

Trabajo Fin de Máster

ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE MANANTIALES DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR Y MODELIZACIÓN DE SU COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO

Intensificación:

ANÁLISIS DE SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS

Autor:

JULEN LÓPEZ FERNÁNDEZ

Directores:

MIGUEL ÁNGEL PÉREZ MARTÍN

LAURA TANCO BALLESTEROS

Codirector:

TEODORO ESTRELA MONREAL

Septiembre, 2018



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo Fin de Máster

Datos del proyecto
Título del TFM en español: Análisis del inventario de manantiales de la Confederación Hidrográfica del Júcar y modelización de su comportamiento hidrológico
Título del TFM en inglés: Analysis of the springs inventory of the Jucar River Basin and modeling of its hydrological behavior
Título del TFM en Valenciano: Anàlisi de l'inventari de brolladors de la Confederació Hidrogràfica del Xúquer i modelització del seu comportament hidrològic
Alumno: JULEN LÓPEZ FERNÁNDEZ.
Tutores: MIGUEL ÁNGEL PÉREZ MARTÍN LAURA TANCO BALLESTEROS
Cotutor: TEODORO ESTRELA MONREAL
Fecha de Lectura: Septiembre, 2018

Resumen
En español
Los manantiales tienen una especial importancia en la hidrología subterránea, son fundamentales en la interrelación que presentan las aguas subterráneas y superficiales, abastecen de agua a usos urbanos y agrícolas, crean zonas de importante interés medioambiental, paisajístico y recreativo, dan lugar a nacimientos fluviales, etc., por lo que, es importante llevar a cabo una buena caracterización y estudio de dichos puntos de agua. En este contexto se presenta el actual Trabajo Fin de Máster, que constará de dos partes principales. La primera parte consistirá en la creación de un inventario único y completo de los manantiales de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ). La segunda parte consistirá en introducir los manantiales más relevantes al modelo Patrical (Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrados con Calidad del Agua; Pérez Martín, 2005), y analizar su comportamiento hidrológico mediante la modelización con dicho programa. La Oficina de Planificación Hidrológica (OPH) dispone de varias bases de datos sobre fuentes y manantiales (IGME, fuentes propias como guardería fluvial o red oficial de hidrometría...). Mediante este trabajo, se han unificado todas estas bases de datos, y se han añadido manantiales e información procedente de otras nuevas fuentes de datos y estudios, creando un único y completo inventario. Además, se ha hecho un minucioso trabajo manual para detectar registros de manantiales duplicados en distintas bases de datos y se

han identificat els manants més rellevants de la CHJ atenint a diferents criteris com el hidrològic o el ambiental.

Se han introduït en el model Patricat els manants més rellevants, lo que constitueix una millora en el model, ja que aquests punts seran zones preferents de drenatge d'aigua subterrània. Se han escollit els manants més significatius i se han analitzat els resultats de la modelització dels mateixos. Se ha fet un anàlisi del entorn de diversos manants (comportament hidrològic subterràni, anàlisi de les estacions de afora, extraccions d'aigua subterrània...), per entendre així el funcionament integrat del sistema en el que aquests manants se troben. Se han calibrat els cabals de sortida dels manants en el model ajustant-los amb els cabals mesurats en la realitat. De esta forma se obté una eina per a l'estudi del comportament hidrogeològic dels manants amb un enfocament integrat entre les aigües superficials i subterrànies, per lo que, se consigue un model més robuste que representa de manera més real el funcionament de la interrelació entre aigües subterrànies i superficials

En valencià

Les fonts tenen una importància especial en la hidrologia subterrània, són fonamentals en la interrelació que presenten les aigües subterrànies i les superficials, abasteixen d'aigua als usos urbans i agrícoles, creen zones d'important interès mediambiental, paisatgístic i recreatiu, donen lloc a naixements fluvials, etc., per estes raons, es important dur a terme una bona caracterització i estudi d'aquests punts d'aigua. Sota aquest context es presenta l'actual Treball de Fi de Màster, que està format per dos parts fonamentals. La primera part consistirà en la creació d'un inventari únic i complet de les fonts de la confederació hidrogràfica del Xúquer (CHJ). La segona part consistirà en introduir les fonts més rellevants al model Patricat (Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrados con Calidad del Agua; Pérez Martín, 2005), i analitzar el seu comportament hidrològic mitjançant la modelització amb el programa indicat.

L'Oficina de Planificació Hidrològica (OPH) disposa de diverses bases de dades sobre fonts (IGME, fonts pròpies com guarderia fluvial o xarxa oficial d'hidrometria...). Mitjançant aquest treball, s'han unificat totes estes bases, i s'han afegit fonts i informació procedent d'altres noves fonts de dades i estudis, creant un únic i complet inventari. A més, s'ha realitzat un treball manual minuciós per a detectar registres de fonts duplicats en diferents bases de dades i s'han identificat les fonts més rellevants de la CHJ atenint a diferents criteris com l'hidrològic o l'ambiental.

S'han introduït en el model Patricat les fonts més rellevants, el que constitueix una millora en el model, ja que aquests punts seran zones preferents de drenatge d'aigua subterrània. S'han escollit les fonts més significatives i s'han analitzat els resultats de la modelització dels mateixos. S'ha realitzat un anàlisi

de l'entorn de diverses fonts (comportament hidrològic subterrani, anàlisi de les estacions d'aforament, extraccions d'aigua subterrània...), per entendre així el funcionament integrat del sistema en el que aquestes fonts se situen. S'han calibrat els cabals d'eixida de les fonts en el model ajustant-los amb els cabals mitjos en la realitat. D'aquesta manera s'obté una ferramenta per a l'estudi del comportament hidrogeològic de les fonts amb un enfocament integrat entre les aigües superficials i subterrànies, aconseguint així, un model més robust que representa de manera més real el funcionament de la interrelació entre aigües subterrànies i superficials.

En inglés

The springs have a special importance in the groundwater hydrology, they are fundamental in the interrelationship between the groundwater and surface water, they supply water to urban and agricultural uses, they create zones of major environmental, landscape and recreational interest, they give rise to fluvial births, etc., so, it is important to carry out a good characterization and study of these water points. In this context arises the current final Master work, which will consist of two main parts. The first part will consist in the creation of a unique and complete inventory of the springs of the Júcar River Basin District. The second part consist of introducing the most relevant springs to the Patrical simulation model ("*Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrado con Calidad del agua*"; Pérez Martín, 2005), and analyse their hydrological behaviour through modeling with sthis program.

The Hydrological Planning Office, has several databases on sources and springs (IGME, own sources such as river protection or official hydrometry network ...). Through this work, all these databases have been unified, and springs and information from other new sources of data and studies have been added, creating a single and complete inventory. In addition, a meticulous manual work has been done to detect records of duplicated springs in different databases and the most relevant springs of the CHJ have been identified, taking into account different criteria such as hydrological or environmental.

The most relevant springs, have been introduced in the Patrical model, what constitutes an improvement in the model, since these points will be preferential areas of groundwater drainage. The most significant springs have been chosen and the results of modelling them have been analysed. An analysis of the environment of several springs has been made (underground hydrological behavior, analysis of the gauging stations, groundwater extractions ...), to understand the integrated functioning of the system in which these springs are located. The output flows of the springs have been calibrated in the model, adjusting them with the flow rates measured in reality. In this way, a tool for the study of the hydrogeological behavior of the springs with an integrated approach between surface and groundwater is obtained, so that a more robust model is obtained that represents in a more real way the functioning of the interrelation between waters underground and surface.

Palabras clave español: Manantiales, Inventario, Modelización hidrológica, Patrical
Palabras clave valenciano: Fonts, Inventari, modelització hidrològica, Patrical
Palabras clave inglés: Springs, Inventory, Hydrological modeling, Patrical

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	ÁMBITO DE ESTUDIO	3
2.1	Marco físico	4
2.2	Sistemas de explotación	6
2.3	Masas de agua subterránea.....	7
3	REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	9
3.1	Manantiales.....	9
3.2	Modelo Patricial	20
4	METODOLOGÍA	25
4.1	Inventario de Manantiales	26
4.2	Análisis Hidrológico y Modelación.....	26
5	INVENTARIO DE MANANTIALES.....	33
5.1	Análisis de datos e incorporación de manantiales	33
5.2	Elección de manantiales relevantes.....	43
5.3	Revisión y depuración manual de duplicados	48
5.4	Resultado del inventario de manantiales de la CHJ.....	57
6	ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y MODELACIÓN.....	59
6.1	Introducción de manantiales, elección de puntos de contraste y modelación.....	59
6.2	Análisis hidrológico integrado de los sistemas seleccionados	73
6.3	Calibración y análisis de resultados	90
7	CONCLUSIONES	107
8	LÍNEAS FUTURAS	111
9	REFERENCIAIS	113
	ANEXO I.....	115

ÍNDICE DETALLADO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	ÁMBITO DE ESTUDIO	3
2.1	Marco físico	4
2.2	Sistemas de explotación	6
2.3	Masas de agua subterránea	7
3	REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE	9
3.1	Manantiales	9
3.1.1	Instituto Geológico y Minero de España	9
3.1.2	Diputación Provincial de Alicante	11
3.1.3	Universidad de Castilla La Mancha	12
3.1.4	Centro de Estudios de la Comarca de Albarracín	14
3.1.5	CHJ. Guardería Fluvial	15
3.1.6	CHJ. Red Oficial de Hidrometría	16
3.1.7	CHJ. Registro de Aguas	17
3.1.8	Instituto Geográfico Nacional	18
3.1.9	Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo – Generalitat Valenciana	19
3.2	Modelo Patricial	20
4	METODOLOGÍA	25
4.1	Inventario de Manantiales	26
4.2	Análisis Hidrológico y Modelación	26
4.2.1	Introducción de manantiales, elección de puntos de contraste y modelación	26
4.2.2	Análisis hidrológico integrado de los sistemas seleccionados	30
4.2.3	Calibración del modelo y análisis de resultados	31
5	INVENTARIO DE MANANTIALES	33
5.1	Análisis de datos e incorporación de manantiales	33
5.1.1	Instituto Geológico y Minero de España	33
5.1.2	Diputación Provincial de Alicante	35
5.1.3	Universidad de Castilla La Mancha	36
5.1.4	Centro de estudios de la comunidad de Albarracín	37
5.1.5	CHJ. Guardería Fluvial	38
5.1.6	CHJ. Red Oficial de Hidrometría	39
5.1.7	CHJ. Registro de Aguas	40

5.1.8	Instituto Geográfico Nacional.....	41
5.1.9	Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo – Generalitat Valenciana.....	42
5.2	Elección de manantiales relevantes.....	43
5.2.1	Caudales altos.....	43
5.2.2	Series de mediciones significativas	44
5.2.3	Uso para abastecimientos urbanos importantes.....	46
5.2.4	Conexión con zonas húmedas	46
5.3	Revisión y depuración manual de duplicados	48
5.3.1	Ejemplos.....	48
5.4	Resultado del inventario de manantiales de la CHJ.....	57
6	ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y MODELACIÓN.....	59
6.1	Introducción de manantiales, elección de puntos de contraste y modelación.....	59
6.1.1	Introducción de manantiales.....	59
6.1.2	Elección de puntos de contraste.....	60
6.1.3	Resultados de las primeras simulaciones.....	65
6.2	Análisis hidrológico integrado de los sistemas seleccionados	73
6.2.1	Cabecera del río Mijares.....	73
6.2.2	Alto Palancia.....	82
6.3	Calibración y análisis de resultados	90
6.3.1	Mejoras generales del modelo.....	90
6.3.2	Calibración específica y resultados	94
7	CONCLUSIONES	107
8	LÍNEAS FUTURAS	111
9	REFERENCIAIS	113
	ANEXO I.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, ciclo de planificación hidrológico 2015-2021.....	3
Figura 2. Red hidrográfica y modelo digital del terreno de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, ciclo de planificación hidrológico 2015-2021.....	4
Figura 3. Mapa litológico. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, ciclo de planificación hidrológico 2015-2021.	5
Figura 4. Sistemas de explotación. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, ciclo de planificación hidrológico 2015-2021.	6
Figura 5. Masa de agua subterránea. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológico 2015-2021.	7
Figura 6. Registros pertenecientes al trabajo de la actividad 4 de la Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Fuente: elaboración propia a partir de (IGME, 2009).....	10
Figura 7. Registros pertenecientes a los dos libros de la Diputación Provincial de Alicante. Fuente: elaboración propia a partir de los trabajos de la DPA (DPA, 2003 y 2007).	11
Figura 8. Ámbito territorial del estudio de fuentes, manantiales y pequeños espacios del agua en la cuenca media de los ríos Júcar y Cabriel. Fuente: trabajo de la UCLM (UCLM, 2009).....	12
Figura 9. Registros pertenecientes al trabajo al estudio de fuentes, manantiales y pequeños espacios del agua en la cuenca media de los ríos Júcar y Cabriel. Fuente: elaboración propia a partir del trabajo de la UCLM (UCLM, 2009).....	13
Figura 10. Registros pertenecientes al Proyecto ALBAQUA. Fuente: elaboración propia a partir del trabajo CECAL (Hervás, 2015).	14
Figura 11. Registros pertenecientes a la base de datos de la red de manantiales de Guardería Fluvial. Fuente: Elaboración propia a partir de información de CHJ.	15
Figura 12. Registros pertenecientes a la base de datos de la Red Oficial de Hidrometría. Fuente elaboración propia a partir de información de la CHJ.	16
Figura 13. Registros pertenecientes a la base de datos del Registro de Aguas. Fuente elaboración propia a partir de información de la CHJ.	17
Figura 14. Registros pertenecientes a la base de datos del Instituto Geográfico Nacional. Fuente: Elaboración propia a partir de información del IGN.	18
Figura 15. Registros pertenecientes a la base de datos del SINAC-GVA. Fuente: Elaboración propia a partir de información del SINAC.	19
Figura 16. De izquierda a derecha mapa geológico y CORINE land cover map 2000. Fuente: CHJ.	20
Figura 17. Mapas de datos de entrada (precipitación y temperatura) y resultados de aportación en la red fluvial en octubre del 2000. Fuente: (Pérez Martín et al., 2014).	21

Figura 18. Esquema del modelo conceptual del ciclo hidrológico de Patricál. Fuente: (Pérez Martín, 2005).	22
Figura 19. Modelación en dos capas. Fuente: (Pérez Martín, 2005).	22
Figura 20. Esquema general de la metodología. Fuente: Elaboración propia. .	25
Figura 21. Proceso de selecciones de manantiales llevado a cabo en este TFM. Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 22. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos del IGME. Fuente: elaboración propia.	34
Figura 23. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos de la Diputación Provincial de Alicante. Fuente: elaboración propia.	35
Figura 24. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos de la Universidad de Castilla La Mancha Fuente: elaboración propia.	36
Figura 25. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos de ALBAQUA Fuente: elaboración propia.	37
Figura 26. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos de Guardería Fluvial Fuente: elaboración propia.	38
Figura 27. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos de la ROH Fuente: elaboración propia.	39
Figura 28. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos del Registro de Aguas Fuente: elaboración propia.	40
Figura 29. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos del IGN Fuente: elaboración propia.	41
Figura 30. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos del SINAC. Fuente: elaboración propia.	42
Figura 31. Gráfico con la relación entre el Q medio medido de los manantiales y el % de los manantiales de la DHJ con un valor igual o superior a ese caudal medio. Fuente: Elaboración propia.	44
Figura 32. Gráfico con la relación entre el número de mediciones de Q de un mismo manantial y el número de manantiales de la DHJ con un valor igual o superior a ese número de mediciones. Fuente: Elaboración propia.	45
Figura 33. Zonas Húmedas de La Demarcación Hidrográfica del Júcar. Fuente: CHJ.	47
Figura 34. Localización geográfica del manantial de Font Salada. Fuente: CHJ.	49
Figura 35. De izquierda a derecha y de arriba abajo, orto foto con manantiales previos a la depuración de duplicados con el manantial relevante señalado y fichas de Font Salada perteneciente al IGME, a Guardería Fluvial y al IGN. Fuente: CHJ.	49
Figura 36. Imágenes de Google Earth del manantial de Font Salada. Fuente: Google Earth.	50
Figura 37. Resultado de la depuración de duplicados del manantial de Font Salada. Fuente: CHJ.	50
Figura 38. Orto foto con manantiales previos a la depuración de duplicados con los manantiales relevantes señalados. Fuente: CHJ.	51
Figura 39. De izquierda a derecha, fichas de información de los manantiales de la fuente de los 50 caños perteneciente a Guardería Fluvial, La Caprichosa	

perteneciente a la ROH y Fuente Noguera perteneciente a Guardería Fluvial.	
Fuente: CHJ.	52
Figura 40. Imagen de Google Earth donde se observa al fondo la Fuente de los 50 Caños. Fuente: Google Earth.....	52
Figura 41. Resultado de la depuración de duplicados del manantial de la Fuente de los 50 Caños. Fuente CHJ.	53
Figura 42. Localización geográfica del manantial de la Bolata. Fuente: CHJ....	53
Figura 43. Orto foto con manantiales previos a la depuración de duplicados con los manantiales relevantes señalados Fuente: CHJ.....	54
Figura 44. De arriba abajo, fichas de información de los manantiales del manantial de la Bolata perteneciente al IGME y al SINAC. Fuente: CHJ.	55
Figura 45. De arriba abajo y de izquierda a derecha, fichas de información del manantial de la Bolata perteneciente a GF, la ROH y La Diputación de Alicante. Fuente: CHJ.	55
Figura 46. Resultado de la depuración de duplicados del manantial del manantial de la Bolata. Fuente: CHJ.	56
Figura 47. De izquierda a derecha mapa con todos los manantiales del nuevo inventario de manantiales de la CHJ y manantiales relevantes. Fuente: Elaboración propia.	57
Figura 48. Vista del manantial de la Escaleruela mediante Geshidro. Fuente: CHJ.	58
Figura 49. Manantiales introducidos en el modelo Patrical. Fuente: Elaboración Propia.....	60
Figura 50. Manantiales más significativos de la CHJ modelados mediante Patrical y zonas de estudio de detalle indicadas en rojo. Fuente elaboración propia.	61
Figura 51. Puntos de contraste en la cabecera del Mijares. Fuente: elaboración propia.	62
Figura 52. Puntos de contraste en el Alto Palancia. Fuente: elaboración propia.	63
Figura 53. Caudales medidos en el manantial de La Escaleruela. Fuente: Geshidro, CHJ.....	64
Figura 54. caudales medidos en el manantial de la Fuente de Los Baños de Montanejos. Fuente: Geshidro, CHJ.	64
Figura 55. Fuente de los baños de Montanejos. Fuente: CHJ.	65
Figura 56. Gráfico con los caudales observados y los caudales resultantes de las primeras simulaciones tanto en régimen natural como en alterado, en el nacimiento del Mijares. Fuente: Elaboración propia.....	68
Figura 57. Gráfico con los caudales observados y los caudales resultantes de las primeras simulaciones tanto en régimen natural como en alterado, en el Manantial de Babor. Fuente: Elaboración propia.	68
Figura 58. Gráfico con los caudales restituidos y los caudales resultantes de las primeras simulaciones tanto en régimen natural como en alterado, en el Embalse de Arenós. Fuente: Elaboración propia.	69
Figura 59. Gráfico con los caudales observados y los caudales resultantes de las primeras simulaciones tanto en régimen natural como en alterado, en el Manantial de La Esperanza. Fuente: Elaboración propia.....	71

Figura 60. Cabecera del Río Mijares, con información sobre manantiales, zonas de conexión río-acuífero, estaciones de aforo, y masas de agua subterránea. Fuente: elaboración propia.....	74
Figura 61. Localización de los manantiales de Babor, Mas Royo y La Escaleruela. Fuente: Google Earth.	75
Figura 62. Serie de caudales medios mensuales con la estimación de la componente subterránea, en la estación de aforo de El Terde. Fuente: elaboración propia.....	76
Figura 63. Serie de caudales medios mensuales con la estimación de la componente subterránea, en la estación de aforo de Los Mases. Fuente: elaboración propia.....	77
Figura 64. Serie de caudales medios mensuales restituidos a régimen natural con la estimación de la componente subterránea, en el embalse de Arenós. Fuente: elaboración propia.....	77
Figura 65. Mapa piezométrico con sentidos del flujo de 2005, y permeabilidad de los bordes de las masas de agua subterránea de la zona de la cabecera del Mijares. Fuente: elaboración propia a partir de CHJ 2006 y Vázquez 2017....	79
Figura 66. Mapa piezométrico con sentidos del flujo de 1970-1974, y permeabilidad de los bordes de las masas de agua subterránea de la zona de la cabecera del Mijares. Fuente: elaboración propia a partir de IGME-DGA, 2009 y Vázquez 2017.	80
Figura 67. Alto Palancia, con información sobre manantiales, zonas de conexión río-acuífero, estaciones de aforo, y masas de agua subterránea. Fuente: elaboración propia.....	82
Figura 68. Serie de caudales medios mensuales con la estimación de la componente subterránea, en la estación de aforo de Jérica. Fuente: elaboración propia.	84
Figura 69. Serie de caudales medios mensuales restituidos a régimen natural con la estimación de la componente subterránea, en el embalse del Regajo. Fuente: elaboración propia.....	84
Figura 70. Fotos del río Palancia en abril de 2010 .Arriba a la izquierda, aguas arriba del Núcleo urbano de Teresa. Abajo a la izquierda aguas abajo de Viver. A la derecha, cerca de núcleo urbano de Jérica. Fuente: CHJ.	86
Figura 71. Mapa piezométrico con sentidos del flujo o de 2005, y permeabilidad de los bordes de las masas de agua subterránea de la zona de la cabecera del Alto Palancia. Fuente: elaboración propia a partir de CHJ 2006 y Vázquez 2017.	87
Figura 72 Mapa piezométrico con sentidos del flujo de 1970-1974, y permeabilidad de los bordes de las masas de agua subterránea de la zona del Alto Palancia. Fuente: elaboración propia a partir de IGME-DGA 2009 y Vázquez 2017.	88
Figura 73. Unidades de demanda agrícola (UDA) de la zona del Alto Palancia. Fuente: CHJ.	89
Figura 74. A la izquierda, en azul, tramos de río con preferencia de drenaje de agua subterránea en el modelo de 2017, a la derecha, en rosa; tramos de río con preferencia de drenaje de agua subterránea en el modelo de 2018. Fuente: Elaboración propia.	92

Figura 75. Gráfico con los caudales observados y los caudales resultantes del modelo calibrado, en régimen natural, en el nacimiento del Mijares. Fuente: Elaboración propia.	97
Figura 76. Gráfico con los caudales observados y los caudales resultantes del modelo calibrado, en régimen natural, en el Manantial de Babor. Fuente: Elaboración propia.	98
Figura 77. Gráfico con los caudales restituidos y los caudales resultantes del modelo calibrado, en régimen natural, en el Embalse de Arenós. Fuente: Elaboración propia.	98
Figura 78. Gráfico con los caudales observados y los caudales resultantes del modelo calibrado, en régimen natural, en el Manantial de La Esperanza. Fuente: Elaboración propia.	100
Figura 79. Gráfico con los caudales restituidos y los caudales resultantes del modelo calibrado, en régimen natural, en el Embalse del Regajo. Fuente: Elaboración propia.	101
Figura 80. Calidad del ajuste final en los manantiales significativos de la CHJ. Fuente: elaboración propia.	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Manantiales más significativos de la CHJ. Fuente: Elaboración propia.	28
Tabla 2. Escala estadística general recomendada para paso de tiempo mensual. Fuente: Moriasi et al. 2007.	32
Tabla 3. Q medio medido de los manantiales y el número y % de los manantiales de la DHJ con un valor igual o superior a ese caudal medio. Fuente: Elaboración propia.	43
Tabla 4. Número de mediciones de Q de un mismo manantial y el número y % de manantiales de la DHJ con un valor igual o superior a ese número de mediciones. Fuente: Elaboración propia.	45
Tabla 5. Resultados de las primeras simulaciones en régimen natural en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.	66
Tabla 6. Resultados de las primeras simulaciones en régimen natural en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.	66
Tabla 7. Resultados de las primeras simulaciones en régimen alterado en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.	67
Tabla 8. Resultados de las primeras simulaciones en régimen alterado en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.	67
Tabla 9. Resultados de las primeras simulaciones en régimen natural en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.	70
Tabla 10. Resultados de las primeras simulaciones en régimen natural en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.	70
Tabla 11. Resultados de las primeras simulaciones en régimen alterado en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.	70
Tabla 12. Resultados de las primeras simulaciones en régimen alterado en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.	71
Tabla 13. Caudales medios y estimaciones de componente subterránea y superficial en los puntos de control de la cabecera del río Mijares. Fuente: Elaboración propia.	78
Tabla 14. Índice de explotación de la masa de agua subterránea de Javalambre Oriental. Fuente: Anejo 12 del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológico 2015-2021.	81
Tabla 15. Caudales medios y estimaciones de componente subterránea y superficial en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.	85

Tabla 16. Balance de masa en la masa de agua subterránea de Jérica. Fuente: Anejo 2 del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológico 2015-2021.	88
Tabla 17. Índice de explotación de la masa de agua subterránea de Jérica. Fuente: Anejo 12 del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológico 2015-2021.	89
Tabla 18. Resultados de las simulaciones finales en régimen natural en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.	95
Tabla 19. Resultados de las simulaciones finales en régimen natural en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.	95
Tabla 20. Resultados de las simulaciones finales en régimen alterado en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.	96
Tabla 21. Resultados de las simulaciones finales en régimen alterado en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.	96
Tabla 22. Resultados de las simulaciones finales en régimen natural en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.	99
Tabla 23. Resultados de las simulaciones finales en régimen natural en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.	99
Tabla 24. Resultados de las simulaciones finales en régimen alterado en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.	99
Tabla 25. Resultados de las simulaciones finales en régimen alterado en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.	100
Tabla 26. Resultados de las simulaciones finales en régimen natural en el periodo 1940-2017 y en los manantiales más significativos de la DHJ. Fuente: Elaboración propia.	103

1 INTRODUCCIÓN

Las surgencias de agua subterránea o manantiales suelen ser zonas de un interés trascendental para el ser humano y el medio ambiente. Históricamente y actualmente los manantiales han condicionado y condicionan la existencia de asentamientos humanos y núcleos urbanos y la presencia de una gran variedad de flora y fauna, ya que proporcionan abastecimiento hídrico para consumo, regadío o actividades industriales, crean zonas de interés paisajístico y recreativo, etc. Estos puntos de agua son también de una importancia vital desde un punto de vista puramente hidrológico ya que son fundamentales en la interrelación que presentan las aguas subterráneas y superficiales. Por lo tanto, y entendiendo que es importante conocer para proteger, es necesario llevar a cabo una buena caracterización y estudio de dichos puntos de agua.

En una zona donde el recurso hídrico es fundamental dada su escasez y su alta demanda, como sucede en la DHJ, es básico el conocimiento y la comprensión de las distintas componentes del ciclo hidrológico, del cual forman parte los manantiales como puntos de descarga de agua subterránea. La modelización hidrológica es una herramienta muy útil para obtener esta comprensión. Además los modelos hidrológicos se pueden utilizar como herramienta para la gestión y planteamiento, para obtener una mayor comprensión sobre un determinado componente del ciclo hidrológico o para extrapolar potenciales condiciones futuras a partir de condiciones actuales.

Mediante este trabajo se pretende obtener un mejor conocimiento de los manantiales de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ), analizar la información actual, procesarla y, en la medida de lo posible, estudiar el comportamiento hidrológico de los manantiales mediante modelización.

Para ello, por una parte, se llevará a cabo un inventario de manantiales analizando y unificando toda la información disponible hasta la fecha. La unificación de las distintas fuentes de datos requiere la detección y depuración de los registros de manantiales duplicados, trabajo que será manual. Este inventario proporcionará a la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) y a la Oficina de Planificación Hidrológica (OPH) una herramienta básica para el conocimiento de la realidad hidrológica que se da dentro sus términos geográficos. De esta manera se facilitará y hará más fiable cualquier trabajo futuro que requiera información sobre las surgencias de agua localizadas de la DHJ.

Por otra parte, los manantiales más relevantes serán modelizados mediante el modelo Patricál (Pérez Martín, 2005), modelo que simula el ciclo hidrológico de forma distribuida en el espacio, con una resolución de 1 Km x 1 Km, y con un paso de tiempo mensual y que es utilizado por la CHJ para efectuar la estimación de los recursos hídricos totales con que cuenta cada uno de los sistemas de explotación en los que se encuentra dividida la demarcación hidrográfica. Con ello se podrá entender mejor el funcionamiento hidrológico de los manantiales

en particular y el funcionamiento de los distintos sistemas de recursos hídricos en general. Además, se pretende que la introducción de manantiales haga que el modelo hidrológico Patricial reproduzca de una manera más cercana a la realidad los procesos hidrológicos, aportando de esta manera una mayor robustez al modelo.

2 ÁMBITO DE ESTUDIO

La Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ) limita con las demarcaciones del Ebro y Segura al norte y sur, respectivamente, y del Tago, Guadiana y Guadalquivir al oeste, bordeando al este con el Mediterráneo. La superficie total del territorio de la Demarcación, excluyendo las aguas costeras, es de 42.735 km².

La DHJ abarca cinco comunidades autónomas distintas (Aragón, Castilla-La Mancha, Cataluña, Comunidad Valenciana y Región de Murcia) y siete provincias: la totalidad de Valencia, gran parte de Albacete, Alicante, Castellón, Cuenca y Teruel, una pequeña zona de Tarragona y una zona muy pequeña de Murcia, siendo la Comunidad Valenciana la parte que supone un territorio mayor (50% de la totalidad de la DHJ). Esta demarcación contiene total o parcialmente 789 municipios.

En la siguiente imagen (Figura 1), se puede observar el ámbito territorial de la DHJ, que incluye las aguas de transición y las costeras asociadas.



Figura 1. Ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, ciclo de planificación hidrológico 2015-2021.

2.1 Marco físico

En lo que respecta a la geomorfología de la zona de estudio, sus principales características pueden agruparse de forma muy sintética en dos grandes ambientes o zonas: una interior montañosa, con altitudes que rebasan los 1.500 metros y otra costera, constituida por llanuras litorales comúnmente conocidas como “planas”. Estas últimas se encuentran truncadas en algunos sectores, en los que los relieves interiores se prolongan hasta la línea de costa. Todo ello se observa en la imagen adjunta (Figura 2)

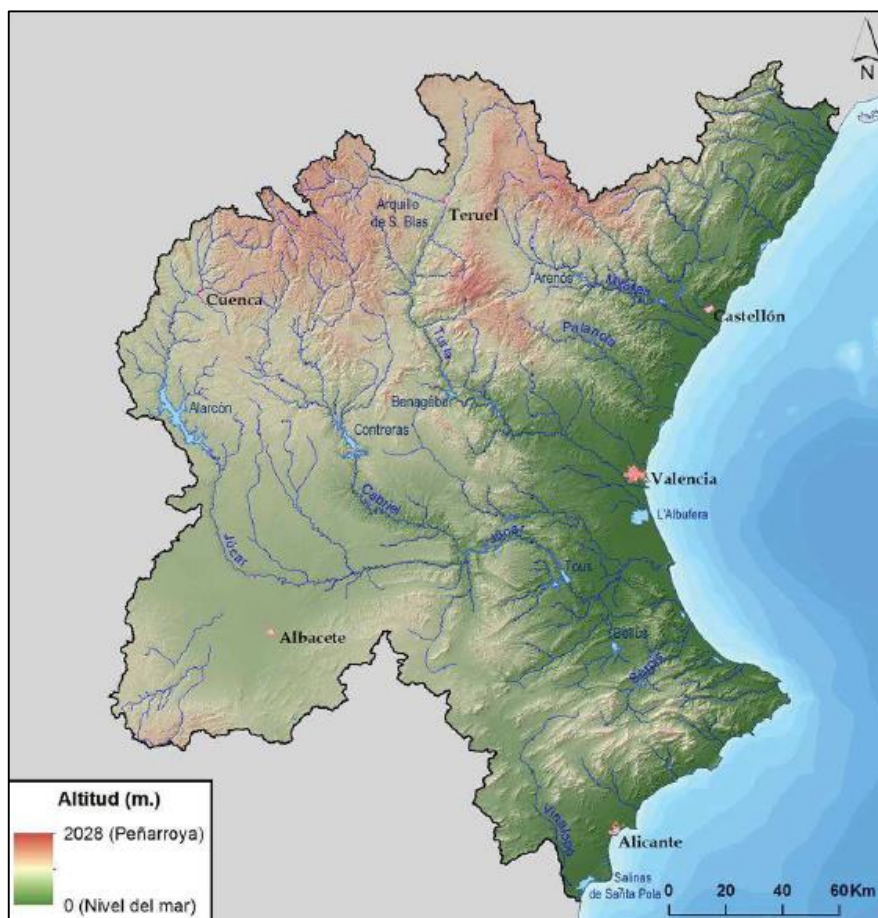


Figura 2. Red hidrográfica y modelo digital del terreno de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, ciclo de planificación hidrológico 2015-2021.

En el sistema Ibérico nace el principal río del ámbito territorial de la Demarcación, que a su vez le da nombre: el río Júcar. Además, nacen los ríos Turia y Mijares. Los tres ríos proporcionan conjuntamente aproximadamente el 65% de la escorrentía media de todo el ámbito. En la parte Sur y Suroeste se extiende la parte final de las montañas del sistema Bético, que en este punto se dispersan parcialmente. En esta área montañosa nacen los ríos Serpis y Vinalopó.

La llanura costera es una plataforma aluvial que se extiende a lo largo de la franja costera, y está delimitada por el sistema Ibérico en la parte noroeste, la llanura

continental en el oeste y el sistema Bético en el sur. Proporciona un suelo rico en nutrientes que sostiene la mayor parte de la producción agrícola de regadío del ámbito territorial de la Demarcación y se caracteriza por el hecho de que más del 80% de la población total vive en esta franja costera.

En lo que a la litología se refiere (Figura 3), aunque hay una proporción muy significativa de calizas y material aluvial, las calcarenitas y las margas son los grupos predominantes. El material aluvial se encuentra principalmente en los tramos finales de los ríos principales (Mijares, Júcar y Turia).

