CONSULTORÍA HIDROGEOLÓGICA

MEMORIA TÉCNICA

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

REVISIÓN DEL MODELO DE FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LOS ACUÍFEROS DEL ALTO GUADIANA (FLUSAG)

MEMORIA

CLIENTE: CUAS ALTO GUADIANA (Rus-Valdelobos, Lilo-Quintanar, Mancha Occidental I, Campo de Calatrava, Sierra de Altomira, Consuegra-Villacañas y Campo de Montiel)

26 de octubre de 2020

Índice

1. INTRODUCCIÓN 5
1.1. ANTECEDENTES 5
1.2. OBJETIVOS 6
2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PREVIA Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO 8
2.1. Ámbito territorial 9
2.2. Caracterización climática 12
2.3. Contexto hidrogeológico 16
2.3.1. Características generales 16
2.3.2. Divisoria hidrogeológica Guadiana- Júcar 31
2.3.3. Sierra de Altomira 33
2.3.4. MASb Lillo-Quintanar 35
2.3.5. Piezometría 40
2.3.6. Parámetros hidráulicos de las MASb 50
2.4. Masas de agua superficial 54
2.5. Usos y demandas 58
3. REVISIÓN DEL MODELO NUMÉRICO 64
3.1. Construcción del modelo 66
3.1.1. Mallado 66
3.1.2. Límites y geometría de las MASb 66
3.2. Revisión de parámetros hidráulicos 84
3.3. Condiciones de contorno 90
3.3.1. Recarga 90
3.3.2. Caudales y regulación superficial 102
3.3.3. Extracciones de agua subterránea 108
3.4. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO 116
4. Revisión de la calibración 119
4.1. Selección de puntos de calibración 119
4.2. Simulación en régimen permanente 122

4.3. Simulación en régimen transitorio 122
4.4. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DE LA CALIBRACIÓN..... 131

5. Revisión de la explotación del modelo 132

5.1. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DEL MODELO 145

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 146

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La Comunidad de Usuarios de la Masa de Agua Subterránea Rus-Valdelobos, así como el resto de Comunidades de Usuarios del Alto Guadiana, concretamente Lilo-Quintanar, Mancha Occidental I, Campo de Calatrava, Sierra de Altomira, Consuegra-Villacañas y Campo de Montiel (en adelante, CUAS), como usuarios de la Masas de Agua Subterráneas del Alto Guadiana, tienen la encomienda de velar por el buen estado cuantitativo y químico de las masas de agua, y de realizar un uso responsable y sostenible de los recursos hídricos subterráneos.

Para realizar una gestión sostenible de los recursos, las CUAS llevan a cabo trabajos y estudios encaminados a profundizar en el conocimiento hidrogeológico de las masas de agua, así como de la creación de herramientas que sirvan de ayuda a la toma de decisiones.

En el año 2008 se realizó un modelo de flujo subterráneo en el marco del contrato "Mejora del Conocimiento Hidrológico e Hidrogeológico del Alto Guadiana" (Clave: 04.803-246/0411), el cual buscaba reproducir el comportamiento hidrodinámico e hidrogeológico de la zona de estudio. Dicho modelo se denominó Modelo de Flujo de Agua Subterránea de los Acuíferos del Alto Guadiana (en adelante, Modelo FLUSAG). Posteriormente el modelo ha sido objeto de sucesivas actualizaciones destinadas a mejorar su representatividad, tal y como se describe a continuación:

El Modelo ha sido desarrollado a lo largo de cuatro etapas fundamentales. A saber:

- Año 2008: Construcción y calibración en el marco del contrato "Mejora del Conocimiento Hidrológico e Hidrogeológico del Alto Guadiana" (Clave: 04.803-246/0411).
- Año 2009: Actualización de la calibración del modelo hasta diciembre de 2008, considerando el retorno de aguas producido por el regadío, considerando nuevas hipótesis de parámetros hidráulicos, en el marco de los trabajos de "Mantenimiento y Actualización del Modelo de Simulación de Flujo de la Cuenca Alta del Guadiana" (Clave: 09/1.1.16).
- Año 2010: Prolongación del periodo de simulación hasta diciembre de 2010, e incorporación de diversas mejoras en el marco de los trabajos de "Actualización Modelo Flujo Masas de Agua Subterránea Cuenca Alta" (Clave: 10/1.1.03). Las mejoras más sustanciales fueron:
    - Posibilidad de tratamiento de los datos y la preparación de estos para la elaboración de alternativas e hipótesis de simulación.

  - Mejora de los datos de partida del modelo en cuanto a la definición geométrica en la masa de Campo de Montiel, lo que ha supuesto la recalibración del modelo en su totalidad

- Año 2017. Revisión y calibración del modelo FLUSAG:
  - Prolongación del periodo de simulación de 2010 a 2016 mediante el tratamiento de los nuevos datos hidrometeorológicos con el modelo Sacramento existente, obteniendo los datos de recarga por infiltración y los datos de aportaciones en las subcuencas hidrológicas definidas.
  - Actualización y prolongación de las extracciones de aguas subterráneas obtenidas como resultado de la Actividad del Capítulo 4.1 del mencionado servicio técnico en el periodo 2006-2016.
  - Prolongación de las series de control de niveles piezométricos 2010-2016 en puntos de control utilizados en el modelo e incorporación de nuevos puntos de control en función de la disponibilidad.
  - Mejora de los datos de partida del modelo en cuanto a la definición geométrica en la masa de agua Rus-Valdelobos.
  - Recalibración del modelo en su totalidad.

En la actualidad, las CUAS del Alto Guadiana necesitan evaluar la fiabilidad/ representatividad del Modelo numérico mencionado, motivo por el cual, encomiendan a AQUATEC la revisión del Modelo FLUSAG y la evaluación de su representatividad en el marco del presente estudio, denominado: REVISIÓN DEL MODELO DE FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LOS ACUÍFEROS DEL ALTO GUADIANA (FLUSAG).

Así, en la presente Memoria se presenta el análisis realizado, así como las conclusiones obtenidas. Adicionalmente, se exponen una serie de recomendaciones para la futura explotación y manejo del Modelo FLUSAG.

1.2. OBJETIVOS

El objetivo principal de los trabajos aquí presentados es la evaluación del grado de fiabilidad y representatividad del Modelo Numérico de Aguas Subterráneas del Alto Guadiana (en adelante, Modelo FLUSAG).

Dicha evaluación ha sido realizada a partir de los informes y estudios asociados a la construcción del modelo y en base al Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Dichos han sido facilitados por la CUAS Rus-Valdelobos y consisten en:

- Actualización y Calibración del Modelo de Flujo de Agua Subterránea de los Acuíferos del Alto Guadiana (FLUSAG). Ref: TEC0004594. Tragsatec, octubre de 2017.
- Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Apéndice 12: Modelo MODFLOW.
- Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Memoria. Anejo 11. Apéndice 13. Parte I: Documentos justificativos utilizados en el Plan Hidrológico.
- Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Memoria. Anejo 11. Apéndice 13. Parte II: Actualización de la documentación utilizada en el Plan Hidrológico.
- Informe de actualización de las extracciones para el periodo 2006-2016 en la Cuenca Alta. Versión 05.1 (mayo 2017).

2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PREVIA Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El presente apartado contiene un compendio de las principales características y factores ambientales que condicionan el ambiente hidrogeológico de las masas de agua subterránea del Alto Guadiana. Esta información constituye un reflejo actual del estado de los Acuíferos del Alto Guadiana, el cual ha permitido evaluar los elementos del Modelo FLUSAG. A continuación, en la Tabla 1 se incluye un listado de los documentos que han sido consultados.

Tabla 1. Documentación consultada

Documento Consultado	Autor	Aportación al estudio	Año
MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA ESCALA 1:50.000. VALVERDE DE JÚCAR. Hoja 662	INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (IGME)	Descripción geológica	1985
MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA ESCALA 1:50.000. BELMONTE. Hoja 689		Descripción geológica	1985
MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA ESCALA 1:50.000. SANTA MARÍA DEL CAMPO RUS. Hoja 690		Descripción geológica	1985
MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA ESCALA 1:50.000. MOTILLA DEL PALANCAR. Hoja 691		Descripción geológica	1985
MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA ESCALA 1:50.000. EL PROVENCIO. Hoja 715		Descripción geológica	1985
MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA ESCALA 1:50.000. SAN CLEMENTE. Hoja 716		Descripción geológica	1985
MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA ESCALA 1:50.000. QUINTANAR DEL REY. Hoja 717		Descripción geológica	1985
MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA ESCALA 1:50.000. VILLARROBLEDO. Hoja 740		Descripción geológica	1985
MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA ESCALA 1:50.000. MINAYA. Hoja 741		Descripción geológica	1985
MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA ESCALA 1:50.000. SOTUELAMOS. Hoja 763		Descripción geológica	1985
MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA ESCALA 1:50.000. MUNERA. Hoja 764		Descripción geológica	1985
Informes Piezométricos		Hidrogeología local	2009
MEJORA DEL CONOCIMIENTO EN LAS MASb SIERRA DE ALTOMIRA (041.001) Y RUS VALDELOBOS (041.005)		Hidrogeología regional	2009
Caracterización de la divisoria hidrogeológica Guadiana-Júcar en la Llanura Manchega mediante técnicas geológicas y geofísicas	BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO	Hidrogeología local	2013
Propuesta de zonificación hidrogeológica de las masas de agua subterránea (041.001) Sierra de Altomira y (041.005) Rus-Valdelobos	BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO	Hidrogeología regional	2013
Apoyo a la caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015. MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 041.005 Rus-Valdelobos.	INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA	Hidrogeología regional	2015
Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA	Hidrología regional	2015
NOTA TÉCNICA SOBRE LA EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA DE LA MASB	CUAS RUS-VALDELOBOS	Hidrogeología local	2018

Documento Consultado	Autor	Aportación al estudio	Año
MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 005 RUS-VALDELOBOS	TRAGSATEC	Hidrogeología local	2018
Identificación de cultivos regados en el año 2017-18 mediante teledetección	AGRISAT IBERIA	Hidrogeología local	2019
Evolución del nivel de 39 piezómetros pertenecientes a la Red Oficial de Control de Piezometría	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA	Hidrogeología local	2019
Evolución hidroquímica de 17 puntos control de la Red Oficial de Control de la Calidad de las Aguas Subterráneas	CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA	Hidrogeología local	2019
INFORME TÉCNICO ANUAL DEL ESTADO DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA RUS-VALDELOBOS DEL AÑO 2019	AQUATEC, PROYECTOS PARA EL SECTOR DEL AGUA, S.A.U.	Hidrogeología local	2019
Evolución piezométrica	CUAS Rus-Valdelobos	Hidrogeología local	2020

2.1. Ámbito territorial

La Demarcación Hidrográfica del Guadiana (DHGn) comprende el territorio de la cuenca hidrográfica del río Guadiana, así como las aguas de transición y las costeras asociadas. La demarcación es compartida con Portugal y el ámbito territorial referido en el presente estudio corresponde a la parte española de la DHGn, fijado en el Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero.

La parte española de la demarcación limita con las demarcaciones del Tajo al Norte, Júcar al este, y Guadalquivir y ámbitos de los ríos Tinto, Odiel y Piedras al Sur, siendo la superficie de 55.527,57 km2. Al Oeste continúa la cuenca del Guadiana en Portugal con una superficie de 11.620,1 km2 lindando con las cuencas del río Sado y el Mira, y al Sur con las cuencas del Algarve.

La parte española se extiende dentro de tres Comunidades Autónomas (Castilla-La Mancha, Extremadura y Andalucía) y de 8 provincias: Albacete, Cuenca, Ciudad Real, Toledo, Córdoba, Badajoz, Cáceres y Huelva. Las provincias de Ciudad Real y Badajoz suponen la mayor parte del territorio de la cuenca, sumando entre las dos cerca del 75% de su extensión total.

La zona de estudio se encuentra dentro de la Cuenca Alta del Guadiana, abarcando la superficie de 19.000 km² situada aguas arriba de la confluencia de los Ríos Guadiana y Jabalón, sensiblemente coincidente con el ámbito del sistema de explotación Alto Guadiana y del plan Especial del Alto Guadiana. Los límites naturales de la cuenca alta del Guadiana son: la Sierra de Altomira al norte, los Montes de Toledo al oeste, los Llanos de Albacete al este, y el Campo de Montiel al sur. La cuenca alta del Guadiana presenta un relieve suave en el que no existe una red de drenaje bien definida.

Administrativamente, toda el área pertenece a la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, y distribuye su superficie entre las provincias de Ciudad Real (casi 50%), Cuenca (casi el 25%), y el resto entre las de Toledo y Albacete. El modelo FLUSAG centra su área de aplicación en sector oriental de la Demarcación, tal como se muestra en la Figura 1.

En la demarcación el tipo de clima existente es el mediterráneo-continental. Su característica principal es la existencia de una estación seca bien definida y oscilaciones térmicas muy marcadas, lo que genera escasas precipitaciones y altas temperaturas estivales que conllevan severos estiajes.

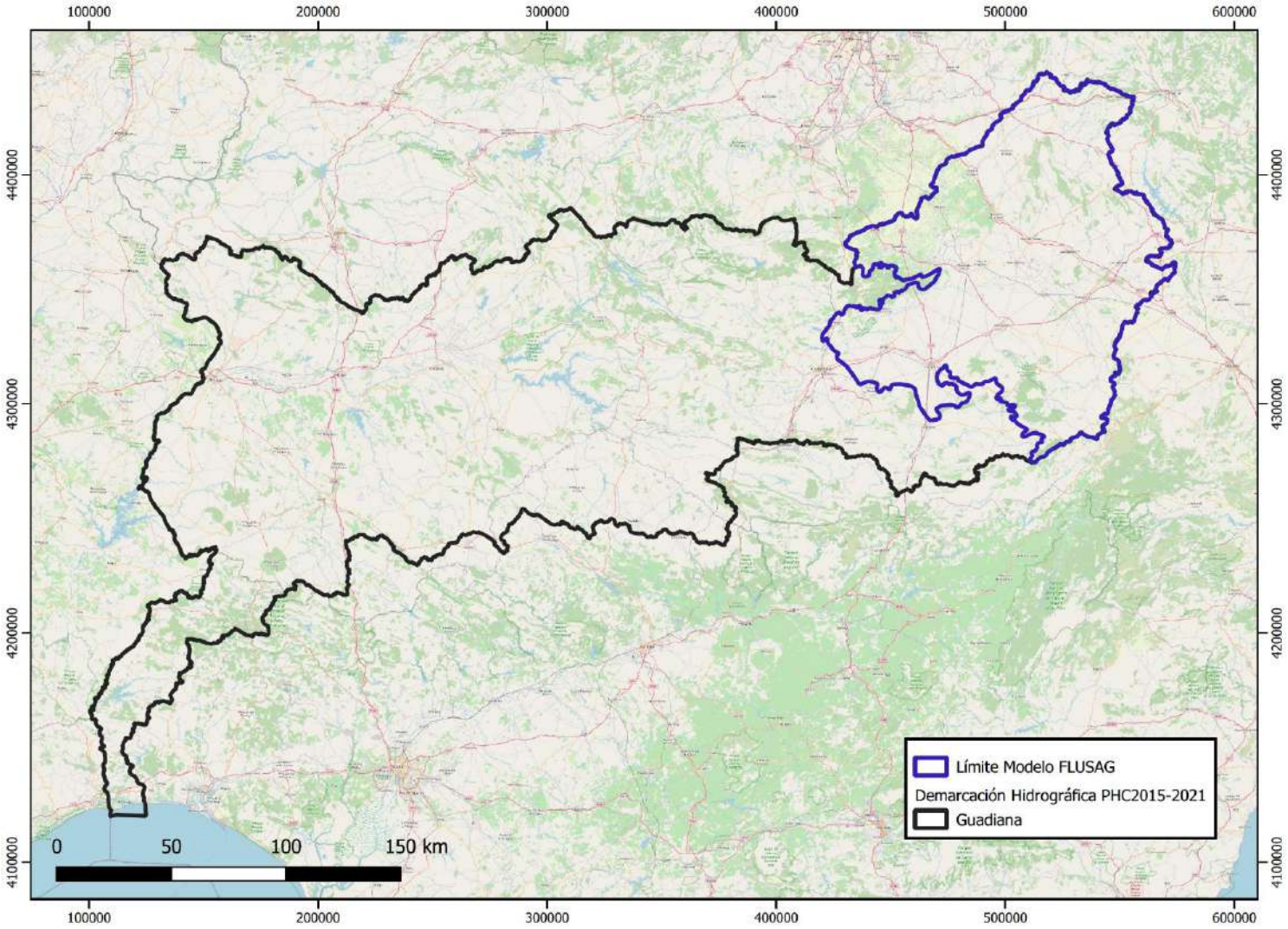


Figura 1. Delimitación geográfica del Modelo FLUSAG

2.2. Caracterización climática

En el área de estudio predominan inviernos y veranos largos, propios de climas mediterráneos con influencia continental debido a la altitud y a estar alejado de la costa.

Las temperaturas mínimas se suelen dar en enero y las máximas absolutas en la segunda quincena de julio y durante el mes de agosto.

Según la clasificación de Köppen, las provincias de Albacete y Cuenca (consideradas como representativas del área de estudio) se clasificarían como climas subtropicales con veranos secos y calurosos (Csa.) y zonas semiáridas (Bsk. clima estepario frío) (ver Figura 2).

Figura 2. Tipos de clima Köppen en Castilla-La Mancha. Fuente: AEMET.

Estas provincias se caracterizan por la sequedad de la atmósfera durante dos tercios del año, registrándose la mayor humedad relativa entre los meses de noviembre a febrero, siendo máxima en las regiones montañosas y mínima en La Mancha. El mes de más lluvias suele ser abril.

Como estación climática representativa se decidió tomar la de San Clemente, ya que, además de estar dentro del área del Modelo FLUSAG, es la que más se asemeja al resto de valores obtenidos.

La precipitación media anual de los registros analizados en la estación San Clemente, Cuenca, asciende a 421,1 mm, distribuidos en el periodo 1996-2019 como sigue:

Tabla 2. Precipitación anual estación de San Clemente, Cuenca

Año	Precipitación (mm/año)	Año	Precipitación (mm/año)
1996	588,0	2008	469,5

Año	Precipitación (mm/año)	Año	Precipitación (mm/año)
1997	602,6	2009	436,1
1998	436,9	2010	603,5
1999	351,6	2011	332,7
2000	358,8	2012	404,5
2001	383,1	2013	450,1
2002	482,9	2014	408,1
2003	491,5	2015	279,4
2004	505,6	2016	373,6
2005	213,0	2017	295,7
2006	457,4	2018	415,2
2007	443,2	2019	323,3
Media	**421,1**		

El año más seco del periodo considerado (1996-2019) fue el 2005, con una precipitación de tan solo 213,0 mm, y el más lluvioso fue el 2010, donde se superaron los 603,5 mm.

Como media, el mes más lluvioso es abril, con 51,8 mm de precipitación media mensual, el más seco es julio, cuya precipitación media mensual es de 5,0 mm y se observan dos periodos lluviosos, primavera y otoño.

Asimismo, la distribución anual de la precipitación es relativamente homogénea, excepto en los meses de verano donde la precipitación es notablemente inferior.

Tabla 3. Precipitación media mensual periodo 1996-2019 de la Estación San Clemente.

Mes	Precipitación media (mm/mes)
Enero	38,5
Febrero	35,4
Marzo	43,2
Abril	51,8
Mayo	48,0
Junio	23,9
Julio	5,0
Agosto	11,1
Septiembre	29,0
Octubre	45,3

Mes	Precipitación media (mm/mes)
Noviembre	41,9
Diciembre	48,2

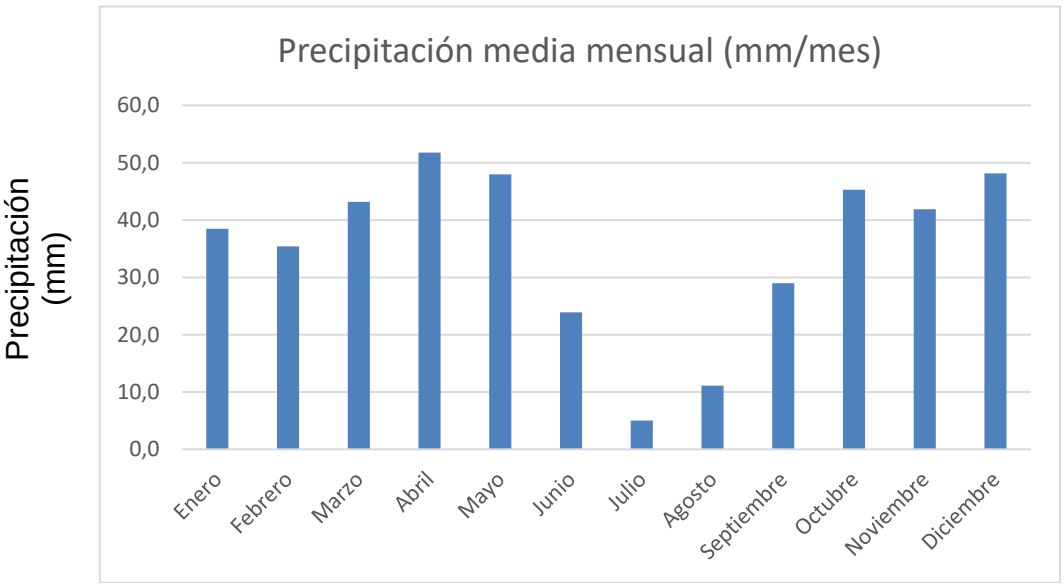


Figura 3. Precipitación media mensual periodo 1996-2019 de la Estación San Clemente

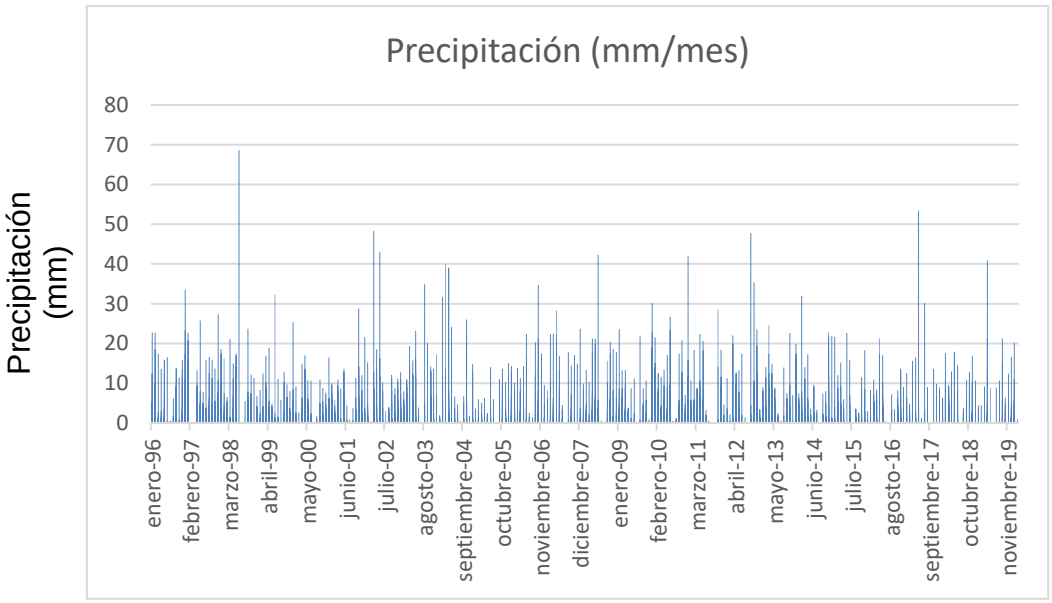


Figura 4. Precipitación mensual periodo 1996-2019 de la Estación San Clemente

Asimismo, la distribución de las temperaturas medias mensuales del periodo 1996-2019 de la estación de San Clemente sigue un patrón de mínimos en invierno y máximos en verano, como cabría esperar, cuyo registro es el siguiente:

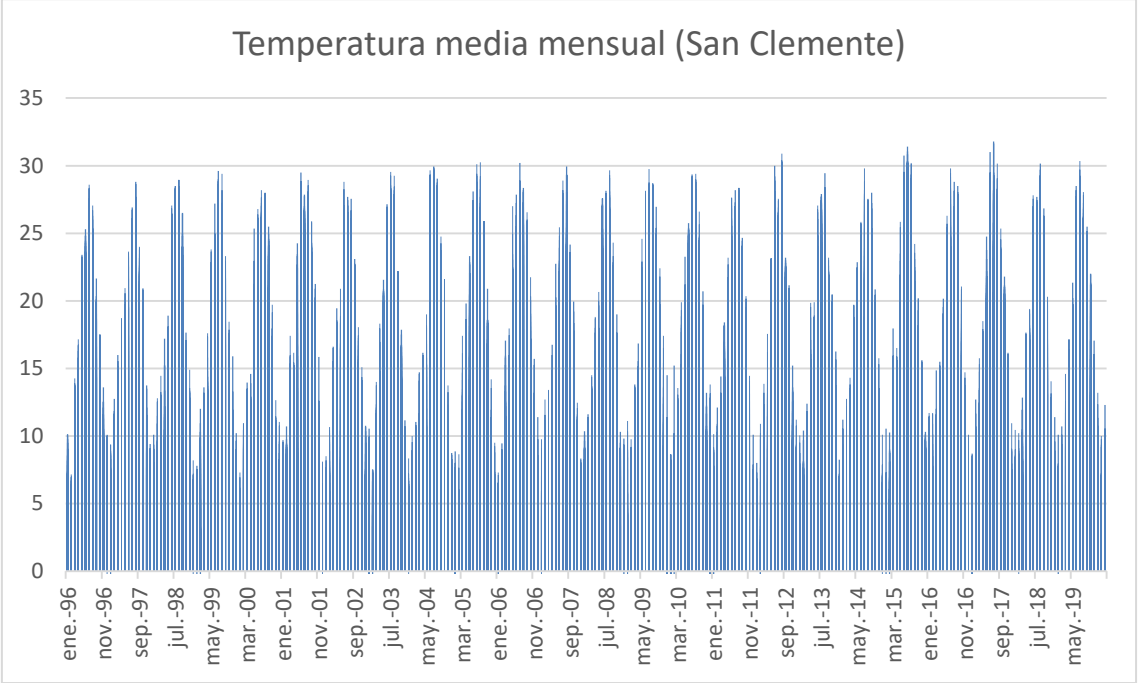


Figura 5. Temperatura media mensual periodo 1996-2019 de la Estación San Clemente.

Por otro lado, la temperatura media mensual de dicho periodo es de 14,5ºC.

El mes más frío es enero, con 5,3ºC de media y el más caluroso es julio, con 25,6ºC de temperatura media.

Tabla 4. Temperatura media mensual periodo 1996-2019 de la Estación San Clemente.

Mes	Tª/mes
Enero	5,3
Febrero	6,5
Marzo	9,7
Abril	12,4
Mayo	16,6
Junio	22,3
Julio	25,6
Agosto	25,2
Septiembre	20,5
Octubre	15,4
Noviembre	8,8
Diciembre	5,6
Promedio	**14,5**

2.3. Contexto hidrogeológico

2.3.1. Características generales

Desde el punto de vista geológico, la cuenca alta del Guadiana está ubicada sobre las grandes unidades morfoestructurales del Macizo Ibérico, Cordillera Ibérica, depresiones terciarias intermedias y depresión del Guadalquivir.

Los materiales presentes en esta zona abarcan una amplitud temporal que se extiende desde el Cámbrico hasta el Cuaternario, con una litología muy variada. Los materiales aflorantes se muestran en la

Figura 6, entre los que destacan:

- Paleozoico: formado principalmente por pizarras, conglomerados y cuarcitas. Estos materiales afloran en el sector occidental de la zona de estudio, y en mayor extensión, en las cuencas media y baja del río Guadiana.
- Mesozoico: constituido por arcillas, yesos, areniscas y conglomerados del Trías. Sobre el trías se encuentran las calizas, dolomías, margocalizas y margas del Jurásico. El Campo de Montiel constituye uno de los mayores afloramientos de la Península Ibérica de estos materiales mesozoicos. Las calizas, margas, arenas y arcillas, areniscas y gravas del Cretácico se desarrollan en el sector oriental de la cuenca alta del Guadiana, principalmente en la Sierra de Altomira.
- Terciario: aflora en gran parte de la cuenca alta. Formado por conglomerados, arenas, gravas, margas, calizas, yesos, limos y arcillas.
- Cuaternario: formado por arcillas, limos, conglomerados, arenas y gravas. Se presenta en forma de rañas, y en las terrazas y aluviales de los ríos.

Los materiales anteriormente descritos conforman tres tipos de acuíferos:

- Acuíferos detríticos cuaternarios, asociados a los aluviales de los ríos de la zona: Gigüela, Riansares, Amarguillo, Záncara, Rus, Córcoles, Guadiana Alto, Azuer, Jabalón y Bañuelos.
- Acuíferos terciarios detríticos, principalmente, y carbonatados, relacionados con los rellenos sedimentarios acumulados en las fosas intramontañosas: Depresión Intermedia, Cuenca sedimentaria del Tajo-Madrid, Llanura Manchega y Fosas del Campo de Calatrava y de Ciudad Real.
- Acuíferos carbonatados mesozoicos, del Jurásico y Cretácico, que se encuentran en la Sierra de Altomira, el Campo de Criptana y el Campo de Montiel.

En 1988, coincidiendo con la elaboración de los Planes Hidrológicos de todas las cuencas, las unidades acuíferas identificadas en el Subsistema del Alto

Guadiana fueron agrupadas en unidades de gestión definidas como Unidades Hidrogeológicas, las cuales quedaron obsoletas tras la entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua (DMA). La DMA introdujo el concepto de Masas de Agua Subterránea (MASb) como unidades básicas para la gestión del recurso subterráneo, cuyos límites fueron modificados respecto a las antiguas Unidades Hidrogeológicas en respuesta al continuo desarrollo del conocimiento hidrogeológico de la región.

El ámbito de estudio del Modelo FLUSAG comprende las MASb incluidas en la Tabla 5, las cuales se muestran en la

Figura 7. A efectos ilustrativos, en la Figura 8 se ha incluido un mapa que compara la delimitación de las antiguas Unidades Hidrogeológicas frente a las MASb actualmente vigentes.

A pesar de encontrase igualmente ubicadas en la cuenca alta del Guadiana, las MASb contenidas en la

Tabla 6 no fueron incluidas en el Modelo FLUSAG por su escasa extensión o por criterios hidrogeológicos. Como se aprecia en dichas tablas, destaca el hecho de que la mayoría de MASb se encuentran actualmente en riesgo de incumplir los Objetivos Medioambientales.

Con la finalidad realizar una caracterización adicional de las MASb, en la

Figura 9 se ha incluido un mapa de permeabilidades (IGME).

Tabla 5. MASb incluidas en Modelo FLUSAG

Código CHGn	Código WISE	Código Europeo	Nombre	Superficie (Km²)	Riesgo cuantitativo	Riesgo químico
41.001	30607	ES040MSBT000030607	SIERRA DE ALTOMIRA	2.575	X	X
41.002	30600	ES040MSBT000030600	LA OBISPALÍA	490		
41.003	30610	ES040MSBT000030610	LILLO - QUINTANAR	1.102	X	X
41.004	30.615	ES040MSBT000030615	CONSUEGRA - VILLACAÑAS	1.606	X	X
41.005	30608	ES040MSBT000030608	RUS-VALDELOBOS	1.459	X	X
41.006	30.611	ES040MSBT000030611	MANCHA OCCIDENTAL II	2.536	X	X
41.007	30.606	ES040MSBT000030606	MANCHA OCCIDENTAL I	2.003	X	X
41.010	30.609	ES040MSBT000030609	CAMPO DE MONTIEL	2.199	X	X

Fuente: PHDHG, Memoria Anejo 11. Apéndice 12.

Tabla 6. MASb excluidas del Modelo FLUSAG

Código CHGn	Código WISE	Código Europeo	Nombre	Superficie (Km²)	Riesgo cuantitativo	Riesgo químico	Motivo exclusión
41.009	30.614	ES040MSBT000030614	CAMPO DE CALATRAVA	2.022	X	X	Impermeable a escala regional
41.008	30.601	ES040MSBT000030601	BULLAQUE	561			Impermeable a escala regional
41.011	30.603	ES040MSBT000030603	ALUVIAL DEL JABALÓN	58	X	X	Escasa extensión

41.012	30.602	ES040MSBT000030602	ALUVIAL DEL AZUER	12	X	X	Escasa extensión

Fuente: PHDHG, Memoria Anejo 11. Apéndice 12.

A continuación, en la Figura 10 a la Figura 17 se muestran las principales características de las MASb incluidas en el Modelo FLUSAG, extraídas del PHDHG (2016-2021).

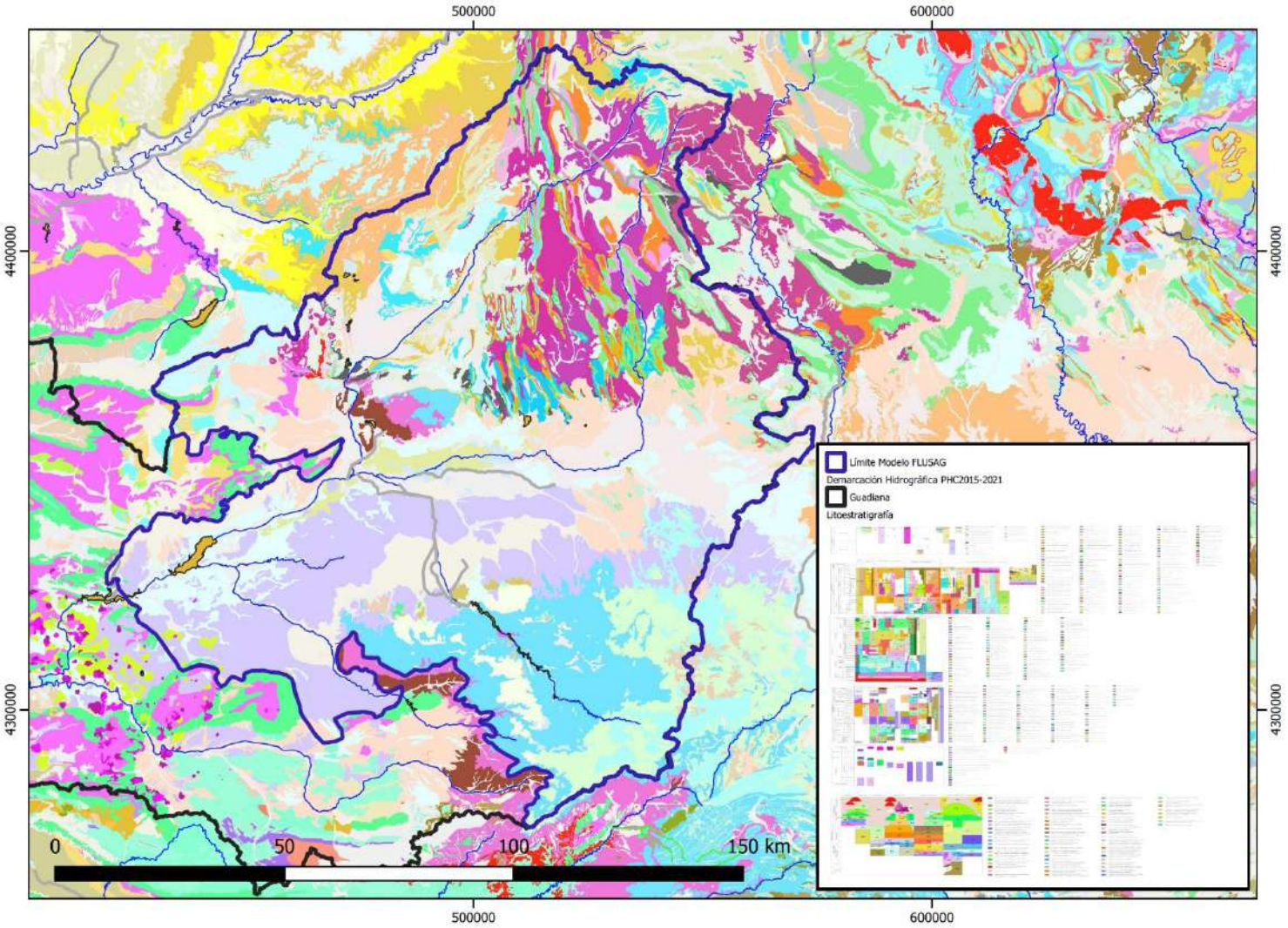


Figura 6. Contexto geológico del área de estudio

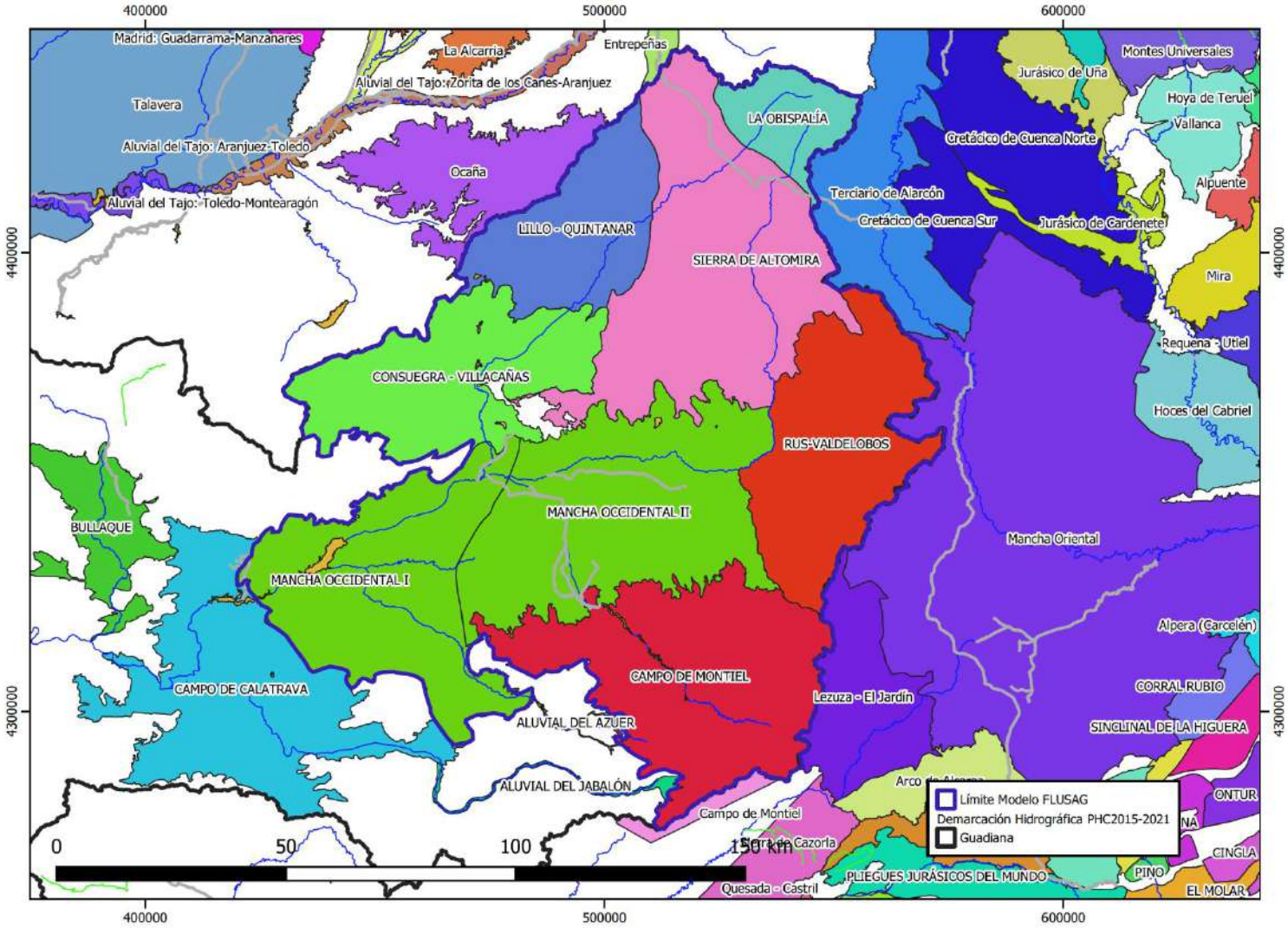


Figura 7. MASb incluidas en el Modelo FLUSAG

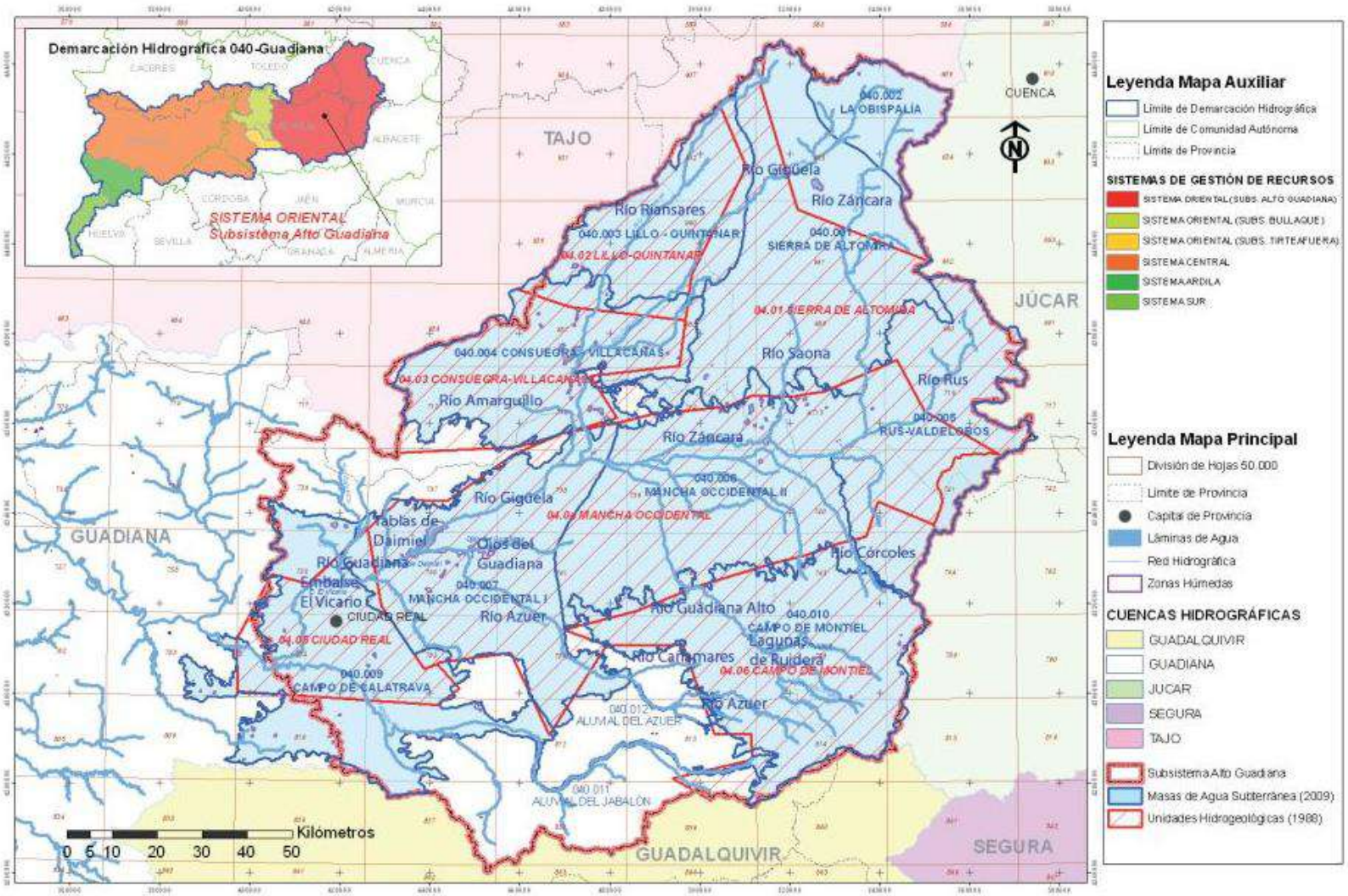


Figura 8. Mapa de la cuenca alta del río Guadiana, con la división en Unidades Hidrogeológicas y MASb (IGME, 2011)

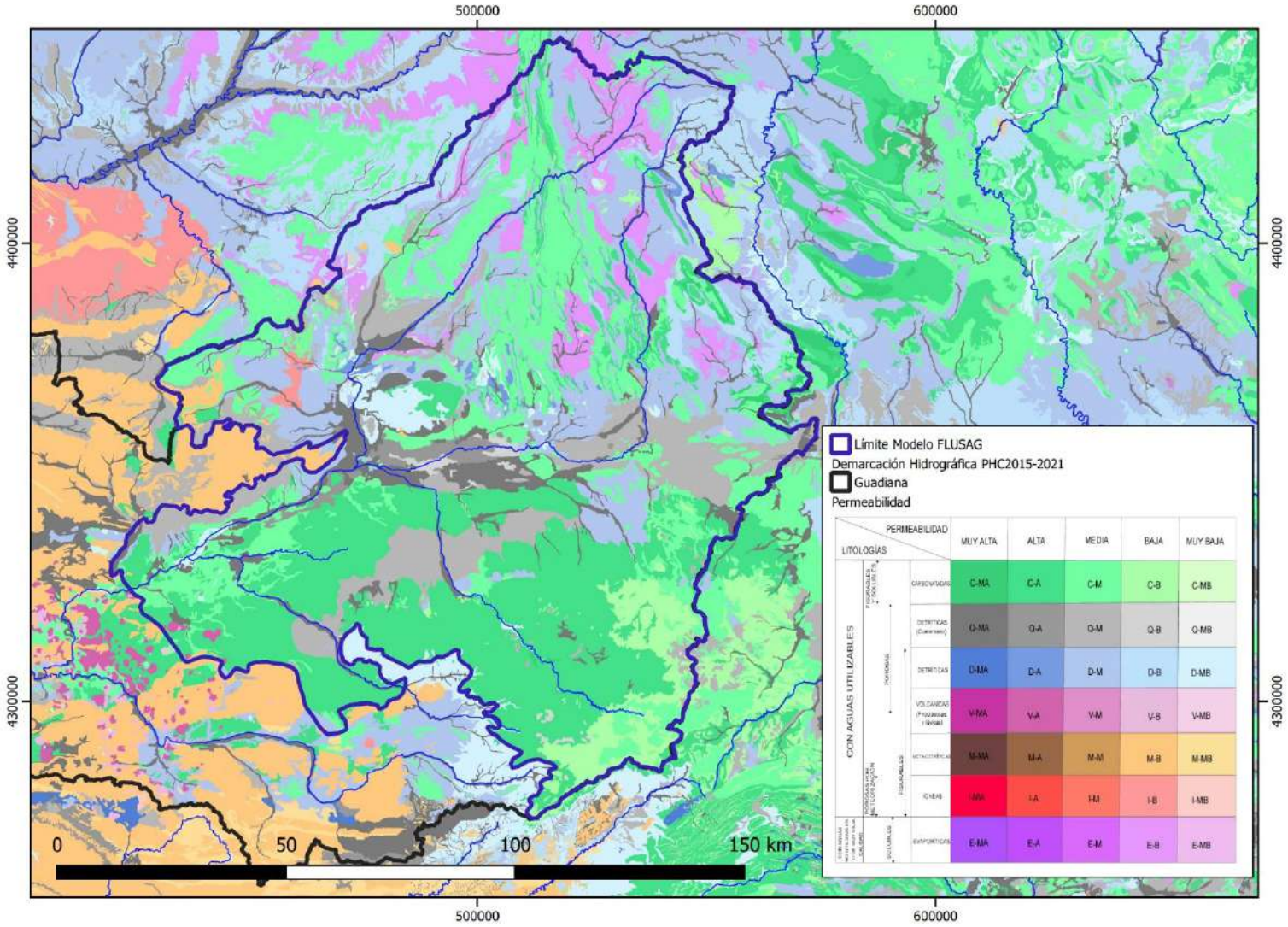


Figura 9. Mapa de permeabilidades (IGME)

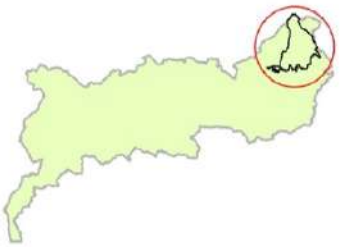
Fichas de caracterización de las Masas de Agua Subterránea en la DHGn		
Sierra de Altomira		
Código	041.001	
Superficie Poligonal (km^2)	2575	
Situación	Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha. Provincias de Ciudad Real, Cuenca y Toledo. Zona Oriental de la Cuenca del Guadiana (Alto Guadiana).	
Litología	Arcillas, margas y yesos del Keuper; calizas oolíticas y calizas dolomíticas jurásicas; calizas y arenas silíceas cretácicas ; arcillas del Paleógeno de origen fluvial y/o fluvio-lacustre; y sedimentos detríticos del Mioceno.	
Acuíferos	El acuífero principal está constituido por las calizas jurásicas y cretácicas, con un espesor medio de 1100 metros. Estos materiales presentan porosidad secundaria y permeabilidad media-alta. Este acuífero presenta carácter confinado en aquellos sectores en los que los materiales se disponen bajo las arcillas y materiales evaporíticos paleógenos. El segundo acuífero está formado los materiales detríticos terciarios que presenta carácter libre y permeabilidad media.	
Geología e Hidrogeología	Terrenos predominantemente calcáreos del mesozoico plegados, cuya parte más occidental es la Sierra de Altomira. Hacia el oeste estos materiales se apoyan en discordancia sobre el Paleozoico. El paleorelieve alpino ha sido rellenado en buena parte por materiales subhorizontales Neógenos y Cuaternarios, de forma que los terrenos mesozoicos únicamente afloran en los núcleos anticlinales. Forma parte de un grupo de tres masas que están situadas al norte de la Llanura Manchega.	
Zona no Saturada	Materiales jurásicos y cretácicos formados por calizas,dolomías, carniolas, brechas y arenas.	
Limites de la masa	Al N limita con la divisoria de aguas superficiales entre el Tajo y el Guadiana. El límite oriental coincide con la divisoria hidrográfica entre el río Záncara y el Júcar. El límite NE, con el sistema de la Obispalía. se establece de forma paralela a los afloramientos mesozoicos de alta permeabilidad aflorantes en la Sierra de Altomira, separando estos de los depósitos terciarios menos permeables situados al NE, pertenecientes a La Obispalía. Al S se sitúa en el contacto con los materiales terciarios de la fosa manchega, y hacia el O se extiende englobando los últimos afloramientos mesozoicos.	
Recarga	Se recarga fundamentalmente por la infiltración del agua de lluvia y de la escorrentía superficial. Y aunque escasa, también recibe aportación subterránea de la cuenca del Tajo. Dentro de la complejidad existente, con diferentes acuíferos superpuestos, puede decirse que en general los materiales mesozoicos también son recargados por goteo a partir de las estructuras del Terciario.	
Descarga natural	Drenaje hacia los ríos a través de manantiales, y por descargas laterales hacia la Llanura Manchega y hacia las masas occidentales del sistema (Lillo-Quintanar y Consuegra-Villacañas). En su parte más septentrional el drenaje tiene lugar hacia el río Gigüela, mientras que en su zona meridional el agua circula hacia los ríos Záncara, Saona y Rus, y hacia las comentadas masas adyacentes.	
Recurso total diponible (PH 2010-15): 26,0 hm^3/año		Indice de explotación (PH 2010-15): 1,21
Vulnerabilidad a la contaminación	Predominio de grados muy bajo y bajo asociada a los materiales aflorantes de baja permeabilidad. Localmente moderada y alta en zonas de materiales carbonatados y detríticos.	
Ecosistemas acuáticos y ecosistemas terrestres dependientes de MASb (LICs, ZEPA, etc)		
Ríos Gigüela, Saona y Záncara.		
RAMSAR, LIC, ZEPA: Laguna del Hito (ES0000161). ZEPA: Área esteparia de la Mancha Norte (ES0000170)		
LIC y ZEPA: Sierra de Altomira (ES4240018-ES0000163). Humedales de la Mancha (S4250010-ES0000091)		

Figura 10. Características de la MASb Sierra de Altomira

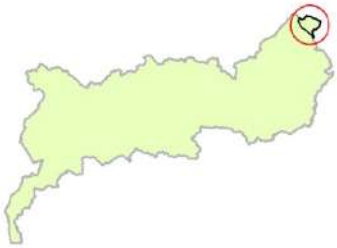
Fichas de caracterización de las Masas de Agua Subterránea en la DHGn		
La Obispalía		
Código	041.002	
Superficie Poligonal (km^2)	490	
Situación	Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha. Provincia de Cuenca. Zona Oriental de la Cuenca del Guadiana (Alto Guadiana). Comprende las cabeceras de los ríos Gigüela, Torrejón y Záncara.	
Litología	Principalmente depósitos miocenos (Terciario) constituidos por areniscas, arcosas, margas yesíferas, calizas y margas blancas. Además aperecen materiales del Oligoceno superior-Mioceno inferior (Terciario) formados por arcillas yesífreas y arcillas rojas; y depósitos aluviales del Cuaternario.	
Acuíferos	Los materiales calcáreos mesozoicos de Altomira constituyen un acuífero profundo recubierto por los materiales terciarios y cuaternarios que forman el acuífero detrítico superficial.	
Geología e Hidrogeología	Los materiales del Terciario recubren en discordancia a los materiales mesozoicos, desarrollando espesores de decenas de metros, incididos por la red de drenaje donde se localizan los aluviales cuaternarios.	
Zona no Saturada	Areniscas, arcosas, margas yesíferas, calizas y margas blancas del Mioceno; arcillas yesíferas y arcillas rojas del Oligoceno terminal- Mioceno inferior, y depósitos aluviales del Cuaternario.	
Limites de la masa	Al N y E, los límites se definen por la divisoria hidrográfica entre la cuenca del Guadiana y las cuencas del Tajo y Júcar, respectivamente. El límite se traza palalelo a los afloramientos mesozoicos en los anticlinales más orientales de la Sierra de Altomira.	
Recarga	El mecanismo principal es la infiltración de la precipitación sobre las zonas de mayor permeabilidad relativa, sí bien pueden existir otros procesos de importancia local.	
Descarga natural	Se produce por drenaje hacia los ríos a través de manantiales, y por descargas laterales hacia la Sierra de Altomira. Los materiales mesozoicos profundos son recargados por goteo a partir de las estructuras del Terciario.	
Recurso total diponible (PH 2010-15): 1-2,3 hm^3/año		Indice de explotación (PH 2010-15): 0,53
Vulnerabilidad a la contaminación	Predominio de grado bajo amoderado asociada a los materiales aflorantes de media y baja permeabilidad. Moderada a alta en zonas de materiales detríticos de zonas aluviales, donde localmante puede ser muy alta.	
Ecosistemas acuáticos y ecosistemas terrestres dependientes de MASb (LICs, ZEPA, etc)		
Cabeceras ríos Gigüela y Záncara.		

