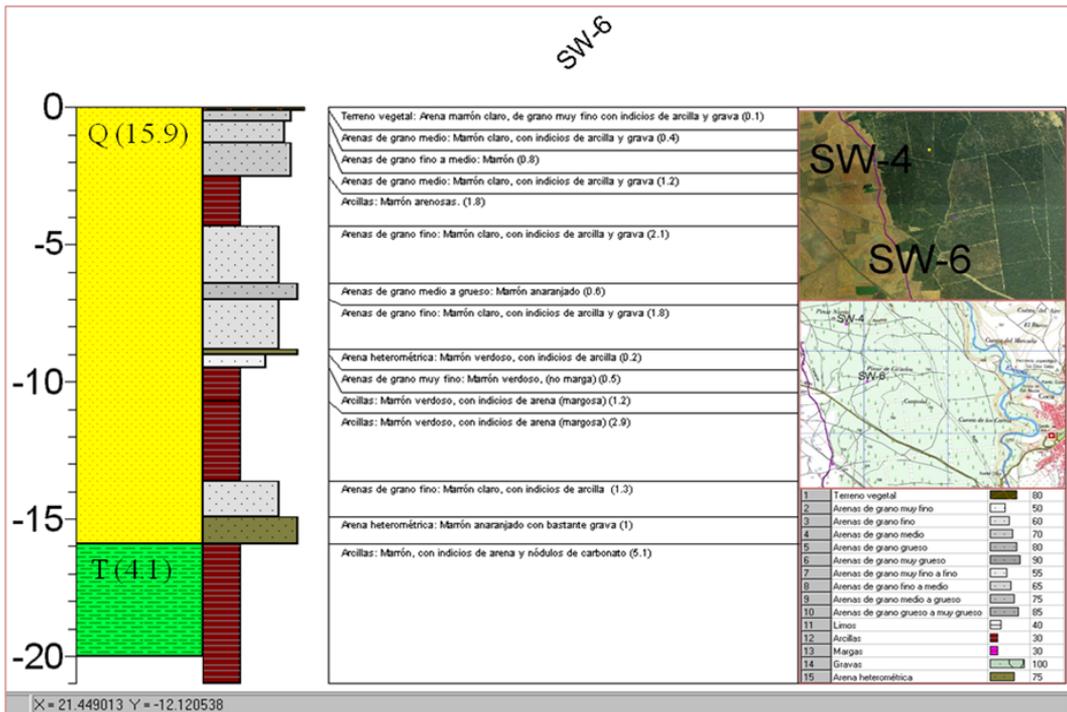
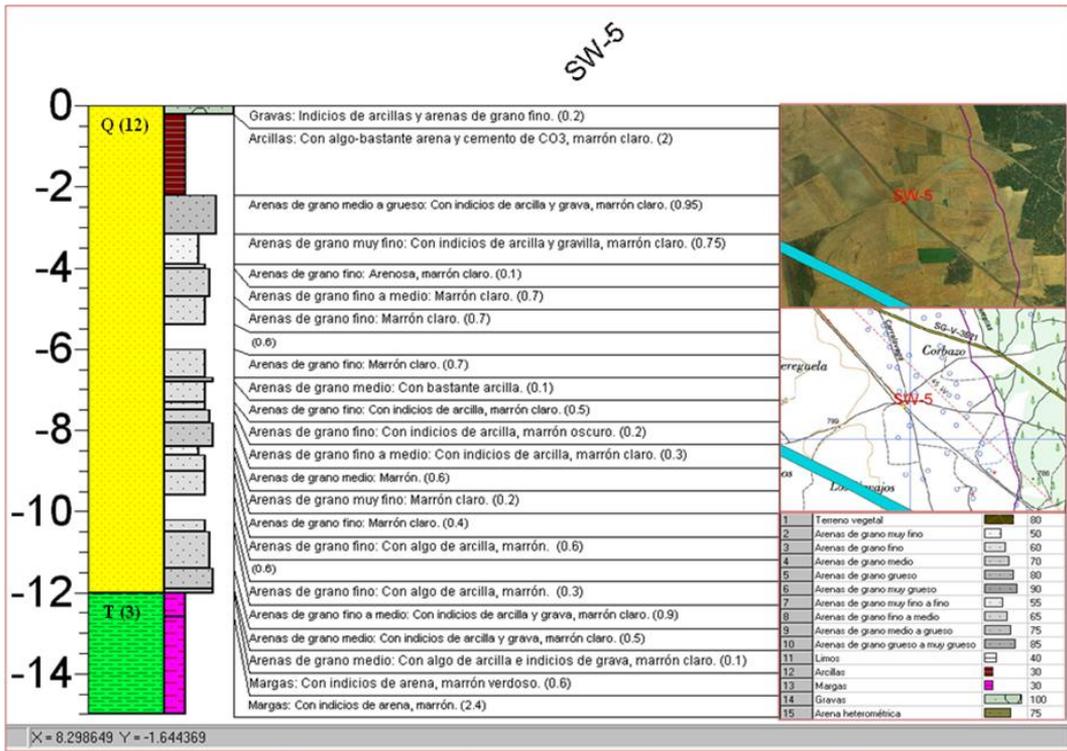
N	X	Y	Z	NAT	Prof. (m)	N.E. (msnm)	fecha	toponimia/observaciones
SW-1	367419	4570177	764,67	Pi	29,39	757,48	05/06/2003	MEDIDO PVC EXTERNO
SW-2	368686	4567906	771,14	Pi	21,00	N/A	11/06/2003	
SW-3	369306	4566315	776,77	Pi	20,57	767,99	05/06/2003	MEDIDO PVC int
SW-4	369787	4565325	778,53	Pi	20,60	769,59	05/06/2003	MEDIDO PVC int
SW-5	368958	4564189	781,98	Pi	15,00	771,76	11/06/2003	MEDIDO PVC EXT
SW-6	370037	4564627	780,16	Pi	20,00	766,33	05/06/2003	MEDIDO PVC int
SW-7	369337	4562450	786,56	Pi	21,00	777,93	11/06/2003	SW-7 MEDIDO PVC int
SW-8	369475	4559082	795,83	Pi	20,70	792,08	05/06/2003	MEDIDO PVC int
SW-9	369662	4560253	792,1	Pi	11,54	789,30	05/06/2003	RCR 17-03 MEDIDO PVC INTERNO
SW-10	370474	4556999	802,7	Pi	28,30	784,32	05/06/2003	RCR 2-03 MEDIDO PVC EXTERNO
SW-11	370648	4560956	791,39	Pi	20,90	773,69	05/06/2003	MEDIDO PVC int
SW-12	367529	4569305	766,17	Pi	40,00	759,83	11/06/2003	MEDIDO PVC EXT
SW-13	369979	4558559	784,92	Pi	21,00	783,65	11/06/2003	SW-13
SW-14	371224	4564445	782,23	Pi	12,00	777,57	11/06/2003	MEDIDO PVC EXT
SW-15	370689	4561876	789,13	Pi	18,00	775,69	11/06/2003	SW-15