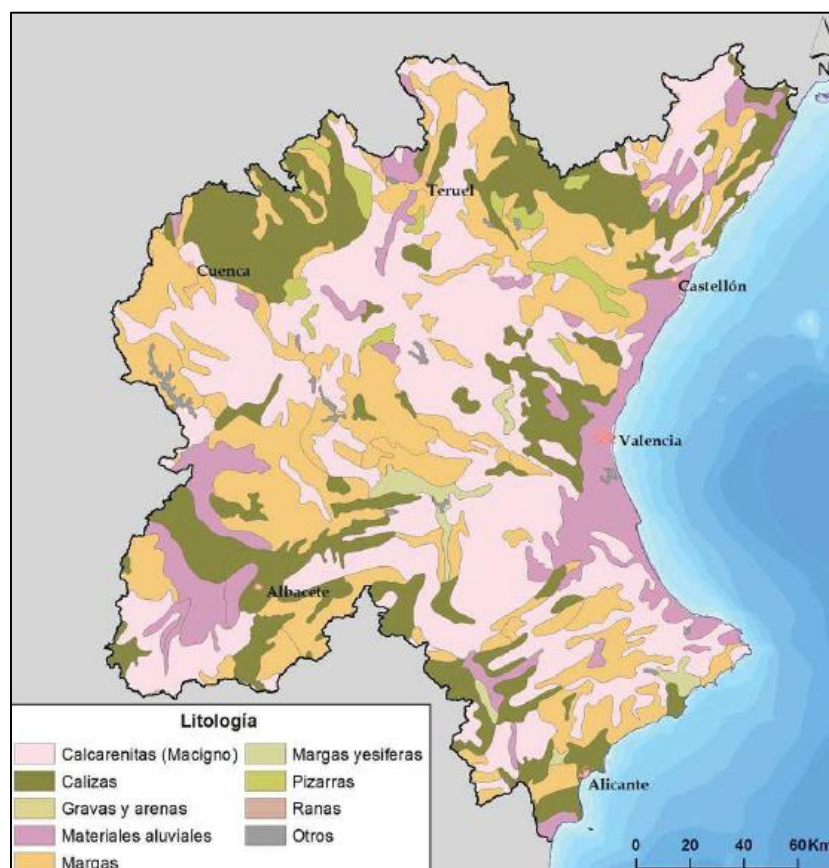


Figura 3. Mapa litológico. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, ciclo de planificación hidrológico 2015-2021.

Sobre este territorio se desarrolla un clima mediterráneo con veranos cálidos y secos y con inviernos suaves. La excepción a este patrón climático es la llamada “gota fría”, fenómeno que tiene una mayor probabilidad de ocurrencia durante los meses de octubre y noviembre. Este fenómeno provoca precipitaciones repentinas y bruscas, pudiendo ser causantes de inundaciones devastadoras.

La red de drenaje localizada en el territorio de la Demarcación Hidrográfica del Júcar está articulada básicamente por los ríos Cenia, Mijares, Palancia, Turia, Júcar, Serpis y Vinalopó, siendo los ríos Júcar y Turia, con una longitud de 512 y 280 Km respectivamente, los más importantes.

Cabe destacar, y más aun teniendo en cuenta la naturaleza de los manantiales, que la aportación total de la red fluvial proviene mayoritariamente de la escorrentía subterránea, de ahí la importancia que tienen las aguas subterráneas en la Demarcación.

2.2 Sistemas de explotación

La demarcación Hidrográfica del Júcar está dividida en distintos sistemas de explotación, tal y como indica el artículo 19 del Reglamento de la Planificación Hidrológica (RPH). Este mismo artículo establece que un sistema de explotación está constituido por masas de agua superficial y subterránea, obras e instalaciones de infraestructura hidráulica, normas de utilización del agua derivadas de las características de las demandas y reglas de explotación que, aprovechando los recursos hídricos naturales, y de acuerdo con su calidad, permiten establecer los suministros de agua que configuran la oferta de recursos disponibles del sistema de explotación, cumpliendo los objetivos medioambientales.

El ámbito territorial de la DHJ se divide en 9 sistemas de explotación cuya localización y extensión puede observarse en la Figura 4.

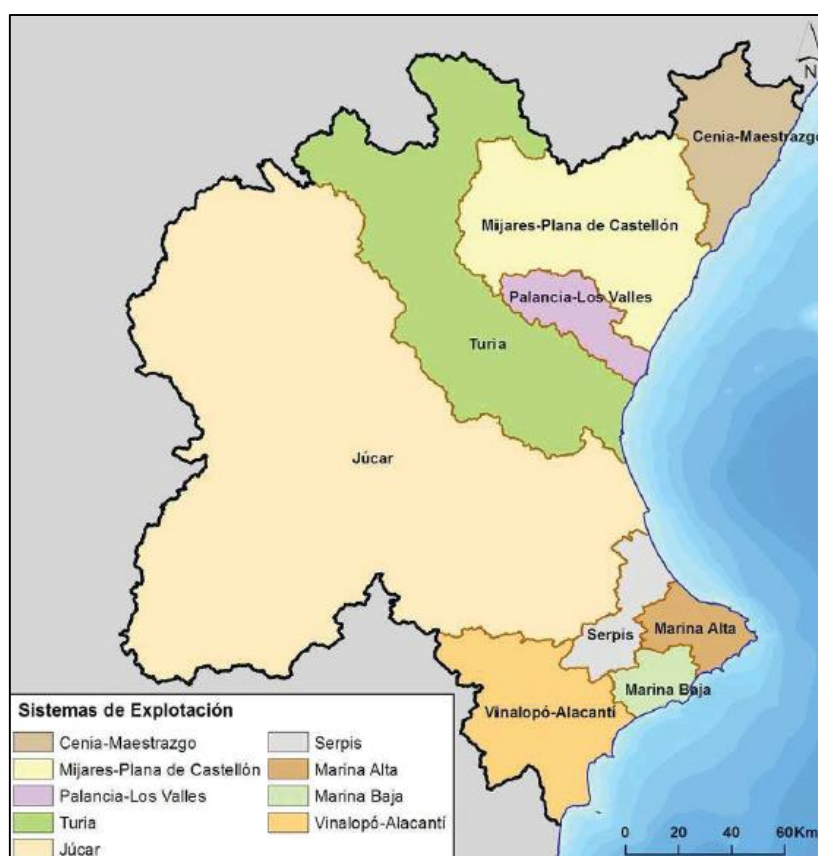


Figura 4. Sistemas de explotación. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, ciclo de planificación hidrológico 2015-2021.

2.3 Masas de agua subterránea

Según el artículo 40 del texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA) la masa de agua subterránea es un volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos.

El número total de masas de agua subterránea en el ámbito de la DHJ es de 90. Estas masas de agua subterráneas cubren una superficie en la demarcación de 40.520km², lo que constituye un 94.82% de la superficie total de la misma.

Las superficies de las masas de agua subterránea de la DHJ varían mucho, siendo la mayor la masa de agua subterránea de la Mancha Oriental, con una superficie de 7.118 Km², y la menor la de Jávea con un superficie de 10 Km².

En el siguiente mapa (Figura 5), se puede observar la distribución y superficie de las 90 masas de agua subterránea localizadas en la DHJ.



Figura 5. Masa de agua subterránea. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológico 2015-2021.

3 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

3.1 Manantiales

Son varios los estudios anteriores a este TFM que contienen información sobre los manantiales de la DHJ, incluso en alguno de ellos se ha intentado llevar a cabo un inventario completo de éstos. Mediante este TFM se ha intentado recopilar la mayor cantidad de información posible sobre los manantiales de la DHJ. Se han tenido en cuenta 9 estudios en total. Por una parte, 4 trabajos editados que contienen información sobre los manantiales y puntos de agua de la DHJ, de toda la demarcación o de una zona específica de ésta. Por otra parte, 5 bases de datos que, o bien tratan exclusivamente sobre manantiales, o bien incluyen registros de manantiales de la DHJ. A continuación, se presentan estos estudios, primero los 4 trabajos y después las 5 bases de datos, catalogados todos ellos según su procedencia.

3.1.1 Instituto Geológico y Minero de España

En el año 2007 se suscribe un acuerdo para la encomienda de gestión por el Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General del Agua, al Instituto Geológico y Minero de España, para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. En la actividad 4 de esta encomienda de gestión se llevó a cabo la identificación y caracterización de la interrelación entre aguas subterráneas, zonas húmedas y otros ecosistemas de especial interés hídrico.

En el marco de este trabajo y para caracterizar la relación río-acuífero y humedal-acuífero se hizo una recopilación de 4 inventarios de manantiales existentes en las fechas en la que se llevó a cabo el trabajo (2007-2009). Uno de los inventarios provenía del propio IGME, y el resto de la CHJ. Dado que se dispone de la fuente original de estos registros, que además se han completado con posterioridad a este trabajo, en lo que a manantiales se refiere, se considerará la información propia sobre los manantiales inventariados por el IGME, que serán un total de 3172 registros, y cuya distribución se puede observar en la Figura 6.

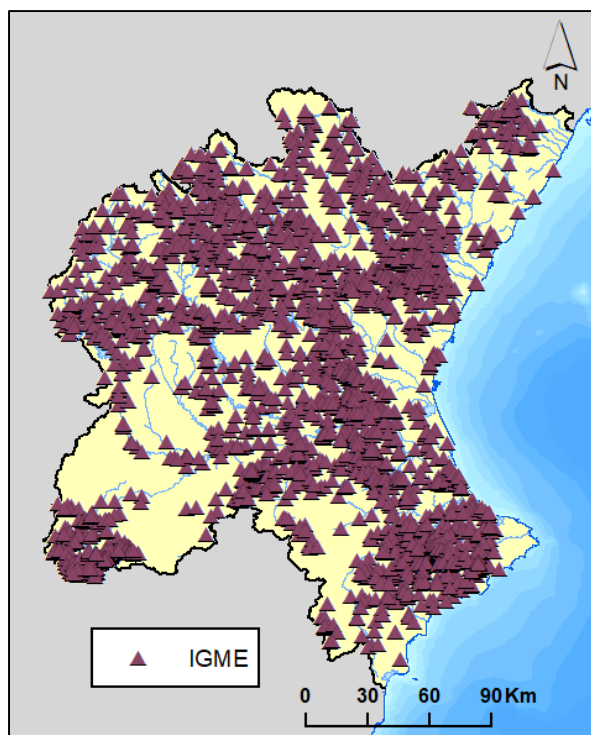


Figura 6. Registros pertenecientes al trabajo de la actividad 4 de la Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Fuente: elaboración propia a partir de (IGME, 2009).

En este mapa (Figura 6) se presenta una cobertura de los registros de manantiales de toda la superficie de DHJ y la distribución de estos atiende por lo general a un criterio hidrológico, habiendo mayor densidad de manantiales en zonas en las que en la realidad se ubica una mayor cantidad de surgencias naturales de agua subterránea. Se observa una menor densidad de manantiales en zonas con poca interacción entre agua superficial y subterránea, como la cabecera del río Vinalopó, la zona de la masa de agua subterránea de la Contienda o la zona de acuífero de La Mancha Oriental entre otras. En el capítulo 5 correspondiente al desarrollo del inventario final de los manantiales de la CHJ se presentará y analizará la información que contiene los registros de manantiales que aparecen en este trabajo.

3.1.2 Diputación Provincial de Alicante

La Diputación de Alicante publicó en 2003 y 2007 dos libros titulados “Los Manantiales Provinciales primera parte”, y “Los Manantiales Provinciales segunda parte”, en los que se presentan varios manantiales del territorio de la provincia de Alicante.

En estos dos trabajos, de carácter técnico, pero también divulgativo y accesible al público (DPA, 2003), se analizan algunos de los principales manantiales de la provincia alicantina. Se seleccionaron los manantiales, según se dice en el primer libro, de los que se disponía mayor información hidrogeológica, además de otros que destacan por su interés minero-medicinal, termal o recreativo. En total, entre los dos libros se presentan 58 manantiales (Figura 7), con información sobre su origen, utilización de sus aguas, aspectos culturales, o características de funcionamiento e hidroquímicas.

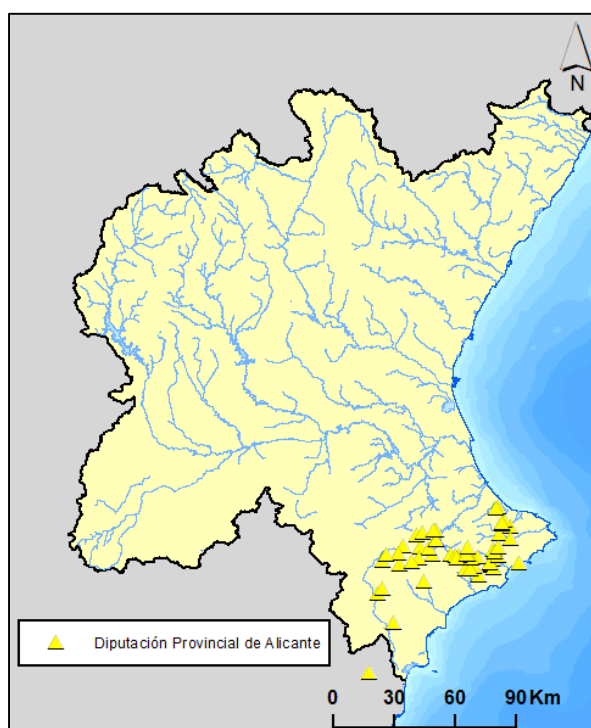


Figura 7. Registros pertenecientes a los dos libros de la Diputación Provincial de Alicante. Fuente: elaboración propia a partir de los trabajos de la DPA (DPA, 2003 y 2007).

de este TFM que el trabajo de la UCLM hizo una selección de los más importantes manantiales de la zona, y no un intento de inventariado de la totalidad de las fuentes de la zona.

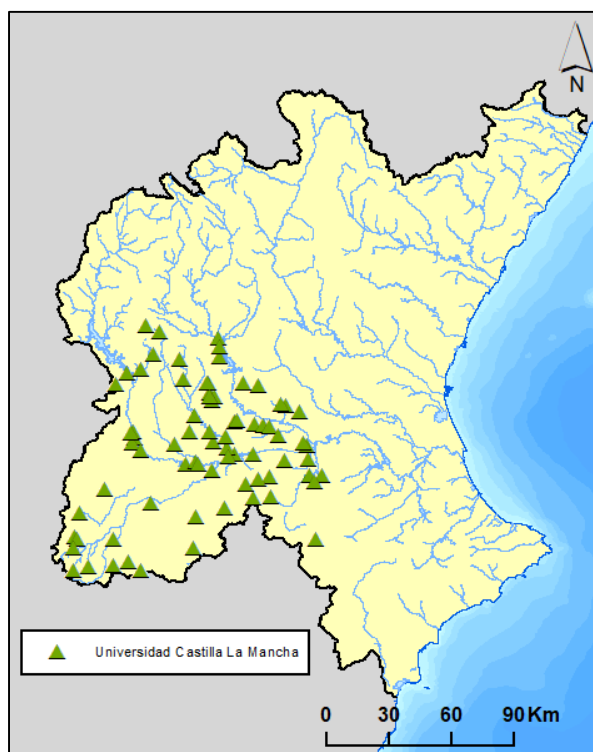


Figura 9. Registros pertenecientes al trabajo al estudio de fuentes, manantiales y pequeños espacios del agua en la cuenca media de los ríos Júcar y Cabriel. Fuente: elaboración propia a partir del trabajo de la UCLM (UCLM, 2009).

3.1.4 Centro de Estudios de la Comarca de Albarracín

El Centro de Estudios de la Comarca de Albarracín (CECAL) inició en 2015 el proyecto ALBAQUA, un “*Proyecto multidisciplinar para el conocimiento de las fuentes, manantiales y otros puntos de agua en la Comarca de la Sierra de Albarracín*” (Hervás, 2015) .

Dentro de este proyecto se realiza un trabajo de aproximación al estudio e inventario de las fuentes, manantiales y otros puntos de agua de la Sierra de Albarracín. Se recogen en este inventario un total de 1200 puntos de agua (Figura 10) distribuídos por toda la superficie de la Sierra de Albarracín, en la provincia de Teruel.



Figura 10. Registros pertenecientes al Proyecto ALBAQUA. Fuente: elaboración propia a partir del trabajo CECAL (Hervás, 2015).

Este trabajo tiene como objetivo inventariar todas y cada una de las fuentes y puntos de agua de la comarca en la que se lleva a cabo el estudio, por lo que en el inventario que se presenta deberían estar, entre otros, todos los manantiales.

3.1.5 CHJ. Guardería Fluvial

La CHJ dispone de un inventario sobre manantiales con los datos recopilados en un trabajo de campo llevado a cabo por la Guardería Fluvial de la CHJ durante los años 2005 y 2006.

En la Figura se puede observar la localización de los 4481 puntos que contiene esta base de datos.

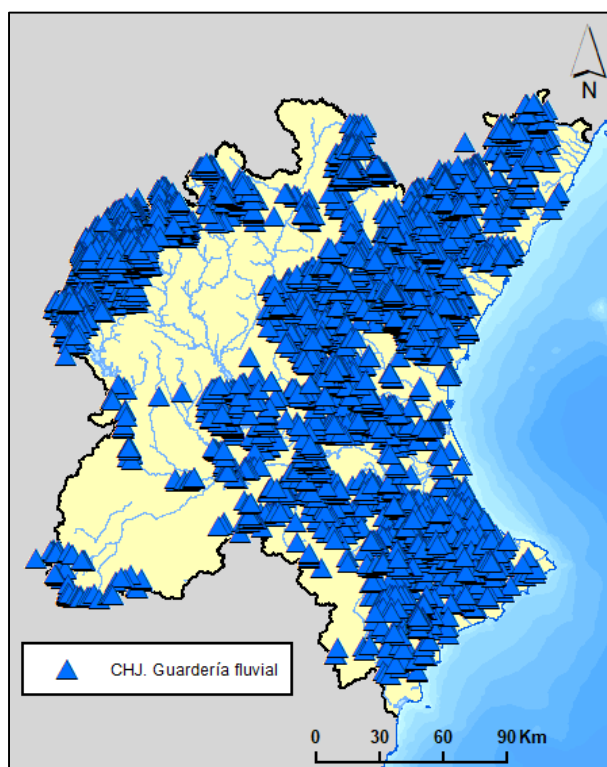


Figura 11.Registros pertenecientes a la base de datos de la red de manantiales de Guardería Fluvial. Fuente: Elaboración propia a partir de información de CHJ.

La distribución de los manantiales de Guardería Fluvial a lo largo y ancho de la DHJ no está solo condicionada por la realidad de la distribución de las surgencias de agua subterránea, sino también por la forma de estudiar y recopilar datos de cada uno de los guardas fluviales que han participado. Se observan en la Figura 11 zonas con muy pocos manantiales, como por ejemplo la zona este de la provincia de Cuenca, en las que debería haber mayor densidad de estos por lo que indican otros trabajos, como el del IGME (IGME, 2009) presentado anteriormente (Figura 6).

3.1.6 CHJ. Red Oficial de Hidrometría

La Directiva Marco y el Texto Refundido de la Ley de Aguas disponen que se establecerán programas de seguimiento del estado de las aguas con objeto de obtener una visión general coherente y completa del estado de las aguas. Por ello la CHJ dispone de varias redes de control, siendo una de ellas la Red Oficial de Hidrometría (ROH). Esta red, según describe la propia CHJ, mide los caudales en los principales manantiales y fuentes identificados en campañas de muestreo de campo, con el objetivo de cuantificar los puntos de descarga de las masas de agua subterráneas y mejorar el conocimiento que hasta el momento se tiene sobre el comportamiento de las masas de agua subterráneas.

La base de datos dispone de 212 registros, los cuales se pueden observar en la Figura 12. La red de hidrometría se constituyó en la CHJ en el año 2004, ya que previamente pertenecía al IGME, por lo tanto, habrá datos previos a la citada fecha. Esta Red controla, mensualmente, los parámetros de caudal, temperatura, conductividad y pH. Hoy en día hay 12 estaciones de hidrometría operativas, pero hasta hace pocos años eran unos 100 los puntos operativos, de los cuales hay series de datos bastante largas.

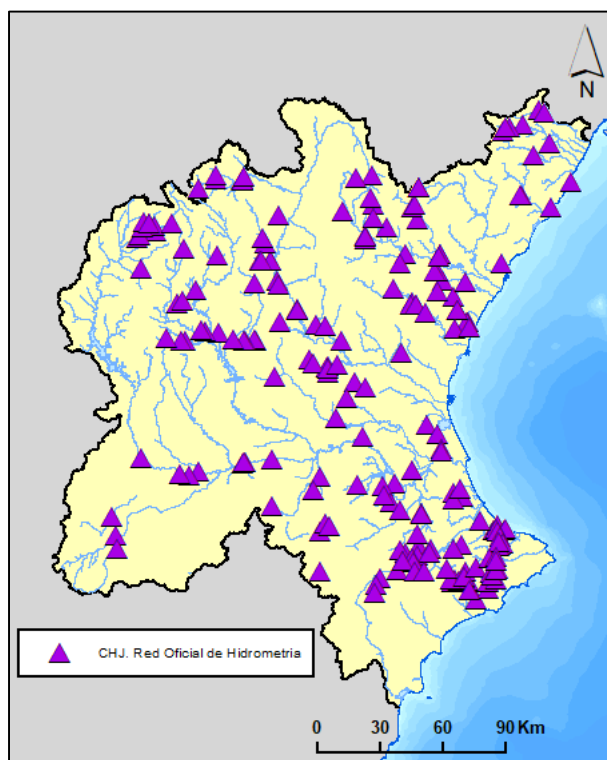


Figura 12. Registros pertenecientes a la base de datos de la Red Oficial de Hidrometría. Fuente elaboración propia a partir de información de la CHJ.

3.1.7 CHJ. Registro de Aguas

Como complemento y actualización de los registros de abastecimiento del SINAC que se presentan más adelante, se ha consultado el Registro de Aguas de la CHJ.

Según se indica en la página web de la CHJ, “El Registro de Aguas es el registro público donde se inscriben los derechos al uso privativo de las aguas, adquiridos por sus titulares mediante concesión administrativa o por una disposición legal que así lo establezca. No solamente se inscribe el título inicial, sino todas las modificaciones que se produzcan en la titularidad o características del derecho, como consecuencia de expedientes de modificación, novación, revisión o extinción”

Para obtener datos de manantiales se han seleccionado las concesiones del Registro de Aguas de la CHJ que sean para abastecimiento urbano y con origen de manantial, a día de 21 noviembre de 2017. Para ello se ha utilizado el programa ALBERCA, sistema informático concebido para afrontar la tramitación de los expedientes administrativos sobre los usos del agua, la actualización de los libros de Registros de Aguas y los Catálogos de Aprovechamientos de Aguas Privada. Como resultado se ha obtenido una base de datos con 299 registros, cuya localización se puede observar en la Figura 13.

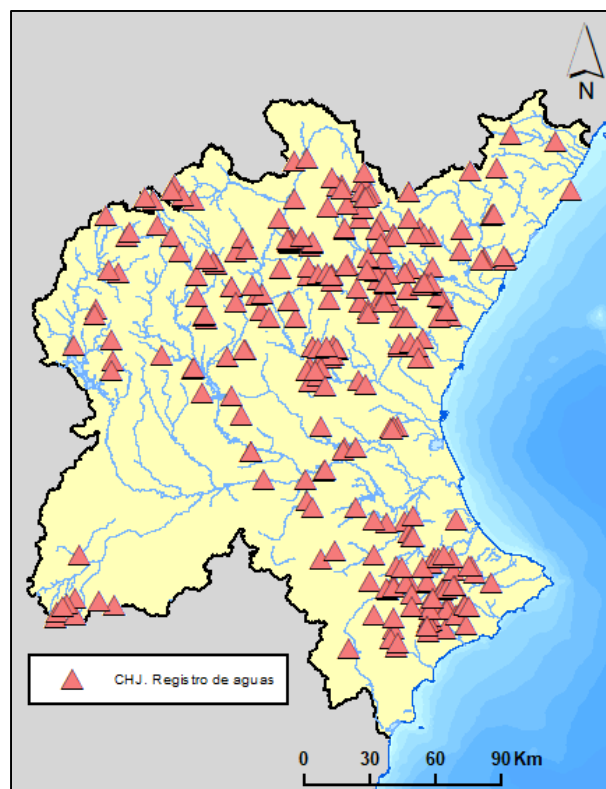


Figura 13. Registros pertenecientes a la base de datos del Registro de Aguas. Fuente elaboración propia a partir de información de la CHJ.

3.1.8 Instituto Geográfico Nacional

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) dispone de una base de datos sobre surgencias dentro del ámbito de la DHJ, dentro de la Base Topográfica Nacional de España a escala 1:25000 (BTN25). En total aparecen 4085 surgencias catalogadas unas como manantial y otras como fuente (aparecen también otras catalogadas como pozo que no se van a tener en cuenta en este trabajo). Se puede ver la localización de estos puntos en la figura que se adjunta (Figura 14).

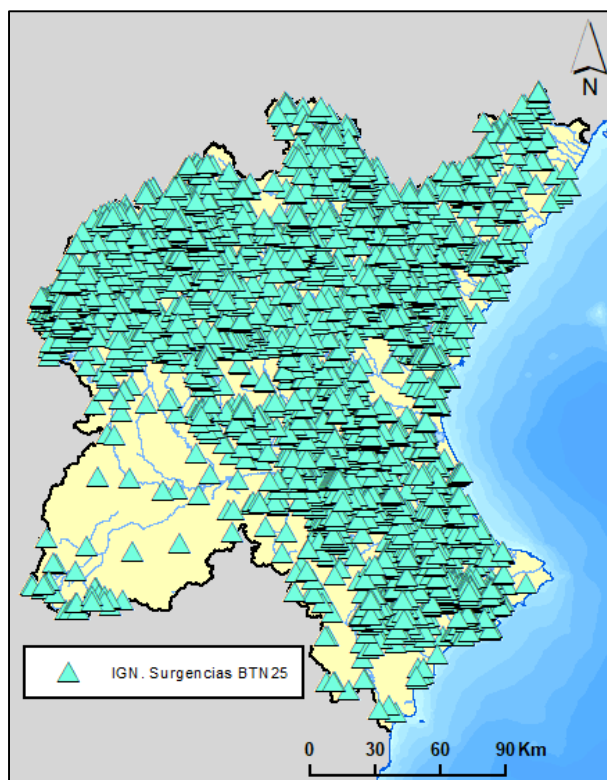


Figura 14. Registros pertenecientes a la base de datos del Instituto Geográfico Nacional. Fuente: Elaboración propia partir de información del IGN.

3.1.9 Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo – Generalitat Valenciana

“El Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo o SINAC es un sistema de información sanitario que recoge datos sobre las características de los abastecimientos y la calidad del agua de consumo humano que se suministra a la población española” (SINAC, s.f.).

Para la elaboración del inventario de manantiales de la CHJ que se va a llevar a cabo mediante este TFM, se han tenido en cuenta datos del SINAC facilitados por la Generalitat Valenciana. Esta base de datos contiene un total de 348 registros de manantiales, cuya localización (todos ellos dentro de la Generalitat Valenciana) se puede observar en la Figura 15. Todos los manantiales que aparecen en esta base de datos, son manantiales cuyas aguas son utilizadas para abastecer demanda urbana de agua potable, como se puede deducir por el origen de los datos.

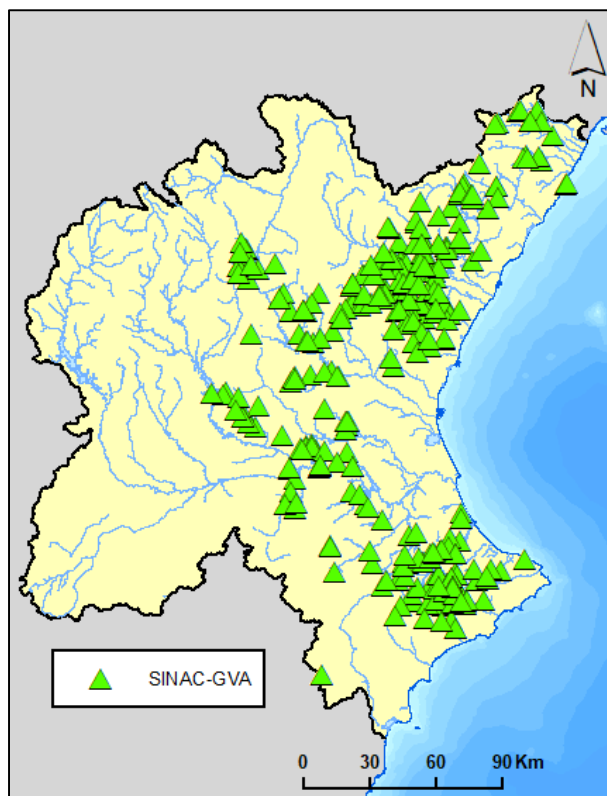


Figura 15. Registros pertenecientes a la base de datos del SINAC-GVA. Fuente: Elaboración propia partir de información del SINAC.

3.2 Modelo Patrical

El modelo Patrical (Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrado con CALidad del agua; Pérez Martín, 2005) es un modelo de ciclo hidrológico distribuido espacial (celda de 1km x 1km) y temporalmente (periodos largos 50-100 años), de gran escala (cuencas grandes y medianas), conceptual y con calidad de agua que incluye: agua flujos de agua, interacciones río-acuífero, interacciones entre acuíferos, descarga de aguas subterráneas a los humedales y al mar y niveles medios de agua subterránea en acuíferos (Pérez Martín et al, 2014)

La escala mensual permite aplicaciones a muchos problemas prácticos. Los parámetros son derivados para la calibración desde las características de la cuenca en cada celda, que reduce significativamente los grados de libertad del modelo y lo vuelve más robusto (Pérez Martín, 2005)

Las características de la cuenca son incorporadas al modelo mediante el mapa de uso de suelo CORINE land cover 2000 map (Figura 16) el mapa geológico derivado del mapa litográfico del Instituto Geológico y Minero de España (Figura 16) y la pendiente del terreno - derivada del modelo de Elevación Digital 100 x 100 m2 del Centro Geográfico de la Armada de España.

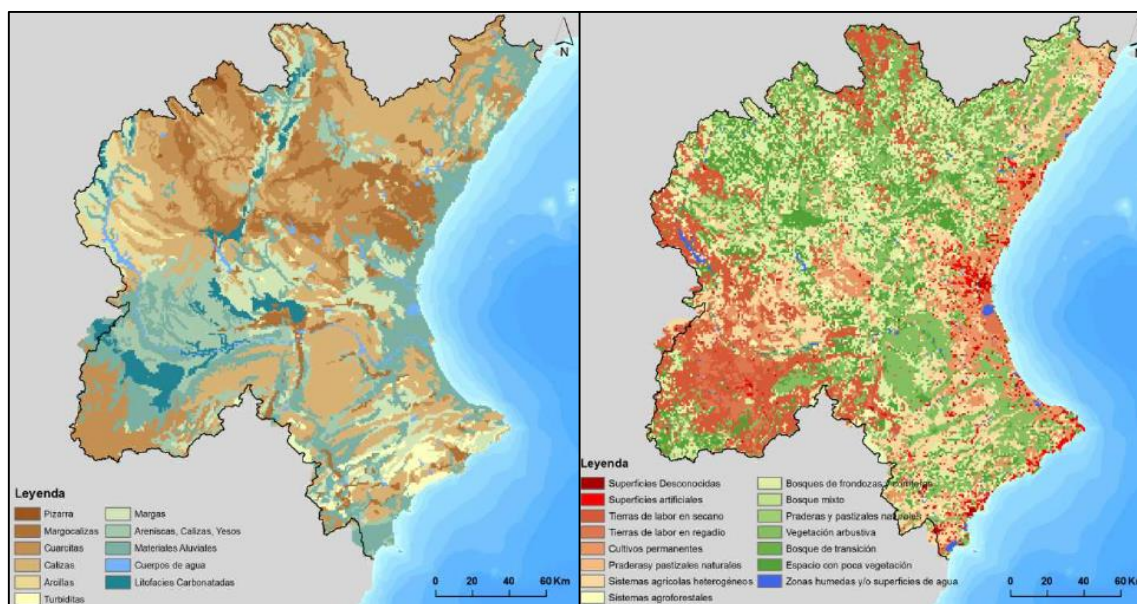


Figura 16. De izquierda a derecha mapa geológico y CORINE land cover map 2000.
Fuente: CHJ.

Los datos de entrada o inputs del modelo Patrical son los valores de lluvia total mensual y de temperatura diaria media mensual (Figura 17), procedentes de las estaciones meteorológicas, con los cuales se calcula por interpolación los mapas mensuales de lluvia y temperatura, del que se derivan los mapas de evapotranspiración potencial mensual. Los mapas mensuales de precipitación y de evapotranspiración potencial son la información de partida para el modelo de

simulación y se calcula: en primer lugar, la porción de lluvia líquida que cae en cada celda, manteniéndose el resto en forma de nieve sobre la superficie de terreno; en segundo lugar, con dicho valor de lluvia líquida y con las características fisiográficas de la cuenca en cada celda mediante la formulación de Témez (Témez, 1977): el flujo de excedente generado, la evaporación real producida y el volumen en forma de humedad retenido por el terreno. El excedente, a su vez, se descompone en esorrentía superficial directa y en infiltración a los acuíferos, que interactúan entre si y se transfieren agua en función de las diferencias de altura piezométrica que tengan. Este proceso se observa de forma esquemática en la Figura 18, donde los rectángulos con bordes redondeados indican las variables de entrada, los rectángulos indican almacenamientos y las elipses flujos de agua.

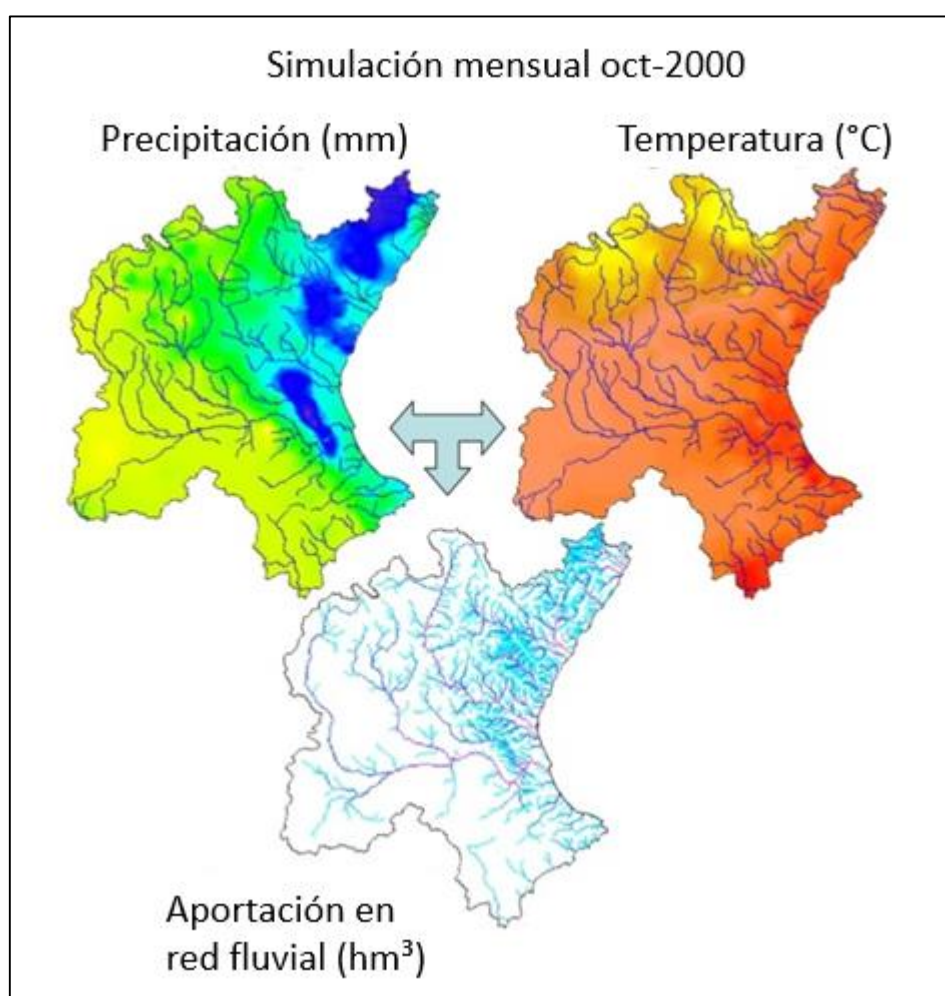


Figura 17. Mapas de datos de entrada (precipitación y temperatura) y resultados de aportación en la red fluvial en octubre del 2000. Fuente: (Pérez Martín et al., 2014).