Figura 11. Características de la MASb La Obispalía

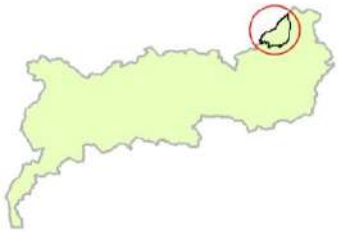
Fichas de caracterización de las Masas de Agua Subterránea en la DHGn		
Lillo-Quintanar		
Código	041.003	
Superficie Poligonal (km^2)	1102	
Situación	Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha. Provincias de Cuenca y Toledo. Zona Oriental de la Cuenca del Guadiana (Alto Guadiana).	
Litología	Arcillas yesíferas y arcillas rojas del Oligoceno terminal; areniscas, arcosas, margas yesíferas, calizas y margas del Mioceno; depósitos aluviales del Cuaternario.	
Acuíferos	Se diferencian dos acuíferos: - Carbonatado formado por calizas y calizas margosas del Mioceno, con espesores medios de 10-25 m. Este acuífero se encuentra colgado y drenado por múltiples manantiales. Es un acuífero libre y de permeabilidad media, cuya porosidad procede de procesos de fisuración y karstificación. - Acuífero aluvial, compuesto por arenas, limos, gravas y arcillas del Pliocuaternario.	
Geología e Hidrogeología	Dos ámbitos estructurales diferenciados: la Cuenca Cenozoica de la zona Centro-Ibérica y el borde Sur de los Montes de Toledo. La estructura geológica corresponde a un monoclinal con morfología de llanura con suaves ondulaciones, donde se desarrollan áreas endorreicas. Discordante sobre el basamento Paleozoico, el Terciario Continental aparece sujeto a variaciones laterales de facies, según la dirección este a oeste. La deposición terciaria se inicia con series arcillosas y evaporíticas vindobonienses que finalizan con los tramos calcáreos pontienses. Durante el Plioceno, el cambio climático a un régimen subárido hace que la deposición de sedimentos fluviales sea de gran desarrollo.	
Zona no Saturada	Calizas y calizas margosas pertenecientes al Mioceno, y depósitos detríticos constituidos por arenas, arcillas, limos y gravas del Pliocuaternario.	
Limites de la masa	Comprende las cuencas medias de los ríos Cigüela y Riansares, y todos sus límites hidrogeológicos son abiertos. El límite noroeste corresponde a la divisoria de aguas entre la cuenca del Tajo y del Guadiana, que corresponde a la divisoria de aguas entre los ríos Cigüela y Testillos. Limita al este con los afloramientos mesozoicos de la Sierra de Altomira y Almenara, y al sur con los materiales detríticos cuaternarios y miocenos de Consuegra-Villacañas.	
Recarga	La recarga se produce como consecuencia de la infiltración del agua de lluvia y del retorno de los riegos, recibiendo y transmitiendo flujos subterráneos de los acuíferos más altos hacia la Llanura Manchega.	
Descarga natural	La descarga natural se produce por medio de manantiales y a través de los ríos Riansares y Gigüela, y mediante trasnferencia a las MASb Mancha Occidental II y Consuegra-Villacañas.	
Recurso total diponible (PH 2010-15): 17,0 hm^3/año		Indice de explotación (PH 2010-15): 1,23
Vulnerabilidad a la contaminación	Predominio de grados muy bajo y bajo asociada a los materiales aflorantes de baja permeabilidad. Localmente moderada a alta en zonas de materiales carbonatados y detríticos.	
Ecosistemas acuáticos y ecosistemas terrestres dependientes de MASb (LICs, ZEPA, etc)		
Ríos Riansares y Gigüela.		
ZEPA: Área esteparia de la Mancha Norte (ES0000170). Reserva de la Bosfera: La Mancha Húmeda.		
LIC y ZEPA:Humedales de la Mancha (Lagunas de Lillo, Laguna de la Albardiosa: S4250010-ES0000091).		

Figura 12. Características de la MASb Lillo-Quintanar

Fichas de caracterización de las Masas de Agua Subterránea en la DHGn		
Consuegra-Villacañas		
Código	041.004	
Superficie Poligonal (km²)	1606	
Situación	Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha. Provincias de Toledo y Ciudad Real. Zona Oriental de la Cuenca del Guadiana (Alto Guadiana).	
Litología	Zócalo hercínico: pizarras, cuarcitas y calizas cámbricas. Triásico: conglomerados (que pueden aparecer cementados), areniscas y arcillas rojas. Mioceno: recubrimiento de pequeño espesor, constituido por margas y arcillas. Plioceno detrítico: gravas, arenas, arcillas y arcillas con cantos. Depósitos cuaternarios: terrazas, aluviales y cuaternarios lagunares.	
Acuíferos	Acuífero Cámbrico confinado. Acuífero Triásico. Acuífero Plio-Cuaternario.	
Geología e Hidrogeología	Se encuentra ubicada entre los ámbitos geoestructurales de los Montes de Toledo (Borde Sur), y la zona Centro-Ibérica (Cuenca Cenozoica). En esta zona se encuentran representados depósitos pertenecientes al Cámbrico, Mioceno, Plioceno y Cuaternario. Al este de la zona existen afloramientos de rocas ígneas (granitos).	
Zona no Saturada	Materiales carbonatados pliocenos, materiales detríticos pliocuaternarios y carbonatos del Cámbrico.	
Limites de la masa	Al N limita con la masa de Lillo-Quintanar por el contacto de las margas yesíferas del Mioceno medio con las calizas miopliocenas, y el contacto de los materiales cuaternarios con las Calizas de los páramos del Mioceno superior. El límite oriental se localiza en el contacto de los afloramientos mesozoicos de las Sierras de Altomira y los materiales triásicos de baja permeabilidad del Keuper. Limita al S con los materiales paleozoicos de las sierras de la Calderina y del Reventón y al O con la divisoria hidrográfica de la cuenca.	
Recarga	Se produce principalmente por infiltración de agua de lluvia, aunque también influye el retorno de las aguas de riego, así como la infiltración de ríos. Además, recibe transferencias subterráneas de la MASb Lillo-Quintanar.	
Descarga natural	Se produce hacia el acuífero aluvial del río Amarguillo, aunque en la zona norte se produce un drenaje local hacia el Arroyo de la Cañada de Torrejón. También se producen transferencias subterráneas hacia la Llanura Manchega.	
Recurso total diponible (PH 2010-15): 28,0 hm³/año		Indice de explotación (PH 2010-15): 1,70
Vulnerabilidad a la contaminación	Predominantemente baja a moderada. Zonas de valores altos en las llanuras de los ríos Riansares, Giguela y Amarguillo, con algunos sectores de valores muy altos.	
Ecosistemas acuáticos y ecosistemas terrestres dependientes de MASb (LICs, ZEPA, etc)		
Ríos Riansares, Gigüela y Amarguillo.		
ZEPA: Área esteparia de la Mancha Norte (ES0000170). Reserva de la Bosfera: La Mancha Húmeda.		
LIC y ZEPA: Humedales de la Mancha (Lagunas de: Tirez, Peña Hueca, Lillo, Villacañas, Quero, de las Yeguas, Camino de Villafranca, de Alcázar de S Juan: S4250010-ES0000091). Montes de Toledo (ES4250005-ES0000093).		

Figura 13. Características de la MASb Consuegra-Villacañas

Fichas de caracterización de las Masas de Agua Subterránea en la DHGn		
Rus-Valdelobos		
Código	041.005	
Superficie Poligonal (km^2)	1459	
Situación	Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha. Provincias de Cuenca y Albacete. Zona Oriental de la Cuenca del Guadiana (Alto Guadiana).	
Litología	Los materiales mesozoicos son calizas, dolomías, gravas y areniscas, que se depositan sobre los materiales arcillosos y yesíferos triásicos que forman una base de baja permeabilidad. Terciario y Cuaternario están formados por depósitos detríticos, calizas, calizas margosas y localmente rañas.	
Acuíferos	Se diferencian dos acuíferos, uno formado por materiales del Terciario y Cuaternario, y otro por materiales mesozoicos profundos.	
Geología e Hidrogeología	El mesozoico tiene potencias medias de algunos centenares de metros, y se identifican como la continuación del sistema acuífero de Calizas de Altomira, situado al N, y con las calizas y dolomías de la Plataforma de Montiel, al S. Estos materiales mesozoicos afloran en zonas puntuales de la masa, y en el resto del sistema se encuentran semiconfinados o confinados bajo el acuífero Terciario y Cuaternario. Las divisorias piezométricas dentro de la MASb, corresponden a un umbral provocado por diferencias del potencial hidráulico. Este es el motivo por el que la posición de la divisoria varía en el tiempo, siendo las extracciones y la recarga sus principales condicionantes. Así, los descensos piezométricos en el sector oriental, más próximo a la cuenca del Júcar, acentuarían el desplazamiento de la divisoria hacia el oeste.	
Zona no Saturada	Materiales Terciarios y Cuaternarios formados por calizas, calizas margosas y depósitos detríticos; y, en menor proporción, materiales mesozoicos formados por calizas, dolomías, gravas y areniscas.	
Limites de la masa	Limita al E con la divisoria de aguas superficiales Guadiana-Júcar. Al NO limita con los materiales mesozoicos aflorantes de la Sierra de Altomira. El límite occidental se traza por la divisoria hidrogeológica que separa flujos subterráneos hacia el Este y el Oeste. Al S el límite se localiza en el contacto entre las margas y las calizas del Jurásico de Montiel.	
Recarga	A través de la infiltración del agua de lluvia, de la infiltración por pérdidas en las aguas superficiales de ríos y de las aportaciones laterales procedentes de los sistemas de Calizas de Altomira y Campo de Montiel.	
Descarga natural	En su práctica totalidad, por vía subterránea, en dos direcciones. Hacia Mancha Occidental II en su misma cuenca (al oeste); y mayoritariamente hacia la cuenca del Júcar (al este). Ello es debido a la existencia de una divisoria subterránea no coincidente con la de las aguas superficiales Guadiana-Júcar (variable en funcion de las condiciones naturales y de explotación).	
Recurso total diponible (PH 2010-15): 24,6 hm^3/año		Indice de explotación (PH 2010-15): 2,86
Vulnerabilidad a la contaminación	Prodominio de grados bajos y moderados. Localmente alta en zonas aluviales.	
Ecosistemas acuáticos y ecosistemas terrestres dependientes de MASb (LICs, ZEPA, etc)		
Ríos Córcoles, Rus y Záncara.		
ZEPA: San Clemente (ES0000390)		

Figura 14. Características de la MASb Rus-Valdelobos

Fichas de caracterización de las Masas de Agua Subterránea en la DHGn		
Mancha Occidental II		
Código	041.006	
Superficie Poligonal (km^2)	2536	
Situación	Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha. Provincias de Albacete, Cuenca, Ciudad Real y Toledo. Zona Oriental de la Cuenca del Guadiana (Alto Guadiana).	
Litología	Pizarras y cuarcitas paleozoicas (>800 m). Calizas, dolomías, gravas y areniscas mesozoicas (Mesozoico de Altomira y Montiel: 700 m). Arcillas y yesos del Paleógeno (70-200 m). Calizas y calizas lutíticas del Neógeno (hasta 97 m). Sedimentos detríticos del Neógeno (gravas, arenas, areniscas, lutitas: hasta 300 m).	
Acuíferos	En el sistema se diferencian dos acuíferos superpuestos: Superior formado por materiales del Terciario y Cuaternario en régimen libre. Inferior formado por materiales mesozoicos en régimen confinado.	
Geología e Hidrogeología	La LLanura Manchega forma una depresión que ocupa la parte meridional de la submeseta castellana Sur, rodeada de relieves de sierras paleozoicas y mesozoicas. Corresponde a un relleno de materiales continentales (Miocenos y Pliocuaternarios) recubiertos parcialmente por rañas, piedemontes y por cuaternarios muy característicos. El sustrato de la depresión está formado por un zócalo Paleozoico de baja permeabilidad, sobre el que se desarrolla en discordancia el Triasico, Jurásico, Cretácico y Paleógeno. Este conjunto de materiales paleozoicos y mesozoicos son prolongación de las unidades geológicas vecinas (montes de Toledo, Campos de Montiel y Sierra de Altomira). Las aguas subterráneas han sido intensamente explotadas desde mediados de los años 80 del pasado siglo, provocando afecciones importantes en el régimen de los ríos y a las zonas húmedas dependientes.	
Zona no Saturada	Depósitos detríticos cuaternarios y terciarios, y depósitos carbonatados del Mioceno superior.	
Limites de la masa	Limita al N con las alineaciones carbonatadas de la Sierra de Altomira en contacto con los materiales terciarios de la fosa manchega. El límite oriental se define en la divisoria de aguas subterráneas que separa flujos hacia el Este y hacia el Oeste. Limita al S con los afloramientos carbonatados de materiales jurásicos y cretácicos del Campo de Montiel. El límite O se sitúa en la línea que marca el acuñamiento de los materiales mesozoicos que forman el acuífero inferior mesozoico.	
Recarga	A través de la infiltración del agua de lluvia; de la infiltración de aguas superficiales de los ríos Záncara, Corcoles y Guadiana; de las aportaciones laterales de las masas de Altomira y Consuegra-Villacañas, al N, Campo de Montiel, al S; y Rus-Valdelobos, al este; y retornos de riego.	
Descarga natural	Debido a la alteración, actualmente no existen descargas naturales significativas, a excepción del flujo subterráneo que se produce hacia la masa Mancha Occidental I.	
Recurso total diponible (PH 2010-15): 106,2 hm3/año		**Indice de explotación (PH 2010-15):** 3,18
Vulnerabilidad a la contaminación	Prodominio de grado bajo y grado muy bajos en las zonas de bordes sur y norte. Llanuras aluviales con valores medios y altos.	
Ecosistemas acuáticos y ecosistemas terrestres dependientes de MASb (LICs, ZEPA, etc)		
Ríos: Guadiana, Záncara, Córcoles, Cañada de la Hurraca.		
LIC y ZEPA: Humedales de la Mancha (Lagunas de Pedro Muñoz,		
de Sánchez Gómez y Dehesilla, de Manjavacas, de Alchozo, del Taray Chico,		
Pantano de Los Muleteros: (S4250010-ES0000091). Reserva de la Bosfera: La Mancha Húmeda.		

Figura 15. Características de la MASb Mancha Occidental II

Fichas de caracterización de las Masas de Agua Subterránea en la DHGn		
Mancha Occidental I		
Código	041.007	
Superficie Poligonal (km^2)	2003	
Situación	Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha. Provincias de Ciudad Real. Zona Oriental de la Cuenca del Guadiana (Alto Guadiana).	
Litología	Terciario y Cuaternario, constituidos por depósitos detríticos, calizas, calizas margosas y localmente rañas. El sustrato paleozoico está formado por pizarras y cuarcitas.	
Acuíferos	Acuífero formado por materiales del Terciario y Cuaternario. La base impermeable está constituida por materiales del zócalo Paleozoico de baja o muy baja permeabilidad.	
Geología e Hidrogeología	Constituye una fosa tectónica, con zócalo paleozoico, sobre el que se depositan discordantes materiales terciarios. El principal material acuífero son las calizas miocenas en régimen libre con espesores medios de 35 m, que se engrosan hacia el Oeste. Las aguas subterráneas han sido intensamente explotadas desde mediados de los años 80 del pasado siglo, provocando afecciones importantes en el régimen de los ríos y a las zonas húmedas dependientes.	
Zona no Saturada	Depósitos detríticos cuaternarios y terciarios, depósitos carbonatados del Mioceno superior y, en menor proporción, materiales volcánicos que aparecen en la zona occidental asociados a los anteriores.	
Limites de la masa	Al N limita con los materiales de baja permeabilidad de los Montes de Toledo y con los materiales semipermeables de Consuegra-Villacañas. El límite oriental se sitúa en la línea que marca el acuñamiento de los materiales carbonatados mesozoicos que forman, en el sistema Mancha Occidental II, el acuífero inferior, confinado o semiconfinado. Al SO limita con el sistema de Calatrava siguiendo los afloramientos paleozoicos, pertenecientes a este sistema, que constituyen paleorrelieves residuales. Hacia el E este límite pasa a definirse por el cauce del río Bañuelo. Al S limita con las cuarcitas y pizarras paleozoicas de Sierra Prieta.	
Recarga	A través de la infiltración del agua de lluvia, de la infiltración por pérdidas de las aguas superficiales de los ríos Azuer, Guadiana y Cigüela, y por las aportaciones laterales procedentes de Mancha Occidental II y Consuegra-Villacañas. También existen recargas por infiltración de los retornos de riego.	
Descarga natural	En régimen natural el acuífero estaba directamente relacionado con las Tablas de Daimiel y el nacimiento del Guadiana. Y existían salidas por evaporación en las zonas encharcadas o húmedas y a través de manantiales. Desde 1980-85 se produjo desconexión entre el acuífero y los cursos fluviales, anulándose las descargas naturales y originando el secado de los Ojos del Guadiana. Desde 2011 se aprecia una mejora de la situación general de los humedales.	
Recurso total diponible (PH 2010-15): 91,2 hm3/año		Indice de explotación (PH 2010-15): 3,59
Vulnerabilidad a la contaminación	Prodominio de grados bajo a muy bajos. Algunos sectores de llanuras aluviales con valores medios y altos.	
Ecosistemas acuáticos y ecosistemas terrestres dependientes de MASb (LICs, ZEPA, etc)		
Ríos: Guadiana, Giguela, Azuer.		
LIC y ZEPA: Tablas de Daimiel (ES0000013). Montes de Toledo (ES4250005-ES0000093)		
Reserva de la Bosfera: La Mancha Húmeda.		

Figura 16. Características de la MASb Mancha Occidental I

Fichas de caracterización de las Masas de Agua Subterránea en la DHGn		
Campo de Montiel		
Código	041.010	
Superficie Poligonal (km^2)	2199	
Situación	Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha. Provincias de Albacete y Ciudad Real. Zona Oriental de la Cuenca del Guadiana (Alto Guadiana).	
Litología	Materiales jurásicos formados por calizas y dolomías en la parte inferior, y margas y calizas oolíticas en el tramo superior, con espesores medios de 180 m. Aparecen también materiales cretácicos formados por arenas arcillas y calizas, únicamente presentes en los bordes N y NO de la masa, y depósitos de "raña" y travertinos pliocuaternarios.	
Acuíferos	El acuífero está constituido principalmente por materiales calcáreos del Jurásico.	
Geología e Hidrogeología	Todos los materiales se encuentran plegados suavemente y basculados hacia el NO. La base impermeable del acuífero está formada por materiales triásicos constituidos por yesos, margas y arcillas, a su vez discordante sobre el zócalo paleozoico, formado por pizarras y cuarcitas.	
Zona no Saturada	Calizas, dolomías y margas del Jurásico; y travertinos y rañas pliocuaternarios.	
Limites de la masa	El límite septentrional se localiza en el contacto de los materiales jurásicos y cretácicos con los materiales terciarios de la Mancha Occidental. Hacia el E pasa a trazarse por el contacto de las margas y arcillas jurásicas con las calizas del Dogger pertenecientes al sistema Rus-Córcoles. Al E el límite se establece por la divisoria hidrográfica del Guadiana-Júcar. El límite occidental se define en el contacto Jurásico-Trías y Jurásico-Neógeno de los llanos de Manzanares y La Solana, desde Membrilla hasta la divisoria con el Guadalquivir. El límite meridional es la divisoria Guadiana-Guadalquivir dentro de los propios materiales jurásicos del Campo de Montiel.	
Recarga	Se alimenta exclusivamente de la infiltración directa de las precipitaciones.	
Descarga natural	Se produce un importante drenaje natural hacia las lagunas de Ruidera con fuertes oscilaciones según las secuencias climáticas, así como a través de los ríos Azuer, Guadiana Alto, Cañamares y Jabalón. Y por conexión subterránea hacia la Llanura Manchega (Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos) y hacia las cuencas de Guadalquivir y Júcar.	
Recurso total diponible (PH 2010-15): 9* hm^3/año (*) *Adaptación en función de las secuencias climáticas.*		Indice de explotación (PH 2010-15): 3,37
Vulnerabilidad a la contaminación	Predominio de zonas de alta y muy alta vulnerabilidad. Los sectores de cabecera presentan en general grados bajos.	
Ecosistemas acuáticos y ecosistemas terrestres dependientes de MASb (LICs, ZEPA, etc)		
Ríos: Guadiana Alto, Azuer, Cañamares, Jabalón.		
LIC: Lagunas de Ruidera (ES4210017). Reserva de la Bosfera: La Mancha Húmeda. Humedal RAMSAR.		
ZEPA: ZONA ESTEPARIA DE EL BONILLO (ES0000154). AREAS ESTEPARIAS DEL CAMPO DE MONTIEL (ES0000158)		

Figura 17. Características de la MASb Campo de Montiel

2.3.2. Divisoria hidrogeológica Guadiana- Júcar

La divisoria hidrogeológica entre las cuencas del Guadiana y el Júcar ha sido objeto de estudios especializados a causa de la complejidad geológica y estructural del área. La existencia de una divisoria hidrogeológica había sido tradicionalmente considerada en base a interpretaciones piezométricas, existiendo con ello cierta incertidumbre referente a la ubicación y evolución de dicha divisoria.

Personal investigador del IGME (2010) desarrolló una investigación detallada del subsuelo destinada a explicar el origen y evolución de la mencionada divisoria hidrogeológica, empleando técnicas geofísicas tanto gravimétricas como eléctricas, así como registros litológicos de perforaciones. Los resultados de dicho estudio reflejaron la ausencia de accidentes geológicos que permitan atribuir dicha divisoria a un umbral geológico, por lo que se concluyó que solo cabe interpretarla como un límite hidrogeológico condicionado por diferencias en el potencial hidráulico dentro del acuífero. Por ese motivo la posición de la divisoria estaría sujeta a variaciones espaciales, ya que depende de los condicionantes del potencial (algunos naturales y otros antrópicos). Esto evidenciaría que la posición y la evolución temporal de la divisoria hidrogeológica estaría influenciada por la explotación de los recursos hídricos subterráneos.

Por otro lado, el proyecto “Contribución al estudio de la geometría y los límites del acuífero del Campo de Montiel” realizado por el Departamento de Geodinámica de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid (2000) realizó, por un lado, una extensa caracterización geológica del acuífero del Campo de Montiel, y por otro, una interpretación del comportamiento hidrogeológico asociado. Dicho estudio define los límites hidrogeológicos de la unidad acuífera, estableciendo la divisoria hidrogeológica Guadiana – Júcar junto a la posición de la divisoria hidrológica (extendiéndose unos kilómetros al este): *“Límite oriental del acuífero del Campo de Montiel”: es el peor definido debido a su mayor complejidad geológica. Hemos considerado la delimitación histórica del acuífero a lo largo de la divisoria hidrológica de las cuencas del Guadiana y del Júcar, que sigue una dirección NNE-SSO. Geológicamente no se establece interrupción por lo que en I.T.G.E. (1990b) desplazan el límite más hacia el este, con una orientación NO-SE, siguiendo la alineación Munera-Tiriez”*. Sin embargo, definen dicha alineación como un “*contacto tectonizado definido por numerosas fallas inversas que, en su interpretación, **ponen en contacto materiales mesozoicos permeables sobre materiales post-jurásicos de baja permeabilidad**”*. Cabe por tanto interpretar la existencia de un basamento impermeable que condicione la posición de la divisoria hidrogeológica Guadiana – Júcar.

El mencionado estudio concluye además que el sustrato impermeable de la unidad acuífera del Campo de Montiel está constituido por las Facies triásicas Keuper (margas, arcillas y yesos), las cuales se distribuyen a distintas

profundidades llegando a aflorar en ciertos emplazamientos y a disponerse a profundidades superiores a 200 m en otros. Sin embargo, es común encontrarlos a profundidades medias de entre 30 y 50 m.

Por otro lado, el mismo estudio del IGME (2010) puso de manifiesto que el sustrato triásico puede ser elevado y dispuesto sobre materiales carbonatados jurásicos por la acción de fallas inversas. Esta situación se ilustra en la Figura 18, que muestra una sección geológica dispuesta en dirección Suroeste-Noreste a lo largo de la Llanura Manchega y Sierra de Altomira. Por tanto, es posible interpretar la presencia de un sustrato impermeable poco profundo que condicione la disposición de la divisoria hidrogeológica Guadiana-Júcar.

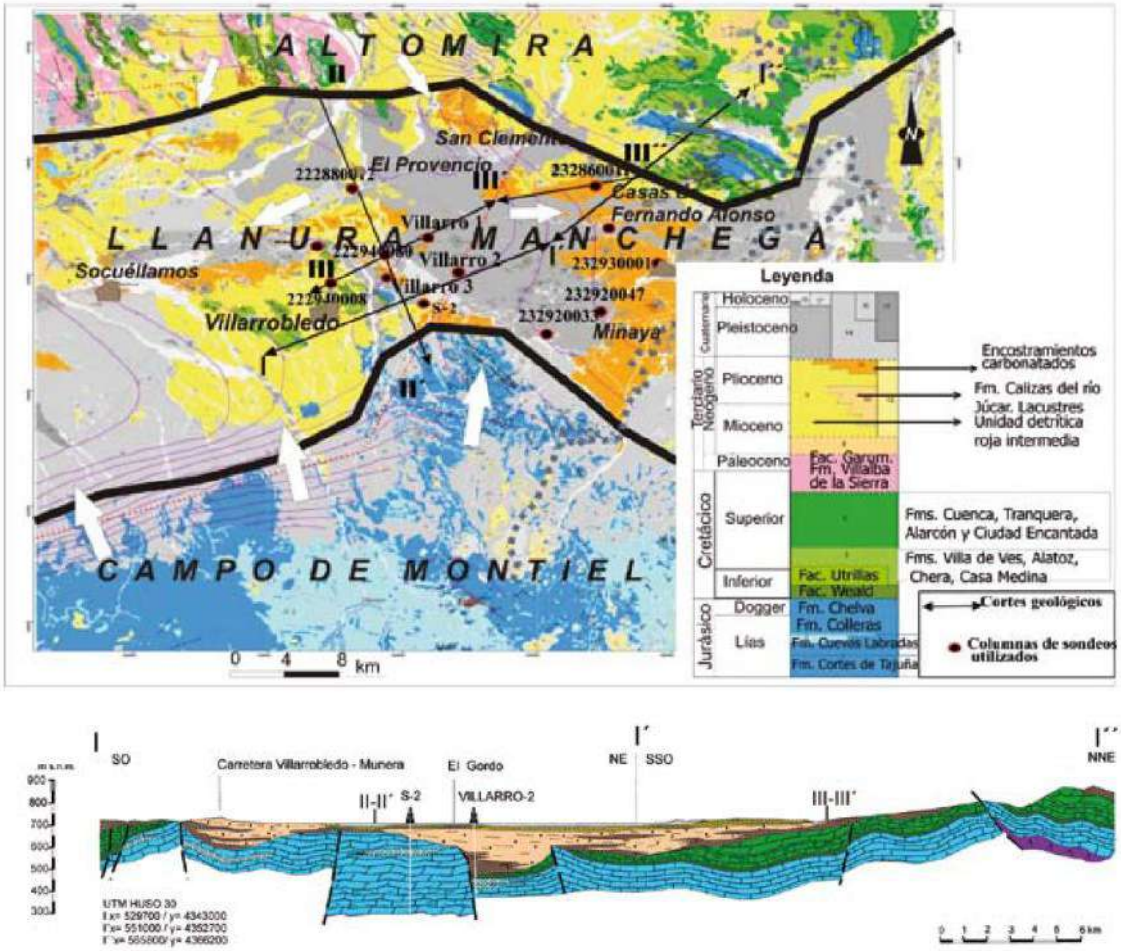


Figura 18. Sección geológica (IGME, 2010)

2.3.3. Sierra de Altomira

La geometría de Sierra de Altomira fue definida desde el comienzo de la elaboración del modelo de flujo en 2008 y revisada en la actualización de 2010 a partir del estudio de "MEJORA DEL CONOCIMIENTO EN LAS MASB SIERRA DE ALTOMIRA (041.001) Y RUS VALDELOBOS (041.005)", IGME, 2009, donde se hace un detallado análisis de la información disponible y de la hidrogeología de esta zona, dentro de la cuenca alta del Guadiana. Ambas masas se definen como un sistema muy complejo en el que hay una estructura con una franja central de materiales mesozoicos principalmente carbonatados, de orientación NO-SE y que en su extremo septentrional es más estrecha, mientras que hacia el S tiende a hundirse, hasta contactar mecánicamente con la Llanura Manchega a causa de fracturas orientadas E-O.

Esta franja central, constituida por numerosos pliegues y cabalgamientos, avanza hacia el O sobre otra franja, la occidental, de similares características y de orientación N-S, superponiéndose sobre ella en el N y dejando hacia el S, estrechas depresiones rellenas de materiales terciarios. Al Este de la franja central, se define, de manera menos continua, otra estrecha franja, la franja oriental, dispuesta en dirección NO-SE, quedando entre ambas otras depresiones, de mayor extensión. Hacia el S, se define una depresión de orientación E-O que corresponde a la Llanura Manchega

Las formaciones susceptibles de constituir acuíferos no forman un único acuífero homogéneo. Así, para las formaciones jurásicas se diferencian tres grandes tramos y en el caso de las formaciones cretácicas, dos grandes formaciones acuíferas.

Los pliegues y fallas afectan al comportamiento hidrodinámico desconectando acuíferos a causa de las divisorias hidrogeológicas que forman los ejes anticlinales y cabalgamientos cuyo material infrayacente es impermeable; pudiéndose definir una serie de subunidades acuíferas locales.

Como consecuencia de esta estructura, la conexión hidráulica entre los diferentes subsistemas y entre los acuíferos jurásicos y cretácicos no se conoce suficientemente. Así, parece que existe en el S una conexión entre acuíferos cretácicos y jurásicos, hecho que no parece producirse en el N. Asimismo, las conexiones entre los subsistemas acuíferos precisan de un conocimiento más exhaustivo en cuanto a piezometría y calidad de las aguas, ya que no se dispone de esta información para las formaciones mesozoicas situadas en las depresiones rellenas de materiales terciarios.

Por otra parte, el papel de las formaciones acuíferas detríticas terciarias ha de ser importante, en cuanto a la recarga y a la calidad química de las aguas asociadas a las formaciones acuíferas mesozoicas, pero tampoco se conoce con el suficiente nivel de detalle como para considerar su simulación en detalle.

Estas consideraciones también se desprenden del "INFORME RECOPILATORIO DE LOS TRABAJOS REALIZADOS (IGME, 2016)" elaborado

bajo el denominado CONVENIO ESPECÍFICO DE COLABORACIÓN ENTRE LA COMUNIDAD DE USUARIOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA SIERRA DE ALTOMIRA Y EL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, PARA EL APOYO TÉCNICO EN MATERIA DE INFRAESTRUCTURA HIDROGEOLÓGICA Y AGUAS SUBTERRÁNEAS. 2012-2015.

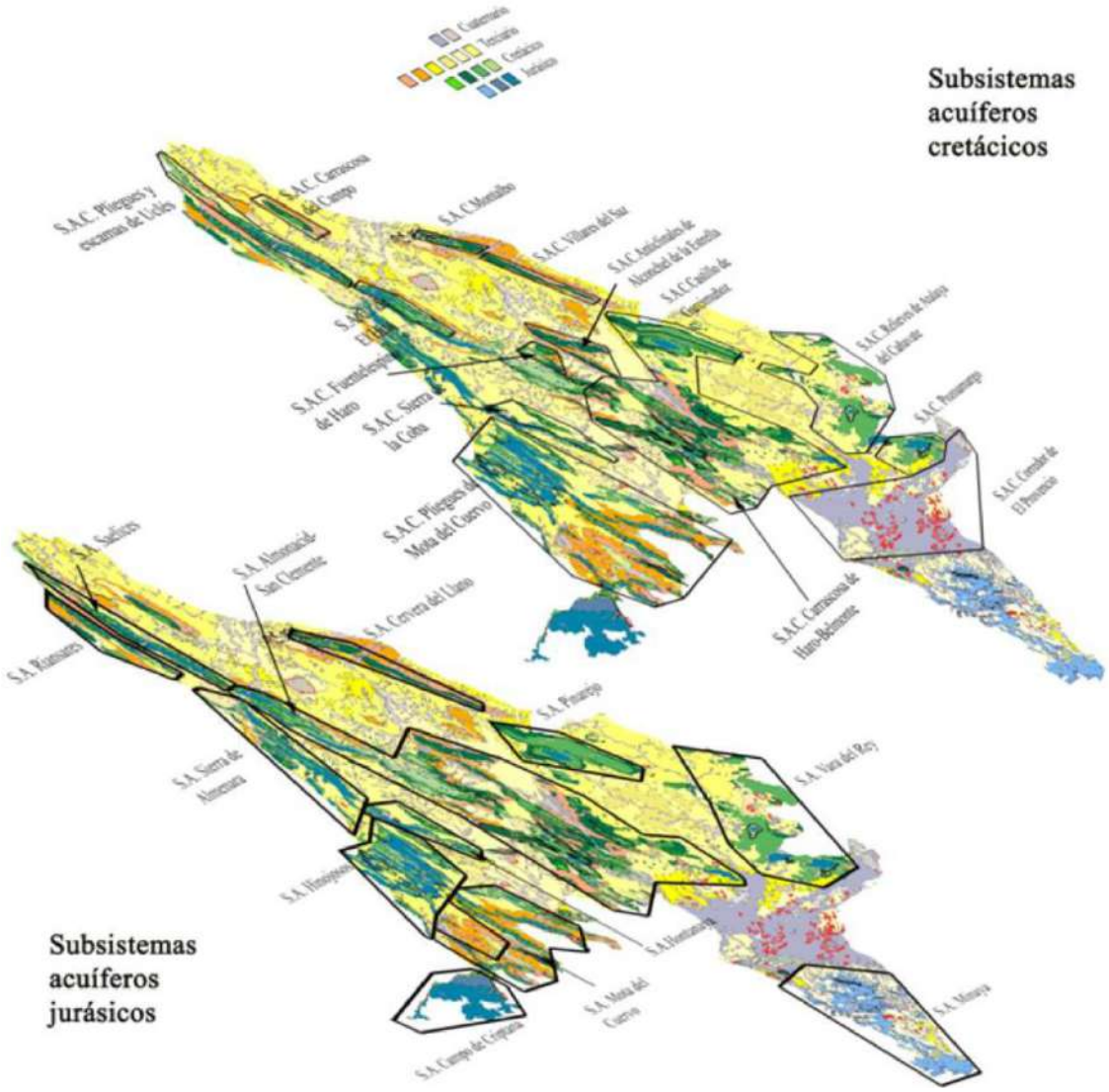


Figura 19. Representación de la disposición superpuesta de los dos conjuntos de subsistemas acuíferos, jurásicos y cretácicos (IGME).

2.3.4. MASb Lillo-Quintanar

El presente apartado contiene un compendio de las principales características hidrogeológicas de la MASb Lillo-Quintanar, el cual ha sido extraído del reciente trabajo elaborado por el IGME “Asesoramiento y actuaciones para la mejora del conocimiento de la masa de agua subterránea 041.003 Lillo-Quintanar” (2020).

La MASb Lillo-Quintanar se encuentra en la zona nororiental de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, presentando una superficie total de 1.101,7 Km² (Figura 7). La mayoría de su territorio se encuentra en la provincia de Toledo y, en menor proporción, en las provincias de Cuenca y Ciudad Real. El actual Plan Hidrológico (CHG, 2015) define los límites de la MASb a las cuencas medias de los ríos Cigüela y Riansares:

- El límite oeste y noroeste corresponde a la divisoria de aguas entre los ríos Cigüela y Testillos, la cual corresponde a la divisoria entre la cuenca del río Tajo y del río Guadiana.
- El límite este coincide con los afloramientos mesozoicos de las sierras de Altomira y Almenara.
- El límite sur viene definido con los materiales detríticos miocenos y cuaternarios de la MASb Consuegra-Villacañas.

La MASb Lillo-Quintanar se encuentra enclavada entre dos grandes unidades morfoestructurales diferenciadas: la Cuenca Cenozoica de la zona Centro-Ibérica y el borde sur de los Montes de Toledo. La estructura geológica principal que la compone es un sistema monoclinal que presenta una morfología de llanura con suaves ondulaciones y relieve tabular, presentando varias áreas endorreicas. La cartografía geológica más reciente, mostrada en la Figura 20 y Figura 21, ha sido elaborada por el IGME a partir de la homogeneización cartográfica de la serie MAGNA (2020).

Desde un punto de vista litológico, la llamada base impermeable lo constituyen depósitos paleozoicos y mesozoicos triásicos, los cuales se encuentran afectados por diversos sistemas de fallas. Se diferencian dos unidades de características litológicas diferenciadas: una serie inferior, litológicamente homogénea y constituida por cuarcitas y cuarcitas feldespáticas, y otra superior compuesta por pizarras, areniscas y cuarcitas feldespáticas. Dichos materiales afloran en diversos sectores de la MASb. Discordante sobre el Paleozoico se sitúa el Terciario continental caracterizado por presentar múltiples variaciones laterales de facies: los materiales miocenos ocupan la mayor parte de la extensión dentro de la MASb Lillo -Quintanar, los cuales se disponen mediante discordancia erosiva sobre los sedimentos paleógenos. Litológicamente, predominan sedimentos de génesis evaporítica que se disponen en el flanco occidental de la MASb, aflorando yesos y arcillas yesíferas blancas; lateralmente

cambian de facies, pasando a formaciones limo-arcillosas rojizas y brechas calcáreas, más cercanas al flanco oriental de la MASb.

Las interpretaciones más recientes (DGOH-IGME, 1988, IGME 2015ª, 2015b y 2015c) consideran la MASb Lillo-Quintanar como una unidad compleja en la que se pueden distinguir dos acuíferos principales:

- Acuíferos formados por materiales detríticos (Triásico, Mioceno y Pliocuaternario). Puede funcionar como acuífero libre o confinado dependiendo de su disposición estructural y de que se encuentren aflorantes o cubiertos por formaciones de baja permeabilidad. Su base impermeable la constituyen las series denominadas Terciario Detrítico-Evaporítico (margas, arcillas, yesos, limos, areniscas y conglomerados de edad Paleógeno-Mioceno). Es posible distinguir entre depósitos detríticos superficiales que constituyen acuíferos libres de escasa entidad y poca profundidad (3-6 m), y materiales detríticos aluviales y terrazas cuaternarias que pueden llegar a constituir acuíferos libres de alta permeabilidad que no suelen superar los 15 m de potencia. Tienen conexión con los páramos calcáreos.
- Acuíferos formados por materiales carbonatados (Mioceno Superior-Plioceno). Litológicamente está compuesta por materiales detríticos, areniscas cuarcíticas y microconglomerados, cuerpos alternantes de calizas, margocalizas y lutitas. Los conjuntos no suelen superar los 30-40 m de espesor. Los bancos calcáreos contienen niveles permeables destacados cuya transmisividad es de 500m²/día (IGME, 1979).

La Figura 22 incluye una tabla cronoestratigráfica con las litologías predominantes y las formaciones acuíferas. La distribución espacial de materiales susceptibles de conformar unidades acuíferas se muestra en la Figura 23.

A raíz de los trabajos incluidos en las Actividades 2 y 4 de la Encomienda de Gestión (IGME-DGA, 2009ª y 2009b) se confirma que la recarga se produce como consecuencia de la infiltración del agua de lluvia y del retorno de riegos, mientras que la descarga natural se produce por medio de manantiales y de los ríos Riansares y Cigüela. Según el IGME (2018ª y 2018b) desde los ríos Riansares y Gigüela, a partir de la MASb Sierra de Altomira se transfiere a la MASb Lillo-Quintanar un volumen anual de 13,021 hm³.

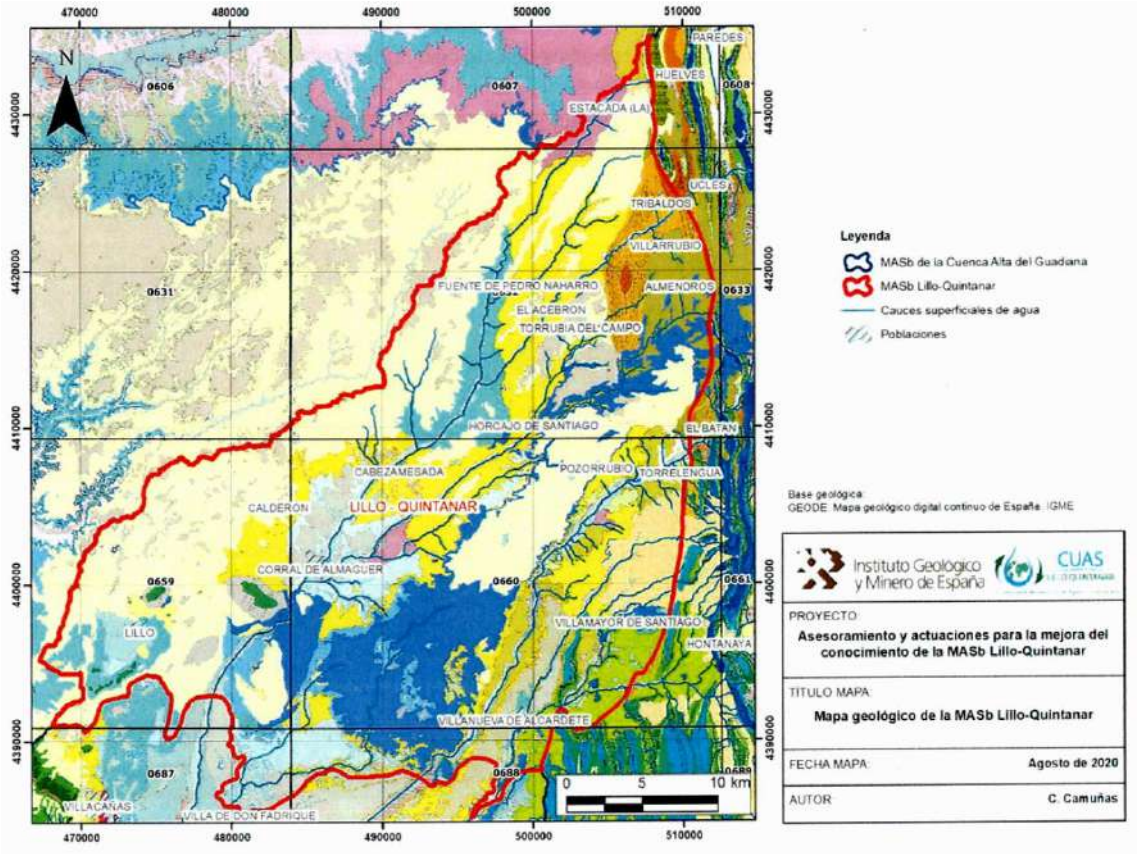


Figura 20. Mapa geológico MASb Lillo-Quintanar. Base geológica GEODE (IGME)

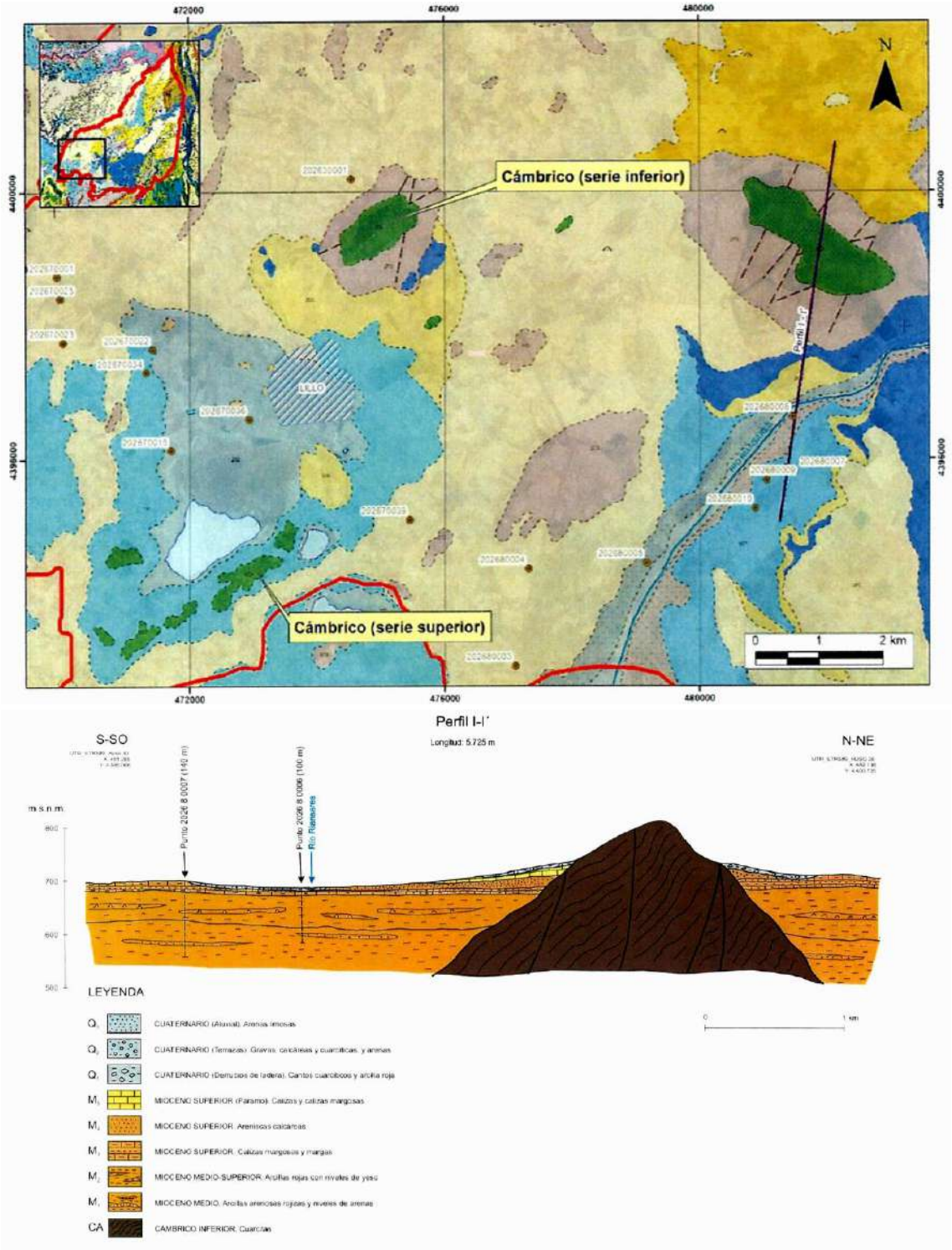


Figura 21. Afloramientos geológicos y perfil en la MASb Lillo-Quintanar. Base geológica GEODE (IGME)

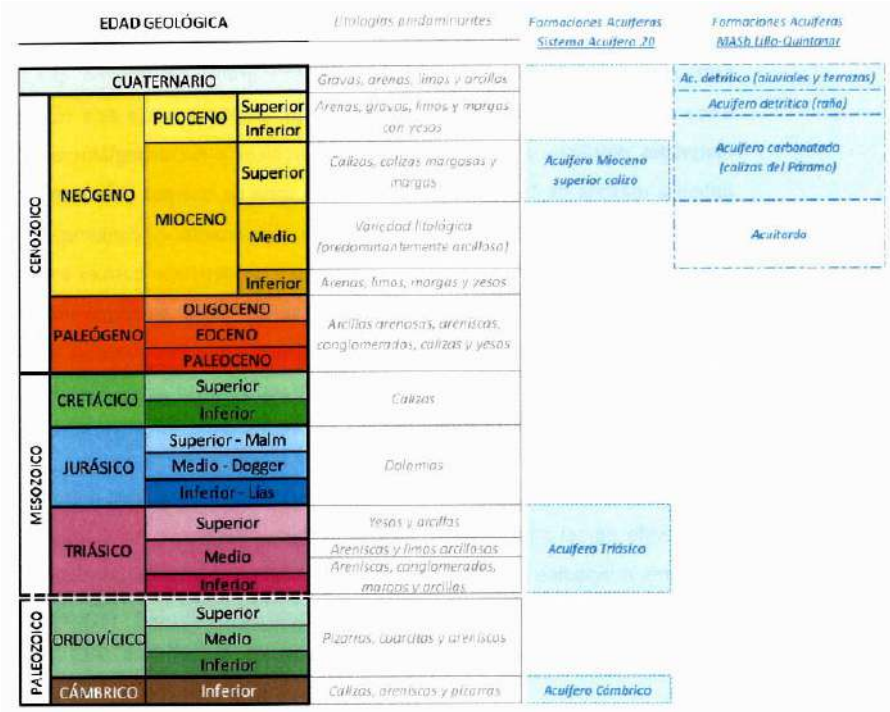


Figura 22. Formaciones acuíferas identificadas en la MASb Lillo-Quintanar (IGME.2020)

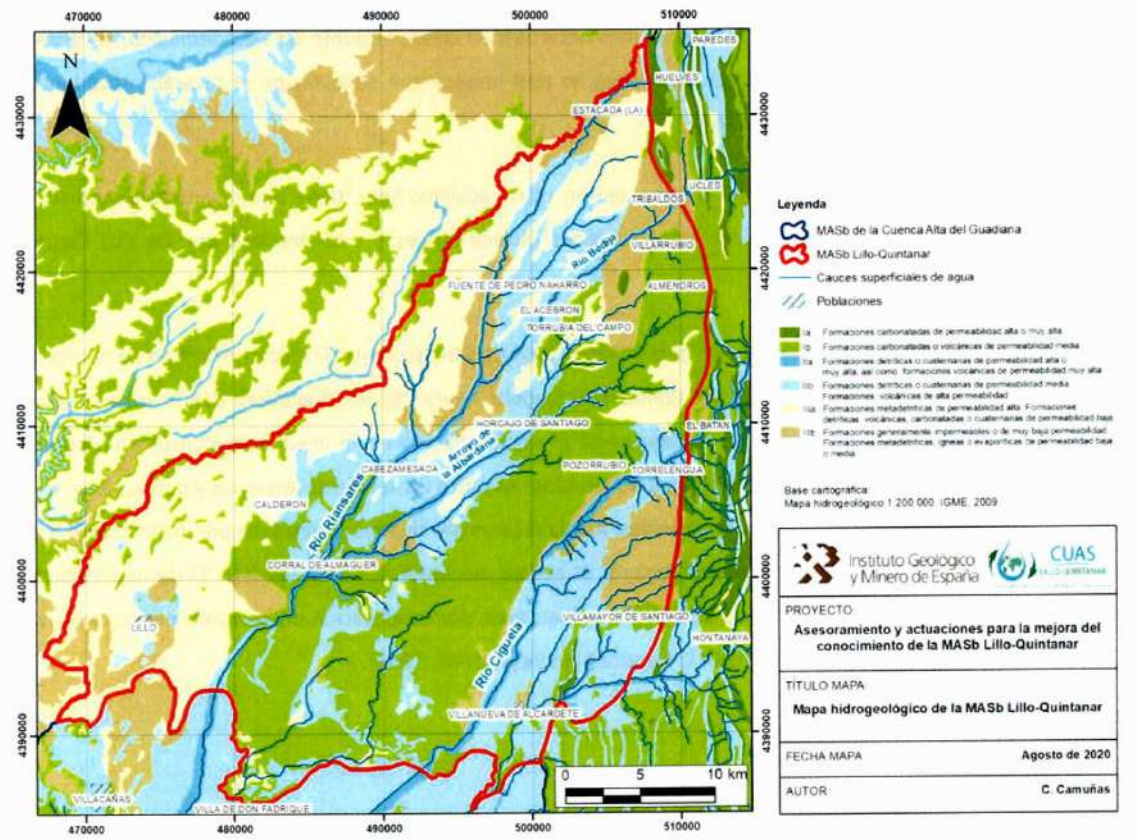


Figura 23. Mapa hidrogeológico de la MASb Lillo-Quintanar (IGME, 2020)

2.3.5. Piezometría

En este apartado se recopila y analiza la información piezométrica histórica del entorno del modelo FLUSAG. Dicha información ha sido proporcionada por los distintos organismos responsables de la gestión de las MASb del Alto Guadiana, así como de portales de acceso público de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana y de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. La localización de los pozos y piezómetros considerados para el análisis piezométrico se muestra en la Figura 24. Se han considerado piezómetros pertenecientes a:

i) todas las MASb incluidas en el modelo FLUSAG,
ii) MASb del Alto Guadiana no incluidas en el modelo FLUSAG,
iii) MASb occidentales de la Demarcación Hidrográfica del Júcar que limitan con la cuenca del Guadiana,
iv) MASb Ocaña (Demarcación Hidrográfica del Tajo).