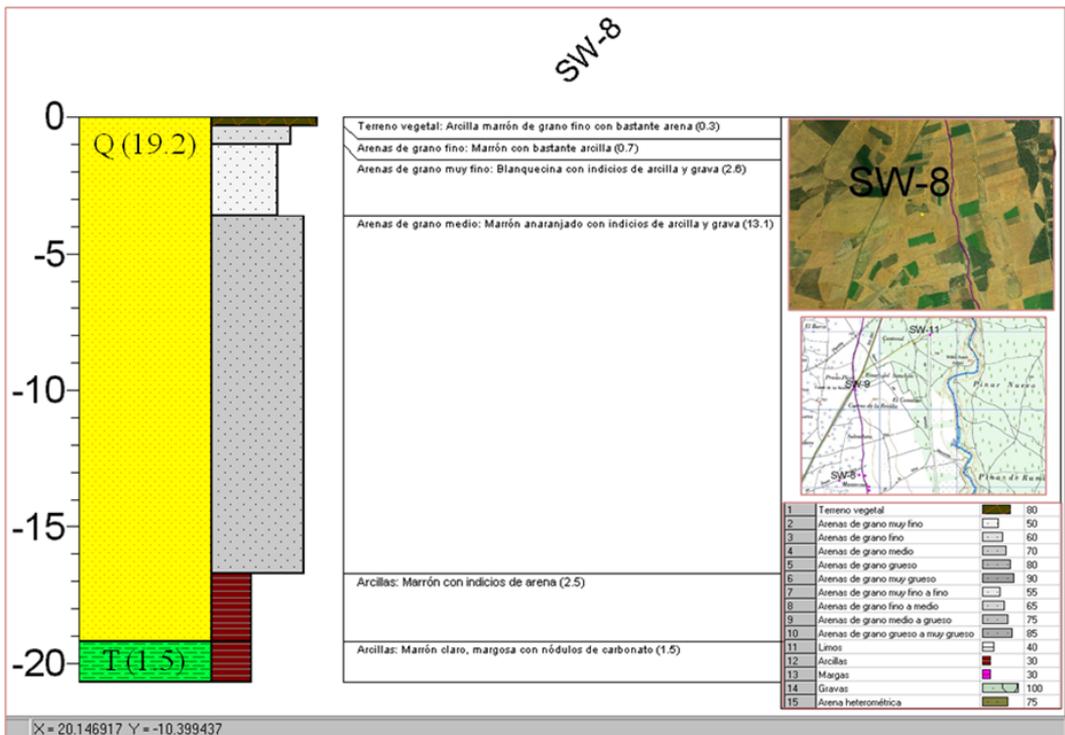
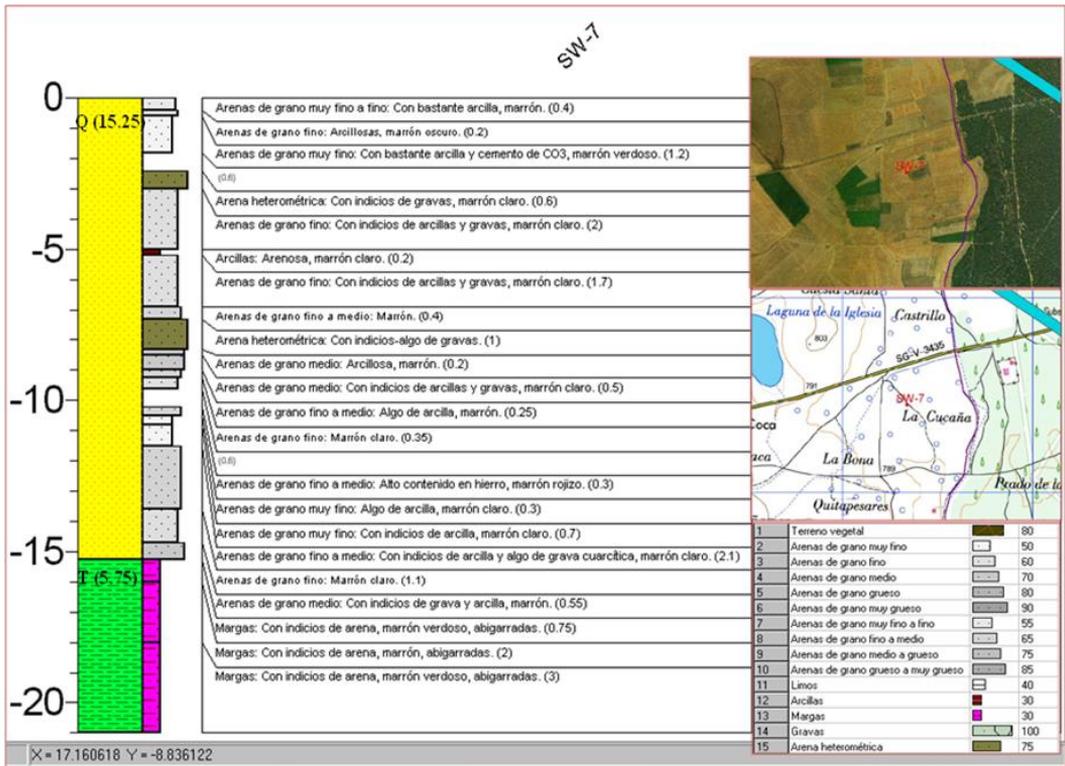
Tabla AX7-3. Posición y características de los nuevos piezómetros del MAPA. Referencia de medida en observaciones, tubería de revestimiento (INT) o tubería de protección (EXT).