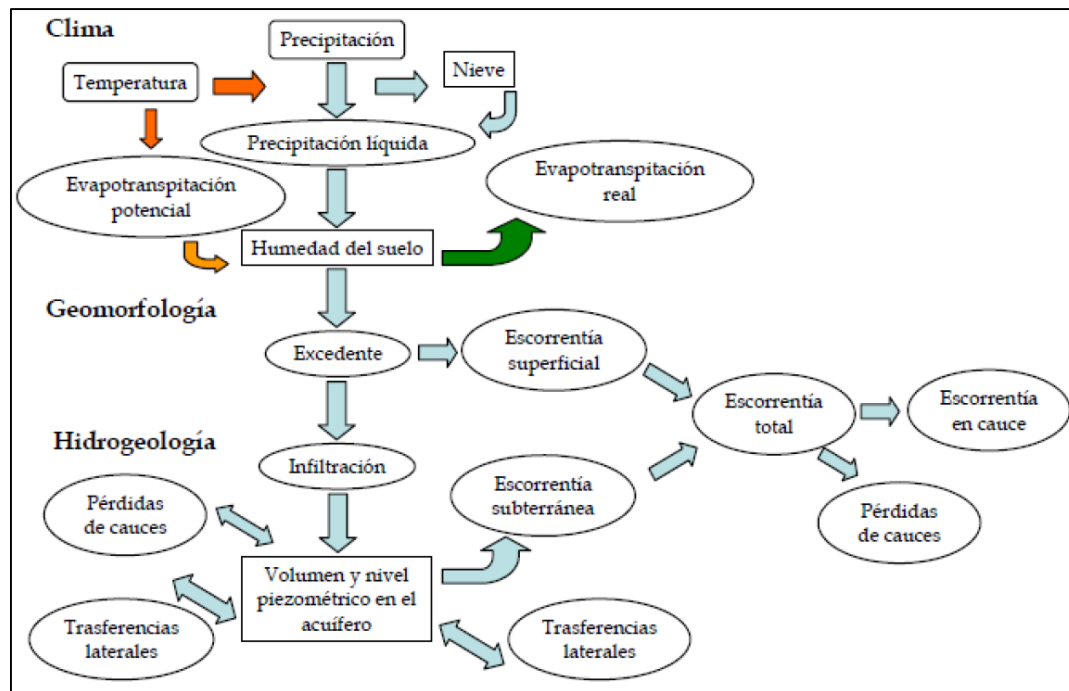


Figura 18. Esquema del modelo conceptual del ciclo hidrológico de Patricial. Fuente: (Pérez Martín, 2005).

La cuenca que se modela se divide en dos capas o zonas en vertical (Figura 19): una zona superior, formada por la superficie del terreno y discretizada en celdas; y una zona inferior, formada por los acuíferos que, de forma agregada, reciben aguas de las celdas superiores. La zona superior representa la superficie del terreno hasta donde alcanza la capacidad de extracción de agua de la vegetación, y se corresponde con la parte de la zona no saturada, donde en sus poros coexisten el agua y el aire, y su contenido de agua es asimilable a la humedad del suelo. La zona inferior o acuífero, representa los almacenamientos de agua subterránea que se producen en la cuenca, se encuentra saturada y las salidas de agua que se producen de la misma son: el desagüe o drenaje a la red de drenaje superficial, las salidas al mar y las transferencias laterales entre acuíferos.

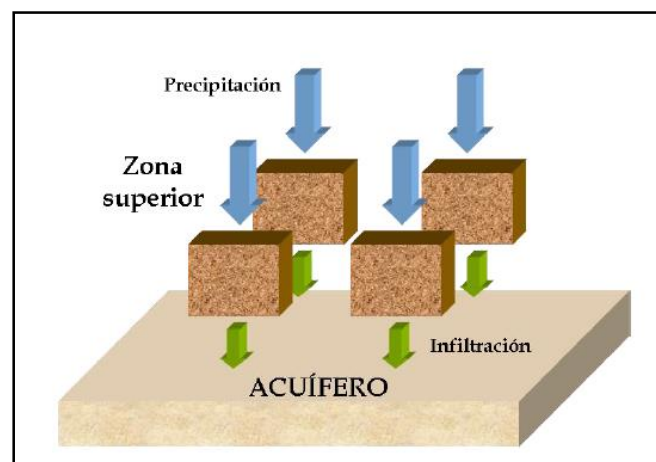


Figura 19. Modelación en dos capas. Fuente: (Pérez Martín, 2005).

En lo que respecta a las salidas de agua subterránea o drenaje de agua subterránea se calcula el agua que se drena a la red fluvial por balance de masas. Estas salidas pueden darse, a través de los tramos de río ganador o tramos con régimen variable indicados por IGME 2009, a través de manantiales o por salidas difusas teniendo en cuenta la topografía del terreno, como se indica en Vázquez 2017. Serán prioritarias las salidas por celdas que contengan manantiales y/o tramos de río ganadores, y la preferencia de drenaje se dará dependiendo de un peso que se les asigne a esas celdas, que dependerá del manantial o manantiales que se encuentren en las mismas o de los tramos de río ganadores, como se explicará más detalladamente en capítulos posteriores.

El modelo Patricial lleva a cabo las simulaciones tanto en régimen natural como en régimen alterado. En el caso del régimen alterado tiene en cuenta la evolución temporal y distribución espacial de los retornos de riego que recargan los acuíferos, y las extracciones de aguas subterráneas (agrícolas y urbanas). Por tanto, el modelo reproduce el ciclo hidrológico natural y parte del ciclo hidrológico alterado ya que no incluye la gestión de embalses ni las modificaciones que se reproducen en el régimen de caudales por afección de los mismos.

4 METODOLOGÍA

En este capítulo se explica la metodología empleada y el proceso llevado a cabo para completar, por un lado, el inventario de manantiales de la CHJ y, por otro lado, la parte correspondiente a la modelación de los manantiales con el modelo Patricál y todo el proceso necesario para dicha modelación. El esquema o resumen de este proceso se puede ver en la Figura 20 y se detalla a continuación.

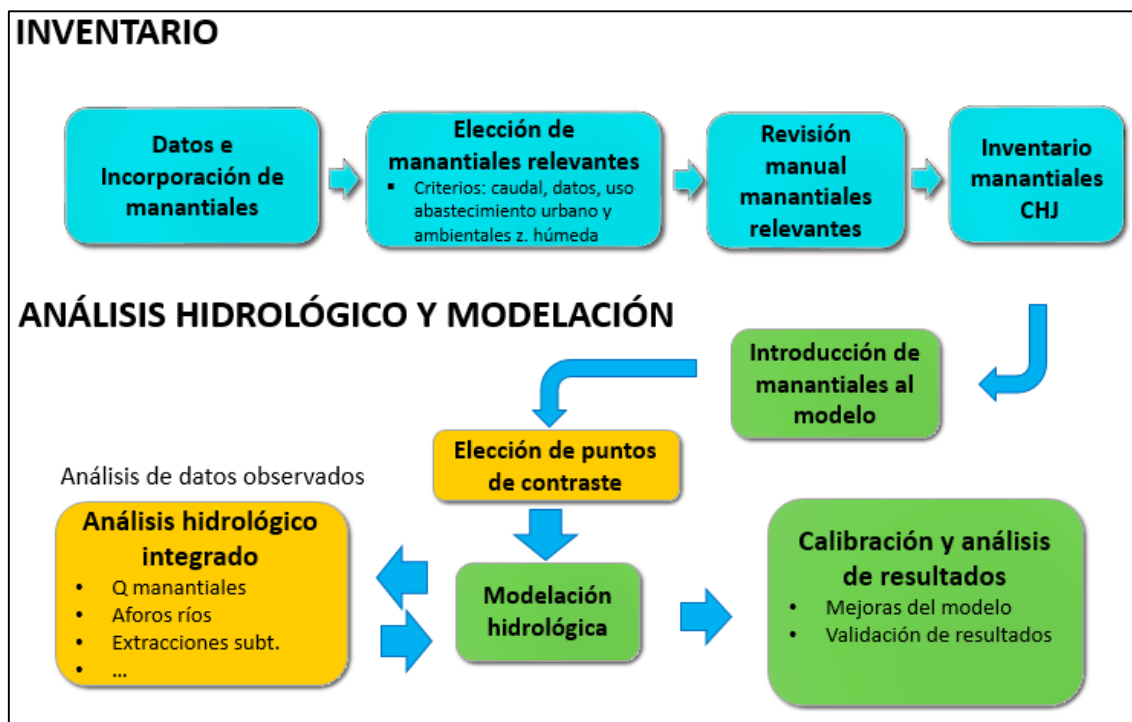


Figura 20. Esquema general de la metodología. Fuente: Elaboración propia.

4.1 Inventario de Manantiales

Para llevar a cabo el inventario completo de la CHJ se ha seguido el siguiente proceso:

- Recopilación de todos los registros y datos de manantiales, análisis de éstos e incorporación al inventario de la información válida.
- Elección de los manantiales más relevantes de la DHJ atendiendo a distintos criterios, como caudal, longitud de la serie de mediciones, utilización del agua del manantial para un abastecimiento urbano importante, o conexión del manantial con zonas de especial interés ecológico.
- Revisión y depuración manual de manantiales duplicados en las diferentes fuentes de información utilizadas (este proceso se llevará a cabo con los manantiales seleccionados como relevantes).
- Incorporación del inventario con toda su información al sistema de gestión hidrológica, denominado Geshidro, de la CHJ.

Los distintos trabajos sobre manantiales disponen de una información muy heterogénea, al igual que las bases de datos generadas con ella. Por tanto, es necesario un proceso totalmente manual para detectar registros de manantiales duplicados entre las distintas bases de datos, ya que es muy complicado la utilización de cualquier proceso sistemático.

4.2 Análisis Hidrológico y Modelación

Para analizar el comportamiento hidrológico de los manantiales de la CHJ utilizando el modelo Patrical, se ha conseguido el siguiente proceso:

- Introducción de manantiales, elección de puntos de contraste y modelación.
- Análisis hidrológico integrado de los sistemas seleccionados.
- Calibración y análisis de resultados.

4.2.1 Introducción de manantiales, elección de puntos de contraste y modelación

4.2.1.1 *Introducción de manantiales y modelación*

La mayor parte de los manantiales seleccionados como relevantes han sido introducidos al modelo Patrical, siendo éstos puntos preferentes de drenaje de agua subterránea en el modelo, y se ha llevado a cabo la modelación, tanto en régimen natural como en régimen alterado.

4.2.1.2 Selección de puntos de contraste

Para continuar se ha hecho una selección de los manantiales de mayor entidad o más significativos de la DHJ, atendiendo a criterios de caudal u otra serie de criterios más específicos (nacimiento de ríos, manantiales ubicados en zonas de especial interés hidrológico...). En total se han seleccionado 45 manantiales (Tabla 1). En estos manantiales se han obtenido resultados del caudal simulado y se ha hecho un contraste entre los caudales simulados con el modelo y observados en los datos medidos.

Código	Nombre del manantial	Sistema Explotación
M00027	Fuente de Quart	Vinalopó-Alacantí
M00055	Manantial de Navarrés / Lago de Playamonte	Mijares-Plana de Castellón
M00068	Ulla- Nacimiento Río Verde (Masalavés)	Cenia-Maestrazgo
M00104	Fuente los Baños de Montanejos	Júcar
M00109	Fuente del Molino	Mijares-Plana de Castellón
M00119	Fuente del Charco Azul	Serpis
M00124	Fuente Currucheres	Serpis
M00125	Fuente Manantial de San Vicente	Mijares-Plana de Castellón
M00140	Játiva	Mijares-Plana de Castellón
M00148	Fuente Nacimiento La Morca	Mijares-Plana de Castellón
M00164	Manantial La Bolata	Júcar
M00172	Fuente de la Pila	Júcar
M00178	Nacimiento del Rincón	Turia
M00181	Fuente de los Baños	Júcar
M00204	La Esperanza	Turia
M00215	Fuente Santa Úrsula	Turia
M00227	Manantial de Las Balsas	Júcar
M00239	Mas Royo	Júcar
M00242	La Escaleruela	Júcar
M00273	Gola del Prado (Peñíscola)	Júcar
M00293	Babor	Júcar
M00297	Barranco Hondo	Palancia-Los Valles
M00379	Albufera de Anna	Palancia-Los Valles
M00431	Los Ojos de Moya	Palancia-Los Valles
M00433	Las Pozas (manantial) Teruel	Palancia-Los Valles
M00436	Arroyo de La Hoz	Júcar

Análisis del inventario de manantiales de la Confederación Hídrica del
Júcar y modelización de su comportamiento hidrológico

M00502	El Salinar (Pego)	Mijares-Plana de Castellón
M00529	Manantial el Molinar	Turia
M00547	Fuentes del Algar	Cenia-Maestrazgo
M00574	Font de la Cava	Cenia-Maestrazgo
M00003	Font de la Coveta	Mijares-Plana de Castellón
M00058	Font dels Rossegadors	Palancia-Los Valles
M00073	Ullal de Baldovi	Turia
M00078	Les Aigües	Turia
M00186	Fuente la Peñuela	Júcar
M00191	Fuente Grande -Caudete	Turia
M00194	Manantial del Berro	Turia
M00224	Escaldador	Júcar
M00235	Nacimiento del Río Mijares	Júcar
M00371	Font del Barret	Júcar
M00420	Bolínches	Júcar
M01216	Nacimiento del Río de Los Santos	Júcar
M01740	Font del Almaguer	Júcar
M03884	Fuente La Orza	Júcar
M05326	La Encantada	Júcar

Tabla 1. Manantiales más significativos de la CHJ. Fuente: Elaboración propia.

Una vez llevada a cabo la primera simulación y obtenidos los resultados en los manantiales analizados, se ha intentado una calibración modificando el peso de preferencia de drenaje y se ha visto la inviabilidad de este proceso para obtener resultados satisfactorios en muchos manantiales. Con esto, se ha obtenido una conclusión clara: es necesario estudiar el entorno de un manantial para entender su comportamiento, se deben analizar todos los procesos de un sistema que puedan tener influencia en los manantiales y todos los procesos en los que los manantiales influyan. Así, se ha tomado la decisión de estudiar los manantiales en conjunto con el sistema o zona en la que se encuentran. Dada la complejidad del proceso, se han elegido, para empezar, dos zonas de la DHJ, siendo estas zonas lugares de importantes surgencias de agua subterránea en la que se encuentran varios manantiales de los 45 manantiales de especial entidad. La zona de la Cabecera del Mijares y la del Alto Palancia han sido las seleccionadas. El estudio y modelación de estas dos zonas indicarán la valía de la metodología empleada.

Se ha decidido contrastar también las series de caudales simuladas y observadas de varios puntos de control (estaciones de la Red Oficial de estaciones de aforo, restituciones a régimen natural...) de la cabecera del Mijares y del Alto Palancia, para comprobar que el modelo Patricial simula de manera satisfactoria las aportaciones superficiales en estas zonas después de la introducción del nuevo listado de manantiales. Los datos de aforo que se han tenido en cuenta son los de las estaciones con datos validados y sin afecciones por la gestión de los embalses.

En siguiente figura (Figura 21), y para una mejor comprensión, se presentan las distintas selecciones de manantiales, indicando su número, que se han hecho a lo largo de este TFM, empezando por la totalidad de los manantiales de la DHJ hasta llegar a los manantiales de las zonas seleccionadas para un estudio de detalle. Como primera selección están la totalidad de los manantiales del inventario, 8634. Como segunda, los manantiales establecidos como relevantes, un total de 618 registros. A continuación, están los 477 manantiales introducidos en el modelo, siguiendo una serie criterios que se detallan más adelante en este TFM. Como cuarta selección, están los 45 manantiales modelados más significativos, como ya se ha indicado en este capítulo. La última selección, contiene los 8 manantiales modelados que se ubican en las zonas en las que se ha hecho un análisis hidrológico integrado.



Figura 21. Proceso de selecciones de manantiales llevado a cabo en este TFM.
Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Análisis hidrológico integrado de los sistemas seleccionados

Para comprender de una manera completa los sistemas donde se encuentran los manantiales seleccionados y de esta manera el comportamiento de éstos, hace falta llevar a cabo un análisis hidrológico integrado de estas zonas.

En el análisis se han tenido en cuenta, de ser necesario, los siguientes datos:

- Datos de hidrometría de los manantiales. Se han analizado los datos foronómicos de los manantiales para observar su evolución temporal, posibles datos anormales...
- Masas de agua subterráneas y direcciones de flujo subterráneo. Observando las masas de agua subterráneas y varios estudios que han llevado a cabo la estimación de la dirección de los flujos subterráneos se podrá analizar los acuíferos que drenan los manantiales y la evolución del flujo subterráneo.
- Datos de caudales de ríos: estaciones de la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA), restituciones a régimen natural realizadas por la CHJ y estaciones del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH). Se han analizado los caudales en estos puntos de medición y/o restitución y se ha hecho una estimación de la componente subterránea, ya que esta parte es la que tiene relación directa con los manantiales.
- Zonas de conexión río acuífero. El IGME en su actividad 4 de la encomienda de gestión realizada para la Dirección General del Agua y el Ministerio de Medio Ambiente en 2009, caracterizó el modelo conceptual de la relación río-acuífero. Estas zonas son imprescindibles para entender y cuantificar la relación agua subterránea-superficial.
- Niveles de acuíferos: Red de piezometría. Analizando los niveles de los acuíferos mediante los piezómetros se puede entender mejor el comportamiento de los manantiales, posible desconexión de las surgencias con los niveles freáticos...
- Balances de masa. Anejo 2 del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, periodo de planificación 2015-2021 (PHJ 2015-2021). Mediante los balances de agua en las masas subterráneas que se hace en el plan hidrológico se puede entender el comportamiento general del ciclo hidrológico de la zona de estudio.
- Explotación de los acuíferos: Anejo 12 del plan hidrológico 2015-2021. Analizando la explotación de los acuíferos se puede entender un cambio en el caudal de los manantiales.
- Posibles extracciones subterráneas. Se han analizado las unidades de demanda agrícola (UDA) para entender un posible cambio en los niveles de los acuíferos o en la red de drenaje superficial.

4.2.3 Calibración del modelo y análisis de resultados

Después de obtener los primeros resultados de la modelación y hacer el análisis hidrológico integrado de las zonas de estudio, se han realizado unos cambios y mejoras generales en el modelo y una calibración específica en los puntos de contraste en las cuencas del Mijares y del Alto Palancia, para obtener de esta manera resultados satisfactorios.

Se han presentado primero los resultados obtenidos en el Mijares y el Alto Palancia. Una vez se ha hecho esto, se han presentado también los resultados obtenidos con el modelo en los 45 los manantiales más significativos de toda la DHJ.

A continuación, se presentan los indicadores de bondad utilizados para evaluar la calidad del ajuste entre los valores simulados y observados.

4.2.3.1 Indicadores de bondad de ajuste

Para evaluar la bondad del ajuste del modelo se han utilizado los estadísticos Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) y Percent Bias o sesgo porcentual (PBIAS), como indica Moriasi et al. 2007, además de las técnicas gráficas.

Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) es un estadístico normalizado que determina la magnitud relativa de la varianza residual (“ruido”) comparada con la varianza de los datos medidos (Nash & Sutcliffe, 1970)

En la Ecuación 1 se muestra como se calcula el NSE, que es indicador de cómo se ajustan los datos simulados con los observados a la línea 1:1

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \bar{Y}^{obs})^2} \right]$$

Ecuación 1. Indicador de ajuste NSE. Fuente: (Nash & Sutcliffe, 1970).

NSE oscila entre $-\infty$ y 1 (1 incluido), siendo $NSE = 1$ el valor óptimo. Valores entre 0 y 1 generalmente son vistos como niveles aceptables de rendimiento, mientras que valores inferiores a 0 serán indicadores de un mal ajuste.

El indicador PBIAS mide la tendencia promedio de los datos simulados siendo estos mayores o menores que los datos observados (Gupta et al., 1999)

El valor óptimo de PBIAS es 0, indicando esto un promedio de datos simulados igual al de los observados. Los valores bajos cercanos a 0 indicarán de la misma manera un buen ajuste. Valores positivos indican sesgo de subestimación de modelo y valores negativos indica el sesgo de sobreestimación de modelo (Gupta et al. 1999). El índice PBIAS se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) * 100}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs})} \right]$$

Ecuación 2. Indicador de ajuste PBIAS. Fuente: (Grupta et al. 1999).

En la siguiente tabla, se observa la distintas escalas de bondad del ajuste de varios indicadores para paso de tiempo mensual según Moriasi et al. 2007, siendo la parte correspondiente a NSE y PBIAS para cauda siperficial la que se debe tener en cuenta para este trabajo

Bondad del ajuste	RSR	NSE	PBIAS Caudal superf.	PBIAS Sedimento
Muy bueno	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$PBIAS < \pm 10$	$PBIAS < \pm 25$
Bueno	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	$\pm 25 \leq PBIAS < \pm 40$
Satisfactorio	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$	$\pm 40 \leq PBIAS < \pm 70$
No satisfactorio	$RSR > 0.70$	$NSE \leq 0.5$	$PBIAS \geq \pm 25$	$PBIAS \geq \pm 70$

*Tabla 2. Escala estadística general recomendada para paso de tiempo mensual.
Fuente: Moriasi et al. 2007.*

5 INVENTARIO DE MANANTIALES

Para crear una base de datos única con la información de todos los manantiales de la DHJ hay que analizar la información de la que se parte para establecer cuáles serán los registros de manantiales que se introducirán en el nuevo inventario. En un principio, previo al análisis de las distintas bases de datos, se establece que serán recogidos en el inventario los registros de los que se tenga seguridad que son manantiales (o fuentes naturales a partir de manantial) y no otros puntos de agua como pozos, balsas o fuentes artificiales, y que estén dentro de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. A continuación, se analiza una por una las 9 bases de datos y sus distintas características.

5.1 Análisis de datos e incorporación de manantiales

5.1.1 Instituto Geológico y Minero de España

Esta base de datos contiene 3172 registros, todos ellos manantiales, aunque hay algunos registros que son aforos en cauces que reciben agua de un conjunto de manantiales que no se han medido individualmente. De estos 3172 manantiales, 7 están fuera de los actuales límites de la DHJ, como consecuencia del cambio de límites a raíz de la modificación del Real Decreto 125/2007 por el que se fija el ámbito territorial de las Demarcaciones, y 3165 están dentro de los límites de la DHJ, los cuales se pueden observar en la Figura 22.

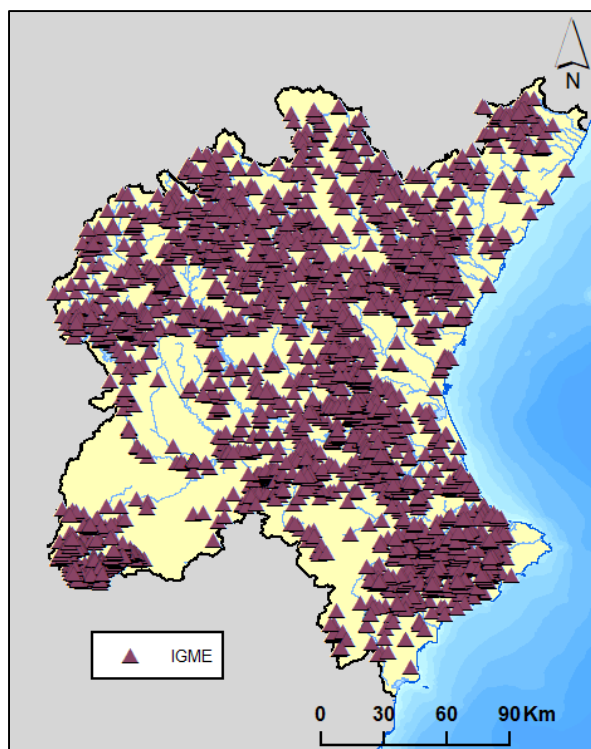


Figura 22. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos del IGME. Fuente: elaboración propia.

Como ya se ha comentado en el apartado 3 la distribución de los puntos inventariados abarca toda la amplitud de la DHJ, y la densidad de manantiales se debe por lo general a un criterio hidrológico, habiendo más puntos en las zonas con más surgencias y menos en las zonas en las que no las hay. En cuanto a la información que esta base de datos proporciona, es bastante completa, si bien tiene el gran inconveniente de que la mayoría de los registros no disponen de la información del nombre del manantial, ya que solo 74 contienen esta información. De los 3165 manantiales, 1717 disponen de datos de aforo (un 54. 25%). De estos 1717, en la mayoría (1290) no se indica en que año se hizo la medición y simplemente se indica que es un caudal histórico. De los 427 manantiales con dato de aforo y fecha de medición, 240 de ellos dispone únicamente de un dato de caudal aforado. Este trabajo contiene además información sobre la masa de agua subterránea que drena el manantial, información geológica, el uso que se le da y el cauce al que aporta el agua. Éstos datos no son datos que contengan todos y cada uno de los registros de la base de datos, unos tienen una información más completa que otros.

5.1.2 Diputación Provincial de Alicante

En los dos volúmenes de “*Los Manantiales Provinciales*”, editados por la diputación Provincial de Alicante, hay 4 registros que carecen de información de coordenadas o éstas, después de analizarlas, se ha observado que son incorrectas. Además hay un manantial que está fuera de los términos de la DHJ y pertenece a la Demarcación Hidrográfica de la Segura. Por lo tanto, de los 58 registros, 5 serán excluidos del inventario final y se considerarán 53 (Figura 23).

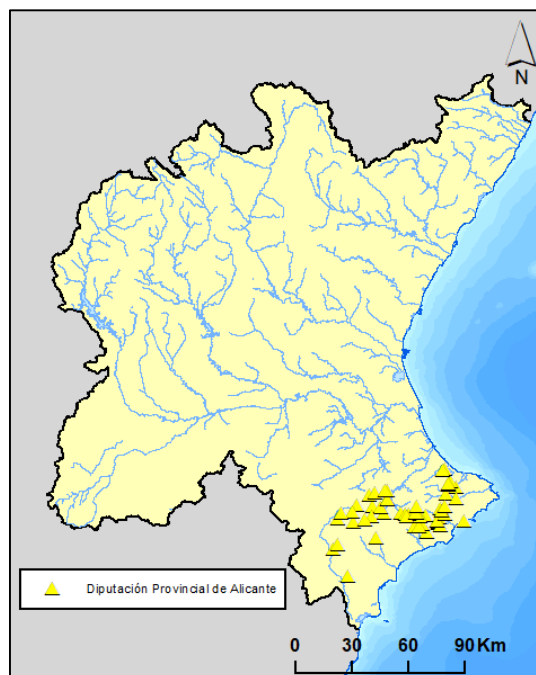


Figura 23. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos de la Diputación Provincial de Alicante. Fuente: elaboración propia.

A pesar de que en estos dos libros la información es por lo general muy detallada y extensa, en lo que a información foronómica se refiere, no es del todo completa. Los aforos de caudales son en varios casos estimados o calculados a partir de la precipitación, por lo que en éstos casos no se han tenido en cuenta. Además, varios manantiales carecen de alguna información de caudal. Así, quedan 17 manantiales con dato de caudal y el resto sin dicha información.

5.1.3 Universidad de Castilla La Mancha

El trabajo llevado a cabo por la Universidad de Castilla la Mancha en el que se hace un estudio de los puntos de agua de la cuenca media del Júcar y del Cabriel, dispone de información sobre 75 manantiales. La totalidad de estos manantiales se encuentran dentro de los términos de la DHJ (Figura 24), por lo tanto, todos han sido tenidos en cuenta para el inventario en un primer momento. La base de datos de éste trabajo contiene información sobre, nombre, uso, vegetación de la zona, masa subterránea drenante etc. y caudal en 29 de los 75 casos.

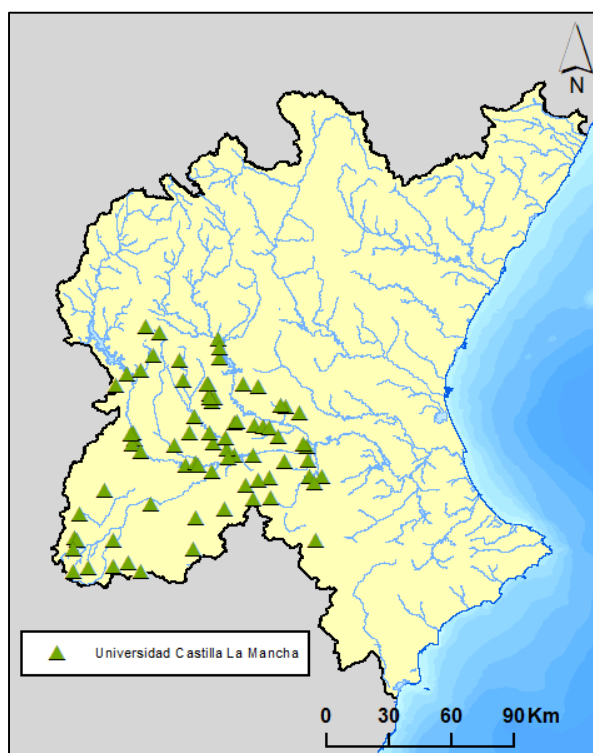


Figura 24. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos de la Universidad de Castilla La Mancha Fuente: elaboración propia.

5.1.4 Centro de estudios de la comunidad de Albarracín

El inventario del proyecto Albaqua, dispone no solo de datos sobre manantiales, sino también sobre otros puntos de agua como pozos, depósitos, lagunas... Estos registros que no cumplen con las características de un manantial son 502 del total de 1200 los registros del trabajo. Por otro lado, están los registros que sí cumplen los criterios de manantial, como son los puntos de agua definidos con el nombre de: manantial, ojo, chortal (*"Lagunilla formada por un manantial poco abundante que brota en el fondo de ella"* ; Hervás, 2015), gotial o botial (*"Lugar en el que abundan charcas de aguas manantiales"* ; Hervás, 2015)... de estos 698 manantiales, 519 son los que están dentro de los límites de la DHJ (Figura 25), y por lo tanto los que se incluyen en el inventario. La información que proporciona este trabajo va desde el nombre de los manantiales hasta el uso que de éstos se hace. También contiene información abundante sobre la zona en el la que se encuentran los manantiales, su localización, naturaleza, acceso... pero no dispone de información cuantitativa de caudal.

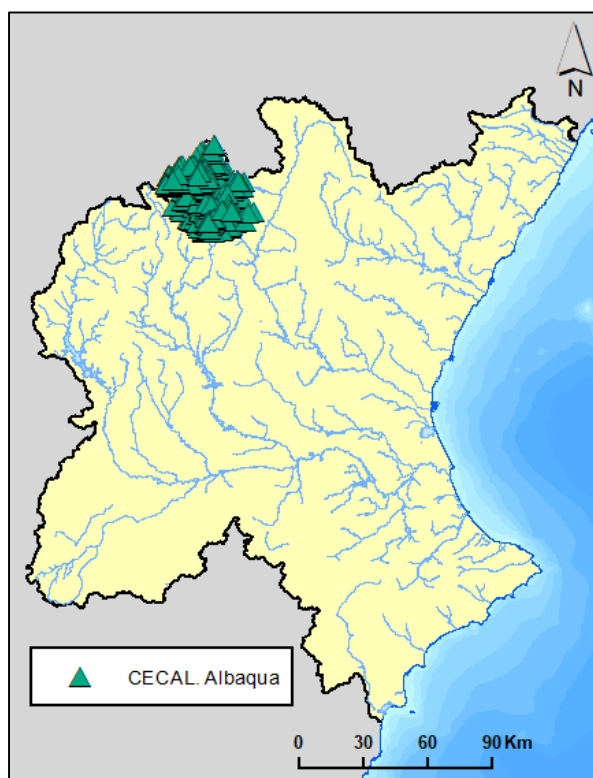


Figura 25. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos de ALBAQUA
Fuente: elaboración propia.

5.1.5 CHJ. Guardería Fluvial

De los 4481 manantiales inventariados que contiene la base de datos de Guardería Fluvial, 4465 han sido introducidos al nuevo inventario (Figura 26) y 25 han sido declinados por encontrarse fuera de la DHJ. Todos los manantiales contienen información sobre el nombre del manantial, naturalidad, régimen de caudales y datos sobre localización. 1338 de ellos disponen de dato sobre el uso que se hace del manantial y 3168 contienen dato forónimo, aunque casi todos (99.34%), solo disponen de un único dato de medición.

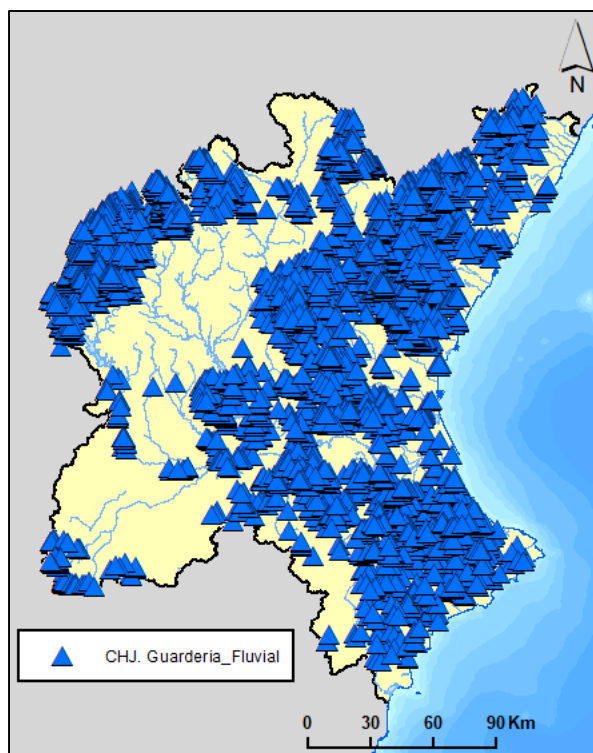


Figura 26. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos de Guardería Fluvial Fuente: elaboración propia.

5.1.6 CHJ. Red Oficial de Hidrometría

Los 212 manantiales recogidos en la red de hidrometría de la CHJ (Figura 27) cumplen los criterios para ser introducidos en el inventario final. Esta base de datos contiene información sobre el nombre de los manantiales, su uso y masa subterránea en la que se encuentra el manantial. Además, contiene extensa información sobre los caudales de los manantiales, teniendo esta información 176 registros de los 212 totales. Cabe destacar que al contrario que en otras bases de datos citadas, muchos manantiales cuentan con largas series de mediciones, y como se ha comentado en el apartado 3, hay 12 puntos que se siguen midiendo en la actualidad.