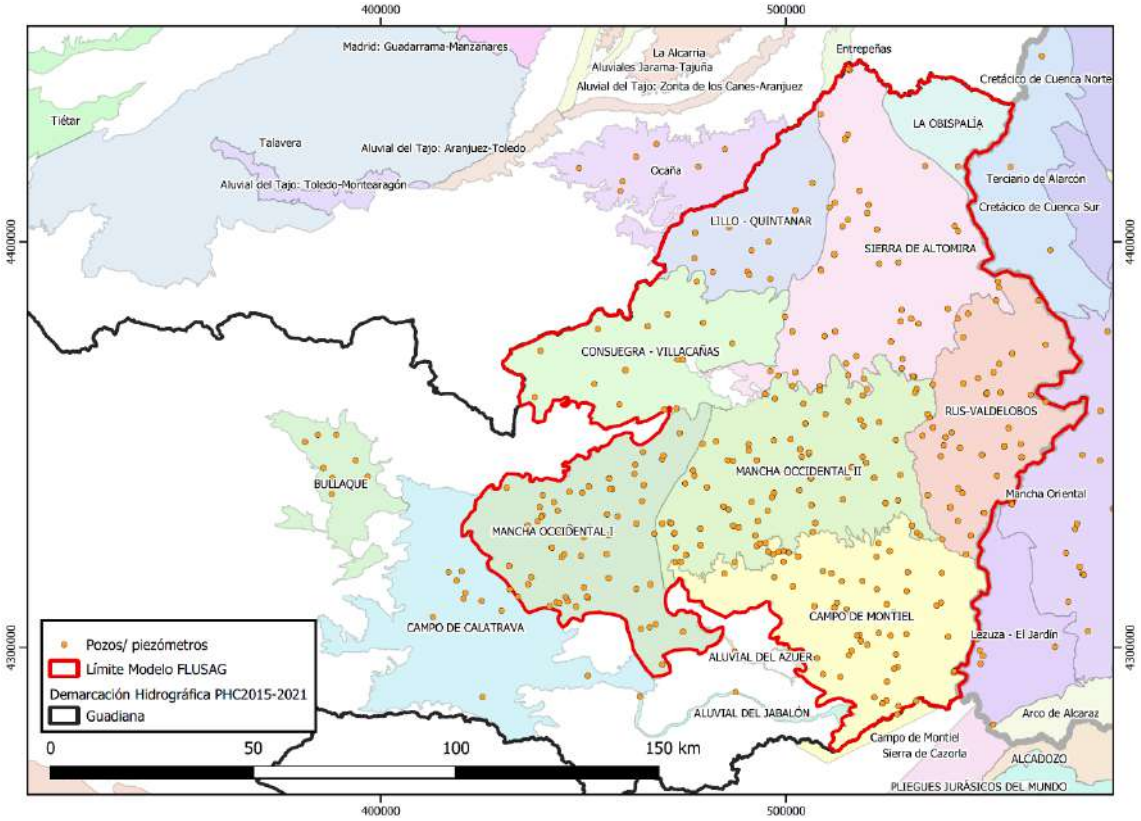


Figura 24. Pozos y piezómetros

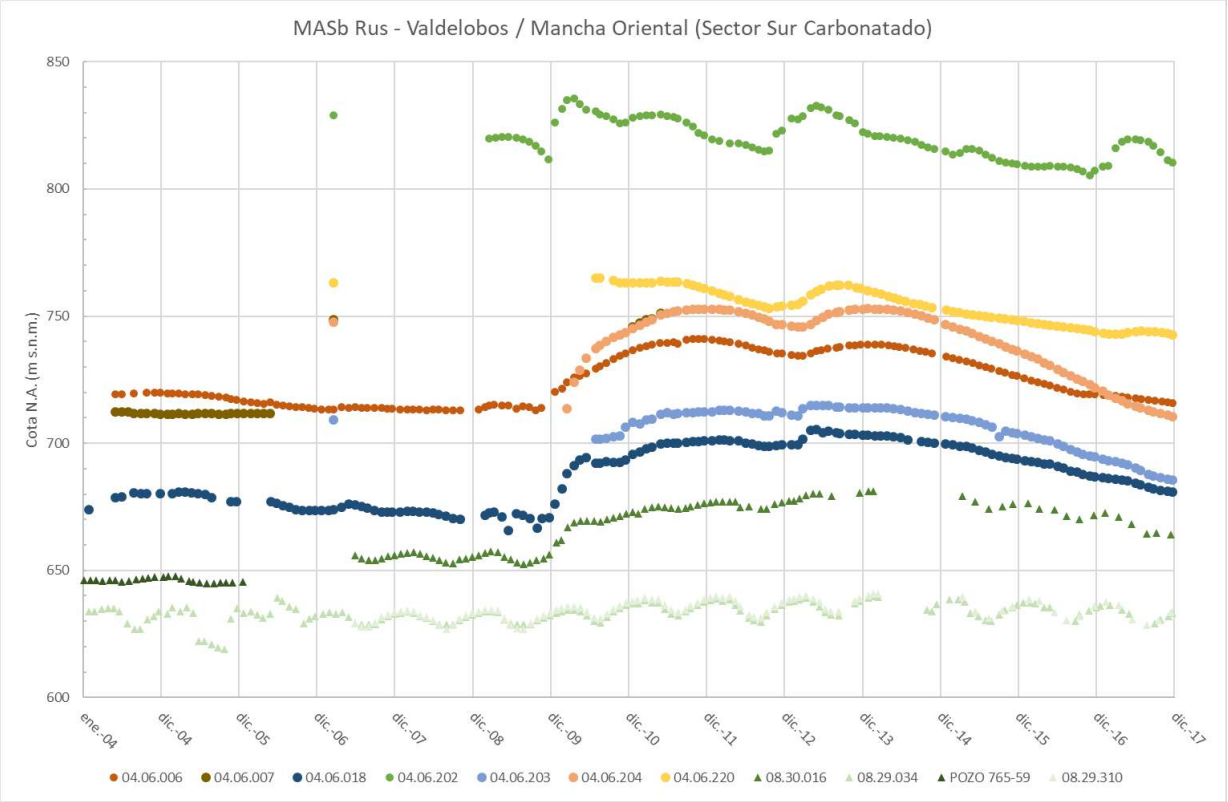
2.3.5.1. Evolución piezométrica

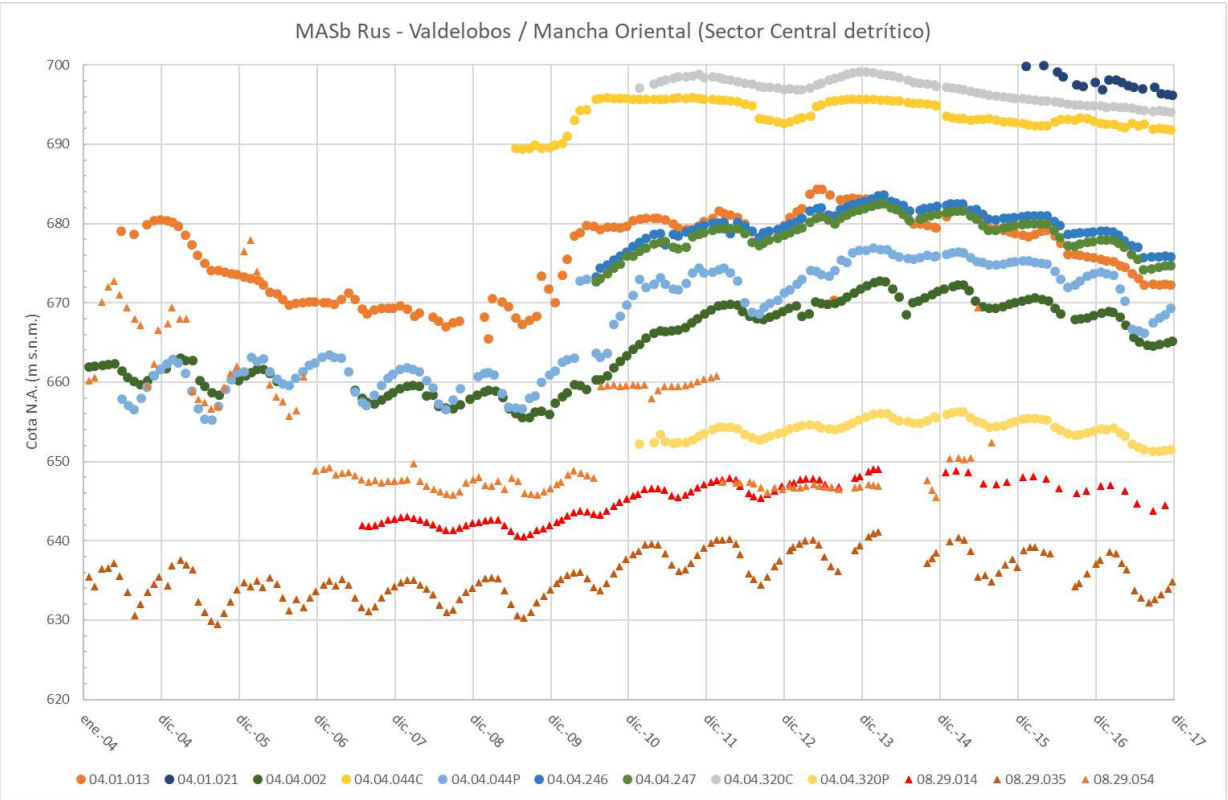
<u>MASb Rus – Valdelobos / Mancha Oriental</u>

La información piezométrica de la MASb Rus-Valdelobos ha sido analizada junto a aquella registrada en pozos y piezómetros ubicados en el sector occidental de la MASb Mancha Oriental (Demarcación Hidrográfica del Júcar). El objetivo de ello busca obtener una visión general del comportamiento piezométrico en todo el sector, no limitado únicamente a los límites de la MASb Rus – Valdelobos.

La información piezométrica revisada revela la existencia de tres (3) tendencias piezométricas bien diferenciadas en sendos sectores Sur, Central y Norte de la MASb Rus – Valdelobos (Figura 25):

- Sector sur con predominio de materiales carbonatados jurásicos (Figura 25, superior). El registro comienza con periodo de niveles estables (enero 2004 – diciembre 2009) que experimentan un notable ascenso a partir de finales del 2009. En algunos piezómetros dicho ascenso alcanza una magnitud de varias decenas de metros. El período de ascenso se produce hasta mediados de 2012, fecha en que los niveles comienzan a decaer. En la actualidad los niveles se encuentran en un período de estabilización, situándose a cotas similares a las existentes con anterioridad a diciembre de 2009. En términos generales, se observan tendencias piezométricas estables con variaciones de amplia distribución temporal. Destaca el hecho de que el piezómetro 08.30.016, ubicado en el sector occidental de la MASb Mancha Oriental, presenta tendencias similares a las observadas en los pozos de la MASb Rus – Valdelobos. No así ocurre con el pozo 08.29.310 (MASb Mancha Oriental), el cual presenta oscilaciones de menor amplitud y a lo largo de espacios temporales cortos.
- Sector central con predominio de materiales detríticos terciarios (Figura 25, centro). En general presenta la misma distribución de niveles con un período de ascenso entre finales de 2009 y finales de 2012, y un periodo de descenso entre finales de 2012 y la actualidad. Sin embargo, tanto los niveles de la MASb Rus-Valdelobos como los de la MASb Mancha Oriental se caracterizan por presentar oscilaciones estacionales de 2-6 m de amplitud producidas de manera regular.
- Sector Norte con predominio de materiales detríticos arcillosos (Figura 25, inferior). Si bien la mayoría de las series disponibles son de corta duración (comienzan en enero de 2016), en todas ellas se identifica un mismo patrón: niveles estables con escasa variación a lo largo del tiempo. No se observan oscilaciones periódicas en los niveles. Se observa sin embargo que la importante recarga ocurrida a finales de 2009 también afectó a los materiales de este sector.


MASb Rus - Valdelobos / Mancha Oriental (Sector Sur Carbonatado)
Cota N.A. (m s.n.m.)
850
800
750
700
650
600
ene-04
dic-04
dic-05
dic-06
dic-07
dic-08
dic-09
dic-10
dic-11
dic-12
dic-13
dic-14
dic-15
dic-16
dic-17
04.06.006
04.06.007
04.06.018
04.06.202
04.06.203
04.06.204
04.06.220
08.30.016
08.29.034
POZO 765-59
08.29.310


MASb Rus - Valdelobos / Mancha Oriental (Sector Central detrítico)
Cota N.A. (m s.n.m.)
700
690
680
670
660
650
640
630
620
ene-04
dic-04
dic-05
dic-06
dic-07
dic-08
dic-09
dic-10
dic-11
dic-12
dic-13
dic-14
dic-15
dic-16
dic-17
04.01.013
04.01.021
04.04.002
04.04.044C
04.04.044P
04.04.246
04.04.247
04.04.320C
04.04.320P
08.29.014
08.29.035
08.29.054

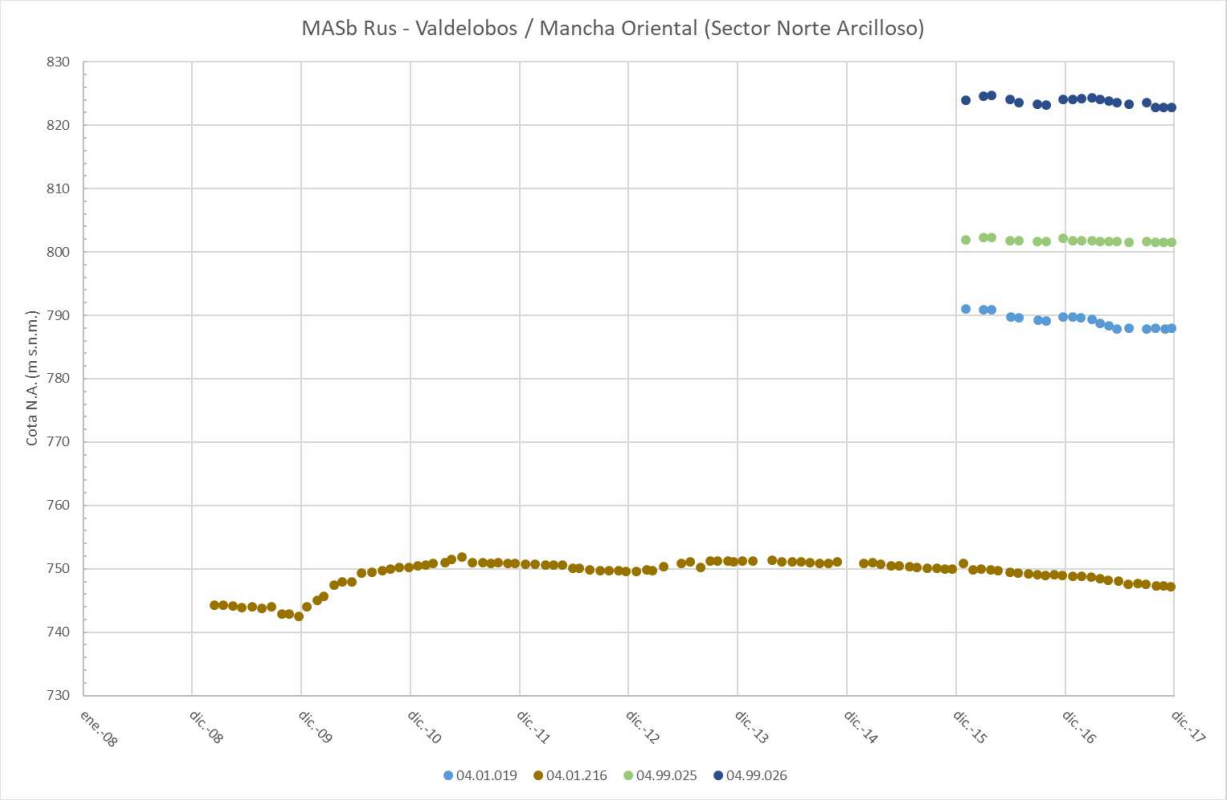


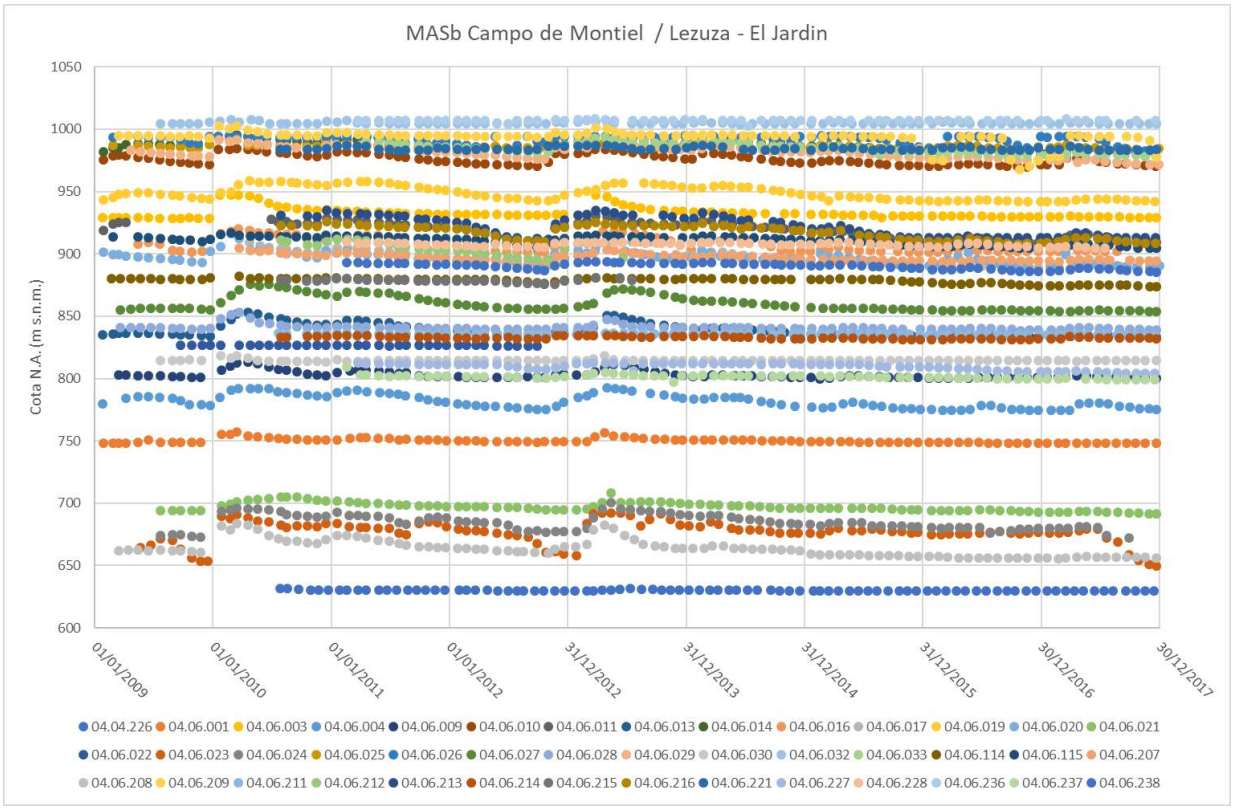
Figura 25. Evolución piezométrica en MASb Rus – Valdelobos y Mancha Oriental

MASb Campo de Montiel / Lezuza – El Jardín

Se ha analizado la información piezométrica de la MASb Campo de Montiel junto con aquella registrada en pozos y piezómetros ubicados en la MASb Lezuza – El Jardín (Demarcación Hidrográfica del Tajo) con el propósito de obtener una visión general del comportamiento piezométrico en todo el sector, no limitado únicamente a los límites de la MASb Campo de Montiel.

Tanto la MASb Campo de Montiel como la MASb Lezuza – El Jardín están conformadas fundamentalmente por dos tipos de materiales carbonatados: por un lado las dolomías, brechas dolomíticas, carniolas y calizas en bancos, y por otro de margas, calizas bioclásticas y margosas. Se ha realizado el análisis piezométrico diferenciando los pozos ubicados en uno u otro tipo de material (Figura 26):

- Piezometría en materiales dolomíticos (Figura 26 superior). El comportamiento mostrado por todos los piezómetros es muy similar, con niveles fundamentalmente estables con variaciones en el orden de 0 -10 m. Todos ellos muestran un periodo de ascenso iniciado a principio de 2010 y otro a mediados de 2012, tras los cuales los niveles se han mantenido con escasa variación.
- Piezometría en materiales margosos (Figura 26 inferior). Los piezómetros situados sobre materiales margosos muestran niveles cuyo comportamiento es muy similar al comentado para materiales dolomíticos: niveles fundamentalmente estables con existencia de escasas fluctuaciones periódicas de escasa magnitud (5 - 10 m).



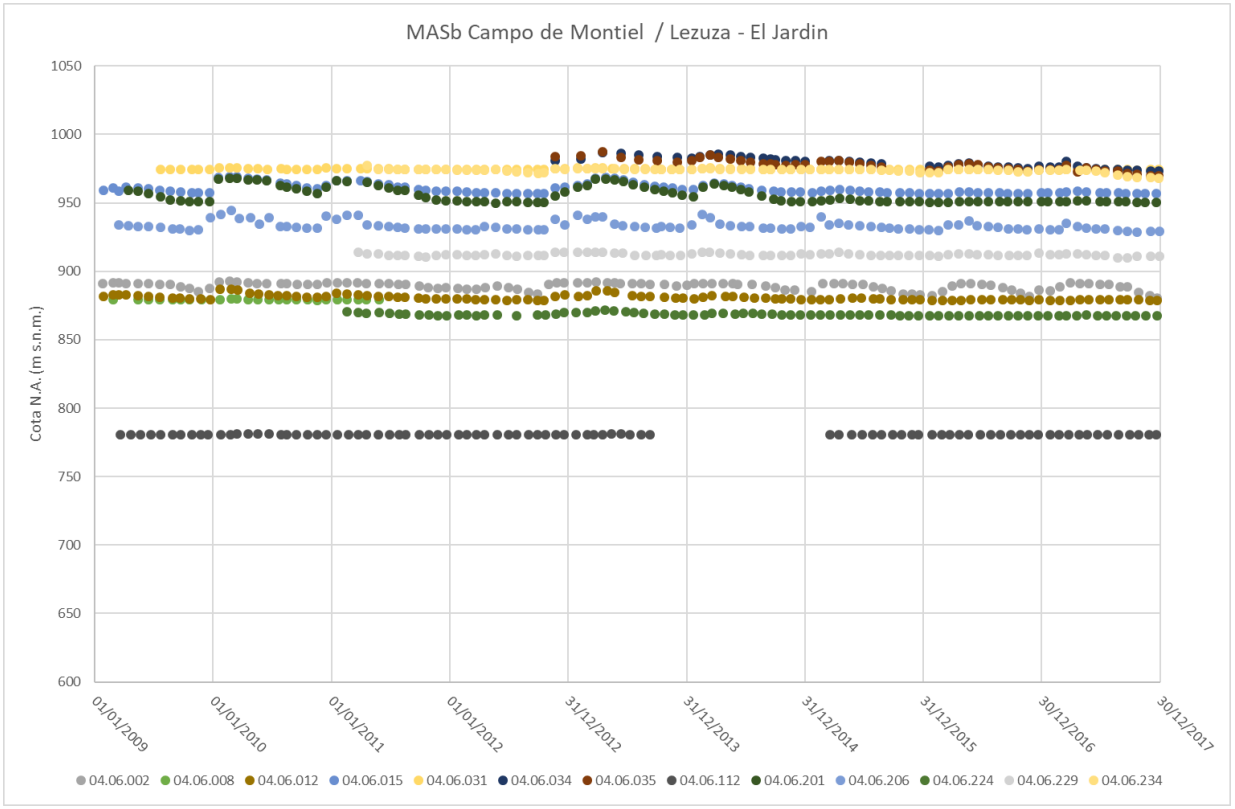
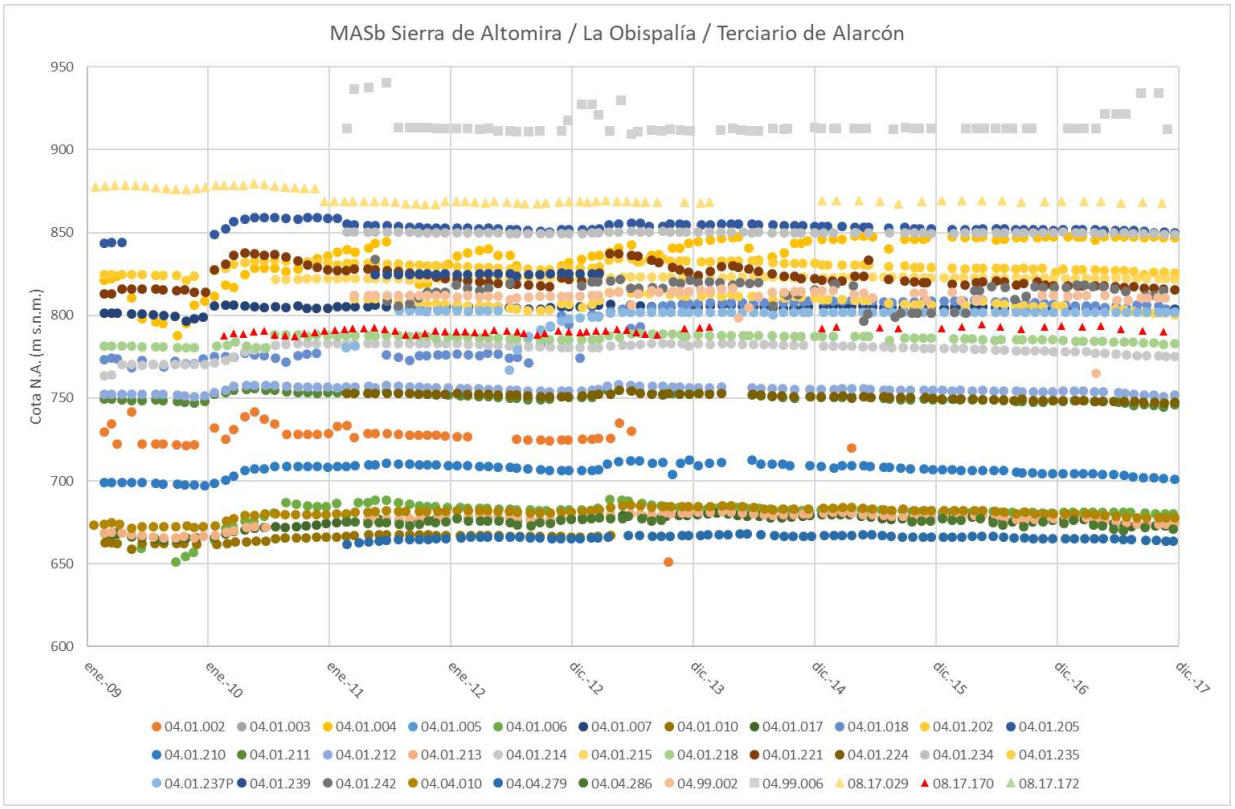


Figura 26. Evolución piezométrica en MASb Campo de Montiel y Lezuza – El Jardín

MASb Sierra de Altomira / La Obispalía / Terciario de Alarcón

En dichas masas de agua subterránea, los pozos se ubican sobre dos tipos de materiales sedimentarios: materiales detríticos de relleno (los cuales incluyen yesos y arcillas) y materiales carbonatados que incluyen dolomías y yesos. Para el análisis piezométrico (Figura 27) se ha distinguido entre ambos tipos de materiales:

- Piezometría en materiales detríticos (Figura 27 superior). Los niveles se caracterizan por ser fundamentalmente estables con escasas variaciones y poca magnitud (5 – 10 m). En ciertos piezómetros se aprecian fluctuaciones de magnitud mayor (por ejemplo, el sondeo 04.99.006 de La Obispalía) que responden a impulsos locales de carácter puntual.
- Piezometría en materiales carbonatados (Figura 27 inferior). En materiales carbonatados se observan dos tendencias bien diferenciadas y de carácter opuesto. Por un lado, un importante número de sondeos muestran niveles estables con escasas fluctuaciones a lo largo del tiempo. Por otro lado, existen niveles caracterizados por presentar marcadas fluctuaciones periódicas del mismo rango de magnitud, probablemente originadas en respuesta a los periodos anuales de lluvia.



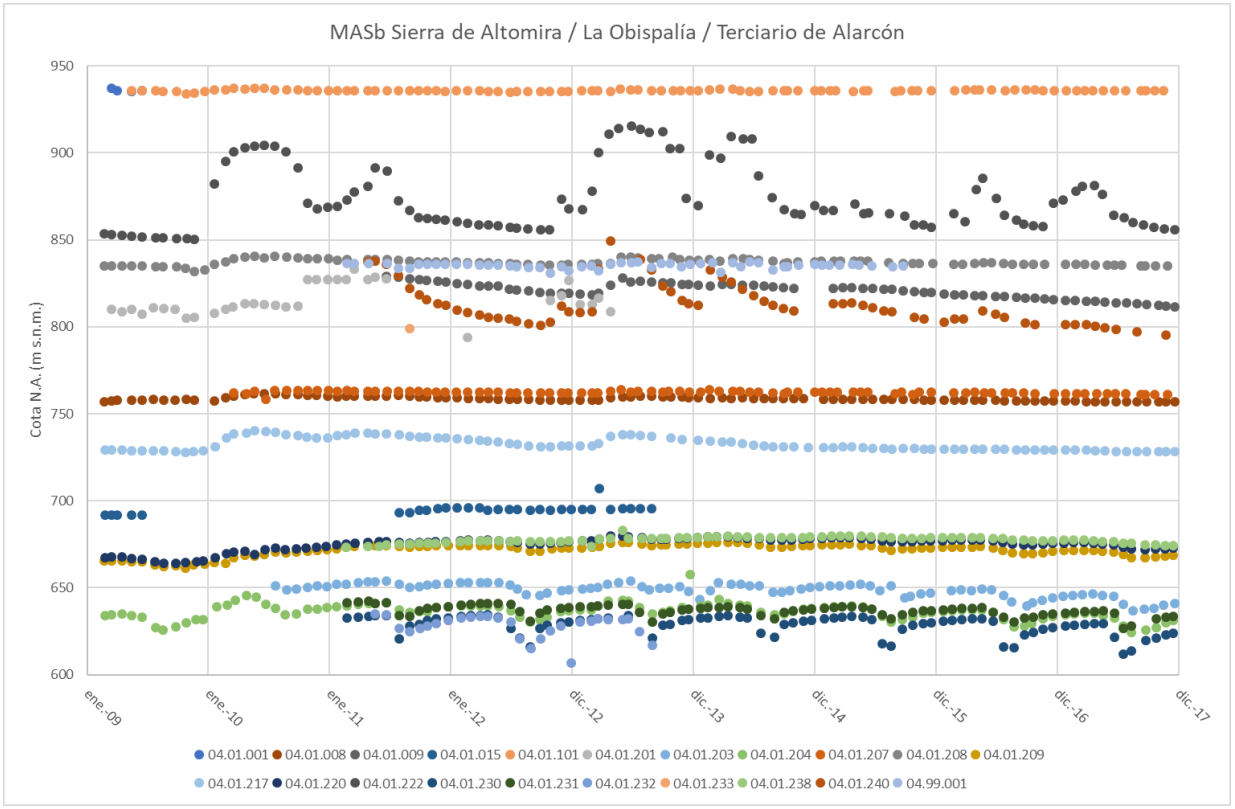


Figura 27. Evolución piezométrica en MASb Sierra de Altomira, La Obispalía y Terciario de Alarcón

2.3.5.2. Dirección y sentido de flujo

En base a la información piezométrica recabada se han trazado las líneas isopiezas correspondientes al mes de agosto de 2020 (Figura 28). Dentro de los límites del modelo FLUSAG existen dos direcciones de flujo fundamentales:

- Flujo subterráneo de sentido occidental hacia la cuenca del Guadiana en las MASb Mancha Occidental II, Mancha Occidental I, Consuegra-Villacañas y Lillo-Quintanar. En el caso concreto de la MASb Consuegra-Villacañas, el flujo subterráneo presenta dirección fundamental sur-sureste en virtud del flujo proveniente de la cuenca del Tajo. Sin embargo, dicho flujo termina incorporándose al sistema general dirigido hacia el oeste (Figura 28).
- En las MASb Obispalía, Sierra de Altomira, Rus-Valdelobos y Campo de Montiel, existen dos direcciones fundamentales de flujo: i) oeste hacia la cuenca del Guadiana, y ii) este hacia la cuenca del Júcar. En la Figura 28 se muestra la posición interpretada de la divisoria hidrogeológica que marca la divergencia entre ambas direcciones.

Considerando los sistemas generales de entrada y salida de agua subterránea desde/ hacia las MASb externas al modelo FLUSAG, es posible apreciar que:

- Las entradas principales se producen a través de los sectores norte y noroeste, con flujo proveniente de la cuenca del Tajo; y sector sur, a través del sistema de recarga localizado en el sector meridional de la MASb Campo de Montiel.
- Las salidas se producen fundamentalmente a través de i) sector occidental, con flujo hacia la cuenca del Guadiana, y ii) a través del límite oriental hacia la cuenca del Júcar.

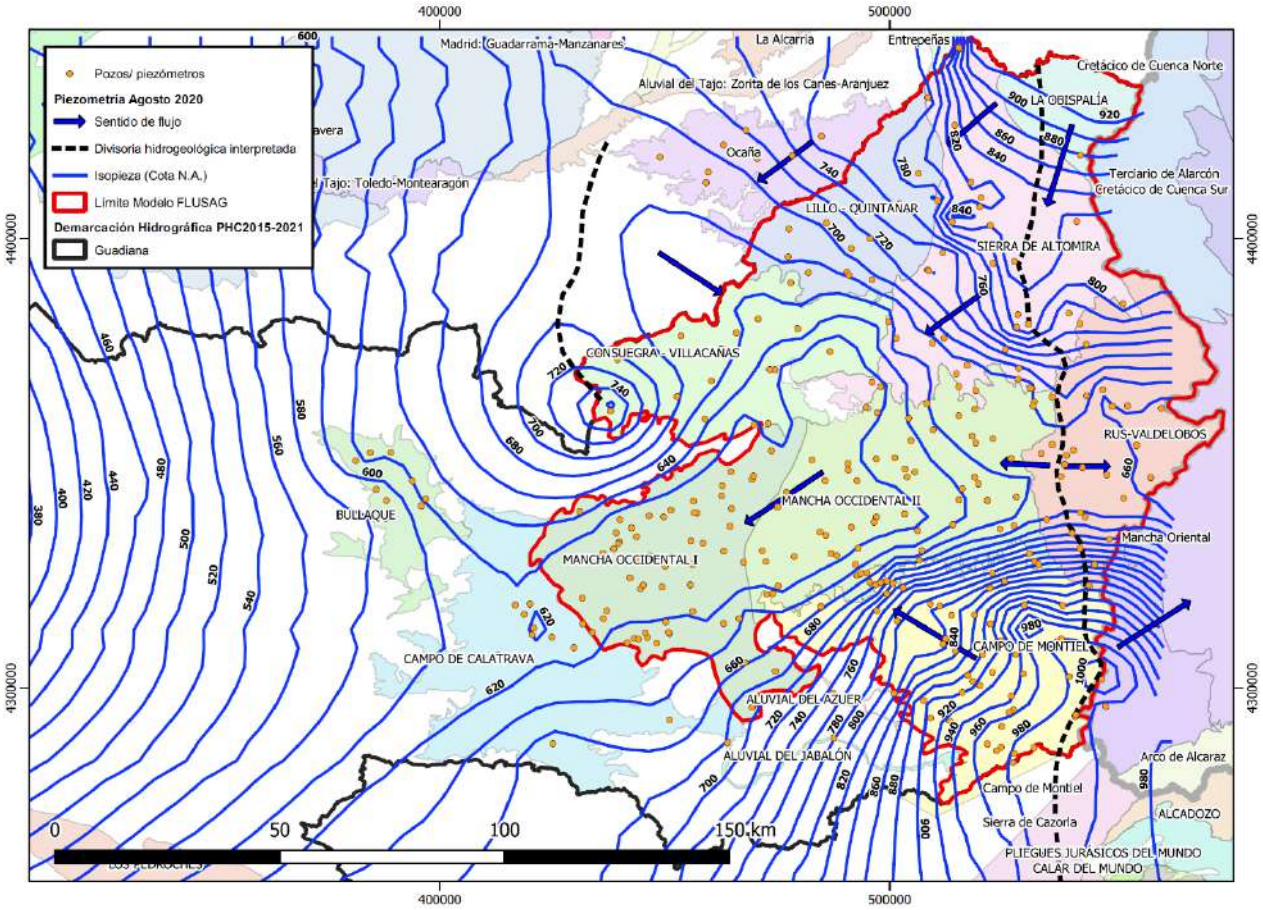


Figura 28. Mapa de isopiezas (agosto 2020)

2.3.6. Parámetros hidráulicos de las MASb

Con la finalidad de definir las propiedades hidráulicas de parte de los materiales presentes en el área de estudio se han recopilado los resultados de los diferentes ensayos de bombeo ejecutados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana entre los años 2008 y 2009. Dichos ensayos fueron realizados sobre pozos de la MASb Rus- Valdelobos. Además, durante los meses de julio y agosto de 2020, AQUATEC ejecutó cuatro (4) nuevos ensayos en pozos de esta MASb con el objetivo de profundizar en el conocimiento de sus dispares propiedades hidrogeológicas. A continuación, se incluye un resumen de los resultados obtenidos en los mencionados ensayos de bombeo.

En la Tabla 7 se muestran los valores de transmisividad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento interpretados a partir de los ensayos realizados por la CHG. Por otro lado, la Tabla 8 resume los resultados obtenidos por AQUATEC. La Figura 29 muestra la ubicación de todos los pozos ensayados.

Tabla 7. Ensayos de bombeo años 2008-2009. Fuente: CHG

Pozo	X UTM (ETRS 89)	Y UTM (ETRS 89)	Z (m s.n.m.)	Término Municipal	Paraje	Fecha realizacion ensayo	Tipo de ensayo	Transmisividad (m²/dia)	Permeabilidad (m/dia)	Coef. Almacenamiento	Litología ensayada
C04.04.213	555023	4354241	712	Casas de los Pinos	Lomilla Tia Santana	08/09/2009	Escalonado	26,400	0,661	0,0011	Caliza con niveles margosos
C04.04.215	549599	4362928	730	San Clemente	Depósito de Aguas	10/03/2008	Escalonado	63,800	0,997	-	Calizas carstificadas
C04.04.223	536264	4364992	729	San Clemente	Santiago de la Torre	07/09/2009	Caudal constante	1,010	0,012	-	Arcillas
C04.04.232	543915	4365288	729	San Clemente	El Reventón	11/03/2008	Escalonado	0,383	0,007	-	Arcillas
C04.04.235	533803	4352452	702	Villarrobledo	Castroviejo	10/09/2009	Escalonado	1,740	0,017	0,0088	Arcillas arenosas
C04.01.216	543837	4376716	853	La Alberca de Záncara	-	17/03/2008	Escalonado	3,820	0,040	0,0015	Margocalizas con niveles arenosos
C04.01.219	560467	4362455	781	Vara del Rey	-	13/03/2008	Escalonado	6,980	0,094	-	Caliza carniolar y margocalizas
C04.06.202	545640	4327749	859	Munera	Casa Los Chospes	28/02/2009	Caudal constante	0,309	0,010	-	Calizas dolomíticas con niveles de margas
C04.06.203	543646	4338312	756	Villarrobledo	-	14/09/2009	Caudal constante	1,040	0,009	-	Calizas/ dolomías
C04.06.204	548895	4333417	805	Munera	Casa del Capitan	15/09/2009	Caudal constante	1,070	0,007	-	Calizas/ dolomías
C04.06.210	544413	4323119	915	Munera	-	24/02/2009	Escalonado	0,577	0,003	-	Calizas/ dolomías

Tabla 8. Ensayos de bombeo año 2020. Elaboración propia.

Pozo	X UTM (ETRS 89)	Y UTM (ETRS 89)	Z (m s.n.m.)	Término Municipal	Paraje	Fecha realizacion ensayo	Tipo de ensayo	Transmisividad (m²/dia)	Permeabilidad (m/dia)	Coef. Almacenamiento	Litología ensayada
Pozo de bombeo nº1	549869	4349315	777	Casas de los Pinos (Cuenca)	Agropecuaria Casa del Angel S.A.	04/07/2020	Caudal constante	4.960,00	45,50	0,0038	Calizas
Pozo de bombeo nº2	549867	4349319	777	Casas de los Pinos (Cuenca)	Agropecuaria Casa del Angel S.A.	04/07/2020	Caudal constante	3.510,00	32,20	0,0085	Calizas
Piezómetro de observación	549966	4349421	757	Casas de los Pinos (Cuenca)	Agropecuaria Casa del Angel S.A.	04/07/2020	Caudal constante	2.100,00	19,20	0,0026	Calizas
Piezómetro de observación nº1	560725	4357671	776	Vara del Rey (Cuenca)	Comunidad de regantes Simarro Teatinos	11/07/2020	Caudal constante	88.700,00	355,00	0,09	Calizas

Pozo	X UTM (ETRS 89)	Y UTM (ETRS 89)	Z (m s.n.m.)	Término Municipal	Paraje	Fecha realizacion ensayo	Tipo de ensayo	Transmisividad (m²/dia)	Permeabilidad (m/dia)	Coef. Almacenamiento	Litología ensayada
Piezómetro de observación nº2	560741	4357671	770	Vara del Rey (Cuenca)	Comunidad de regantes Simarro Teatinos	11/07/2020	Caudal constante	92.000,00	368,00	0,21	Calizas
Pozo de observación nº1	538493	4354906	748	Villarrobledo (Albacete)	Pago de la Jaraba	25/07/2020	Caudal constante	4.170,00	20,90	0,00003	Calizas
Pozo de observación nº2	538467	4354903	748	Villarrobledo (Albacete)	Pago de la Jaraba	25/07/2020	Caudal constante	6.000,00	30,00	0,00005	Calizas
Pozo de observación nº2	555734	4372441	804	San Clemente (Cuenca)	Centeno y Girasol S.A.	10/08/2020	Caudal constante	11.700,00	115,00	0,0001	Calizas

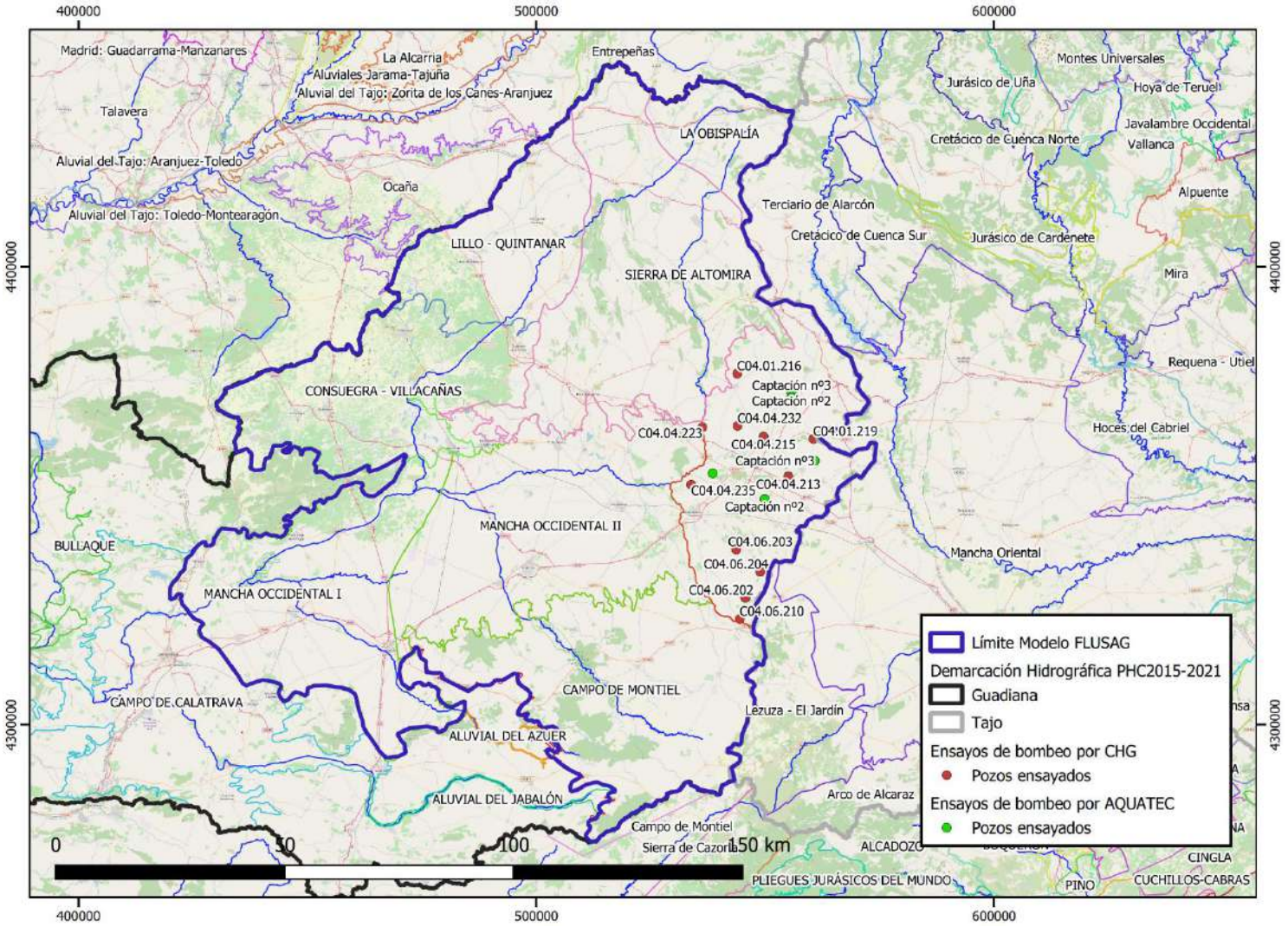


Figura 29. Ubicación de los pozos ensayados.

2.4. Masas de agua superficial

Desde el punto de vista fluvial, la red hidrográfica de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana está constituida por el cauce del río principal Guadiana, y el conjunto de sus afluentes. El resto de los cauces de la red hidrográfica está constituido fundamentalmente por ríos de carácter efímero y de respuesta hidrológica irregular y torrencial, en ocasiones. También encontramos en las zonas de cabecera gran cantidad de pequeños arroyos de poco caudal circulante y de carácter intermitente.

La Demarcación Hidrográfica del Guadiana se ha dividido en cuatro **sistemas de gestión** atendiendo a criterios hidrográficos, administrativos, socioeconómicos y medioambientales. Estos sistemas son el Oriental, Central, Ardila y Sur. A su vez, el sistema Oriental se ha dividido en tres subsistemas que son el Alto Guadiana, Bullaque y Tirteafuera. Estos sistemas se muestran en la Figura 30.

El ámbito de aplicación del Modelo FLUSAG se centra en el **Sistema Central, subsistema del Alto Guadiana**. El sistema Oriental comprende el tronco del Guadiana y afluentes hasta la cola del embalse de Cijara, sin incluir este. Dentro de él, el subsistema Alto Guadiana comprende el Guadiana hasta la confluencia con el Jabalón, incluido este.

En la Demarcación Hidrográfica, las masas de agua se clasifican según su **Categoría** en: Ríos, Lagos, Aguas de Transición, y Aguas Costeras. Por otra parte, atendiendo a su Naturaleza pueden ser: Naturales, Muy Modificadas, o Artificiales.

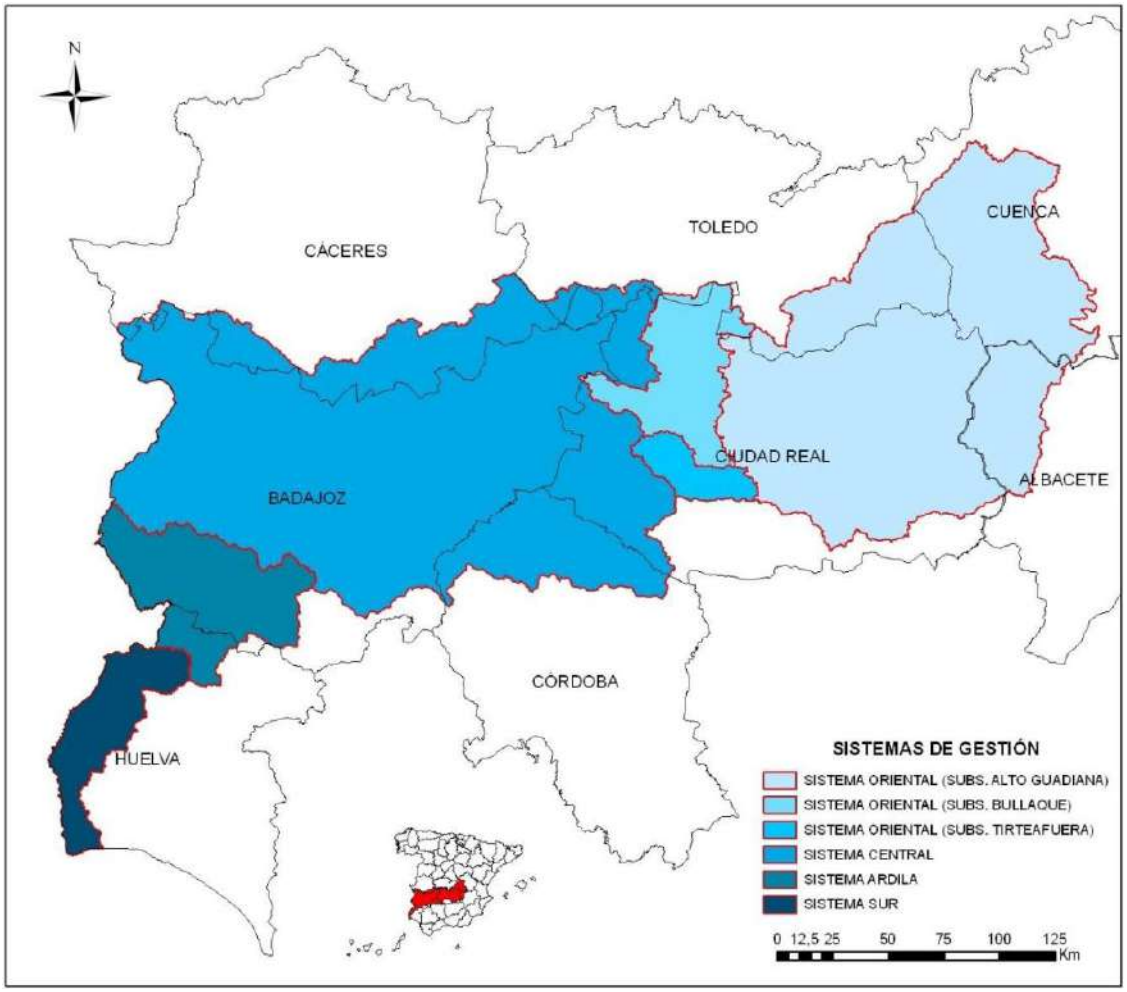


Figura 30. Mapa de los sistemas de explotación básicos existentes en la demarcación hidrográfica del Guadiana. Fuente: PHDG (2015-2021)

Respecto a los cursos de agua superficial, en la Demarcación Hidrográfica en se distinguieron las siguientes categorías:

- Ríos permanentes: cursos fluviales que en, régimen natural, presentan agua fluyendo, de manera habitual, durante todo el año en su cauce.
- Ríos temporales o estacionales: cursos fluviales que, en régimen natural, presentan una marcada estacionalidad, caracterizada por presentar bajo caudal o permanecer secos en verano, fluyendo agua, al menos, durante un período medio de 300 días al año.
- Ríos intermitentes o fuertemente estacionales: cursos fluviales que, en régimen natural, presentan una elevada temporalidad, fluyendo agua durante un período medio comprendido entre 100 y 300 días al año.
- Ríos efímeros: cursos fluviales en los que, en régimen natural, tan sólo fluye agua superficialmente de manera esporádica, en episodios de tormenta, durante un período medio inferior a 100 días al año.

A continuación, en la Tabla 9 se ha hecho una recopilación de las principales masas de agua superficial existentes en el Alto Guadiana, ámbito de aplicación del modelo FLUSAG. Dichas masas se representan en la Figura 31.

Tabla 9. Principales masas de agua superficial existentes en el ámbito del Modelo FLUSAG

Nº	Nombre	Código WISE	Tipo	Longitud (Km)	Tipo
1	Cigüela	13.474	Río	244,5	Permanente
2	Záncara	14.240	Río	76,5	Permanente
3	Guadiana Alto	13.353	Río	25,0	Permanente
4	Azuer	13.483	Río	78,0	Permanente

Nº	Nombre	Tipo	Toma
1	Canal de Riansares (Canal Tajo-Segura Tramo II)	Canal	Embalse de Bujeda
2	Canal Río Cigüela	Canal	Río Ciguela
3	Acequia de Socuellamos	Canal	Río Zancara
4	Canal de la Margen Derecha	Canal	Z. R Peñarroya
5	Canal de la Margen Izquierda	Canal	Z. R Peñarroya
6	Canal de Alfonso XII	Canal	Z. R Peñarroya
7	Canal del Guadiana	Canal	(Encauzamiento del río)

Nº	Nombre	Tipo	Superficie (Km²)	Tipo
1	Laguna del Longar	Laguna	1,31	Permanente
2	Laguna Larga	Laguna	1,08	Permanente
3	Laguna del Taray de Quero	Laguna	1,06	Permanente
4	Laguna del Camino de Villafranca	Laguna	1,36	Permanente
5	Laguna de Manjavacas	Laguna	2,44	Permanente
6	Laguna del Taray de Predroñeras	Laguna	0,13	Permanente
7	Lagunas de Ruidera	Laguna	3,24	Permanente
8	Embalse de Peñarroya	Embalse	3,91	Permanente
9	Parque Nacional Tablas de Daimiel	Laguna- Humedal	22,34	Permanente
10	Embalse de El Vicario	Embalse	10,19	Permanente
11	Embalse del Puerto de Vallehermoso	Embalse	1,20	Permanente

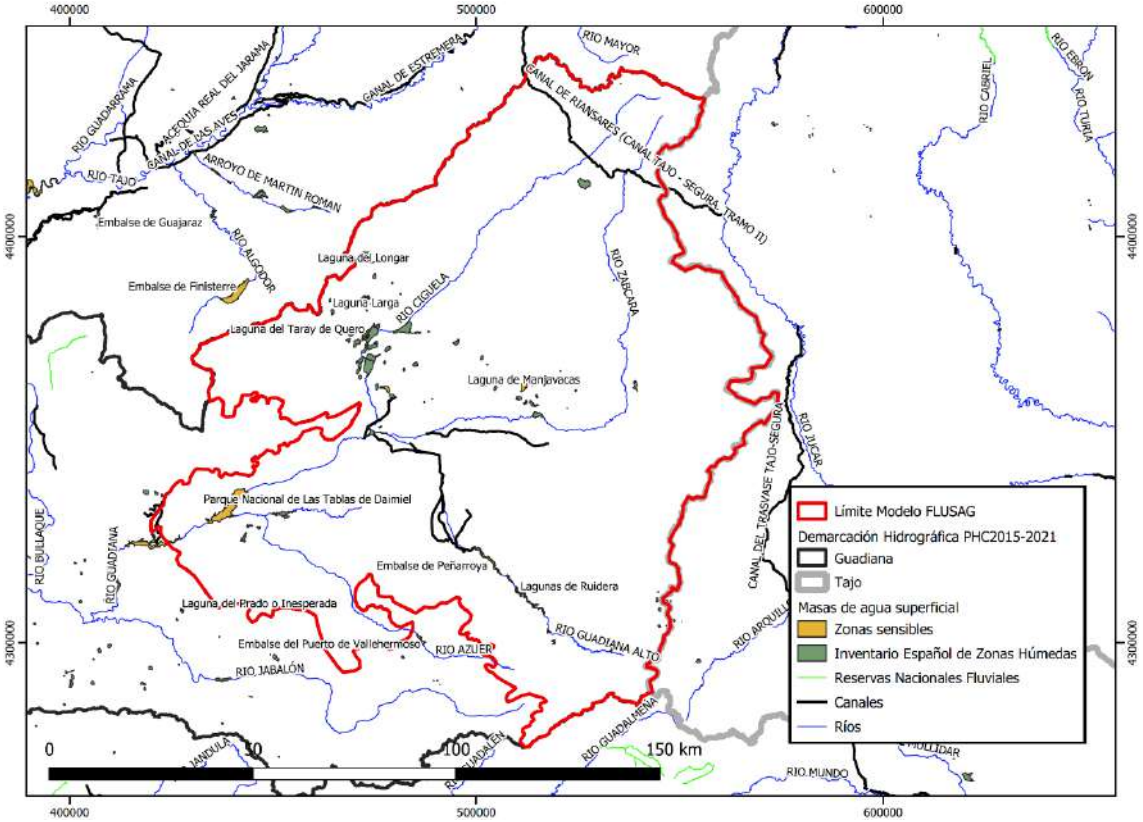


Figura 31. Masas de agua superficial existentes en el ámbito de aplicación del Modelo FLUSAG

2.5. Usos y demandas

En este apartado se muestra un compendio de los balances de demandas hídricas para el Sistema de Explotación Oriental. Se han incluido dos escenarios: por un lado, el escenario con datos de demanda del año 2012, y por otro una proyección del año 2021, estimadas ambas utilizando la serie 1980/81 – 2011/12 de recursos hídricos naturales. Esta información ha sido extraída del PHDHG (2015-2021).