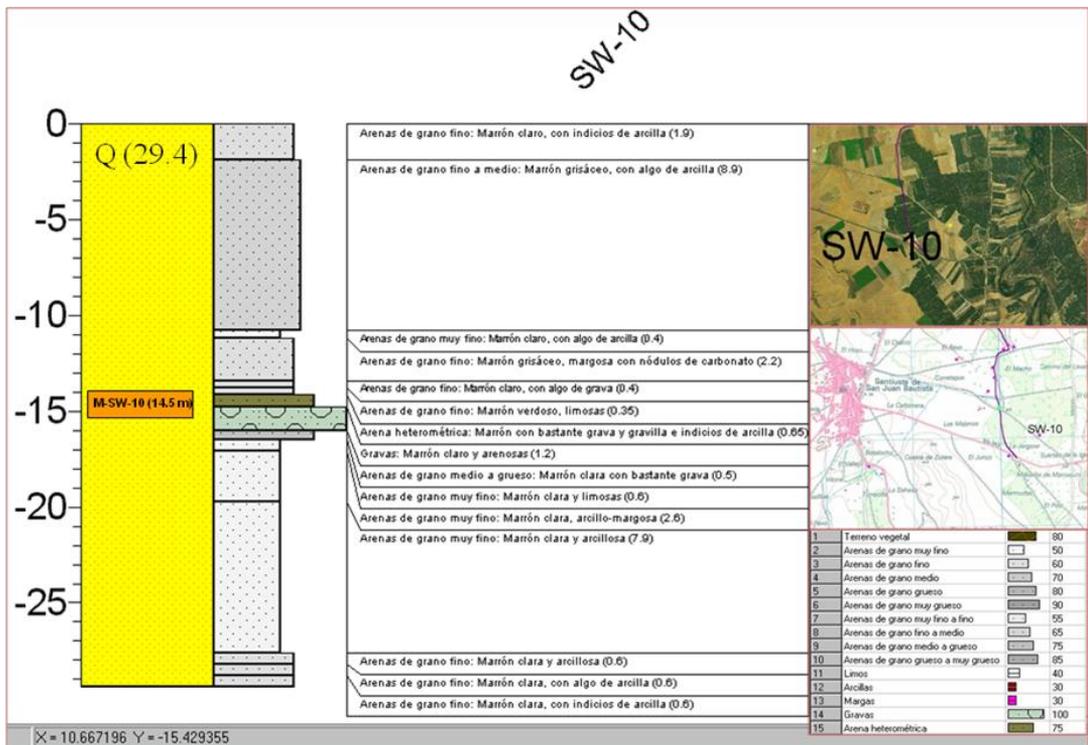
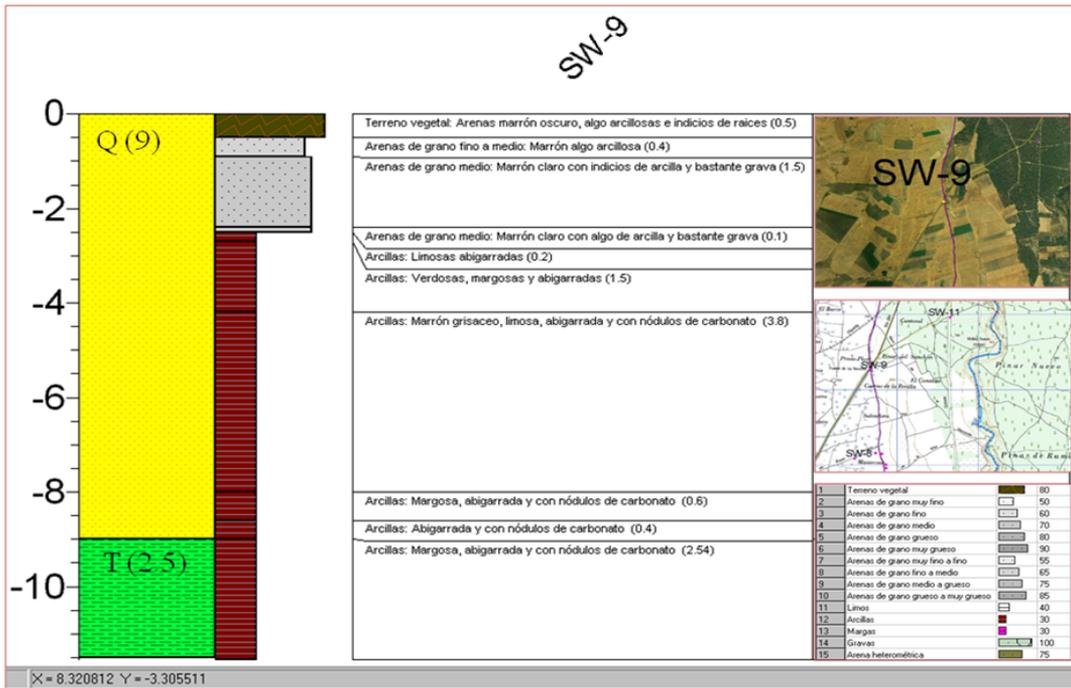
CROQUIS DE LAS PERFORACIONES

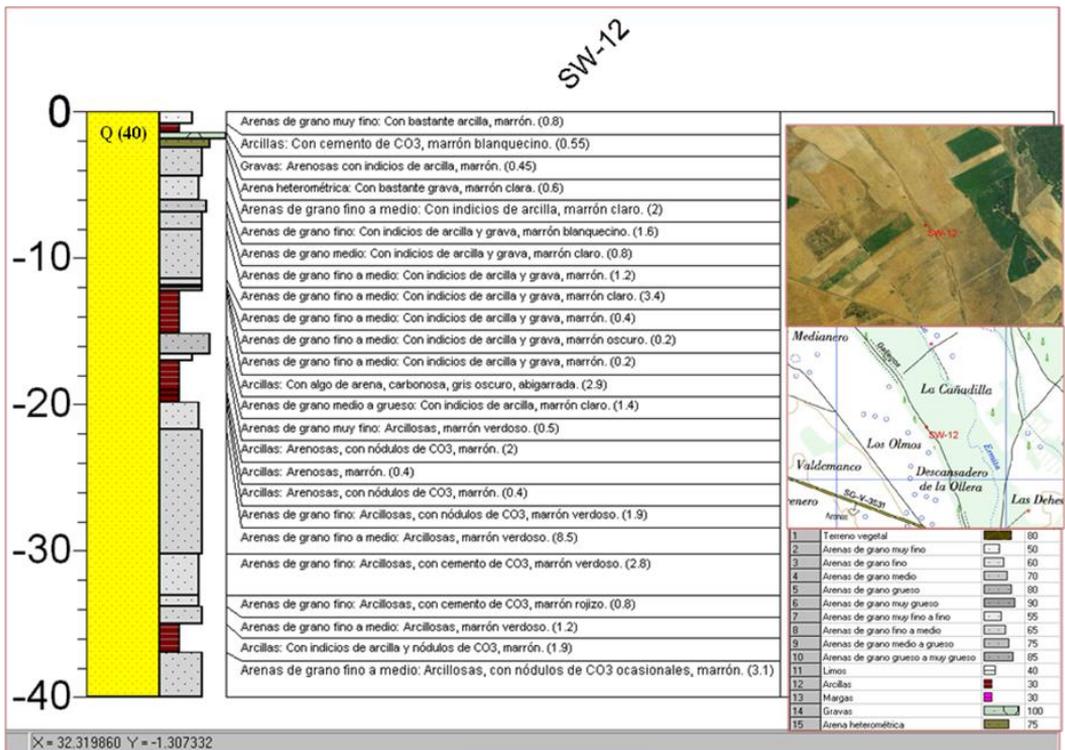
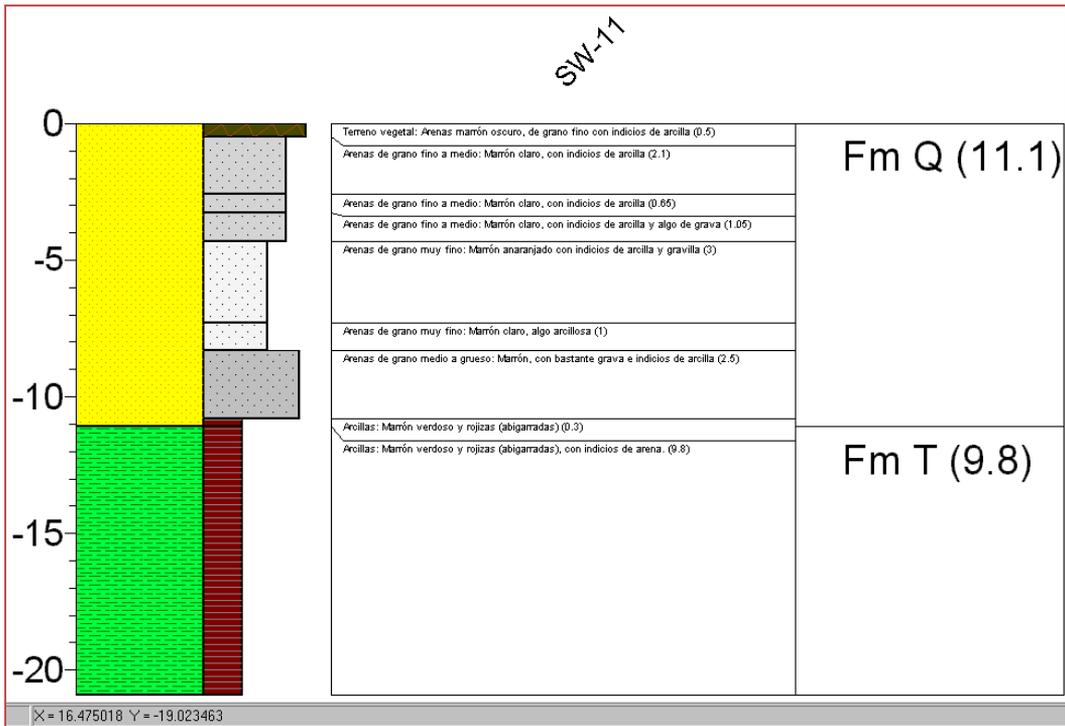


