

ACTUACIONES PARA LA MEJORA EN EL CONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEAS PERTENECIENTES A LA PROVINCIA DE CUENCA EN EL MARCO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA

Nicolas Tapia Morales
Hidrogeólogo de Proyectos
nicolas.tapia@aquatec.es

AQUATEC, PROYECTOS PARA EL SECTOR DEL AGUA S.A.U.



Introducción: localización y objetivos

Introducción:

- Convenio entre la Diputación de Cuenca y las CUAS “RUS-VALDELOBOS”, “LILLO-QUINTANAR” y “SIERRA DE ALTOMIRA” (Marzo, 2022)
- AQUATEC, PROYECTOS PARA EL SECTOR DEL AGUA S.A.U asume la ejecución de los trabajos

Objetivos:

- Disponer de una mayor y mejor información hidrológica e hidrogeológica de las Masas de Agua Subterráneas.
- Disponer de una herramienta para la planificación de recursos hídricos subterráneos.

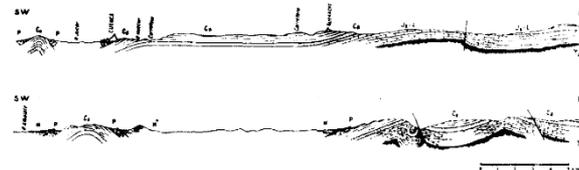
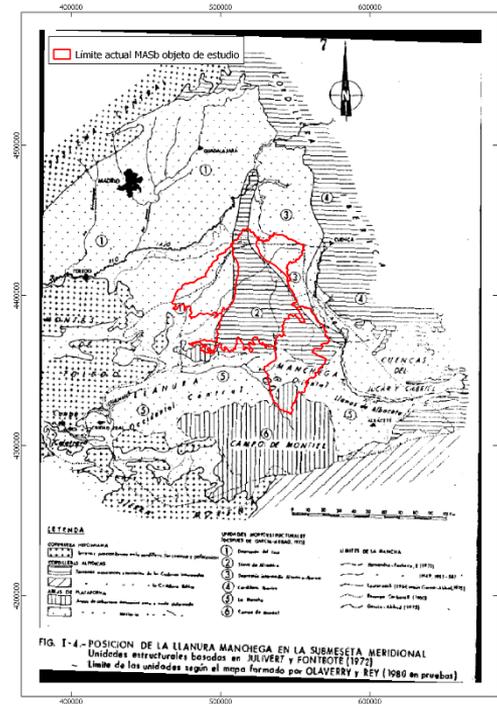
Trabajos realizados en el marco del Proyecto

- Revisión y análisis de información previa
- Estudios de campo
 - Instalación de estaciones meteorológicas
 - Prospección geofísica
 - Aforos diferenciales
 - Ensayos de bombeo
 - Calidad de aguas subterráneas
- Conceptualización hidrogeológica
 - Construcción modelo geológico 3D
 - Conceptualización hidrogeológica
 - Estimación balance hídrico global
- Desarrollo de un modelo numérico hidrogeológico



Tarea 1: Revisión y análisis de información previa

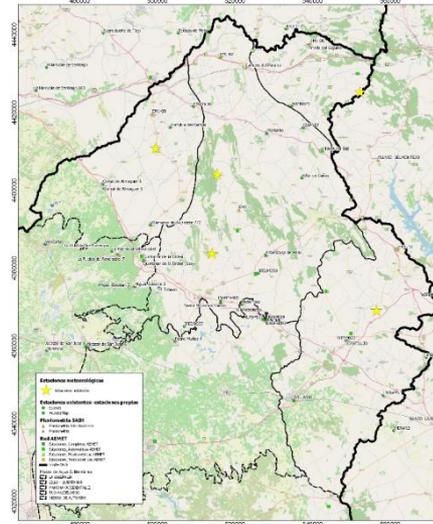
- Recopilación de información hidrogeológica por parte de las Cuas:
 - Climatología
 - Piezometría
 - Aforos
 - Extracciones
 - Columnas litológicas
 - Análisis químicos
 - Estudios previos
- Organismos especializados
 - Confederación Hidrográfica del Guadiana
 - Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
 - Centro Superior de Investigaciones científicas (CSIC)
 - Diversas Universidades
 - Soc. Geol. España
- Organismos y trabajos “históricos”
 - “Investigación Hidrogeológica de la Cuenca Alta del Río Júcar y Segura” (IGME-IRYDA 1969-1975)
 - Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PNIAS)
 - ...etc.



Tarea 2: Instalación de estaciones meteorológicas

Tareas realizadas

- Cinco (5) estaciones meteorológicas.
 - Equipos modelo S WIDE
 - Alimentación: Panel solar de 12 V + baterías recargable
 - Comunicación: GPRS mediante tarjeta SIM, antena GSM Externa y WI-FI mediante antena Externa.
 - Frecuencia de la medida: 30 minutos (configurable. Mínimo: 5 minutos)
- Sensores
 - Pluviómetro (SEN(A)-11)
 - variables ambientales: humedad, temperatura, presión vapor, presión atmosférica
 - Anemómetro
 - Medidor altura de nieve
- Definición de ubicaciones para la instalación de las estaciones meteorológicas:
 - MASb Rus-Valdelobos: Villar de Cantos
 - MASb Lillo-Quintanar: Horcajo de Santiago
 - MASb Sierra de Altomira: Puebla de Almenara, Los Hinojosos
 - MASb Obispalía: Villarejo Seco



MASb Rus-Valdelobos
Estación Villar de Cantos



MASb Lillo - Quintanar
Estación Horcajo de Santiago



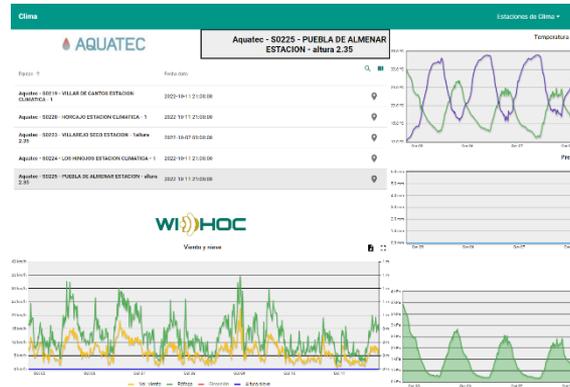
MASb Sierra de Altomira
Estación Los Hinojosos