Se comenta a continuación, brevemente, la metodología empleada para la estimación de usos y demandas del Sistema de Explotación Oriental (PHDHG 2015-2021, Anejo 7). La metodología de la simulación consiste en la utilización de una herramienta (modelo matemático de simulación) para obtener la respuesta del sistema ante distintas situaciones (escenarios y/o alternativas). El software utilizado es el programa AquatoolDMA, programa informático desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia para la edición, simulación, revisión y análisis de modelos de planificación y gestión de cuencas hidrográficas. Para la definición del modelo de simulación de los sistemas de explotación se utilizó como soporte básico una representación de:

- Elementos de aportaciones de recursos hídricos superficiales, que incorporan en determinados puntos de la red fluvial las series temporales de aportaciones en régimen natural obtenidas al elaborar el inventario de recursos hídricos.
- Elementos acuíferos, que representan los recursos hídricos subterráneos. Se incluyen en su caso, mediante elementos acuífero de tipo depósito cuya recarga coincide con el recurso disponible descrito en el anejo de Inventario de Recursos. En base a dicho anejo (PHDHG 2015-2021, Anejo 6), las fuentes principales de información empleadas para la evaluación de recursos subterráneos son:
    - Modelo de flujo subterráneo del Alto Guadiana, denominado FLUSAG y sus correspondientes actualizaciones (CHGn, 2008);
    - Modelo SIMPA (CEDEX, 2009),
    - Estudios para la mejora del conocimiento (CHGn, 2010) según datos del IGME,
    - Informe del IGME 2010 (Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas: Estimación de los recursos disponibles para cada masa de agua subterránea de la Cuenca Alta del Guadiana),
    - Informe de Determinación de los recursos renovables y disponibles de masas de aguas subterráneas. Zona Media. (Confederación Hidrográfica del Guadiana. Marzo 2011)

- Informe de Revisión de los recursos disponibles y propuestas de gestión para la consecución de los objetivos ambientales del Plan Hidrológico: Masas de aguas subterráneas del Alto Guadiana horizonte 2012-2027 (Confederación Hidrográfica del Guadiana. Oficina de Planificación Hidrológica. Agosto, 2012),

- Elementos de demanda, que pueden representar a una unidad de demanda individualizada o a agrupaciones de las mismas. Los elementos de demanda pueden tener uno, o varios puntos de toma, y también pueden servirse de aguas subterráneas, según los casos.
- Caudales ecológicos de los ríos y aguas de transición. La representación en el modelo de estos requerimientos ambientales se realiza, por lo general, mediante su transformación en exigencias de caudales mínimos equivalentes en determinados tramos de río.
- Elementos de embalse con capacidad de regulación significativa.
- Conducciones de transporte principales (canales o tuberías), en los que se especifica el caudal máximo que pueden transportar.

A continuación, en la Tabla 10, se muestran las demandas calculadas para el año 2012 clasificados por el tipo de uso.

Tabla 10. Escenario 2012

Demanda Urbana		
Cod. Demanda	Nombre Demanda	Total Demanda (hm3/año)
A34A	Puebla de Don Rodrigo	0,10
A32A	Piedrabuena y municipios de su entorno	0,98
A33A	Abenójar	0,14
A27A	Mancomunidad Campo de Calatrava	3,93
A30A	Mancomunidad de Gasset	7,56
A28A	Alcolea de Calatrava y municipios de su entorno	0,40
A26A	Malagón	0,81
A23A	Membrilla	3,85
A24A	Villanueva de los Infantes y municipios de su entorno	1,45
A20A	Agrupación de Alhambra y Carrizosa	1,57
A1A	El Bonillo y municipios de su entorno	0,82
A3A1 A3	Alcázar de San Juan y municipios de su entorno	9,34
A5A	San Clemente y municipios de su entorno	1,40
A16A	Horcajo de Santiago	0,36
A8A	Uclés y municipios de su entorno	2,13
A11A	Altarejos	0,23
A19A	Agrupación de Villahermosa y Villanueva de la Fuente	0,44
A6A	Manzanares y municipios de su entorno	1,67
A4A	Agrupación de Villarrobledo y Minaya	2,36
A3A2	Herencia y municipios de su entorno	1,16

Demanda Urbana		
Cod. Demanda	Nombre Demanda	Total Demanda (hm3/año)
A3A4	Pedro Muñoz y municipios de su entorno	1,33

Demanda Agraria		
Cod. Demanda	Nombre Demanda	Total Demanda (hm3/año)
R1A	MONTIEL	9,00
R2A	PEÑARROYA	31,74
R9A	AZUER	7,29
R7A	LILLO-QUINTANAR	15,99
R3A	RUS-VALDELOBOS	20,48
R13A	EL VICARIO	8,74
R20A	GUADIANA IV	19,56
R14A	JABALÓN I	8,49
R15A	JABALÓN II	14,25
R16A	JABALÓN III	8,96
R17A	TORRE DE ABRAHAM	36,61
R18A	BULLAQUE	3,99
R19A	TIRTEAFUERA	1,22
R6A	ALTOMIRA	20,16
R5A	OBISPALÍA	3,17
R8A	CONSUEGRA-VILLACAÑAS	26,34
R4A	OCCIDENTAL II	95,05
R10A	OCCIDENTAL I	83,69
R11A	BAÑUELOS	7,28
R12A	GASSET	2,30

Demanda Ganadera		
Cod. Demanda	Nombre Demanda	Total Demanda (hm3/año)
G4A	TIRTEAFUERA	0,53
G6A	CAMPO DE MONTIEL	0,26
G7A	CONSUEGRA - VILLACAÑAS	0,26
G9A	LILLO - QUINTANAR	0,26
G10A	MANCHA OCCIDENTAL I	0,93
G11A	MANCHA OCCIDENTAL II	0,93
G12A	RUS-VALDELOBOS	0,20
G13A	SIERRA DE ALTOMIRA	0,31

Demanda Industrial		
Cod. Demanda	Nombre Demanda	Total Demanda (hm3/año)
I2A	RUS-VALDELOBOS	1,04
I3A	OCCIDENTAL II	4,21
I8A	OCCIDENTAL I	2,40
I15A	C.T. PUERTOLLANO	2,50
I7A	CONSUEGRA-VILLACAÑAS	0,12
I9A	CAMPO DE CALATRAVA (incluye Azucarera C.R.)	1,04
I1A	MONTIEL	0,01
I4A	ALTOMIRA	0,10

Tabla 11. Horizonte 2021

Demanda Urbana		
Cod. Demanda	Nombre Demanda	Total Demanda (hm3/año)
A34A	Puebla de Don Rodrigo	0,21
A32A	Piedrabuena y municipios de su entorno	2,35
A33A	Abenójar	0,29
A27A	Mancomunidad Campo de Calatrava	7,63
A30A	Mancomunidad de Gasset	14,48
A28A	Alcolea de Calatrava y municipios de su entorno	0,75
A26A	Malagón	1,60
A23A	Membrilla	7,43
A24A	Villanueva de los Infantes y municipios de su entorno	3,79
A20A	Agrupación de Alhambra y Carrizosa	3,15
A1A	El Bonillo y municipios de su entorno	1,52
A3A1 A3	Alcázar de San Juan y municipios de su entorno	18,55
A5A	San Clemente y municipios de su entorno	2,00
A16A	Horcajo de Santiago	0,46
A8A	Uclés y municipios de su entorno	3,37
A11A	Altarejos	0,42
A19A	Agrupación de Villahermosa y Villanueva de la Fuente	0,97
A6A	Manzanares y municipios de su entorno	3,32
A4A	Agrupación de Villarrobledo y Minaya	3,73
A3A2	Herencia y municipios de su entorno	2,38
A3A4	Pedro Muñoz y municipios de su entorno	2,60

Demanda Agraria		
Cod. Demanda	Nombre Demanda	Total Demanda (hm3/año)
R1A	MONTIEL	9,00
R2A	PEÑARROYA	25,00

Demanda Agraria		
Cod. Demanda	Nombre Demanda	Total Demanda (hm3/año)
R9A	AZUER	3,79
R7A	LILLO-QUINTANAR	16,09
R3A	RUS-VALDELOBOS	20,48
R13A	EL VICARIO	8,00
R20A	GUADIANA IV	14,72
R14A	JABALÓN I	3,00
R15A	JABALÓN II	3,52
R16A	JABALÓN III	0,15
R17A	TORRE DE ABRAHAM	31,69
R18A	BULLAQUE	7,13
R19A	TIRTEAFUERA	0,46
R6A	ALTOMIRA	20,33
R5A	OBISPALÍA	1,82
R8A	CONSUEGRA-VILLACAÑAS	27,55
R4A	OCCIDENTAL II	95,05
R10A	OCCIDENTAL I	83,69
R11A	BAÑUELOS	14,62
R12A	GASSET	5,00

Demanda Ganadera		
Cod. Demanda	Nombre Demanda	Total Demanda (hm3/año)
G4A	TIRTEAFUERA	0,49
G6A	CAMPO DE MONTIEL	0,26
G7A	CONSUEGRA - VILLACAÑAS	0,26
G9A	LILLO - QUINTANAR	0,26
G10A	MANCHA OCCIDENTAL I	0,93
G11A	MANCHA OCCIDENTAL II	0,93
G12A	RUS-VALDELOBOS	0,20
G13A	SIERRA DE ALTOMIRA	0,31

Demanda Industrial		
Cod. Demanda	Nombre Demanda	Total Demanda (hm3/año)
I2A	RUS-VALDELOBOS	1,27
I3A	OCCIDENTAL II	4,26
I8A	OCCIDENTAL I	2,59
I15A	C.T. PUERTOLLANO	2,50
I7A	CONSUEGRA-VILLACAÑAS	0,13
I9A	CAMPO DE CALATRAVA (incluye Azucarera C.R.)	1,49

Demanda Industrial		
Cod. Demanda	Nombre Demanda	Total Demanda (hm3/año)
I1A	MONTIEL	0,01
I4A	ALTOMIRA	0,08
I16A	RESERVA DESARROLLOS FUTUROS	14,00
I19A	LILLO-QUINTANAR	0,20

En base a los recursos existentes y a las tasas de demanda hídrica mostradas anteriormente se ha estimado que existe un déficit hídrico global de 593.07 hm³/año para el horizonte 2021 en el Subsistema Productivo Alto Guadiana, considerando que no llegasen a materializarse medidas de limitación en la demanda. Tal como se ilustra en la Tabla 12, el regadío es el uso cuya demanda excede las asignaciones de recurso estimadas para dicho subsistema productivo.

Las demandas y asignaciones para el regadío se distribuyen entre recursos superficiales y subterráneos en las tasas mostradas en la Tabla 13.

Tabla 12. Déficit respecto a la demanda estimada en el Sistema Oriental (Subsistema Alto Guadiana)

Uso	Demanda 2021 (hm3/año)	Asignación 2021 (hm3/año)	Déficit (hm3/año)
Abastecimiento	100,65	100,65	0,00
Industrial	26,67	26,67	0,00
Regadío	930,16	337,09	593,07
Ganadero	0,19	3,19	0,00
Total	1.060,67	467,60	593,07

Tabla 13. Déficit respecto a la demanda estimada en el Sistema Oriental (Subsistema Alto Guadiana) para el uso regadío

Sistema de explotación	Origen	Regadío		
		Demanda 2021 (hm3/año)	Asignación 2021 (hm3/año)	Déficit (hm3/año)
SISTEMA ORIENTAL (SUBS. ALTO GUADIANA)	Superficial	63,08	63,08	0,00
	Subterráneo	867,08	274,01	593,07

3. REVISIÓN DEL MODELO NUMÉRICO

En términos generales, la primera construcción del Modelo FLUSAG se realizó, según la Memoria PHDHG, Anejo 11, Apéndice 12, bajo las siguientes premisas:

- Consideración completa del alto Guadiana. Al igual que el modelo elaborado en el proyecto Grapes, y al contrario que otras modelaciones (básicamente las de los años 80) que sólo consideraban la delimitación tradicional del "acuífero 23", se considera todo el Alto Guadiana, para posteriormente realizar la división o zonificación sobre la que aplicar criterios distintivos de gestión.
- Mallado. Se ha considerado un mallado de 1x1 km^2 para la zona de estudio, en un modelo completamente tridimensional, basado en las potencias reales de los distintos niveles acuíferos.
- Estimación de recarga y/o extracción. En el modelo elaborado se han calculado las recargas a partir de modelos de tipo precipitación-escorrentía de tipo Sacramento, al considerar que las estimaciones del modelo SIMPA son poco fiables.
- Entradas de acuíferos en conexión hidráulica. Al igual que el modelo del proyecto Grapes, el modelo elaborado presenta la capacidad de un intercambio libre con los acuíferos al norte de La Mancha Occidental (Sierra de Altomira) y del sur de esta (Campo de Montiel), aunque la conexión con el Campo de Montiel se realiza, a nivel numérico, de modo diferente. Se han evitado modelos más sencillos de entradas laterales fijas y constantes en el tiempo.
- Periodo de modelación. Se ha considerado hasta 2005, asumiendo una evolución desde un estado "cuasi estacionario" en 1974 que es cuando comenzó el control piezométrico, aunque en una situación muy modificada respecto a la "natural", dado que se estiman unas extracciones de 180 hm^3 para ese año.
- Cálculo de extracciones. En el presente modelo, para actualizar las series hasta 2005, se ha empleado, además de las tablas de extracciones de la Confederación Hidrográfica del Guadiana de 1974 a 1996, los datos oficiales de superficie regada entre 1996 y 2005, dotaciones de riego, promediadas según las distintas fuentes.
- Divisoria dinámica de aguas subterráneas con el Júcar. El modelo elaborado simula la divisoria dinámica del flujo entre el Alto Guadiana y el Júcar, que, en principio, no se debe considerar fija puesto que su situación depende de las extracciones en ambas zonas. Para ello, se seleccionaron un grupo de celdas de borde entre las que se reparte uniformemente una extracción igual a un porcentaje de la extracción total en la Mancha Oriental. Ello permite que se considere la parte de la cuenca del Guadiana que vierte hacia el Júcar y que no alimenta La Mancha.

- Agrupación de las extracciones por celda. A efectos de la modelación, y en ausencia de la ubicación precisa de cada punto de extracción con su caudal, se repartieron las extracciones de un término municipal asignando a cada celda la extracción del municipio donde se encuentra, multiplicada por un factor igual a la fracción de los pozos situados en ella frente al total de los pozos del municipio, según los datos de inscripciones en el registro facilitados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana.
- Consideración de la conexión acuífero-río. El modelo actual aplica el módulo "Stream" de las últimas versiones de MODFLOW para representar de forma realista la conexión entre el río y el acuífero sólo cuando el río tiene un caudal circulante, y presenta un detalle de división de tramos de los ríos superior, basado también en un tamaño de celda mucho más reducido.
- Modelo realizado sin apoyo de modelos previos. El modelo elaborado no se ha desarrollado con apoyo de otros estudios que deben realizarse paralelamente (geometría de los niveles acuíferos, evaluación de la recarga), por lo que para el presente han debido elaborarse mapas de techo y muro de las unidades, desde datos del IGME, y se han confeccionado series de recarga basadas en métodos contrastados.

Dicho modelo ha sido objeto de actualizaciones posteriores siendo aquella realizada por Tragsatec (2017) la más reciente. Los trabajos realizados en el marco del proyecto denominado “Actualización y calibración del modelo de flujo de agua subterránea de los acuíferos del Alto Guadiana (FLUSAG). Ref: TEC0004594” consistieron en:

- Prolongación del periodo de simulación de 2010 a 2016 mediante el tratamiento de los nuevos datos hidrometeorológicos con el modelo Sacramento existente, obteniendo los datos de recarga por infiltración y los datos de aportaciones en las subcuencas hidrológicas definidas.
- Actualización y prolongación de las extracciones de aguas subterráneas para el periodo 2006-2016.
- Prolongación de las series de control de niveles piezométricos 2010-2016 en puntos de control utilizados en el modelo e incorporación de nuevos puntos de control en función de la disponibilidad.
- Mejora de los datos de partida del modelo en cuanto a la definición geométrica en la masa de agua Rus-Valdelobos.
- Recalibración del modelo en su totalidad.

3.1. Construcción del modelo

3.1.1. Mallado

El Modelo FLUSAG contempla un mallado de dimensiones 1x1 km² para la zona de estudio. Los documentos revisados no especifican si existen zonas con un refinamiento mayor del mallado, por lo que se asume un mallado regular en todo el modelo de 1x1 km².

3.1.2. Límites y geometría de las MASb

Tragsatec (2017) destaca que las masas de agua subterránea de la zona Norte – Sierra de Altomira, Obispalía, Lillo – Quintanar y Consuegra – Villacañas – se han simulado de forma más simplificada debido a falta de información hidrogeológica que permita su incorporación al modelo numérico, además, para el caso de Sierra de Altomira, obedece a su gran complejidad geológica y su incorporación a un modelo de flujo de planificación de la escala prevista para toda la cuenca alta del Guadiana. El Modelo FLUSAG se centró en reproducir correctamente el funcionamiento de las masas hidrogeológicas de la Mancha Occidental I y II, donde se concentra el grueso de los bombeos.

En el caso concreto de la **MASb Altomira**, debido al complejo sistema de acuíferos parcialmente conectados que contiene, su simulación se realiza de forma simplificada, considerándola como un único conjunto directamente relacionado con las masas de agua subterránea de La Mancha Occidental, a las que aportan lateralmente recursos en función de las diferencias piezométricas y de las relaciones de flujo entre ambas.

La actualización del Modelo FLUSAG (Tragsatec, 2017) considera la mejora de la definición geométrica de la **MASb Rus-Valdelobos** y de la zona de borde con la cuenca del Júcar, para lo cual se realizaron dos actividades de revisión y mejora del modelo de flujo:

- Desplazamiento de las 76 celdas del bombeo que simulan la condición dinámica de la divisoria de aguas subterráneas Guadiana-Júcar desde el extremo oriental de la MASb Rus-Valdelobos al extremo occidental de la MASb Mancha Oriental perteneciente al ámbito de la cuenca del Júcar.
- Revisión del espesor y extensión de las tres capas del modelo de flujo en la MASb a partir de los perfiles geológicos elaborados por IGME así como de nuevos perfiles elaborados por Tragsatec.

En el caso de la **MASb Campo de Montiel**, la definición del muro (virtual) de las capas superiores que dividen el mesozoico en tres capas de igual litología fueron problemáticas, pero necesarias para simular el flujo hacia el mesozoico de la Mancha Occidental. La definición de las isobatas se realizó analizando los datos de perfiles de sondeos en la Mancha Occidental que indican el muro del Neógeno y del Mesozoico, comparándolas con las isobatas del IGME de 1985 – tomadas como base para la asignación.

En resumen, la actualización del Modelo FLUSAG (Tragsatec, 2017) consideró la mejora de la geometría del modelo de la MASb Rus-Valdelobos, extendiendo el límite oriental con la cuenca del Júcar mediante el traslado de las celdas de bombeo desde Rus-Valdelobos hasta Mancha Oriental perteneciente al Júcar, de modo que se obtenga un resultado más exacto en la propia MASb Rus-Valdelobos. Es decir, se situaron celdas que simulan las condiciones dinámicas del flujo de las aguas subterráneas entre ambas cuencas mediante un límite abierto con bombeos a lo largo de 76 celdas. Además, se modificó la geometría de las tres capas que conforman la MASb Rus-Valdelobos.

El resto de geometría del modelo (exceptuando la MASb Rus-Valdelobos) no sufrió modificaciones sustanciales respecto a versiones anteriores.

El Modelo FLUSAG simula la geometría de las MASb mediante tres capas que tienen la siguiente correspondencia hidrogeológica:

- **Capa 1**: Se extiende a todo el acuífero, y representa el Neógeno en todas las masas de agua subterránea excepto en el Campo de Montiel, Sierra de Altomira y La Obispalía donde representa las formaciones Mesozoicas que también continúan en las capas 2 y 3.
- **Capa 2**: Se extiende a la Mancha Occidental, Rus-Valdelobos, Campo de Montiel, Sierra de Altomira y La Obispalía. En la primera y parte de la segunda representa los limos semipermeables que separan el Neógeno del Mesozoico.
- **Capa 3**: tiene la misma extensión que la capa 2 y representa el Mesozoico de todas las masas de agua cubiertas por ella.

Esta división en capas se realizó en base a estudios de IGME (2015) *Caracterización de la divisoria hidrogeológica Guadiana-Júcar en la llanura manchega mediante la aplicación de técnicas geológicas y geofísicas*. En dicho estudio se establecieron las divisiones entre acuíferos mostradas en la Figura 32. Así, la Capa 1 del Modelo FLUSAG representa al neógeno, la Capa 2 los limos y la Capa 3 el Mesozoico.

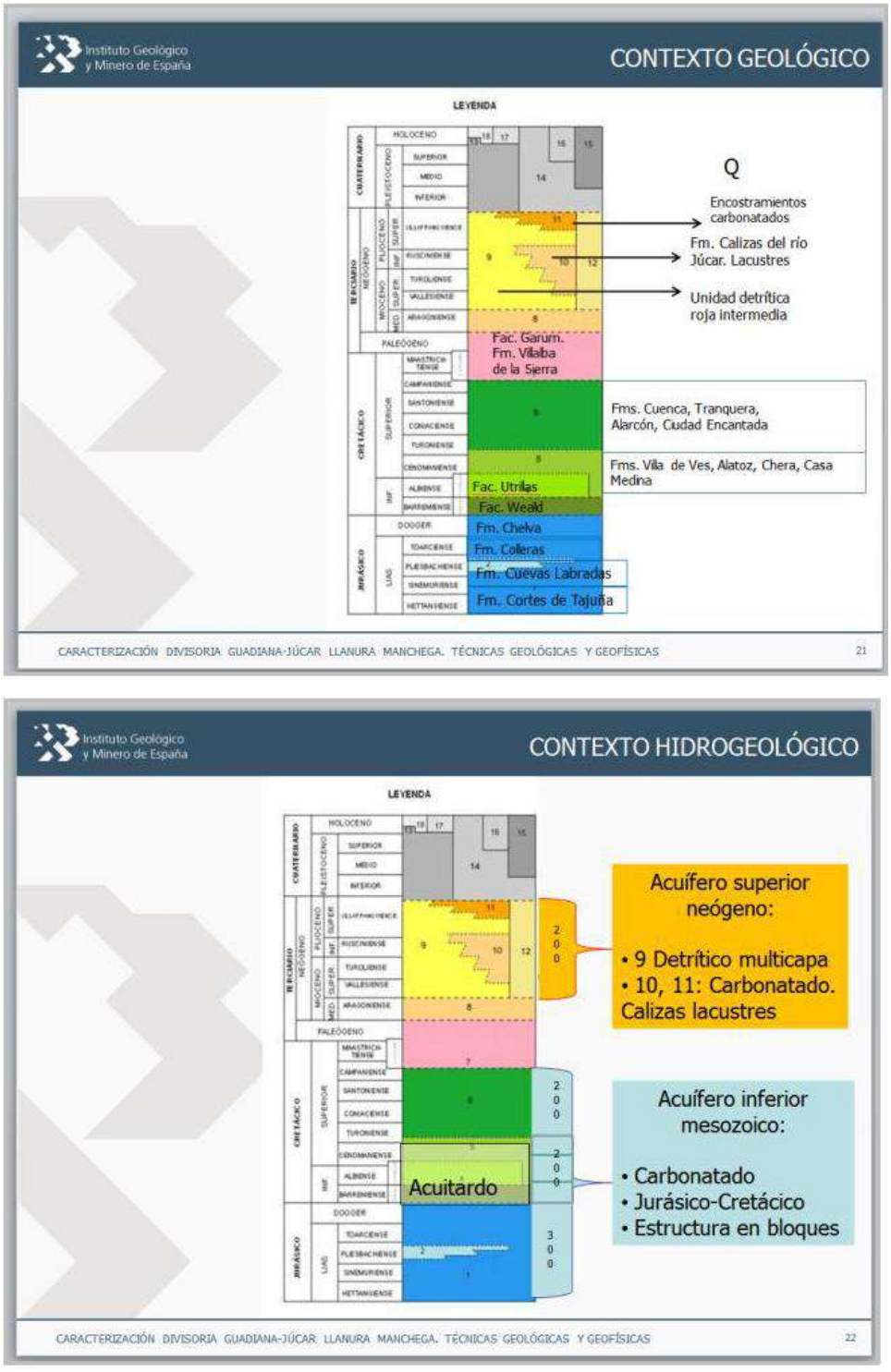


Figura 32. Relación entre acuíferos y litologías (Fuente: IGME, 2015)

Geometría de la MASb Rus-Valdelobos

En este apartado se incluye la revisión de la geometría de las capas modeladas pertenecientes a la MASb Rus-Valdelobos. Es necesario destacar que únicamente ha sido posible revisar las capas de dicha MASb ya que el informe de actualización del modelo FLUSAG no especifica de manera detallada la geometría del resto de MASb.

A continuación, se incluyen figuras mostrando los perfiles de las capas simuladas por el Modelo FLUSAG junto con perfiles geológicos interpretados por el IGME. Estas figuras permiten interpretar el grado de correspondencia entre ambos y evaluar la representatividad de las capas simuladas.

La Figura 33 muestra el trazado del corte geológico I-I´-I´´, el cual atraviesa la MASb Rus-Valdelobos en dirección Suroeste-Noreste. Por otro lado, la Figura 34 muestra el mismo corte simulado en Modflow y el corte geológico original a partir del cual se construyó. De la revisión de dichas figuras cabe hacer los siguientes comentarios respecto a la geometría de las capas de modelamiento:

- Capa 1 (materiales neógenos): en dicha sección, el espesor de los materiales neógenos se representa adecuadamente únicamente en el sector central del corte (depresión de origen tectónico). Como se aprecia en el corte geológico, hacia el extremo suroccidental los materiales neógenos pierden espesor de manera progresiva hasta que llegan a aflorar los carbonatos mesozoicos infrayacentes. Esto no se representa adecuadamente en la sección modelada, ya que en dicho sector los materiales mesozoicos (capa 3) no llegan a aflorar, existiendo en su lugar un espesor de más de 100 m de materiales neógenos. Lo mismo sucede en el extremo nororiental del corte, donde la sección modelada no representa el afloramiento de los materiales mesozoicos (capa 3).
- Capa 2 (limos semipermeables): son modelados mediante una delgada capa que recubre todo el contacto entre los materiales neógenos y mesozoicos. Sin embargo, el corte geológico original no especifica la existencia de materiales semipermeables en la sección.
- Capa 3 (materiales carbonatados mesozoicos). Se considera que la sección modelada no representa adecuadamente su distribución debido a que: i) no representa los materiales mesozoicos aflorantes, ii) el techo de la capa 3 no sigue las profundidades interpretadas por el corte original, sobre todo en sus extremos, iii) el muro de la capa 3 se modela a una cota prácticamente constante de 400 m s.n.m., lo cual no responde a la realidad.
- La sección omite la representación del sustrato triásico que se dispone a cotas de 650 m en el extremo noreste del corte.

La Figura 35 muestra el trazado del corte geológico II-II´, el cual atraviesa la MASb Rus-Valdelobos en dirección Noroeste-Sureste. La Figura 36 muestra el mismo corte simulado en Modflow y la sección original a partir de la cual se construyó. Dicha figura permite realizar las siguientes observaciones:

- Capa 1 (materiales neógenos): la sección modelada representa los materiales neógenos como una capa sub-horizontal de espesor comprendido entre 50 y 100 m que se reduce hacia el extremo sureste de la sección. El espesor modelado es adecuado en el sector central de la sección, pero no es representativo en sus extremos. En base a la interpretación geológica original, en el extremo sureste los materiales neógenos reducen su espesor hasta desaparecer, dejando aflorar los materiales carbonatados subyacentes. Este hecho no se representa adecuadamente en la sección del modelo FLUSAG, la cual considera que el neógeno recubre a los materiales mesozoicos en toda la sección. Por otro lado, se ha evidenciado que hacia el extremo noroeste el neógeno también se acuña, dejando aflorar una secuencia de materiales semipermeables subyacentes. Esto no se representa en la sección modelada, manteniendo la capa 1 en ese sector un espesor de más de 50 m. De esta forma se evidencia que el modelo FLUSAG no considera la posición de un sustrato impermeable cercano a superficie en el mencionado sector.
- Capa 2 (limos semipermeables). La interpretación geológica original considera la existencia de materiales paleógenos semipermeables en dos localizaciones: i) hacia el extremo noroeste de la sección en forma de estrato de 50 m de espesor promedio y ii) hacia la mitad sureste (bajo el sondeo VILLARRO-3), donde existe un grueso paquete de materiales semipermeables emplazado tectónicamente entre las calizas mesozoicas. Respecto a los estratos ubicados en el extremo noroeste, el modelo FLUSAG los representa como una gruesa cuña que supera los 50 m de espesor que decae hacia el sur. Esto resulta en un sobredimensionamiento de la capa 2 en dicho sector. Además, la capa 2 del FLUSAG no representa las profundidades reales a las que se encuentran los materiales superficiales (los cuales llegan a aflorar). Respecto a los materiales paleógenos encajados tectónicamente entre calizas, no son representados de ninguna manera en la sección modelada. Destaca igualmente que, a lo largo de toda la mitad sureste de la sección de modelamiento, todo el contacto entre materiales neógenos y mesozoicos incluye una delgada capa de materiales semipermeables. Esto no es correcto, ya que casi en la totalidad de la sección los materiales neógenos se disponen directamente sobre los mesozoicos.
- Capa 3 (materiales carbonatados mesozoicos). En términos generales, el techo de la capa 3 se encuentra a profundidades adecuadas hacia la mitad sureste de la sección modelada. Sin embargo, los materiales carbonatados no llegan a aflorar en su extremo sureste, lo cual no es correcto. Hacia la mitad noroeste, las cotas del techo no están adecuadamente representadas debido al excesivo espesor de la capa 2. El muro de la capa 3 se modela a cotas situadas en torno a 400 m s.n.m, lo cual es coincidente con la interpretación geológica original.

La Figura 37 muestra el trazado del corte geológico III-III´, el cual atraviesa la MASb Rus-Valdelobos en dirección Suroeste-Noreste. La Figura 38 muestra el

mismo corte interpolado en Modflow y el corte geológico original a partir del cual se construyó. En dichas figuras es posible apreciar:

- Capa 1 (materiales neógenos). La interpretación geológica original a lo largo de esta sección considera los materiales neógenos como un paquete sedimentario sub-horizontal cuyo máximo espesor se encuentra hacia la mitad de la sección y disminuye progresivamente hacia los extremos. La sección interpolada con Modflow reproduce adecuadamente el espesor de dichos materiales neógenos en el sector central de la sección, pero no en sus extremos. En el extremo noreste el conjunto neógeno reduce su espesor hasta desaparecer, dejando aflorar las calizas cretácicas subyacentes. La interpolación con Modflow no reproduce esta reducción de espesor ni deja aflorar los materiales carbonatados en el extremo noreste. Lo mismo ocurre en el extremo suroeste de la sección, donde la interpolación con Modflow no reproduce el afloramiento de materiales carbonatados cretácicos: en dicho sector la capa 1 se simula con un espesor mínimo de 50 m. Hacia el extremo suroeste de la sección existe un contacto tectónico que pone en contacto lateral los materiales neógenos con las calizas mesozoicas, lo cual resulta en un aumento del espesor de los sedimentos neógenos (que llegan a alcanzar los 205 m). Esto no se simula de ninguna manera en la interpolación realizada con Modflow.
- Capa 2 (materiales semipermeables). En el sector atravesado por el corte, el conjunto paleoceno que constituye los materiales semipermeables simulados por la capa 2 únicamente aparece en un pequeño depósito sedimentario hacia la mitad suroeste (en las proximidades del sondeo 222940080). La sección interpolada con Modflow representa el mencionado depósito paleoceno disponiendo una delgada cuña de capa 2 de entre 10-15 m de espesor en un área aproximada. Con propósitos de simulación esta solución se considera adecuada para representar este pequeño depósito paleoceno. Por otro lado, la interpretación geológica original refleja que los sedimentos neógenos se disponen en contacto directo sobre las calizas cretácicas y jurásicas, sin existir depósitos semipermeables entre ellos. Sin embargo, la interpolación con Modflow mantiene en todos los sectores un delgado espesor de capa 2 entre la capa 1 y la capa 3, lo cual no tiene un sustento en la realidad.
- Capa 3 (basamento carbonatado). En términos generales, el techo de la capa 3 de la sección interpolada con Modflow se mantiene a cotas muy similares a las interpretadas originalmente excepto en los extremos sur-oeste y nor-este donde la interpolación no reproduce el afloramiento del basamento carbonatado. El muro de la capa 3 se mantiene a cota constante de 400 m, lo cual se considera adecuado puesto que la interpretación geológica original no define con precisión la posición del muro de los materiales mesozoicos. Por último, la interpolación con Modflow no reproduce el contacto lateral directo entre materiales neógenos y mesozoicos existente en el extremo sur-oeste de la sección.

La Figura 39 muestra el trazado del corte geológico A-A', el cual atraviesa la MASb Rus-Valdelobos en dirección Oeste-Este. La Figura 40 muestra el mismo corte simulado en Modflow y la sección original a partir de la cual se construyó. En base a la revisión de dichas figuras es posible realizar las siguientes observaciones a las superficies interpoladas en Modflow:

- Capa 1 (materiales terciarios). Según la interpretación geológica original, los depósitos terciarios se disponen siguiendo una disposición sub-horizontal de un espesor promedio de 100 m en el extremo occidental, aumentando a aproximadamente 150 m en el sector central de la sección y volviendo a disminuir en la mitad oriental a espesores inferiores a 100 m. La interpolación realizada con Modflow reproduce aproximadamente esa tendencia de variación de los espesores distribuyendo el muro de la capa 1 a cotas similares.
- Capa 2 (materiales semipermeables). La interpolación realizada con Modflow representa la capa 2 como una amplia cuña de aproximadamente 200 m de espesor máximo en el extremo occidental de la sección y que va disminuyendo hacia el este hasta desaparecer aproximadamente en el sector central. Esta representación de la capa 2 resulta en un excesivo sobredimensionamiento ya que, como se observa en la interpretación geológica original, no existen materiales paleógenos de espeso importante a lo largo del trazado de la sección. Asimismo, la interpolación con Modflow mantiene en todos los sectores un delgado espesor de capa 2 entre la capa 1 y la capa 3, lo cual no tiene un sustento en la realidad puesto que no se ha especificado en la interpretación geológica original.
- Capa 3 (carbonatos mesozoicos). La cota de techo de la capa 3 interpolada con Modflow no respeta las cotas consideradas en la interpretación geológica original, lo que conlleva que dicha interpolación no reproduzca fielmente la disposición de los materiales mesozoicos.
- Tanto en su extremo occidental como en su sector central, la interpretación geológica original revela la existencia de un sustrato triásico subyacente al paquete carbonatado jurásico. Sin embargo, la interpolación realizada mediante Modflow no incluye ninguna capa que represente la distribución interpretada de dicho basamento triásico.

La Figura 41 muestra el trazado del corte geológico B-B', el cual atraviesa la MASb Rus-Valdelobos en dirección Suroeste-Noreste. La Figura 42 muestra el mismo corte interpolado con Modflow y la sección original a partir de la cual se construyó. De la revisión de dichas figuras cabe hacer los siguientes comentarios respecto a la geometría de las capas de modelamiento:

- Capa 1 (materiales terciarios). La interpretación geológica original a lo largo de esta sección considera los materiales terciarios como un paquete sedimentario sub-horizontal cuyo máximo espesor se encuentra hacia la mitad de la sección y disminuye progresivamente hacia los extremos. La sección interpolada con Modflow reproduce aproximadamente el espesor de dichos materiales terciarios en el sector central de la sección, pero no

en sus extremos. En el extremo noreste el conjunto terciario reduce su espesor hasta desaparecer, dejando aflorar las calizas cretácicas subyacentes. La interpolación con Modflow no reproduce esta reducción de espesor ni deja aflorar los materiales carbonatados en el tercio oriental de la sección. Lo mismo ocurre en el extremo suroeste de la sección, donde la interpolación con Modflow no reproduce el afloramiento de materiales carbonatados cretácicos: en dicho sector la capa 1 se simula con un espesor mínimo de aproximado de 25 m.

- Capa 2 (materiales semipermeables). La capa 2 no aparece en la interpolación de Modflow, lo cual es consistente con la interpretación geológica original al no haberse reconocido una secuencia importante paleógena en la serie terciaria.
- Capa 3 (carbonatos mesozoicos). El espesor de la capa 3 (mesozoico) no queda representada adecuadamente en la interpolación de Modflow ya que, en primer lugar, el muro de la capa 3 se simula a una cota constante de 400 m, lo cual no es reflejo de la realidad. Por otro lado, el techo de la capa 3 no aflora en superficie en los extremos de la sección.
- En base a la interpretación geológica original, existe un sustrato triásico a cotas que varían entre 600 y menos de 100 m en función de la ocurrencia de plegamientos y otras estructuras de origen tectónico. La interpolación con Modflow omite la simulación de este sustrato triásico.

Con la finalidad de acotar las observaciones realizadas y de destacar las principales deficiencias encontradas en la geometría de las capas de modelamiento, se listan a continuación las siguientes conclusiones:

- En términos generales, las capas de modelamiento no reproducen adecuadamente la distribución de las diferentes secuencias geológicas ya que sus cotas de techo y muro no concuerdan con las interpretaciones geológicas originales.
- Las capas interpoladas no simulan el afloramiento en superficie de los materiales carbonatados mesozoicos. Esto tiene importantes implicaciones en el resultado final del modelamiento ya que, en virtud de sus mejores propiedades transmisivas, los afloramientos de materiales carbonatados son importantes vías para la infiltración superficial del agua de lluvia. Por tanto, las tasas de recarga por infiltración de agua de lluvia se verán disminuidas si el modelo FLUSAG simula los materiales carbonatados bajo una secuencia de materiales detríticos de menor permeabilidad.
- La interpolación realizada en el modelo FLUSAG incluye la capa 2 entre los materiales neógenos y mesozoicos incluso en aquellos sectores en los que se ha demostrado que existe un contacto directo entre ellos. Esto afectará de manera importante al balance hídrico calculado por el modelo FLUSAG ya que, al constituir una capa semipermeable, la inclusión de la capa 2 limitará la recarga profunda del acuífero inferior carbonatado.
- El modelo FLUSAG no considera una capa para simular el sustrato triásico. Se considera esto una importante deficiencia del modelo ya que el sustrato triásico constituye un basamento hidrogeológico impermeable

que tiene una influencia decisiva sobre el flujo subterráneo en la MASb Rus-Valdelobos.

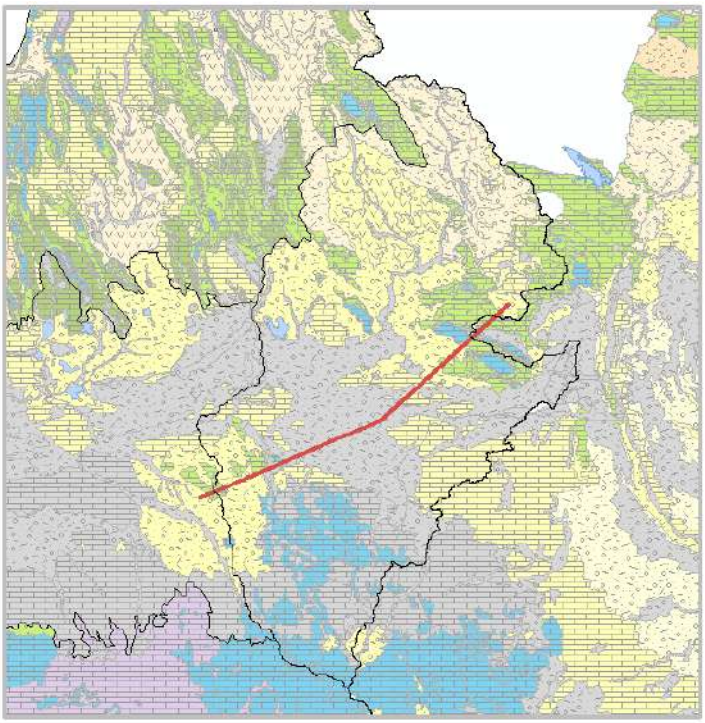


Figura 33. Trazado del corte geológico I-I'-I''. Fuente: Actualización y calibración del modelo de flujo de agua subterránea de los acuíferos del Alto Guadiana (FLUSAG). Ref: TEC0004594. (Tragsatec, 2017)

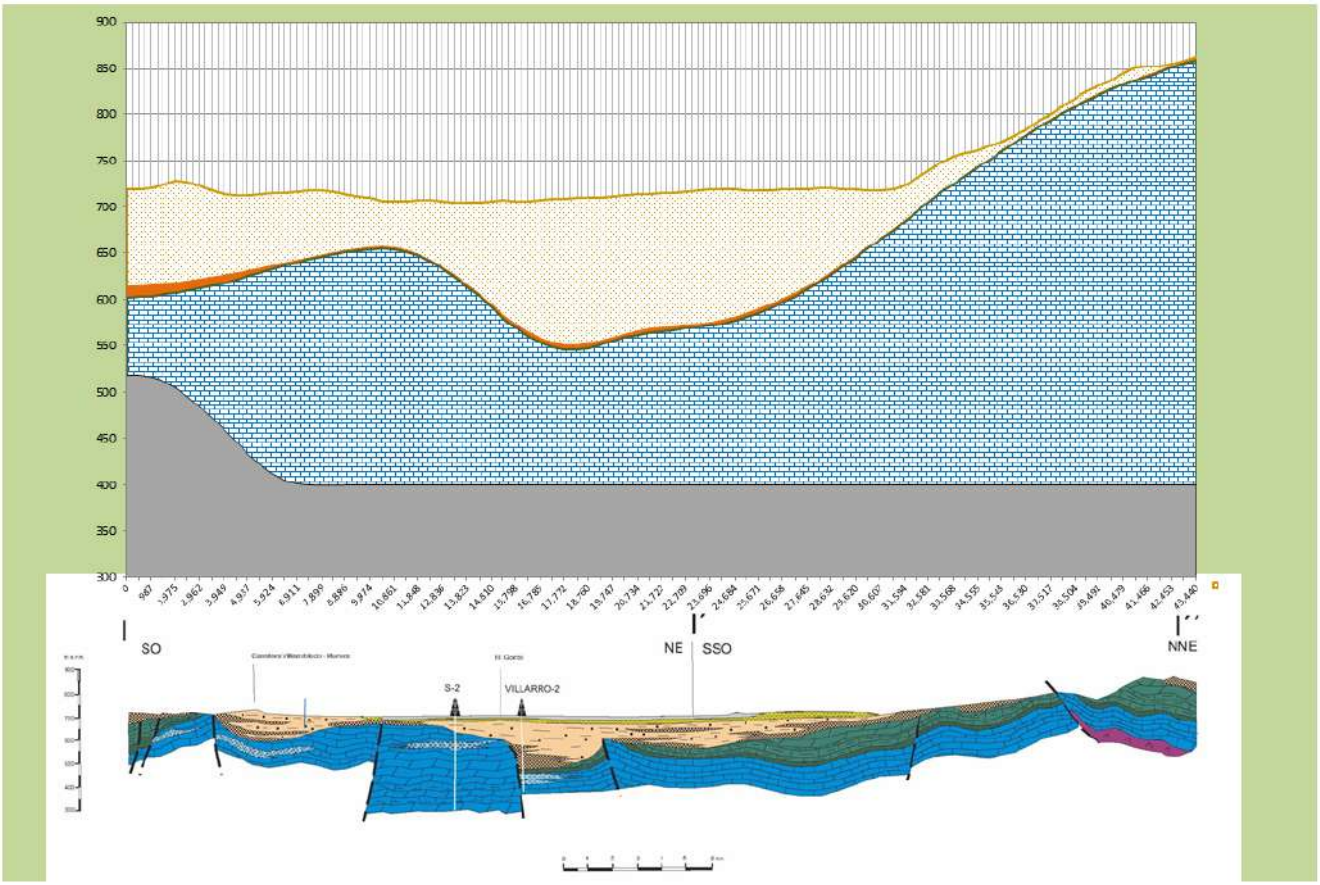


Figura 34. Corte geológico I-I'-I''. Superficies del modelo con la interpolación de Visual Modflow. Fuente: Actualización y calibración del modelo de flujo de agua subterránea de los acuíferos del Alto Guadiana (FLUSAG). Ref: TEC0004594. (Tragsatec, 2017)

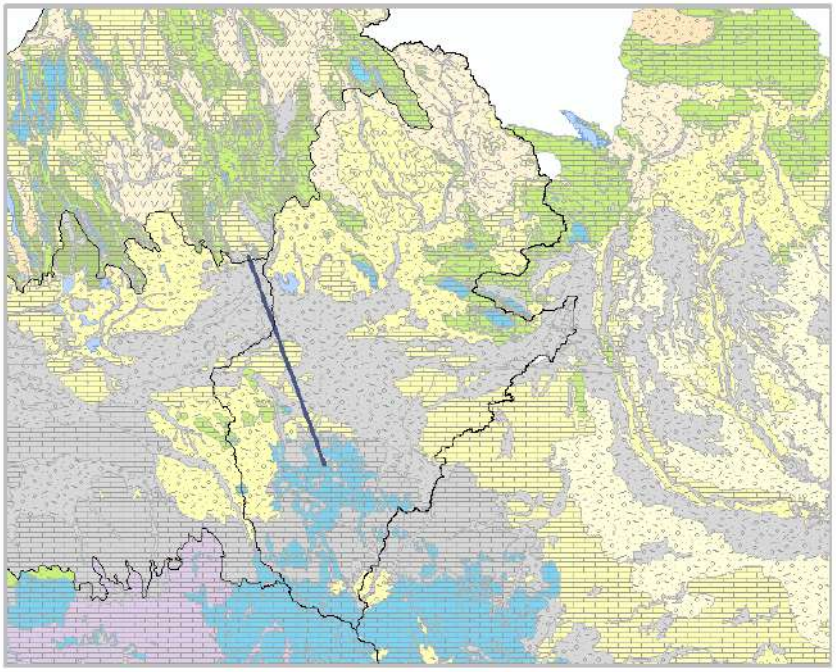


Figura 35. Trazado del corte geológico II-II''. Fuente: Actualización y calibración del modelo de flujo de agua subterránea de los acuíferos del Alto Guadiana (FLUSAG). Ref: TEC0004594. (Tragsatec, 2017)

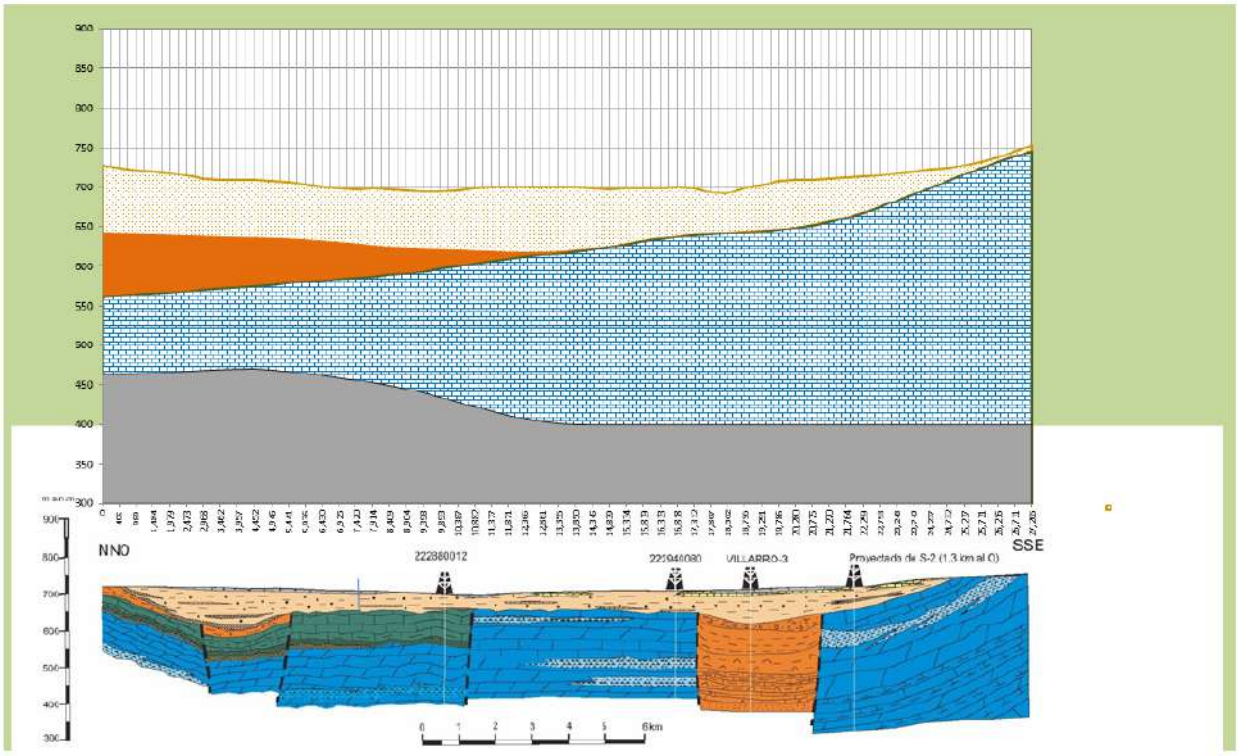


Figura 36. Corte geológico II-II''. Superficies del modelo con la interpolación de Visual Modflow. Fuente: Actualización y calibración del modelo de flujo de agua subterránea de los acuíferos del Alto Guadiana (FLUSAG). Ref: TEC0004594. (Tragsatec, 2017)

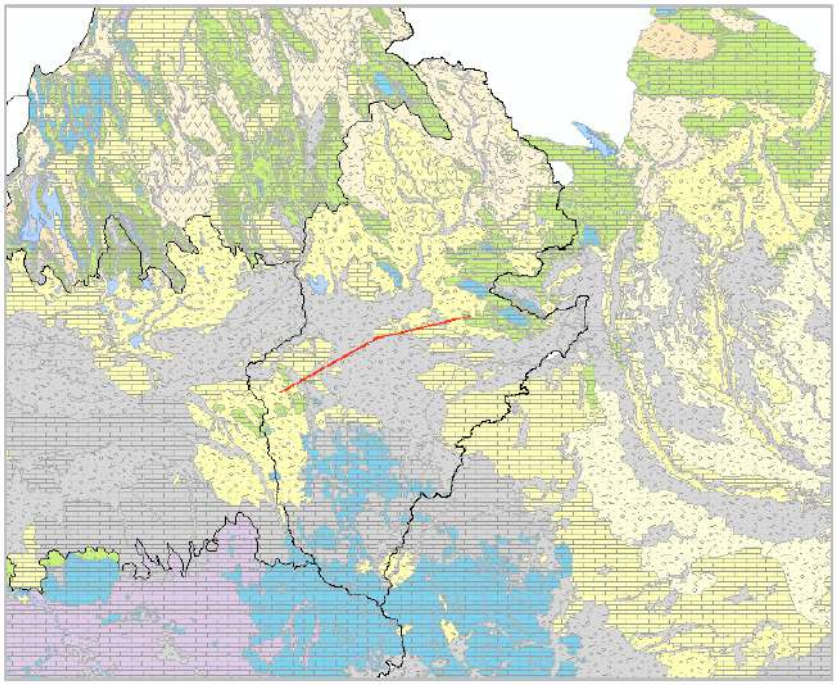


Figura 37. Trazado de corte geológico III-III´. Fuente: Actualización y calibración del modelo de flujo de agua subterránea de los acuíferos del Alto Guadiana (FLUSAG). Ref: TEC0004594. (Tragsatec, 2017)

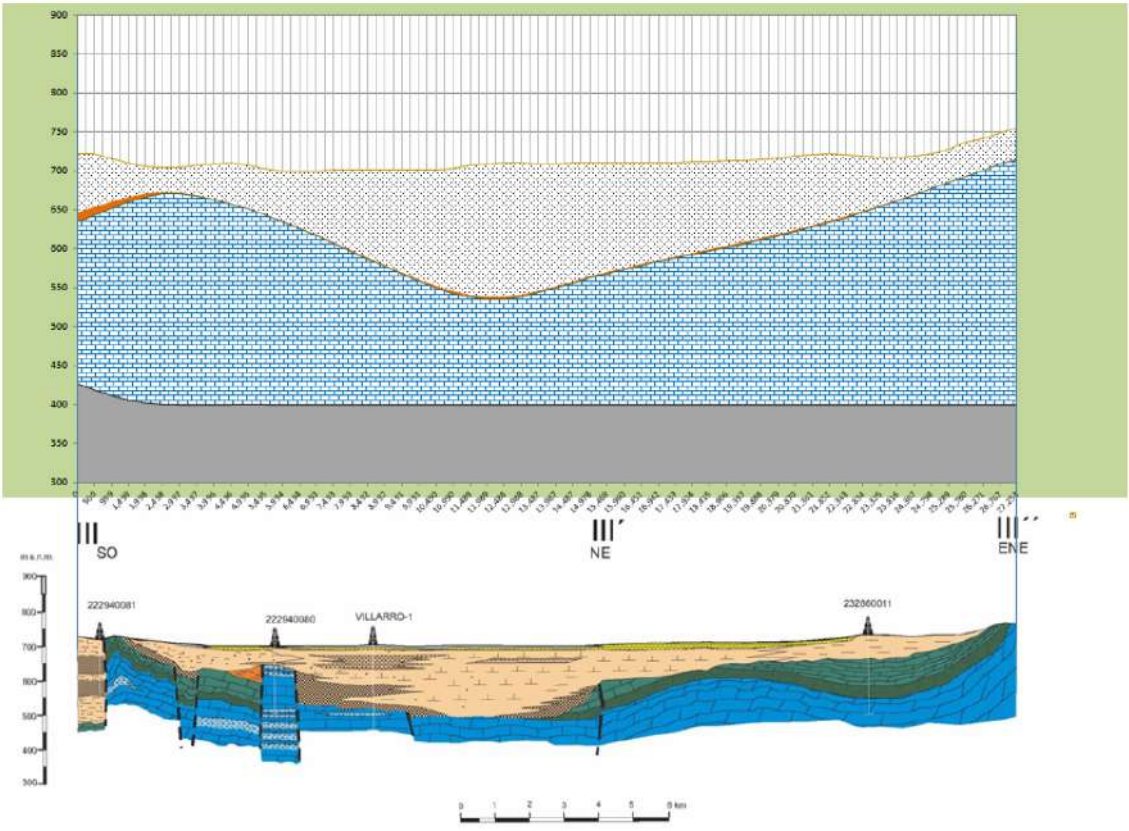


Figura 38. Corte geológico III-III´. Superficies del modelo con la interpolación de Visual Modflow. Fuente: Actualización y calibración del modelo de flujo de agua subterránea de los acuíferos del Alto Guadiana (FLUSAG). Ref: TEC0004594. (Tragsatec, 2017)