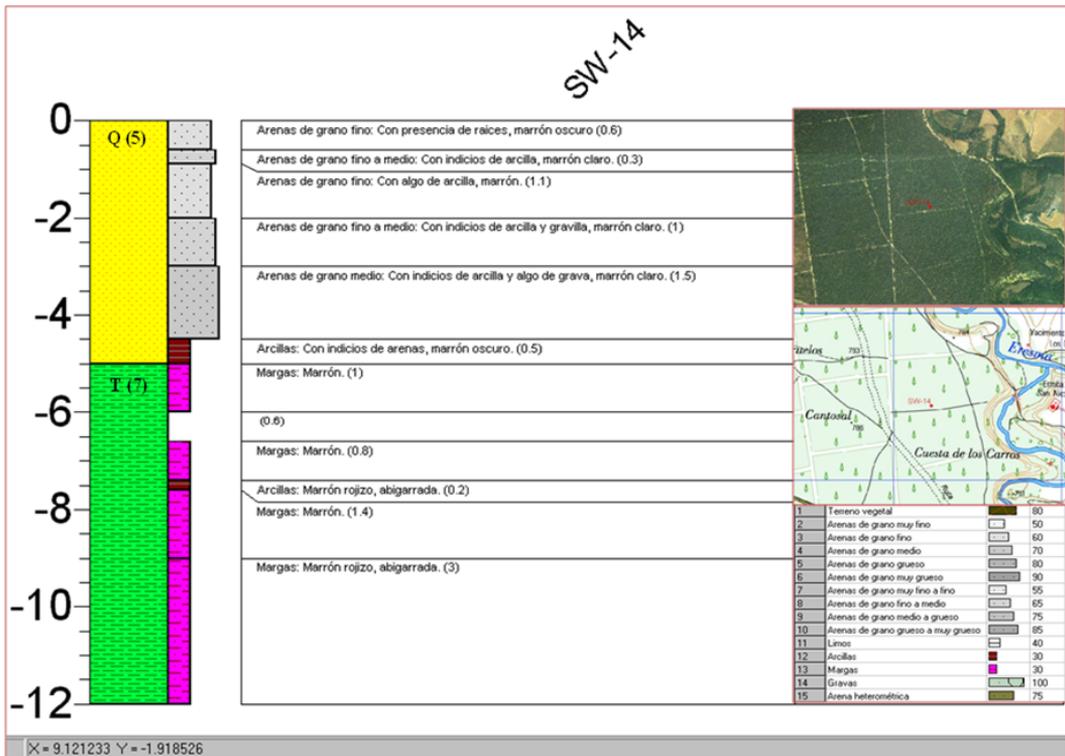
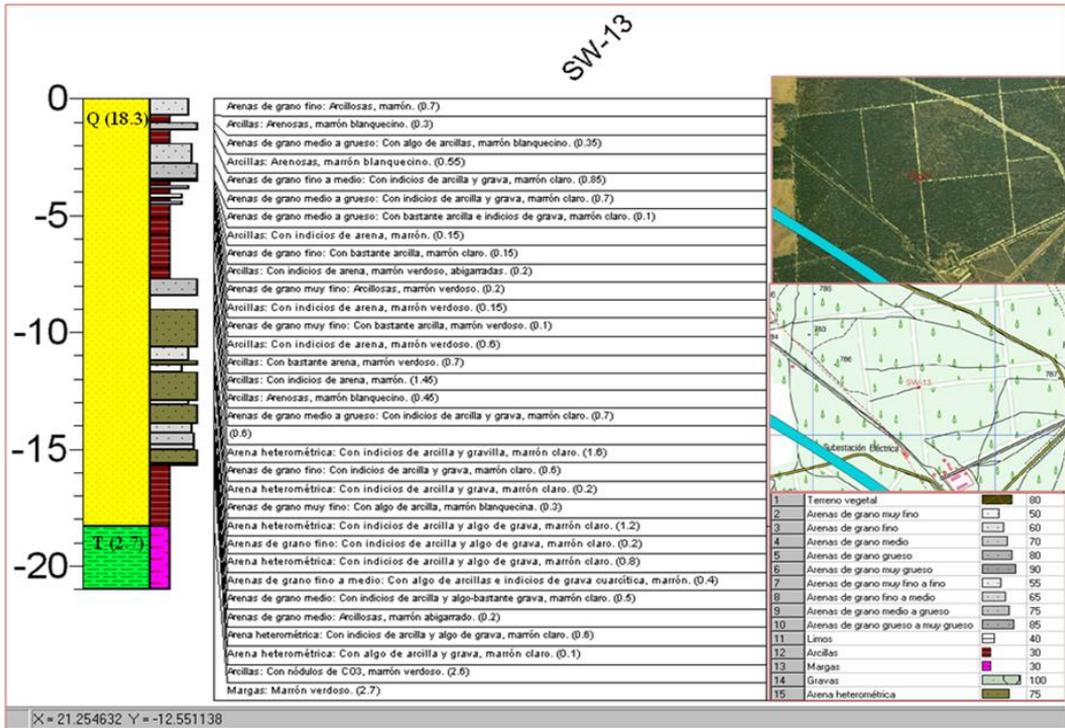