MASb Sierra de Altomira
Estación Puebla de Almenara



MASb La Obispalía
Estación Villarejo Seco



Tarea 3: Prospección geofísica

- Objetivo general: caracterizar la distribución y geometría de las principales unidades litológicas presentes en aquellas zonas más relevantes desde un punto de vista hidrogeológico
- Método geofísico: Magneto-Telúrico (MT)
 - Profundidades alcanzadas en el entorno de 1.000 m.
 - Posibilidad de trabajar en entornos con ruido electromagnético muy elevado.
 - Posibilidad de trabajar en zonas con accesos muy restringidos o sin accesos.
 - Posibilidad de trabajar en zonas donde sabemos que hay conductores cerca de superficie.
 - Elevado ratio superficie cubierta/plazo de ejecución.
 - Elevada velocidad de obtención de resultados

MASb Lillo-Quintanar

- Geometría de la zona de contacto con la Demarcación Hidrográfica del Tajo
- Distribución de unidades acuíferas profundas en el centro de la MASb
- Geometría del límite meridional de la MASb



MASb Sierra de Altomira

- Identificación de barreras hidrogeológicas internas (estratigráficas o estructurales): límites oriental y occidental

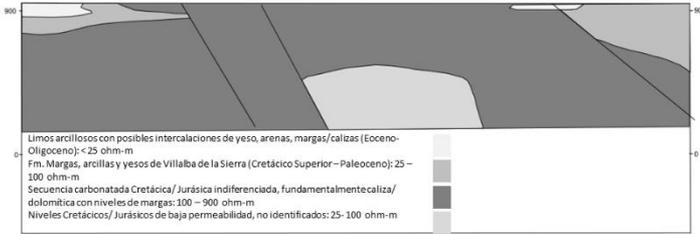
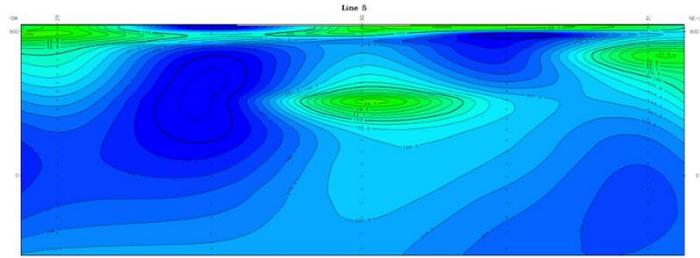
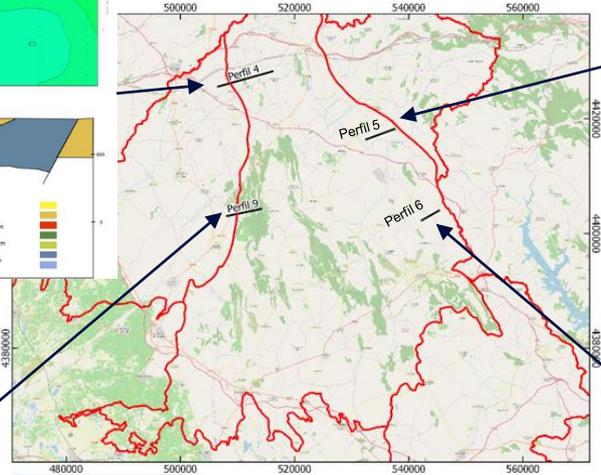
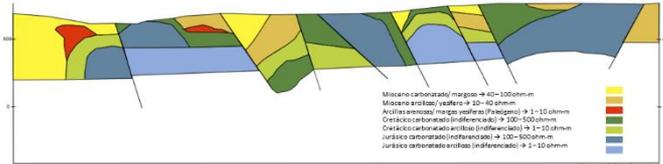
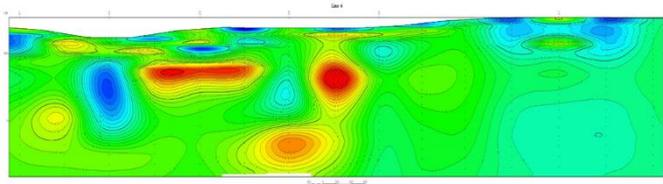


MASb Rus- Valdelobos

- Caracterización del sector occidental de la MASb

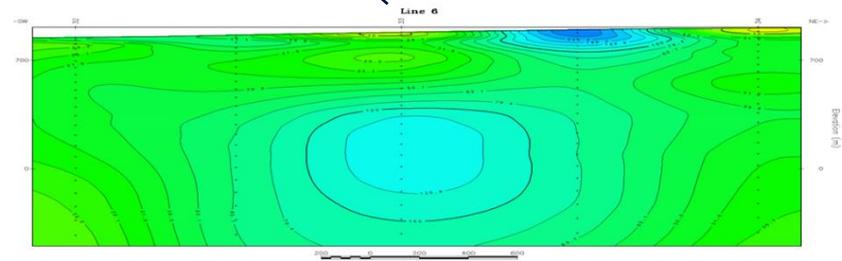
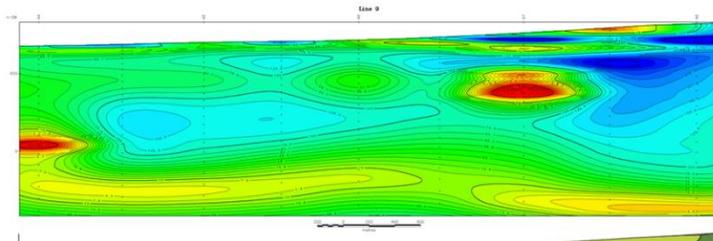


Tarea 3: Prospección geofísica

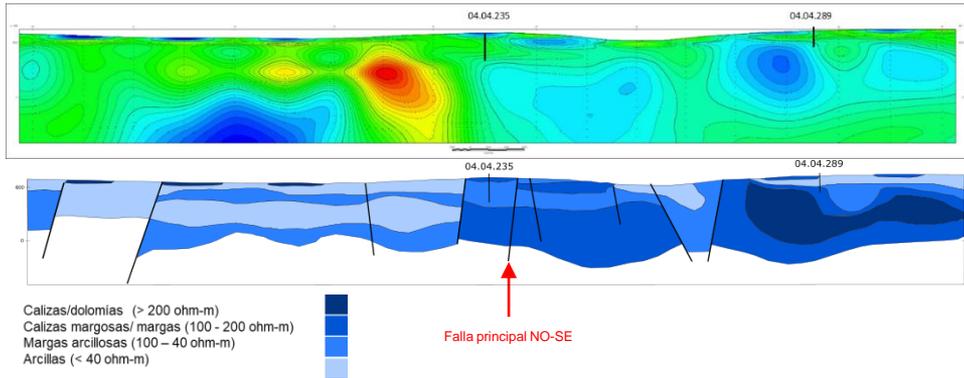


MASb Sierra de Altomira:

- Límite oriental homogéneo (de carácter abierto)
- Límite occidental heterogéneo (fundamentalmente abierto con límites impermeables)



Tarea 3: Prospección geofísica

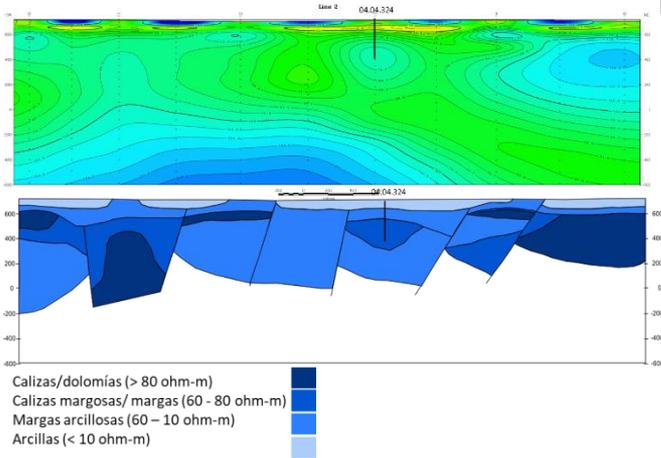


Perfil 1



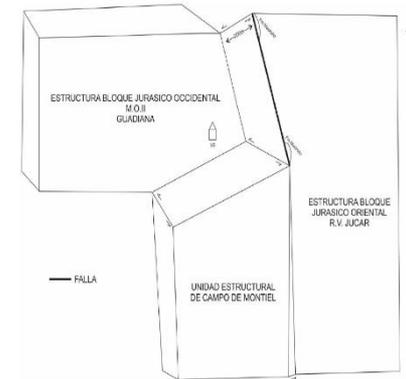
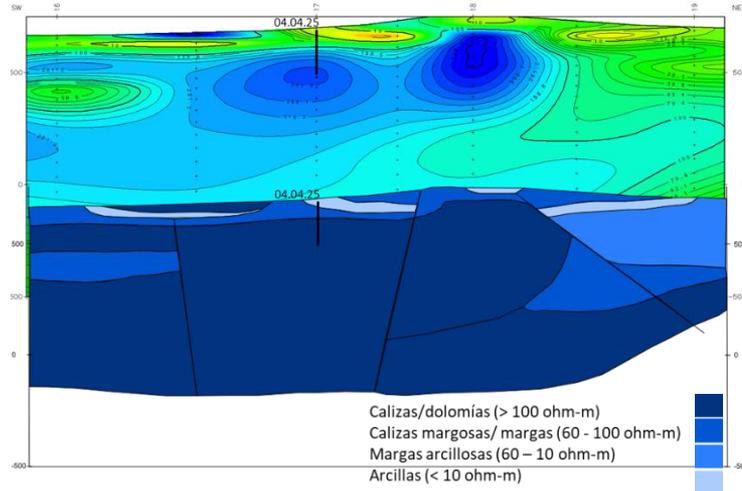
MASb Rus-Valdelobos:

- Distribución heterogénea de bloques de distinta naturaleza geológica
- Contactos de origen sedimentario y estructural