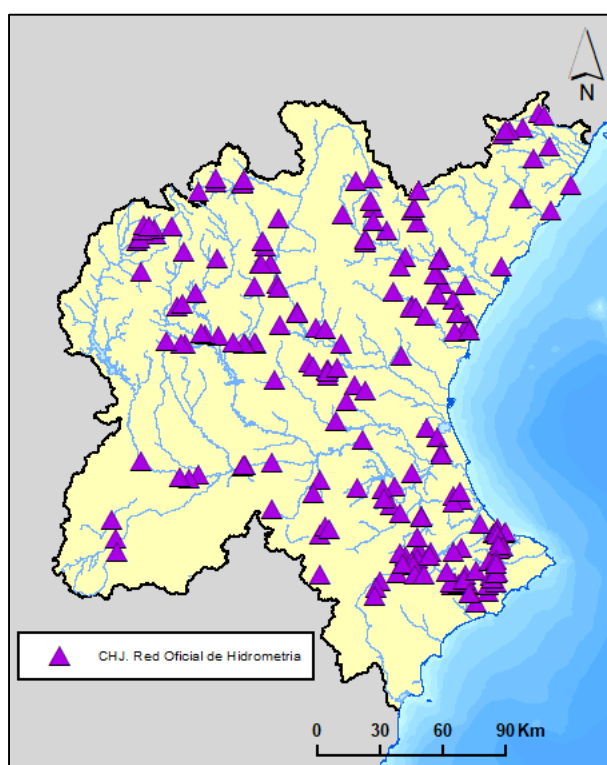


Figura 27. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos de la ROH Fuente: elaboración propia.

5.1.7 CHJ. Registro de Aguas

De los 299 manantiales que aparecen en el Registro de Aguas en el apartado de concesiones para uso urbano procedente de manantial, 5 carecen de dato de localización por lo que serán excluidos del inventario final, y los 294 restantes serán considerados (Figura 28). Esta base de datos contiene información sobre el número de expediente, localización del manantial y también en varios casos el volumen estimado de la toma del manantial y el número de habitantes que abastece. Ese volumen estimado no se puede utilizar como dato de caudal, ya que es un volumen calculado de lo que debería abastecer el manantial, y no el volumen real de la surgencia.

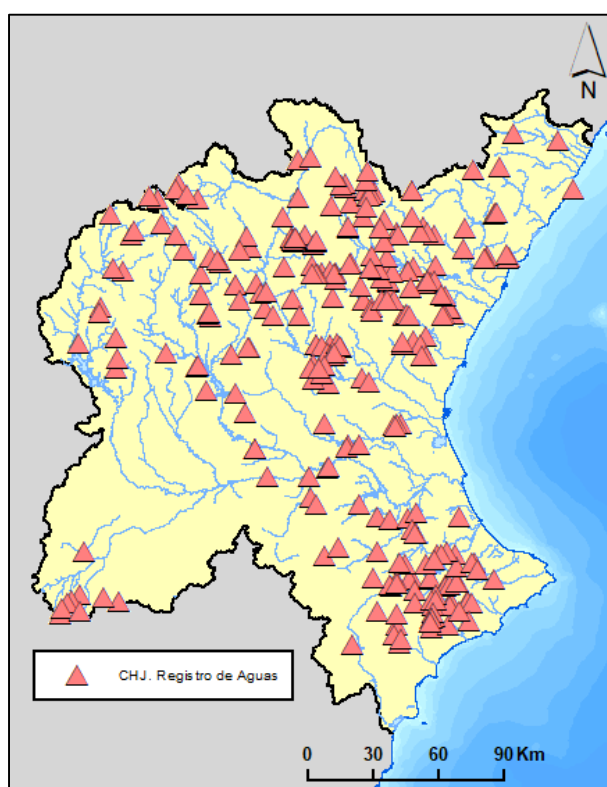


Figura 28. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos del Registro de Aguas Fuente: elaboración propia.

5.1.8 Instituto Geográfico Nacional

El IGN tiene una base de datos con 4085 registros. 242 de ellos están catalogados como manantiales, por lo que se introducirán al inventario (Figura 29). Los 3843 restantes están catalogados como “*Lugar natural o artificial de agua (potable o no) acondicionado con una obra*” (IGN, s.f.), y dado que, por una parte, no se especifica que sean realmente manantiales o surgencias naturales, y por otra parte, la cantidad de registros es muy alta, se ha tomado la decisión de no tenerlos en cuenta para el inventario de forma masiva en un principio. A la hora de llevar a cabo la depuración de duplicados se tendrá en cuenta estos 3843 registros descartados para así detectar posibles manantiales que puedan haber dentro de este grupo de registros del IGN.

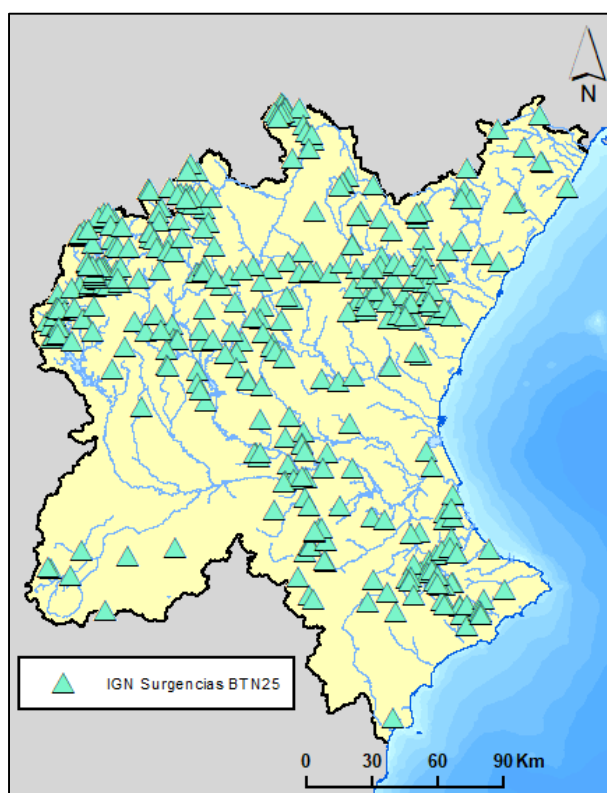
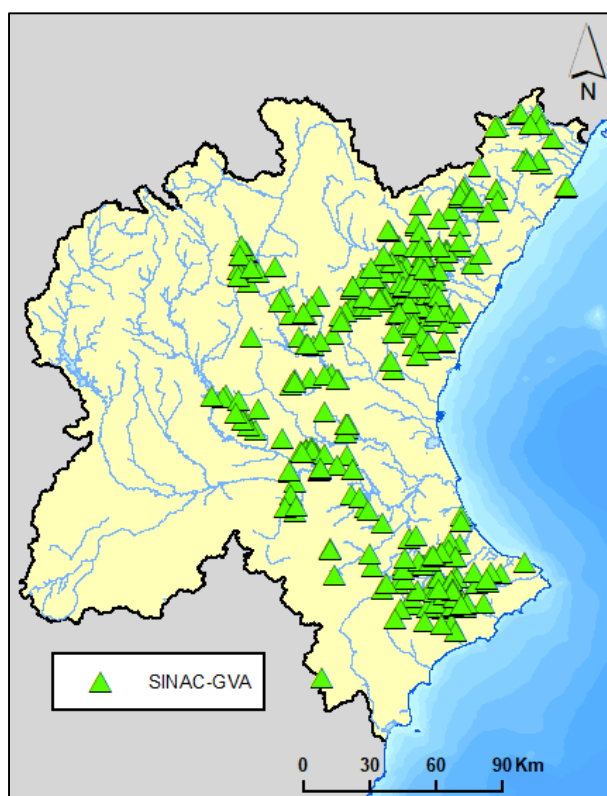


Figura 29. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos del IGN Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la información esta base de datos de manantiales contiene, es escasa, ya que solo aparece el nombre (solo en algunos manantiales) y sus coordenadas.

5.1.9 Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo – Generalitat Valenciana

La totalidad de los 348 manantiales que contiene la base de datos del Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo proporcionada por la Generalitat Valenciana serán introducidos en el inventario definitivo (Figura 30). Los registros que aparecen contienen información de nombre y coordenadas, además de que se indica si el abastecimiento pertenece a una zona protegida por abastecimiento urbano atendiendo a los criterios que se indican en el artículo 7 de la Directiva Marco del Agua.



*Figura 30. Manantiales de la DHJ pertenecientes a la base de datos del SINAC.
Fuente: elaboración propia.*

5.2 Elección de manantiales relevantes

Como resultado del análisis de las distintas bases de datos y la agregación de manantiales en el inventario, se ha obtenido un conjunto de 9364 registros. La entidad y la tipología tanto hidrológica como de utilización de las aguas de estos manantiales es muy distinta, por lo que es necesario hacer una selección de los manantiales con mayor relevancia. Para ello se establecerán unos criterios por los que se pueda hacer de manera sistemática y objetiva esta selección. Se intentará que la cantidad de manantiales relevantes sea sobre todo representativa de lo que es el conjunto de manantiales de entidad de la DHJ, pero también que sea una cantidad razonable que permita llevar a cabo un análisis y depuración de duplicados de todos ellos. A continuación, se presentan los distintos criterios de selección de manantiales relevantes.

5.2.1 Caudales altos

El volumen de agua que produce una surgencia es un claro indicador de la magnitud de un manantial. Por ello se han analizado todos los datos de caudal recopilados con el fin de establecer un caudal medio a partir del cual se ha establecido que el manantial que produzca ese caudal medio será un manantial relevante. A continuación, se adjunta una tabla (Tabla 3) y un gráfico (Figura 31) en los que se puede observar la relación entre el caudal medio medido de un manantial y la cantidad de manantiales con un caudal igual o superior a ese caudal medio.

Q (l/s)	Nº Manantiales	% Manantiales CHJ
≥ 0 o S/D	9364	100.00%
≥ 1	2204	23.54%
≥ 5	979	10.45%
≥ 10	688	7.35%
≥ 25	371	3.96%
≥ 50	255	2.72%
≥ 100	167	1.78%
≥ 200	106	1.13%
≥ 500	53	0.57%
≥ 1000	21	0.22%
≥ 5000	7	0.07%

Tabla 3. Q medio medido de los manantiales y el número y % de los manantiales de la DHJ con un valor igual o superior a ese caudal medio. Fuente: Elaboración propia.

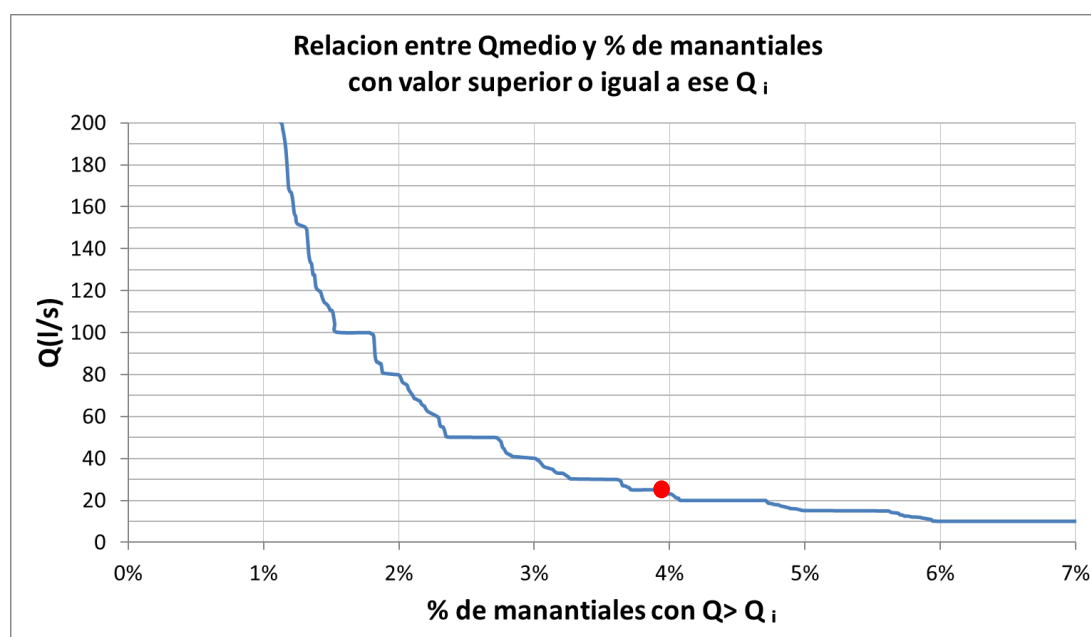


Figura 31. Gráfico con la relación entre el Q medio medido de los manantiales y el % de los manantiales de la DHJ con un valor igual o superior a ese caudal medio.
Fuente: Elaboración propia.

Analizando los valores de la tabla y la tendencia de la curva que relaciona el número de manantiales con el caudal medido, se puede decir que el valor de caudal 25 l/s es un valor válido para establecer la frontera entre los manantiales relevantes y los no relevantes de la CHJ. Cogiendo el 3.96% de los manantiales inventariados, se reunirían los manantiales con caudales más altos, esto es, con el mínimo de número de manantiales, se obtendría la mayoría de manantiales con alto caudal.

5.2.2 Series de mediciones significativas

Otra característica indicativa de que un manantial es relevante es su seguimiento, es decir, las veces que se ha hecho una medición del mismo, en este caso una medición de caudal circulante. Por un lado, una cantidad significativa de datos indica en la mayoría de los casos mayor exactitud o fiabilidad de lo medido, dado la estacionalidad de los caudales de los manantiales, y, por otro lado, el que se hayan hecho varias mediciones de un manantial es un indicador de su importancia, ya sea actual o histórica. De la misma manera que se ha hecho con los caudales, se adjunta una tabla (Tabla 4) y un gráfico (Figura 32) en el que se ve la relación entre un número de mediciones concreto y los manantiales con una serie igual o superior a ese número de mediciones.

Nº mediciones Q	Nº Manantiales	% Manantiales CHJ
≥ 0	9364	100.00%
≥ 1	5106	54.53%
≥ 2	347	3.71%
≥ 5	191	2.04%
≥ 10	156	1.67%
≥ 25	131	1.40%
≥ 50	120	1.28%
≥ 75	35	0.37%
≥ 100	25	0.27%
≥ 150	0	0.00%

Tabla 4. Número de mediciones de Q de un mismo manantial y el número y % de manantiales de la DHJ con un valor igual o superior a ese número de mediciones.
Fuente: Elaboración propia.

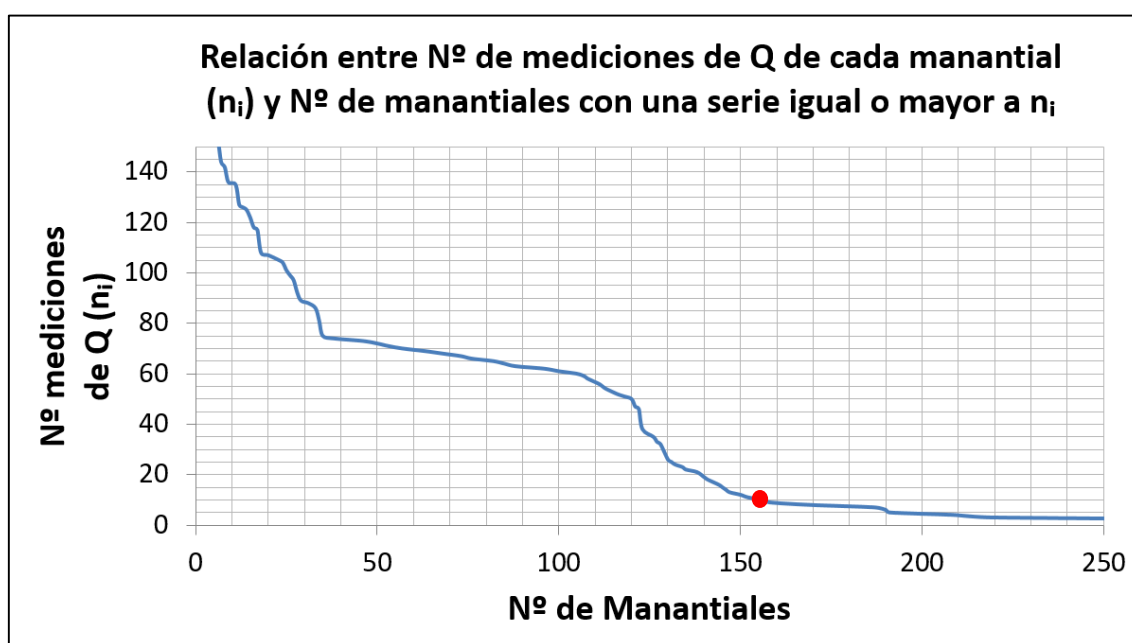


Figura 32. Gráfico con la relación entre el número de mediciones de Q de un mismo manantial y el número de manantiales de la DHJ con un valor igual o superior a ese número de mediciones. Fuente: Elaboración propia.

Observando la tabla y el gráfico se concluye que un manantial será catalogado como relevante si tiene diez o más mediciones de caudal. Se observa en este punto un cambio de tendencia en la curva que relaciona las variables de número

de mediciones y número de manantiales, y se consigue una cifra de manantiales no excesivamente grande agrupando todos los manantiales con series largas de mediciones.

5.2.3 Uso para abastecimientos urbanos importantes

A parte de las características cuantitativas, también se tendrán en cuenta las características cualitativas a la hora de determinar cuándo un manantial es relevante. En este caso se analizará la utilización o uso que se hace del agua de manantial. El abastecimiento urbano es el uso prioritario en cuanto a la atención de las demandas (artículo 60 del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas) y también en cuanto a la protección de su calidad, por lo que se establecerán como relevantes los principales manantiales destinados para abastecimiento urbano. Para ello se analizarán en este caso las dos bases de datos que contienen exclusivamente información sobre abastecimientos urbanos con origen de manantial, esto es, los registros del SINAC y del Registro de Aguas.

Como se ha comentado en el punto anterior, en los manantiales de la base de datos del SINAC aparece si el manantial se encuentra en zona protegida por abastecimiento urbano. Esto significa, como indica el artículo 7 de la Directiva Marco del Agua, que el manantial se utiliza para abastecer una población de más de 25 habitantes o que proporciona un promedio de más de 10m³ diarios. Por otra parte, están los manantiales del Registro de Aguas. En este caso, y dado que son datos de concesiones, por lo que los volúmenes de uso no son del todo fiables, se han establecido como relevantes los manantiales de esta base de datos que abastezcan a más de 50 personas.

5.2.4 Conexión con zonas húmedas

Por último, se han establecido como relevantes los manantiales que tiene una conexión directa o indirecta con zonas húmedas (Figura 33) según la actividad 4 de la Encomienda de Gestión para la Realización de Trabajos Científico-Técnicos de Apoyo a la Sostenibilidad y Protección de las Aguas Subterráneas. La relevancia de estos manantiales radica en la importancia tanto hidrológica como de biodiversidad de estas zonas húmedas.

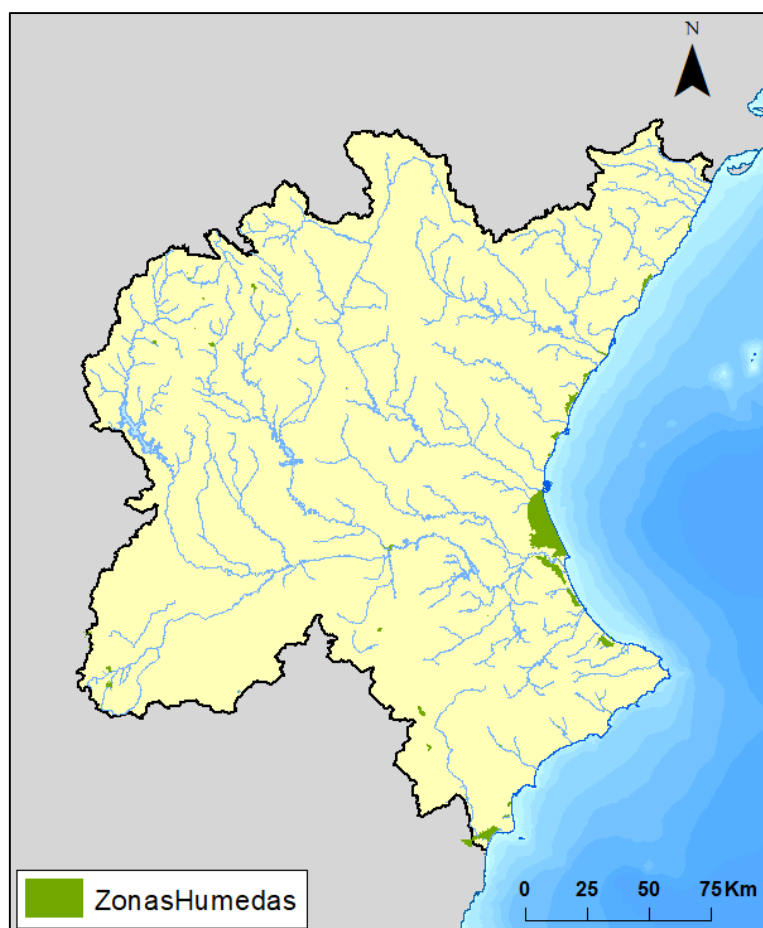


Figura 33. Zonas Húmedas de La Demarcación Hidrográfica del Júcar. Fuente: CHJ.

5.3 Revisión y depuración manual de duplicados

Una vez determinado el listado de manantiales relevantes, se ha llevado a cabo un trabajo básico para obtener un inventario robusto y que se ajuste a la realidad. Este trabajo consiste en llevar a cabo una revisión y depuración manual y minuciosa de los manantiales duplicados en diferentes fuentes de datos. Como se ha indicado en el capítulo 4, este trabajo debe ser manual por la diferencia que presentan las distintas fuentes de información. Dado que el número de manantiales totales es muy elevado y el trabajo de depuración será totalmente manual, y por lo tanto costoso en cuanto a tiempo, como ya se ha propuesto anteriormente, se ha llevado a cabo solamente en el listado de manantiales relevantes. Se ha obtenido mediante este trabajo la unificación de los registros de distintas bases de datos, por lo que la información sobre los manantiales relevantes es más completa al obtener datos y características de cada uno de los registros unificados, además se ha logrado una correcta localización geográfica de los manantiales analizados.

Para llevar a cabo esta depuración se han revisado uno a uno los 756 manantiales definidos previamente como relevantes. Primero se ha localizado el manantial relevante, y a continuación, se han estudiado todos los posibles manantiales que pudiesen estar duplicados con dicho manantial relevante en las distintas bases de datos. Para ello se ha utilizado la información proveniente de estas bases de datos: la localización, el nombre, el uso del manantial o cualquier observación o información complementaria que en estas aparezca. Además, se ha hecho una comprobación visual, utilizando por una parte la orto foto más actual y por otra parte la herramienta Google Earth y todas las posibilidades que esta ofrece (fotos, *Street view*...). Para completar esta unificación de registros, se ha establecido la localización exacta del manantial, seleccionando las coordenadas correctas.

A continuación, se presentan 4 ejemplos distintos de la revisión y depuración de manantiales del inventario final.

5.3.1 Ejemplos

1. Font Salada

Este manantial, cuya localización se puede observar en la Figura 34, se ubica en el municipio Valenciano de Oliva. Es un manantial relevante por varias razones, tiene un caudal medio mayor que 25 l/s, una serie de más de 10 mediciones y conexión con una zona húmeda, en este caso la Marjal de Pego-Oliva.

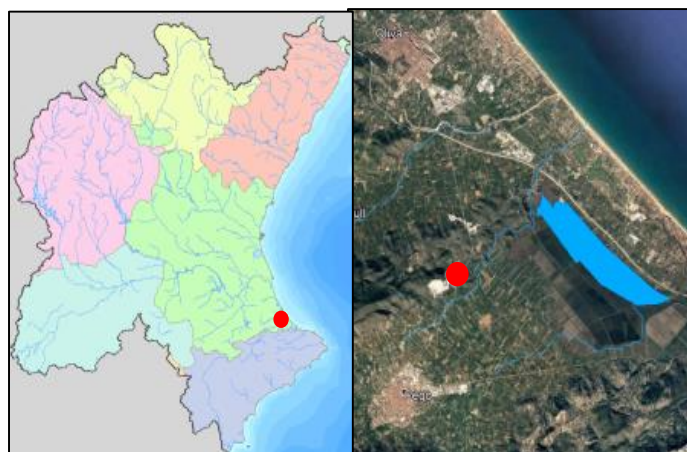


Figura 34. Localización geográfica del manantial de Font Salada. Fuente: CHJ.

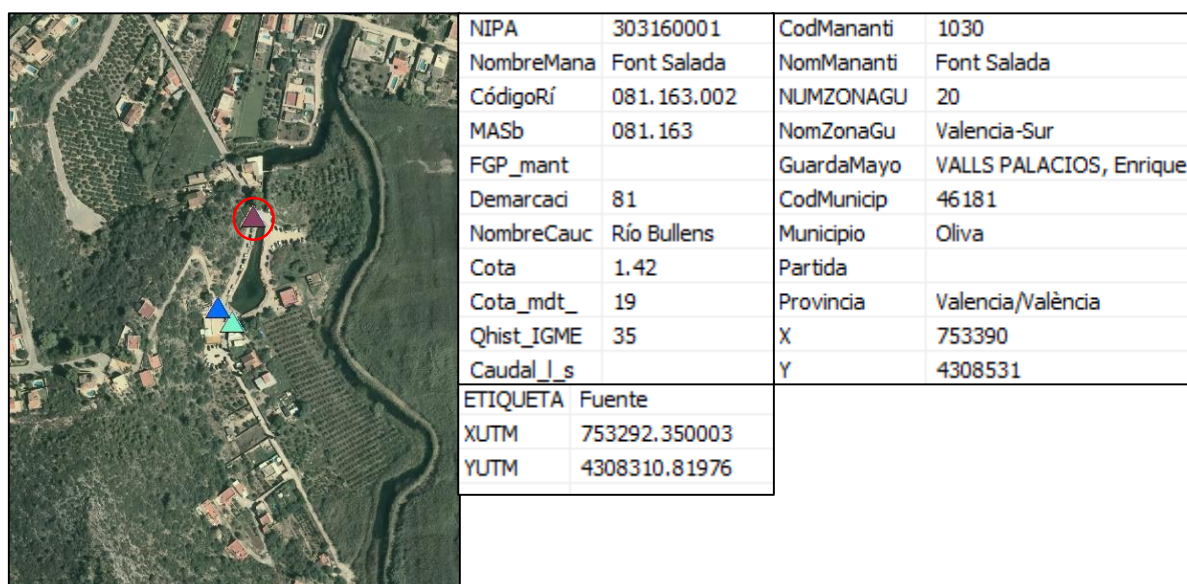


Figura 35. De izquierda a derecha y de arriba abajo, orto foto con manantiales previos a la depuración de duplicados con el manantial relevante señalado y fichas de Font Salada perteneciente al IGME, a Guardería Fluvial y al IGN. Fuente: CHJ.

Primero se ha detectado el manantial relevante, en este caso un manantial proveniente de la base de datos del IGME (Figura 35). Acto seguido se han analizado los manantiales de los alrededores, que en este ejemplo pertenecen a las antiguas bases de datos del IGN y de Guardería Fluvial. Observando la información que de estos registros se dispone (Figura 35), se ha podido observar que los tres manantiales que aparecen en la Figura 35 son en realidad el mismo manantial. El manantial procedente de la base de datos del IGN no dispone de más información que las coordenadas, pero dada su proximidad a los otros dos manantiales se ha deducido que también hace referencia a Font Salada.

Después, se ha observado con detalle la localización del manantial con Google Earth (Figura 36) para así despejar cualquier duda sobre la detección que se ha hecho de los duplicados, y establecer la coordenada correcta. En este caso la

coordenada correcta es perteneciente al registro de la base de datos de Guardería Fluvial.



Figura 36. Imágenes de Google Earth del manantial de Font Salada. Fuente: Google Earth..

Como resultado final se ha conseguido la unificación de los registros de tres bases de datos distintas en un único registro, obteniendo, como se ha comentado anteriormente, una ficha de información del manantial más completa, además de la correcta localización geográfica del mismo. En la siguiente imagen (Figura 37) se puede observar el resultado de la depuración de duplicados de manantiales.

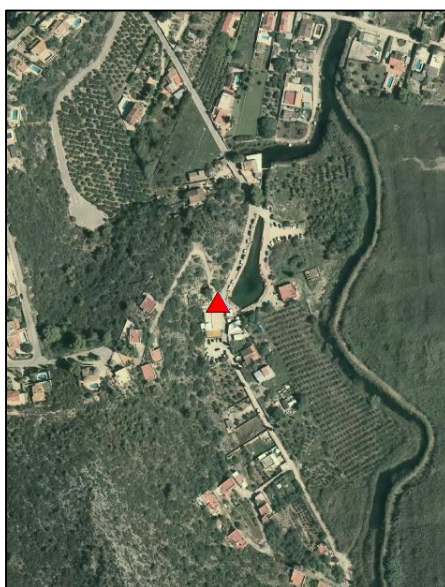


Figura 37. Resultado de la depuración de duplicados del manantial de Font Salada. Fuente: CHJ.

2. Fuente de los 50 Caños

Este manantial que está situado en la provincia de Castellón, en la localidad de Segorbe, es un ejemplo de la complejidad de este análisis y depuración de duplicados. El proceso de identificación de manantiales duplicados ha empezado con el manantial relevante perteneciente a la base de datos de la ROH, que se pude ver de con color morado y señalado con un círculo rojo en la Figura 38.

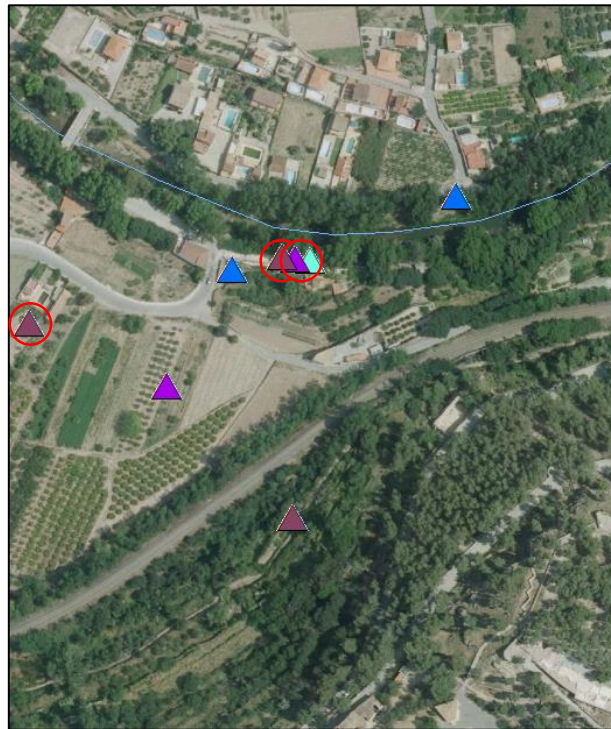


Figura 38. Orto foto con manantiales previos a la depuración de duplicados con los manantiales relevantes señalados. Fuente: CHJ.

Al analizar los manantiales del entorno se han observado otros dos manantiales seleccionados previamente como relevantes, indicados también con un círculo rojo en la Figura 38. Analizando las fichas de estos tres manantiales se ha deducido que todos ellos hacen referencia a la fuente de los 50 caños. Con este ejemplo se observa que hay manantiales duplicados dentro de una misma base de datos, ya que aquí dos manantiales pertenecientes a la base de datos del IGME resultan ser el mismo.

Además de estos 3 manantiales, el manantial perteneciente a la base de datos de Guardería Fluvial (con color azul) que se encuentra más al oeste también resulta ser la fuente de los 50 caños (Figura 39). Por el contrario, el manantial de la base de datos de la ROH (con color morado) que se encuentra más al sur no hace referencia a la fuente de los 50 caños, sino al manantial de la Caprichosa (Figura 39), y tampoco el manantial perteneciente a Guardería Fluvial que se halla más al este, ya que es el manantial de Fuente Noguera (Figura 39).

Análisis del inventario de manantiales de la Confederación Hiodrográfica del Júcar y modelización de su comportamineto hidrológico

CodMananti	3905	CodPtco	M08.14.006	CodMananti	3921
NomMananti	Fuente de los 50 Caños	DESNOBRE	La Caprichosa	NomMananti	Fuente Noguera 2
NUMZONAGU	60	CodPtcoAnt		NUMZONAGU	60
NomZonaGu	Valencia-Norte	RedOper	0	NomZonaGu	Valencia-Norte
GuardaMayo	LAGUIA BLASCO, Salvador	CODUHG	8.14	GuardaMayo	LAGUIA BLASCO, Salvador
CodMunicip	12104	NOMUHG	ALTO PALANCIA	CodMunicip	12104
Municipio	Segorbe	NUMHOJA	640	Municipio	Segorbe
Partida		NOMHOJA	SEGORBE	Partida	
Provincia	Castellón/Castelló	VALXUTM	714955	Provincia	Castellón/Castelló
X	714992	VALYUTM	4414975	X	715119
Y	4415041	ETRS89_X	714845.251548	Y	4415083
ETRS89_X	714882.250674	ETRS89_Y	4414766.14733	ETRS89_X	715009.252726

Figura 39. De izquierda a derecha, fichas de información de los manantiales de la fuente de los 50 caños perteneciente a Guardería Fluvial, La Caprichosa perteneciente a la ROH y Fuente Noguera perteneciente a Guardería Fluvial. Fuente: CHJ.

Observando el entorno mediante Google Earth se puede ver la localización exacta del manantial que está siendo analizado (Figura 40) y se establece que la coordenada correcta es la del manantial perteneciente a la base de datos de la ROH.



Figura 40. Imagen de Google Earth donde se observa al fondo la Fuente de los 50 Caños. Fuente: Google Earth.

En la Figura 41 se puede observar el resultado final de la identificación y depuración de duplicados de este manantial, consiguiéndose la unificación de 4 registros de tres bases de datos distintas.

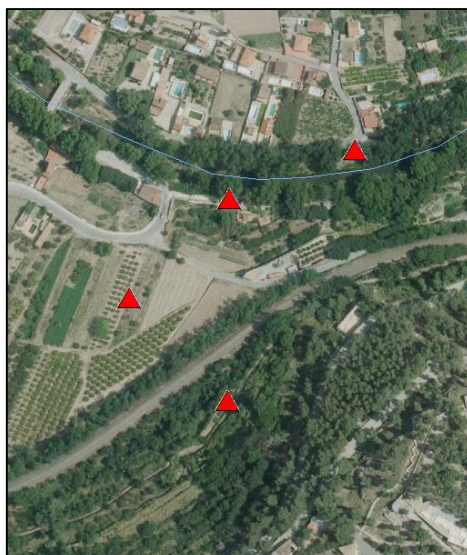


Figura 41. Resultado de la depuración de duplicados del manantial de la Fuente de los 50 Caños. Fuente CHJ.

3. Manantial de la Bolata

El manantial de la Bolata, que se localiza en el municipio alicantino de Tormos, al norte de su casco urbano, en el sistema de explotación de la Marina Alta (Figura 42), descarga sus aguas al Río Girona, y tiene como uso principal el abastecimiento urbano.