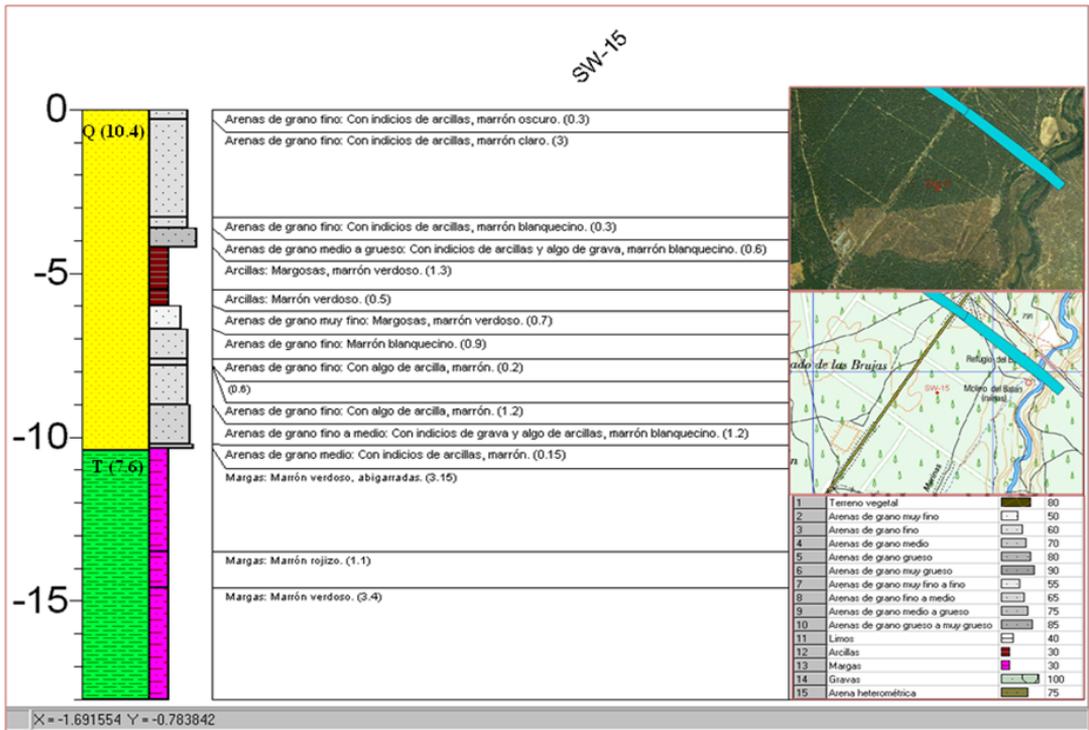












ANEXO 8.- DOSSIER DE PRENSA. NOTICIAS

EL ADELANTADO DE SEGOVIA 6/7/12

■ **AGRICULTURA** DEFIENDE EL REPARTO DE LOS FONDOS PARA LOS PROGRAMAS DE DESARROLLO RURAL

Las recargas de los acuíferos, a punto de acabar, según Valín

El consejero de Agricultura las considera “fundamentales” para los regadíos

F. DESCALZO
Segovia

▼ COLABORACIÓN

Las obras de recarga del acuífero de El Carracillo y de la cubeta de Santiuste de San Juan Bautista se encuentra a punto de acabar, según señaló ayer el consejero de Agricultura y Ganadería, José Valín, que realizó una visita a estas actuaciones.

En opinión del consejero, estos trabajos suponen “la forma más ecológica de hacer un regadío”. Y destacó la importancia que tendrá esta infraestructura — financiada por la Administración central — para la ampliación y consolidación de los regadíos de Segovia. Por ello tuvo palabras de recuerdo para Loyola de Palacio y de en su época de ministra de Agricultura para impulsar esta obra.

Con una inversión de 12 millones de euros, la recarga del Carracillo se hace tomando aguas del río Cega en el término de Lastras de Cuéllar, y la de Santiuste, con agua del Voltoya desde la zona de Aldeanueva del Codonal.

Con ello se garantiza el suministro de agua en más de 4.000 hectáreas de cultivos, y que, según Valín, suponen la potenciación del regadío, junto a la puesta en marcha de la agricultura integrada.

Por otro lado, el consejero defendió el reparto de los fondos europeos para los programas de desarrollo Proder y Leader Plus, y puso como ejemplo los siete ca-

sos en que se han fusionado distintas iniciativas.

De este modo, citó el caso de Segovia donde Honorse y Leader Plus se integraron en un solo grupo, pero también ocurrió en Salamanca, Zamora, El Bierzo, Valladolid y Palencia.

Y anunció que todas las comarcas de Castilla y León van a tener al menos uno de estos programas.



Convenio para la promoción de productos agroalimentarios JUAN MARTÍN

José Valín y Atilano Soto firmaron ayer un convenio de colaboración para impulsar la comercialización de los productos agrarios y alimentarios de Segovia, según el cual la Consejería y la Diputación provincial destinan 120.200 euros, repartidos al 50 por ciento, y con el que se trata de sufragar las campañas promocionales mediante la presencia en ferias y editar folletos informativos sobre las empresas agroalimentarias segovianas.

2002-03

EL ADELANTADO

DE SEGOVIA 20/05/2003

Cámara

Segovia

Noticias

- Local
- Provincia
- Cuéllar
- Castilla y León
- Deportes
- Última Página

Elecciones 2003

Visto y No Visto

Otras Secciones

- Lonja Agropecuaria
- Humor
- Cultura
- Opinión
- Cartas al Director

Hemeroteca

Servicios

- Agenda
- Cine
- Farmacias
- Transportes
- Inmobiliaria
- Motor

Portada Publicidad Contacto Suscribirse Hoy

Provincia - Santiuste de San Juan Bautista

Finalizan las obras de recarga de la cubeta de Santiuste

El agua circula en una tubería enterrada durante más de diez kilómetros y otros diez a cielo abierto



Lugar donde brota el agua y comienza la recarga de la cubeta de Santiuste de San Juan Bautista / PEÑALOSA

Provincia

- Montes: "Seguiremos luchando por modernizar el municipio"
- El Juzgado autoriza al municipio a desmantelar una antena de telefonía móvil
- El bibliobús de la Diputación celebró una jornada de cuenta cuentos
- Cerca de 300 personas forman parte de la Asociación de Amigos
- Homenaje a la dulzaina segoviana
- El municipio concluye las obras del tanatorio de la calle El Sol
- La Asociación de Jubilados prevé viajar a Cuenca y Asturias

InfoSegovia.com

Todos los servicios a tu alcance:

- Web Cam
- Rutas Turísticas
- Monumentos
- Visitas Guiadas
- Oficinas Turismo
- Restaurantes
- Alojamientos
- De Copas
- Fiestas



AUTO SCOUT 24

Marca



M.A.P.A. martes, 20 de mayo de 2003

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación



Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación



ARIAS INAUGURA EN SEGOVIA LAS OBRAS DE RECARGA DEL ACUÍFERO DE SANTIUSTE DE SAN JUAN BAUTISTA

El ministro de Agricultura, Pesca y Alimentación, Miguel Arias, inauguró ayer las obras de recarga del acuífero de la cubeta de Santiuste de San Juan Bautista (Segovia), primera obra de recarga de un acuífero que se ejecuta en el marco del Plan Nacional de Regadíos, dentro de los planes de consolidación y mejora.

El ministro Arias destacó en el acto de inauguración que esta obra es fruto del esfuerzo de los regantes y de todas las personas que se beneficiarán del proyecto, que permitirá un aumento de disponibilidad de agua, mejora de las conducciones y de dosificación de agua al cultivo, mejorando la competitividad de las explotaciones. La inversión total del MAPA para la ejecución de la obra asciende a 5,4 millones de euros. Asimismo, el ministro destacó la coordinación y colaboración que ha existido en todo momento entre el Ministerio de Agricultura y la Consejería de Agricultura de Castilla y León, así como con las administraciones locales.



resumen de prensa

Departamento de Prensa y Comunicación del Grupo Tragsa · Jueves, 18 de enero de 2007

EL ADELANTADO DE SEGOVIA

18/01/07

Obras en el río Cega para conocer su aporte real

Los resultados que aporte el caudalímetro serán claves para conocer la aportación a la comarca de El Carracillo

F.D. - SEGOVIA

El cauce del río Cega, de donde se toma el agua para conducirlo hasta la zona del Carracillo, se ha visto interrumpido de nuevo este año para acometer obras con una estación aforadora con el fin de conocer su aporte real e inmediato.

La instalación se encuentra actualmente en obras y está situada pocos metros aguas arriba del lugar donde se realizó el azud para la recarga del acuífero, en término de Lastras de Cuéllar.

Los trabajos están siendo ejecutados por la Confederación Hidrográfica del Duero (CHD) y forman parte de los estudios que realiza junto a la empresa estatal **Tragsatec** para conocer la disponibilidad de agua total con la que se puede contar para la recarga de los acuíferos.