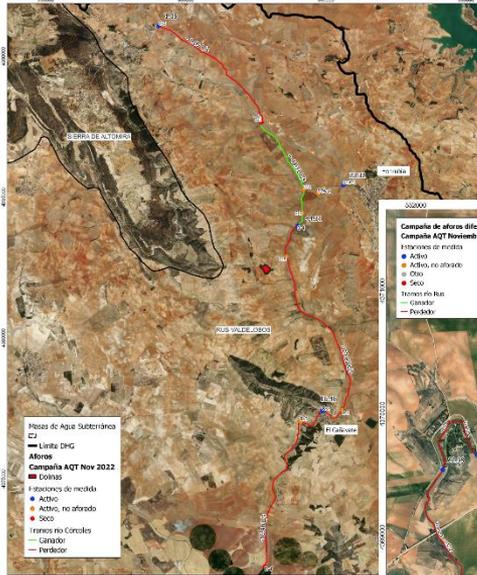


Perfil 2

Perfil 3



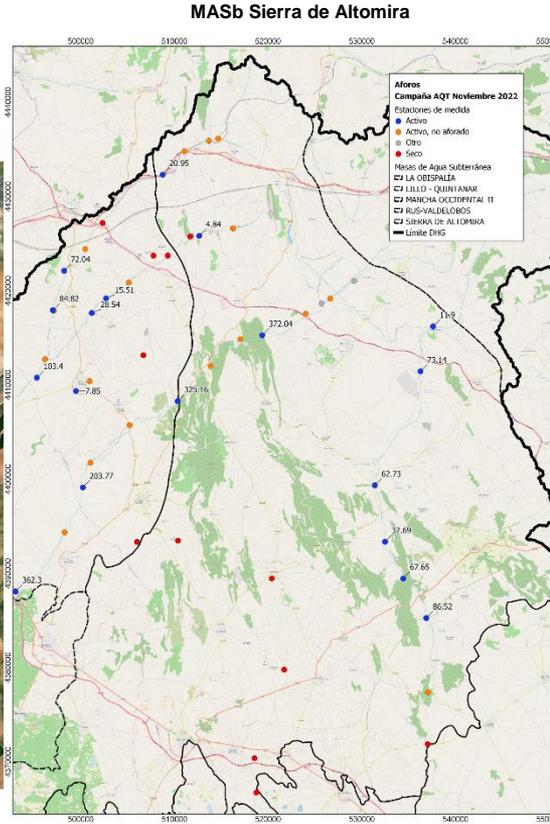
Tarea 4: Aforos diferenciales



MASb Rus-Valdelobos



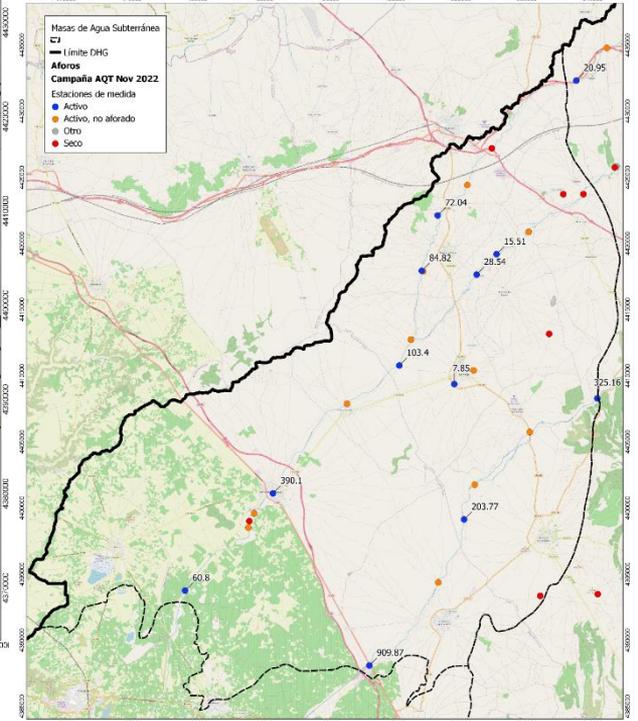
Río Rus



MASb Sierra de Altomira



MASb Lillo-Quintanar



Tarea 5: Ensayos de bombeo

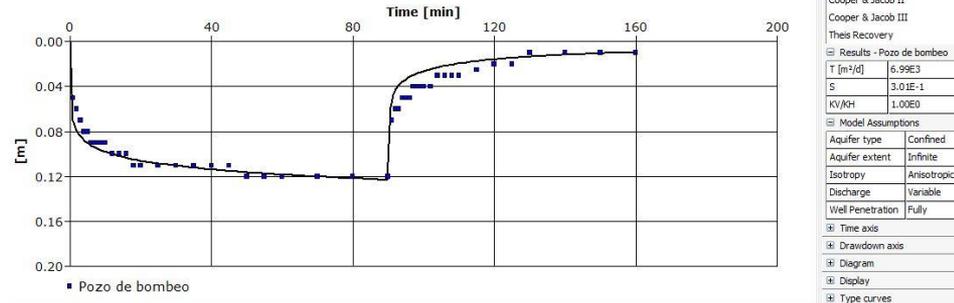
Campaña centrada en mejorar la caracterización de la variabilidad espacial de parámetros hidráulicos en las MASb. Realización de un total de 8 ensayos de bombeo repartidos uniformemente por las 3 MASb.

Tareas realizadas

- Coordinación con propietarios de captaciones para realización de ensayos.
- Realización del ensayo: medidas periódicas del nivel dinámico durante el bombeo y recuperación del pozo
- Interpretación del ensayo con el objetivo de obtener valores de:
 - Conductividad hidráulica
 - Transmisividad
 - Coeficiente de almacenamiento
- Parámetros obtenidos serán empleados para la construcción y calibración del modelo numérico.



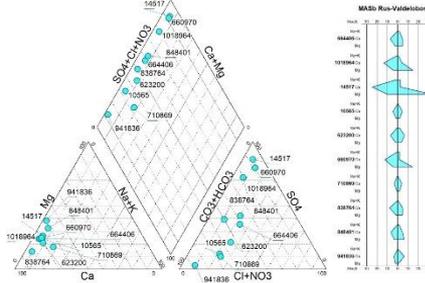
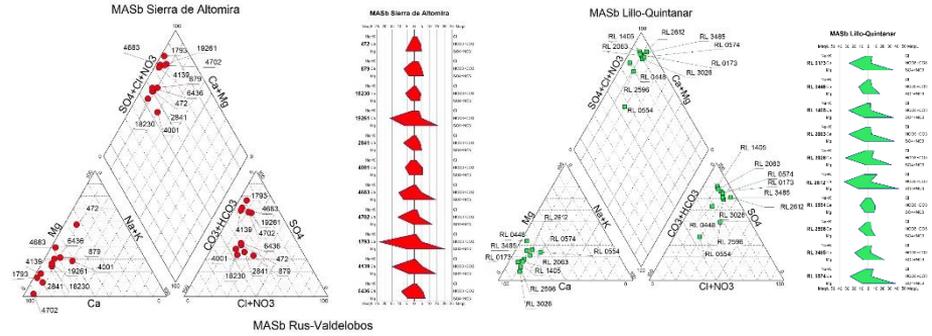
Interpretación del ensayo y cálculo de parámetros hidráulicos:



Tarea 6: Campaña de calidad de aguas subterráneas

Tareas realizadas

- Revisión y análisis de información química recibida por parte de las CUAS
- Análisis de la evaluación de estado químico de las MASb contenida en el PH (2022-2027)
- Inventario de potenciales focos de contaminación de las MASb
- Realización de campaña de muestreo
 - 10 muestras recopiladas en Lillo-Quintanar
 - 10 muestras recopiladas en Sierra de Altomira
 - 10 muestras recopiladas en Rus-Valdelobos
- Control de calidad de la totalidad de resultados analíticos
- Análisis de facies hidroquímicas
- Comparación de resultados analíticos con estándares de calidad ambiental

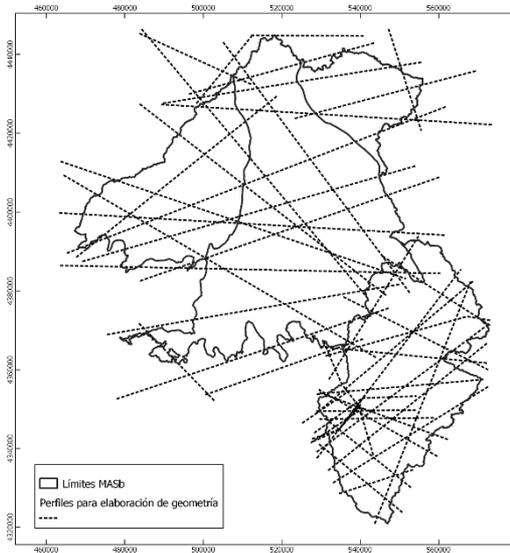


Condiciones de referencia y límites de cambio de clase de estado				Muestras MASb													
Tipo	Indicador	Unidades	Muy buen o bueno	Buena/moderada	Moderado/deficiente	Deficiente/malo	472	879	18230	19261	4001	4683	2841	4702	1793	4139	6436
R-T01	pH	-	6-8.4	5.5-9	-	-	8.14	7.47	7.48	7.50	7.94	7.13	7.42	7.42	7.04	7.38	7.21
R-T01	Oxígeno	mg/L	-	5	-	-	1.84	2.38	7.64	6.64	5.34	7.96	4.36	3.15	4.70	4.53	5.92
R-T01	Amonio	mg NH4/L	0.3	1	-	-	< 0.05	0.05	< 0.05	1.09	0.05	< 0.05	0.05	0.05	< 0.05	0.05	0.05
R-T01	Fosfatos	mg PO4/L	0.2	0.4	-	-	< 0.10	0.10	0.10	0.10	0.26	< 0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
R-T01	Nitratos	mg NO3/L	10	25	-	-	18.60	98.70	55.80	1.30	59.30	10.40	83.70	19.10	21.10	34.40	70.60