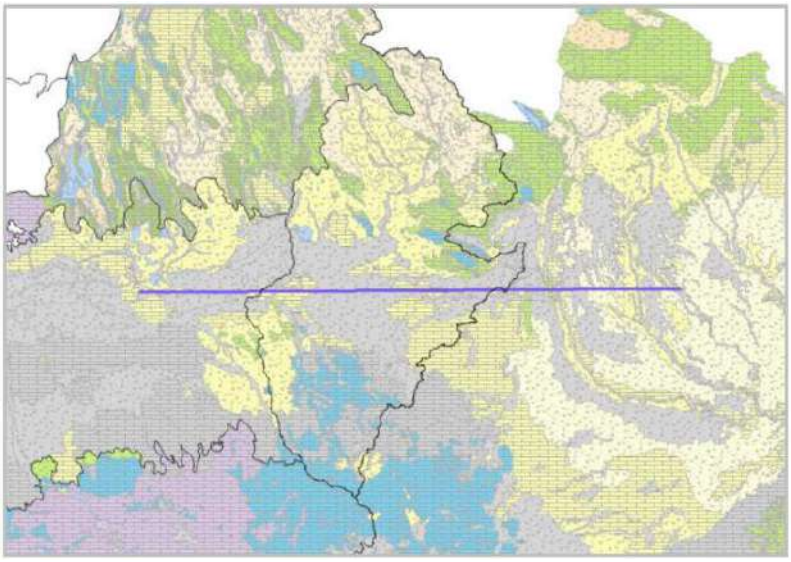


Figura 39. Trazado de corte geológico A-A'. Fuente: Actualización y calibración del modelo de flujo de agua subterránea de los acuíferos del Alto Guadiana (FLUSAG). Ref: TEC0004594. (Tragsatec, 2017)

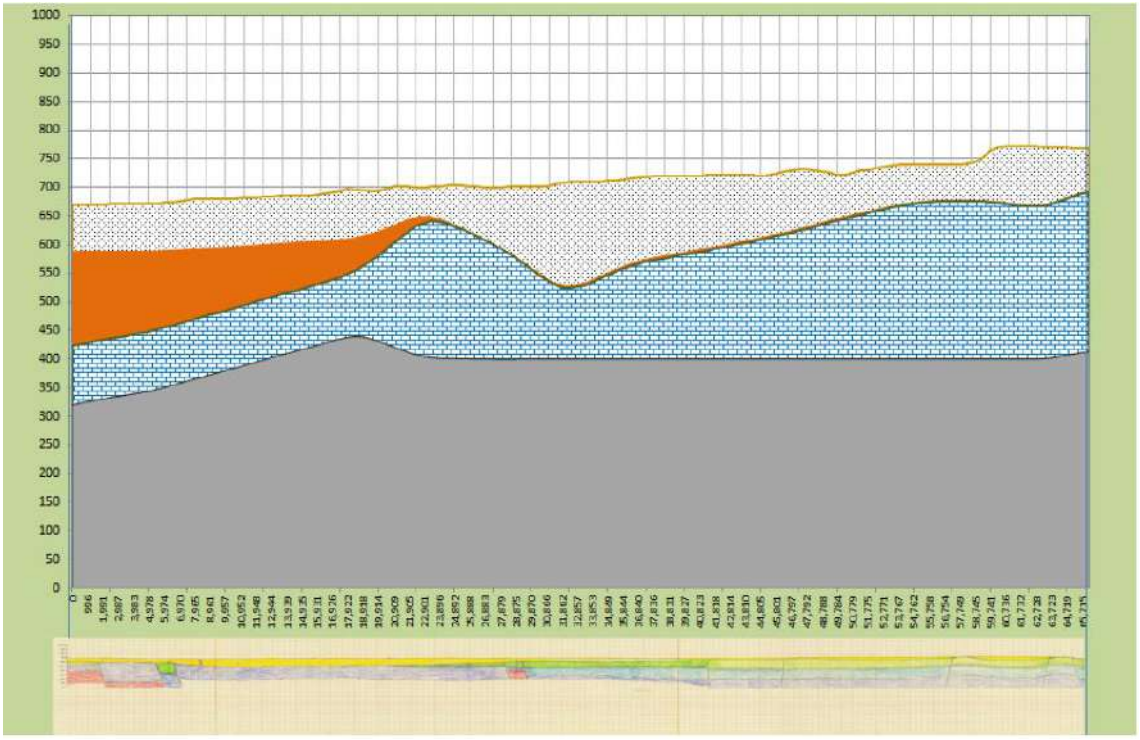


Figura 40. Corte geológico A-A´. Superficies del modelo con la interpolación de Visual Modflow. Fuente: Actualización y calibración del modelo de flujo de agua subterránea de los acuíferos del Alto Guadiana (FLUSAG). Ref: TEC0004594. (Tragsatec, 2017)

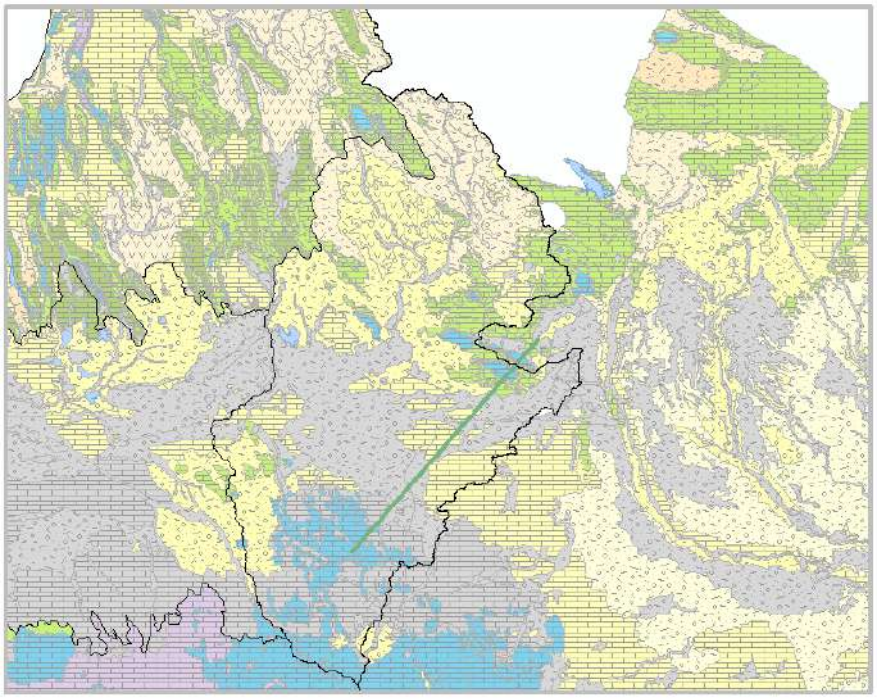


Figura 41. Trazado de corte geológico B-B'. Fuente: Actualización y calibración del modelo de flujo de agua subterránea de los acuíferos del Alto Guadiana (FLUSAG). Ref: TEC0004594. (Tragsatec, 2017)

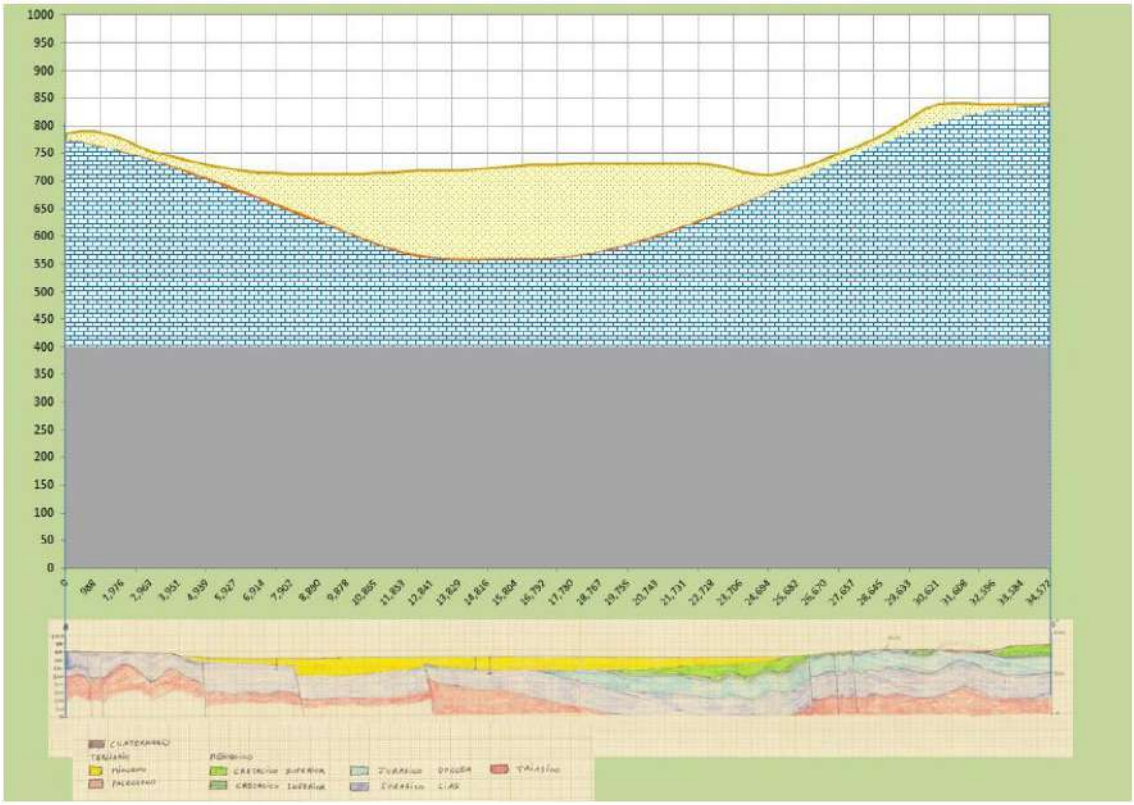


Figura 42. Corte geológico B-B´. Superficies del modelo con la interpolación de Visual Modflow. Fuente: Actualización y calibración del modelo de flujo de agua subterránea de los acuíferos del Alto Guadiana (FLUSAG). Ref: TEC0004594. (Tragsatec, 2017)

Geometría del límite Alto Guadiana- Júcar

El modelo elaborado desde su versión inicial simula la divisoria dinámica del flujo entre el Alto Guadiana y el Júcar, que, en principio, no se debe considerar fija puesto que su situación depende de las extracciones en ambas zonas. Para ello, se seleccionaron un grupo de celdas del borde Este del modelo entre las que se reparte uniformemente una extracción igual a un porcentaje de la extracción total en la Mancha Oriental. Ello permite que se considere la parte de la cuenca del Guadiana que vierte hacia el Júcar y que no alimenta La Mancha.

Tragsatec (2017) modificó la geometría de la zona del modelo para simular la condición de límite abierto hacia el Júcar. Para ello, se trasladaron las 76 celdas sobre las que se realizan bombeos para simular la condición de borde abierto y flujo dinámico entre Guadiana y Júcar, desde el límite Este de Rus-Valdelobos hasta el límite Oeste de la MASb Mancha Oriental perteneciente a Júcar. Para esto se activaron las celdas de la zona correspondiente, lo cual fue posible gracias a que el límite geográfico del modelo inicial se extendía originalmente hacia el Este, más allá de la divisoria Guadiana-Júcar.

Es importante señalar que las extracciones en la zona más oriental de Rus - Valdelobos se han aplicado en la capa inferior del modelo, capa 3, zona en que las tres capas simulan el mesozoico, y en la que el nivel piezométrico está por debajo de la capa superior.

La Figura 43 presenta el mecanismo utilizado para simular la conexión con la Mancha Oriental y la delimitación para el balance de las masas de agua. Los valores de permeabilidad empleados aparecen en la Figura 44. En el gráfico de la izquierda, las celdas color azul celeste del borde oriental del modelo corresponden a las 76 donde se aplican los pozos virtuales que simulan el flujo hacia el Júcar, con una permeabilidad ficticia muy alta para evitar la sequía y pérdida de extracciones. Las de color amarillo son las que corresponden al mesozoico, donde se aplica la permeabilidad ajustada para esta formación. El gráfico de la derecha muestra la masa virtual denominada Júcar, representada en color gris en la franja al este del límite oriental de Rus – Valdelobos. Se puede observar que las celdas de color granate cubren toda la extensión de la masa de Rus – Valdelobos para que el balance la incluya por completo.

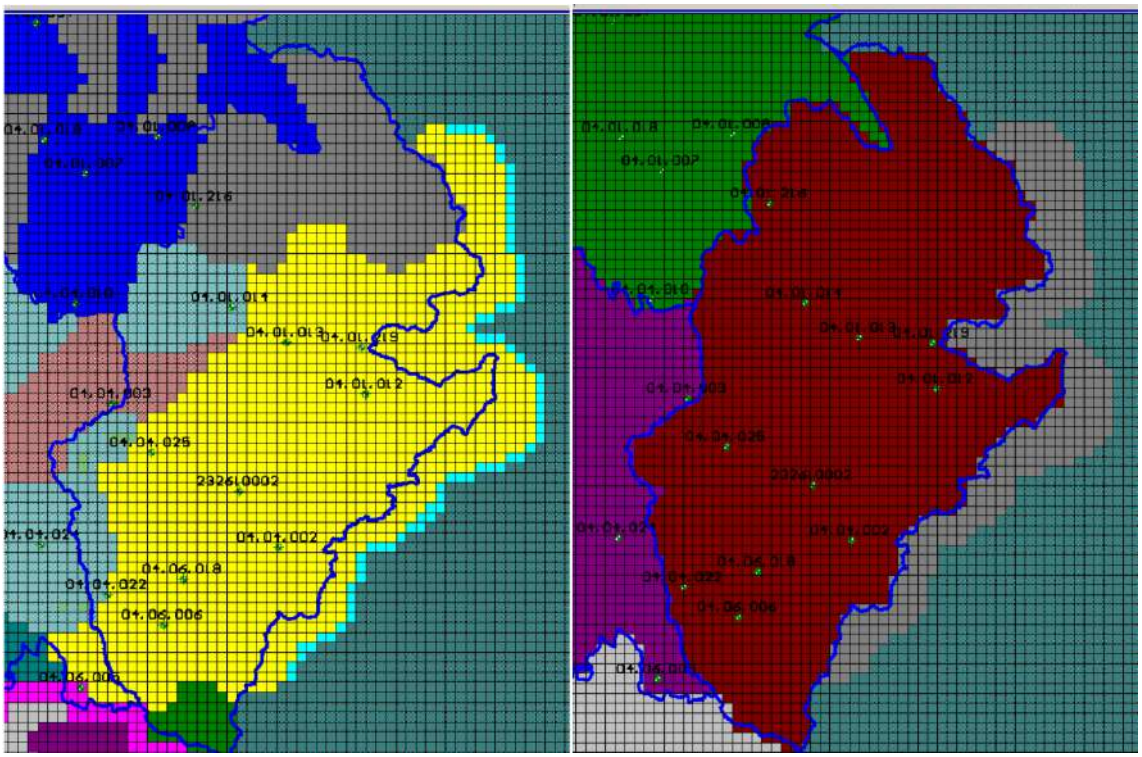


Figura 43. Simulación de la conexión con la Mancha Oriental y zonas de balance de masas (izquierda, permeabilidades capa 1; derecha, zonas de balance). Tragsatec (2017).

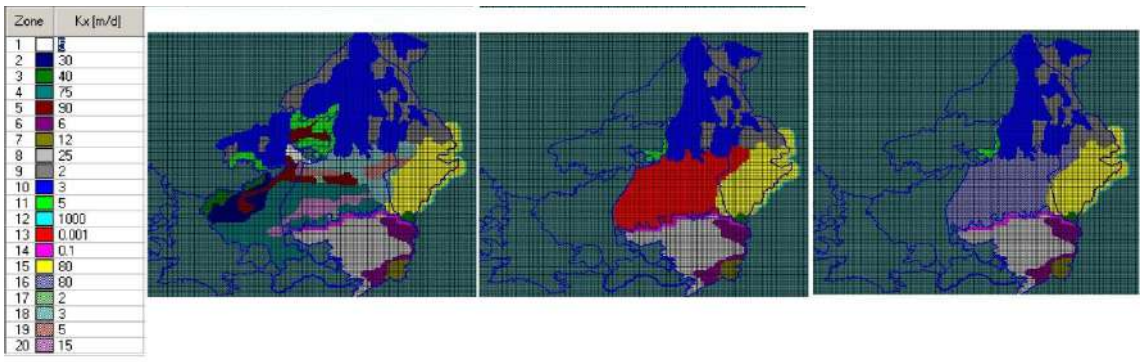


Figura 44. Permeabilidades en las capas 1, 2 y 3. Tragsatec (2017).

En base a lo expuesto, Tragsatec (2017) sostiene como premisa fundamental para la simulación de la divisoria hidrogeológica Alto Guadiana-Júcar la inexistencia de un límite geológico estable que condicione su posición. Asume igualmente que se trata de un límite móvil que se desplaza en función de las tasas de bombeo. Sin embargo, en base a la información analizada y expuesta en el capítulo 2.3.5 del presente informe cabe afirmar que:

- Los niveles de agua monitoreados históricamente en pozos y piezómetros de la MASb Rus-Valdelobos siguen tendencias de variación estables y/o cíclicas, lo cual no puede ser causado por variaciones locales en las tasas de bombeo sino a motivos climáticos de rango temporal amplio.
- No se aprecian variaciones sustanciales en la posición de la divisoria hidrogeológica Alto Guadiana-Júcar a lo largo del tiempo.

Tales observaciones sugieren que la posición de la divisoria hidrogeológica es efectivamente estable en el tiempo, lo cual se explica por la existencia de un basamento de carácter impermeable. Tal como se expuso en el apartado 2.3.2 del presente Informe, dicho basamento lo constituye el sustrato evaporítico de edad triásica. Por tanto, se concluye que el método de simulación empleado por Tragsatec (2017) no reproduce adecuadamente la realidad hidrogeológica de la divisoria Alto Guadiana-Júcar.

Por otro lado, AQUATEC considera que Tragsatec, en su informe Actualización y calibración del modelo de flujo de agua subterránea de los acuíferos del Alto Guadiana (FLUSAG). Ref: TEC0004594, no explica con suficiente detalle la simulación de la divisoria hidrogeológica ya que no muestra su trazado definitivo como parte del modelo. Únicamente especifica que se asignaron 76 celdas de bombeo sobre el borde Oeste de la MASb Mancha Oriental, perteneciente a Júcar. Presumiblemente, la ubicación de celdas de bombeo en dicho borde ocasionará que la divisoria hidrogeológica se alinee a lo largo del mismo. Sin embargo, tal como se mostró en el aparado 2.3.5.2, la divisoria hidrogeológica Alto Guadiana- Júcar discurre a lo largo del borde occidental de la MASb Rus-Valdelobos, no a lo largo del borde occidental de la MASb Mancha Oriental. Por tal motivo se considera que el método empleado por Tragsatec (2017) no es adecuado para simular la posición de la divisoria hidrogeológica.

Geometría del resto de MASb incluidas en el Modelo FLUSAG

Las modificaciones realizadas por Tragsatec (2017) destinadas a mejorar la geometría de las MASb simuladas por el Modelo FLUSAG se centraron únicamente en la MASb Rus-Valdelobos y la divisoria hidrogeológica Guadiana- Júcar. AQUATEC entiende por tanto que la geometría de las demás MASb permanece inalterada desde la versión inicial del Modelo.

Se han compilado a continuación comentarios sobre la geometría de las MASb contenidas en el Plan Hidrológico de la Confederación Hidrográfica del Guadiana. Anejo 11, Apéndice 12:

- En el Modelo FLUSAG inicial, actualizado hasta 2005, Los límites impermeables adoptados son los periféricos de las propias masas de agua subterránea, por lo que el modelo sólo recibe aportes externos de agua a través de los ríos que entran en la zona modelada. Flujos importantes como la aportación del Campo de Montiel o la Sierra de Altomira a la Mancha Occidental se simulan en el modelo en función de la situación piezométrica y la permeabilidad de los bordes de contacto.
- En profundidad, se distinguen tres tipos de acuífero: i) el Neógeno superficial, que cubre la Mancha Occidental, Lillo-Quintanar y Consuegra-Villacañas, ii) el Mesozoico profundo, que se encuentra en la Mancha Occidental II, Rus-Valdelobos, Sierra de Altomira, La Obispalía, y Campo de Montiel y que aflora en superficie en las tres últimas, iii) limos semipermeables que separan el Neógeno del Mesozoico en la Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos. Esta división de Unidades Hidrogeológicas se ha mantenido en revisiones posteriores.
- Las superficies de techo y muro de las unidades hidrogeológicas en la mayoría de las MASb presentan ciertos problemas para el modelado: las isobatas del muro y techo de los acuíferos son dudosas. Las isobatas disponibles han planteado dos problemas. El primero, su cobertura parcial de la zona modelada. El segundo, que presentan distorsiones locales importantes. Por lo tanto, ha sido preciso realizar interpolaciones y extrapolaciones basadas en informaciones dispersas, procedentes de estudios existentes, sobre el espesor de los acuíferos.
- Hay que destacar que las isobatas del muro del Neógeno en La Mancha Occidental produjeron unos espesores muy inferiores a los habitualmente aceptados en la literatura, por lo que hubieron de corregirse globalmente para acercarlos a éstos. En cualquier caso, debe advertirse que el proceso de calibración corrige indirectamente estos errores, puesto que el ajuste de las permeabilidades se realiza sobre la base las transmisividades en cada zona, función de los espesores saturados.

Por tanto, las MASb Campo de Montiel, Sierra de Altomira y La Obispalía son modeladas mediante una (1) única capa.

En el caso concreto de la MASb Sierra de Altomira, se define como un sistema central de materiales mesozoicos principalmente carbonatados, de orientación NO-SE y que en su extremo septentrional es más estrecha, mientras que hacia el S tiende a hundirse hasta contactar mecánicamente con la Llanura Manchega a causa de fracturas orientadas E-O. Debido a que en el ámbito del modelo los materiales carbonatados mesozoicos constituyen la principal unidad acuífera de las MASb, para que el Modelo FLUSAG reproduzca adecuadamente el comportamiento hidrogeológico de Sierra de Altomira, así como las transferencias subterráneas a MASb adyacentes, debería simularse al menos la disposición de la franja mesozoica de manera independiente al resto de unidades. Además, la simulación de una cubierta detrítica neógena-cuaternaria es fundamental para simular la recarga por infiltración de agua de lluvia. Por todo ello no puede ser aceptable que la MASb Sierra de Altomira sea simulada mediante una única capa de permeabilidad homogénea.

Tal como se expuso en el apartado 2.3.4 del presente Informe, para el caso concreto de la MASb Lillo-Quintanar existe un amplio y cada vez más actualizado conocimiento hidrogeológico relacionado a la composición de sus unidades acuíferas, límites, parámetros hidráulicos y dinámica de flujo. Se dispone por tanto de una base técnica suficiente para realizar un modelamiento detallado de la MASb Lillo-Quintanar. Sin embargo, el modelo FLUSAG simula dicha MASb mediante una única capa, lo cual resulta en una representación extremadamente pobre de su realidad hidrogeológica.

3.2. Revisión de parámetros hidráulicos

Tragsatec (2017), aprovechando las modificaciones realizadas sobre distintos elementos constitutivos del Modelo FLUSAG, realizó una reasignación de valores de permeabilidad y coeficiente de almacenamiento a las MASb simuladas. En concreto se realizaron las siguientes acciones.

La información regional sobre las permeabilidades de partida usadas en la recalibración se muestra en la Figura 45, la cual se realizó a partir del mapa litoestratigráfico del IGME a escala 1:200.000. Se trata de una zonificación cualitativa de las permeabilidades sin valores cuantitativos asociados, que se usó como base para la nueva distribución de permeabilidades del modelo.

Por otro lado, la Figura 46 muestra las permeabilidades asignadas a las distintas zonas del modelo, las cuales fueron estimadas siguiendo el siguiente proceso:

- Fase 1: se consideran cinco zonas de permeabilidad muy baja, baja, media, alta y muy alta (según los límites de la Figura 45) a cada una de las cuales se aplica el mismo valor, independientemente de su situación en el modelo. Además, hay otras 5 zonas necesarias para representar el mesozoico de Rus y de la Mancha Occidental II, los limos que separan el terciario del mesozoico, la que representa el contacto Montiel – Mancha Occidental II y la que se aplica a los pozos virtuales del Júcar.

- Fase 2: los primeros tanteos de ajuste indicaron la necesidad de considerar valores diferentes de las permeabilidades baja, media y alta (hay pocas celdas afectadas por las muy baja y muy alta) para la Mancha, el Campo de Montiel y la zona Norte.
- Fase 3: además, se consideró necesario aplicar distintos valores a las zonas situadas al norte y al sur de la Mancha Occidental II. Esta hipótesis es acorde con la idea de que las permeabilidades aumentan de norte a sur en esta masa de agua.

De esta forma, se adoptaron los siguientes valores de permeabilidad en cada MASb:

- Máximo de 90 m/d en las zonas de muy alta permeabilidad de la Mancha Occidental
- Valor alto, de 80 m/d en el mesozoico de Rus – Valdelobos y la Mancha Occidental II
- Permeabilidades notables de 30, 40 y 75 m/d en la mayor parte de la Mancha Occidental I y centro y sur de la II
- Permeabilidad media de 25 m/d en la mayor parte del Campo de Montiel que baja a 6 y 12 m/d en el borde sureste
- Permeabilidad baja de 2 a 5 m/d en la mayor parte de las masas del norte y en el norte de la Mancha Occidental II
- Permeabilidad mínima de 0.001 m/d en los limos de la capa 2 que separan el terciario y mesozoico de la Mancha Occidental II

El coeficiente de almacenamiento fue distribuido en el Modelo FLUSAG a partir del proceso de calibración de niveles. Las zonas de coeficiente de almacenamiento y sus valores como acuífero libre se representan en la Figura 47, Figura 48 y Figura 49. Este caso, la asignación se ha hecho por masas de agua e incluso por grandes zonas ya que no hay información disponible, ni siquiera cualitativa, sobre su valor. Las zonas usadas son casi iguales a las de la versión anterior del FLUSAG, excepto en la zona de Rus – Valdelobos, que se han ampliado en la actual versión. El valor del coeficiente de almacenamiento específico es constante e igual a 0.00001 1/m en todo el modelo.

- La Mancha Occidental I y la zona norte tienen un coeficiente de almacenamiento libre del 8%
- La Mancha Occidental II tiene el 0.6%
- El Campo de Montiel tiene el 1.5%
- El mesozoico de Rus – Valdelobos, el 5%

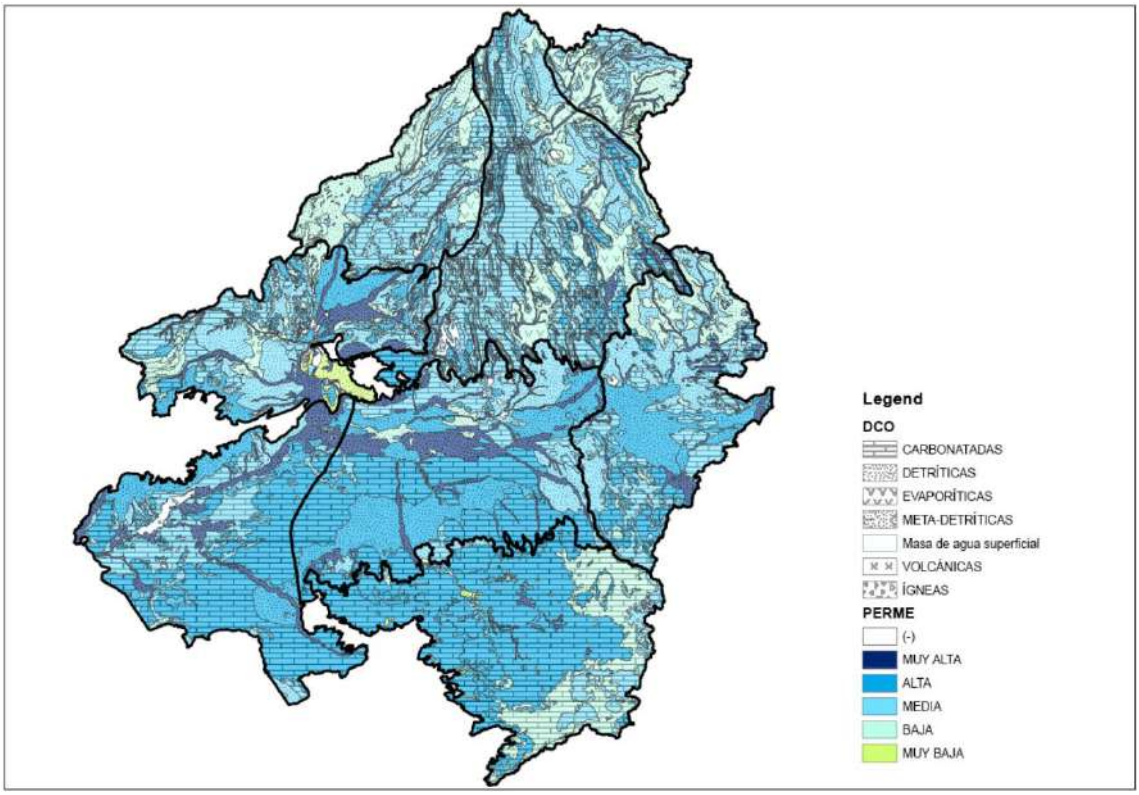


Figura 45. Mapa de permeabilidades basado en el mapa litoestratigráfico del IGME a escala 1:200.000

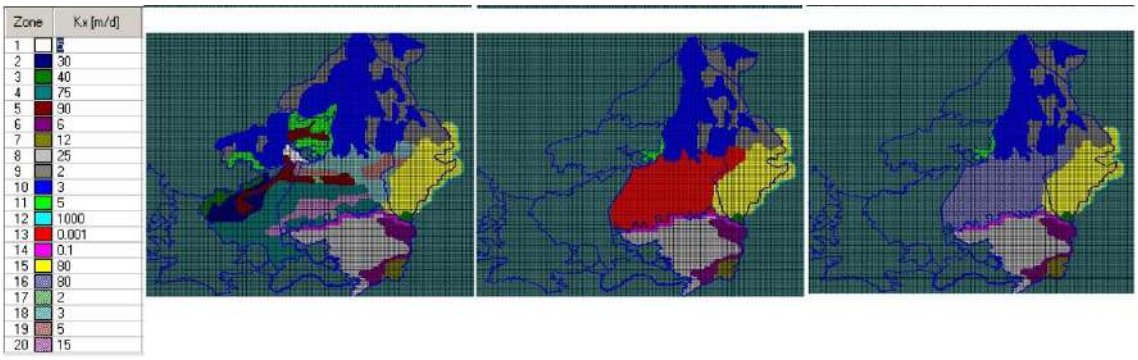


Figura 46. Permeabilidades en las capas 1,2 y 3 del modelo FLUSAG

Zone	Ss [1/m]	Sy []
1	1E-5	0.008
2	1E-5	0.008
3	1E-5	0.015
4	1E-5	0.006
5	1E-5	0.01
6	1E-5	0.01
7	1E-5	0.05

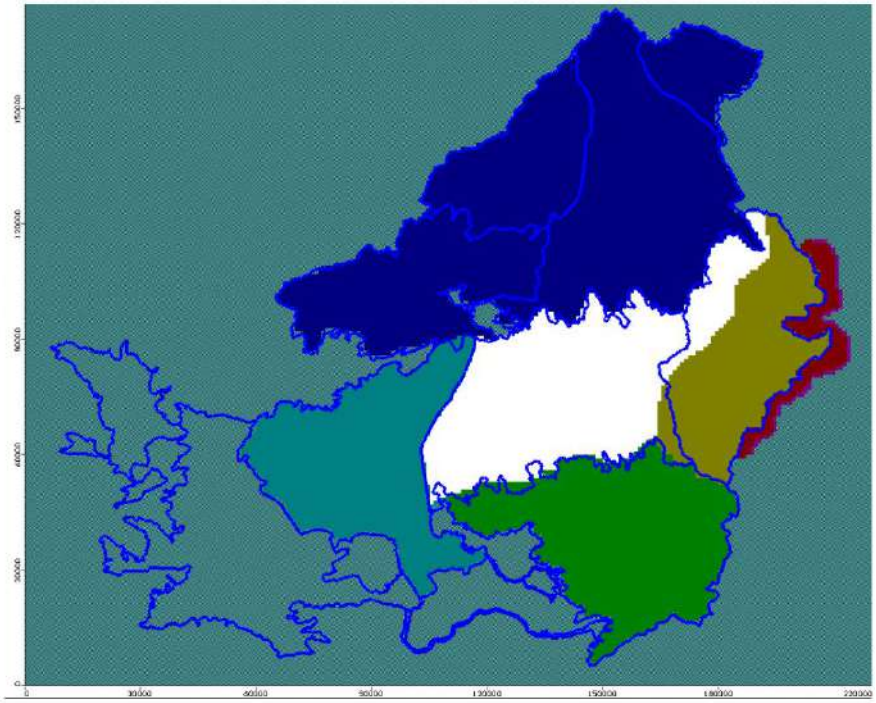


Figura 47. Solución adoptada: coeficiente de almacenamiento de la capa 1

Zone	Ss [1/m]	Sy []
1	1E-5	0.008
2	1E-5	0.008
3	1E-5	0.015
4	1E-5	0.006
5	1E-5	0.01
6	1E-5	0.01
7	1E-5	0.05

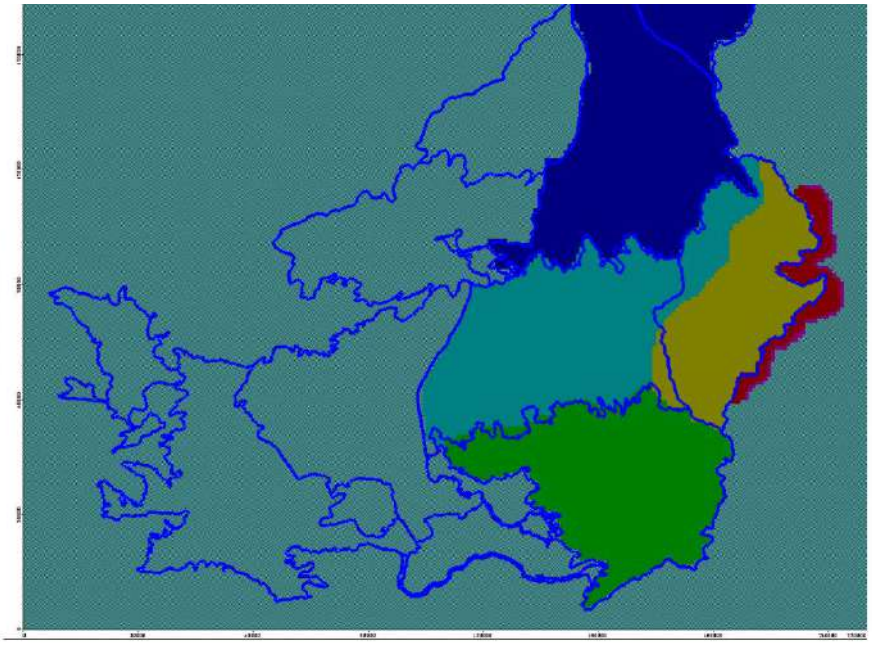


Figura 48. Solución adoptada: coeficiente de almacenamiento de la capa 2

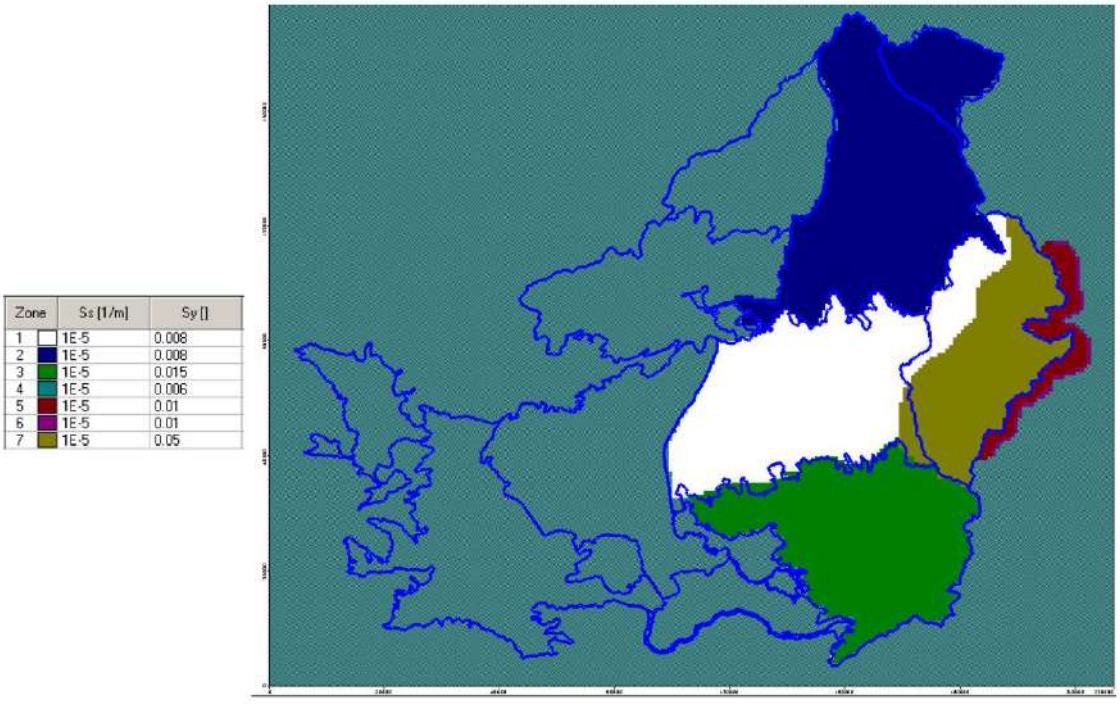


Figura 49. Solución adoptada: coeficiente de almacenamiento de la capa 3

De todo lo anteriormente expuesto cabe mencionar:

- Las MASb Campo de Montiel, Sierra de Altomira y La Obispalía presentan los mismos valores de permeabilidad en las tres capas. Lo mismo ocurre con el coeficiente de almacenamiento. Por tanto, a efectos prácticos dichas MASb son modeladas como una (1) única capa. Tal como se especificó en apartados precedentes, esta única capa pretende representar únicamente los materiales mesozoicos, lo cual es una simplificación excesiva de la realidad hidrogeológica.
- A las MASb Lillo-Quintanar y Consuegra-Villacañas únicamente se les ha otorgado valores de permeabilidad y coeficiente de almacenamiento en la capa 1 (correspondiente a los materiales detríticos neógenos). Como consecuencia de ello, el modelo FLUSAG no será capaz simular aportes subterráneos a través de materiales geológicos infrayacentes.
- A la MASb Mancha Occidental I únicamente se les ha otorgado valores de permeabilidad y coeficiente de almacenamiento en la capa 1. Como consecuencia de ello, el modelo FLUSAG no será capaz simular aportes subterráneos a través de materiales geológicos infrayacentes.
- La MASb Mancha Occidental II ha sido dotada de diferentes rangos de permeabilidad y coeficiente almacenamiento en cada una de sus tres capas. Con ello sería capaz de simular el flujo de materiales neógenos y mesozoicos.
- La MASb Rus-Valdelobos presenta idénticos valores de permeabilidad y coeficiente de almacenamiento en cada una de sus tres capas. Como consecuencia de ello, todas las unidades hidrogeológicas que componen la MASb son simuladas como una sola. Tal como se especificó anteriormente, se trata de una excesiva simplificación hidrogeológica que

no permitirá al modelo FLUSAG evaluar de manera adecuada sus recursos subterráneos.

Por otro lado, tal como se especificó en el apartado 2.3.6 del presente Informe, la MASb Rus-Valdelobos presenta una notable diversidad respecto a rangos de permeabilidad: se ha evidenciado la existencia de sectores con valores de permeabilidad muy superiores a 80 m/día, que es el valor uniforme considerado por el modelo FLUSAG. Por tal motivo, y con el propósito de poder obtener balances hídricos adecuados en la MASb Rus-Valdelobos, el modelo FLUSAG debería contar con una mayor discretización espacial respecto a las variaciones de permeabilidad.

3.3. Condiciones de contorno

3.3.1. Recarga

Para la obtención de los datos de recarga y de hidrogramas en cuencas para el nuevo periodo de calibración 2010-2016 (Tragsatec, 2017), cuenta desde la versión inicial del modelo de flujo FLUSAG I (2008) con la calibración del modelo Sacramento a lo largo del periodo 1974-2005 y su extensión 2006-2010. Este modelo de tipo precipitación-escorrentía es el denominado Sacramento o SSMA (Sacramento Soil Moisture Accounting) que, entre otras diferencias con SIMPA, trabaja a intervalos diarios, y por lo tanto permite describir el funcionamiento hidrológico con mayor detalle que el SIMPA. El modelo reproduce el comportamiento diario de los principales elementos del ciclo hidrológico a través de abstracciones matemáticas de los procesos de transferencia entre los depósitos ficticios de agua que representan el medio (suelo, acuífero), y genera un hidrograma a intervalos diarios partiendo de la precipitación diaria, -representada por los datos de hasta 5 pluviómetros- y la evapotranspiración media mensual o diaria.

Simula exclusivamente el proceso de transformación precipitación – escorrentía a escala diaria en una cuenca compuesta por un solo tipo de terreno en régimen pluvial, ya que no está preparado para simular la acumulación o fusión de precipitación sólida, la cual no es significativa en el ámbito del estudio. En la versión actual (Tragsatec, 2017), el modelo permite promediar la precipitación a partir de un máximo de cinco series pluviométricas diarias. Adicionalmente puede considerar una serie de caudales importados, otra de caudales observados (para calibración) y una de evapotranspiración.

El proceso de estimación de series de recarga comenzó con la actualización del modelo Sacramento obtenidos hasta septiembre de 2010 en los trabajos de anteriores (FLUSAG I, II y III). Dicha actualización se llevó a cabo empleando datos de precipitaciones diarias 2010-2016 en la estación pluviométrica de referencia Alcázar de San Juan.

A continuación, se procedió al cálculo con el modelo Sacramento para el nuevo periodo, obteniendo las series de recarga en las tres zonas en las que se ha dividido la extensión del modelo FLUSAG:

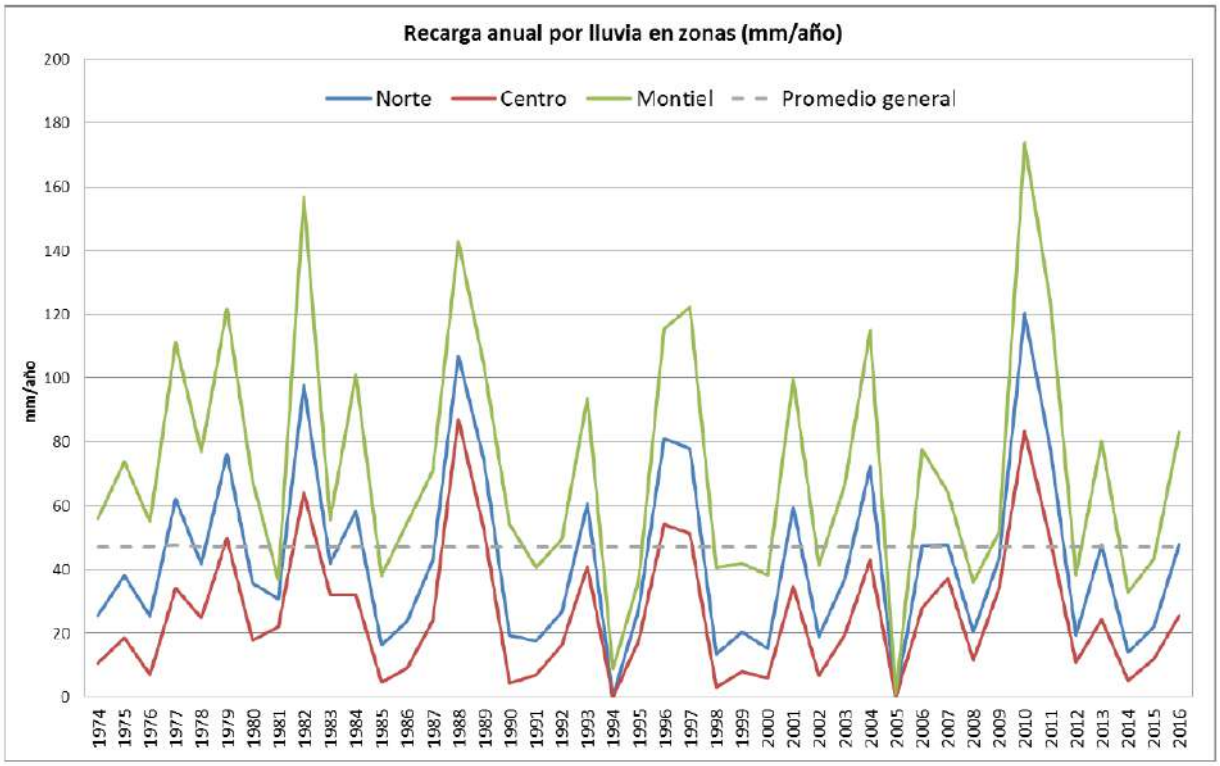
- Zona Norte.
- Zona Centro.
- Zona Sur.

Los resultados para las tres zonas de recarga consideradas en el modelo se resumen en la Figura 50.

Figura 50. Recarga anual en mm

Año	Norte	Centro	Montiel
1974	25.7	10.5	55.8
1975	38.0	18.6	73.9
1976	25.5	6.9	54.8
1977	62.1	34.3	111.1
1978	41.6	24.9	76.9
1979	76.2	49.6	121.8
1980	35.7	17.7	67.9
1981	30.8	21.9	37.0
1982	97.9	64.2	156.6
1983	42.0	32.0	55.6
1984	58.3	32.0	101.0
1985	16.2	4.7	38.1
1986	23.8	9.1	54.7
1987	42.9	23.9	70.9
1988	106.8	86.9	142.7
1989	74.0	52.3	103.8
1990	19.5	4.3	54.0
1991	17.6	6.9	40.6
1992	26.7	16.3	49.5
1993	60.6	40.9	93.6
1994	0.1	0.0	8.8
1995	27.3	17.7	36.5
Promedio 1974/16			
Promedio 1980/05			
Promedio 1980/12			
Promedio 1980/16			

Año	Norte	Centro	Montiel
1996	80.9	54.2	115.4
1997	77.9	51.3	122.3
1998	13.5	3.0	40.8
1999	20.3	7.9	41.8
2000	15.3	5.9	38.4
2001	59.5	34.7	99.6
2002	19.1	6.8	41.3
2003	36.7	19.3	66.2
2004	72.1	42.8	115.0
2005	0.0	0.0	0.9
2006	47.4	27.9	77.6
2007	47.7	37.2	64.3
2008	20.5	11.6	35.9
2009	43.4	34.2	51.8
2010	120.2	83.3	173.8
2011	78.0	49.2	124.1
2012	19.4	10.8	38.3
2013	47.7	24.2	80.2
2014	14.0	5.1	32.8
2015	22.0	11.8	43.1
2016	47.9	25.5	83.1
Prom.	43.1	26.1	71.9
47.0			
45.2			
47.7			
46.5			



Con el propósito de evaluar los valores de recarga por infiltración de agua de lluvia que fueron introducidos en el Modelo FLUSAG (Figura 50), a continuación se hace una comparación con los valores de recarga estimados por AQUATEC para la MASb Rus- Valdelobos, estimados en el marco del proyecto MODELO NUMÉRICO DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA RUS – VALDELOBOS (2020). En primer lugar, hay que destacar que TRAGSATEC (2017) no especifica la extensión de las zonas Norte, Centro y Sur en que dividió el área del modelo FLUSAG para la estimación de las tasas de recarga. Tampoco incluye mapas ni figuras que muestren su disposición. Por tal motivo no es posible conocer el área a la que se aplican las tasas de recarga mostradas en la Figura 50.

AQUATEC (2020) realizó una estimación de la recarga por infiltración de agua de lluvia en la MASb Rus- Valdelobos mediante un balance hídrico en el suelo por método hidrometeorológico de Thornthwaite (usando el programa EasyBalance). Para ello se calculó la infiltración a partir de datos diarios de precipitación y temperatura, del establecimiento de una reserva útil de agua del suelo y de la adopción de un umbral de escorrentía, ligado a las pendientes y usos del suelo. Los resultados se muestran de la Tabla 14 a la Tabla 21. Los valores presentados en dichas tablas fueron calculados a partir de los datos de precipitación recogidos en las estaciones meteorológicas mostradas la Figura 51. En esta figura se muestra además el área de aplicación de cada uno de los valores mostrados.

Para el año 2016, TRAGSATEC (2017) empleó una tasa de recarga anual de 25,5 mm para la Zona Centro del modelo FLUSAG (Figura 50). Por otro lado, AQUATEC (2020), para el mismo año (2016) y únicamente para la MASb Rus-Valdelobos, estimó una tasa de recarga anual de 103,1 mm. Por tanto, es posible afirmar que el método de estimación de recarga usado para alimentar el modelo FLUSAG subestima de manera importante las tasas de recarga por infiltración de agua de lluvia.

Otra importante deficiencia del modelo Sacramento es que se basa únicamente en series de precipitación para el cálculo de series de recarga, sin considerar otros parámetros espaciales que tienen una influencia decisiva sobre ella: i) la pendiente del terreno y ii) tipo de suelo y iii) permeabilidad asociada. En consecuencia, fueron aplicados valores medios de recarga sobre amplias zonas del área de estudio (zona norte, zona centro y zona sur), lo cual imposibilita considerar la distribución espacial real de la recarga. Esto se pone de manifiesto además con la ausencia de mapas de recarga en el informe de Tragsatec (2017). En tal sentido, AQUATEC considera que para la estimación de la recarga deben emplearse métodos que permitan distribuir espacialmente las tasas de recarga. En la Figura 52 se muestra un ejemplo de ello: se expone un mapa de zonificación del umbral de escorrentía (Po) de la MASb RUS-Valdelobos, generado mediante la intersección de los usos del suelo, permeabilidad y pendientes de la zona. Este mapa permite evaluar espacialmente las áreas con mayor potencial para la infiltración por agua de lluvia.

Por último, no es suficientemente representativo el empleo de una única estación pluviométrica de referencia (Alcázar de San Juan) para caracterizar el área total del Alto Guadiana.

Tabla 14. Recarga, precipitación y escorrentía (mm/año) en el ámbito de la estación Honrubia.

Honrubia				
Año	Recarga (mm/año)	Lluvia (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Porcentaje recarga
1996	203,1	714,2	362,8	28,4%
1997	237,4	631,7	265,7	37,6%
1998	52,0	358,1	188,8	14,5%
1999	0,0	394,9	269,2	0,0%
2000	6,2	353,3	231,7	1,8%
2001	61,4	417,6	233,0	14,7%
2002	37,2	554,7	386,3	6,7%
2003	98,5	520,5	308,5	18,9%
2004	70,5	639,1	447,7	11,0%
2005	0,0	235,2	158,8	0,0%
2006	9,2	398,7	273,4	2,3%
2007	14,1	392,0	251,2	3,6%
2008	43,5	518,0	328,3	8,4%
2009	126,9	424,7	206,5	29,9%
2010	203,6	668,7	310,2	30,4%
2011	30,7	369,2	228,0	8,3%
2012	57,8	397,7	246,8	14,5%
2013	52,8	496,4	312,7	10,6%
2014	110,6	471,8	246,3	23,4%
2015	9,3	325,4	209,4	2,9%
2016	17,7	410,6	273,1	4,3%
2017	0,0	254,6	147,7	0,0%
2018	78,7	542,9	311,0	14,5%
2019	14,1	349,2	239,8	4,0%
2020	2,2	30,6	23,6	7,2%
Promedio	**61,5**	**434,8**	**258,4**	**12%**
hm³/año	**209,0**	**1477,8**	**878,2**	

Tabla 15. Recarga, precipitación y escorrentía (mm/año) en el ámbito de la estación de Alberca del Záncara.

Alberca del Záncara				
Año	Recarga (mm/año)	Lluvia (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Porcentaje recarga
1996	316,7	895,3	393,1	35,4%

Alberca del Záncara				
Año	Recarga (mm/año)	Lluvia (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Porcentaje recarga
1997	257,1	620,7	205,3	41,4%
1998	13,8	385,5	249,7	3,6%
1999	0,0	342,9	225,8	0,0%
2000	37,3	435,7	251,9	8,6%
2001	46,0	375,9	197,9	12,2%
2002	40,5	503,8	318,1	8,0%
2003	63,3	487,8	305,6	13,0%
2004	76,0	499,4	295,9	15,2%
2005	0,0	242,1	153,7	0,0%
2006	54,8	468,2	280,9	11,7%
2007	31,8	436,3	274,8	7,3%
2008	22,9	454,7	296,2	5,0%
2009	136,1	422,1	179,9	32,2%
2010	214,5	640,3	278,8	33,5%
2011	23,4	353,2	215,4	6,6%
2012	59,4	396,4	253,4	15,0%
2013	54,9	350,2	191,3	15,7%
2014	90,6	405,5	196,6	22,3%
2015	16,0	274,3	153,1	5,8%
2016	19,2	421,5	280,3	4,6%
2017	0,0	213,6	128,5	0,0%
2018	74,0	474,2	266,7	15,6%
2019	20,9	308,6	207,0	6,8%
2020	0,0	9,4	5,3	0,0%
Promedio	**66,8**	**416,7**	**232,2**	**13%**
hm^3/año	**327,4**	**2042,2**	**1138,0**	

Tabla 16. Recarga, precipitación y escorrentía (mm/año) en el ámbito de la estación San Clemente.

San Clemente				
Año	Recarga (mm/año)	Lluvia (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Porcentaje recarga
1996	150,2	588,0	313,1	25,5%
1997	224,7	602,6	219,0	37,3%
1998	33,5	436,9	284,2	7,7%
1999	0,0	351,6	232,2	0,0%
2000	0,0	358,8	210,5	0,0%
2001	19,1	383,1	242,0	5,0%

San Clemente				
Año	Recarga (mm/año)	Lluvia (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Porcentaje recarga
2002	25,3	482,9	324,3	5,2%
2003	47,3	491,5	319,7	9,6%
2004	41,4	505,6	339,8	8,2%
2005	0,0	213,0	117,9	0,0%
2006	24,7	457,4	296,6	5,4%
2007	11,1	443,2	307,3	2,5%
2008	17,8	469,5	317,7	3,8%
2009	138,1	436,1	193,8	31,7%
2010	172,9	603,5	290,7	28,6%
2011	32,0	332,7	211,7	9,6%
2012	60,1	404,5	254,3	14,9%
2013	62,3	450,1	261,2	13,8%
2014	98,1	408,1	186,9	24,0%
2015	7,5	279,4	168,6	2,7%
2016	1,7	373,6	247,6	0,5%
2017	0,0	295,7	211,9	0,0%
2018	35,2	415,2	262,9	8,5%
2019	11,6	323,3	228,5	3,6%
2020	21,5	44,6	18,6	48,2%
Promedio	**49,4**	**406,0**	**242,4**	**12%**
hm^3/año	**272,2**	**2237,2**	**1335,7**	

Tabla 17. Recarga, precipitación y escorrentía (mm/año) en el ámbito de la estación Almarcha.