La aportación y la capacidad de almacenaje son fundamentales para los regadíos, para los posibles proyectos medioambientales de recuperación de lagunas, y para mantener las concesiones de agua a empresas hidroeléctricas.

La obra fundamental para garantizar el agua a las 2.880 hectáreas del Carracillo se encuentra ejecutada gracias al azud en el río y a los 20 kilómetros de tubería instalados. Los términos beneficiarios son Gómezserracín, Chatún, Campo de Cuéllar, Narros de Cuéllar, Sanchonuña, Chañe, Fresneda de Cuéllar, Arroyo de Cuéllar y Remondo.

En todo caso aún falta por decidir la forma en que se ejecutará la segunda fase de la obra en la zona norte del Carracillo, bien a través de tuberías o mediante balsas; y, por último, el método que se empleará para conducir el agua a cada una de las parcelas que se pretenden regar.



Las obras han obligado a desviar el cauce y se encuentran en las proximidades del azud para la recarga del Carracillo. / F. D.

<p>denuncia...</p>	<p>PROVINCIA</p>	
<p>Videos Actualidad CANAL 4 TV El Tiempo para Segovia y toda su Provincia.</p> <p>▶ LAS CARENCIAS DEL TAV</p> <p>▶ ENCIERRO PARA PEQUES</p> <p>Otros videos >></p>	 <p>Globoles internet Nuestra experiencia al servicio de nuestros Clientes</p>	
<p>Encuesta del día: Las medidas adoptadas contra la plaga de topillos...</p> <p><input type="radio"/> Son efectivas</p> <p><input type="radio"/> No son efectivas</p> <p><input type="radio"/> Ns./nc.</p> <p>Ver Resultados >></p>	<p>SANTIUSTE DE SAN JUAN BAUTISTA</p> <p>Finalizan las obras de recarga de la cubeta de Santiuste</p> <p>El agua circula en una tubería enterrada durante más de diez kilómetros y otros diez a cielo abierto</p> <div style="text-align: center;">  <p>Lugar donde brota el agua y comienza la recarga de la cubeta de Santiuste de San Juan Bautista / PEÑALOSA</p> </div> <p>PROVINCIA</p> <ul style="list-style-type: none"> Más de 800 personas participaron en la caldereta fin de fiestas de Cantimpatos (Cantimpatos) Javier Herrero destacó en su segundo novillo en el festejo de Turégano (Turégano) El levantamiento y lanzamiento de piedra llenan la localidad en su cuarto día de fiesta (San Ildefonso) El alcalde solicita apoyo para que se agilice la autorización para ejecutar el nuevo sondeo (Valseca) El grupo de teatro La Mina estrenó 'La viuda es sueño' en los protegidos de las fiestas (Carbonero el Mayor) <p style="text-align: right;">1 - 5 de 5</p>	
<p>Foto denuncia</p> <p>▶ Caos de señalización en todo el casco antiguo.</p> <p>▶ Acumulación de basura diariamente en Plaza Conde Alpuente</p> <p>Ver mas >></p>	<p>El proyecto permite garantizar el regadío para más un 1.500 hectáreas de cultivo</p> <p>F. Descalzo - Santiuste de San Juan Bautista</p> <p>Los técnicos del Ministerio de Agricultura han dado por finalizadas las obras de recarga de la cubeta de Santiuste de San Juan Bautista, destinadas a garantizar la disponibilidad de agua en la zona y donde se han invertido cuatro millones de euros.</p>	
<p>Galería de Fotos</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Cuéllar en Fiestas ▶ Fiestas de San Luis en La Granja ▶ Marcha cicloturista Pedro Delgado ▶ Fiestas del barrio de San Lorenzo '07 ▶ Exposición de Daniel Zuloaga en el Torreón de Lozoya ▶ II Concierto de las Velas de Pedraza ▶ Concierto de las Velas de Pedraza ▶ Ferias y Fiestas de San Juan y San Pedro 2007 <p>Ver mas >></p>	<p>De este modo se verán beneficiados directamente más de 200 propietarios de cultivos de regadío, que reúnen unas 1.500 hectáreas de regadío, así como todos los habitantes de la zona, gracias a la recuperación del nivel freático de estos términos municipales.</p> <p>Las obras que se han llevado a cabo consisten en la captación de agua del río Voltoya, donde se acumulan en una presa situada en el término municipal de Aldeanueva de Codonal. Con una longitud de 106 metros y un dique de tres metros de alto, la presa tiene capacidad para almacenar 60.000 metros cúbicos de agua, el cual se suelta de forma regulada y se conduce a lo largo de un recorrido de diez kilómetros de tubería hasta el término de Santiuste, donde brota por su propio peso y a modo de un pozo artesiano, gracias a que el punto de salida se encuentra a una cota de altura nueve metros más baja.</p> <p>En este tramo, la tubería de conducción del agua se encuentra suficientemente profunda como para que haya sido posible volver a desarrollar los cultivos que se venían produciendo.</p>	
	<p>Punto de salida</p> <p>Una especie de fuente instalada a un kilómetros de distancia del casco urbano de Santiuste, muestra la llegada del caudal, que simula un manantial. Mediante una boya galvanizada, el agua sale a la superficie.</p>	

La boya, cuyo grado de apertura se regula desde la presa, puede hacer que salgan hasta 1.100 litros por segundo, que se conducen a través del cauce de la ermita, un antiguo arroyo que había desaparecido. En su curso, el agua circula lentamente y va filtrándose empapando el terreno y llenando la cubeta conocida como de Santiuste de San Juan Bautista, durante otros diez kilómetros de longitud.

La toma de agua se realiza entre los meses de noviembre y abril, en que existe abundancia de precipitaciones. Por el contrario, el proyecto contempla que si en algún año hubiera demasiada agua, ésta iría a parar al río Eresma, junto a la presa de Villeguillo, construida el año pasado para eliminar la contaminación por arsénico. Entretanto, la Confederación Hidrográfica está realizando una serie de pequeñas catas para estudiar en qué medida sube el nivel freático de la zona con este sistema, novedoso hasta ahora en España.

Ahora, los agricultores de Santiuste, Ciruelos de Coca, Villagonzalo de Coca y Villeguillo, deberán crear la comunidad de regantes y esperan que la Junta de Castilla y León desarrolle la concentración parcelaria. También han suscrito un convenio con la empresa Unión Fenosa para eliminar el cableado y la red de postes que se ha ido colocando en la zona. Posteriormente diseñarán un plan de regadíos para regular la cantidad de agua que podrá tomar cada uno.

El alcalde de Santiuste de San Juan Bautista, Ramiro Gutiérrez (PSOE), y también agricultor, ha expresado su satisfacción por ver culminada una obra "que llevábamos mucho tiempo demandando" y que "garantiza el futuro para mucha gente de la zona".

El acuífero de El Carracillo, más despacio

Junto a las obras de recarga de la cubeta de Santiuste, el Ministerio de Agricultura, a través de la empresa estatal Tragsa, está ejecutando los trabajos para la recarga del acuífero de El Carracillo, un proyecto similar y que también permitirá garantizar el futuro del regadío en esta zona. Sin embargo, su mayor extensión —3.500 hectáreas— conlleva una mayor complejidad de la obra y una mayor extensión de la red de canalización. Además precisa de una inversión mayor, que asciende a 7,8 millones de euros. En este caso, el azud se encuentra en el cauce del río Cega, entre Aguilafuente y Lastras de Cuéllar y el agua se conduce hasta la zona de El Carracillo, donde existen cuatro puntos distintos de salida del agua.