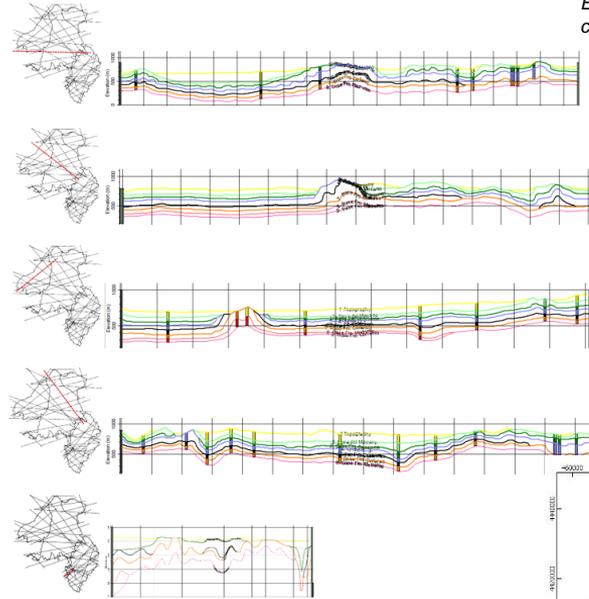
Conceptualización Hidrogeológica y balance hídrico

Construcción modelo geológico 3D

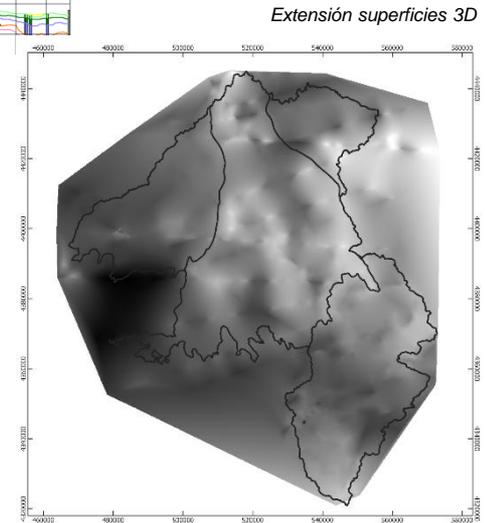
- Software HydroGeo Analyst (Waterloo Hydrogeologic)
- Información de partida
- Base de datos de columnas litológicas (135 columnas litológicas pertenecientes a la MASb Rus-Valdelobos)
- Cortes geológicos extraídos de la Cartografía IGME MAGNA 50,
- Cortes geológicos propios construidos con base en la información analizada.



Trazado de cortes empleados para la construcción de la geometría



Ejemplo de secciones construidas con HydroGeo Analyst



Extensión superficies 3D

Conceptualización Hidrogeológica y balance hídrico

Balance hídrico

- Cuantificación de los componentes del balance
 - Recarga por infiltración directa de agua de lluvia
 - Extracciones por bombeo
 - Pérdida de redes de abastecimiento y saneamiento
 - Retorno de riegos
 - Entradas/ salidas laterales y superficiales
- **Balances en quasi- equilibrio** cuyas variaciones anuales fluctúan fundamentalmente por las diferentes tasas de precipitación anual.

MASb Rus-Valdelobos

Año	Salidas (hm3/a)			Entradas (hm3/a)			BALANCE (hm3/a)	
	Pozos	Salidas ocultas	Almacenamiento	Infiltración	Entradas ocultas	Ríos		
2002	52.4	45.3	63.9	93.7	8.9	1.1	56.4	-1.5
2003	52.9	54.3	77.9	132.3	10.7	1.1	49.1	8.1
2004	53.0	56.3	89.8	161.6	11.0	1.1	39.6	14.2
2005	52.9	48.6	11.4	32.6	10.7	1.1	48.6	-19.9
2006	52.9	45.7	51.9	95.4	10.8	1.1	40.6	-2.6
2007	52.9	48.5	20.6	58.6	11.0	1.1	43.4	-8.0
2008	53.5	45.5	41.1	98.1	10.9	1.1	36.8	6.8
2009	53.5	51.3	45.3	102.5	11.2	1.1	45.6	10.3
2010	54.1	92.2	368.1	496.2	12.7	1.1	49.8	45.5
2011	54.6	85.4	116.9	203.3	11.7	1.1	53.7	12.9
2012	56.2	71.9	79.3	157.3	11.4	1.1	56.8	19.2
2013	57.4	78.3	104.9	173.1	11.9	1.1	51.2	-3.1
2014	57.4	75.3	96.0	173.5	11.8	1.1	43.9	1.7
2015	57.4	74.6	17.4	59.4	11.7	1.1	56.8	-20.2
2016	57.4	65.1	14.0	38.5	11.4	1.1	61.4	-24.0
2017	57.4	60.1	16.9	46.2	11.4	1.1	54.9	-20.7
2018	43.2	70.0	84.9	138.1	11.9	1.1	40.1	-6.9
2019	43.9	72.2	33.7	74.2	12.5	1.2	46.7	-15.2
2020	43.0	70.7	39.8	108.3	11.5	1.1	38.2	5.7
2021	33.1	68.8	46.1	105.5	11.3	1.1	31.1	1.2
PROMEDIO	51.9	64.0	71.0	127.4	11.3	1.1	47.2	0.2