Almarcha				
Año	Recarga (mm/año)	Lluvia (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Porcentaje recarga
1996	353,0	1036,7	451,3	34,1%
1997	308,3	631,8	191,5	48,8%
1998	57,3	403,0	254,9	14,2%
1999	0,0	378,8	158,3	0,0%
2000	33,3	388,3	229,0	8,6%
2001	65,8	388,5	212,4	16,9%
2002	49,0	556,5	386,3	8,8%
2003	97,0	567,1	314,9	17,1%
2004	81,3	502,2	297,0	16,2%
2005	3,2	276,7	176,9	1,2%
2006	84,7	401,5	216,8	21,1%

Almarcha				
Año	Recarga (mm/año)	Lluvia (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Porcentaje recarga
2007	33,6	425,1	293,6	7,9%
2008	73,3	545,3	296,0	13,4%
2009	183,1	453,0	199,7	40,4%
2010	262,9	733,1	275,7	35,9%
2011	50,3	416,0	306,7	12,1%
2012	90,7	393,3	220,8	23,1%
2013	119,8	575,5	305,2	20,8%
2014	142,2	443,1	177,3	32,1%
2015	30,0	298,3	223,5	10,1%
2016	21,0	428,4	243,6	4,9%
2017	0,0	232,0	168,9	0,0%
2018	91,8	535,9	267,2	17,1%
2019	30,9	322,8	206,6	9,6%
2020	0,0	22,7	98,6	0,0%
Promedio	**90,5**	**454,2**	**246,9**	**17%**
hm³/año	**152,1**	**763,3**	**414,9**	

Tabla 18. Recarga, precipitación y escorrentía (mm/año) en el ámbito de la estación Sisante.

Sisante				
Año	Recarga (mm/año)	Lluvia (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Porcentaje recarga
1996	183,6	668,7	333,7	27,5%
1997	215,4	559,8	212,3	38,5%
1998	29,8	331,6	186,5	9,0%
1999	0,0	301,9	187,5	0,0%
2000	1,7	330,1	204,5	0,5%
2001	14,2	352,1	229,1	4,0%
2002	61,7	584,6	382,9	10,6%
2003	128,9	594,9	353,5	21,7%
2004	78,9	611,7	416,9	12,9%
2005	0,0	247,1	158,3	0,0%
2006	53,4	499,5	316,7	10,7%
2007	29,7	499,5	347,3	5,9%
2008	61,0	556,6	358,4	11,0%
2009	174,4	470,4	198,2	37,1%
2010	298,8	758,8	293,3	39,4%
2011	83,8	448,2	263,9	18,7%

Sisante				
Año	Recarga (mm/año)	Lluvia (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Porcentaje recarga
2012	64,2	477,0	331,5	13,5%
2013	64,8	546,0	339,2	11,9%
2014	95,0	421,4	208,1	22,5%
2015	17,0	305,2	178,9	5,6%
2016	9,5	368,5	235,6	2,6%
2017	0,0	281,1	177,1	0,0%
2018	55,8	517,1	302,1	10,8%
2019	3,4	364,8	256,9	0,9%
2020	20,8	47,2	20,8	44,1%
Promedio	**69,8**	**445,8**	**259,7**	**14%**
hm^3/año	**364,9**	**2330,8**	**1357,8**	

Tabla 19. Recarga, precipitación y escorrentía (mm/año) en el ámbito de la estación Almarcha molinillo.

Almarcha molinillo				
Año	Recarga (mm/año)	Lluvia (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Porcentaje recarga
1996	128,7	650,2	343,3	19,8%
1997	207,1	669,7	326,0	30,9%
1998	47,5	406,1	208,4	11,7%
1999	0,0	394,6	252,5	0,0%
2000	21,4	383,8	239,4	5,6%
2001	58,6	403,0	230,1	14,5%
2002	39,8	571,8	393,8	7,0%
2003	79,6	563,5	336,5	14,1%
2004	2,7	531,1	402,4	0,5%
2005	0,0	280,8	201,1	0,0%
2006	28,0	420,2	273,5	6,7%
2007	0,0	413,9	290,4	0,0%
2008	31,9	556,1	372,4	5,7%
2009	123,0	472,3	256,9	26,0%
2010	201,0	732,8	369,8	27,4%
2011	17,9	411,3	284,8	4,4%
2012	48,8	402,0	264,6	12,1%
2013	74,9	577,5	355,5	13,0%
2014	85,4	453,8	253,5	18,8%
2015	14,7	313,5	189,7	4,7%
2016	15,0	425,5	293,1	3,5%

Almarcha molinillo				
Año	Recarga (mm/año)	Lluvia (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Porcentaje recarga
2017	0,0	241,6	136,9	0,0%
2018	49,2	552,4	347,3	8,9%
2019	4,6	334,6	234,3	1,4%
2020	0,0	25,8	21,0	0,0%
Promedio	**51,2**	**447,5**	**275,1**	**9%**
hm³/año	**24,4**	**213,6**	**131,3**	

Tabla 20. Recarga, precipitación y escorrentía (mm/año) en el ámbito de la estación Villarrobledo.

Villarrobledo				
Año	Recarga (mm/año)	Lluvia (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Porcentaje recarga
1996	169,5	686,3	346,1	24,7%
1997	174,3	534,0	215,0	32,6%
1998	21,4	365,7	236,6	5,9%
1999	0,0	359,2	235,5	0,0%
2000	0,0	330,7	178,1	0,0%
2001	17,8	366,9	224,0	4,9%
2002	20,5	420,6	273,1	4,9%
2003	12,1	407,0	269,7	3,0%
2004	62,6	489,9	312,4	12,8%
2005	0,0	166,7	77,6	0,0%
2006	29,6	434,4	274,1	6,8%
2007	1,1	356,6	247,4	0,3%
2008	37,7	460,1	292,0	8,2%
2009	141,3	429,2	191,5	32,9%
2010	247,6	741,6	341,2	33,4%
2011	23,4	339,0	209,4	6,9%
2012	92,2	444,2	247,8	20,8%
2013	115,1	565,5	311,4	20,4%
2014	67,2	348,1	173,0	19,3%
2015	0,0	228,7	138,1	0,0%
2016	9,5	366,6	226,2	2,6%
2017	0,0	239,8	159,0	0,0%
2018	53,6	476,6	296,8	11,2%
2019	28,8	337,6	225,8	8,5%
2020	18,5	46,8	23,8	39,5%

Promedio	**53,8**	**397,7**	**229,0**	**12%**
hm³/año	**259,1**	**1915,6**	**1103,0**	

Tabla 21. Recarga, precipitación y escorrentía (mm/año) en el ámbito de la estación Munera.

Munera				
Año	Recarga (mm/año)	Lluvia (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Porcentaje recarga
1996	170,7	686,3	344,9	24,9%
1997	181,0	534,0	208,3	33,9%
1998	21,4	365,7	236,6	5,9%
1999	0,0	359,2	235,5	0,0%
2000	0,0	330,7	178,1	0,0%
2001	17,8	366,9	224,0	4,9%
2002	23,7	420,6	269,9	5,6%
2003	12,1	407,0	269,7	3,0%
2004	68,3	489,9	306,7	13,9%
2005	0,0	166,7	77,6	0,0%
2006	29,6	434,4	274,1	6,8%
2007	1,1	356,6	247,4	0,3%
2008	37,7	460,1	292,0	8,2%
2009	145,3	429,2	187,5	33,9%
2010	251,6	741,6	337,2	33,9%
2011	23,4	339,0	209,4	6,9%
2012	92,2	444,2	247,8	20,8%
2013	122,3	565,5	304,2	21,6%
2014	69,0	348,1	171,2	19,8%
2015	0,0	228,7	138,1	0,0%
2016	9,5	366,6	226,2	2,6%
2017	0,0	239,8	159,0	0,0%
2018	53,6	476,6	296,8	11,2%
2019	32,8	337,6	221,8	9,7%
2020	18,5	46,8	23,8	39,5%
Promedio	**55,3**	**397,7**	**227,5**	**12%**
hm³/año	**347,1**	**2496,3**	**1428,0**	

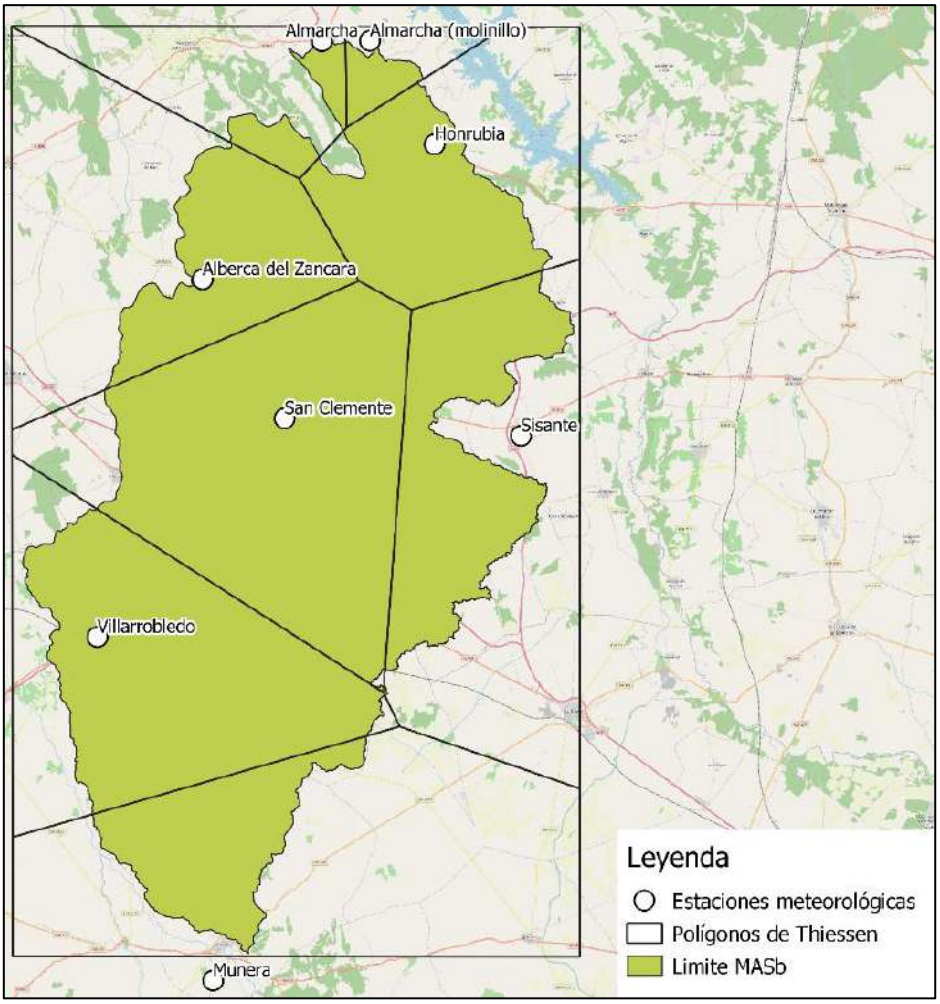


Figura 51. Estaciones meteorológicas y áreas de influencia de las tasas de recarga. Elaboración propia.

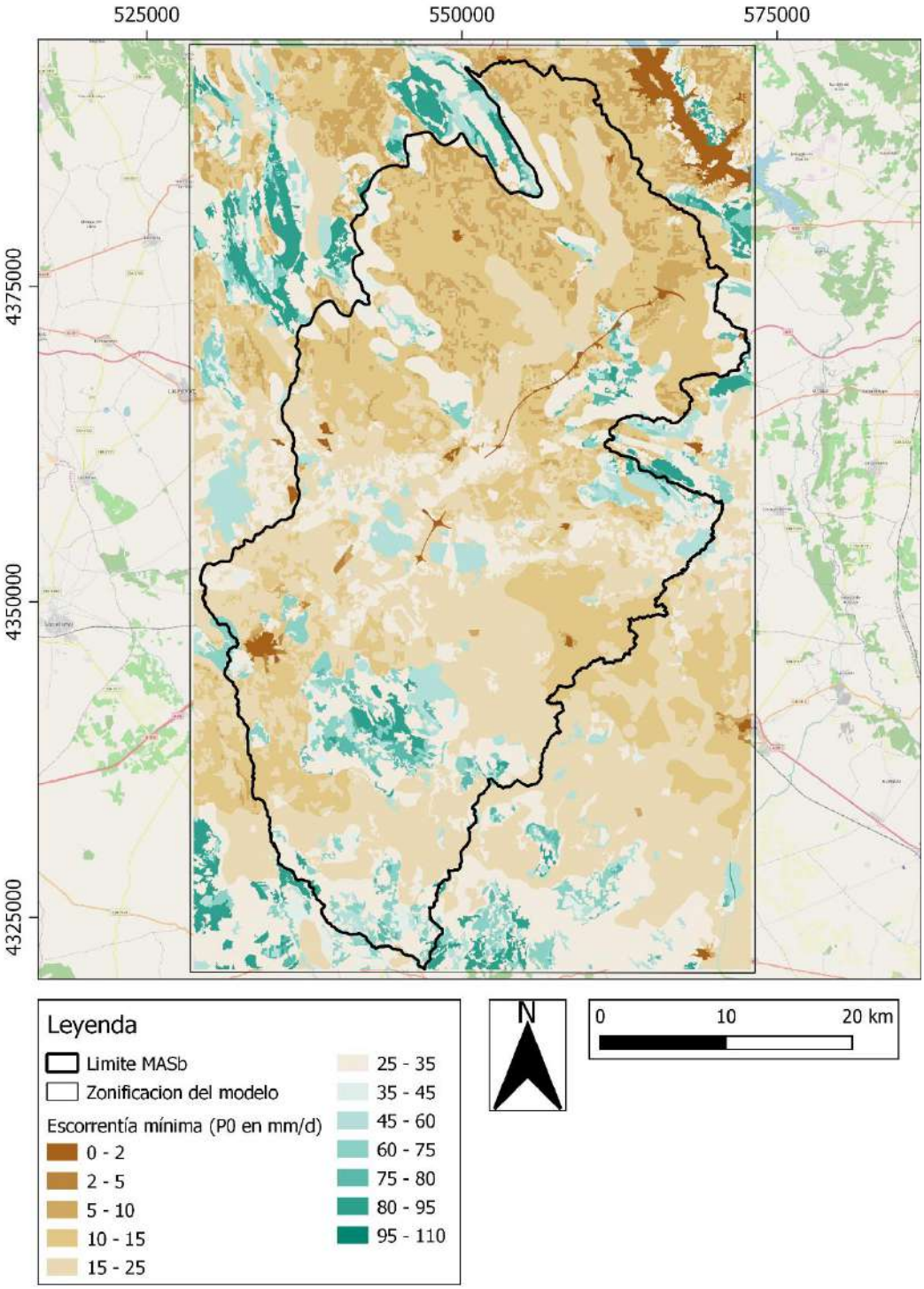


Figura 52. Zonificación obtenida del umbral de escorrentía (Po) en la MASb Rus-Valdelobos. Elaboración propia.

3.3.2. Caudales y regulación superficial

La prolongación de la simulación de los modelos Sacramento hasta diciembre de 2016 no sólo permitió calcular las recargas sino también los hidrogramas totales (agua superficial y caudal de base) en los tramos de cabecera de los ríos y los parciales en los tramos internos situados en la zona simulada (aportaciones superficiales parciales). Estos valores se incorporaron al módulo Stream del programa de simulación MODFLOW.

En los tramos de cabecera de aplica la aportación total, puesto que es el agua que entra al sistema simulado. En los tramos de aguas abajo se aplica la aportación parcial superficial, porque la subterránea —resultado de la conexión con el acuífero— la simula MODFLOW.

La Figura 53 representa el caudal total aguas arriba del embalse de Peñarroya y la Figura 54 caudal superficial en cabecera aguas arriba de Peñarroya.

Figura 53. Caudal total aguas arriba del embalse de Peñarroya

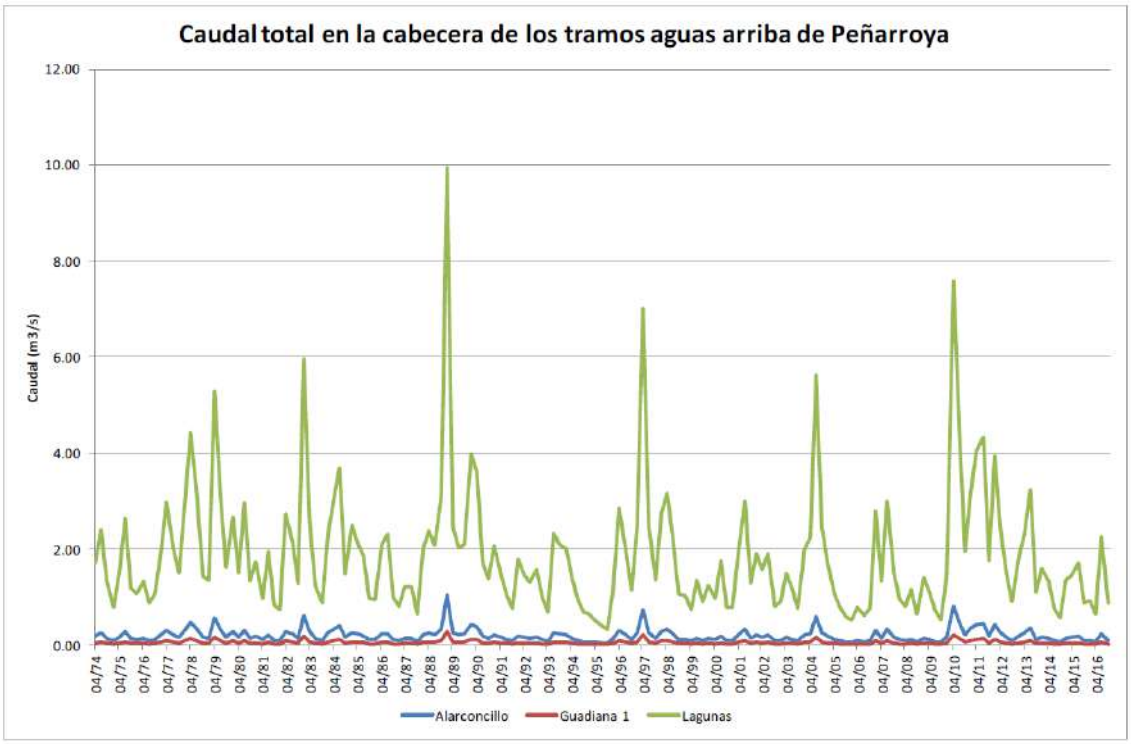
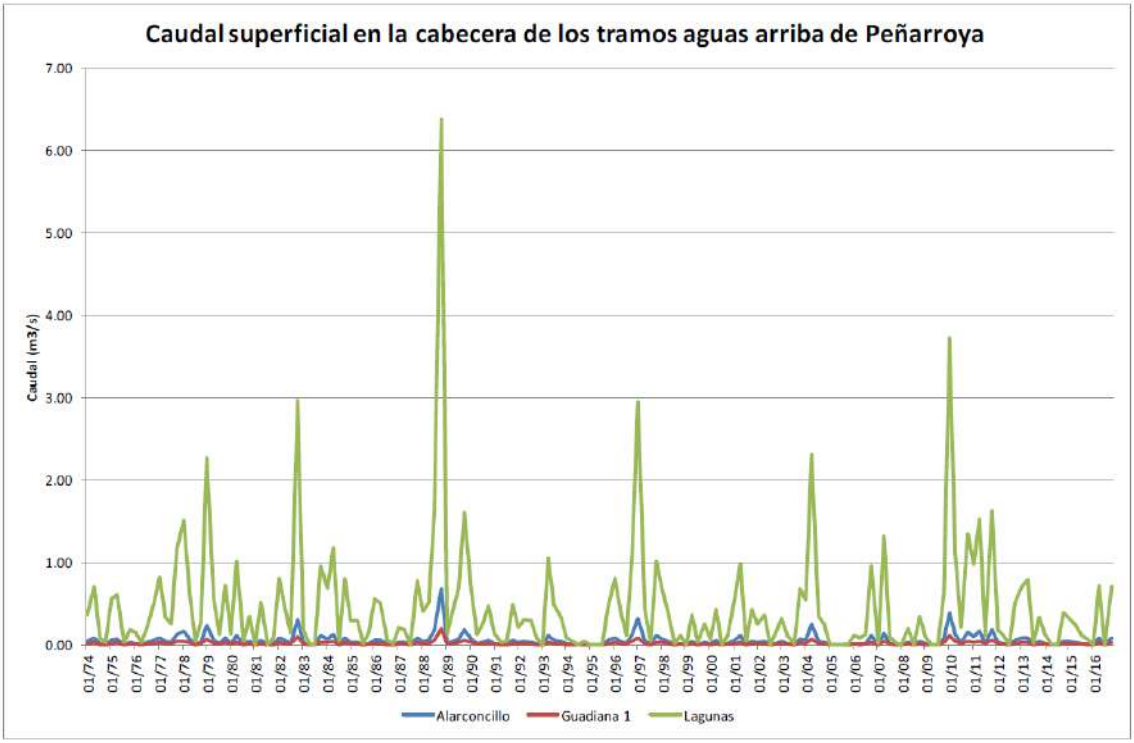


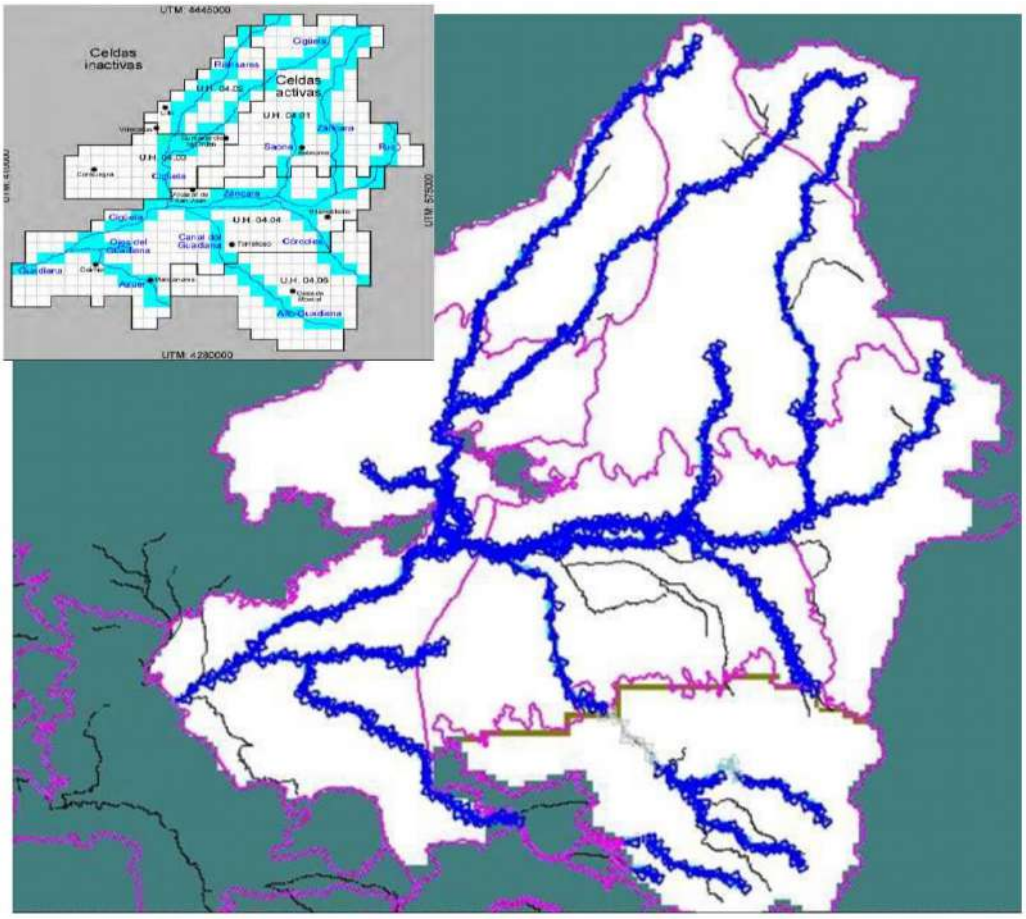
Figura 54. Caudal superficial en cabecera aguas arriba de Peñarroya



Los tramos fluviales y las zonas húmedas se simulan desde la versión inicial de FLUSAG I (2008) mediante el módulo Stream del programa de simulación Modflow. La aplicación de los hidrogramas obtenidos se hace de forma diferente según el tramo al que se asignan. En primer lugar, se definen los tramos de río que representan los cauces que pueden afectar significativamente al flujo subterráneo por tener un caudal suficiente y una conexión con el acuífero. En el modelo original se simularon 35 tramos que no se han modificado en las sucesivas revisiones.

La aplicación de los hidrogramas obtenidos se hace de forma diferente según el tramo al que se asignan. En las cabeceras de los tramos iniciales – puntos donde el río entra en la zona modelada -, hay que dar el hidrograma completo, que es el volumen de agua susceptible de infiltración que llega al acuífero desde el exterior. Sin embargo, en las cabeceras de tramos de aguas abajo, sólo hay que dar la componente superficial y parcial de su hidrograma, ya que el flujo de base, que es caudal cedido por el río al acuífero, lo simula el modelo de flujo, y, por otra parte, sólo hay que añadir la escorrentía generada en la cuenca parcial. En la Figura 55 se detalla los tramos de río donde se simula la conexión río-acuífero, que son más numerosos que los supuestos en el modelo GRAPES1.

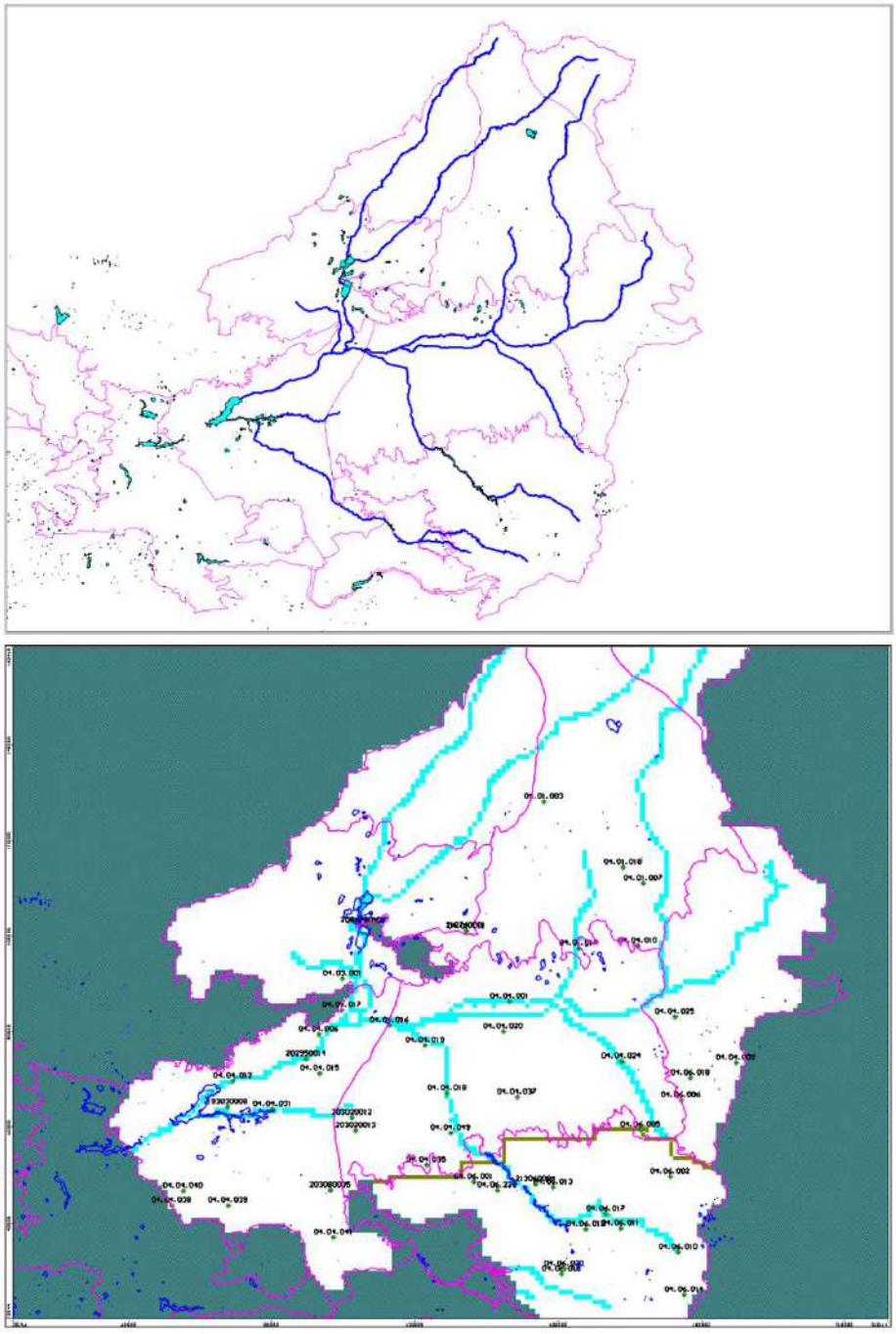
Figura 55. Tramos de río del modelo actual (Tragsatec, 2017) y en el modelo Grapes (ventana).



Las zonas húmedas se trataron de forma diferente según su situación. En los casos en que están en tramos de río, se simulan mediante el módulo Stream,

con contacto hidráulico entre el río y el acuífero y considerando la superficie de contacto. En los otros casos, se aplica la evapotranspiración de lámina libre que se produce cuando el nivel alcanza la cota del terreno (Figura 56).

Figura 56. Ríos y zonas húmedas representadas en el modelo: situación (arriba) y aplicación al modelo (abajo).



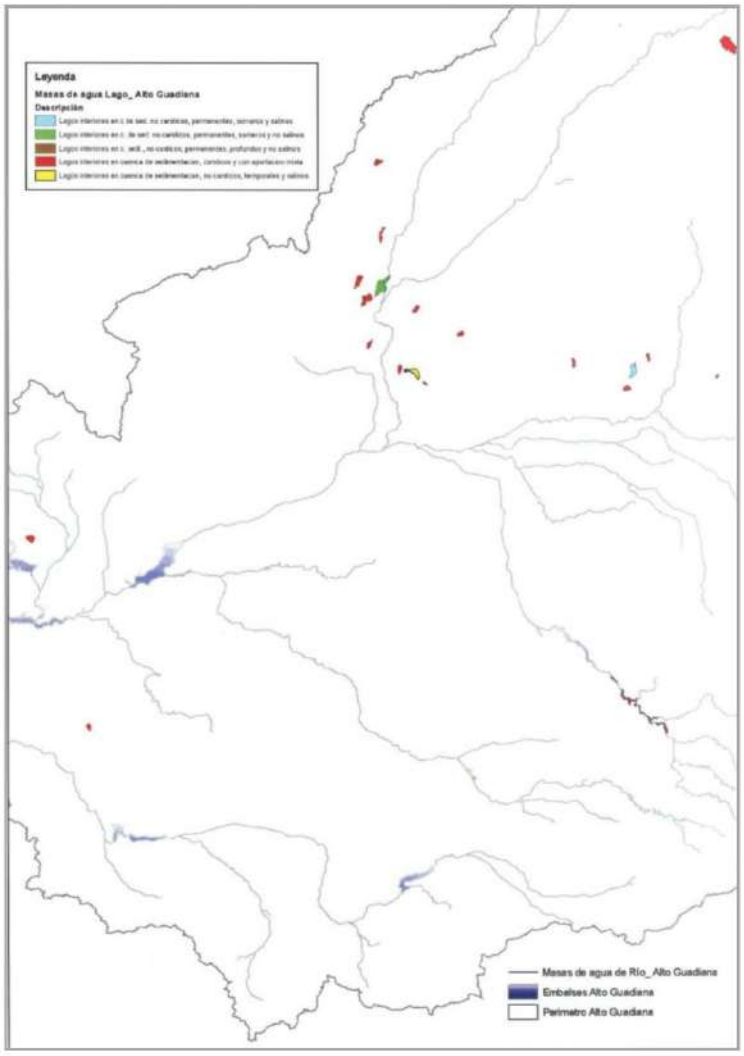
Por otra parte, en lo que respecta a las lagunas consideradas en el modelo en el Alto Guadiana, la Figura 57 recoge los distintos tipos de masas de agua de la categoría “lagos” en el ámbito del alto Guadiana, tal como fueron recogidas en la “Definición del ámbito territorial del Plan Especial del Alto Guadiana”.

Esta información no difiere en gran medida de la considerada por la CHG en su cobertura SIG de “embalses, lagunas y charcas”. Sobre la base de esta información, en el modelo se han supuesto dos zonas, una para evapotranspiración normal, que se extiende a toda la capa superior y otra para las áreas con evaporación en lámina libre, que corresponden a los embalses, lagunas y charcas.

Los valores supuestos para los dos tipos de evaporación son los siguientes: la evapotranspiración es de 1.000 mm/a distribuidos en el 10% de octubre a marzo, el 35% de abril a junio y el 45% de julio a septiembre, con 2 m de profundidad de extinción. La evaporación en lámina libre es de 1.250 mm/a, con la misma distribución mensual.

En lo que respecta a otras zonas húmedas o que en algún momento se han considerado como palustres, el techo de la capa superior se supuso igual a las cotas obtenidas del modelo digital del terreno, que constituyen la referencia para estimar la evapotranspiración en cada intervalo. No se considera, por tanto, con el modelo actual, que en esas celdas haya lámina de agua aunque, dado que todas ellas se sitúan en zonas de celdas de río, el excedente de agua no evapotranspirada será cedido a la celda de río.

Figura 57. Masas de agua "lago" en el PEAG



3.3.3. Extracciones de agua subterránea

Los caudales extraídos en cada celda e intervalo de tiempo son un dato de partida del modelo, por lo que la actualización requirió de la recopilación y elaboración de las estimaciones de extracción existentes. Por una parte, se calcularon las extracciones de regadío y por otra las de abastecimiento que incluyen otros usos (industria y ganadería). La serie temporal completa del modelo abarca el periodo 1974-2016, permaneciendo los datos 1974-2005 e incorporando en esta actualización los correspondientes al periodo 2006-2016.

Extracciones por regadío

La información base se extrajo de las estadísticas oficiales anuales denominadas Superficies y tipo de cultivos por términos municipales. Hojas 1TM del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA SUBDIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICA). Para ello, se contó con el periodo de dato 2006 a 2014, siendo necesario para los años 2015 y 2016 el uso datos resultantes de 2014 debido a que las estadísticas no estaban disponibles a la fecha de realización de la actividad de recalibración del modelo (marzo-julio de 2017).

A las superficies regadas distribuidas por año, términos municipales, tipo de cultivo y masa de agua subterránea se aplicaron las dotaciones de cada tipo de cultivo y año según el SIAR (Servicio de Asesoramiento al Regante de la Junta de Castilla-La Mancha), obteniéndose finalmente los volúmenes aplicados en cada municipio y para cada año.

Para comprobar la validez de resultados, se realizó un contraste mediante la comparación con datos de extracciones resultantes de estudios de teledetección estableciendo, a modo de conclusión, un factor de ajuste con reducción general del 20% en cada masa de agua subterránea.

La Tabla 22 contiene los volúmenes de extracciones del regadío de los periodos anuales 2006-2016 y en cada MASb sin el factor de ajuste final, y que se evaluó en el proceso de calibración teniendo como objetivo un rango medio de reducción máxima del 20% para todo el periodo. Estos volúmenes tienen la consideración de datos brutos a los que se descontó un factor global del 13% debido al proceso de infiltración en el terreno de las superficies de regadíos debido al fenómeno del retorno hacia los acuíferos.

Tabla 22. Extracciones brutas de regadío aplicadas en la actualización del modelo de flujo (hm3/año).

MASb	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015*	2016*
Campo de Montiel	16.5	16.3	17.9	20.3	21.9	24	26.5	23.3	27.1	27.1	27.1
Consuegra-Villacañas	38.9	24.3	25.7	39.5	29.4	30.8	29.6	27	26.7	26.7	26.7
La Obispalía	2	2.2	1.8	1.9	1.8	1.7	1.4	1.2	1.6	1.6	1.6
Lillo-Quintanar	17.2	8	9.1	16.4	11.3	11.8	11	10.7	10.7	10.7	10.7
Mancha Occidental I	138	140.1	145.9	148.4	154.1	143.8	150	132.8	148.6	148.6	148.6
Mancha Occidental II	111.5	116	119	132.1	123.4	146.6	138.1	127.6	138.4	138.4	138.4
Rus-Valdelobos	41.8	50.6	53.3	55.8	44.7	59.9	59	57.5	61.1	61.1	61.1
Sierra de Altomira	37	27.3	24.8	45.6	33.2	33.6	33.1	31.7	31.6	31.6	31.6
Total	402.9	384.8	397.5	460	419.8	452.2	448.7	411.8	445.8	445.8	445.8

* Los resultados del año 2013 se extrapolan para los años 2014, 2015 y 2016 debido a la no disponibilidad de datos oficiales.

Extracciones de abastecimiento y otros usos

Los datos de los usos de abastecimiento e industria han sido obtenidos para cada MASb a partir de los datos recogidos en el PH 2015-2021. La Tabla 23 contiene los volúmenes de extracciones para abastecimiento y otros usos de los periodos anuales 2006-2016 y en cada MASb. Estos volúmenes tienen la consideración de datos brutos a los que se descontará un factor global del 13% debido al proceso de infiltración en el terreno debido al fenómeno del retorno hacia los acuíferos.

Tabla 23. Extracciones brutas de abastecimiento y otros usos aplicados en la actualización del modelo de flujo (hm3/año).

MASb	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Campo de Montiel	1.5	1.5	1.5	0.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Consuegra-Villacañas	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
La Obispalía	0.4	0.4	0.4	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Lillo-Quintanar	0.7	2.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Mancha Occidental I	6.7	6.3	6.9	6.9	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Mancha Occidental II	11.0	11.6	11.5	11.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Rus-Valdelobos	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Sierra de Altomira	0.3	0.3	0.3	0.3	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Total	**23.4**	**25.5**	**24.1**	**22.1**	**16.4**	**16.4**	**16.4**	**16.4**	**16.4**	**16.4**	**16.4**

Distribución geográfica de las extracciones

La distribución geográfica de las extracciones se realizó a partir de la localización de pozos del inventario de ALBERCA 2012 proporcionado por la Comisaría de Aguas y utilizado en el Plan Hidrológico de la cuenca del Guadiana 2015-2021. Se diferenció el uso agricultura respecto al resto de usos, debido a que para agricultura se aplica un régimen temporal de aplicación variable a lo largo de año (en primavera y verano se riega más que el resto del año), y para el resto de los usos el régimen es constante (asimilable al abastecimiento).

El inventario de puntos de extracción inicial representó más de 80 mil puntos de uso, por lo que se realizaron dos (2) procesos de simplificación estadística de tipo geográfico:

- La primera reducción se realizó mediante la asignación del uso preferente de riego cuando existía más de un uso asociado a la captación. No obstante, con esta primera simplificación se mantuvieron más de 35 mil puntos de extracción.
- El segundo procedimiento de reducción estadístico-geográfico consistió en totalizar todos los puntos de extracción de un entorno en un solo punto centrado en la celda asignada. Para ello se siguió la metodología sintetizada en los siguientes puntos:
    1. Generación de dos (2) capas cartográficas, una de uso riego y otra de uso abastecimiento (que incluye otros usos).
    2. Creación de capas ráster de densidad de captaciones. Mediante el uso de herramientas GIS que permiten el cálculo de magnitudes por unidad de área, se realizó la suma de todos los volúmenes de las captaciones que se encuentran dentro de una cuadrícula, dividiendo el resultado por la superficie correspondiente. La Figura 58 muestra los distintos ráster obtenidos con este procedimiento.
    3. Obtención de centroides con volumen acumulado. A partir de las capas ráster anteriores se obtuvo el centroide de los puntos, obteniendo dos capas con todos los centroides de las celdas de 2km*2km con su valor de volumen asociado. Tras los respectivos análisis, se decidió validar el resultado con celdas de 2km x 2km para abastecimiento y con celdas de 1,5 km x 1,5 km para riego (excepto las MASb Mancha Occidental I y II que se validaron con celdas de 1,75 x 1,75 km para riego). De esta forma se obtuvo una capa por cada MASb tipo de uso (un total de 16 capas, Figura 59). Para completar el proceso se calculó el volumen acumulado en cada centroide.

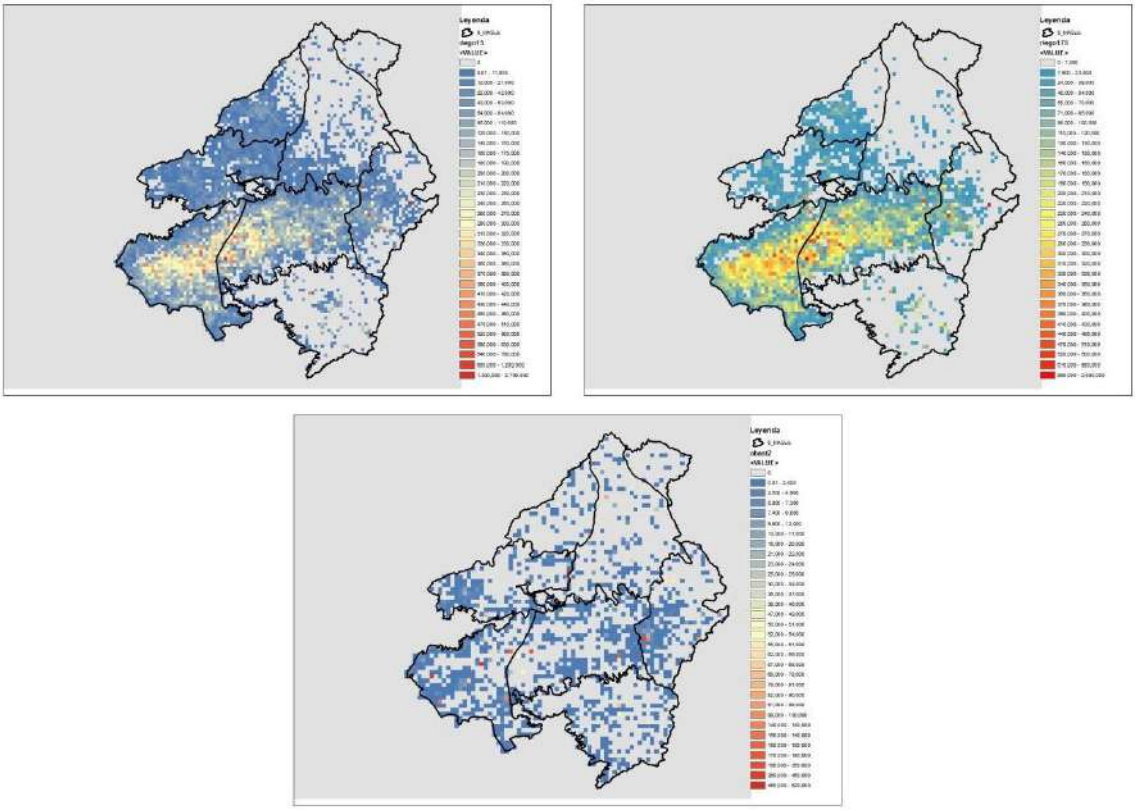


Figura 58. Distintas capas ráster obtenidas con la densidad del volumen de captaciones

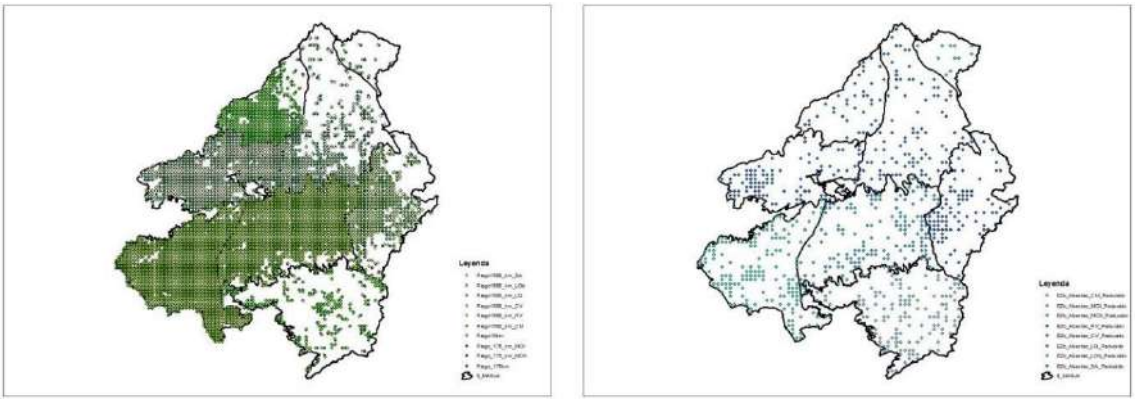


Figura 59. Capas de centroides obtenidas con volumen de captaciones en cada MASb.

Como resultado se obtuvieron 4.446 centroides que representan los puntos de las celdas activas para extracciones del modelo: 3.254 puntos para riego y 1.192 puntos para abastecimiento. Los resultados se resumen en la Figura 60).

		ABASTECIMIENTO Y OTROS ALBERCA. CELDAS 2x2 Km		
MASuB	MASuB	celdas	Volumen Abastec (Hm3/año)	Ptos abastecimiento
CV	CONSUEGRA VILLACAÑAS	2x2 km	3.30	153
Lob	LA OBISPALÍA	2x2 km	0.07	12
LQ	LILLO QUINTANAR	2x2 km	0.57	54
MOI	MANCHA OCCIDENTAL I	2x2 km	7.95	267
MOII	MANCHA OCCIDENTAL II	2x2 km	3.59	254
RV	RUS VALDELOBOS	2x2 km	3.99	156
SA	SIERRA DE ALTOMIRA	2x2 km	3.32	125
CM	CAMPO DE MONTIEL	2x2 km	1.33	171
SUMA			24.12	1192

		RIEGO ALBERCA. CELDAS de 1,5 x 1,5 y 1,75 x 1,75 km		
MASuB	MASuB	celdas	Volumen Riego (Hm3/año)	Ptos riego
CV	CONSUEGRA VILLACAÑAS	1,5x1,5 km	32	609
Lob	LA OBISPALÍA	1,5x1,5 km	1	16
LQ	LILLO QUINTANAR	1,5x1,5 km	16	330
MOI	MANCHA OCCIDENTAL I	1,75x1,75 km	251	636
MOII	MANCHA OCCIDENTAL II	1,75x1,75 km	251	710
RV	RUS VALDELOBOS	1,5x1,5 km	44	378
SA	SIERRA DE ALTOMIRA	1,5x1,5 km	16	399
CM	CAMPO DE MONTIEL	1,5x1,5 km	17	176
SUMA			627.59	3254

TOTAL PUNTOS	4446

Figura 60. Resumen de los resultados para cada MASb y tipo de uso.

Teniendo en cuenta que para el modelo de flujo, por limitaciones de la memoria del programa derivadas del número de filas, columnas y capas utilizadas, no es posible utilizar más de 4035 puntos en cada trimestre (resultando 16140 por año, debido al paso trimestral de tiempo), y que para las MASb Mancha Occidental II, Rus-Valdelobos y Sierra de Altomira existen dos capas acuíferas que obligan a duplicar los registros para obtener bombeos diferenciados (Capas 1 y 3 del modelo), y por otra parte se cuenta con 76 puntos de extracción adicionales para la simular el flujo hacia Mancha Oriental; se hace necesario un ajuste final en el número de puntos de extracción. El criterio aplicado consistió en reducir las captaciones de abastecimiento y de riego que presenten menor volumen de extracción en cada MASb. Para ello, se aplicó el factor de reducción mostrado en la Figura 61.

Como se puede apreciar, las MASb Sierra de Altomira (SA) y campo de Montiel (CM) tienen un factor de reducción que obedece a la dispersión de los puntos de extracción en la superficie de la masa. El resultado final de los puntos a introducir en el modelo FLUSAG, teniendo en cuenta la duplicidad de los puntos de riego en las 3 MASb con dos capas acuíferas (Mancha Occidental II, Rus Valdelobos y Sierra de Altomira) es de 3731 puntos. Se debe señalar que al total obtenido se añadirían los 76 correspondientes a la zona Júcar, lo que hacen un total de 3937 puntos por trimestre.

Finalmente, mediante un procesado de Gis se agruparon las capas de cada MASb en una sola capa identificando en la tabla asociada la MASb de procedencia. Se depuraron los puntos que quedaban fuera de los límites del modelo y se asignaron atributos de término municipal. Al final del este proceso se obtienen 3821 puntos de riego y 769 de abastecimiento. Además, al considerar los 76 puntos de la zona del Júcar, se obtienen un total de **3897** puntos de extracción (ver Figura 62).

		ABASTECIMIENTO Y OTROS ALBERCA. CELDAS 2x2 Km				
MASuB	MASuB	celdas	Volumen Abastec (Hm3/año)	Ptos abastecimiento	Factor de reducción	Ptos Abastec Reducido (E2)
CV	CONSUEGRA VILLACAÑAS	2x2 km	3.30	153	0.60	92
Lob	LA OBISPALÍA	2x2 km	0.07	12	1.00	12
LQ	LILLO QUINTANAR	2x2 km	0.57	54	0.70	38
MOI	MANCHA OCCIDENTAL I	2x2 km	7.95	267	0.60	160
MOII	MANCHA OCCIDENTAL II	2x2 km	3.59	254	0.60	152
RV	RUS VALDELOBOS	2x2 km	3.99	156	0.6	92
SA	SIERRA DE ALTOMIRA	2x2 km	3.32	125	0.80	100
CM	CAMPO DE MONTIEL	2x2 km	1.33	171	0.80	137
SUMA			24.12	1192		783

		RIEGO ALBERCA. CELDAS de 1,5 x 1,5 y 1,75 x 1,75 km				
MASuB	MASuB	celdas	Volumen Riego (Hm3/año)	Ptos riego	Factor de reducción	Ptos riego Reducido (E2)
CV	CONSUEGRA VILLACAÑAS	1,5x1,5 km	32	609	0.60	365
Lob	LA OBISPALÍA	1,5x1,5 km	1	16	1.00	16
LQ	LILLO QUINTANAR	1,5x1,5 km	16	330	0.70	231
MOI	MANCHA OCCIDENTAL I	1,75x1,75 km	251	636	0.60	382
MOII	MANCHA OCCIDENTAL II	1,75x1,75 km	251	710	0.60	426
RV	RUS VALDELOBOS	1,5x1,5 km	44	378	0.60	227
SA	SIERRA DE ALTOMIRA	1,5x1,5 km	16	399	0.80	319
CM	CAMPO DE MONTIEL	1,5x1,5 km	17	176	0.80	140
SUMA			627.59	3254		2106
			TOTAL PUNTOS	4446		2889
			TOTAL PUNTOS con JÚCAR	4522		2965

Figura 61. Factores de reducción para ajuste final de puntos de extracción en las celdas del modelo de flujo.

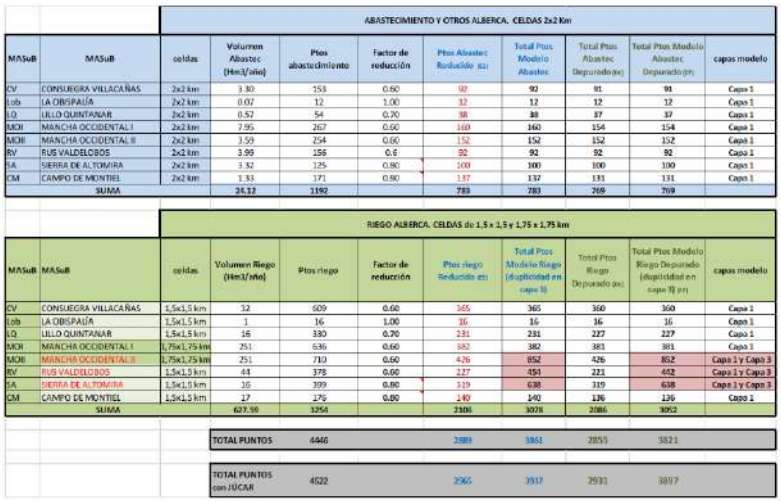


Figura 62. Resumen de los puntos finales en cada MASb para el modelo de flujo.

Asignación de los puntos a las celdas del modelo

Tras el procesado anterior, se relacionó cada punto de extracción con las celdas de fila y columna de la malla del modelo FLUSAG. Para ello, a partir del fichero de la malla del modelo, donde figuran las filas y columnas correspondiente a cada coordenada de las celdas del modelo, se procedió a generar una nueva capa en GIS en la que a cada punto de extracción se le asignó la fila y columna de centroide de la malla más cercano.

Como resultado final de todo el procedimiento descrito se obtuvo una capa GIS con toda la información necesaria en la tabla asociada: coordenadas X o Y del punto de extracción, fila, columna, masa, capa y volumen de ALBERCA. El total corresponde a 2855 puntos de extracción que pertenecen a la capa 1 del modelo, 966 puntos de la capa 3 de riego de las MASb MOII, RV y SA y 76 puntos de la zona del Júcar (Figura 63).

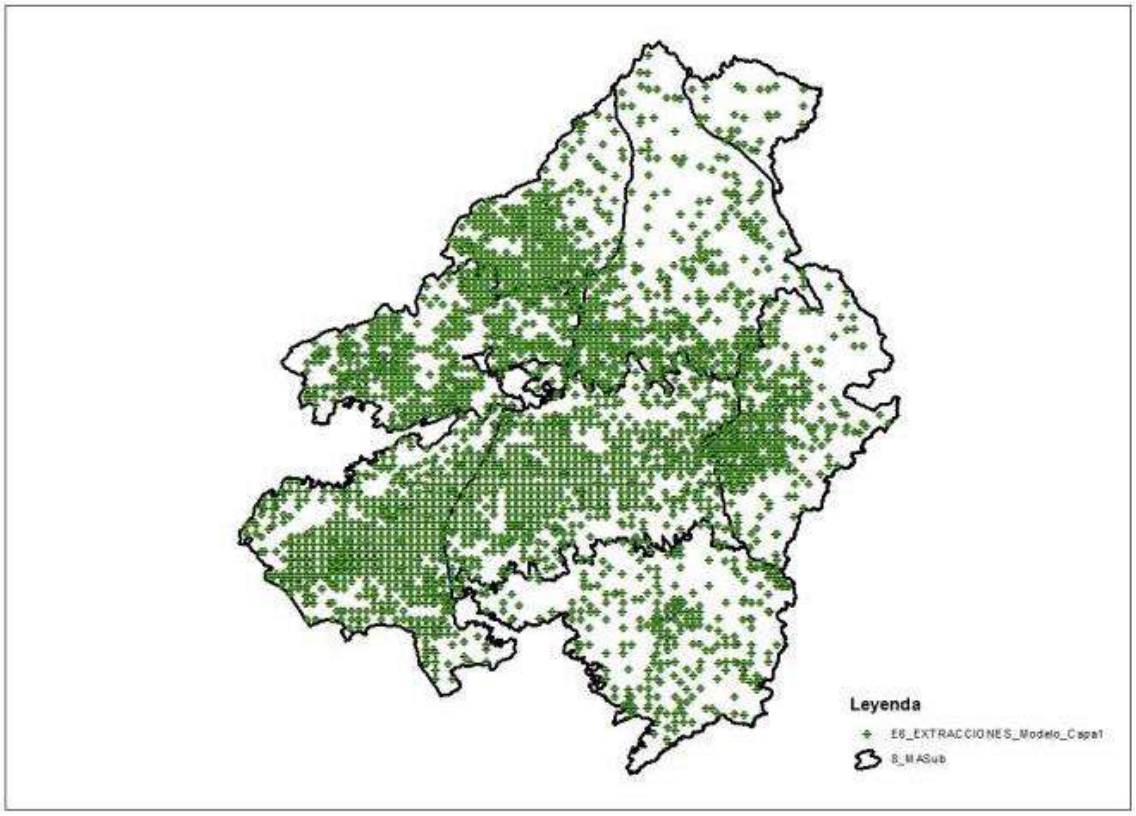


Figura 63. Capa única con la asignación de las celdas del modelo de flujo.