El diputado provincial de Desarrollo Rural, José Martín Sancho, también considera muy beneficiosas estas obras para la zona porque suponen "consolidar unos regadíos de importante tradición hortícola en Segovia y significan unas infraestructuras que se adelantan además a los plazos de ejecución que tenían previstos". Tras señalar que se trata de un novedoso sistema de suministro hídrico, recordó que primero lo asumió el Ministerio de Medio Ambiente y luego el de Agricultura. Pero sobre todo indicó que existía una honda preocupación por el continuo descenso de los acuíferos de la provincia de Segovia.

 en Madrid

 [recomendar a un amigo@](#)

2007-08

Segovia,
diciembre
2007

Portada Local Provincia Cuéllar Castilla y León Deportes Última Página Todas las Noticias He

	<p>SUPLEMENTOS</p> <p align="right"><<< Ver Otros Suplementos</p>	
<p>Videos Actualidad CANAL 4 TV</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Previsión Meteorológica para Segovia y toda su Provincia ▶ A DEBATE LA VENTA DEL SECTOR "A" ▶ PLENO EN LA DIPUTACION PROVINCIAL <p align="center">Otros videos >></p>	<p align="center">SANTA MARÍA DE ROBLEDO - SANTIAGO APÓSTOL 2005</p> <p>Agua en conserva para el campo</p> <p>El Ministerio de Agricultura concluye las obras de recarga de acuíferos tras varios años en proyecto</p> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 40px; margin: 10px auto; text-align: center; line-height: 40px;">x</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>Artículos del Suplemento</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Los festejos veraniegos en un entorno único ▶ Historia ▶ El programa ▶ Ciclismo de base en Robledo ▶ Así lo han contado <p align="right">1 - 5 de 5</p> </div>	
<p>Encuesta del día: Fomento rechaza declarar el interés general para el proyecto del aeropuerto</p> <p><input type="radio"/> Me parece bien.</p> <p><input type="radio"/> No me parece bien.</p> <p><input type="radio"/> Ns./ nc.</p> <p align="center">Ver Resultados >></p>	<p>El Ministerio de Agricultura concluyó este año dos importantes obras de infraestructura para el campo de la provincia. Tras varios años de espera, en 2003 se vieron cumplidos los deseos de numerosos agricultores para disponer con seguridad de agua para sus regadíos.</p>	
<p>Foto denuncia</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Grave accidente en el Polígono de Hontoria ▶ Grave accidente en el Polígono de Hontoria (II) <p align="center">Ver mas >></p>	<p>Además de ser obras pioneras por su forma, suponían los primeros proyectos del Plan Nacional de Regadíos, incluido a su vez en el Plan Hidrológico Nacional. Así lo aseguraba el ministro de Agricultura, Pesca y Alimentación, Miguel Arias Cañete, en la inauguración que hizo en marzo de este año de las obras de recarga del acuífero de la Cubeta de Santiuste de San Juan Bautista, que suponía la primera obra de este tipo.</p>	
<p>Galería de Fotos</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ II Muestra de Cine Europeo de Segovia ▶ San Frutos 2007 ▶ Exposición Prensa diaria en la región desde 1856 ▶ Media Maratón de Cantalejo ▶ Segovia, años 20. La llegada de Machado ▶ Marcha solidaria Apadefim ▶ Hay Festival ▶ Exposición "Aún aprendo. Últimas obras de Tiziano a Tápies" ▶ Especial Fiestas Patronales ▶ Cristo de El Caloco en El Espinar 	<p>Esta obra, financiada por el MAPA y construida por la empresa Tragsa, garantiza la disponibilidad de agua para un millar de hectáreas de regadío y una amplia masa forestal.</p> <p>Consiste en la captación de agua del río Voltoya, donde se acumula en una presa situada en el término municipal de Aldeanueva de Codonal, con 60.000 metros cúbicos de agua de capacidad, y se transporta de forma canalizada hasta el término de Santiuste, a diez kilómetros de longitud, donde brota por su propio peso y a modo de pozo artesiano. A partir de aquí el agua circula lentamente y va filtrándose para empapar el terreno y llenar la cubeta conocida como de Santiuste de San Juan Bautista, durante otros diez kilómetros de distancia.</p> <p>Del mismo modo, a finales de año se daba por concluida la otra obra, parecida pero aún más ambiciosa por su extensión, de la recarga del acuífero del Carracillo. En este caso, el agua de va destinada a garantizar el suministro para más de 3.000 hectáreas dedicados al regadío en los municipios de de Sanchonúo, Gomezserracín, Arroyo de Cuéllar, Campo de Cuéllar, Chatún, Chañe, Remondo, Narros de Cuéllar y Fresneda de Cuéllar, entre otros.</p> <p>El proyecto arranca en el término municipal de Lastras de Cuéllar, donde se ha construido una presa en el curso del río Cega, en la zona conocida como "Salto de abajo".</p> <p>Desde ahí, una conducción se prolonga duante casi 20 kilómetroa a través de una tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio con capacidad de 1.373</p>	

2008-09

EL ADELANTADO.com

31°C
16°C

Segovia, viernes 29-09-2009 - 8:00 h.

Portada | Opinión | Local | Provincia | Castilla | Castilla y León | Nacional | Internacional | Deportes | Última | Humor |

Buscador:

Todos las noticias | Homeética | Participa | Inmobiliaria | Publicidad | RSS

Identificarse

Estás en El Adelantado de Segovia :: Portada > Opinión

Opinión

COLABORACION

La recarga del acuífero

Rafael Díez Muñoz

En Santiuste de San Juan Bautista, en la margen izquierda del río Voltoya, a cientos de metros de él, parte una vega que va hasta Villagonzalo y Ciruelos de Coca y acaba en Villeguillo. Bajo este terreno arenoso siempre hubo agua, en los años cincuenta y sesenta en todas esas pequeñas tierras, en las que estaba dividida; se abrieron pozos y las pasaron de secano a regadío. Muchos pequeños agricultores, por fin, pudieron vivir decentemente del campo y también esta pequeña revolución produjo mano de obra.

Después, mucha gente se marchó a la ciudad, y el agua abundante que había en el subsuelo fue agotándose.

Se pudo observar que los inviernos húmedos hacían que el nivel de los pozos subiera, también se comprobó que si corrían determinados arroyos alimentados por prados yorrentías aumentaba la cantidad líquida elemental que había bajo la tierra. Una de las personas que reparó en aquellos fenómenos fue un técnico de agricultura entonces destinado en Coca, fue a principio de los ochenta del pasado siglo. Los cambios históricos se sucedían en España de forma vertiginosa, un día, después de ganar las elecciones, la Junta de Castilla y León fue gobernada por los socialistas, un segoviano llegó a la mesa de las Cortes y se encargó un primer estudio sobre este acuífero tan peculiar. Posteriormente la Consejería de Industria pidió al Instituto Técnico Geominero de España un estudio hidrogeológico exhaustivo, en el año 1990 se entregó dicho estudio y se confirmaron las sospechas: el fondo de esta vega es un enorme cuenco de terrenos impermeables donde se acumula el agua de forma natural. Se empezó a vender la idea de regenerar este pantano interior. El tema se movió por los despachos.