MASb Sierra de Altomira

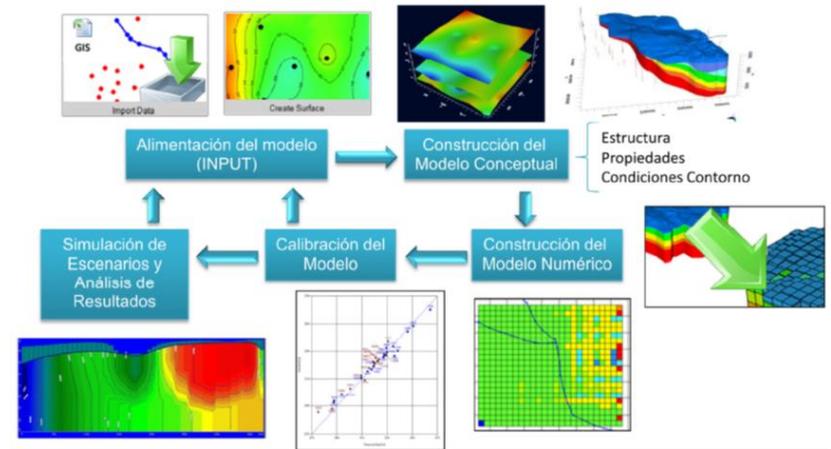
Año	Salidas (hm3/a)						Entradas (hm3/a)			BALANCE (hm3/a)
	Pozos	Salidas ocultas	Ríos	Mariant	Almac	Infiltración	Entradas ocultas	Ríos	Almac	
2002	15.8	84.6	16.9	0.0	72.7	106.4	13.5	16.8	53.9	0.6
2003	16.5	86.8	4.4	0.0	132.5	172.0	14.6	3.6	53.0	3.0
2004	16.9	83.9	4.4	0.0	38.9	75.8	14.8	1.8	44.7	-6.9
2005	17.0	77.3	4.3	0.0	10.4	25.7	14.6	1.6	42.2	-24.9
2006	17.4	78.9	4.1	0.0	61.9	111.5	14.5	1.7	35.3	-3.5
2007	17.8	78.9	4.2	0.0	16.0	45.5	14.3	1.6	35.1	-20.5
2008	18.6	75.2	4.2	0.0	21.9	61.8	14.3	1.6	36.4	-5.7
2009	18.2	74.8	4.2	0.0	24.8	57.7	14.1	1.7	43.1	-5.4
2010	18.0	107.6	5.7	0.0	370.5	477.5	14.8	4.0	55.5	50.1
2011	18.3	94.9	5.5	0.0	79.9	131.1	14.9	1.8	50.9	-0.1
2012	18.6	86.3	5.5	0.0	74.7	141.0	14.8	2.0	49.7	22.5
2013	18.6	91.2	5.8	0.0	115.0	152.6	15.1	2.2	56.6	-4.3
2014	18.4	87.8	6.0	0.0	116.9	198.3	15.3	1.9	40.7	27.2
2015	19.0	84.8	6.3	0.0	20.9	45.4	15.3	1.4	51.5	-17.4
2016	20.4	80.7	6.1	0.0	54.1	83.1	15.0	1.6	43.9	-17.6
2017	20.3	80.9	6.3	0.0	31.1	57.2	14.9	1.6	49.3	-15.6
2018	20.5	91.1	6.7	0.0	199.4	243.4	15.1	2.7	61.1	4.7
2019	20.6	90.7	7.2	0.0	59.3	94.9	16.2	1.5	52.6	-12.6
2020	20.7	81.0	6.7	0.0	30.1	66.9	14.6	1.3	47.7	-7.9
2021	20.9	87.5	6.7	0.0	101.0	168.8	13.7	1.7	34.6	2.7
Promedio	18.6	85.1	6.1	0.0	81.6	125.8	14.7	2.7	46.9	-1.2

MASb Lillo-Quintanar

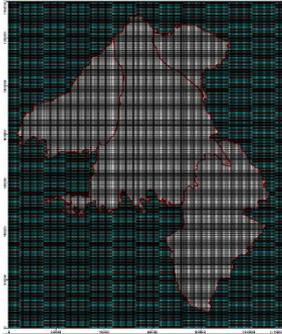
Año	Salidas (hm3/a)			Entradas (hm3/a)			BALANCE (hm3/a)		
	Pozos	Salidas ocultas	Ríos	Infiltración	Entradas ocultas	Ríos			
2002	0.4	22.3	7.0	17.7	6.6	1.7	8.5	1.8	
2003	0.4	27.5	10.2	30.1	37.1	1.6	29.3	4.0	3.8
2004	0.4	28.1	10.7	5.4	8.9	1.6	28.6	5.3	-0.1
2005	13.0	24.7	10.0	2.8	4.4	1.7	29.5	9.9	-4.9
2006	13.0	23.6	9.9	12.8	20.0	1.7	30.2	8.5	1.0
2007	16.1	24.1	10.4	3.8	7.7	1.8	30.0	11.2	-3.6
2008	17.0	21.6	9.8	3.3	5.8	1.8	31.3	8.8	-3.9
2009	17.0	20.9	10.0	4.4	6.6	1.9	31.3	10.5	-2.1
2010	17.0	34.4	16.6	63.9	92.0	0.5	27.6	19.8	7.9
2011	17.0	27.1	14.8	10.9	17.3	1.3	27.9	20.5	-2.9
2012	17.0	24.3	13.1	23.8	41.6	1.4	29.1	14.8	8.8
2013	17.0	24.3	18.8	31.5	38.1	0.5	27.5	23.0	-2.5
2014	17.0	24.2	17.7	20.4	34.1	0.6	27.8	15.4	-1.5
2015	17.0	26.5	16.5	4.5	9.7	1.0	27.8	20.3	-5.6
2016	17.0	23.4	15.4	20.3	27.9	1.2	28.6	14.8	-3.6
2017	17.0	22.6	16.2	7.6	11.5	1.2	28.5	16.7	-5.6
2018	17.0	26.7	20.5	49.3	61.0	0.5	27.6	20.7	-1.5
2019	17.0	26.1	19.6	8.2	14.6	1.1	29.8	20.0	-5.5
2020	18.6	22.2	16.4	2.5	4.4	1.5	27.7	19.2	-6.8
2021	19.6	26.3	15.2	16.6	26.5	1.6	26.5	22.6	0.1
Promedio	14.3	24.9	13.9	17.0	23.8	1.3	28.9	14.7	-1.3