No obstante, tras las comprobaciones finales sobre Modflow fue necesario realizar un ajuste fino de los puntos de extracción debido a que algunos situados en Rus-Valdelobos y límite con Campo de Montiel estaban en zonas de muy poco espesor acuífero, por lo que se decidió no considerarlos. Finalmente, el valor correspondiente tras el ajuste y comprobación final en la calibración asciende a un total de **3807** puntos, de los cuales 3731 corresponden a las MASb y 76 a la zona de Júcar.

Distribución temporal de las extracciones: años y trimestres

La tabla asociada a la capa de extracciones final de gis GIS se exportó a formato Excel para realizar cálculos complementarios. En dicha hoja de cálculo se realizó un proceso que permitió automatizar las extracciones para cada año de la actualización. Se debe señalar que las 3 MASb con dos capas requieren la duplicación de los puntos de extracción.

Además, mediante un factor de ponderación se asignaron las extracciones calculadas a las del procesado con ALBERCA y repartieron en las cuatro partes trimestrales, y teniendo en cuenta el tipo uso del punto (R o A). Los módulos de uso según tipos fueron los utilizados en las versiones anteriores del modelo (Tabla 24).

Tabla 24. Coeficientes de modulación para riego y abastecimiento

Modulación Trimestral	Mod. Riego	Mod. Abast.
Trimestre 1	0.00	0.25
Trimestre 2	0.20	0.25
Trimestre 3	0.75	0.25
Trimestre 4	0.05	0.25

Además, el reparto de las extracciones en función de la capa de extracción sigue el criterio previo del modelo: 80% en capa 1 y el 20 % en capa 3. Para cada año entre 2006 y 2016 se general ficheros tipo Libro Excel que contienen los datos por MASb y completo con las extracciones, y todos los datos necesarios para la construcción del fichero *.well que se carga en el código Modflow.

Revisión y análisis de las extracciones aplicadas al modelo FLUSAG

En base a la metodología resumida en el apartado precedente se han observado las siguientes deficiencias:

- El criterio de reparto de las extracciones en función de la capa de extracción no considera la procedencia real de las extracciones sino que se basa en considerar, de manera genérica, un 80% de extracciones en la capa 1 y un 20 % en capa 3. Este criterio no dota al modelo FLUSAG de herramientas para realizar balances hídricos detallados de cada unidad hidrogeológica, ya que no tiene en cuenta la distribución real de las extracciones en cada una de ellas.
- Si bien la necesidad de reducir puntos de extracción está justificada por las propias necesidades del software de modelamiento, como procedimiento final de reducción se consideró la eliminación de noventa (90) puntos de extracción ubicados en Rus-Valdelobos y límite con Campo de Montiel debido a que se ubican en zonas de muy poco espesor acuífero. No se especifican explícitamente los puntos eliminados por lo que no ha sido posible evaluar la idoneidad de ese procedimiento. Sin embargo, dada las altas propiedades transmisivas de los materiales implicados la eliminación no justificada de puntos de extracción, aun encontrándose en áreas de reducido espesor acuífero, puede influir en gran medida sobre los balances hídricos resultantes.

3.4. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

- La dimensión de las celdas del mallado del Modelo FLUSAG (1 x 1 Km²) es adecuado a fin de facilitar la precisión adecuada a los elementos simulados.
- El límite de las MASb simuladas se adapta a los límites actualmente aceptados de cada una de ellas.
- Dentro de los límites de la MASb Rus-Valdelobos y, en términos generales, las capas de modelamiento no reproducen adecuadamente la distribución de las diferentes secuencias geológicas ya que sus cotas de techo y muro no concuerdan con las interpretaciones geológicas originales.
- Dentro de los límites de la MASb Rus-Valdelobos, las capas interpoladas no simulan el afloramiento en superficie de los materiales carbonatados mesozoicos. Esto tiene importantes implicaciones en el resultado final del modelamiento ya que, en virtud de sus mejores propiedades transmisivas, los afloramientos de materiales carbonatados son importantes vías para la infiltración superficial del agua de lluvia. Por tanto, las tasas de recarga por infiltración de agua de lluvia se verán disminuidas si el modelo FLUSAG simula los materiales carbonatados bajo una secuencia de materiales detríticos de menor permeabilidad.
- Dentro de los límites de la MASb Rus-Valdelobos, la interpolación realizada en el modelo FLUSAG incluye la capa 2 entre los materiales neógenos y mesozoicos incluso en aquellos sectores en los que se ha demostrado que existe un contacto directo entre ellos. Esto afectará de manera importante al balance hídrico calculado por el modelo FLUSAG ya que, al constituir una capa semipermeable, la inclusión de la capa 2 limitará la recarga profunda del acuífero inferior carbonatado.
- El modelo FLUSAG no considera una capa para simular el sustrato triásico. Se considera esto una importante deficiencia del modelo ya que el sustrato triásico constituye un basamento hidrogeológico impermeable que tiene una influencia decisiva sobre el flujo subterráneo.
- Las MASb Campo de Montiel, Sierra de Altomira, La Obispalía, Lillo-Quintanar y Consuegra-Villacañas son modeladas mediante una (1) única capa, lo cual resulta en una representación extremadamente pobre de su realidad hidrogeológica. El grado de conocimiento hidrogeológico actual de dichas MASb justifica un modelamiento más detallo de las mismas en futuras actualizaciones del modelo FLUSAG.
- El método empleado por Tragsatec (2017) para simular la posición de la divisoria hidrogeológica Alto Guadiana-Júcar no reproduce adecuadamente la realidad hidrogeológica al considerarla como un límite móvil e inestable en el tiempo.

- Tragsatec, en su informe Actualización y calibración del modelo de flujo de agua subterránea de los acuíferos del Alto Guadiana (FLUSAG). Ref: TEC0004594, no explica con suficiente detalle la simulación de la divisoria hidrogeológica ya que no muestra su trazado como parte del modelo. Sin embargo, se considera que el método de modelamiento consistente en emplazar celdas de bombeo en el borde Este de la MASb Rus-Valdelobos no conseguirá simular la posición de la divisoria, la cual se ubica a lo largo del borde Oeste de la MASb Rus-Valdelobos.

- La distribución de rangos de permeabilidad y coeficiente de almacenamiento considerada en el modelo FLUSAG resulta en una simplificación excesiva de las condiciones hidrogeológicas de todas las MASb a excepción de Mancha Occidental II, la cual es la única dotada de simulación mediante 3 capas diferenciadas. El resto de MASb comprenden una (1) única capa de simulación.

- En el caso concreto de la MASb Rus-Valdelobos, el modelo FLUSAG no representa adecuadamente la amplia variación espacial de rangos de permeabilidad y coeficiente de almacenamiento.

- El método empleado para el cálculo de series de recarga está basado únicamente en series de precipitación, sin considerar otros parámetros espaciales que tienen una importante influencia sobre ella: la pendiente del terreno y tipo de suelo. En consecuencia, fueron aplicados valores medios de recarga sobre amplias zonas del área de estudio (zona norte, zona centro y zona sur), lo cual imposibilita considerar la distribución espacial real de la recarga. Además se emplea una única estación pluviométrica de referencia para caracterizar la pluviometría del conjunto del Alto Guadiana, lo cual no es representativo debido a la amplia variabilidad climática existente entre sus regiones.

- El método empleado para estimar las tasas de recarga por infiltración de agua de lluvia a aplicar al Modelo FLUSAG subestima de manera importante el potencial de recarga existente en la MASb Rus-Valdelobos, lo cual podría hacerse extensivo al resto de MASb.

- El criterio de reparto de las extracciones en función de la capa de extracción no considera la procedencia real de las extracciones sino que se basa en considerar, de manera genérica, un 80% de extracciones en la capa 1 y un 20 % en capa 3. Este criterio no dota al modelo FLUSAG de herramientas para realizar balances hídricos detallados de cada unidad hidrogeológica, ya que no tiene en cuenta la distribución real de las extracciones en cada una de ellas.

- Si bien la necesidad de reducir puntos de extracción está justificada por las propias necesidades del software de modelamiento, como procedimiento final de reducción se consideró la eliminación de noventa (90) puntos de extracción ubicados en Rus-Valdelobos y límite con Campo de Montiel debido a que se ubican en zonas de muy poco espesor acuífero. No se especifican explícitamente los puntos eliminados por lo

que no ha sido posible evaluar la idoneidad de ese procedimiento. Sin embargo, dada las altas propiedades transmisivas de los materiales implicados la eliminación no justificada de puntos de extracción, aun encontrándose en áreas de reducido espesor acuífero, puede influir en gran medida sobre los balances hídricos resultantes.

- Según se especifica en el PHDHG 2015-2021, Anejo 7, la estimación de usos y demandas del Sistema de Explotación Oriental debe considerar la inclusión de los elementos acuíferos, entendidos como unidades de gestión del recurso subterráneo, de la totalidad del Sistema. Asimismo, el Anejo 6 del PHDHG 2015-2021 especifica que la evaluación de los recursos subterráneos se realizó en base al modelo FLUSAG y sus correspondientes actualizaciones. Sin embargo, la revisión objeto del presente informe permite constatar que la MASb Campo de Calatrava, la cual forma parte del Sistema de Explotación Oriental, no está incluida como parte del modelo FLUSAG, lo cual contradice las disposiciones del PHDHG y resulta en la imposibilidad de realizar una estimación del recurso subterráneo para dicha MASb. Esto se evidencia en las demandas calculadas para los escenarios 2012 y 2021 (apartado 2.5, Tabla 10 y Tabla 11), en las que, en referencia a la MASb Campo de Calatrava, no se cuantifican demandas agrarias.

4. Revisión de la calibración

4.1. Selección de puntos de calibración

Tragsatec (2017) realizó la calibración del modelo empleando un total de ochenta y seis (86) piezómetros distribuidos por el área de estudio tal como se comenta a continuación:

- Treinta y dos (32) piezómetros seleccionados en cada una de las siguientes MASb: Mancha Occidental I, Mancha Occidental II, Campo de Montiel y masas de la zona Norte. Tanto las coordenadas como la posición de dichos piezómetros se muestran en la Figura 64.
- Cincuenta y cuatro (54) piezómetros distribuidos en zonas más reducidas. Tanto las coordenadas como la posición de dichos piezómetros se muestran en la Figura 65.

En la actualización y recalibración realizada por Tragsatec (2017) no se realizó ningún intento de calibración automática empleando el módulo PEST, en parte debido a los resultados negativos obtenidos en versiones anteriores del Modelo FLUSAG, pero fundamentalmente por la dificultad de obtener resultados razonables.

Cabe destacar que tanto la Figura 64 como la Figura 65 incluye la delimitación de las antiguas Unidades Hidrogeológicas (líneas azules de trazo grueso) junto a los límites de las MASb vigentes en la actualidad (líneas verdes de trazo grueso). Tal como se sitúan dentro del área del modelo, los puntos de calibración parecen haber sido distribuidos con la finalidad de cubrir de manera uniforme el área de las antiguas Unidades Hidrogeológicas, en lugar de distribuirse uniformemente sobre las actuales MASb. En consecuencia, esta distribución irregular de puntos de calibración sobre las MASb ha derivado en los siguientes problemas:

- No existen puntos de calibración dentro de los límites de la MASb La Obispalía. Ello impide comprobar si se ha realizado un buen ajuste entre niveles reales y simulados en dicha MASb, generando con ello incertidumbre respecto al su balance hídrico.
- La mitad oriental de la MASb Sierra de Altomira contiene únicamente dos (2) puntos de calibración en su mitad oriental. Dada que al este limita con la cuenca del Júcar, se considera necesario el empleo de más puntos de calibración en ese sector.
- La MASb Lillo-Quintanar contiene dentro de sus límites únicamente un (1) punto de calibración. Dada la extensión de esta MASb, la consideración de un único punto de calibración es claramente insuficiente para valorar la calibración en su conjunto.
- La MASb Consuegra-Villacañas no dispone de puntos de calibración en su mitad occidental, lo cual genera incertidumbre respecto al grado de calibración en dicho límite.

- La mitad oriental de la MASb Rus-Valdelobos contiene únicamente dos (2) puntos de calibración en su mitad oriental. Dadas sus especiales características hidrogeológicas, limitando además con la cuenca del Júcar, se considera necesario el empleo de más puntos de calibración en ese sector.

Figura 64. Piezómetros en zonas generales. Fuente: Tragsatec (2017).

Mancha Occidental I	193030008	203080005	04.04.006	04.04.012	04.04.013	04.04.017	04.04.031	04.04.038
Mancha Occidental II	04.04.001C	04.04.016	04.04.019	04.04.024	04.04.025	04.04.037	04.04.049	04.06.018
Montiel	04.06.001	04.06.002	04.06.011	04.06.013	04.06.014	04.06.017	04.06.018	04.06.020
Norte	04.01.002	04.01.003	04.01.006	04.01.011	04.01.017	04.03.001	04.03.002	04.04.010

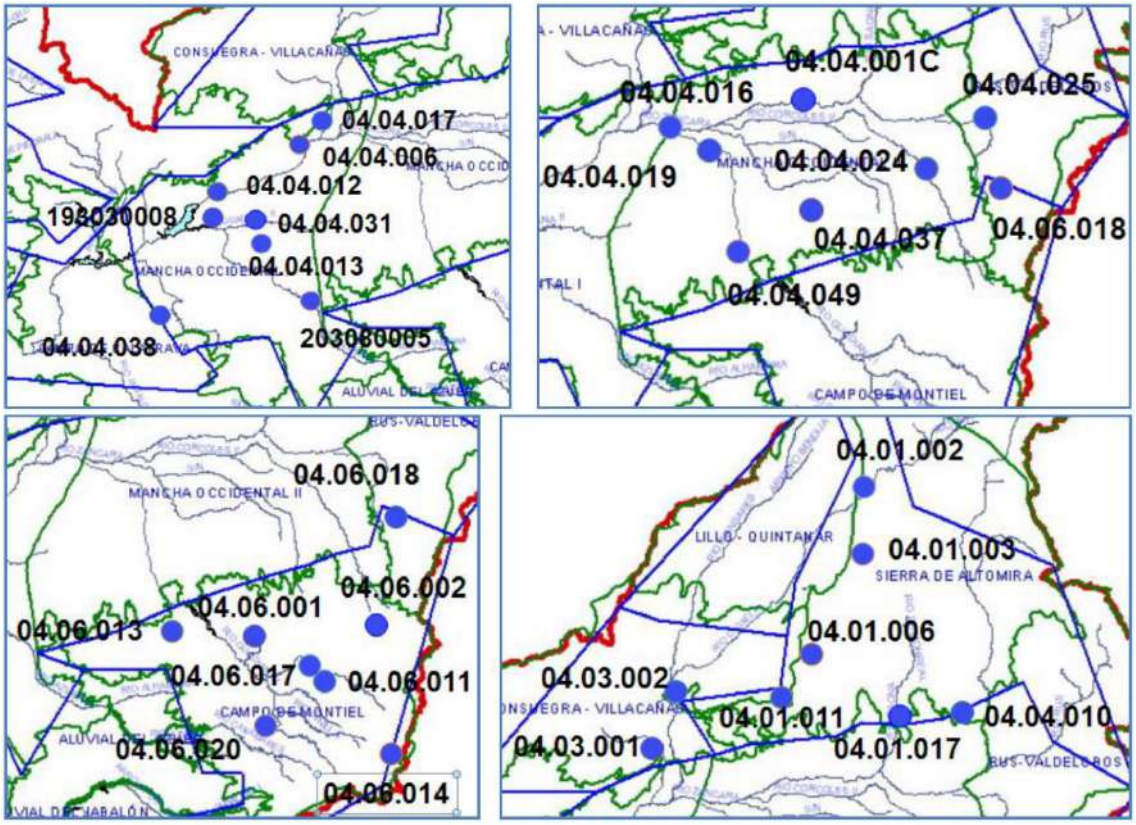
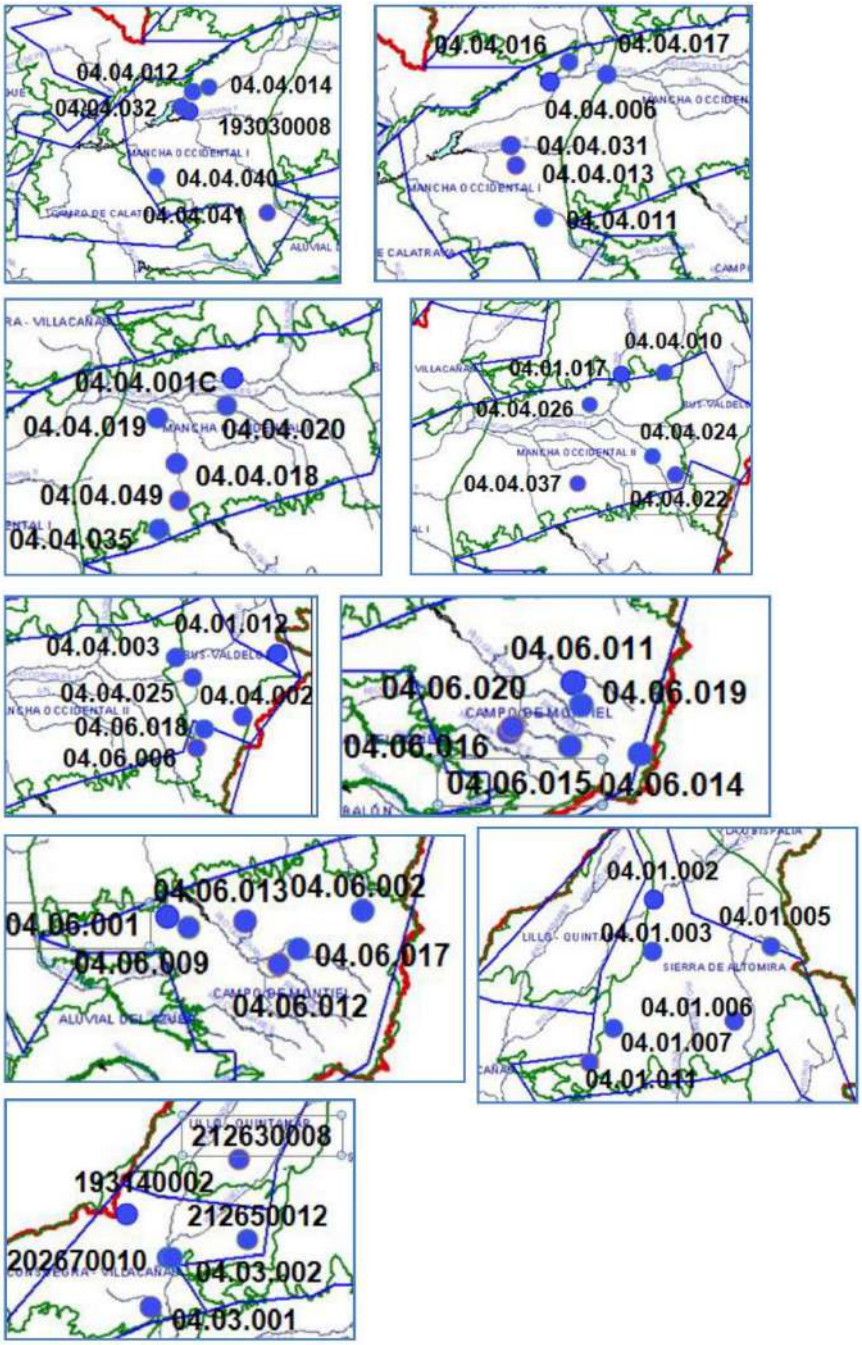


Figura 65. Piezómetros en zonas detalladas. Fuente: Tragsatec (2017).

M. Occidental I - E	193030008	04.04.012	04.04.014	04.04.032	04.04.040	04.04.041
M. Occidental I - W	04.04.006	04.04.016	04.04.017	04.04.031	04.04.011	04.04.013
M. Occidental II - E	04.01.017	04.04.010	04.04.026	04.04.022	04.04.024	04.04.037
M. Occidental II - W	04.04.001C	04.04.019	04.04.020	04.04.018	04.04.035	04.04.049
Rus - Valdelobos	04.01.012	04.04.003	04.04.025	04.04.002	04.06.018	04.06.006
Montiel Norte	04.06.001	04.06.002	04.06.009	04.06.013	04.06.017	04.06.012
Montiel Sur	04.06.011	04.06.014	04.06.015	04.06.016	04.06.019	04.06.020
Altomira	04.01.002	04.01.003	04.01.005	04.01.007	04.01.006	04.01.011
Consuegra - Lillo	193140002	202670010	212650012	04.03.001	04.03.002	212630008



4.2. Simulación en régimen permanente

El periodo de calibración del modelo comienza en enero de 1974, al igual que la versión antigua de FLUSAG. Para realizar las simulaciones deseadas del nuevo periodo de calibración que va desde enero 1974 hasta diciembre de 2016, en 172 intervalos trimestrales, se definió el estado inicial. Para ello el estado inicial calculado en la versión anterior debió ser recalculado para reflejar los cambios de estructura y límites introducidos en la zona de Rus-Valdelobos y en el tratamiento de los pozos virtuales que simulan los caudales que circulan hacia la Mancha Oriental. El método utilizado es el mismo que el de la versión antigua:

El principal problema para realizar la calibración en régimen permanente deriva de la inexistencia de información piezométrica previa al inicio de la explotación de las MASb: *"No se dispone de unas isopiezas fiables para la situación previa a las extracciones en el acuífero, y ni siquiera las más antiguas disponibles de los años 70 deberían utilizarse para definir el estado inicial. En efecto, en cualquier modelo, el uso de un estado inicial real siempre introduce un ruido derivado de mayor o menor incoherencia entre los parámetros usados y la realidad. Por otra parte, no se tendría conocimiento de los niveles en las capas profundas, por falta de piezómetros múltiples".*

Por tanto, el estado inicial se definió mediante una simulación en régimen permanente con recarga media y la extracción anterior a 1974, de unos 100 hm3/a. Cuando la calibración obligó a realizar cambios importantes en los parámetros, se ha repitió el análisis en régimen permanente para reducir en lo posible las incoherencias.

Aunque el estado inicial calculado así no corresponde al real de enero de 1974, es una hipótesis habitual en cualquier modelo regional. El posible error introducido se autocorrige en los primeros intervalos de cálculo, durante el llamado "periodo de calentamiento del modelo".

4.3. Simulación en régimen transitorio

Tragsatec (2017) comenzó con la decisión de cambiar radicalmente las permeabilidades aplicadas a las celdas del modelo, resultado del ajuste de la versión anterior del FLUSAG. Aprovechando que el desajuste de los niveles obligaba a recalibrar, se consideró conveniente replantearse las permeabilidades para que el modelo contuviera en lo posible la información existente, como se había hecho al modificar la estructura de Rus – Valdelobos. Las fases del proceso se pueden resumir en tres:

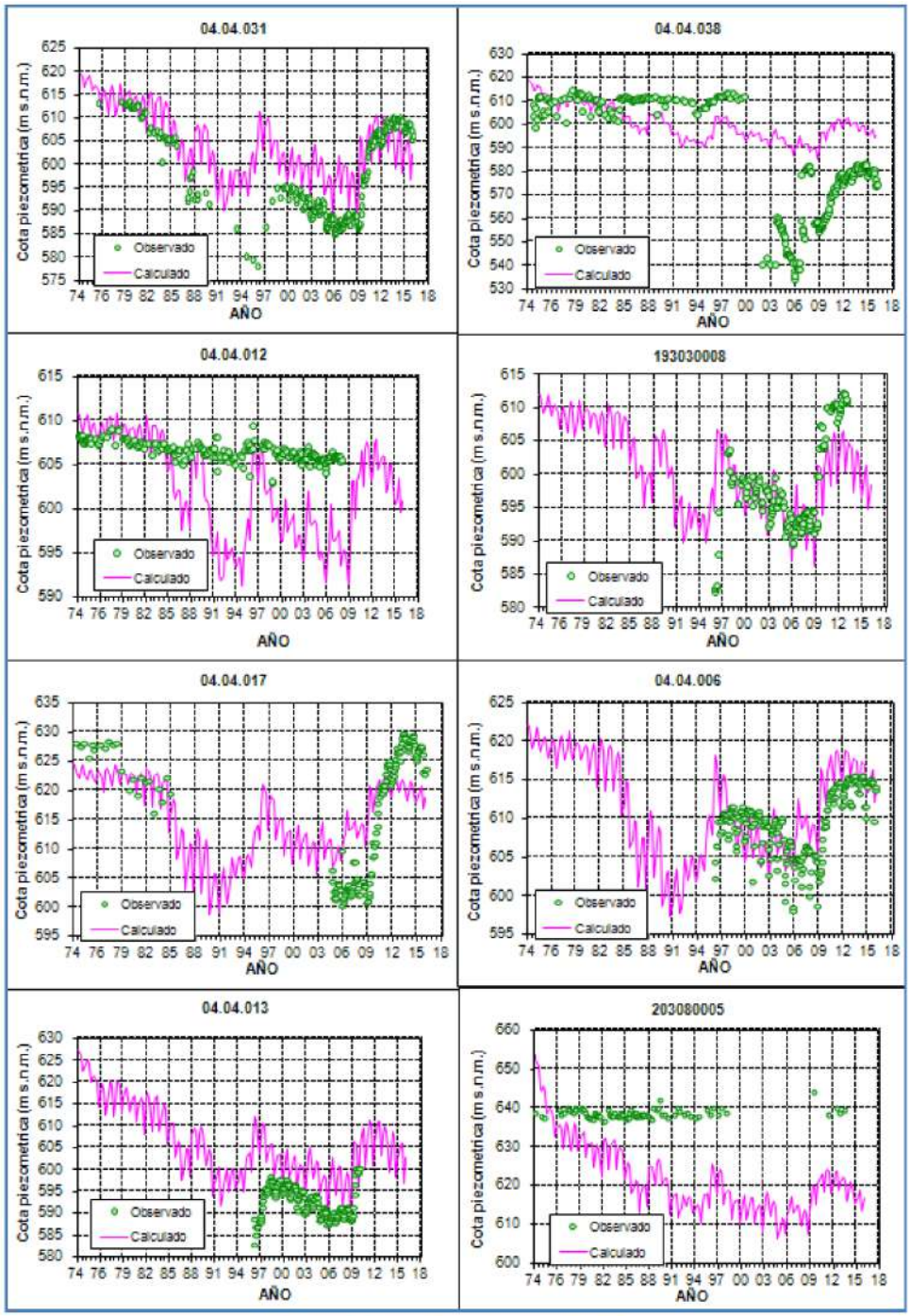
- Ajuste de las permeabilidades
- Ajuste de los coeficientes de almacenamiento
- Revisión de las extracciones estimadas entre 2006 y 2016 para mejorar el ajuste en ese periodo

El proceso de ajuste de las permeabilidades fue el descrito en el apartado 3.2 del presente Informe.

A continuación, las siguientes figuras contienen las gráficas que muestran el ajuste entre niveles observados y simulados tras realizar el proceso de ajuste de las permeabilidades. De su revisión cabe concluir:

- Respecto al ajuste en los piezómetros de la MASb Mancha Occidental I (Figura 66) se observa que cinco (5) de los puntos de observación consiguen reproducir las tendencias de variación de los niveles, mientras que tres (3) no consiguen reproducirla. Se tiene por tanto una efectividad del 62% en la simulación de tendencias. Respecto a la coincidencia entre niveles, las cotas de los niveles observados difieren de los calculados en un promedio de 5-10 m en aquellos puntos que consiguen reproducir las tendencias. En aquellos puntos que no consiguen reproducir las tendencias las diferencias entre niveles asciende entre 5 y más de 30 m. Se considera por tanto un ajuste global mediocre en los puntos de observación de la MASb Mancha Occidental I.
- En el ajuste de los piezómetros de la MASb Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos (Figura 67) se observa que dos (2) de los ocho (8) puntos de control consiguen reproducir la tendencia de variación de los niveles. Se tiene por tanto una efectividad del 25% en la simulación de tendencias. Respecto a la coincidencia entre niveles, se observan diferencias de 10-30 m entre niveles observados y simulados. Se considera por tanto un ajuste global malo en los puntos de observación de la MASb Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos.
- En las gráficas de ajuste en los piezómetros de la MASb Campo de Montiel (Figura 68) se observa que siete (7) de los ocho (8) piezómetros de control consiguen reproducir las tendencias de variación de niveles. Se tiene por tanto una efectividad del 87% en la simulación de tendencias. En aquellos piezómetros que consiguen reproducir las tendencias de variación de niveles, la diferencia entre cotas reales y simuladas oscila en un promedio de 5-10 m. Todo ello permite concluir que el ajuste global en la MASb Campo de Montiel es correcto.
- En las gráficas de ajuste en los piezómetros de las Masas de la zona norte (Figura 69) se observa que uno (1) de los ocho (8) puntos de control consigue reproducir las tendencias de variación de los niveles (efectividad del 12% en la simulación de tendencias). En promedio, la diferencia entre niveles observados respecto calculados es superior a 15 m. Todo ello permite concluir que el ajuste global en la MASb de la zona norte es malo.

Figura 66. Ajuste final tras la fase de modificación de las permeabilidades: Mancha Occidental I. Fuente: Tragsatec (2017).



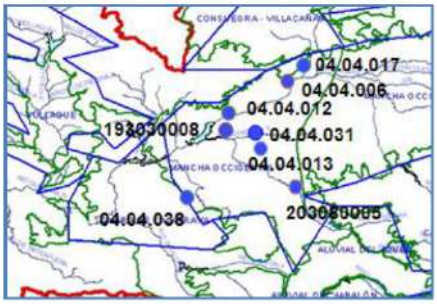
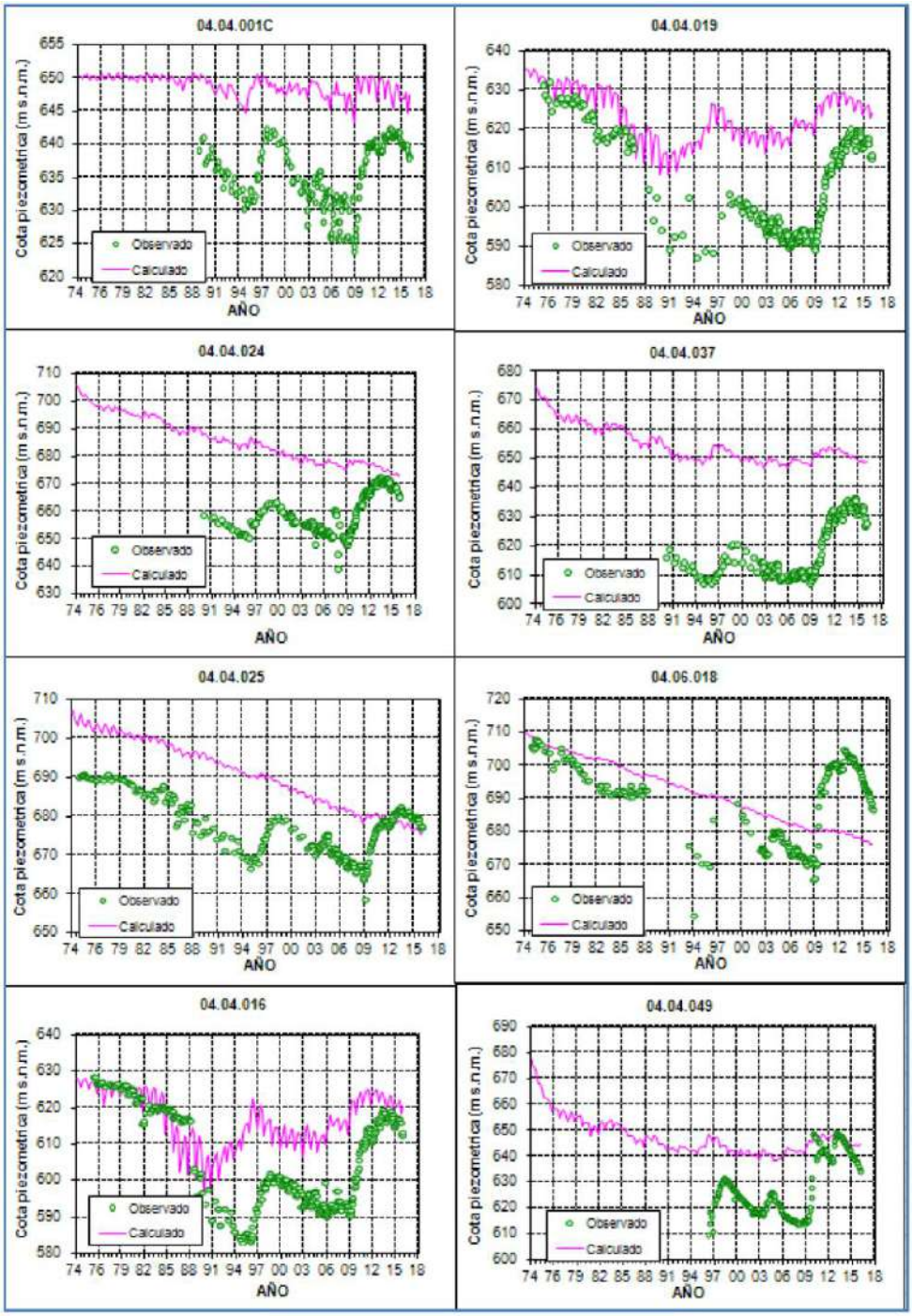


Figura 67. Ajuste final tras la fase de modificación de las permeabilidades: Mancha Occidental II y Rus – Valdelobos. Fuente: Tragsatec (2017).



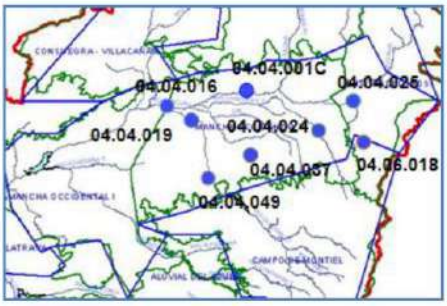


Figura 68. Ajuste final tras la fase de modificación de las permeabilidades: Campo de Montiel. Fuente: Tragsatec (2017).

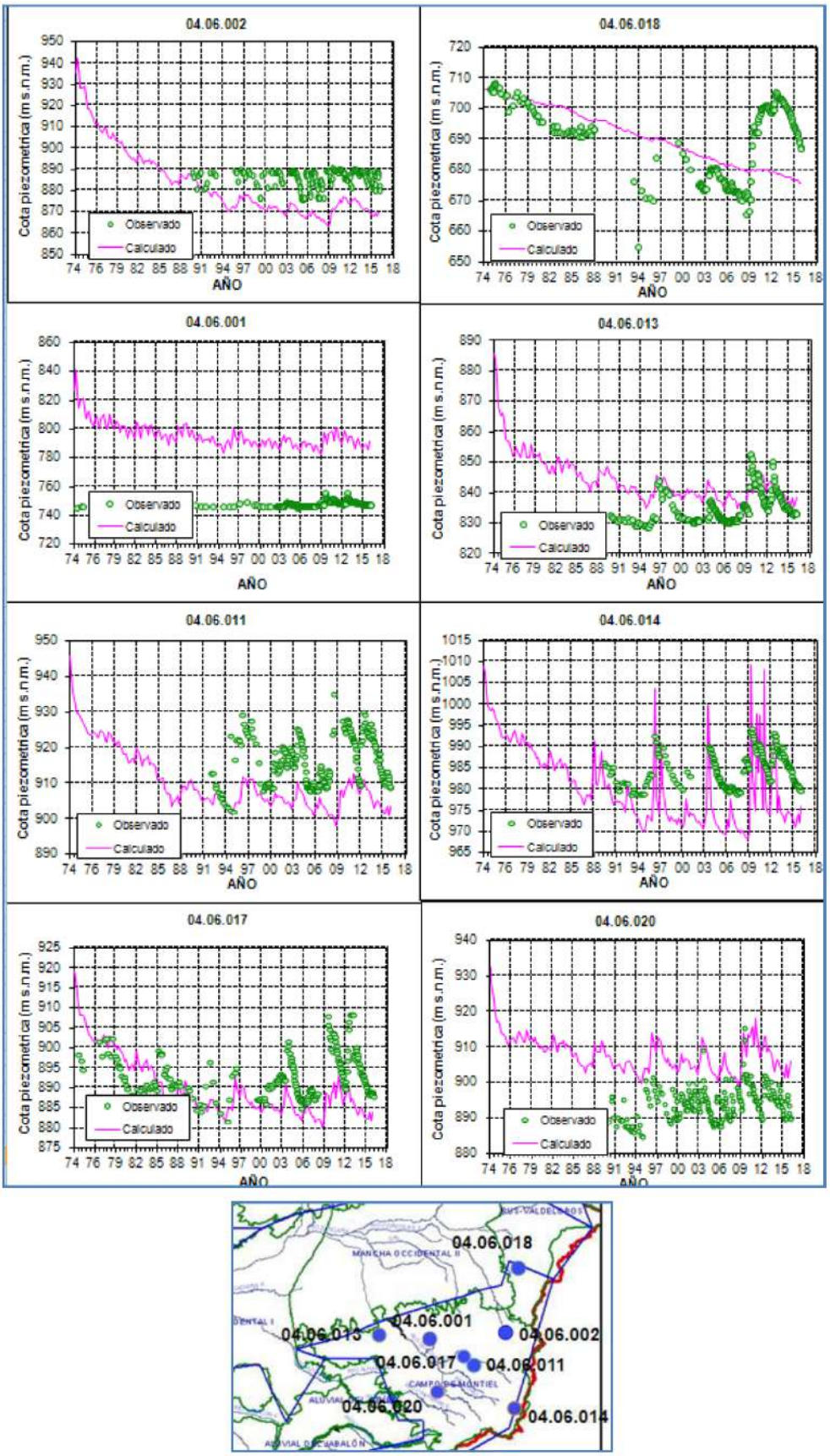
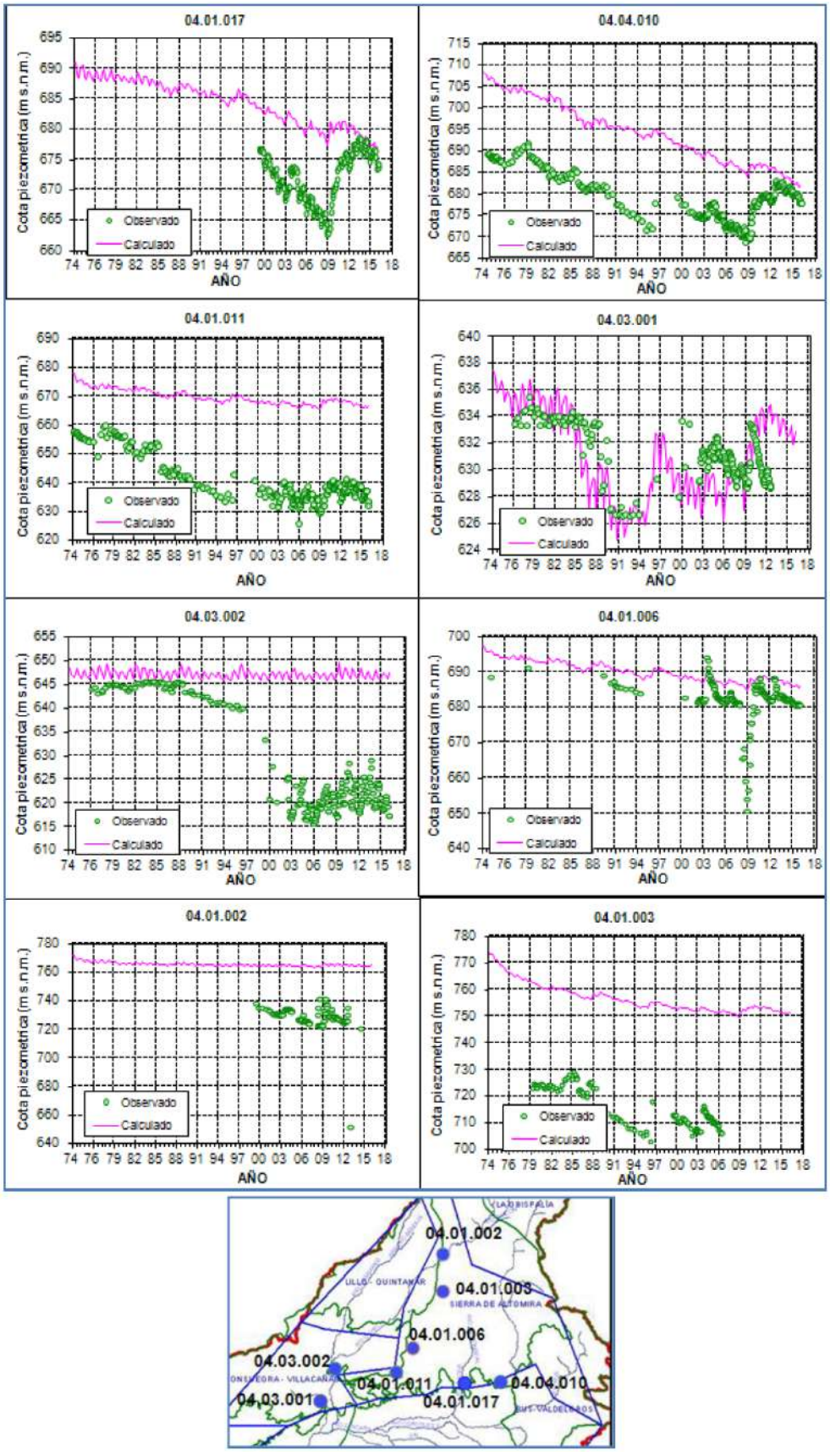


Figura 69. Ajuste final tras la fase de modificación de las permeabilidades: masas de la zona Norte. Fuente: Tragsatec (2017).



Ajuste de los coeficientes de almacenamiento

Con posterioridad al ajuste de las permeabilidades se procedió al ajuste del coeficiente de almacenamiento (Tragsatec, 2017). Los valores de coeficiente de almacenamiento fueron estimados mediante el ajuste de los modelos. El ajuste se realizó mediante tres tanteos, dos de carácter general, dividiendo y multiplicando por dos (2) todos los coeficientes de almacenamiento, y otro con modificaciones específicas para cada masa. Se adoptó como solución final de esta fase la última hipótesis, en la que se reducen los coeficientes de almacenamiento libre del 1.5% al 0.8% en la Mancha Occidental II (tanto en la capa 1 como en la 3), del 3% al 0.8% los de las masas de la zona Norte y del 0.8% al 0.6% los de la Mancha Occidental I. La Figura 70 muestra los resultados obtenidos en la MASb Mancha Occidental I y la Figura 71 muestra los resultados correspondientes a la Mancha Occidental II y Rus – Valdelobos.

Como se aprecia en la Figura 70, tras el ajuste del coeficiente de almacenamiento se obtiene un mejor ajuste en cuatro (04) de los piezómetros de control: 04.04.031, 04.04.012, 04.04.006 y 0.04.013; por otro lado conlleva el empeoramiento del ajuste en un (1) piezómetro: 193030008. Por último no produce efectos sobre los tres (3) piezómetros restantes.

En la Figura 71 se observa el efecto del ajuste del coeficiente de almacenamiento en la MASb Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos. En ella es posible apreciar que no induce cambios significativos en el ajuste de niveles, a excepción del piezómetro 04.04.016, donde se aprecia una ligera mejora en el ajuste.

De todo lo anterior se concluye el proceso de ajuste del coeficiente de almacenamiento no contribuye a mejorar notablemente el ajuste de niveles.

Con la finalidad de mejorar el ajuste entre niveles observados vs. medidos, Tragsatec (2017) revisó las extracciones estimadas entre 2006 y 2016 para mejorar el ajuste en ese periodo. Sin embargo, dicha revisión no consiguió mejorar sustancialmente la calibración del modelo.

Figura 70. Ajuste final tras la fase de modificación de los almacenamientos: Mancha Occidental I. Fuente: Tragsatec (2017).

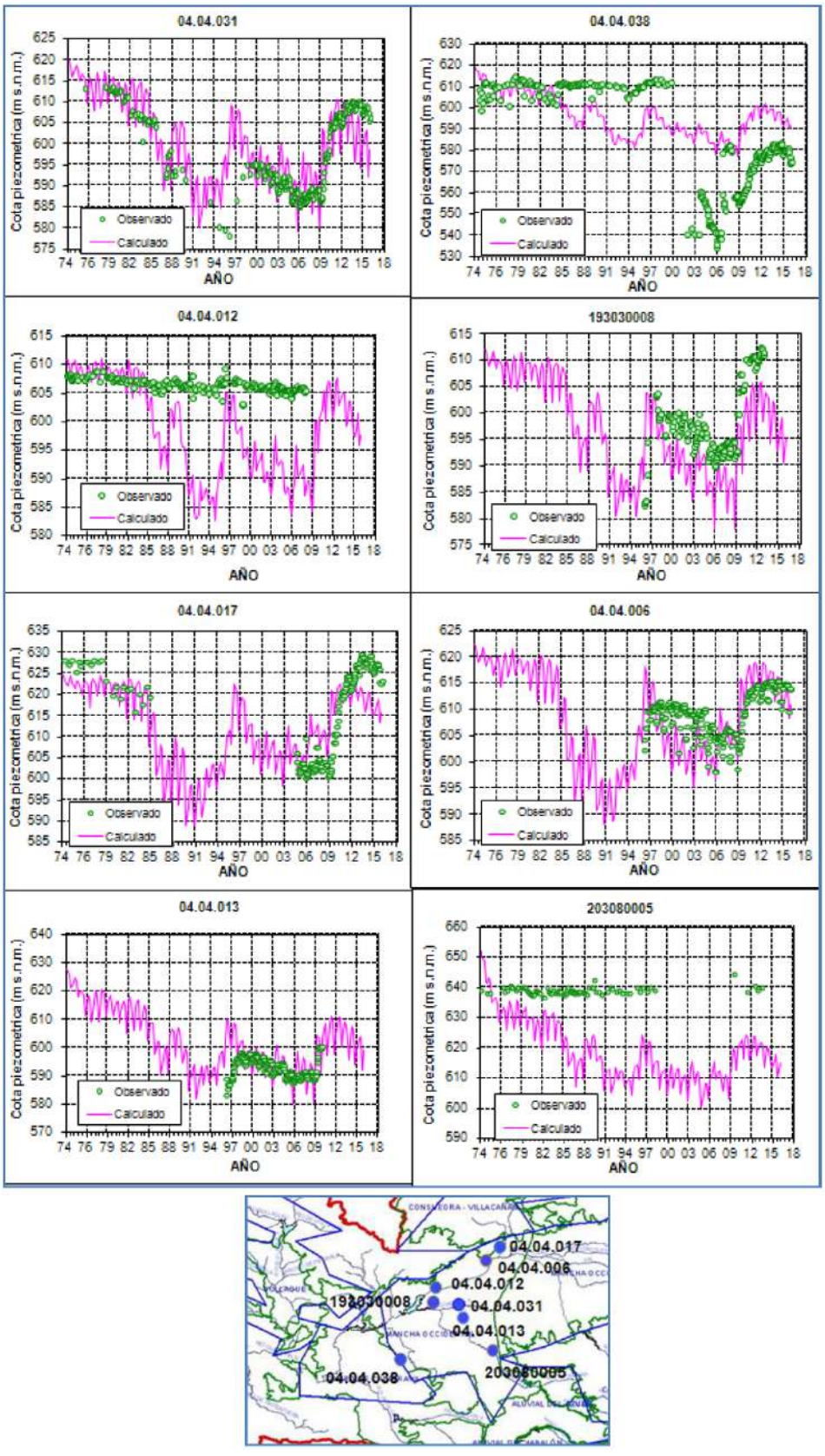
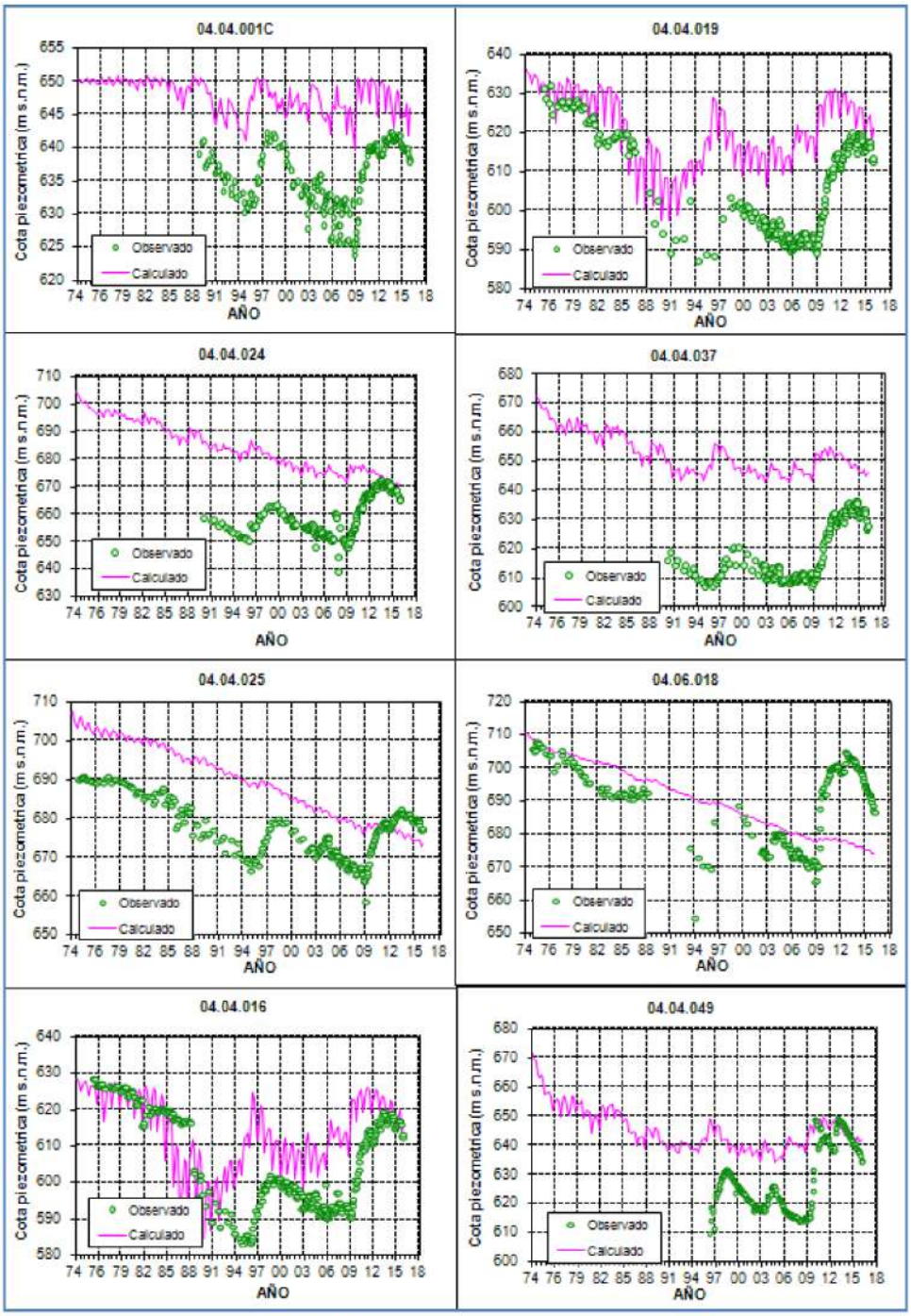
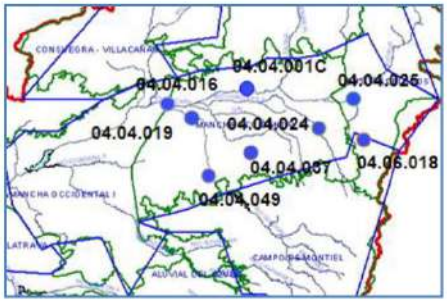


Figura 71. Ajuste final tras la fase de modificación de los almacenamientos: Mancha Occidental II y Rus – Valdelobos. Fuente: Tragsatec (2017).





4.4. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DE LA CALIBRACIÓN

- El ajuste de permeabilidades realizado ha obtenido la siguiente calibración entre niveles medidos frente a observados: MASb Mancha Occidental I (mediocre); Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos (malo); MASb Campo de Montiel (correcto); Masas de la zona norte (malo). Por tanto, cable concluir que el modelo FLUSAG no consigue reproducir de manera fiable los niveles naturales.
- El posterior proceso de ajuste del coeficiente de almacenamiento no contribuye a mejorar notablemente la calibración del modelo.
- El conjunto de puntos de calibración no se distribuye de manera adecuada por todas las MASb. Como consecuencia de ello se han identificado los siguientes problemas: i) existen MASb que no disponen de un número adecuado de puntos de calibración dentro de sus límites (La Obispalía, Lillo-Quintanar), ii) existen MASb cuyos puntos de calibración no se distribuyen de manera homogénea a lo largo de toda su extensión, de manera que contienen zonas de incertidumbre respecto a la calibración (Sierra de Altomira, Consuegra-Villacañas, Rus-Valdelobos).

5. Revisión de la explotación del modelo

Tras la actualización y calibración del modelo FLUSAG (octubre de 2017), TRAGSATEC realiza un balance anual por masas de agua subterránea basado en la simulación del período de calibración 1974-2016 en el ámbito del modelo. Asimismo, TRAGSATEC propone una serie de hipótesis a simular (simulaciones a futuro) para el seguimiento del Plan Hidrológico vigente y elaboración del futuro plan. Sin embargo, dichas simulaciones no han podido ser revisadas al no encontrarse en el Informe de actualización y calibración del modelo. Entre las hipótesis propuestas por TRAGSATEC se encuentran:

- Extracción nula desde 2006.
- Extracciones estimadas entre 2006 y 2016, extracción neta de 264 hm3/a desde 2017 (Totales o brutas de 303 hm3/año).
- Análisis de sensibilidad al valor de la extracción anterior
    - Extracción del 120%
    - Extracción del 130%
    - Extracción del 150%
    - Extracción del 200%

Como resultado del balance anual generado mediante la actualización y calibración del modelo FLUSAG, TRAGSATEC (2017) estima un volumen de extracción total anual promedio para el conjunto de MASb del Alto Guadiana de 338 Hm³. Asimismo, estima un volumen de extracción total anual promedio de la Mancha Occidental de 265 Hm³. La distribución anual de extracción simulada en los ámbitos mencionados se resume en la Figura 72.