Va Felipe González presidia el gobierno de España, se había construido un pantano en Segovia, el Pontón, y venía el ministro catalán de Fomento a inaugurar la magna obra. El señor ministro es informado, se le presentan ideas y proyectos, un alto cargo a sus órdenes se pone en marcha. Al cabo de unos meses, en el Gobierno Civil de Segovia se firma un convenio entre los regantes, la Junta de Castilla y León la Administración Central; al fin se construye todo un sistema para recargar de forma artificial el acuífero de Santiuste. Aunque hubo mucha gente implicada en esta empresa, cargos y altos cargos, alcaldes y ciudadanos, solo quiero poner en este artículo el nombre de Ángel Ballesteros, delegado que fue de Agricultura, como protagonista principal de esta película.

La obra de este dispositivo de recarga consiste fundamentalmente en un pequeño embalse o azud, río arriba del Voltoya, que trae el agua por su peso, por una tubería enterrada de 10 Km, hasta un depósito cabecera formado por una balsa de decantación, de ella parten dos canales o caceras, el primero en abrirse, a lado derecho, tiene una longitud de 10.667 metros, el caz nuevo tenía 17.293 metros, en un principio, y después con su ampliación llegó a los 27.960.

Existen diversas formas de introducir agua en los acuíferos, en el día Santiuste el agua se va filtrando a lo largo de las caceras y las balsas, así se llena el cuenco, de una forma natural, siguiendo su circuito subterráneo.

Almacenar agua en lugares de poca disponibilidad de terreno es una ventaja de este sistema, así como la eliminación de patógenos y de sustancias químicas, la reducción de pérdidas por evaporación, el menor costo de la extracción del agua subterránea, las mejoras económicas y sociales, la lucha contra la desertización también son otras de las ganancias de recargar los acuíferos de esta manera.

El Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente y la empresa concesionaria de estas obras están haciendo un seguimiento técnico y científico de este proyecto que ha permitido mejoras en su funcionamiento y efectividad.

La recarga del acuífero de Santiuste de San Juan Bautista fue uno de los primeros de España, también está el de El Carracillo, en todo el estado existen 28 proyectos mas sofisticados, con la aplicación de la técnica MAR (Managed Aquifer Recharge) se busca la regeneración hídrica de zonas húmedas, en España ha habido pocas actuaciones de este tipo entre ellas: el vertido de agua procedente de sondeos a las tablas de Damiel y ahora la regeneración hídrica de humedales de la Iglesia y las Eras en Villagonzalo de Coca a partir del canal de recarga artificial de la Cubeta de Santiuste.

En resumen: un gran proyecto, aunque según Ángel, "el regadío en Segovia es una gota de agua en un mar de secano". Da gusto ver como en esta zona, en este tiempo de verano no le falta el riego a las patatas, remolachas, cebollas y zanahorias, se podría poner más

hechárselas en valor, buscar otros cultivos o inclinarse más a la horticultura, que es más social, necesita más mano de obra. Los pueblos de la comarca del carracillo se están manteniendo gracias a este tipo de agricultura, y a los lavaderos y almacenes de envasado que también contratan trabajadoras y trabajadores.

COMPARTIR ESTA OPINIÓN:

Todos los anteriores >>

Lo + valorado | Lo + leído | Lo + comentado

- LOCAL. Segovia se suma a la celebración de la Jornada Europea de la Cultura Judía
- LOCAL. Martínez Campos abrirá al tráfico el 1 de septiembre
- LOCAL. El PP denuncia el retraso en el arreglo de los baches de la estación de autobuses
- LOCAL. El grupo barcelonés de punk rock Secret Army actúa mañana
- LOCAL. La calle Serafín, cerrada hoy para vehículos pesados

BLOGS

Desde Lisboa, Portugal

por Belén Rodríguez 24/08/2009
Erasmundo Peñalosa, Inés Bullock
Blog no oficial de la Gimnástica Segovia
por David Martínez 24/08/2009
Barra libre de Ilusión

Copa 6 Cuchara

por Álvaro Moreno Martín 24/08/2009
Pago de Santa Cruz, Villa Sastre
RAÍFites musical y otros amigos
por Javier Vidal 27/08/2009
Rifles de Arma rayada

Ver más Blogs

ENCUESTA DEL DÍA

¿Planifica su compra para adquirir los productos de alimentación y droguería al mejor precio?

Sí. No. N.s./n.c.

Ver resultados

GALERÍA FOTOGRAFICA

Fiestas patronales de la Ciudad de Cantalejo



SUPLEMENTOS

Cuellar, agosto 2009



Ver más suplementos

Contacto | Aviso Legal | RSS

| © El Adelantado de Segovia 2009 | Diseño: Globalnet Internet | Asesoramiento 2.0: Iberzal.com



OTROS TÍTULOS DE LA SERIE

Título 1:

**LOS HIDROGRAMAS Y OTROS SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN
DEL QUIMISMO DE LAS AGUAS**

Título 2:

LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN FUNCIÓN DE SU USO

Título 3:

GESTIÓN DE LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS (M.A.R.)

Título 4:

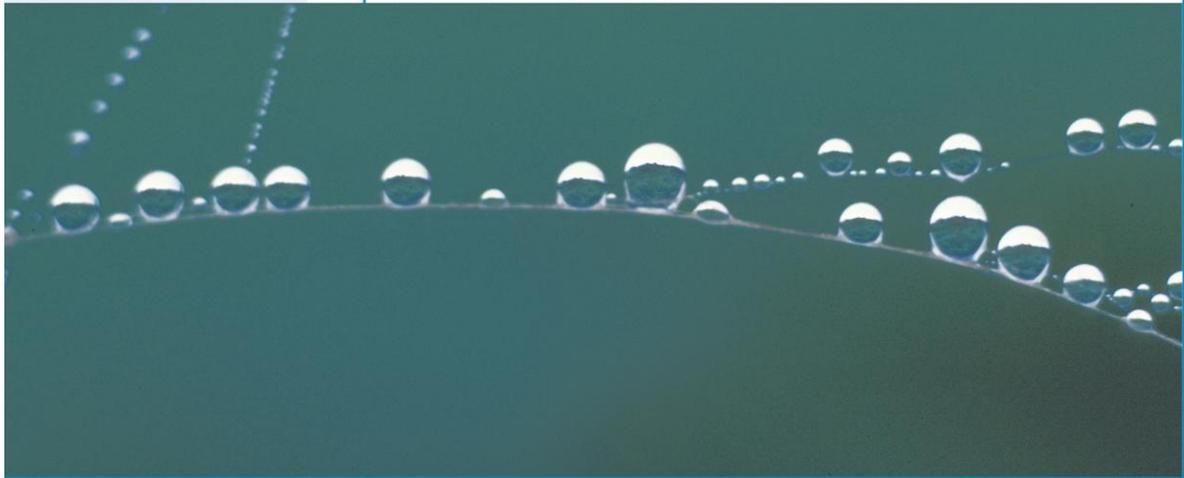
**TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE SUELO Y ACUÍFERO (S.A.T.)
APLICADAS A LA GESTIÓN DE LA RECARGA**

Título 5:

**CAMINITOS DE AGUA. TRES RUTAS HIDROGEOLOGÍCAS EN LA
PROVINCIA DE SEGOVIA.
GUÍA DE INTERPRETACIÓN**

Título 6:

**LA GESTIÓN DE LA RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS EN EL
MARCO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE
DESARROLLO TECNOLÓGICO**



Edita:



Con el apoyo de:



Project related background



9 788461 689101