Modelamiento numérico

- Código Modflow (USGS) interfaz MODFLOW PRO V.4.6.0.162.
- Definición de la extensión del modelo
- Mallado
- Geometría de las unidades hidrogeológicas:
 - Topografía de superficie
 - UH 1. Formación detrítica de baja permeabilidad con intercalaciones de calizas. Edad Cuaternario-Mioceno
 - UH 2. Calizas, dolomías y brechas del cretácico superior
 - UH 3. Formación detrítica de baja permeabilidad del cretácico inferior (facies weald, utrillas, margas de Chelva).
 - UH 4. Calizas y dolomías del jurásico superior-medio
 - UH 5. Calizas y margas del jurásico superior.
 - UH 6. Calizas y dolomías del jurásico medio.
 - UH 7. Formación carbonatada del jurásico inferior
 - UH 8. Dolomías (formación Carretas y Dolomías tableadas de Imón).
- Incorporación de parámetros hidráulicos iniciales
- Definición de condiciones de contorno

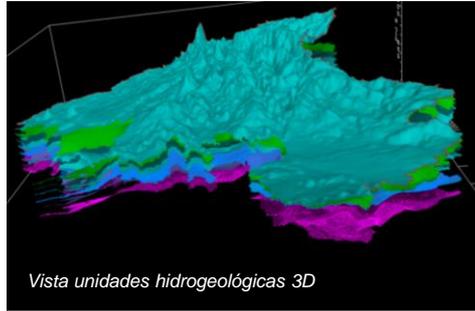


Modelamiento numérico

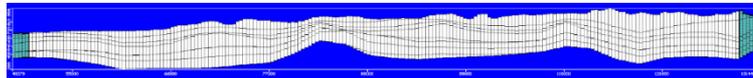


Extensión del modelo: 15,390 km²

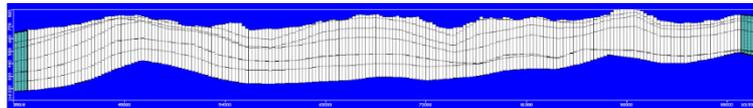
Mallado de 350 filas x 380 columnas,
con celdas de 300 x 390 m



Vista unidades hidrogeológicas 3D

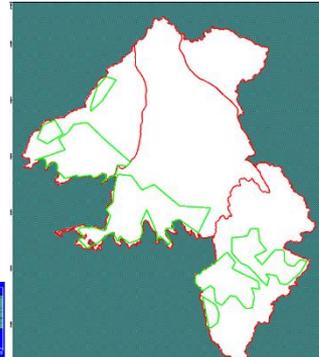
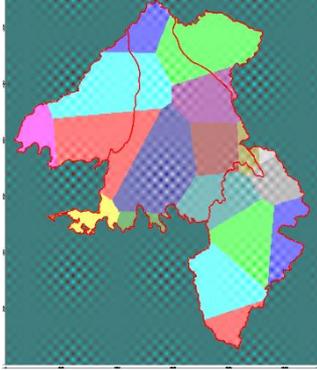


Geometría UH (perfil N-S)

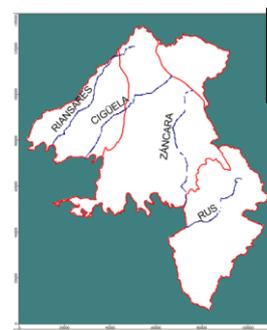


Geometría UH (perfil O-E)

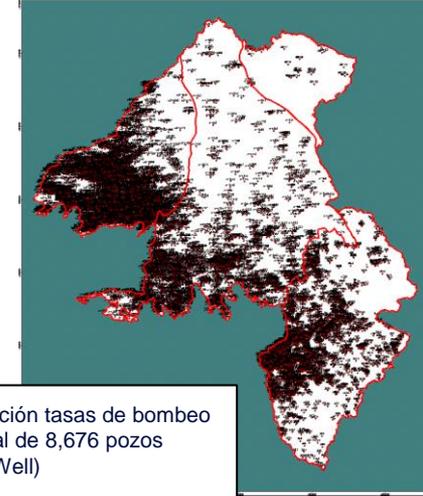
Distribución de recarga por
infiltración directa del agua de
lluvia



Distribución de la recarga por
regadío



Simulación infiltración
a través de cauces
(función River)



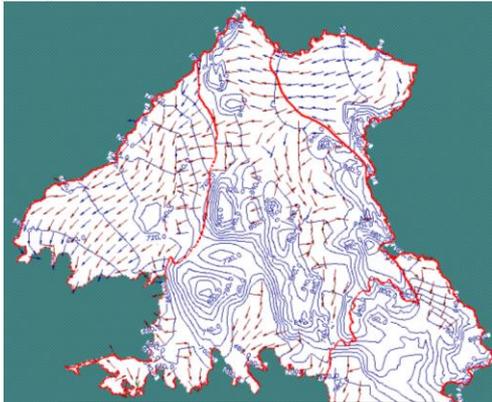
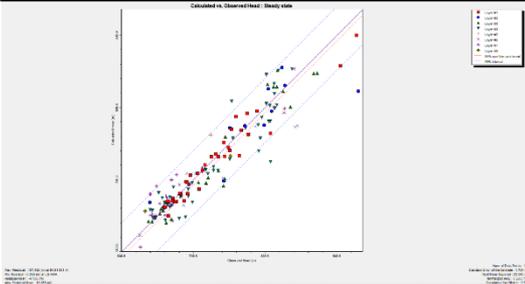
Incorporación tasas de bombeo
de un total de 8,676 pozos
(función Well)



Puntos de observación
piezométrica

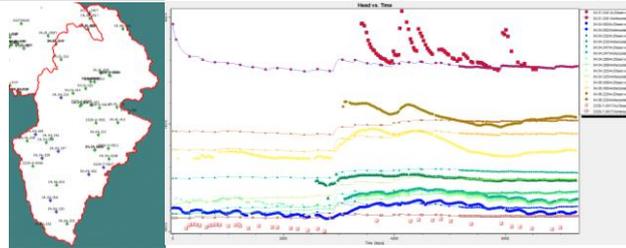
Modelamiento numérico

Ajuste en régimen estacionario: error de RMS = 7,583% con una piezometría muy similar a la real tomada de referencia (sep 2020).

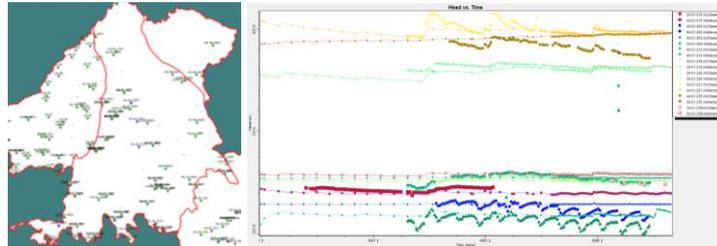


Distribución de isopiezas resultantes en régimen estacionario.