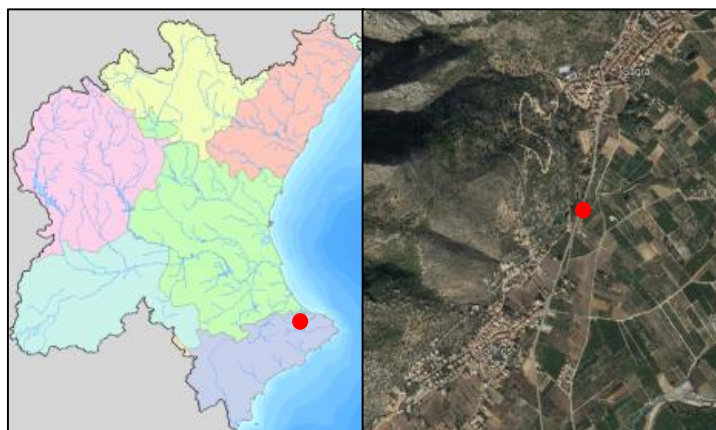


Figura 42. Localización geográfica del manantial de la Bolata. Fuente: CHJ.

En este caso se ha empezado con la identificación y depuración de duplicados localizando el manantial relevante perteneciente a la base de datos del IGME que aparece en la Figura 43 con color marrón y señalado con un círculo rojo. Este es un manantial relevante porque tiene una serie superior a 10 mediciones y un caudal mayor que 25 l/s. Observando los manantiales de alrededor se ha detectado otro manantial relevante perteneciente a la base de datos del SINAC

(señalado también con un círculo rojo en la Figura 43), en este caso relevante por ser una zona protegida por abastecimiento urbano.

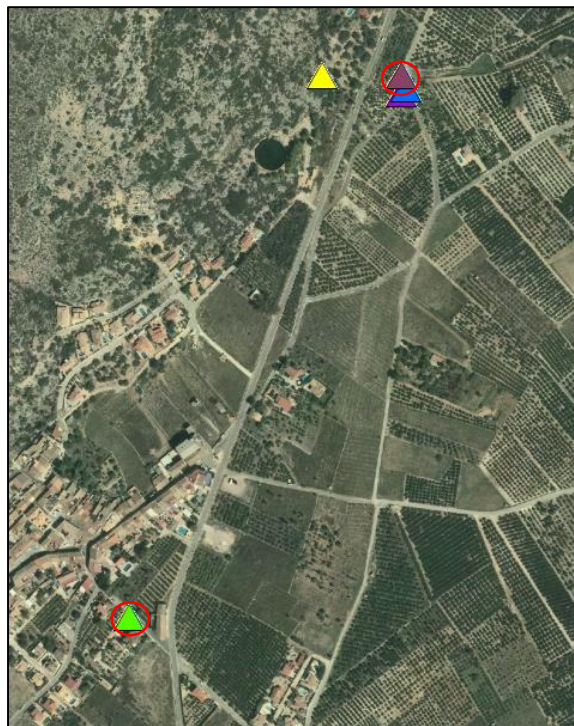


Figura 43. Orto foto con manantiales previos a la depuración de duplicados con los manantiales relevantes señalados Fuente: CHJ.

Observando la información de estos dos manantiales (Figura 44) se deduce que ambos son el manantial de la Bolata. Este ejemplo sirve para ver lo erróneas que pueden ser las coordenadas de los manantiales registrados en la CHJ, ya que en este caso, el manantial perteneciente a la base de datos del SINAC no está ubicado en el lugar de la surgencia o en sus proximidades, sino en el centro del municipio que es abastecido por las aguas del propio manantial. Este fallo concreto se ha dado en muchos de los puntos de la citada base de datos.

NIPA	303220022
NombreMana	Manantial de la Bolata
CódigoRí	081.164.002
MASb	081.168
FGP_mant	Gravas, arenas y limos (Cuaternario)
Demarcaci	81
NombreCauc	Río Girona
Cota	100.72
Cota_mdt_	114
Qhist_IGME	500
Caudal_l_s	
Nombre	PERFORACIÓ MANATIAL LA BOLATA
CodOrigen	30000000884
X	754457
Y	4298980
X_ETRS89	754347.576639
Y_ETRS89	4298771.55551
Cod_DU	417
Cod_ZonPro	417

Figura 44. De arriba abajo, fichas de información de los manantiales del manantial de la Bolata perteneciente al IGME y al SINAC. Fuente: CHJ.

Además, los manantiales que están próximos al manantial relevante procedente del IGME son también registros que hacen referencia al manantial de la Bolata, como se puede observar en la Figura 45 .

CodMananti	2557	CodPtco	M08.39.004
NomMananti	Manantial La Bolata	DESNOMBRE	Bolata
NUMZONAGU	20	CodPtcoAnt	
NomZonaGu	Valencia-Sur	RedOper	0
GuardaMayo	VALLS PALACIOS, Enrique	CODUHG	8.39
CodMunicip	03131	NOMUHG	ALMUDAINA-ALFARO-SEGARIA
Municipio	Tormos	NUMHOJA	822
Partida		NOMHOJA	BENISA
Provincia	Alicante/Alacant	Cod_DipAli	23
X	754763	Nombre	Font de Bolata
Y	4299565	Libro_Orig	Los Manantiales Provinciales Primera
ETRS89_X	754653.56775	X_ETRS89	754560.564759
ETRS89_Y	4299356.55425	Y_ETRS89	4299371.5544

Figura 45. De arriba abajo y de izquierda a derecha, fichas de información del manantial de la Bolata perteneciente a GF, la ROH y La Diputación de Alicante. Fuente: CHJ.

Así se ha obtenido la unificación de 5 registros de 5 bases de datos distintas, siendo la coordenada correcta la del manantial procedente de Guardería Fluvial (Figura 46).

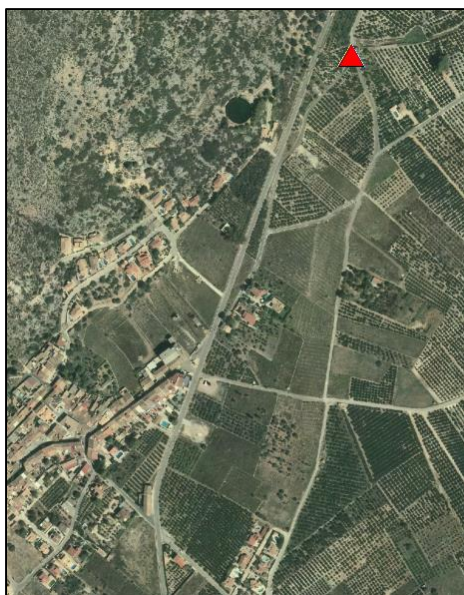


Figura 46. Resultado de la depuración de duplicados del manantial del manantial de la Bolata. Fuente: CHJ.

5.4 Resultado del inventario de manantiales de la CHJ

Después de la identificación y depuración de los manantiales designados como relevantes y los duplicados de éstos, de los 9364 manantiales que había previamente en el inventario, se ha pasado a 8645 (Figura 47). En cuanto a los manantiales relevantes, ha habido una reducción de 138 registros, pasando de 756 a 618 (Figura 47). En total se han depurado del inventario final 864 manantiales.

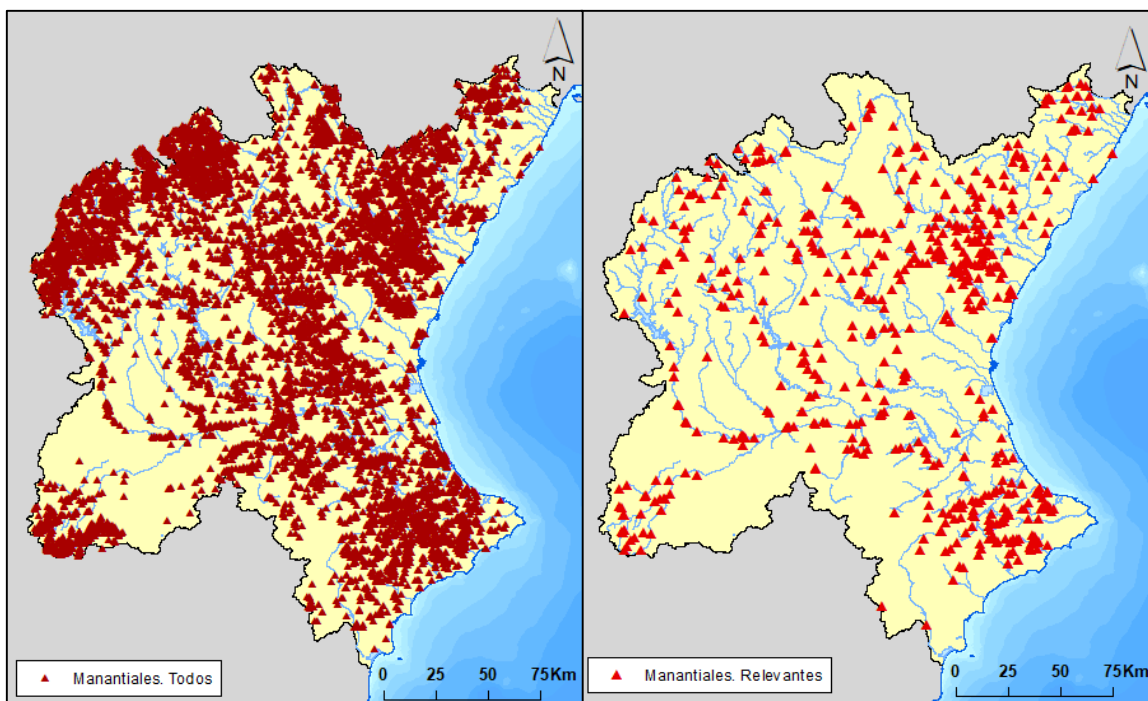


Figura 47. De izquierda a derecha mapa con todos los manantiales del nuevo inventario de manantiales de la CHJ y manantiales relevantes. Fuente: Elaboración propia.

El inventario ha sido introducido al Sistema Integrado de Información Hidrológica de la CHJ (Geshidro). Mediante este sistema de información se puede visualizar toda la información sobre los manantiales de la DHJ. Se ha creado una nueva base de datos principal con el nuevo inventario de manantiales llevado a cabo mediante este TFM. Aquí se verán reflejados los 8645 manantiales, e información correspondiente a éstos, como nombre, localización, sistema de explotación, masa subterránea donde se ubica, si el manantial es o no relevante... Además, cada manantial tendrá información detallada, en caso de disponer de dicha información, sobre el uso que se hace de sus aguas y su caudal, que aparecerá además graficado. Cada registro del nuevo inventario tendrá también conexión con la información de las antiguas bases de datos de manantiales desde las que se ha partido para hacer este trabajo, consiguiendo así una información completa. En este nuevo inventario se ha creado una nueva

codificación para identificar cada manantial, código que se compone de la letra “M” y 5 dígitos. Todo esto se puede observar en la Figura 48, que corresponde a la interfaz gráfica de Geshidro.

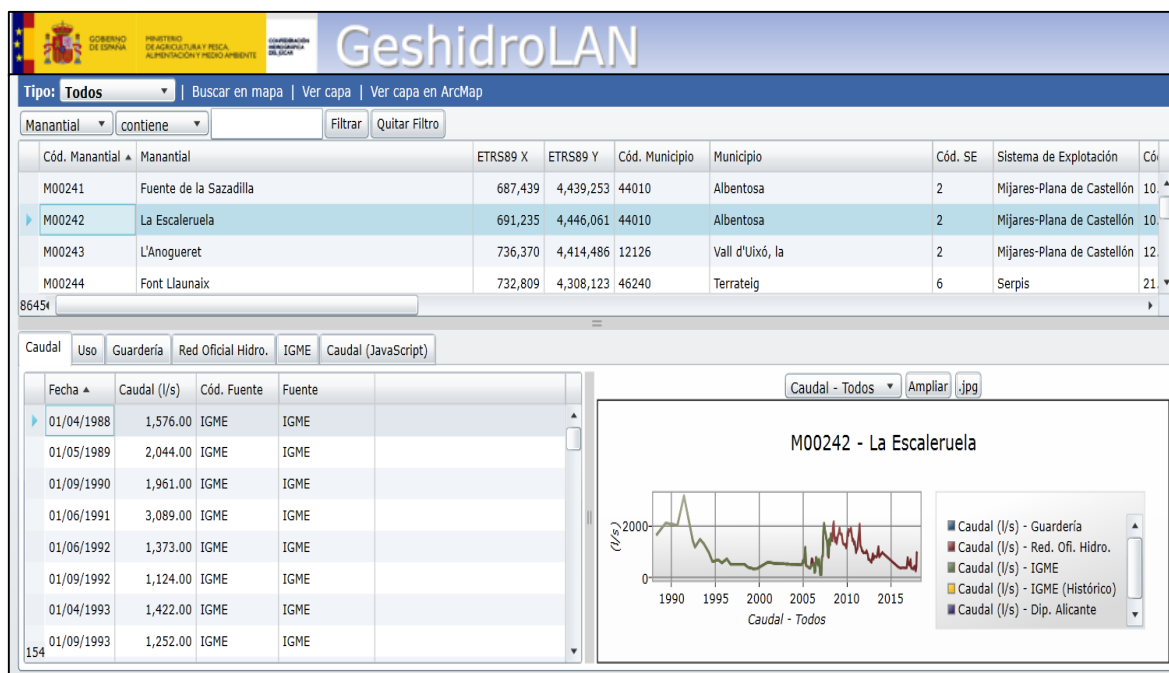


Figura 48. Vista del manantial de la Escaleruela mediante Geshidro. Fuente: CHJ.

6 ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y MODELACIÓN

Una vez se ha obtenido un inventario completo de los manantiales de la CHJ, se va a llevar a cabo la modelización de estos mediante el modelo Patrical. El inventario contiene un total de 8645 manantiales y dado que, por una parte, es una gran cantidad de puntos y, por otra parte, la totalidad de los datos no han sido revisados en cuanto a duplicados y coordenadas se refiere, se ha concluido que es inviable introducir todo este conjunto de manantiales en el modelo. Por lo tanto, se ha considerado más adecuado modelar, en principio, los 618 manantiales definidos como relevantes, que supone una aceptable cantidad de registros y, que a la vez, corresponde con los manantiales de mayor entidad de la DHJ. Al analizar estos registros se ha observado que varios no disponen de la información sobre el nombre del manantial. Además, y como ya se ha indicado en capítulos anteriores, algunos puntos no se corresponden a manantiales individuales, sino a puntos de medición en ríos con gran aporte de agua proveniente de varios manantiales.

6.1 Introducción de manantiales, elección de puntos de contraste y modelación

6.1.1 Introducción de manantiales

Después de haber analizado los 618 manantiales relevantes se ha decidido, por un lado, y como medida preventiva, no introducir en el modelo Patrical los manantiales relevantes que no dispongan información sobre el nombre del mismo, y, por otro lado, no introducir los manantiales que se haya detectado que son mediciones en río. Así quedaría un conjunto de 477 manantiales modelados, cuya distribución espacial se puede observar en la Figura 49.

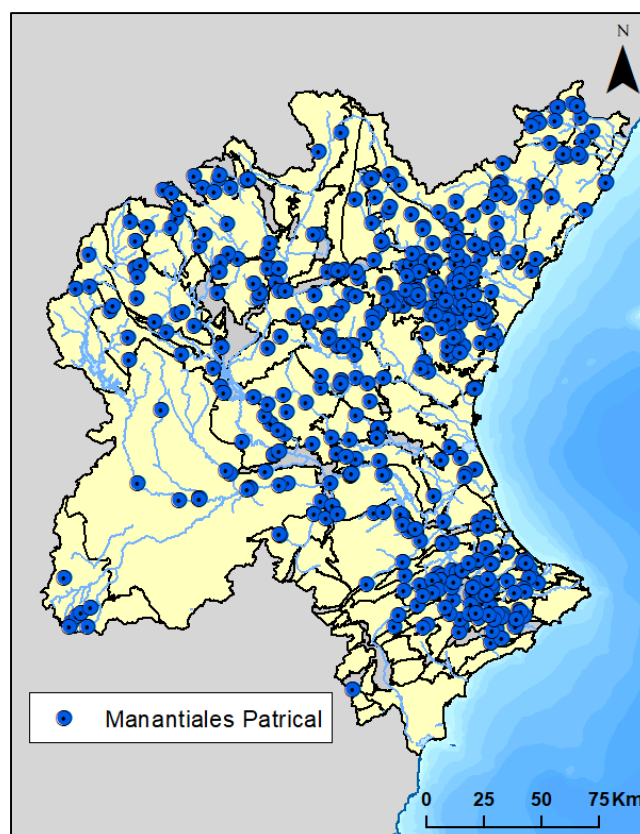


Figura 49. Manantiales introducidos en el modelo Patrical. Fuente: Elaboración Propia.

En lo que a la modelación se refiere, cada manantial tendrá un peso distinto que indica la preferencia de drenaje de agua subterránea en el modelo. Cuanto mayor sea el caudal medido en la realidad, mayor será el peso que tenga ese manantial en el modelo y mayor será la cantidad de agua subterránea que se drena por la celda en la que el manantial se encuentra. El peso del manantial con mayor caudal es 100 y el del manantial de menor caudal es de 0. El resto de los pesos de los manantiales se calcula mediante una extrapolación lineal a partir del caudal medio registrado.

6.1.2 Elección de puntos de contraste

Tras la modelización, hay que comprobar el funcionamiento del modelo Patrical a la hora de simular el comportamiento hidrológico de los manantiales. Para ello, y como ya se ha dicho en el capítulo 4, se ha realizado una selección de los manantiales que servirán como puntos de contraste entre los caudales observados y los simulados por el modelo.

En total se han seleccionado los 45 manantiales, que se pueden observar en la Tabla 1 del capítulo 4. Estos manantiales son, por un aparte, los 30 manantiales con mayor caudal registrado de la DHJ, y, por otra parte, 15 manantiales sobre los que hay un especial interés de estudio. Ese interés puede darse por varias razones, algunas de las cuales se presentan a continuación:

- Manantiales que constituyen un nacimiento de un río.
- Manantiales que se encuentran en masas de agua subterráneas muy explotadas y se quiere estudiar una posible disminución de caudal.
- Manantiales que tienen una conexión con una zona húmeda de especial interés hidrológico o ambiental.

Al analizar los 45 manantiales, cuya localización se puede observar en la Figura 50, se han elegido dos zonas, cabecera del Mijares y Alto Palancia (También indicadas en la Figura 50), en las que se encuentran grupos de manantiales de entidad ubicados en la misma masa de agua, por lo que pueden estar conectados hidrogeológicamente entre sí (Los manantiales de la cabecera del Mijares están ubicados sobre la masa de agua subterránea de Javalambre Orinetal y los del Alto Palancia sobre Jérica)

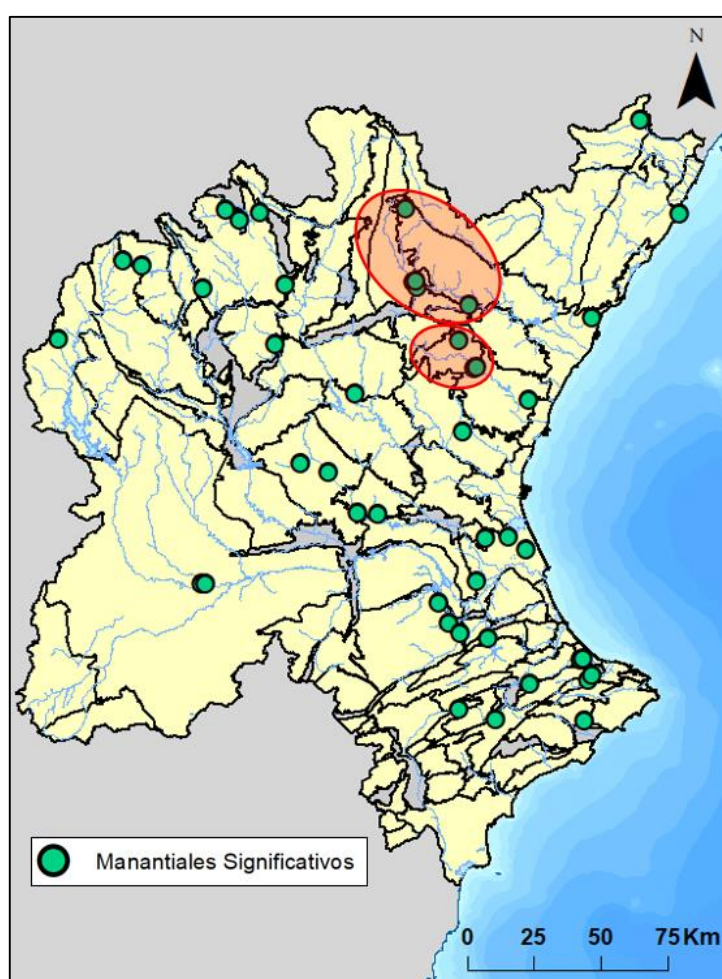


Figura 50. Manantiales más significativos de la CHJ modelados mediante Patricial y zonas de estudio de detalle indicadas en rojo. Fuente elaboración propia.

En la cabecera del Mijares se ubican 5 manantiales de especial entidad o interés: El Nacimiento del Mijares, los manantiales de Mas Royo, Babor, Mas Royo, La Escaleruela y la fuente de los baños de Montanejos. Además, como ya se ha

dicho anteriormente, se han seleccionado varios puntos de contraste de aportaciones superficiales, en este caso las estaciones ROEA del Terde, cuyo código es 08030, y Los Mases (08135) y la restitución a régimen natural del embalse de Árenos llevada a cabo por la CHJ (código de restitución = 080201). La localización, tanto de los manantiales, como de los puntos de contraste de aportación superficial de la cabecera del Mijares se pueden ver en la Figura 51 (los manantiales de Babor y Mas Royo están muy próximos el uno del otro).

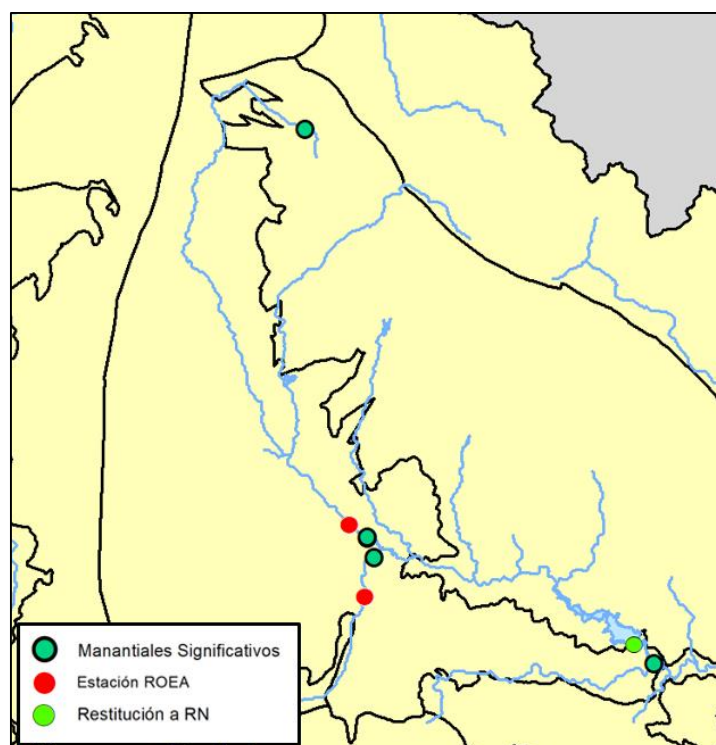


Figura 51. Puntos de contraste en la cabecera del Mijares. Fuente: elaboración propia.

En el Alto Palancia se ubican 3 manantiales de la selección de 45 manantiales efectuada: El manantial de La Esperanza, el del Berro y el de Santa Úrsula. Se puede ver su ubicación en la Figura 52, junto a la de los puntos de contraste de la red de drenaje superficial de la zona, en este caso, la estación de aforo de Jérica (08148) y la restitución en el embalse del Regajo realizada por la CHJ (080301).

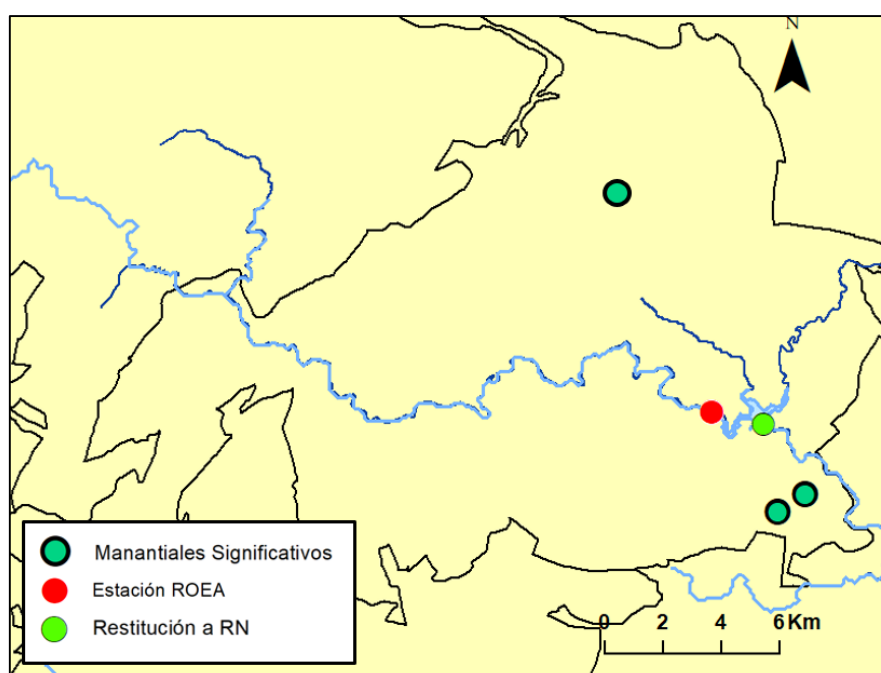


Figura 52. Puntos de contraste en el Alto Palancia. Fuente: elaboración propia.

6.1.2.1 Problemática de las mediciones

Al analizar las mediciones de los distintos puntos de contraste, se ha observado una serie de problemas con las mediciones de caudal de los manantiales. En algunos puntos de hidrometría no se ha medido el caudal real del manantial, ya sea porque el punto de medición estaba mal ubicado o porque existía un aprovechamiento de agua del manantial previo a la medición del caudal de éste. Estos problemas se han dado, por ejemplo, en dos manantiales que están ubicados en la zona de la cabecera del Mijares. Por un lado, está la fuente de la Escaleruela, cuyos manantiales fluctúan demasiado en comparación con manantiales de su entorno como Babor o Mas Royo. Además, revisando información sobre la medición de este manantial en la Red Oficial de Hidrometría (ROH) y en un informe sobre el reconocimiento de campo sobre la situación de los manantiales Mas Royo, Babor y La Escaleruela (CHJ, 2015b), se deduce que se han hecho mediciones tanto en la salida del manantial, como en la derivación a una piscifactoría de la zona, en la que se habrán medido también aportaciones del río Albentosa. Se pueden ver las mediciones del manantial de la Escaleruela en el siguiente gráfico (Figura 53). Con esto, se ha decidido hacer una estimación de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ como caudal medio real de este manantial.

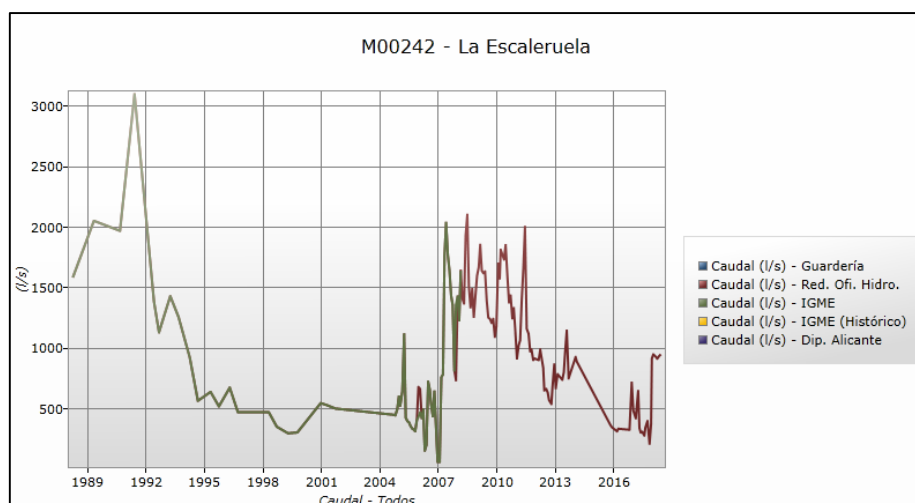


Figura 53. Caudales medidos en el manantial de La Escaleruela.
Fuente: Geshidro, CHJ.

Por otro lado, se ha dado una problemática parecida en la fuente de los baños de Montanejos. Las mediciones de este manantial se pueden observar en el siguiente gráfico (Figura 54).

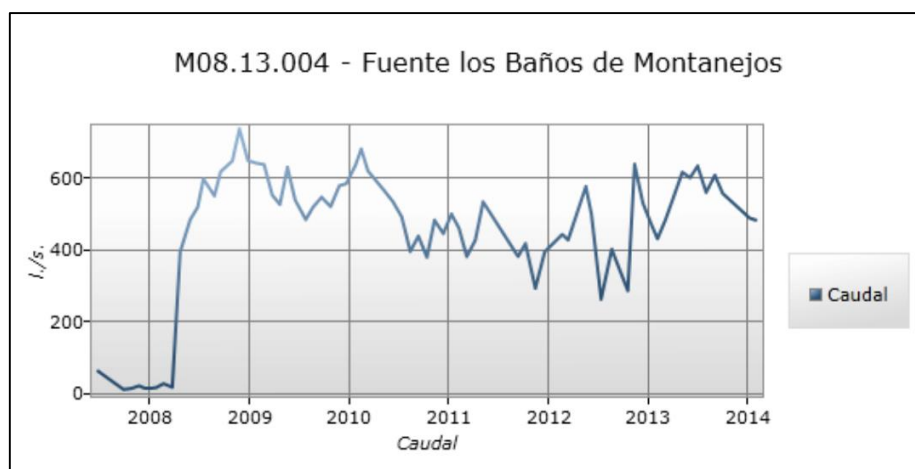


Figura 54. caudales medidos en el manantial de la Fuente de Los Baños de Montanejos. Fuente: Geshidro, CHJ.

Se observa una clara diferencia entre las primeras mediciones que se dan hasta principios del año 2008 y las que se dan desde esa fecha en adelante. Revisando también la información recogida sobre las mediciones y analizando el gráfico, se deduce que, por un lado, las primeras mediciones corresponden a la fuente de los baños de Montanejos, la cual se puede observar en la imagen adjunta (Figura 55). Por otro lado, se observan los datos que corresponden, según lo que se indica en la ficha de hidrometría del manantial, a mediciones llevada a cabo en “el segundo puente más alejado de la fuente y en una acequia que va recogiendo las aguas de la margen derecha”. Esta medición engloba por lo tanto el flujo de

la fuente y el volumen de agua que surge en la zona en el lecho del río. El caudal medio medido a partir de marzo de 2008 es de $0.51\text{m}^3/\text{s}$.



Figura 55. Fuente de los baños de Montanejos. Fuente: CHJ.

Otra problemática con las mediciones es lo poco representativa que puede llegar a ser una medición. Algunas mediciones son en realidad mediciones estimadas por la persona encargadas de inventariar o revisar el manantial. Además, muchos puntos tienen un único dato de caudal, y dado la estacionalidad de la mayoría de los manantiales, un único dato no será representativo del flujo medio real del manantial. Esto es lo que sucede en el manantial de Sta. Úrsula ubicado en el alto Palancia, ya que dispone de un solo dato tomado el 08/02/2005.

6.1.3 Resultados de las primeras simulaciones

A continuación, se presentan los resultados de las primeras simulaciones en los puntos de contraste de la cabecera del Mijares y del Alto Palancia.

Los resultados generales en la cabecera del Mijares se pueden ver en las tablas que se presentan a continuación, por un lado, los resultados en régimen natural en los periodos 1940-2017 (Tabla 5) y 1980-2017 (Tabla 6), y por otro lado los resultados en régimen alterado y en los mismos periodos (Tabla 7 y Tabla 8). En este caso, los caudales observados en los manantiales de la Escaleruela y de la fuente de los baños de Montanejos no se corresponden a los datos de medición, por la problemática indicada en el punto anterior. En el caso de La Escaleruela se ha tenido en cuenta la estimación de $0,5\text{ m}^3/\text{s}$, ya que parece que este valor se ajusta más a la realidad del flujo del manantial. En el caso de Montanejos, se ha decidido comparar los valores simulados en el modelo con los datos de caudal que engloban el aporte de la fuente y las surgencias de río en esa zona. La razón es que el IGME en su trabajo de caracterización de la relación río-acuífero no definió esa zona como río ganador por conexión difusa. Por lo tanto, y entendiendo que el modelo Patricál es un modelo distribuido con celdas de $1\text{km} \times 1\text{km}$, se pretende cuantificar todo el volumen de agua drenado en esa zona como si se drenase por la fuente.

**Análisis del inventario de manantiales de la Confederación Hiodrográfica del
Júcar y modelización de su comportamineto hidrológico**

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m³/s)	Q simulado (m³/s)	BIAS (m³/s)	PBIAS	NSE
Manant.	Nac. Mijares	0.04	0.05	0.01	15.41	-0.07
Manant.	Babor	0.44	0.29	-0.16	-34.91	-0.29
Manant.	Mas Royo	0.52	0.38	-0.14	-27.53	-1.38
Manant.	La Escaleruela	0.50	0.81	0.31	62.61	-
Manant.	Montanejos	0.51	0.15	-0.36	-71.11	-
ROEA	El Terde	0.84	0.76	-0.08	-10.00	0.22
ROEA	Los Mases	0.83	0.40	-0.43	-52.19	0.01
Rest.	Arenós	4.40	4.57	0.17	3.77	0.76

Tabla 5. Resultados de las primeras simulaciones en régimen natural en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m³/s)	Q simulado (m³/s)	BIAS (m³/s)	PBIAS	NSE
Manant.	Nac. Mijares	0.04	0.05	0.01	19.61	-0.07
Manant.	Babor	0.44	0.28	-0.16	-36.84	-0.29
Manant.	Mas Royo	0.52	0.37	-0.16	-29.65	-1.38
Manant.	La Escaleruela	0.50	0.79	0.29	57.85	-
Manant.	Montanejos	0.51	0.15	-0.36	-69.83	-
ROEA	El Terde	0.60	0.77	0.17	28.06	0.18
ROEA	Los Mases	-	-	-	-	-
Rest.	Arenós	4.38	4.58	0.19	4.44	0.62

Tabla 6. Resultados de las primeras simulaciones en régimen natural en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m ³ /s)	Q simulado (m ³ /s)	BIAS (m ³ /s)	PBIAS	NSE
Manant.	Nac. Mijares	0.04	0.05	0.01	18.95	-0.06
Manant.	Babor	0.44	0.29	-0.15	-34.50	-0.32
Manant.	Mas Royo	0.52	0.38	-0.14	-27.04	-1.33
Manant.	La Escaleruela	0.50	0.82	0.32	63.77	-
Manant.	Montanejos	0.51	0.07	-0.44	-87.18	-
ROEA	El Terde	0.84	0.77	-0.08	-9.07	0.23
ROEA	Los Mases	0.83	0.40	-0.43	-51.90	0.02
Rest.	Arenós	4.40	4.61	0.21	4.74	0.76

Tabla 7. Resultados de las primeras simulaciones en régimen alterado en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m ³ /s)	Q simulado (m ³ /s)	BIAS (m ³ /s)	PBIAS	NSE
Manant.	Mijares	0.04	0.05	0.01	20.54	-0.06
Manant.	Babor	0.44	0.28	-0.16	-36.60	-0.32
Manant.	Mas Royo	0.52	0.37	-0.15	-29.36	-1.33
Manant.	La Escaleruela	0.50	0.79	0.29	58.52	-
Manant.	Montanejos	0.51	0.07	-0.44	-86.71	-
ROEA	El Terde	0.60	0.78	0.17	28.72	0.18
ROEA	Los Mases	-	-	-	-	-
Rest.	Arenós	4.38	4.58	0.19	4.44	0.62

Tabla 8. Resultados de las primeras simulaciones en régimen alterado en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.