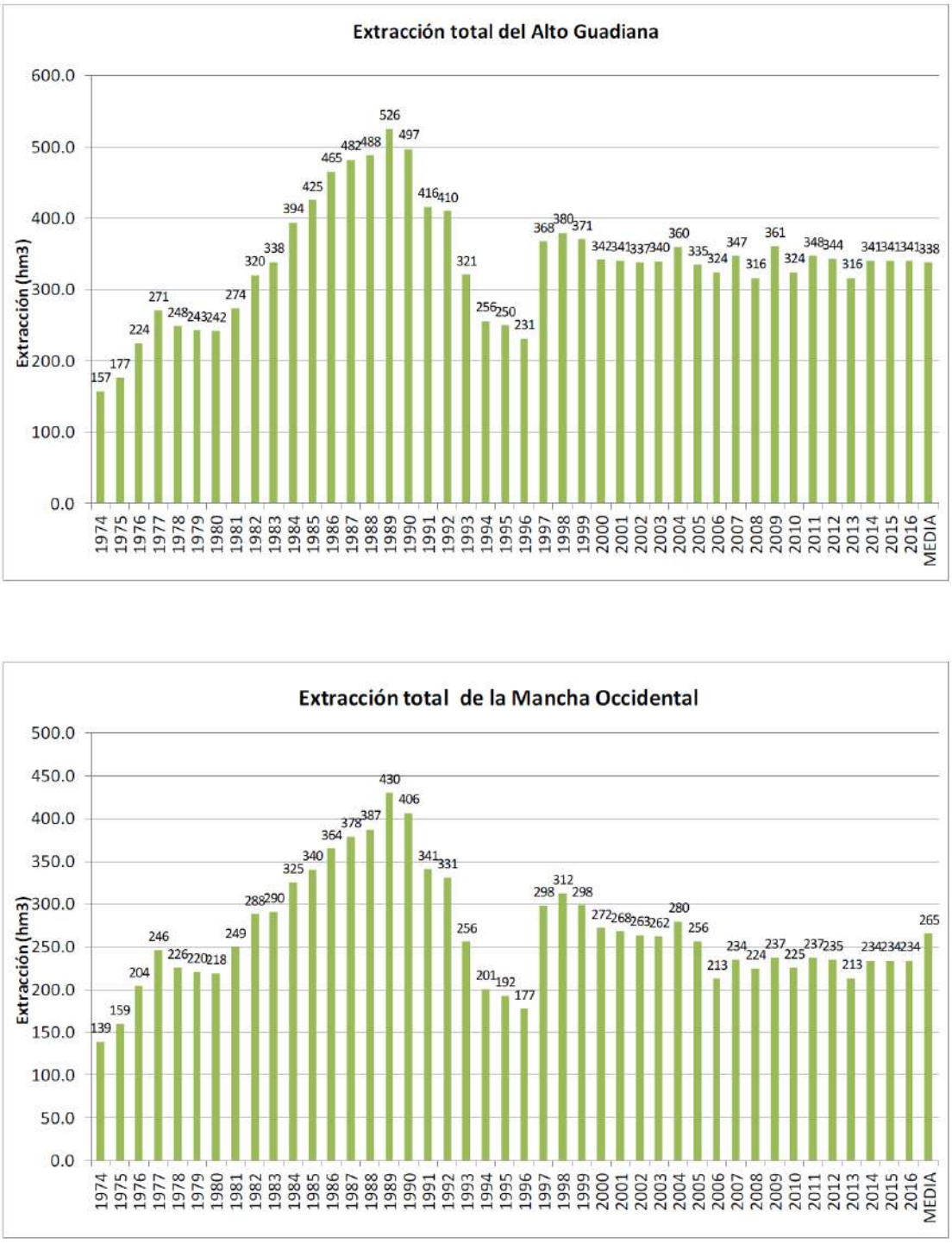


Figura 72. Extracciones netas resultantes de la simulación. Fuente: TRAGSATEC (2017)

La actualización y calibración del modelo FLUSAG permitió asimismo realizar balances en las ocho (8) MASb y en el total de la Mancha Occidental y Rus – Valdelobos. A continuación, de la Tabla 25 a la Tabla 33 se muestran, para cada MASb, la aportación de las reservas, las extracciones netas, la evapotranspiración, el drenaje y recarga de ríos y el caudal recibido o cedido de otras masas. La revisión de dichas tablas permite observar:

- Las denominaciones de las masas de agua subterránea presentadas en las tablas no corresponden con las denominaciones de las MASb vigentes en la actualidad sino con la denominación de las antiguas Unidades Acuífero, unidades de gestión obsoletas en la actualidad. Esto podría indicar que los balances de partida previos a la creación del modelo FLUSAG nacen de un modelo distinto (si lo hubiese) en base a las antiguas unidades hidrogeológicas, y no mediante la versión reciente objeto del presente documento.
- Los balances de las MASb no muestran de manera individualizada los volúmenes de recarga procedentes del retorno de riegos, lo cual supone una importante carencia a la hora de obtener un balance hídrico realista.
- El balance simulado de la MASb Sierra de Altomira (ver Tabla 25) considera que dicha MASb únicamente cede recurso subterráneo a Mancha Occidental y otras zonas, sin recibir aportes de ninguna MASb. Sin embargo, en base a la interpretación piezométrica realizada en el apartado 2.3.5, el agua subterránea fluye en dirección noreste-sureste desde la MASb Obispalía (y probablemente desde masas adyacentes de la cuenca del Tajo) hacia la MASb Sierra de Altomira. Por tanto, recibe aportes subterráneos que no son cuantificados mediante simulación del modelo FLUSAG.
- El balance simulado de la MASb Obispalía (ver Tabla 26) considera que dicha MASb aporta recursos subterráneos a la MASb Sierra de Altomira, lo cual está justificado por la dirección de flujo existente entre ambas MASb. Sin embargo, no cuantifica aportes hacia la MASb Terciario de Alarcón (cuenca del Júcar) que, según el análisis piezométrico realizado, podría recibir flujo subterráneo procedente de La Obispalía. Por otro lado, el balance de la Obispalía no contempla volúmenes de recarga subterránea procedentes de otras MASb, lo cual no es realista desde un punto de vista hidrogeológico.
- El balance simulado de la MASb Lillo-Quintanar (Tabla 27) contempla que dicha MASb realiza aportes subterráneos a la MASb Consuegra-Villacañas y recibe asimismo aportes procedentes de la MASb Sierra de Altomira. Según la interpretación piezométrica realizada, estos volúmenes de intercambio están justificados en virtud de la dinámica de flujo existente entre ambas MASb. Sin embargo, la interpretación piezométrica permite interpretar asimismo un flujo de entrada a la MASb Lillo-Quintanar procedente de la MASb Ocaña, situada al oeste y perteneciente a la cuenca del Tajo. Dicho flujo de entrada no está cuantificado en el balance realizado mediante el modelo FLUSAG.
- Balance simulado de la MASb Rus-Valdelobos (ver Tabla 29). Atendiendo a la dinámica de flujo existente entre la MASb Rus-Valdelobos y las MASb

circundantes, se observa que Rus-Valdelobos recibe aportes subterráneos tanto desde la MASb Sierra de Altomira como desde la MASb Campo de Montiel. No obstante, el balance simulado mediante el modelo FLUSAG considera que hasta el año 2010 no recibía aportes subterráneos, y para el año 2016 los aportes de entrada los estima en 5,1 Hm^3/ año. Dada la entidad de las MASb que dirigen su flujo hacia la MASb Rus-Valdelobos, un valor anual de entrada de 5,1 Hm^3 resulta en una clara subestimación de las tasas reales. Por otro lado, el balance simulado mediante el modelo FLUSAG contempla salidas subterráneas únicamente hacia la cuenca del Júcar, sin considerar las salidas hacia el oeste dirigidas a la MASb Mancha Occidental II.

- El balance simulado de la MASb Mancha Occidental I (ver Tabla 30) contempla que dicha MASb recibe aportes subterráneos procedentes de la MASb Mancha Occidental II y de otras zonas, lo cual tiene un sustento en la realidad. Pero dicho balance no cuantifica el volumen de salida que se produce en virtud de la dirección de flujo dirigida hacia el oeste, que resulta en aportes de agua subterránea a la MASb Campo de Calatrava.
- Balance simulado de la MASb Campo de Montiel (ver Tabla 32). Cuantifica salidas de agua subterránea hacia las MASb Rus-Valdelobos y Campo de Montiel, lo cual es correcto en base a las interpretaciones piezométricas, pero no cuantifica los volúmenes de salida que de igual forma se producen hacia el este, hacia las MASb occidentales de la cuenca del Júcar.
- Balance simulado de la Mancha Occidental completa, incluida Rus-Valdelobos (Tabla 33). Este balance se ha elaborado como la suma de los balances individuales de las MASb Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Rus-Valdelobos. Contempla recargas procedentes de Campo de Montiel y de otras zonas, y salidas únicamente hacia el Júcar, sin cuantificar las salidas que tienen lugar a través del límite occidental hacia la MASb Campo de Calatrava.

Tabla 25. 41.01m SIERRA DE ALTOMIRA. Fuente: Tragsatec (2017)

Año	Reservas	Extracciones netas	Recarga	ET	Drenaje Ríos	Recarga Ríos	De Mancha Occ.	De otras zonas	Balance
1974	193.5	-1.3	65.6	-111.5	-112.6	2.3	-12.2	-23.9	-0.1
1975	81.9	-2.1	96.9	-74.6	-77.3	3.6	-11.7	-16.7	-0.1
1976	55.5	-2.2	65.9	-48.1	-51.7	5.3	-11.8	-12.8	0.0
1977	-27.7	-1.7	160.0	-51.6	-56.1	5.0	-16.0	-11.9	0.0
1978	37.0	-1.4	106.2	-56.6	-58.8	4.8	-17.2	-14.0	0.0
1979	-32.7	-1.4	194.5	-63.5	-67.2	4.2	-19.1	-14.8	0.0
1980	41.5	-1.8	91.6	-54.0	-51.2	5.4	-17.1	-14.5	0.0
1981	28.5	-2.5	79.3	-40.7	-41.2	6.1	-16.4	-13.1	0.1
1982	-111.0	-3.6	252.5	-48.1	-58.4	5.6	-24.2	-12.9	0.0
1983	37.4	-7.3	108.9	-48.7	-56.6	5.1	-23.3	-15.5	0.0
1984	12.4	-17.1	150.1	-54.0	-58.0	5.0	-23.3	-15.0	0.0
1985	78.6	-14.0	41.6	-35.1	-41.9	6.8	-21.7	-14.2	0.0
1986	51.0	-22.4	60.7	-28.6	-34.6	8.2	-22.0	-12.4	0.0
1987	-12.0	-23.6	110.6	-20.8	-29.4	8.7	-23.1	-10.5	0.0
1988	-136.6	-21.7	276.3	-34.7	-49.8	7.4	-30.0	-11.0	0.0
1989	-18.7	-19.5	191.7	-49.7	-61.2	5.4	-32.7	-15.3	0.0
1990	94.7	-19.4	50.2	-37.8	-48.4	6.5	-29.8	-15.9	0.0
1991	57.6	-14.7	45.5	-22.2	-33.2	8.4	-27.6	-13.7	0.0
1992	34.6	-15.7	68.6	-22.6	-31.0	8.9	-29.6	-13.2	0.1
1993	-40.1	-15.3	155.9	-29.2	-34.8	8.4	-31.3	-13.6	0.0
1994	88.2	-14.1	0.3	-17.3	-25.4	8.4	-26.4	-13.8	-0.1
1995	8.3	-15.0	70.8	-13.1	-20.2	6.4	-25.4	-11.9	-0.1
1996	-106.0	-14.3	208.8	-21.7	-31.8	9.0	-31.4	-12.6	0.0
1997	-47.8	-16.5	199.3	-38.4	-50.4	6.8	-35.4	-17.5	0.0
1998	85.3	-16.4	34.3	-26.8	-35.9	8.5	-31.1	-18.0	-0.1
1999	44.7	-17.2	52.3	-17.3	-26.0	8.7	-29.3	-15.9	0.0
2000	49.1	-16.6	39.3	-14.0	-22.0	7.8	-29.2	-14.3	0.1
2001	-50.0	-18.2	152.3	-18.6	-27.4	9.3	-33.2	-14.2	0.0
2002	46.1	-19.0	48.9	-14.3	-23.6	8.3	-31.6	-14.8	0.0
2003	-4.7	-18.5	94.6	-11.9	-21.7	7.8	-31.8	-13.7	0.0
2004	-63.2	-18.2	185.0	-24.5	-34.5	9.6	-38.0	-16.2	0.0
2005	93.3	-17.5	0.0	-12.3	-22.6	7.7	-32.0	-16.6	0.0
2006	-29.3	-25.4	122.5	-10.3	-20.7	7.4	-30.4	-13.8	-0.1
2007	-10.5	-23.4	122.2	-18.7	-28.2	8.9	-33.9	-16.5	-0.1
2008	37.6	-17.2	53.0	-11.4	-21.8	7.4	-31.6	-16.0	0.0
2009	-13.9	-29.9	112.3	-10.0	-20.8	6.8	-30.8	-13.9	-0.1
2010	-157.1	-23.6	307.3	-29.0	-48.5	8.2	-39.9	-17.3	0.0
2011	-40.1	-23.9	200.9	-34.4	-50.7	7.1	-38.4	-20.4	0.0
2012	82.7	-23.6	50.2	-23.8	-39.2	8.2	-33.8	-20.7	0.0
2013	11.7	-22.7	121.8	-25.3	-39.6	8.3	-34.5	-19.7	0.0
2014	67.7	-22.6	36.2	-14.1	-27.2	9.0	-30.8	-18.2	-0.1
2015	44.2	-22.6	55.9	-13.0	-25.3	8.8	-31.4	-16.6	-0.1
2016	-25.7	-22.6	123.4	-12.0	-23.7	8.6	-32.7	-15.2	0.0
MEDIA	**12.5**	**-15.5**	**110.8**	**-31.7**	**-40.5**	**7.2**	**-27.5**	**-15.2**	**0.0**

Tabla 26. 41.01N LA OBISPALÍA. Fuente: Tragsatec (2017)

Año	Reservas	Extracciones netas	Recarga	ET	Drenaje Ríos	Recarga Ríos	De Altomira	Balance
1974	39.9	0.0	12.5	-10.2	-19.5	1.5	-24.3	0.0
1975	20.7	0.0	18.4	-5.0	-10.8	2.3	-25.6	0.0
1976	17.6	0.0	12.5	-2.2	-4.9	2.9	-26.0	0.0
1977	-0.6	0.0	30.4	-2.2	-5.3	3.4	-25.6	0.0
1978	10.3	0.0	20.2	-2.6	-5.8	3.3	-25.4	0.0
1979	-5.0	0.0	37.0	-3.2	-6.8	3.3	-25.2	0.0
1980	10.8	0.0	17.4	-2.3	-4.3	3.6	-25.3	0.0
1981	11.1	0.0	15.1	-1.0	-2.7	2.7	-25.1	0.0
1982	-20.7	0.0	48.0	-1.7	-4.5	3.6	-24.8	0.0
1983	7.2	-0.1	20.7	-1.9	-4.3	3.2	-24.8	0.0
1984	0.2	-0.2	28.5	-2.7	-4.8	3.6	-24.8	0.0
1985	18.1	-0.3	7.9	-1.1	-2.9	3.2	-24.9	0.0
1986	12.7	-0.3	11.5	-0.6	-1.9	3.2	-24.6	0.0
1987	1.6	-0.3	21.0	-0.2	-1.1	3.0	-24.0	0.0
1988	-27.7	-0.3	52.6	-1.3	-3.3	4.0	-24.0	0.0
1989	-8.0	-0.3	36.5	-2.6	-5.0	3.7	-24.3	0.0
1990	16.9	-0.3	9.6	-1.7	-3.6	3.8	-24.6	0.0
1991	15.2	-0.3	8.6	-0.4	-1.7	3.1	-24.5	0.0
1992	9.8	-0.3	13.1	-0.4	-1.3	3.4	-24.2	0.0
1993	-6.7	-0.3	29.7	-0.8	-1.7	3.6	-23.7	0.0
1994	22.1	-0.3	0.1	0.0	-0.6	2.3	-23.6	0.0
1995	8.1	-0.3	13.5	0.0	0.0	1.5	-22.8	0.0
1996	-20.0	-0.3	39.7	-0.1	-0.7	4.1	-22.6	0.0
1997	-14.6	-0.3	37.9	-1.1	-2.7	4.0	-23.3	0.0
1998	16.1	-0.5	6.5	-0.5	-1.5	3.4	-23.6	0.0
1999	11.2	-0.3	9.9	0.0	-0.5	2.7	-23.0	0.0
2000	12.9	-0.2	7.5	0.0	-0.1	2.6	-22.7	0.0
2001	-9.9	-0.3	29.0	0.0	-0.4	4.2	-22.5	0.0
2002	10.5	-0.4	9.3	0.0	-0.2	3.1	-22.4	0.0
2003	1.1	-0.3	18.0	0.0	0.0	3.2	-22.0	0.0
2004	-15.7	-0.4	35.2	-0.3	-0.9	4.4	-22.4	0.0
2005	20.7	-0.4	0.0	0.0	-0.1	1.9	-22.1	0.0
2006	-3.3	-1.7	23.3	0.0	0.0	2.6	-20.9	0.0
2007	-3.5	-2.3	23.2	0.0	-0.3	3.6	-20.7	0.0
2008	9.6	-1.5	10.1	0.0	0.0	2.6	-20.8	0.0
2009	-1.8	-1.6	21.4	0.0	0.0	2.3	-20.3	0.0
2010	-37.6	-1.5	58.5	-0.6	-1.8	4.4	-21.4	0.0
2011	-14.6	-1.5	38.2	-1.2	-2.6	4.2	-22.5	0.0
2012	13.5	-1.3	9.6	-0.6	-1.7	3.6	-23.2	0.0
2013	0.1	-1.1	23.2	-0.8	-1.9	3.8	-23.2	0.0
2014	15.2	-1.4	6.9	0.0	-0.6	2.6	-22.7	0.0
2015	10.3	-1.4	10.6	0.0	-0.4	3.1	-22.3	0.0
2016	-3.4	-1.4	23.5	0.0	-0.2	3.3	-21.9	0.0
MEDIA	**3.5**	**-0.6**	**21.1**	**-1.1**	**-2.6**	**3.2**	**-23.5**	**0.0**

Tabla 27. 41.02_LILLO-QUINTANAR. Fuente: Tragsatec (2017)

Año	Reservas	Extracciones netas	Recarga	ET	Drenaje Ríos	Recarga Ríos	De Consuegra-Villac.	De S. Altomira	Balance
1974	49.2	-0.9	28.0	-42.6	-45.2	1.1	-4.0	17.1	2.7
1975	13.0	-0.9	41.3	-27.2	-35.9	1.2	-3.9	15.0	2.5
1976	6.4	-1.0	28.1	-15.6	-26.4	1.4	-4.4	13.9	2.4
1977	-16.3	-1.1	68.2	-24.4	-33.9	1.3	-3.7	12.7	2.8
1978	11.5	-1.0	45.3	-27.8	-35.4	1.2	-3.8	12.7	2.8
1979	-11.4	-1.0	82.9	-35.9	-41.9	1.1	-3.6	12.6	2.9
1980	12.0	-1.0	39.0	-25.7	-31.7	1.1	-3.8	12.9	2.8
1981	4.6	-1.0	33.8	-17.9	-26.5	1.3	-4.2	12.6	2.7
1982	-37.9	-1.2	107.7	-34.4	-40.3	1.3	-3.8	11.7	3.0
1983	13.9	-1.4	46.4	-28.6	-37.0	1.2	-4.0	12.3	2.8
1984	3.9	-1.6	64.0	-33.8	-39.2	1.1	-3.7	12.4	3.0
1985	23.3	-2.0	17.7	-18.4	-27.7	1.3	-4.1	12.7	2.9
1986	10.4	-2.3	25.8	-15.8	-24.6	1.4	-4.2	12.1	2.8
1987	-12.7	-2.3	47.1	-13.8	-24.0	1.7	-4.5	11.3	2.9
1988	-41.0	-2.3	117.9	-37.8	-41.6	1.3	-4.0	10.6	3.0
1989	2.7	-2.5	81.8	-42.9	-45.0	1.1	-3.6	11.5	3.2
1990	31.8	-2.4	21.4	-24.6	-33.2	1.3	-3.7	12.6	3.1
1991	12.9	-2.1	19.4	-13.2	-23.6	1.5	-4.5	12.3	2.7
1992	7.3	-2.0	29.3	-16.1	-24.3	1.4	-4.3	11.6	2.8
1993	-13.4	-1.9	66.5	-26.4	-30.2	1.2	-4.2	11.1	2.7
1994	24.0	-1.8	0.1	-9.7	-18.4	1.7	-5.0	11.5	2.3
1995	-8.1	-1.7	30.2	-8.0	-17.3	2.2	-5.8	10.5	2.1
1996	-32.7	-1.7	89.1	-25.0	-33.7	1.4	-4.7	9.8	2.5
1997	-4.9	-1.9	85.0	-38.9	-43.8	1.2	-4.2	10.6	2.9
1998	28.6	-1.8	14.6	-19.7	-27.8	1.3	-4.2	11.9	2.9
1999	6.8	-1.9	22.3	-11.8	-20.8	1.5	-4.7	11.4	2.8
2000	8.7	-1.7	16.7	-10.2	-18.4	1.7	-4.8	10.8	2.8
2001	-17.2	-1.7	65.0	-21.7	-28.6	1.3	-4.3	10.1	3.0
2002	11.5	-1.7	20.8	-13.5	-21.7	1.5	-4.5	10.5	2.9
2003	-8.4	-1.5	40.3	-12.4	-21.9	1.7	-4.8	10.1	2.9
2004	-10.3	-1.9	78.9	-33.9	-36.7	1.2	-4.0	9.9	3.3
2005	25.2	-1.9	0.0	-9.5	-18.3	1.7	-5.4	10.8	2.7
2006	-13.9	-15.7	52.2	-8.0	-19.8	2.6	-5.2	10.2	2.5
2007	2.9	-9.6	52.2	-22.6	-27.7	1.3	-4.4	10.5	2.7
2008	8.1	-8.8	22.6	-8.4	-18.4	2.1	-4.9	10.4	2.7
2009	-9.5	-15.1	47.9	-8.4	-20.0	2.7	-5.0	9.8	2.5
2010	-34.7	-10.8	131.1	-41.2	-48.0	1.3	-4.0	9.3	3.0
2011	-3.3	-11.3	85.7	-35.3	-41.5	1.3	-3.5	10.9	3.0
2012	28.6	-10.6	21.4	-17.3	-28.9	1.6	-4.1	12.0	2.8
2013	3.8	-10.3	51.9	-20.8	-31.0	1.4	-3.9	11.7	2.8
2014	15.6	-10.3	15.4	-8.1	-19.0	2.1	-4.8	11.6	2.5
2015	9.2	-10.3	23.8	-9.1	-19.4	2.2	-4.6	10.9	2.7
2016	-15.1	-10.3	52.6	-10.9	-21.1	2.1	-4.8	10.2	2.7
MEDIA	**2.0**	**-4.1**	**47.2**	**-21.6**	**-29.5**	**1.5**	**-4.3**	**11.6**	**2.8**

Tabla 28. 41.03_ CONSUEGRA - VILLACAÑAS. Fuente: Tragsatec (2017)

Año	Reservas	Extracciones netas	Recarga	ET	Drenaje Ríos	Recarga Ríos	De Mancha Occ.	De otras zonas	Balance
1974	48.0	-2.5	39.0	-99.4	-8.4	6.2	-6.2	23.2	0.0
1975	9.3	-3.3	57.6	-76.4	-7.9	6.3	-5.5	20.0	0.0
1976	4.2	-4.1	39.2	-53.2	-6.5	6.7	-4.7	18.5	0.0
1977	-19.9	-5.6	95.1	-78.5	-9.7	7.0	-5.6	17.1	0.0
1978	15.3	-4.2	63.1	-83.6	-9.2	6.1	-5.6	18.3	0.0
1979	-14.0	-4.4	115.6	-103.6	-11.9	6.1	-6.1	18.2	0.0
1980	14.8	-4.3	54.5	-76.6	-7.4	6.6	-5.5	18.0	0.0
1981	5.0	-5.3	47.1	-58.2	-6.6	5.7	-5.0	17.3	0.0
1982	-43.0	-7.3	150.1	-103.3	-13.6	6.5	-6.0	16.4	0.0
1983	19.5	-9.8	64.7	-82.0	-9.7	4.7	-5.4	18.1	0.0
1984	6.8	-12.8	89.2	-91.8	-9.4	6.1	-5.9	17.8	0.0
1985	33.4	-17.2	24.7	-53.5	-6.1	6.8	-5.5	17.5	0.0
1986	18.6	-20.1	36.1	-46.8	-5.3	6.6	-5.6	16.6	0.0
1987	-15.3	-20.9	65.7	-40.8	-5.6	6.9	-5.7	15.7	0.0
1988	-50.1	-20.8	164.3	-96.8	-12.2	7.1	-6.4	14.9	0.0
1989	5.7	-22.7	114.0	-103.4	-10.6	7.1	-6.7	16.8	0.0
1990	43.2	-22.4	29.9	-62.6	-6.7	8.0	-6.5	17.1	0.0
1991	16.9	-18.0	27.0	-38.2	-4.7	6.6	-5.9	16.2	0.0
1992	8.6	-17.2	40.8	-45.0	-4.8	8.2	-6.0	15.3	0.0
1993	-21.5	-15.5	92.7	-65.8	-6.0	7.4	-6.1	14.8	0.0
1994	34.1	-14.7	0.2	-31.9	-3.7	5.2	-5.2	15.9	0.0
1995	-14.1	-13.3	42.1	-27.6	-3.8	5.3	-4.4	15.9	0.0
1996	-50.0	-13.0	124.1	-68.1	-9.4	7.3	-5.3	14.4	0.0
1997	-6.1	-16.7	118.5	-100.3	-11.8	5.6	-5.6	16.5	0.0
1998	38.3	-16.1	20.4	-54.0	-5.9	6.6	-5.6	16.4	0.0
1999	10.3	-18.0	31.1	-35.9	-4.3	6.6	-5.5	15.7	0.0
2000	13.9	-17.3	23.3	-32.5	-3.7	6.9	-5.6	15.0	0.0
2001	-25.4	-17.1	90.6	-56.3	-6.5	7.0	-6.1	13.8	0.0
2002	16.6	-17.1	29.1	-39.3	-4.8	7.2	-5.9	14.3	0.0
2003	-11.1	-18.9	56.2	-35.9	-5.3	6.8	-5.9	14.1	0.0
2004	-13.5	-21.1	110.0	-81.8	-8.4	7.6	-6.9	14.0	0.0
2005	37.9	-20.3	0.0	-28.9	-3.5	4.4	-5.5	15.8	0.0
2006	-25.0	-30.7	72.8	-30.1	-4.6	8.6	-5.3	14.1	0.0
2007	1.4	-21.3	72.7	-60.8	-5.7	6.3	-5.8	13.2	0.0
2008	9.0	-20.3	31.5	-31.1	-4.1	6.4	-5.6	14.1	0.0
2009	-12.6	-31.2	66.8	-31.7	-5.1	5.6	-5.1	13.3	0.0
2010	-47.4	-23.2	182.7	-110.4	-14.9	6.3	-6.4	13.4	0.0
2011	-3.8	-24.3	119.4	-95.0	-10.5	6.5	-6.7	14.5	0.0
2012	35.7	-23.4	29.9	-51.4	-6.5	6.1	-5.8	15.4	0.0
2013	2.9	-21.3	72.4	-61.1	-7.4	6.3	-6.1	14.4	0.0
2014	20.5	-21.1	21.5	-32.0	-4.4	5.9	-5.1	14.8	0.0
2015	12.5	-21.1	33.3	-36.0	-4.6	7.7	-5.5	13.8	0.0
2016	-21.7	-21.1	73.4	-39.0	-5.1	5.9	-5.6	13.3	0.0
MEDIA	**2.0**	**-16.3**	**65.9**	**-61.2**	**-7.1**	**6.5**	**-5.7**	**15.9**	**0.0**

Tabla 29. 41.04c RUS-CÓRCOLES. Fuente: Tragsatec (2017).

Año	Reservas	Extracciones netas	Recarga	ET	Drenaje Ríos	Recarga Ríos	De otras zonas	Del Júcar	Balance
1974	146.9	-12.6	28.4	-119.6	-8.9	4.4	-44.6	3.8	-2.2
1975	108.8	-9.7	44.7	-88.7	-7.1	5.0	-54.6	-0.1	-1.7
1976	114.6	-11.8	25.2	-66.0	-5.1	4.9	-61.5	-1.5	-1.3
1977	59.2	-14.7	77.6	-58.0	-4.4	5.6	-59.2	-6.5	-0.3
1978	76.8	-14.5	53.3	-54.6	-3.8	5.0	-55.1	-8.2	-1.2
1979	28.2	-14.0	101.4	-53.1	-3.8	5.1	-52.1	-12.6	-0.8
1980	78.9	-14.1	42.6	-45.6	-2.3	5.0	-54.5	-11.9	-1.9
1981	73.4	-12.8	43.0	-36.9	-1.7	4.0	-57.6	-13.7	-2.2
1982	-8.7	-15.1	132.2	-34.1	-2.1	5.2	-57.5	-20.2	-0.3
1983	58.0	-19.6	61.2	-29.3	-1.4	4.0	-55.6	-17.9	-0.6
1984	58.8	-21.0	72.6	-25.8	-0.8	5.1	-59.4	-30.1	-0.5
1985	119.2	-27.4	16.2	-15.4	-0.2	4.9	-60.6	-37.1	-0.3
1986	110.9	-28.8	25.7	-8.3	-0.1	4.7	-65.8	-39.2	-0.9
1987	84.4	-28.9	53.9	-3.9	0.0	5.0	-70.2	-41.0	-0.7
1988	-20.3	-31.7	160.6	-5.8	-0.4	6.1	-62.6	-46.4	-0.6
1989	25.2	-28.2	103.9	-5.9	-0.1	6.1	-54.1	-47.3	-0.5
1990	105.3	-25.4	18.3	-3.6	0.0	6.3	-56.5	-45.0	-0.6
1991	104.5	-24.4	19.4	-2.2	0.0	4.9	-58.4	-44.6	-0.8
1992	93.9	-32.4	34.7	-2.2	0.0	6.0	-55.2	-45.7	-0.9
1993	40.5	-27.9	82.6	-2.4	0.0	5.4	-48.6	-49.8	-0.2
1994	115.2	-21.9	0.1	-2.0	0.0	3.5	-46.6	-49.6	-1.4
1995	85.0	-24.6	36.8	-2.0	0.0	2.5	-47.8	-51.6	-1.8
1996	0.0	-22.8	110.3	-2.1	0.0	6.3	-35.7	-57.0	-1.0
1997	6.0	-28.1	104.4	-2.4	0.0	5.9	-23.5	-62.4	-0.2
1998	95.9	-27.0	12.6	-2.0	0.0	5.3	-25.7	-60.1	-0.9
1999	94.3	-28.5	22.2	-2.0	0.0	4.6	-30.9	-61.0	-1.3
2000	95.0	-29.3	16.7	-2.0	0.0	4.4	-32.0	-54.0	-1.1
2001	42.2	-31.2	75.7	-2.0	0.0	5.7	-25.7	-64.8	-0.1
2002	93.8	-31.3	20.2	-2.0	0.0	4.8	-24.7	-61.8	-1.1
2003	72.0	-33.1	45.0	-2.0	0.0	4.8	-25.0	-62.6	-0.9
2004	16.4	-33.4	92.6	-2.0	0.0	5.6	-12.9	-66.2	0.0
2005	113.6	-34.0	0.0	-2.0	0.0	2.4	-17.1	-64.1	-1.2
2006	46.3	-29.3	61.1	-2.0	0.0	4.8	-19.4	-62.8	-1.3
2007	44.4	-44.8	69.5	-2.0	0.0	4.4	-6.4	-65.2	-0.1
2008	77.8	-35.7	25.9	-2.0	0.0	3.9	-8.3	-62.8	-1.2
2009	44.4	-37.1	64.2	-2.0	0.0	3.5	-9.9	-64.1	-1.0
2010	-78.2	-30.2	165.0	-2.0	0.0	5.2	9.7	-69.7	-0.1
2011	-13.1	-39.7	103.4	-2.0	0.0	5.0	15.2	-68.6	0.3
2012	64.0	-39.1	24.5	-2.0	0.0	4.3	13.4	-65.4	-0.3
2013	30.5	-38.1	57.0	-2.0	0.0	4.6	13.8	-66.1	-0.3
2014	79.9	-40.4	15.1	-2.0	0.0	3.6	7.3	-64.2	-0.6
2015	68.0	-40.4	26.8	-2.0	0.0	4.6	6.1	-63.9	-0.8
2016	39.8	-40.4	59.0	-2.0	0.0	3.6	5.1	-65.2	-0.1
MEDIA	**62.6**	**-27.3**	**56.0**	**-16.5**	**-1.0**	**4.8**	**-34.1**	**-45.3**	**-0.8**

Tabla 30. 41.04a MANCHA OCCIDENTAL I. Fuente: Tragsatec (2017).

Año	Reservas	Extracciones netas	Recarga	ET	Drenaje Ríos	Recarga Ríos	De Mancha Occ. II	De otras zonas	Balance
1974	61.1	-66.3	20.8	-73.0	-45.1	8.1	82.7	6.0	-5.9
1975	22.3	-72.8	36.1	-51.6	-31.8	10.4	76.6	5.5	-5.3
1976	32.9	-101.9	13.7	-25.5	-12.6	10.5	73.0	4.8	-5.0
1977	-4.5	-116.2	66.4	-23.1	-12.1	14.2	64.5	5.7	-5.2
1978	17.5	-111.1	47.8	-28.4	-15.8	11.8	67.5	5.7	-5.1
1979	-19.6	-103.4	94.8	-38.8	-24.4	12.6	67.6	6.1	-5.2
1980	18.5	-98.2	34.3	-31.2	-11.3	11.3	66.1	5.5	-4.9
1981	13.7	-112.6	42.1	-19.9	-6.3	9.0	64.1	5.1	-4.9
1982	-34.3	-135.5	124.2	-25.5	-16.0	13.4	62.3	6.0	-5.3
1983	26.5	-142.3	61.8	-21.2	-11.2	9.4	66.0	5.6	-5.4
1984	24.4	-148.6	61.7	-21.5	-7.1	14.5	65.0	6.0	-5.6
1985	71.8	-156.8	9.3	-5.4	-1.7	10.9	60.9	5.7	-5.4
1986	57.6	-156.5	17.5	-0.6	0.0	11.6	59.1	5.9	-5.5
1987	33.8	-161.1	46.0	0.0	0.0	12.7	57.1	6.0	-5.5
1988	-91.8	-157.8	166.4	-0.4	0.0	19.2	52.0	6.7	-5.7
1989	-3.2	-173.2	100.4	-1.7	-0.3	16.8	48.2	7.1	-5.9
1990	81.7	-164.1	8.4	-1.3	-0.2	13.9	48.9	6.9	-5.8
1991	70.2	-158.6	13.3	0.0	0.0	9.4	54.4	6.2	-5.1
1992	40.9	-154.1	30.9	0.0	0.0	13.2	57.7	6.3	-5.2
1993	-45.1	-118.1	77.3	-0.1	0.0	15.4	59.1	6.3	-5.1
1994	14.2	-92.0	0.0	0.0	0.0	5.7	62.0	5.4	-4.6
1995	-22.6	-90.7	33.0	0.0	0.0	8.4	63.1	4.8	-4.1
1996	-105.8	-82.8	100.8	-0.1	-0.2	16.7	61.5	6.7	-3.3
1997	-41.3	-136.7	94.5	-1.7	-0.4	15.1	59.7	6.8	-4.0
1998	59.3	-145.3	5.7	-0.2	-0.2	10.6	59.2	6.7	-4.2
1999	42.5	-136.5	14.8	0.0	-0.1	10.3	58.4	6.5	-4.2
2000	33.5	-122.0	11.0	0.0	-0.1	8.9	58.1	6.5	-4.1
2001	-24.0	-122.5	64.0	-0.1	-0.2	15.2	56.4	6.8	-4.5
2002	30.6	-123.1	12.6	0.0	-0.1	10.9	58.0	6.8	-4.4
2003	5.3	-120.8	35.9	-0.1	-0.2	12.0	56.8	6.6	-4.4
2004	-30.7	-131.4	79.0	-0.3	-0.2	16.6	54.8	7.1	-5.3
2005	50.0	-124.2	0.0	0.0	0.0	4.7	59.1	6.5	-4.0
2006	-23.3	-110.5	51.3	-0.2	-0.2	12.3	60.7	6.4	-3.4
2007	-27.0	-122.8	67.6	-0.4	-0.2	10.0	62.4	7.0	-3.5
2008	10.9	-115.8	21.2	-0.1	-0.1	9.8	63.9	6.9	-3.3
2009	-25.1	-117.7	62.6	-0.4	-0.1	9.4	61.8	6.5	-3.0
2010	-116.7	-118.7	150.7	-4.2	-0.7	17.1	61.3	6.8	-4.2
2011	-43.7	-111.0	90.0	-17.0	-6.0	14.5	61.8	6.3	-5.0
2012	29.5	-115.6	19.9	-13.1	-4.8	10.2	63.6	6.1	-4.3
2013	-2.9	-102.7	43.9	-17.4	-5.5	13.0	61.0	6.2	-4.4
2014	33.5	-114.5	9.5	-5.7	-1.1	8.9	60.1	5.9	-3.5
2015	18.8	-114.5	21.2	-4.4	-0.6	11.9	57.8	6.1	-3.7
2016	-7.9	-114.6	46.7	-1.7	-0.1	11.6	56.2	6.2	-3.6
MEDIA	**5.4**	**-123.2**	**49.0**	**-10.2**	**-5.1**	**11.9**	**61.2**	**6.2**	-4.6

Tabla 31. 41.04b MANCHA OCCIDENTAL II. Fuente: Tragsatec (2017).

Año	Reservas	Extracciones netas	Recarga	ET	Drenaje Ríos	Recarga Ríos	De Mancha Occ. I	De otras zonas	Balance
1974	95.4	-72.6	27.0	-131.2	-8.8	11.3	-82.7	164.4	2.8
1975	47.7	-86.5	46.5	-97.2	-7.0	11.3	-76.6	164.6	2.7
1976	48.9	-102.1	18.9	-62.4	-3.7	11.7	-73.0	164.1	2.4
1977	0.7	-130.1	85.7	-67.1	-5.0	15.5	-64.5	167.3	2.5
1978	24.2	-114.4	61.5	-71.6	-5.3	12.9	-67.5	162.6	2.3
1979	-16.3	-116.9	121.1	-87.1	-7.3	13.6	-67.6	162.8	2.3
1980	39.1	-120.2	44.7	-65.1	-3.7	13.6	-66.1	159.7	2.0
1981	34.7	-136.4	53.3	-48.1	-2.9	9.3	-64.1	156.2	2.1
1982	-55.6	-152.4	158.8	-66.6	-6.6	14.8	-62.3	172.2	2.2
1983	28.9	-148.2	78.5	-59.4	-4.7	9.5	-66.0	163.9	2.6
1984	36.2	-176.5	80.0	-55.8	-3.0	14.7	-65.0	172.2	2.6
1985	86.9	-183.2	12.8	-31.7	-1.1	12.6	-60.9	167.3	2.8
1986	85.2	-208.0	23.6	-23.2	-0.5	12.1	-59.1	172.6	2.6
1987	45.4	-217.4	59.8	-16.9	-0.2	13.6	-57.1	175.5	2.7
1988	-89.8	-229.1	212.2	-35.3	-2.9	20.0	-52.0	179.6	2.6
1989	21.6	-256.7	128.8	-35.6	-1.9	18.1	-48.2	176.5	2.6
1990	110.9	-242.3	12.4	-21.4	-0.6	17.3	-48.9	175.3	2.8
1991	52.8	-181.9	18.1	-13.2	-0.1	11.3	-54.4	170.0	2.5
1992	27.4	-176.5	40.4	-14.4	-0.1	15.1	-57.7	168.4	2.6
1993	-61.2	-137.8	100.4	-19.4	-0.1	16.1	-59.1	164.1	2.9
1994	28.1	-108.7	0.3	-11.3	0.0	5.8	-62.0	150.2	2.4
1995	-19.5	-101.4	43.6	-9.1	0.0	5.5	-63.1	152.3	8.4
1996	-117.8	-94.7	133.4	-21.1	-0.5	18.0	-61.5	153.3	9.1
1997	-26.6	-161.2	125.4	-35.4	-2.1	15.5	-59.7	152.8	8.7
1998	83.2	-166.7	8.7	-18.6	-0.3	13.0	-59.2	148.7	8.7
1999	59.4	-161.7	20.5	-10.3	0.0	10.6	-58.4	148.9	8.9
2000	51.2	-149.8	15.5	-8.4	0.0	10.5	-58.1	148.3	9.2
2001	-28.7	-145.1	85.8	-13.1	-0.1	17.1	-56.4	149.9	9.5
2002	40.9	-140.0	17.7	-8.9	0.0	13.3	-58.0	144.3	9.3
2003	8.9	-141.4	48.5	-7.6	0.0	13.3	-56.8	144.2	9.1
2004	-41.2	-148.2	105.7	-18.3	-0.2	20.2	-54.8	145.8	9.0
2005	68.8	-131.8	0.0	-6.9	0.0	3.0	-59.1	134.6	8.6
2006	-39.7	-102.1	69.6	-6.6	0.0	14.4	-60.7	133.5	8.4
2007	-30.6	-111.5	90.1	-14.8	-0.1	11.4	-62.4	126.2	8.3
2008	25.0	-108.6	29.0	-6.7	0.0	9.9	-63.9	123.2	7.8
2009	-17.9	-119.6	83.5	-7.1	0.0	8.7	-61.8	121.6	7.5
2010	-139.3	-106.7	202.9	-31.2	-1.2	19.4	-61.3	124.4	7.0
2011	-28.4	-125.8	121.9	-36.2	-0.8	18.3	-61.8	119.9	7.1
2012	57.6	-118.9	27.3	-20.8	-0.3	12.6	-63.6	113.5	7.4
2013	9.4	-110.2	60.2	-22.7	-0.3	15.4	-61.0	116.4	7.3
2014	58.7	-119.1	13.5	-9.0	0.0	9.3	-60.1	113.7	7.0
2015	34.8	-119.1	29.2	-8.6	0.0	13.9	-57.8	114.6	6.8
2016	-3.9	-119.1	63.9	-7.4	0.0	12.1	-56.2	117.4	6.9
MEDIA	**13.8**	**-141.9**	**64.7**	**-31.7**	**-1.7**	**13.2**	**-61.2**	**150.2**	**5.4**

Tabla 32. 41.06m CAMPO DE MONTIEL. Fuente: Tragsatec (2017).

Año	Reservas	Extracciones netas	Recarga	ET	Drenaje Ríos	Recarga Ríos	De Rus-Valdelobos	De Mancha Occ. II	Balance
1974	274.3	-0.9	121.5	-143.8	-161.9	5.1	-24.9	-70.6	-1.2
1975	132.9	-1.1	160.7	-92.9	-120.5	7.3	-23.4	-63.6	-0.6
1976	113.5	-1.4	120.7	-63.5	-96.3	6.9	-22.0	-58.1	-0.3
1977	-8.0	-1.5	243.1	-62.0	-98.3	7.9	-21.8	-59.0	0.5
1978	67.0	-1.6	167.3	-62.2	-100.3	7.7	-21.4	-56.8	-0.3
1979	-25.9	-1.6	264.9	-63.2	-103.5	7.9	-21.3	-57.5	-0.1
1980	68.5	-2.4	148.5	-53.7	-93.5	7.7	-20.6	-54.9	-0.2
1981	106.6	-3.3	81.0	-39.6	-81.5	5.8	-19.7	-50.1	-0.9
1982	-135.7	-5.3	343.1	-42.6	-89.8	7.9	-20.2	-56.9	0.4
1983	79.2	-9.4	122.5	-41.2	-87.5	6.9	-19.7	-51.5	-0.7
1984	0.5	-16.4	221.2	-46.0	-90.8	8.1	-20.0	-56.2	0.3
1985	121.7	-24.2	83.2	-35.8	-79.5	6.9	-19.4	-52.9	0.0
1986	71.2	-26.9	118.8	-31.9	-65.3	6.8	-19.2	-53.4	0.0
1987	16.1	-27.7	155.5	-27.0	-52.6	6.4	-18.7	-51.9	0.0
1988	-127.3	-24.2	313.7	-33.6	-63.2	8.4	-19.2	-54.5	0.1
1989	-24.6	-22.8	228.4	-42.8	-70.9	7.8	-19.4	-55.8	-0.1
1990	77.7	-21.1	118.3	-40.6	-67.2	7.5	-19.2	-55.6	-0.2
1991	79.1	-16.5	89.2	-31.0	-57.3	6.3	-18.6	-51.5	-0.3
1992	52.1	-11.6	108.4	-30.4	-56.2	6.9	-18.6	-50.6	-0.1
1993	-47.3	-4.1	205.1	-32.9	-58.7	7.1	-18.6	-50.1	0.5
1994	118.9	-2.2	19.1	-26.4	-52.6	5.2	-17.9	-44.6	-0.5
1995	42.7	-2.8	80.4	-19.3	-46.0	3.6	-17.4	-41.7	-0.5
1996	-111.9	-1.9	252.8	-25.7	-55.3	6.1	-18.2	-45.7	0.3
1997	-92.9	-6.4	265.9	-35.1	-67.9	6.1	-18.7	-50.9	0.1
1998	74.2	-5.7	88.4	-32.7	-62.3	5.6	-18.4	-49.5	-0.3
1999	56.5	-6.6	91.5	-26.6	-54.3	5.0	-17.9	-47.5	0.0
2000	56.2	-4.8	83.8	-24.1	-51.6	5.0	-17.9	-46.3	0.4
2001	-65.0	-4.9	216.8	-27.8	-57.1	6.0	-18.3	-48.9	0.7
2002	52.9	-4.9	89.9	-25.1	-53.9	5.3	-18.0	-46.2	-0.1
2003	-6.8	-5.0	144.8	-22.4	-51.7	5.4	-17.9	-46.4	-0.1
2004	-85.5	-5.1	250.9	-33.1	-63.5	6.3	-18.7	-51.1	0.3
2005	134.7	-5.0	1.9	-23.6	-51.6	4.2	-17.7	-43.6	-0.7
2006	-36.7	-8.7	170.3	-19.8	-48.6	5.1	-17.7	-44.1	-0.2
2007	8.0	-11.1	140.1	-26.0	-54.1	5.6	-18.0	-44.3	0.3
2008	51.3	-8.3	78.8	-19.7	-47.4	5.0	-17.6	-42.6	-0.4
2009	11.3	-8.8	113.7	-16.8	-45.1	4.5	-17.3	-41.7	-0.4
2010	-206.3	-9.4	377.5	-31.7	-66.3	5.6	-18.8	-50.4	0.2
2011	-86.4	-10.2	271.2	-37.9	-70.8	5.4	-19.0	-51.5	0.8
2012	83.8	-11.2	84.1	-31.7	-63.1	4.6	-18.6	-48.3	-0.5
2013	-2.3	-10.0	174.3	-33.2	-63.9	4.9	-18.9	-50.6	0.4
2014	79.9	-11.5	72.0	-25.5	-54.1	4.0	-18.3	-47.3	-0.7
2015	55.3	-11.5	93.7	-24.6	-52.4	4.4	-18.3	-47.0	-0.4
2016	-33.6	-11.5	181.9	-23.3	-51.5	4.6	-18.3	-48.1	0.3
MEDIA	**23.0**	**-9.1**	**157.2**	**-37.9**	**-69.3**	**6.1**	**-19.2**	**-50.9**	**-0.1**

Tabla 33. 41.04a+b+c MANCHA OCCIDENTAL COMPLETA, INCLUIDA RUS-VALDELOBOS. Fuente: Tragsatec (2017).

Año	Reservas	Extracciones netas	Recarga	ET	Drenaje Ríos	Recarga Ríos	De Campo de Montiel	De otras zonas	Del Júcar
1974	303.4	-151.6	76.2	-323.8	-62.8	23.8	95.5	30.3	3.8
1975	178.7	-169.0	127.3	-237.5	-45.9	26.6	87.0	28.5	-0.1
1976	196.4	-215.7	57.8	-153.9	-21.4	27.1	80.2	27.2	-1.5
1977	55.5	-261.0	229.7	-148.2	-21.5	35.2	80.8	33.0	-6.5
1978	118.4	-240.0	162.6	-154.6	-24.9	29.7	78.2	34.9	-8.2
1979	-7.7	-234.2	317.3	-179.1	-35.5	31.3	78.8	38.0	-12.6
1980	136.5	-232.5	121.6	-141.9	-17.3	29.9	75.5	35.3	-11.9
1981	121.8	-261.8	138.5	-104.9	-10.9	22.3	69.9	33.8	-13.7
1982	-98.6	-302.9	415.2	-126.2	-24.7	33.5	77.2	43.5	-20.2
1983	113.4	-310.1	201.5	-109.9	-17.3	22.9	71.2	42.7	-17.9
1984	119.4	-346.1	214.2	-103.1	-10.9	34.3	76.3	42.5	-30.1
1985	277.9	-367.5	38.3	-52.4	-3.0	28.4	72.3	40.2	-37.1
1986	253.7	-393.3	66.7	-32.0	-0.6	28.3	72.5	40.2	-39.2
1987	163.6	-407.4	159.7	-20.8	-0.2	31.3	70.6	40.7	-41.0
1988	-201.9	-418.6	539.2	-41.6	-3.3	45.3	73.7	50.0	-46.4
1989	43.6	-458.1	333.1	-43.2	-2.4	41.1	75.2	54.3	-47.3
1990	297.8	-431.8	39.1	-26.3	-0.8	37.5	74.8	50.9	-45.0
1991	227.5	-365.0	50.8	-15.4	-0.1	25.6	70.1	47.7	-44.6
1992	162.1	-363.0	106.0	-16.7	-0.1	34.3	69.2	50.3	-45.7
1993	-65.9	-283.8	260.4	-21.9	-0.1	36.9	68.7	53.0	-49.8
1994	157.5	-222.6	0.4	-13.3	0.0	15.0	62.5	46.5	-49.6
1995	42.9	-216.8	113.3	-11.2	0.0	16.4	59.1	50.2	-51.6
1996	-223.7	-200.3	344.5	-23.3	-0.8	41.0	63.9	60.5	-57.0
1997	-62.0	-326.1	324.3	-39.5	-2.5	36.4	69.6	66.6	-62.4
1998	238.3	-339.0	27.0	-20.9	-0.5	29.0	67.8	61.9	-60.1
1999	196.2	-326.6	57.5	-12.4	-0.1	25.4	65.5	59.0	-61.0
2000	179.7	-301.1	43.2	-10.4	-0.1	23.9	64.2	58.7	-54.0
2001	-10.5	-298.7	225.5	-15.2	-0.3	37.9	67.2	63.8	-64.8
2002	165.3	-294.5	50.4	-11.0	-0.2	29.1	64.2	62.2	-61.8
2003	86.2	-295.3	129.4	-9.7	-0.2	30.1	64.3	61.6	-62.6
2004	-55.4	-313.0	277.3	-20.7	-0.4	42.3	69.8	70.1	-66.2
2005	232.4	-290.1	0.0	-8.9	0.0	10.1	61.4	62.6	-64.1
2006	-16.6	-241.9	182.0	-8.8	-0.2	31.4	61.9	58.7	-62.8
2007	-13.1	-279.2	227.2	-17.3	-0.3	25.8	62.3	64.5	-65.2
2008	113.7	-260.1	76.1	-8.9	-0.1	23.7	60.1	61.6	-62.8
2009	1.5	-274.4	210.4	-9.5	-0.2	21.6	59.1	59.1	-64.1
2010	-334.1	-255.6	518.7	-37.5	-1.9	41.7	69.2	71.8	-69.7
2011	-85.1	-276.4	315.3	-55.2	-6.8	37.9	70.5	70.9	-68.6
2012	151.0	-273.6	71.7	-35.9	-5.1	27.1	66.9	66.1	-65.4
2013	37.1	-251.0	161.1	-42.0	-5.8	33.1	69.5	66.8	-66.1
2014	172.1	-274.0	38.1	-16.7	-1.1	21.8	65.6	61.4	-64.2
2015	121.7	-274.0	77.1	-15.0	-0.7	30.4	65.3	61.5	-63.9
2016	28.1	-274.1	169.6	-11.1	-0.1	27.3	66.4	62.4	-65.2
MEDIA	**81.8**	**-292.4**	**169.7**	**-58.3**	**-7.7**	**29.9**	**70.1**	**52.2**	**-45.3**

5.1. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DEL MODELO

- Los valores de extracción simulados por el modelo FLUSAG subestiman de manera notoria las tasas reales de extracción producidas actualmente sobre las MASb.
- Las denominaciones de las masas de agua subterránea presentadas en las tablas no corresponden con las denominaciones de las MASb vigentes en la actualidad sino con la denominación de las antiguas Unidades Acuífero, unidades de gestión obsoletas en la actualidad. Esto podría indicar que los balances han sido realizados con actualizaciones precedentes del modelo FLUSAG y no mediante la versión más reciente.
- El modelo FLUSAG no ha sido dotado de volúmenes de recarga procedentes del retorno de riegos, lo cual supone una importante carencia a la hora de obtener un balance hídrico realista.
- Se evidencia que el modelo FLUSAG no cuantifica de manera adecuada las transferencias hídricas subterráneas entre el conjunto de MASb simuladas, así como los aportes producidos desde zonas externas del modelo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente Informe se han revisado los principales aspectos de la construcción, calibración y explotación del modelo FLUSAG en su versión más reciente y actualizada. En base a la información revisada, se concluye que la versión actual del modelo FLUSAG posee importantes deficiencias que lo imposibilitan para realizar balances hídricos realistas entre las MASb del Alto Guadiana. Dichas deficiencias se relacionan con i) la construcción del modelo (representación inadecuada de unidades acuíferas), ii) distribución inadecuada de parámetros hidráulicos, iii) consideración de condiciones de contorno no representativas de la realidad hidrogeológica del sistema y iv) deficiencias en la calibración. Todo ello resulta en la imposibilidad de utilizar el modelo FLUSAG como herramienta adecuada para la planificación hidrológica de las MASb del Alto Guadiana. Se recomienda por tanto realizar una nueva actualización del modelo FLUSAG que contemple el conocimiento actual de los acuíferos del Alto Guadiana. Se recomienda asimismo la inclusión de la MASb Campo de Calatrava en futuras actualizaciones del modelo FLUSAG.