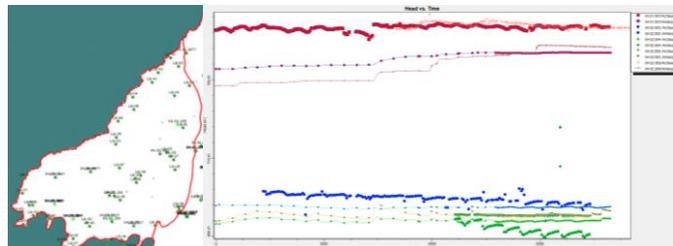
Calibración en régimen transitorio MASB Rus-Valdelobos: ajuste en el tiempo con un error RMS del 5,5%



Calibración en régimen transitorio MASB Sierra de Altomira: ajuste en el tiempo con un error RMS del 4,5%



Calibración en régimen transitorio MASB Lillo-Quintanar: ajuste en el tiempo con un error RMS del 8,8%

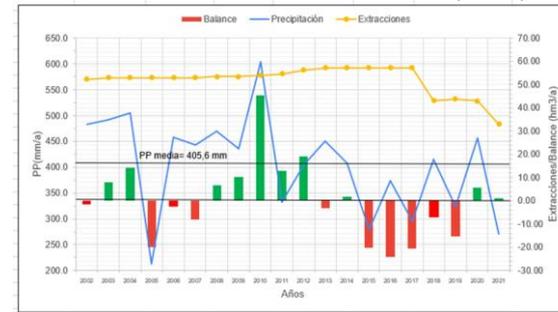


Modelamiento numérico

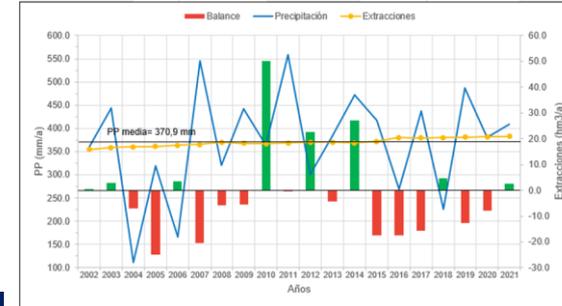
Resultados

- Modelo numérico ha permitido cuantificar entradas y salidas subterráneas entre las MASb (periodo 2002-2021).
- Balances en quasi-equilibrio, concordantes con estimaciones del Plan Hidrológico.
- Alternancia de años deficitarios y excedentarios, dependiendo fundamentalmente de la recarga pluvial y las tasas de bombeo.
- Establecimiento de criterios de explotación en función de las condiciones de recarga anual

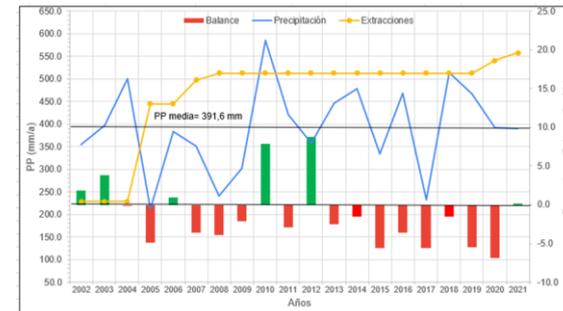
Balance hídrico anual de la MASb Rus-Valdelobos para el periodo 2002-2021



Balance hídrico anual de la MASb Sierra de Altomira para el periodo 2002-2021



Balance hídrico anual de la MASb Lillo-Quintanar para el periodo 2002-2021



MASb	Estación meteorológica	Precip. media (mm/a)	Balance excedentario (hm³/a)	Explot. (hm³/a)	Precip. media (mm/a)	Balance deficitario (hm³/a)	Explot. (hm³/a)
Rus-Valdelobos	San Clemente	438,3	6,4	54,1	344,8	-11,4	47,9
Sierra Altomira	Osa de la Vega	416,5	19,1	18,5	339-368	-7 a -7,7	17-21
Lillo-Quintanar	Torrubia del Campo	441,8	0,3-1,9	9,7-17,0	399,6	-3,9	17,8
Obispalía	Torrejoncillo del Rey	545,1	1,5	2,1	353-480	-4,8 a -3,6	2,1

Principales conclusiones/ recomendaciones del estudio

- Importancia de cuantificar los eventos pluviales para la estimación de recursos
- La campaña de muestreo y análisis de calidad de agua subterránea ha revelado que las altas concentraciones de ciertas sustancias se circunscriben a zonas puntuales de las MASb (carácter local). Dos orígenes principales: productos derivados del uso agrario y mal tratamiento de aguas poblacionales y domésticas.
- La campaña de aforos en ríos ha permitido caracterizar de manera detallada el comportamiento de los principales tramos de los ríos estudiados (ganador/ perdedor), lo cual ha sido reproducido en el modelo numérico. Esto ha permitido afinar y establecer de manera correcta el balance hídrico global de las MASb. Se recomienda la mejora de dichas estaciones mediante la limpieza de cauces e instalación de dispositivos fijos de medida (homogeneización de secciones, instalación de escalas limnimétricas y/o dispositivos de telemedida).
- Campaña de geofísica ha revelado importantes características hidrogeológicas del subsuelo de las MASb.
- Una de las tareas principales del proyecto ha sido la elaboración de una detallada geometría tridimensional de las unidades hidrogeológicas con base en el análisis de la práctica totalidad de la información geológica e hidrogeológica existente en las MASb objeto de estudio. Por tanto, se considera que el modelo numérico constituye la mejor herramienta para cuantificar y planificar los recursos subterráneos de las MASb. Se recomienda por tanto su uso con tales fines, realizando asimismo actualizaciones periódicas que permitan mejorar su representatividad.
- Modelo numérico detallado: contempla como periodo de simulación los años 2002-2021, alcanzándose un ajuste piezométrico de conjunto con un margen de error del 6%, lo que se considera correcto dada la complejidad geométrica (8 capas), el gran número de extracciones (8.676 pozos) y de piezómetros de control (175 puntos).
- El presente trabajo ha permitido establecer criterios de explotación en función de las condiciones de recarga en cada MASb, con el objetivo de asegurar un uso sustentable de los recursos subterráneos.
- AQUATEC considera que el presente estudio constituye una importante herramienta para la caracterización de las MASb y, como tal, debe ser puesta a disposición de cualquier agente u organismo interesado.