Se presentan también algunos gráficos con la comparación entre el caudal observado y el simulado en régimen natural y alterado en varios puntos de contraste (Figura 56, Figura 57 y Figura 58).

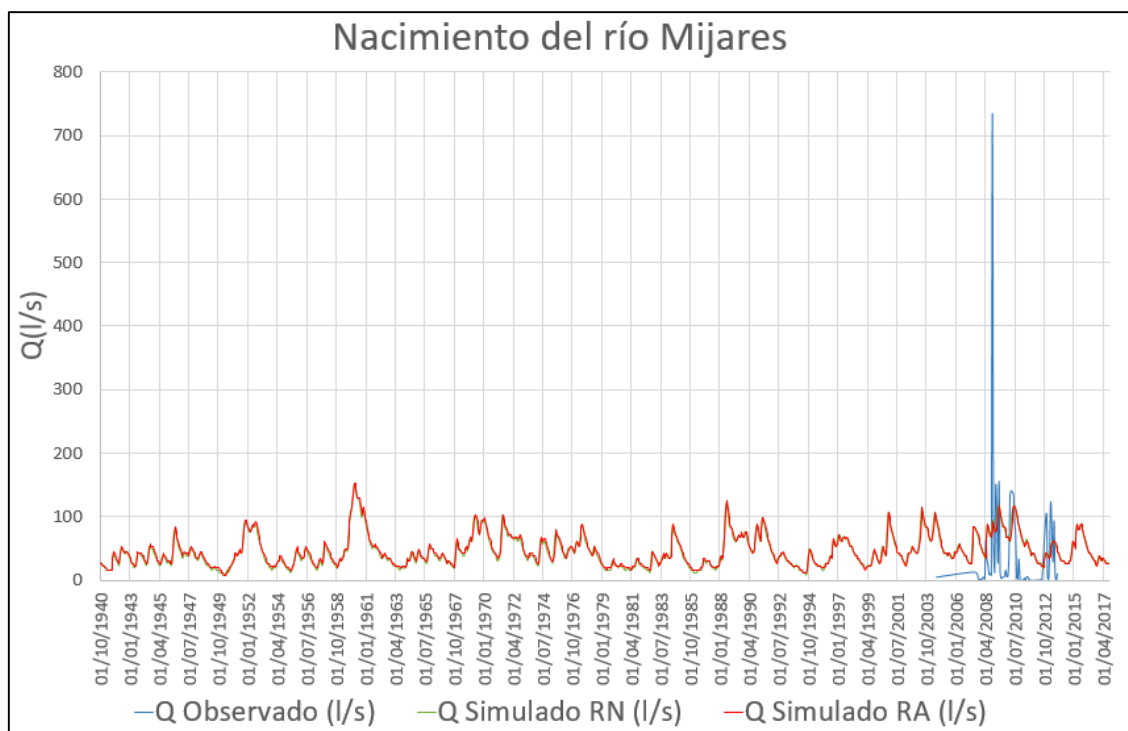


Figura 56. Gráfico con los caudales observados y los caudales resultantes de las primeras simulaciones tanto en régimen natural como en alterado, en el nacimiento del Mijares. Fuente: Elaboración propia.

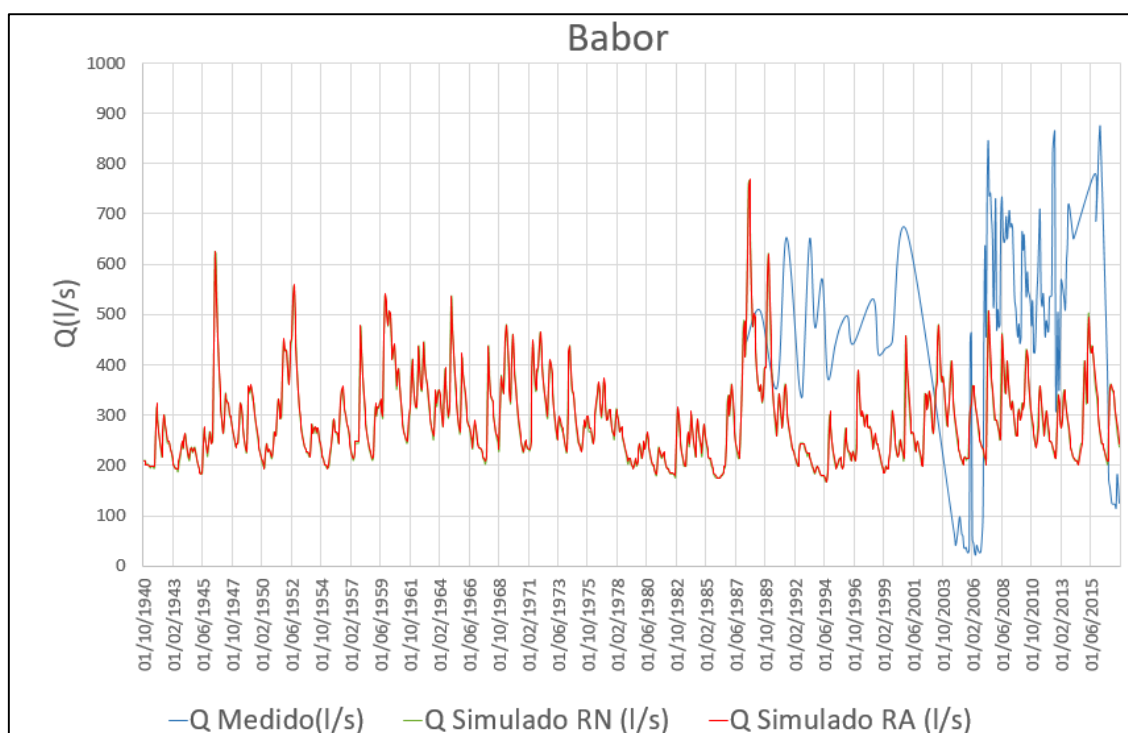


Figura 57. Gráfico con los caudales observados y los caudales resultantes de las primeras simulaciones tanto en régimen natural como en alterado, en el Manantial de Babor. Fuente: Elaboración propia.

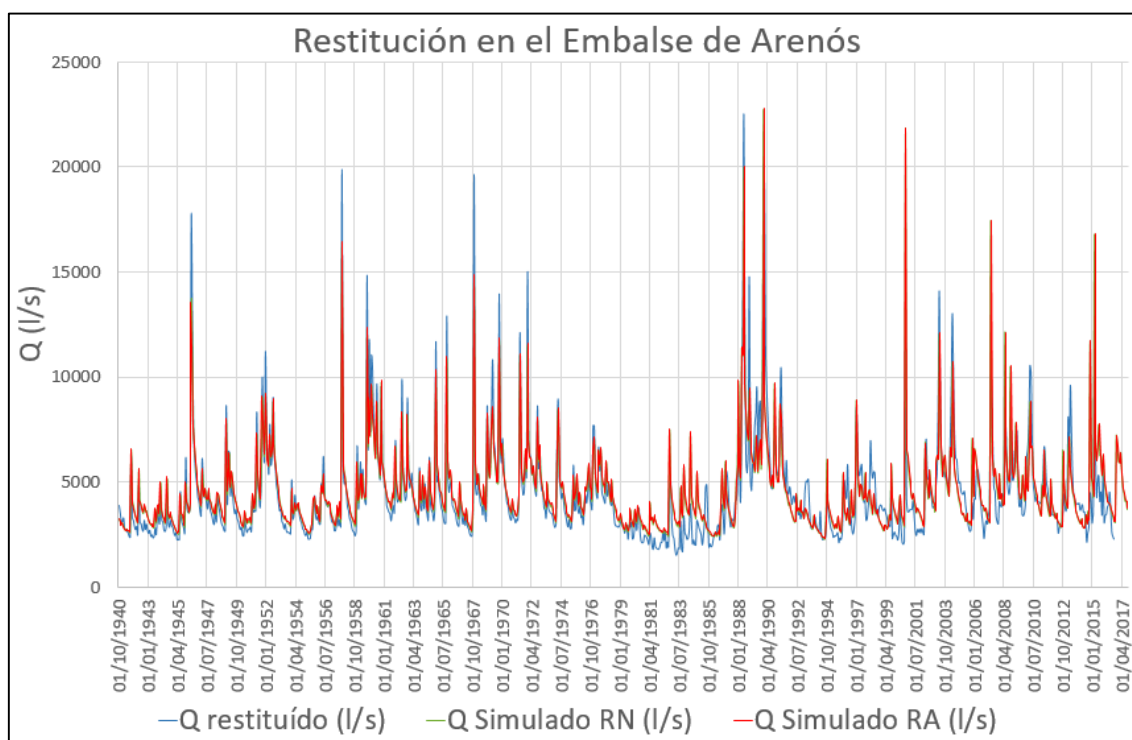


Figura 58. Gráfico con los caudales restituídos y los caudales resultantes de las primeras simulaciones tanto en régimen natural como en alterado, en el Embalse de Arenós. Fuente: Elaboración propia.

En el primer gráfico (Figura 56) se observa como en el nacimiento del Mijares el modelo simula una componente subterránea que no se ve reflejada en los datos medidos. En el manantial de Babor (Figura 57), aunque los indicadores de ajuste no reflejen buenos resultados, se observa como el modelo simula un comportamiento hidrológico parecido al de la serie de datos medidos. En el caso de la restitución en embalse de Arenós, se observa como la simulación es satisfactoria, tal y como indican los indicadores de ajuste. Hay que tener en cuenta que el comportamiento del modelo en este punto de control ya se había calibrado en el modelo de 2017.

En cuanto a los resultados del Alto Palancia se pueden observar en las tablas adjuntas (Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12). En este caso, el manantial de la fuente de Sta. Úrsula no se ha tenido en cuenta dado que el dato observado no es representativo, por lo indicado en el punto anterior de este TFM.

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m³/s)	Q simulado (m³/s)	BIAS (m³/s)	PBIAS	NSE
Manant.	La Esperanza	0.46	0.08	-0.39	-84.20	-4.69
Manant.	Fuente del Berro	0.11	0.02	-0.09	-84.99	-5.48
ROEA	Jérica	0.40	0.78	0.38	92.87	-5.66
Rest.	El Regajo	1.02	0.89	-0.13	-12.81	0.50

Tabla 9. Resultados de las primeras simulaciones en régimen natural en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m³/s)	Q simulado (m³/s)	BIAS (m³/s)	PBIAS	NSE
Manant.	La Esperanza	0.46	0.08	-0.38	-82.15	-4.27
Manant.	Fuente del Berro	0.11	0.02	-0.09	-83.78	-5.48
ROEA	Jérica	0.40	0.87	0.47	115.43	-5.66
Rest.	Regajo	0.89	1.00	0.11	11.78	0.38

Tabla 10. Resultados de las primeras simulaciones en régimen natural en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m³/s)	Q simulado (m³/s)	BIAS (m³/s)	PBIAS	NSE
Manant.	La Esperanza	0.46	0.08	-0.39	-83.65	-5.02
Manant.	Fuente del Berro	0.11	0.02	-0.09	-84.54	-5.76
ROEA	Jérica	0.40	0.78	0.38	93.79	-5.43
Rest.	El Regajo	1.02	0.89	-0.13	-12.40	0.50

Tabla 11. Resultados de las primeras simulaciones en régimen alterado en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m³/s)	Q simulado (m³/s)	BIAS (m³/s)	PBIAS	NSE
Manant.	La Esperanza	0.46	0.07	-0.38	-84.04	-4.61
Manant.	Fuente del Berro	0.11	0.02	-0.09	-85.09	-5.76
ROEA	Jérica	0.40	0.84	0.44	108.81	-5.43
Rest.	El Regajo	0.89	0.96	0.07	8.06	0.39

Tabla 12. Resultados de las primeras simulaciones en régimen alterado en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican que el modelo no es capaz de drenar el volumen suficiente de agua por los manantiales. Esto se puede ver con más claridad en el gráfico del manantial de la Esperanza, donde aparecen la serie observada y la simulada (Figura 59).

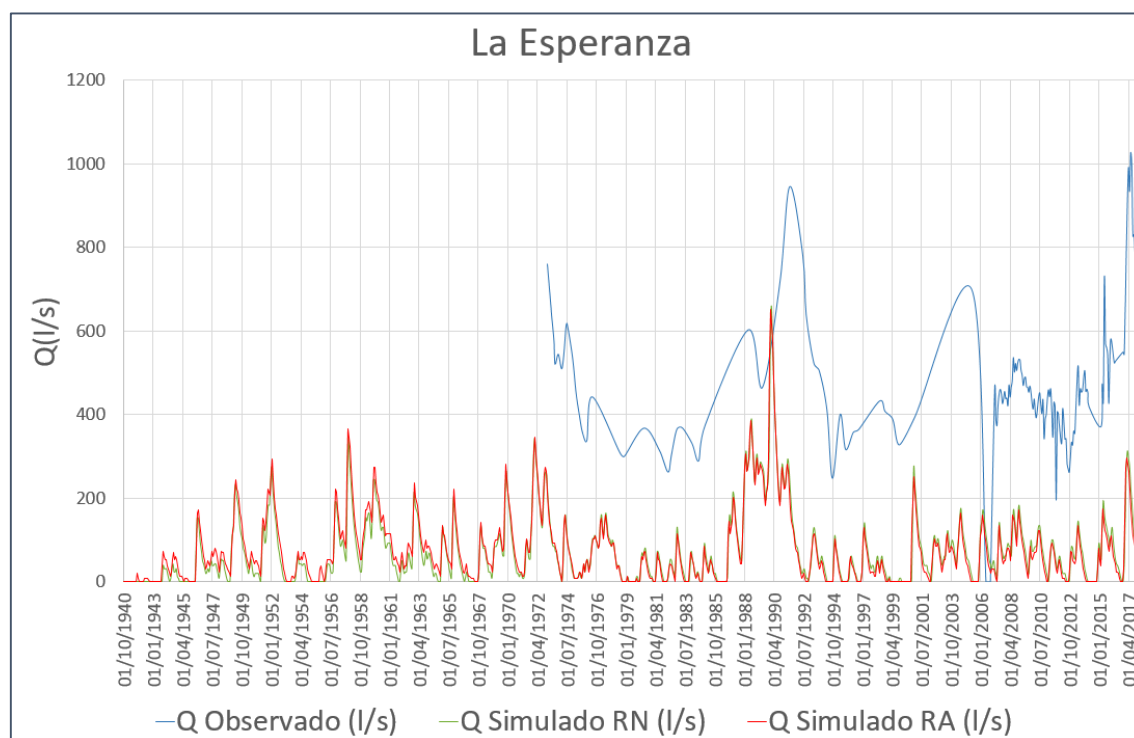


Figura 59. Gráfico con los caudales observados y los caudales resultantes de las primeras simulaciones tanto en régimen natural como en alterado, en el Manantial de La Esperanza. Fuente: Elaboración propia.

En este gráfico (Figura 59) del manantial de la Esperanza se observa claramente que el caudal simulado es mucho menor que el observado, llegando el manantial a secarse en varios momentos, algo que está lejos de pasar en la realidad. A pesar de esto, se observa, como ya sucedía con el manantial de Babor, que el modelo simula un comportamiento hidrológico similar al de la serie de valores observados

Resumiendo, se observan datos de simulación nada satisfactorios, en los manantiales y resultados distintos en los puntos de la red de drenaje superficial, donde el resultado es muy bueno en el embalse del Regajo, calibrado en trabajos anteriores y peor en la estación de aforo de Jérica. Se ha llevado a cabo algún intento de calibración y obtención de mejores resultados mediante el ajuste de los pesos de preferencia de drenaje, pero no se ha conseguido mejorar demasiado los resultados. En varios puntos de control las series simuladas presentan un comportamiento parecido a las series medidas, teniendo picos de caudal tanto negativos como positivos en las mismas fechas, aunque con valores distintos. En el caso de las mediciones de manantiales, dado la poca cantidad de las mismas, el índice Nash no será demasiado representativo de la bondad del ajuste.

6.2 Análisis hidrológico integrado de los sistemas seleccionados

Vistos los resultados y visto que una calibración únicamente mediante la modificación del peso de preferencia de drenaje no es posible en algunos casos, se ha llegado a la conclusión de que es necesario entender en entorno de los manantiales, el sistema en el que se encuentran, para entender el funcionamiento de las surgencias. Con toda la información recogida, y tras entender el funcionamiento del sistema será posible hacer una calibración específica, modificando transferencias laterales, modificando además del peso de drenaje de los manantiales el de los tramos de río que tengan conexión con acuíferos...

6.2.1 Cabecera del río Mijares

Analizando los manantiales de la zona y su localización y características, se observa que la cabecera del Mijares es una zona con gran densidad de surgencias subterráneas (Figura 60).

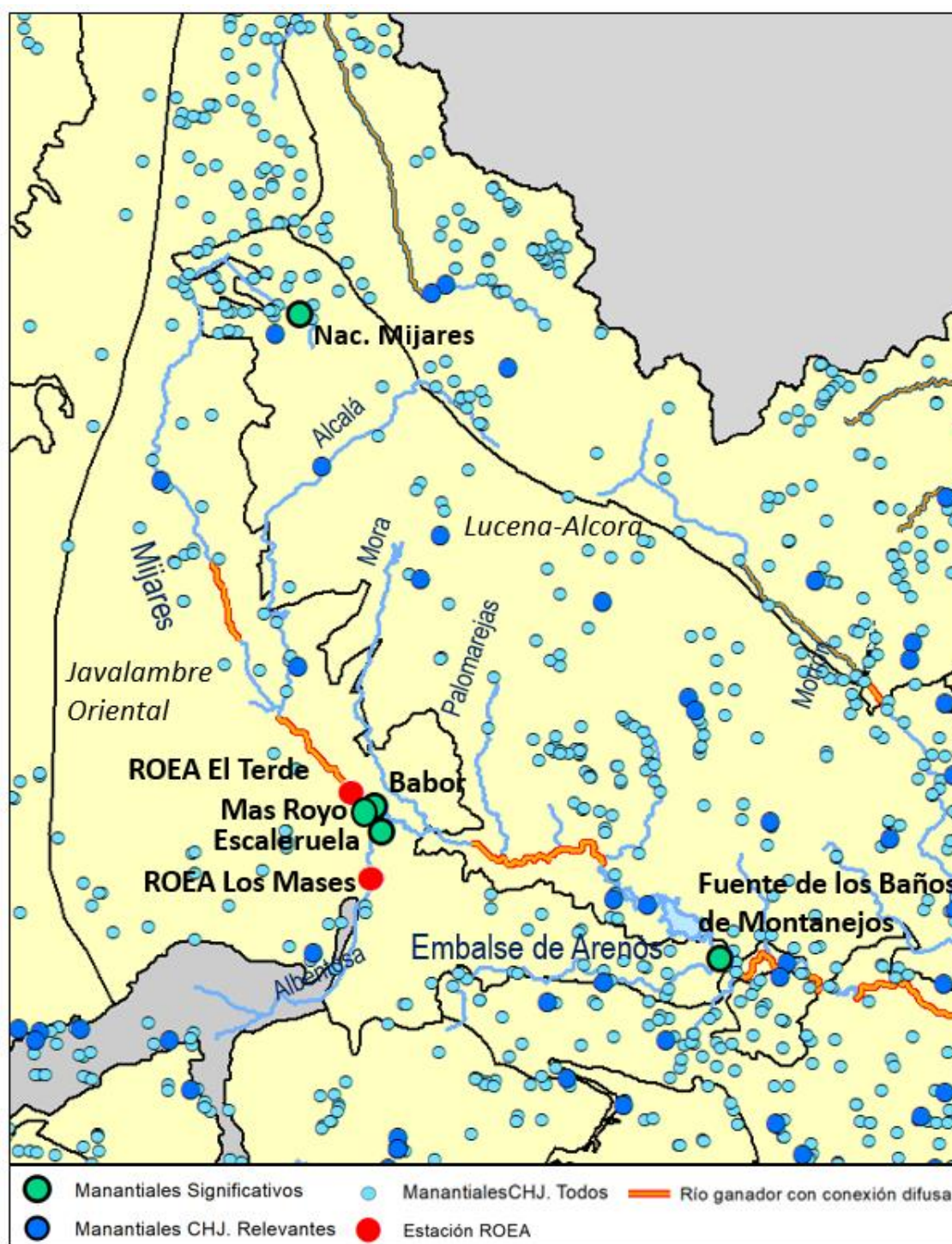
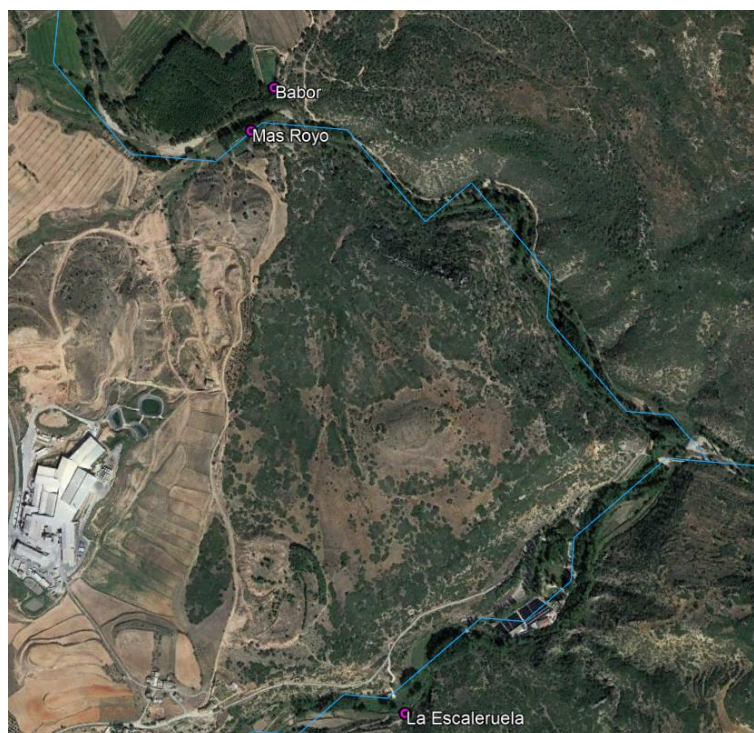


Figura 60. Cabecera del Río Mijares, con información sobre manantiales, zonas de conexión río-acuífero, estaciones de aforo, y masas de agua subterránea. Fuente: elaboración propia.

Los manantiales de esta zona, son en su mayor parte, manantiales seleccionados como no relevantes previamente, por lo que no son en principio muy caudalosos. Se ubican en esta zona varios manantiales relevantes, muy distintos entre ellos en cuanto a caudal se refiere, habiendo tres manantiales que destacan por encima del resto. Estos son los manantiales de Babor, Mas Royo

y La Escaleruela, todos ellos con un caudal cercano a $0.5\text{m}^3/\text{s}$, y que se ubican muy próximos entre sí, en la zona de la confluencia del río Albentosa y Mijares (Figura 61).



*Figura 61. Localización de los manantiales de Babor, Mas Royo y La Escaleruela.
Fuente: Google Earth.*

Estos tres manantiales son algunos de los que se van analizar con más detalle en la modelación, como ya se ha dicho previamente. También se analizará el Nacimiento del Mijares, importante por ser el lugar donde nacen las aguas de este río, y la fuente de los baños de Montanejos, ya que es un lugar con una importante conexión río-acuífero, además de tener importancia en cuanto al uso recreativo de la zona. Cabe destacar que los manantiales de la Escaleruela, Babor, Mas Royo y Montanejos están situados en la misma masa de agua subterránea, Javalambre Oriental (Figura 60). Los demás manantiales de la zona seleccionados como relevantes en el inventario tienen caudales no demasiado altos, siendo la razón de su relevancia en muchos casos el uso para un abastecimiento urbano importante.

En cuanto a las zonas de relación río-acuífero definidas por el IGME en su trabajo de 2009, se observan varias zonas de río ganador por conexión difusa, habiendo dos tramos drenando agua de la masa subterránea de Javalambre Oriental (Figura 60). Es importante por lo tanto hacer una estimación del volumen de agua que drenan estos dos tramos de río ubicados aguas arriba de la confluencia de los ríos Mijares y Albentosa. Para ello habrá que analizar la componente subterránea de las estaciones de aforo disponibles, como se explica a continuación.

Se han analizado dos estaciones de aforo de la ROEA (El Terde y Los Mases) y la restitución a régimen natural llevada a cabo en el embalse de Arenós, las cuales han sido seleccionadas como puntos de control o contraste, como ya se ha indicado anteriormente, y cuya localización en la cabecera del Mijares se puede observar en dos imágenes presentadas anteriormente (Figura 51 y Figura 60). Este análisis ha consistido en observar las series de caudales de estos puntos y hacer una estimación visual, simple y aproximada de la componente subterránea de las mismas, para así comprender mejor el funcionamiento de las aguas subterráneas, cuantificar de una manera estimada las ganancias de las zonas de río ganador y comprender también el funcionamiento superficial del sistema. En los siguientes gráficos (Figura 62, Figura 63 y Figura 64) se presentan las series de caudal registradas en las estaciones de aforo y la serie restituida a régimen natural en el embalse de Arenós, indicándose en el mismo gráfico la estimación simplificada de la componente base subterránea.

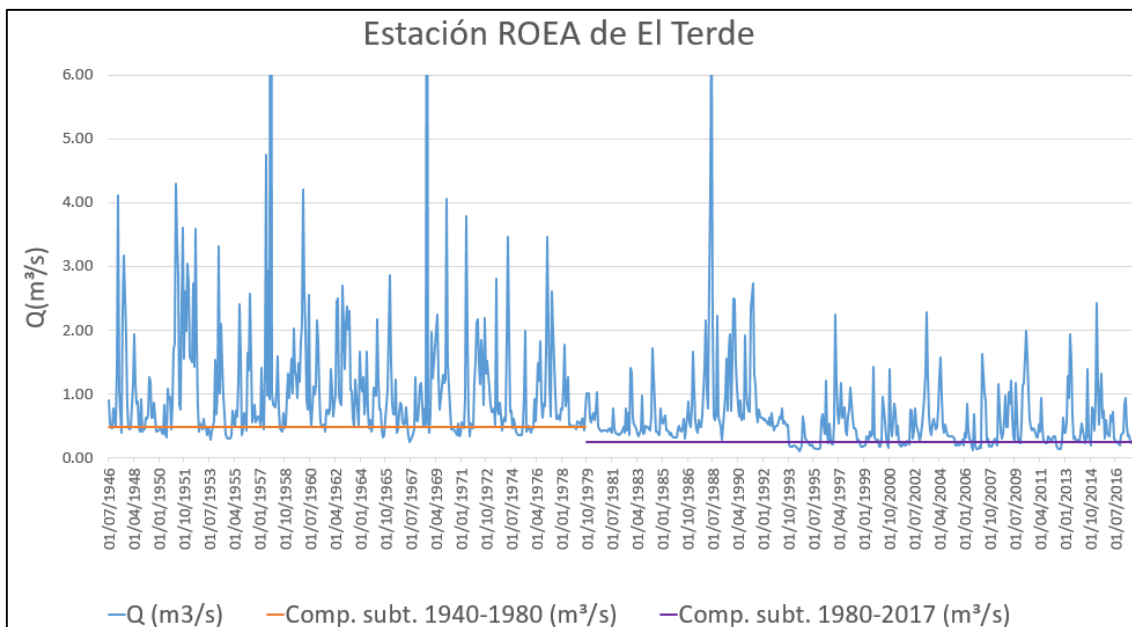


Figura 62. Serie de caudales medios mensuales con la estimación de la componente subterránea, en la estación de aforo de El Terde. Fuente: elaboración propia.

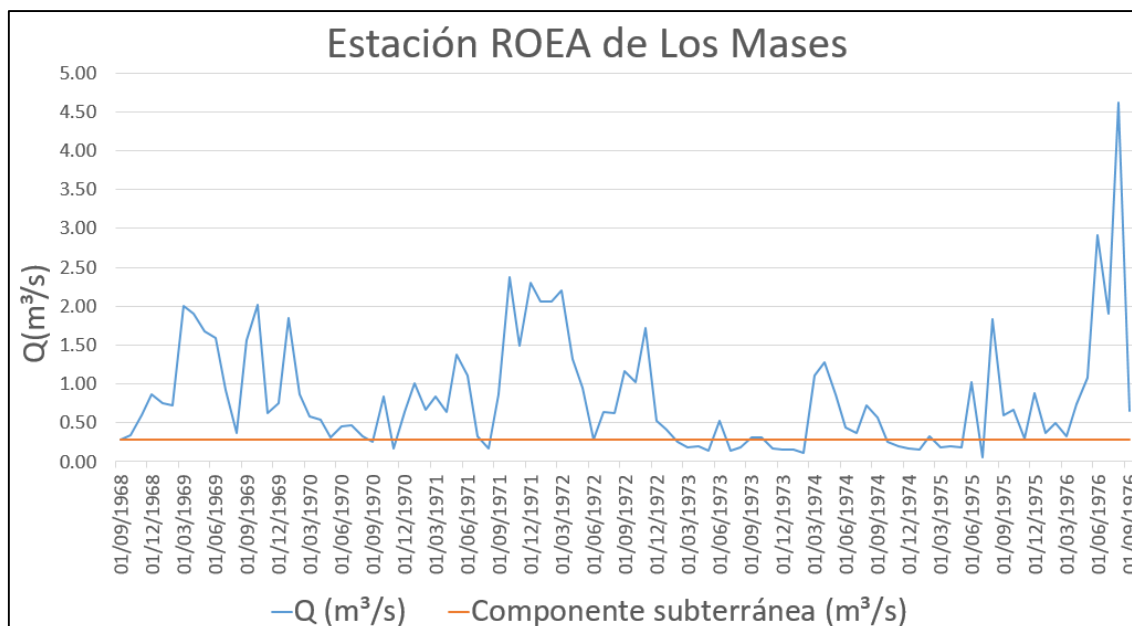


Figura 63. Serie de caudales medios mensuales con la estimación de la componente subterránea, en la estación de aforo de Los Mases. Fuente: elaboración propia.

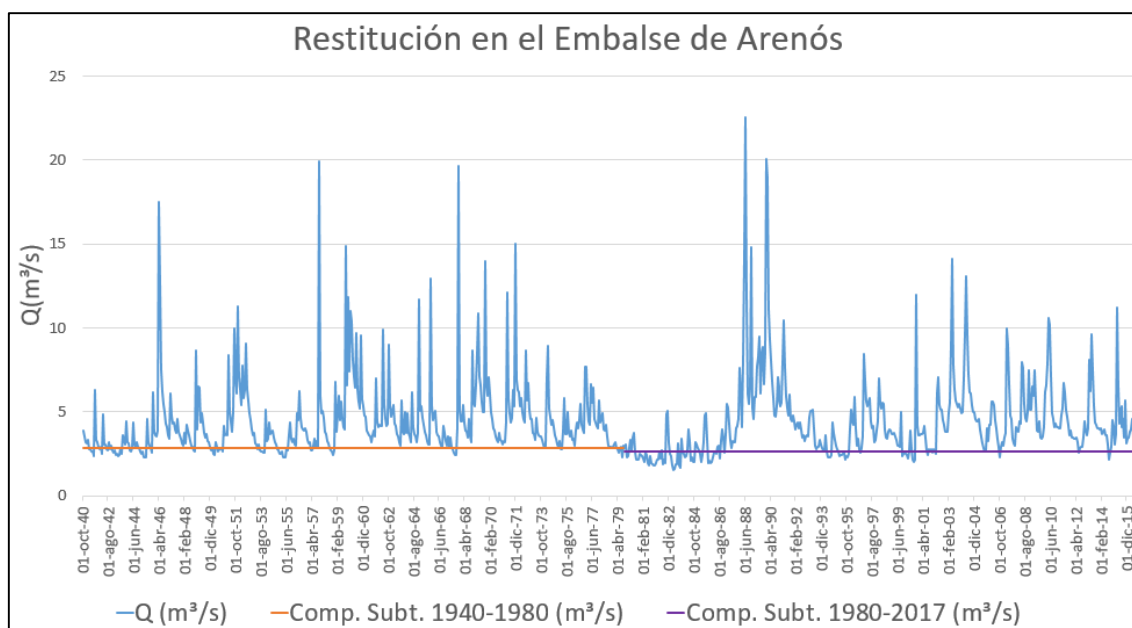


Figura 64. Serie de caudales medios mensuales restituídos a régimen natural con la estimación de la componente subterránea, en el embalse de Arenós. Fuente: elaboración propia.

Así, se han obtenido los resultados que se presentan en la siguiente tabla (Tabla 13).

Punto de control	Q total (m ³ /s)	Componente subterránea (m ³ /s)	Componente superficial (m ³ /s)
ROEA el Terde	0.84	0.36	0.48
ROEA los Mases	0.83	0.29	0.54
Rest. Arenós	4.4	2.73	1.67

Tabla 13. Caudales medios y estimaciones de componente subterránea y superficial en los puntos de control de la cabecera del río Mijares. Fuente: Elaboración propia.

En esta Tabla 13 se observa un caudal total del río Mijares en la estación de aforo del Terde de 0.84 m³/s, teniendo una componente subterránea de 0.36 m³/s, un 42.9% de total. También cabe destacar que el río Mijares, no tiene un caudal demasiado elevado en el punto de control indicado, ya que es un caudal total muy parecido al medido en el río Albentosa en la estación de aforo de los Mases (0.83 m³/s), un río, en principio, de una entidad menor. El río Albentosa tiene una proporción de componente subterránea del 34.9 %, algo menor que la del río Mijares en el Terde, pero nada despreciable. En cuanto al punto de control en el embalse de Arenós, tiene un caudal total muy superior a los anteriores (4.4 m³/s) y un proporción de componente subterránea de 62%, indicadora de la importancia de las surgencias de agua subterránea en la zona.

A excepción del Nacimiento del Mijares, y como ya se ha indicado, los otros 4 manantiales significativos, drenan la misma masa de agua subterránea, la de Javalambre Oriental. La dirección de flujo subterráneo, junto a la permeabilidad de los bordes de las masas de agua subterránea obtenido de Vázquez 2017, se puede observar en las siguientes figuras (Figura 65 y Figura 66). Por un lado, se presenta un mapa piezométrico realizado por el IGME y la DGA en 2009 (IGME-DGA, 2009) con datos de la época 1970-1974 y, por otro lado, un mapa realizado por la CHJ en 2006 (CHJ, 2006), con datos del 2005.

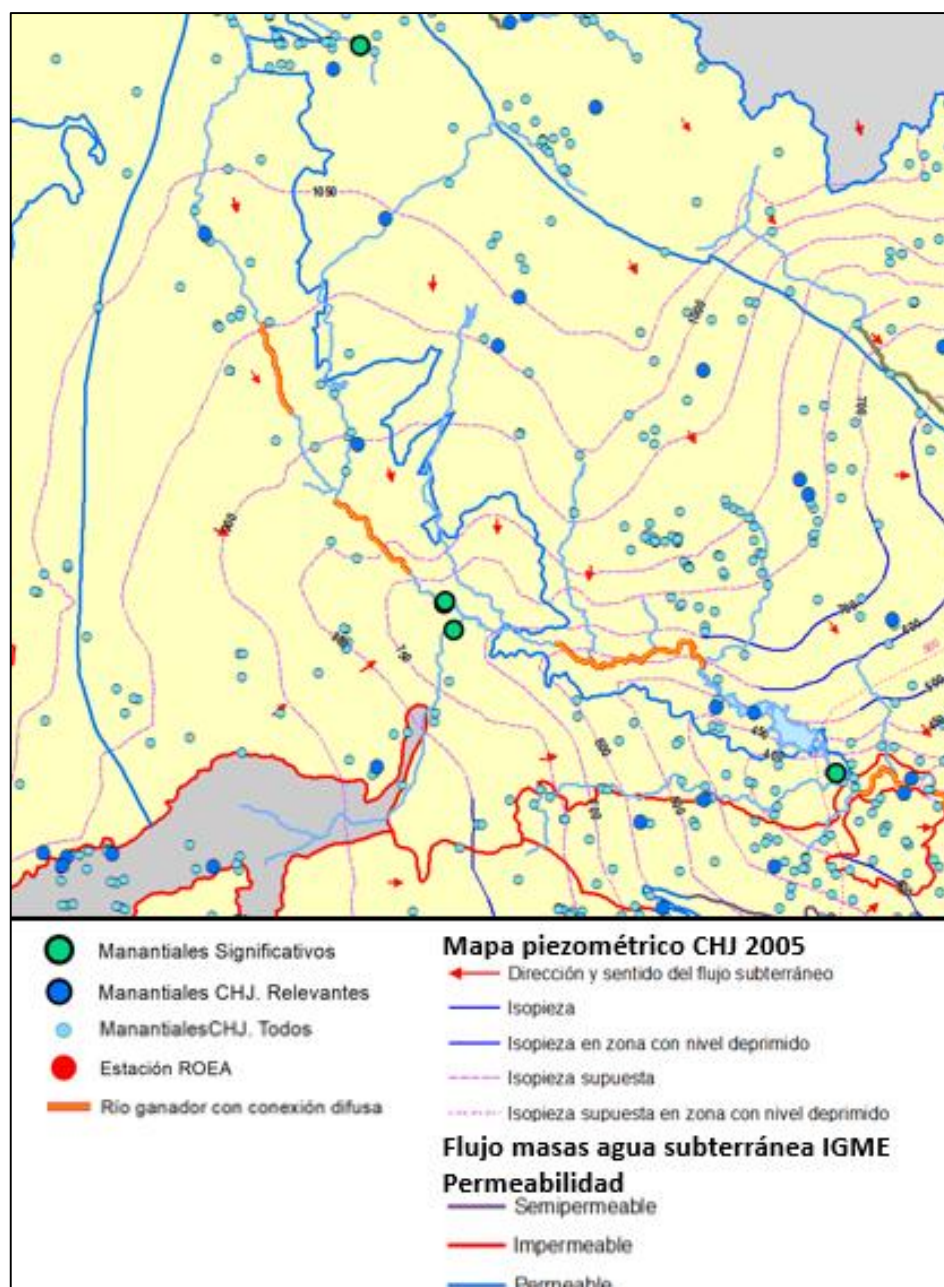


Figura 65. Mapa piezométrico con sentidos del flujo de 2005, y permeabilidad de los bordes de las masas de agua subterránea de la zona de la cabecera del Mijares.
Fuente: elaboración propia a partir de CHJ 2006 y Vázquez 2017.

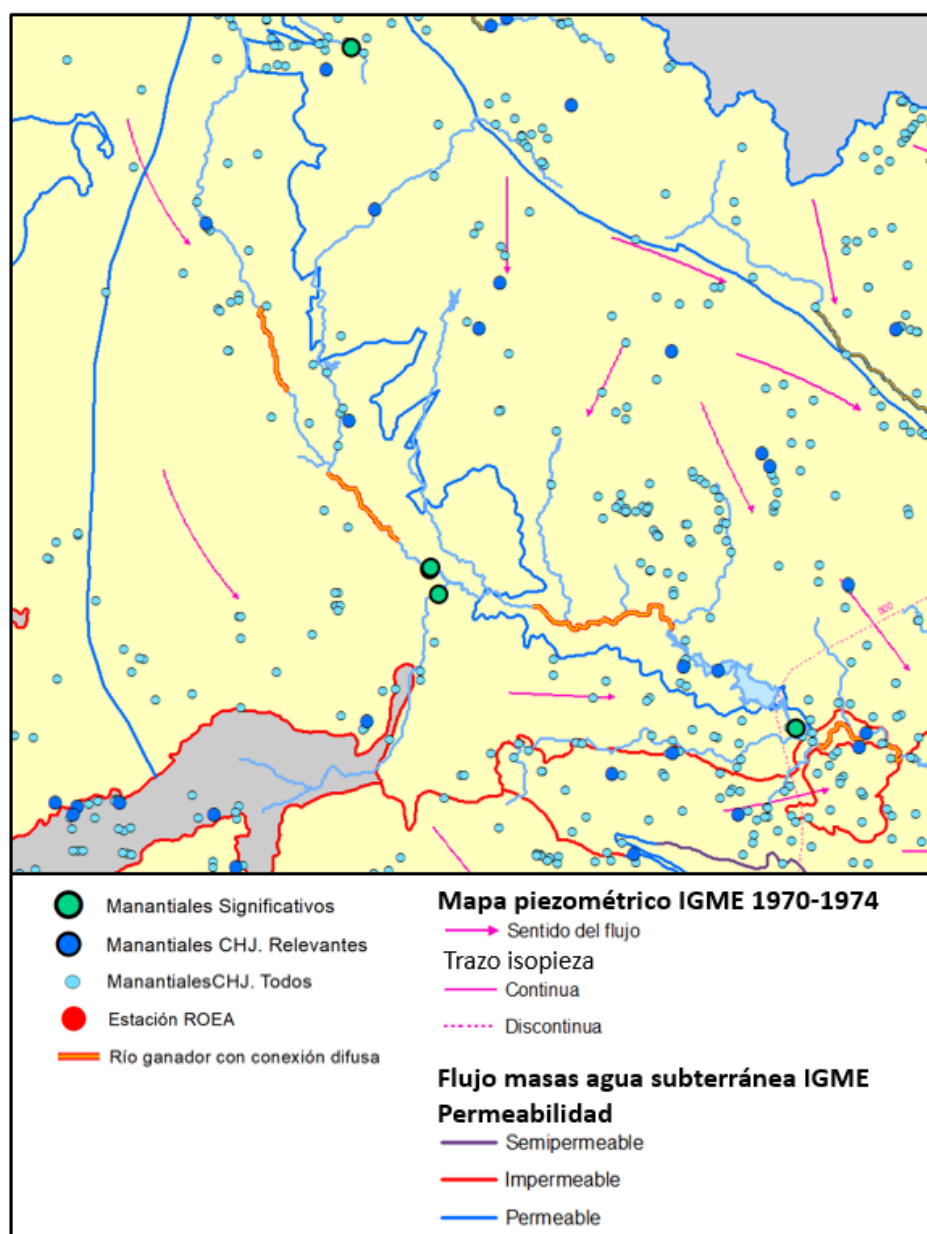


Figura 66. Mapa piezométrico con sentidos del flujo de 1970-1974, y permeabilidad de los bordes de las masas de agua subterránea de la zona de la cabecera del Mijares. Fuente: elaboración propia a partir de IGME-DGA, 2009 y Vázquez 2017.

En estas dos figuras se observa unas direcciones de flujo muy parecidas tanto en los años 70 como en el año 2005. Se observa que los manantiales de Babor y Mas Royo a pesar de estar muy cerca el del otro reciben un flujo subterráneo con direcciones distintas y casi opuestas. Parece que la mayoría del agua subterránea ubicada en la zona de la cabecera del Mijares es drenada por los manantiales de Babor, Mas Royo y la Escaleruela, También por las zonas de río ganador, y en menor medida por el resto del conjunto de manantiales de menor entidad.

Por lo que indicaban los primeros resultados de la simulación, parece la cabecera del Mijares en general, y la masa de agua subterránea de Javalambre Oriental

en particular, no es una zona en la que haya en este momento o haya habido previamente una importante explotación de agua subterránea que haga que los niveles de los acuíferos y los caudales de los manantiales se vean afectados. Obteniendo los datos sobre el índice de explotación de la masa de agua subterránea de Javalambre Oriental (CHJ, 2015a), los cuales se pueden ver en la Tabla 14 adjunta, se obtiene un índice de explotación de 0.02, siendo el recurso disponible mucho mayor al bombeo subterráneo, con lo que se confirma lo que indicaban los resultados, que la masa de agua subterránea de Javalambre Oriental es una masa muy poco explotada.

	Bombeo Total	Recurso Disponible	Índice de Explotación
hm ³ /año	1.4	56.2	0.02
m ³ /s	0.04	1.78	0.02

Tabla 14. Índice de explotación de la masa de agua subterránea de Javalambre Oriental. Fuente: Anejo 12 del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológico 2015-2021.

Así, tras el análisis integrado de la cabecera del Mijares se sacan varias conclusiones generales:

- Es una zona con gran densidad de manantiales.
- Hay tres manantiales que son de un orden de magnitud, en cuanto a caudal, superior al resto, que son el manantial de Babor, de Más royo y el de La Escaleruela. Estos manantiales aportan aproximadamente el 50% de la componente subterránea estimada del río Mijares en el embalse de Arenós.
- El río Mijares empieza a tener un caudal relevante a partir de la zona con conexión río-acuífero aguas arriba de la confluencia con el río Albentosa, pero principalmente después de la aportación de los tres manantiales principales.
- El río Albentosa tiene una componente subterránea que no se ve reflejada en la información disponible. Los manantiales inventariados que aportan agua a este río no tienen la entidad suficiente para ser el origen de esa componente subterránea, y no hay ninguna zona de conexión río-acuífero determinada por el IGME en su trabajo de 2009.
- La masa de agua subterránea de Javalambre Oriental, principal en la cabecera del Mijares, es una masa poco explotada.

6.2.2 Alto Palancia

Los manantiales de del Alto Palancia, con los manantiales de La Esperanza y el Berro a la cabeza en lo que a entidad de caudal se refiere, siguiendo de la fuente de Sta. Úrsula, en menor medida, se sitúan sobre la masa de agua subterránea de Jérica y drenan el agua subterránea almacenada en ésta. Como se observa en la Figura 67 donde se presenta la situación global de la zona, existe una gran cantidad de manantiales, tanto no relevantes, como relevantes.

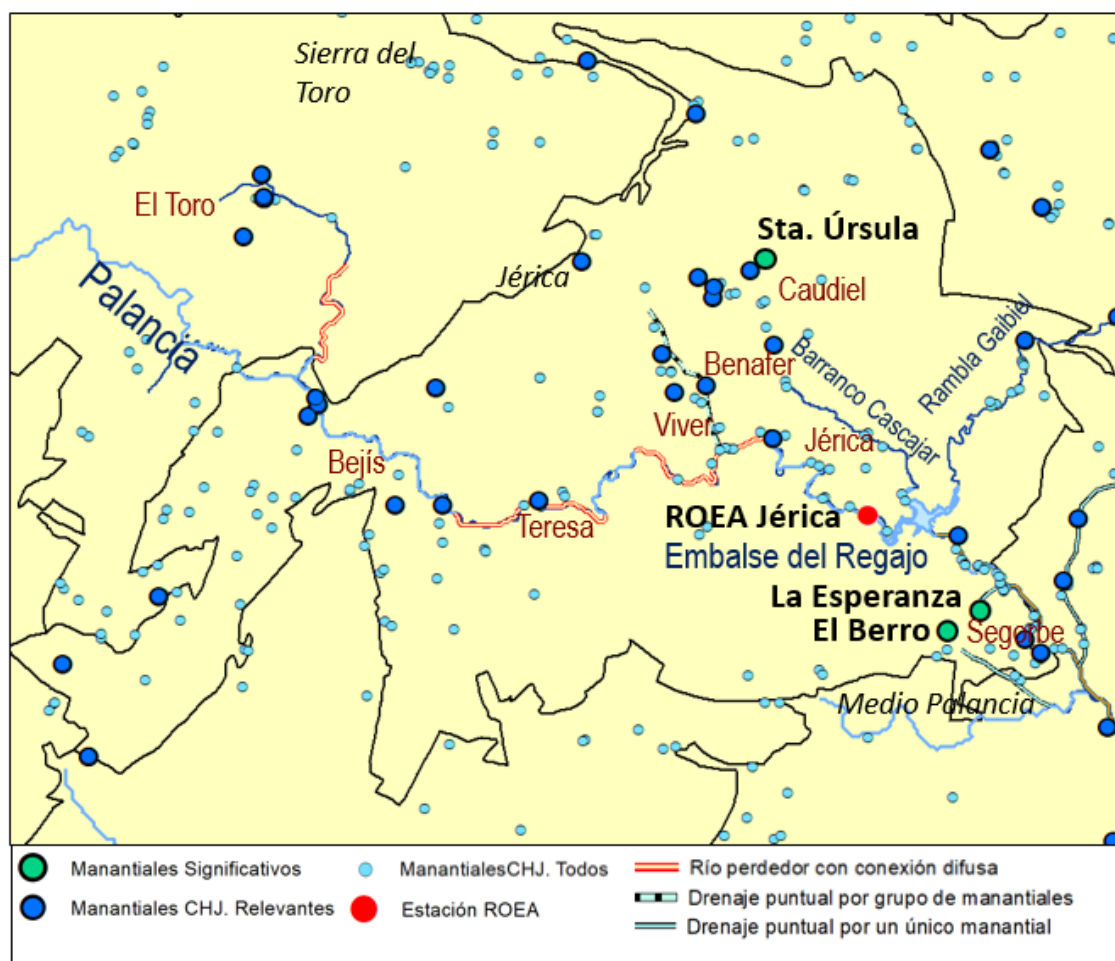


Figura 67. Alto Palancia, con información sobre manantiales, zonas de conexión río-acuífero, estaciones de aforo, y masas de agua subterránea. Fuente: elaboración propia.

Como se ha indicado, los manantiales de La Esperanza y El Berro son los que manan mayor caudal, con un caudal medio de $0.47 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0.11 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Sta. Úrsula dispone de una medición de $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$, pero como se ha indicado anteriormente, ésta es poco representativa. En este caso, a diferencia de lo que pasaba en la cabecera del Mijares, varios de los manantiales de la zona de estudio no seleccionados como puntos de contrastaste o control sí son surgencias con un caudal no despreciable. La masa de agua subterránea de Jérica contiene 4 principales zonas de drenaje de agua subterránea por

manantiales. La primera, la zona de Segorbe donde se ubican los manantiales de La esperanza y El Berro. La segunda es la zona ubicada entre Benafer y Caudiel, donde hay un conjunto de manantiales relevantes y se haya el ya nombrado manantial de Sta. Úrsula. Estos manantiales descargan sus aguas al barranco de Cascajar, que desemboca en el embalse del Regajo. Cerca de esta zona, al norte de Viver, hay otra zona de varios manantiales, 3 de ellos relevantes, que aportan agua al Barranco de Val de Hurón, entre los que se encuentra la Fuente de San Miguel, con un caudal medio de 102 l/s. La cuarta zona se encuentra al inicio del río Palancia a su paso por la masa de agua subterránea de Jérica, entre los municipios de El Toro y Bejís. En esta zona se ubican varios manantiales relevantes, como el de Los Cloticos, con una medición puntual de 10 l/s.

Analizando los tramos e conexión río-acuífero (Figura 67), se observan dentro de la masa de agua subterránea Jérica, dos zonas de río perdedor con conexión difusa, un tramo de drenaje por conjunto de manantiales y dos tramos de drenaje por manantial puntual (Figura 67). En cuanto a estas dos últimas zonas, ese tramo de conexión río-acuífero se corresponde a la descarga por parte de los manantiales del Berro y La Esperanza. El tramo de drenaje por conjunto de manantiales, que se sitúa en el Barranco de Val de Hurón, se corresponde al aporte de los manantiales de la zona cercana a Viver indicada en el párrafo anterior. Por último, los tramos de río perdedor, se encuentran, el primero cerca del núcleo urbano de Teresa, y, el segundo, aguas abajo del primer tramo, comenzando aguas arriba de la confluencia del barranco de Val de Hurón y el río Palancia, y terminando cerca del núcleo urbano de Jérica. El IGME indica en la actividad 4 de la encomienda de gestión de 2009 que según la bibliografía consultada, en estas zonas el río se infiltra una cantidad aproximada de 12 hm³/año o lo que es lo mismo, con un caudal medio de 0.38 m³/s.

Para comprender mejor el sistema, hay que estudiar, y cuantificar en la medida de lo posible, los drenajes, caudales... Para ello se han analizado los dos puntos de control de aportación superficial indicados anteriormente (Figura 52), la estación de aforo de Jérica, y la restitución a régimen natural llevada a cabo por la CHJ en el embalse del Regajo. Además, también se han obtenido datos procedentes del SAIH, sobre una acequia o canal por la que se deriva agua del río Palancia con el fin de que la totalidad del caudal del río no trascurra por los tramos de río perdedor y no se infiltre al acuífero, y así disponer de mayor volumen de agua en el embalse del Regajo. Este canal, el canal de Teresa-Viver, comienza en el azud de Teresa o azud de la acequia de Sagunto y vierte el agua uno 8.000 metros aguas abajo, en el azud de El Sargal, cerca de Viver. El caudal, según indican los datos, en el punto de derivación es de 0.36 m³/s y en el punto de retorno de 0.15 m³/s, un porcentaje de retorno de casi el 40%, ya que el agua de la acequia se utiliza para abastecer demandas agrícolas. Los caudales han sido medidos a partir de julio de 2017, y los datos indicados son del periodo 07/2017-06/2018.

En los siguientes gráficos (Figura 68 y Figura 69) se presentan las series de caudal registradas en la estación de aforo de Jérica y la serie restituida a régimen

natural en el embalse del Regajo, indicándose en el mismo gráfico la estimación visual de la componente base subterránea.

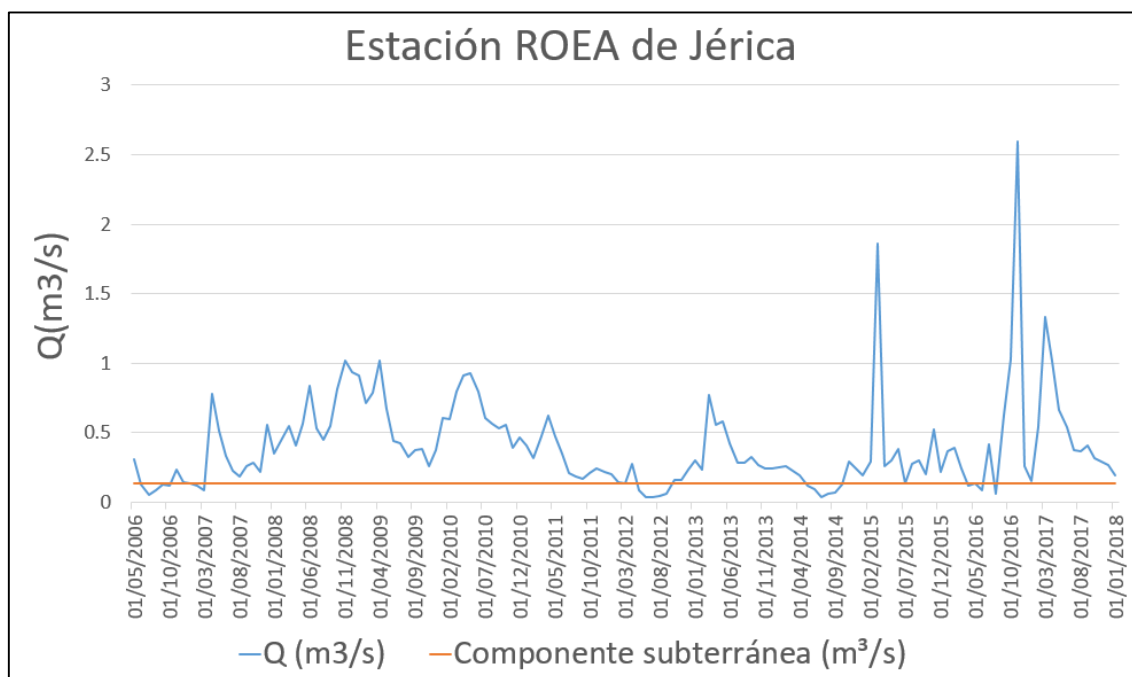


Figura 68. Serie de caudales medios mensuales con la estimación de la componente subterránea, en la estación de aforo de Jérica. Fuente: elaboración propia.

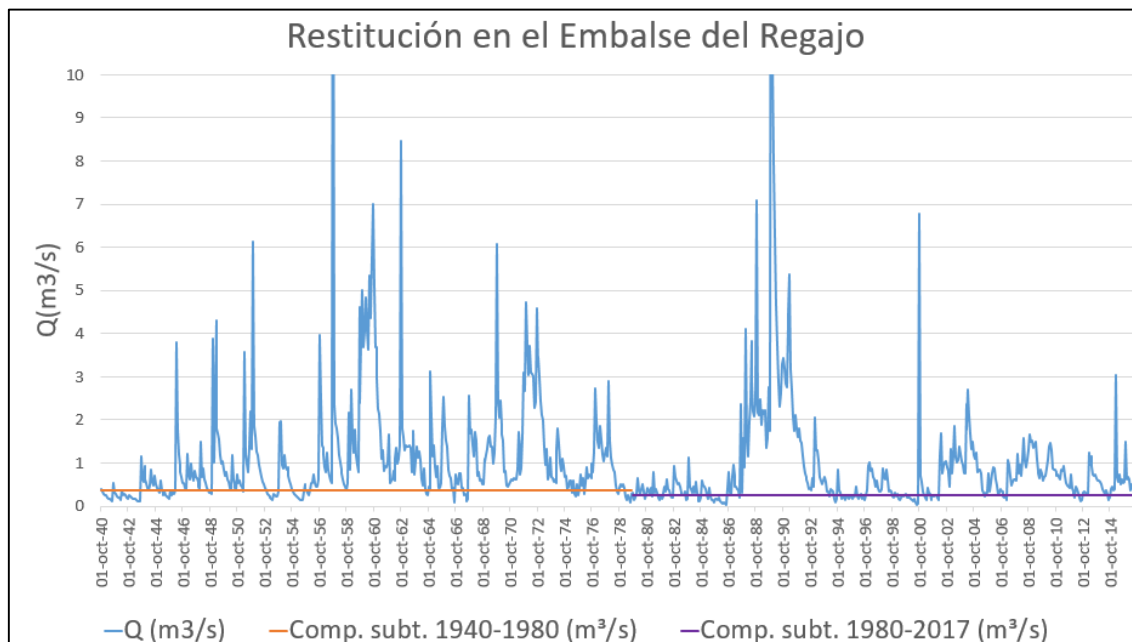


Figura 69. Serie de caudales medios mensuales restituídos a régimen natural con la estimación de la componente subterránea, en el embalse del Regajo. Fuente: elaboración propia.

Así, se han obtenido los resultados que se presentan en la siguiente tabla (Tabla 15).

Punto de control	Q total (m ³ /s)	Componente subterránea (m ³ /s)	Componente superficial (m ³ /s)
ROEA Jérica	0.4	0.13	0.27
Rest. Regajo	1.02	0.35	0.67

Tabla 15. Caudales medios y estimaciones de componente subterránea y superficial en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.

Se observa un caudal bastante bajo en la estación de aforo de Jérica (0.4 m³/s), siendo su componente subterránea un 32.5% del caudal total. En base a los datos e información consultados parece que ese caudal registrado en Jérica proviene del retorno del canal Teresa-Viver del aporte de los manantiales cercanos al río Palancia aguas abajo de Viver y también de la zona de manantiales ubicada en el Barranco de Val de Hurón (estas zonas se pueden observar en la Figura 67). En las fotos adjuntas (Figura 70) se observa como el río Palancia trasiega mayor caudal en la zona de aguas arriba del núcleo urbano de Teresa que en la zona situada entre Teresa y Viver, en la que apenas existe caudal. A la altura de Jérica el Río Palancia vuelve a tener un caudal mayor, aunque no demasiado alto.



Figura 70. Fotos del río Palancia en abril de 2010 .Arriba a la izquierda, aguas arriba del Núcleo urbano de Teresa. Abajo a la izquierda aguas abajo de Viver. A la derecha, cerca de núcleo urbano de Jérica. Fuente: CHJ.

Se observa que el embalse del Regajo recibe el 39% de sus aportaciones totales por el río Palancia y el resto por el Barranco del Cascajar y la Rambla de Gaibiel, barrancos en los que hay varios manantiales, principalmente en el del Cascajar. La estimación llevada a cabo indica que la componente subterránea en el embalse del regajo es del 34%, y toda ella proveniente de los manantiales, ya que no se ha definido ningún tramo de río ganador en la zona.

En los mapas piezómetro de 2005 y de 1970-1974 se observa un flujo con dirección noroeste-sureste (Figura 71 y Figura 72). Los principales manantiales ubicados en la masa de agua subterránea de Jérica (La Esperanza y El Berro) drenan agua procedente de esta masa y los volúmenes que manan por estos puntos son aproximadamente la mitad de los volúmenes drenados en toda la masa ya que estos dos manantiales drenan $0.58 \text{ m}^3/\text{s}$ y el total del drenaje calculado a partir de los datos de caudales de manantiales registrados es aproximadamente de $1.29 \text{ m}^3/\text{s}$. Este dato es muy parecido al dato de recurso natural que indica La CHJ en el balance de masas del anejo 2 del plan hidrológico, que es de $1.21 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabla 16). Atendiendo a la permeabilidad de los bordes de la masa de agua subterránea de Jérica, parece que no existen entradas laterales. Además la comparación entre el total del caudal de los

manantiales de la zona y el dato de recurso renovable del plan hidrológico parece indicar que las salidas laterales de la masa de agua subterránea son cercanas a 0. El recurso renovable zonal es igual al recurso renovable menos las salidas laterales, por lo que para que el recurso renovable zonal sea de la magnitud del total del caudal de los manantiales, tendría que ser de 1.21 m³/s, para lo que las salidas laterales deben ser nulas o bajas.

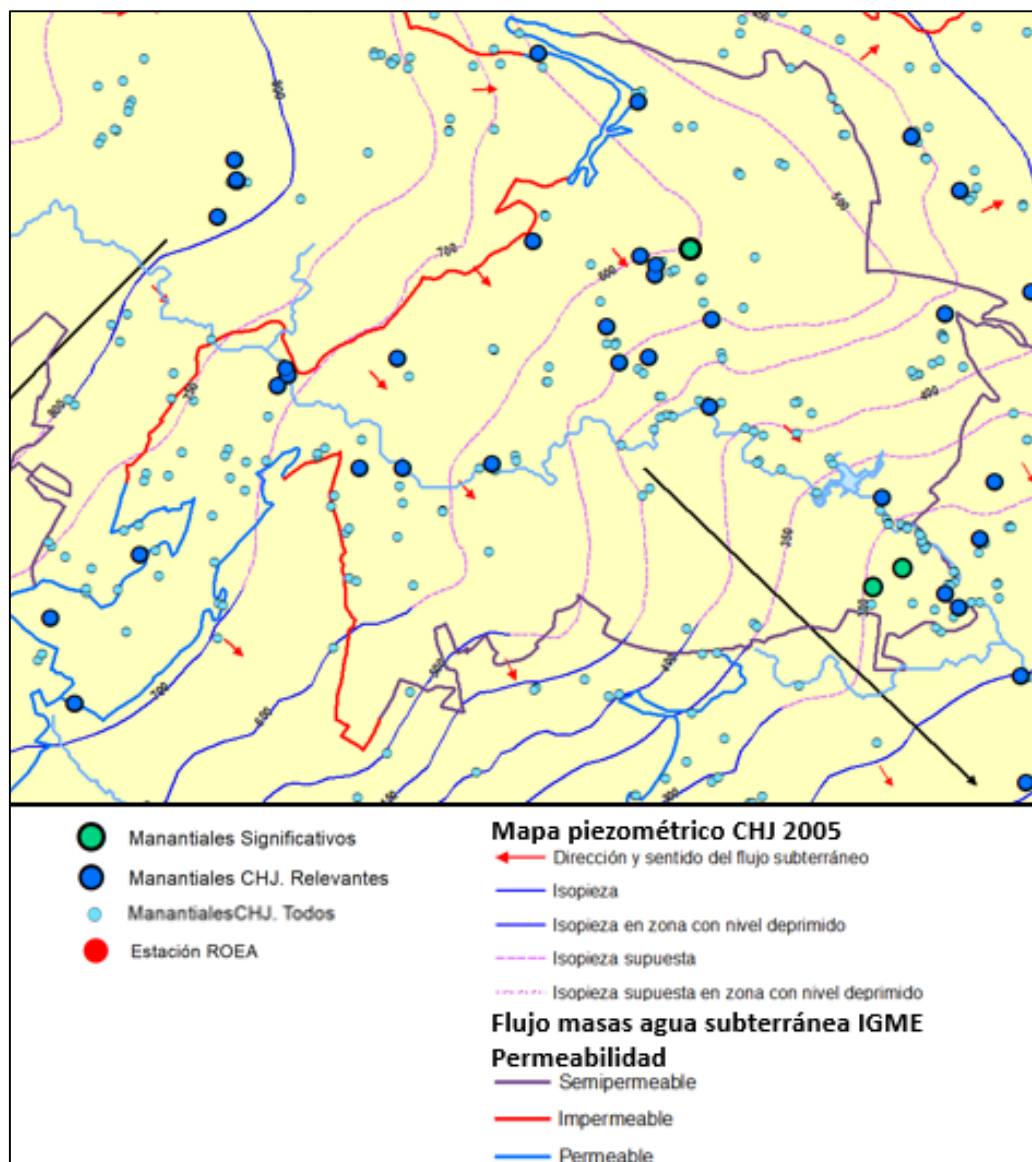


Figura 71. Mapa piezométrico con sentidos del flujo o de 2005, y permeabilidad de los bordes de las masas de agua subterránea de la zona de la cabecera del Alto Palancia. Fuente: elaboración propia a partir de CHJ 2006 y Vázquez 2017.

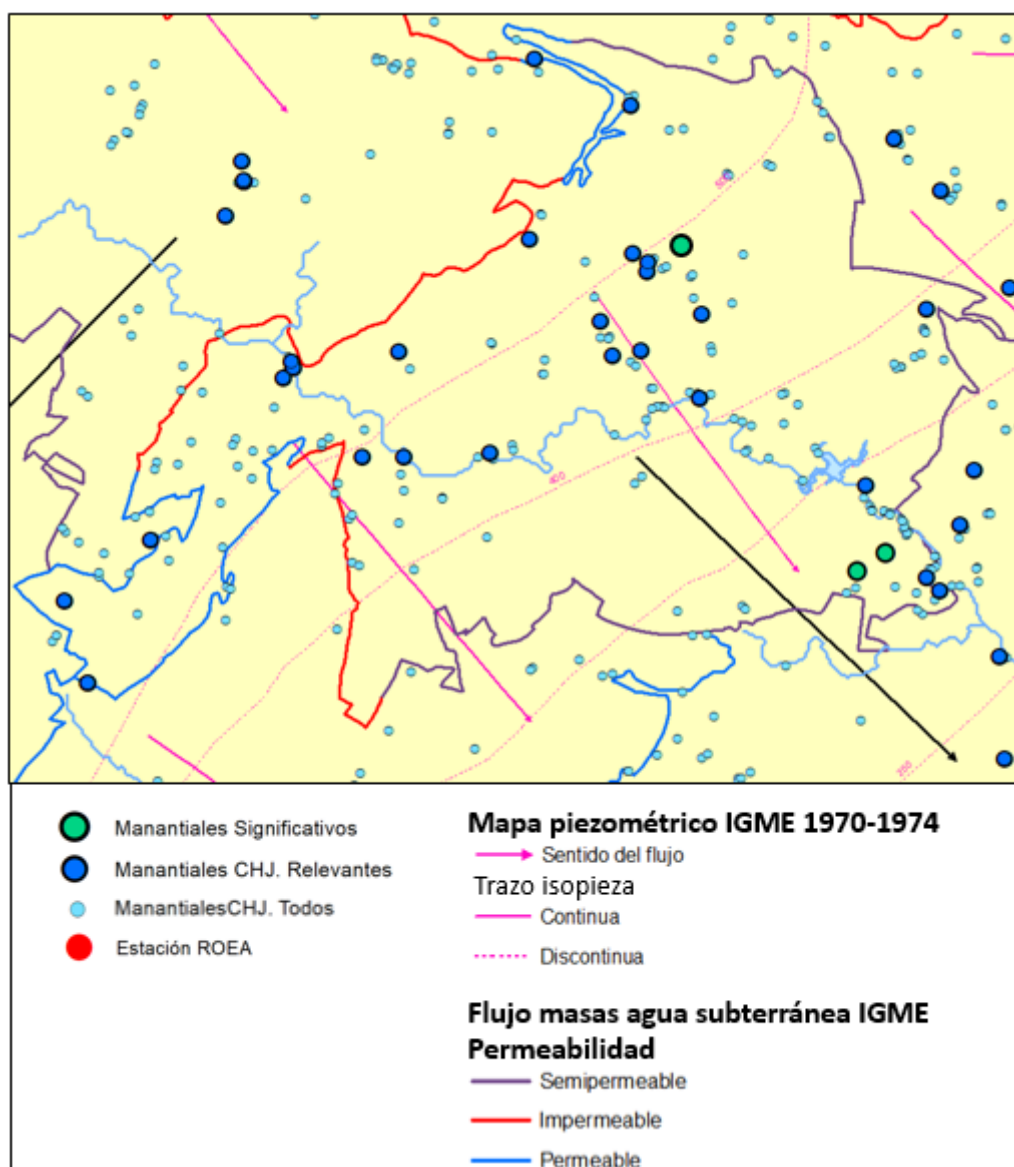


Figura 72 Mapa piezométrico con sentidos del flujo de 1970-1974, y permeabilidad de los bordes de las masas de agua subterránea de la zona del Alto Palancia. Fuente: elaboración propia a partir de IGME-DGA 2009 y Vázquez 2017.

	Recarga Lluvia	Retornos Totales	Pérdidas Del Río	Entradas Laterales	Recurso renovable	Salidas Laterales	Recurso Renovable zonal
hm3/año	27.6	0.8	0	9.9	38.3	7.9	30.4
m3/s	0.88	0.03	0.00	0.31	1.21	0.25	0.96

Tabla 16. Balance de masa en la masa de agua subterránea de Jérica. Fuente: Anejo 2 del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológico 2015-2021.

La masa de Jérica es una zona con varias unidades de demanda agrícola (UDA), algunas de las cuales se abastecen de extracciones subterráneas de agua. En la figura adjunta (Figura 73) se pueden observar las diferentes UDAs diferenciadas por el origen del recurso utilizado. Hay varias zonas de riego con origen mixto, tanto aguas arriba del embalse del Regajo como aguas abajo. Estas UDAs se abastecen en parte de extracciones subterráneas, pero por lo que parece no son demasiado importantes. El índice de explotación de la masa de agua subterránea de Jérica que se indica en el anejo 12 del plan hidrológico es de 0.19, por lo tanto Jérica es una masa poco explotada. Además, las primeras simulaciones del modelo Patricial en el Alto Palancia, aunque no eran satisfactorias, indicaban unas diferencias muy pequeñas entre el Régimen natural y el Alterado.

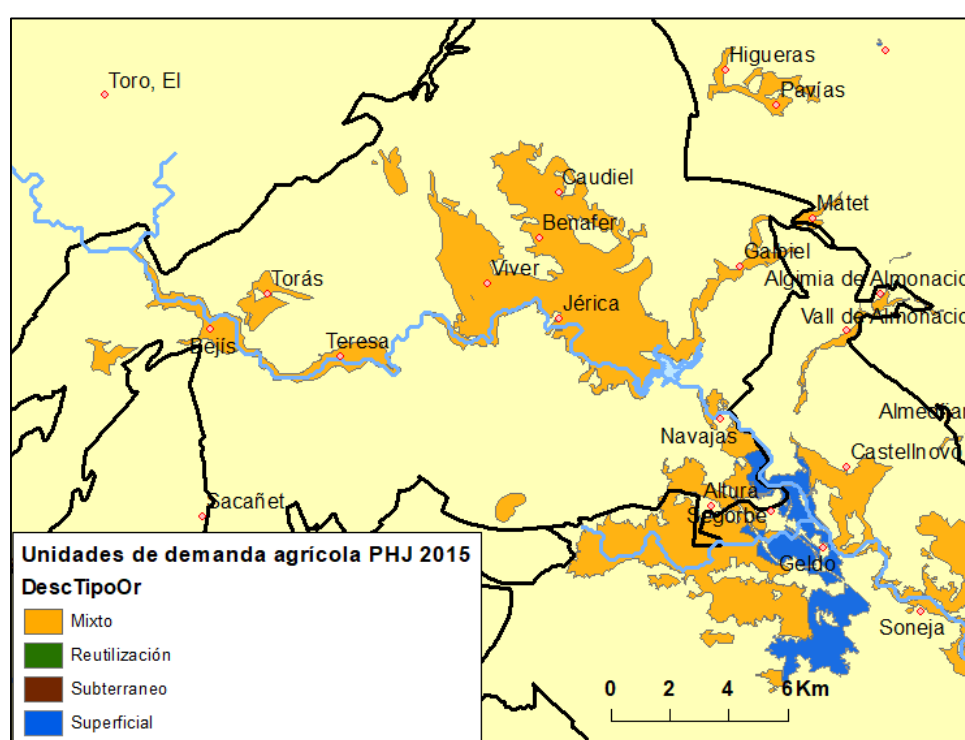


Figura 73. Unidades de demanda agrícola (UDA) de la zona del Alto Palancia.
Fuente: CHJ.

	Bombeo Total	Recurso Disponible	Índice de Explotación
hm3/año	4.2	21.7	0.19
m3/s	0.13	0.69	0.19

Tabla 17. Índice de explotación de la masa de agua subterránea de Jérica Fuente:
Anejo 12 del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de
planificación hidrológico 2015-2021.

Después de analizar la zona de estudio de manera íntegra, se sacan las siguientes conclusiones:

- El alto Palancia en general y la masa subterránea de Jérica en particular, es una zona con una gran densidad de manantiales, y el drenaje de agua subterránea que se da en esta masa se produce exclusivamente a través de manantiales.
- El sistema del Alto Palancia tiene un funcionamiento hidrológico complejo. Hay, por una parte, zonas con varios manantiales drenando agua de la masa de agua subterránea de Jérica y, por otra parte, zonas con conexión río-acuífero donde el agua del río se infiltra hacia el acuífero.
- El canal de Teresa-Viver minimiza la cantidad de agua que se infiltra en los tramos del río perdedor de la zona, y hace que llegue más volumen de agua al embalse del Regajo.
- Las salidas laterales de la masa de agua subterránea de Jérica hacia la masa de agua subterránea de Medio Palancia son muy escasas, y las entradas desde la masa Sierra del Toro hacia la de Jérica nulas, por ser un borde impermeable
- Jérica es una masa de agua subterránea no muy explotada.

6.3 Calibración y análisis de resultados

Una vez se han obtenido resultados de la modelación y se ha hecho una comprensión del comportamiento hidrológico de la zona, hay que conseguir el correcto funcionamiento del modelo en las zonas estudiadas en particular y en toda la DHJ en general. Para ello, primero se han hecho unas mejoras generales en el modelo, para que éste reproduzca de una manera más exacta el comportamiento hidrológico que se da en la realidad. Por otra parte, se han llevado a cabo calibraciones más específicas para obtener resultados satisfactorios en la mayor cantidad posible de puntos de control.

6.3.1 Mejoras generales del modelo

En el capítulo 3 de este TFM se ha explicado como el modelo Patricál lleva a cabo las salidas de agua subterránea. Una vez analizado, por una parte, el comportamiento del modelo con la introducción del nuevo conjunto de manantiales y, por otra parte, el comportamiento hidrológico de dos zonas específicas, se han hecho varios cambios en la manera en la que el modelo simula las salidas de agua subterránea. Se cambiarán los siguientes aspectos:

- Mapa de salidas por tramos de río.
- Peso de preferencia de drenaje.

6.3.1.1 Salidas por tramos de ríos

El modelo Patricial de 2017, previo a este TFM, modela como zonas de salida de agua subterránea desde el acuífero hacia la superficie los tramos de río ganadores y los tramos de río variables (pueden ser ganadores o perdedores dependiendo de la altura del acuífero y el caudal del río) que especifica el IGME en la actividad 4 de la encomienda de gestión realizada para la DGA y en Ministerio de Medio Ambiente en 2009. Por lo tanto, de las 6 tipologías de conexión en las que clasifica el IGME los tramos de conexión río-acuífero, y que se presentan a continuación, el modelo establecía los 5 primeros tipos de tramos de esta lista como zonas de drenaje de agua subterránea.

- ✓ Río ganador con conexión difusa
- ✓ Drenaje puntual por grupo de manantiales
- ✓ Río con conexión difusa y régimen variable (ganador/perdedor)
- ✓ Drenaje puntual por un único manantial
- ✓ Río ganador con conexión mixta (puntual y difusa)
- ✗ Río perdedor con conexión difusa

El establecer estos tramos como puntos de drenaje de agua subterránea puede suponer dos errores.

El primer error se comete al no tener en cuenta la evolución temporal en la tipología de la conexión río-acuífero de un tramo de río. La tipología de conexión que se ha tomado en cuenta es la que se da en el año en el que se hace el estudio, y un tramo que, en 2009, y por lo tanto en régimen alterado, es un tramo de río perdedor, años atrás, y en un régimen natural o cercano a este, puede ser un tramo de río variable o ganador. En un caso en el que esto ocurra, como por ejemplo el tramo medio del río Júcar, el modelo Patricial no drenaría agua por un tramo que en un régimen sin influencia humana sería un punto de salida de agua subterránea hacia la superficie.

El segundo error se comete con los tramos de río ganador por presencia de manantiales, donde se diferencian los tramos que reciben un drenaje o ganan agua por un único manantial y los que reciben un drenaje de un conjunto de manantiales. El problema es que los manantiales ya han sido introducidos en el modelo como puntos preferentes de salida de agua subterránea, con lo que introducir estos tramos de río como zonas de preferentes de drenaje subterráneo significaría la duplicación del peso que tendrá la celda donde se ubiquen los manantiales y estos tramos. No obstante, los dos tipos de tramos han sido tratados de manera distinta en el modelo.

Por un lado, los tramos de drenaje puntual por un único manantial han sido eliminados, ya que tras una revisión se ha observado que todos los manantiales

que producen ese drenaje y por lo tanto esos tramos, han sido introducidos en el modelo.

Por otro lado, y en un principio, los tramos de drenaje por conjunto de manantiales no se han eliminado. Todos los manantiales que influyen en estos tramos no han sido introducidos en el modelo, por lo que, si bien en algunos tramos (tramos en los que se han introducido al modelo todos o la mayoría de los manantiales que constituyen el drenaje del propio tramo), la eliminación de estos supondría la eliminación de la duplicación, en otros tramos supondría una pérdida de información importante y por lo tanto un mal comportamiento del modelo, ya que en la zona donde se ubican esos tramos no se daría un drenaje de agua subterráneas ni mediante los manantiales ni mediante los tramos de drenaje por conjunto de manantiales. Por ello, habría que llevar a cabo una revisión manual de cada tramo, y dado que la cantidad de estos tramos es alta (52), no se va a hacer en este TFM.

Así la tipología de tramos que se va a introducir al modelo como zonas preferentes de drenaje serán las siguientes:

- ✓ Río ganador con conexión difusa
- ✓(✗) Drenaje puntual por grupo de manantiales (revisión manual del tramo)
- ✓ Río con conexión difusa y régimen variable (ganador/perdedor)
- ✗ Drenaje puntual por un único manantial
- ✓ Río ganador con conexión mixta (puntual y difusa)
- ✓ Río perdedor con conexión difusa

A continuación, se adjuntan dos mapas donde se observa los tramos de río con preferencia de drenaje subterráneo introducidos en el modelo, previo y posterior al cambio descrito.

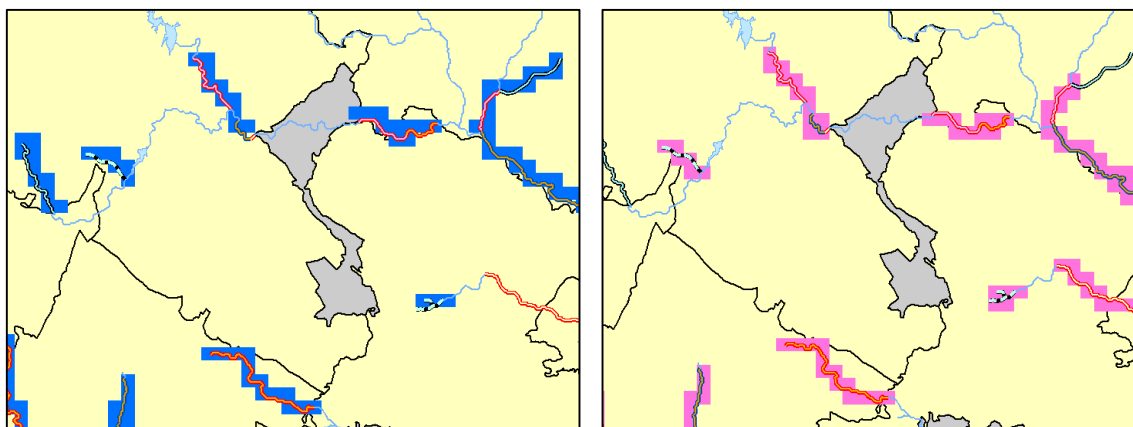


Figura 74. A la izquierda, en azul, tramos de río con preferencia de drenaje de agua subterránea en el modelo de 2017, a la derecha, en rosa; tramos de río con preferencia de drenaje de agua subterránea en el modelo de 2018.

Fuente: Elaboración propia.

6.3.1.2 Peso de preferencia de drenaje subterránea

Otra mejora importante del modelo será la nueva formulación utilizada para determinar el peso que indica la preferencia de drenaje. En el modelo de 2017, los tramos de río tienen un peso fijo no basado en ningún criterio hidrológico y los manantiales, como ya se ha indicado, tienen un peso comprendido entre los valores 1 y 100 y calculado a partir de un cálculo de extrapolación lineal del caudal, partiendo de un valor de 1 para el manantial con menor caudal y un valor de 100 para el manantial con mayor caudal. El peso de las zonas por las que se da una salida difusa de agua subterránea es muy pequeño y casi despreciable en comparación con los pesos que corresponden a manantiales y tramos de río. En el modelo de 2018 los pesos se calcularán con la formulación descrita a continuación (Ecuación 3). Esta formulación se calculará para cada sector en el que están divididas las masas de agua subterránea.

$$\sum_{i=1}^n q_{m_i} + \sum_{j=1}^m q_{r_j} k_j = Q_{T_{drenaje}}$$

$$p_{m_i} = \frac{q_{m_i}}{Q_T}$$

$$p_{r_j} = \frac{q_{r_j}}{Q_T}$$

Donde,

n = cantidad de manantiales en el sistema analizado

m = cantidad de celdas con conexión río-acuífero del sector analizado

Q_m = caudal manantial

q_r = caudal celda río ganador

Q_T = caudal total de drenaje del sistema analizado

p_m = peso de drenaje de la celda por manantial

p_r = peso de drenaje de la celda por río ganador

Ecuación 3. Preferencia de drenaje de agua subterránea por sector en el modelo Patricial. Fuente: Elaboración propia.

Así los pesos serán una distribución de la proporción del caudal total de cada sector drenado por cada manantial y por cada celda de río con conexión subterránea. Esta nueva formulación se ha llevado a cabo en los sectores de la cabecera del Mijares y el Alto Palancia. Para establecer el peso del resto de manantiales, se ha hecho una extrapolación con la media de los valores obtenidos en los sectores analizados y basada en el caudal de cada manantial.

Para el peso de las celdas de río ganador, se ha establecido como peso de todas las celdas de la media del peso de las celdas de las zonas analizadas, aportándole así el criterio hidrológico que antes no tenía. Aun así, para establecer una distribución de pesos óptima, habrá que analizar con detalle cada sector. Esto indica, una vez más, la importancia del análisis hidrológico integrado, básico para hacer que el modelo reproduzca la realidad lo mejor posible.

6.3.2 Calibración específica y resultados

Con los cambios generales se ha obtenido una mejora de los resultados, pero para obtener los mejores resultados posibles hay que llevar a cabo unas calibraciones específicas. En la mayoría de los casos estas calibraciones estarán basadas en las conclusiones sacadas a partir del análisis hidrológico integrado. A continuación, se presentan las calibraciones y resultados que se han llevado a cabo en los puntos de control del Mijares y del Alto Palancia y en el resto de manantiales significativos de la DHJ.

6.3.2.1 Cabecera del Mijares

Los resultados de la modelación de esta zona han mejorado mucho con los cambios generales del modelo descritos en el apartado anterior, hasta alcanzar resultados bastante satisfactorios en varios manantiales. Aun así, se han realizado varias calibraciones para obtener los mejores resultados. A continuación, se presentan las calibraciones llevadas a cabo

- Se han hecho pequeños cambios en los pesos de drenaje.
- Se han modificado transferencias laterales entre los sectores.
- Se ha desconectado el nacimiento del Mijares del acuífero drenante, ya que este manantial apenas tiene un flujo base constante.

Así se han obtenido los resultados que se pueden observar en las siguientes tablas, primero los resultados de las simulaciones en régimen natural en los periodos 1940-2017 (Tabla 18) y 1980-2017 (Tabla 19), y después los resultados de las simulaciones en régimen alterado y en los mismos periodos (Tabla 20 y Tabla 21).

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m ³ /s)	Q simulado (m ³ /s)	BIAS (m ³ /s)	PBIAS	NSE
Manant.	Nac. Mijares	0.04	0.02	-0.01	-32.21	0.00
Manant.	Babor	0.40	0.43	0.03	7.19	0.13
Manant.	Mas Royo	0.55	0.56	0.01	1.11	0.76
Manant.	La Escaleruela	0.50	0.53	0.03	6.15	-
Manant.	Montanejos	0.51	0.47	-0.04	-8.65	-
ROEA	El Terde	0.85	0.60	-0.25	-29.15	0.16
ROEA	Los Mases	0.83	0.36	-0.47	-56.56	-0.05
Rest.	Rest. Arenós	4.33	4.25	-0.09	-2.03	0.66

Tabla 18. Resultados de las simulaciones finales en régimen natural en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m ³ /s)	Q simulado (m ³ /s)	BIAS (m ³ /s)	PBIAS	NSE
Manant.	Nac. Mijares	0.04	0.02	-0.01	-32.21	0.00
Manant.	Babor	0.40	0.43	0.03	7.19	0.13
Manant.	Mas Royo	0.55	0.56	0.01	1.11	0.76
Manant.	La Escaleruela	0.50	0.53	0.03	6.15	-
Manant.	Montanejos	0.51	0.47	-0.04	-8.65	-
ROEA	El Terde	0.61	0.62	0.01	1.59	0.17
ROEA	Los Mases	-	-	-	-	-
Rest.	Rest. Arenós	4.44	4.32	-0.11	-2.59	0.65

Tabla 19. Resultados de las simulaciones finales en régimen natural en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m ³ /s)	Q simulado (m ³ /s)	BIAS (m ³ /s)	PBIAS	NSE
Manant.	Nac. Mijares	0.04	0.03	-0.01	-29.61	0.01
Manant.	Babor	0.40	0.43	0.03	7.35	0.13
Manant.	Mas Royo	0.55	0.56	0.01	1.29	0.76
Manant.	La Escaleruela	0.50	0.53	0.03	6.34	-
Manant.	Montanejos	0.51	0.47	-0.04	-8.65	-
ROEA	El Terde	0.85	0.61	-0.24	-28.27	0.16
ROEA	Los Mases	0.83	0.38	-0.45	-54.33	-0.02
Rest.	Rest. Arenós	4.33	4.28	-0.05	-1.13	0.66

Tabla 20. Resultados de las simulaciones finales en régimen alterado en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m ³ /s)	Q simulado (m ³ /s)	BIAS (m ³ /s)	PBIAS	NSE
Manant.	Nac. Mijares	0.04	0.03	-0.01	-29.61	0.01
Manant.	Babor	0.40	0.43	0.03	7.35	0.13
Manant.	Mas Royo	0.55	0.56	0.01	1.29	0.76
Manant.	La Escaleruela	0.50	0.53	0.03	6.34	-
Manant.	Montanejos	0.51	0.47	-0.04	-8.65	-
ROEA	El Terde	0.61	0.62	0.01	2.12	0.17
ROEA	Los Mases	-	-	-	-	-
Rest.	Rest. Arenós	4.44	4.36	-0.08	-1.76	0.66

Tabla 21. Resultados de las simulaciones finales en régimen alterado en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control de la cabecera del Mijares. Fuente: Elaboración propia.

Analizando los estadísticos reflejados en las tablas anteriores se observan por lo general buenos resultados, mejorando mucho los resultados de las primeras simulaciones. Se ha conseguido una muy buena simulación de los manantiales, si bien los resultados en el nacimiento del Mijares no son del todo satisfactorios, aunque a continuación observaremos gráficamente que no son tan malos como expresan los indicadores estadísticos. En los puntos de control de la red de drenaje superficial se han dado varios casos distintos en cuanto a tipología de resultados. Los resultados de la modelación en el embalse de Arenós son muy

buenos, mientras que en las estaciones de aforo no tanto. En el río Albentosa se ha conseguido un caudal menor al observado, y esto se ha dado porque los caudales observados tienen una componente subterránea que no se ve reflejada en la información disponible, como ya se ha dicho previamente en el análisis hidrológico de esta zona. En cuanto a los resultados en la estación del Terde, se observan buenos resultados en la serie de 1980-2017, pero no así en la serie completa. Esto se debe a que ha habido una disminución de caudal entre los dos periodos y se cambió la curva de gasto de la estación de aforo en el año 1993.

Se presentan también gráficos de algunos puntos donde se ven estos resultados con más detalle (Figura 75, Figura 76 y Figura 77).

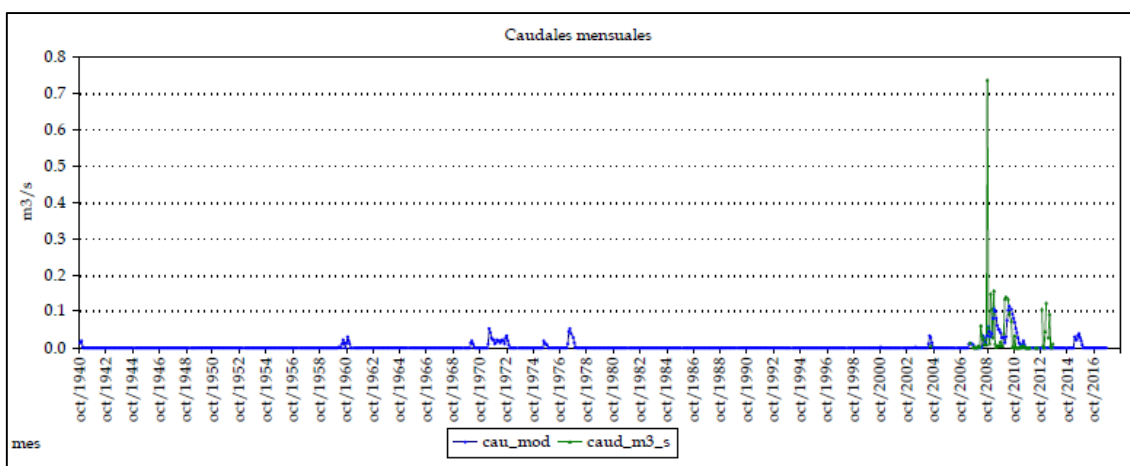


Figura 75. Gráfico con los caudales observados y los caudales resultantes del modelo calibrado, en régimen natural, en el nacimiento del Mijares. Fuente: Elaboración propia.

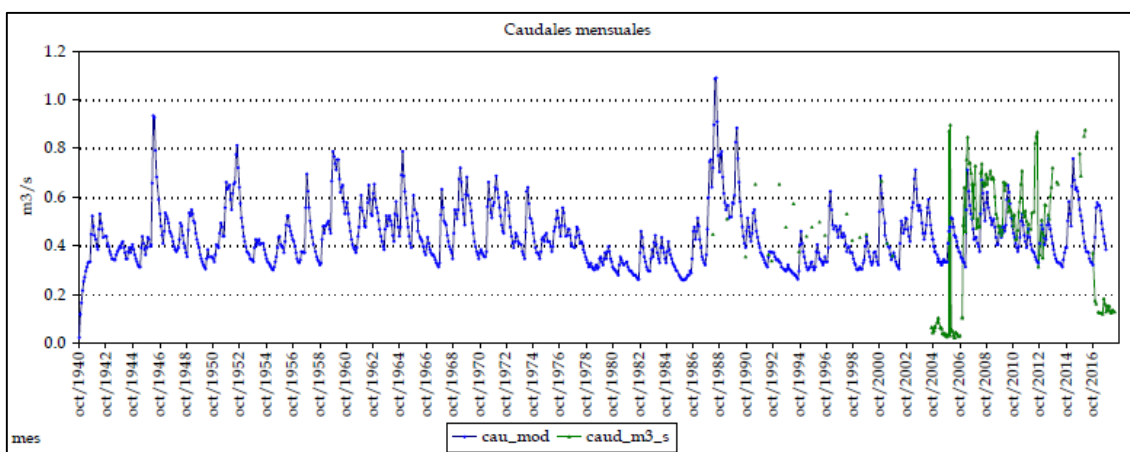


Figura 76. Gráfico con los caudales observados y los caudales resultantes del modelo calibrado, en régimen natural, en el Manantial de Babor. Fuente: Elaboración propia.

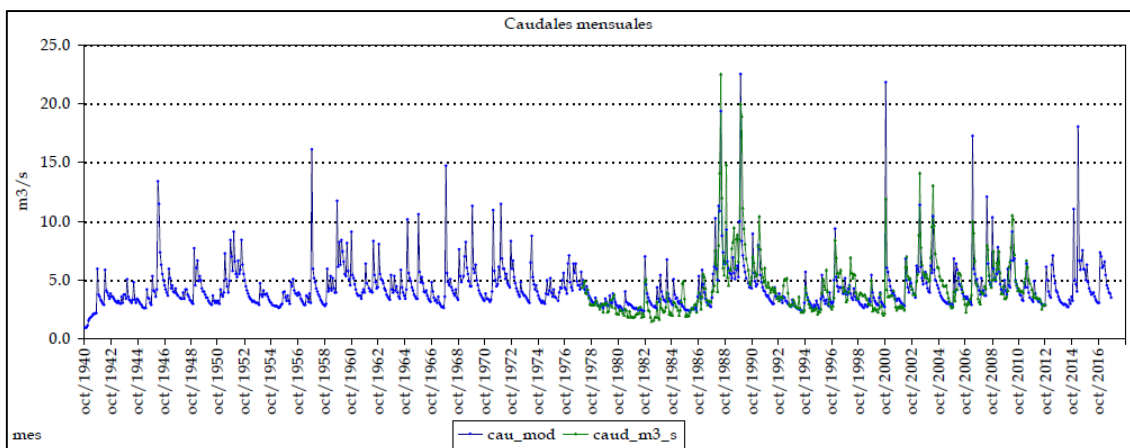


Figura 77. Gráfico con los caudales restituidos y los caudales resultantes del modelo calibrado, en régimen natural, en el Embalse de Arenós. Fuente: Elaboración propia

En el primer gráfico (Figura 75) se ven los resultados del Nacimiento del Mijares, punto en el que aunque no se hayan conseguido buenos indicadores, se observan unos resultados de simulación más acordes a la realidad que los que se daban en las primera simulaciones. En el segundo gráfico, correspondiente al manantial de Babor (Figura 76), se observa como el modelo reproduce muy bien la realidad, con unos indicadores de ajuste muy buenos. Hay dos periodos en los que los resultados del modelo se alejan más de la realidad (2004-2006 y 2016-2017), aunque esto puede deberse a que los valores observados no han sido bien medidos. Por último, en la Figura 77 podemos ver unos resultados de modelación muy buenos en el embalse de Arenós.

6.3.2.2 Alto Palancia

Para obtener los mejores resultados posibles en el alto Palancia, se ha llevado a cabo una calibración con las modificaciones que se describen a continuación

- Se han hecho pequeños cambios en los pesos de drenaje.
- Se ha reducido las salidas laterales de la masa de agua subterránea de Jérica hacia la de Medio Palancia, ya que como se ha indicado en el análisis hidrológico de la zona estas salidas se estima que son muy escasas.
- Se ha eliminado del modelo el tramo de drenaje por conjunto de manantiales correspondiente al Barranco de Val de Hurón, ya que la mayor parte de los manantiales que alimentan ese tramo ya se han introducido al modelo.

Tras la calibración se han obtenido los resultados que se pueden observar en las siguientes tablas, primero los resultados de las simulaciones en régimen natural en los periodos 1940-2017 (Tabla 22) y 1980-2017 (Tabla 23), y después los resultados de las simulaciones en régimen alterado y en los mismos periodos (Tabla 24 y Tabla 25).

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m³/s)	Q simulado (m³/s)	BIAS (m³/s)	PBIAS	NSE
Manant.	La Esperanza	0.46	0.30	-0.17	-35.88	-1.04
Manant.	Fuente del Berro	0.11	0.08	-0.03	-24.16	-1.02
ROEA	ROEA Jérica	0.37	1.00	0.62	167.17	-10.29
Rest.	Rest. El Regajo	1.09	1.02	-0.07	-6.27	0.29

Tabla 22. Resultados de las simulaciones finales en régimen natural en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m³/s)	Q simulado (m³/s)	BIAS(m³/s)	PBIAS	NSE
Manant.	La Esperanza	0.45	0.33	-0.12	-26.65	-0.57
Manant.	Fuente del Berro	0.11	0.09	-0.02	-17.05	-0.42
ROEA	ROEA Jérica	0.37	1.00	0.63	169.16	-10.43
Rest.	Rest. El Regajo	0.92	1.08	0.15	16.26	0.31

Tabla 23 Resultados de las simulaciones finales en régimen natural en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m³/s)	Q simulado (m³/s)	BIAS (m³/s)	PBIAS	NSE
Manant.	La Esperanza	0.46	0.30	-0.17	-35.88	-1.04
Manant.	Fuente del Berro	0.11	0.08	-0.03	-24.16	-1.02
ROEA	ROEA Jérica	0.37	1.00	0.62	167.17	-10.29
Rest.	Rest. El Regajo	1.09	1.02	-0.07	-6.27	0.29

Tabla 24. Resultados de las simulaciones finales en régimen alterado en el periodo 1940-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.

Tipo Punto	Nombre	Q observado (m³/s)	Q simulado (m³/s)	BIAS (m³/s)	PBIAS	NSE
Manant.	La Esperanza	0.45	0.30	-0.16	-34.66	-0.92
Manant.	Fuente del Berro	0.11	0.08	-0.03	-26.60	-0.76
ROEA	ROEA Jérica	0.37	1.00	0.62	167.17	-10.29
Rest.	Rest. El Regajo	0.92	1.07	0.14	15.19	0.32

Tabla 25. Resultados de las simulaciones finales en régimen alterado en el periodo 1980-2017 y en los puntos de control del Alto Palancia. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican, por lo general, una mejora notable respecto a los resultados de las primeras simulaciones. A pesar de ello no se han conseguido unos resultados óptimos. Esto se debe a la complejidad del sistema explicada en el análisis hidrológico de la zona, la cual el modelo actual no es capaz de simular. Aun con esto, se puede observar como los resultados han mejorado notablemente en los dos manantiales modelados, llegándose a obtener indicadores estadísticos de ajuste satisfactorios en el manantial del Berro. En la estación de aforo de Jérica el modelo simula mayor caudal que el observado, algo que parece que sucede a causa de la poca precisión que aporta el tamaño de celda de 1kmx1km en esta zona. Los resultados en el embalse del Regajo son muy buenos.

A continuación se pueden observar los gráficos de comparación de las series observadas y simuladas y restituidas en el manantial de la Esperanza y en el embalse del Regajo (Figura 78 y Figura 79).

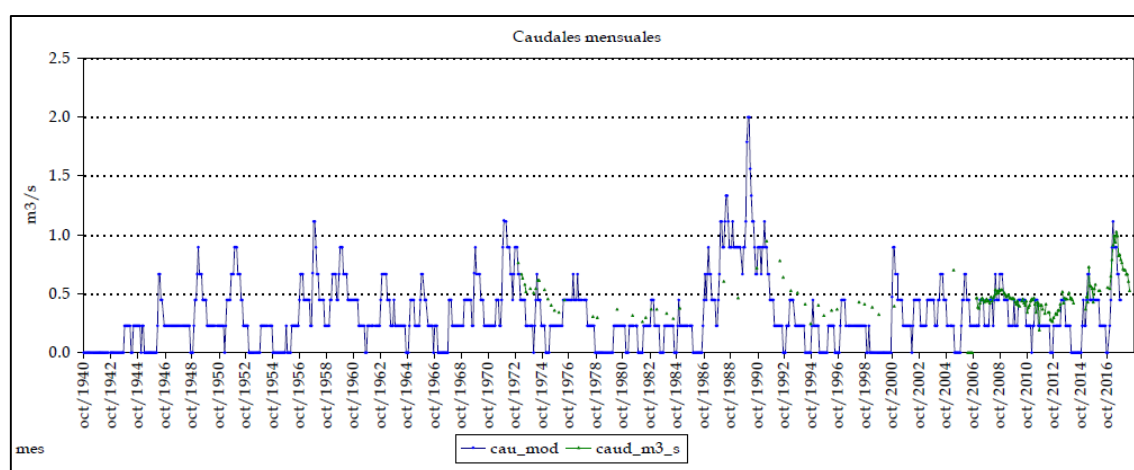


Figura 78. Gráfico con los caudales observados y los caudales resultantes del modelo calibrado, en régimen natural, en el Manantial de La Esperanza. Fuente: Elaboración propia.

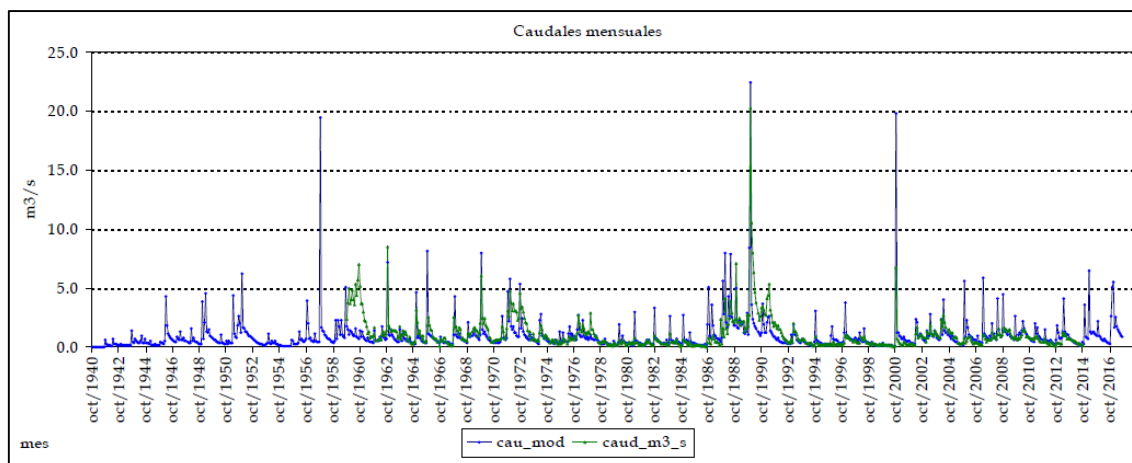


Figura 79. Gráfico con los caudales restituídos y los caudales resultantes del modelo calibrado, en régimen natural, en el Embalse del Regajo. Fuente: Elaboración propia.

Se observa en el gráfico del manantial de La Esperanza la notable mejoría en los resultados, y en el aforo en el gráfico del embalse del Regajo el buen funcionamiento del modelo en este punto.

Para obtener resultados mejores que los que se han conseguido habrá que llevar a cabo cambios en el modelo Patricial, por ejemplo un cambio específico como puede ser una sectorización de la masa de agua subterránea de Jérica para modelizar de una forma correcta las infiltraciones y posterior afloramiento de esa agua. También se puede hacer un cambio más general y más profundo, cambiando la forma agregada en la que el modelo Patricial simula las masas de agua subterránea por una distribuida, esto es, cambiar el modelo unicelular actual por uno pluricelular.

6.3.2.3 Manantiales significativos de la CHJ

Una vez se han obtenido resultados satisfactorios en los manantiales de las zonas estudiadas con detalle, se intentará conseguir los mejores resultados posibles en el resto de manantiales significativos de la DHJ. Para ello se ha calibrado cada uno de los manantiales de la misma manera que se han calibrado los manantiales el Mijares y del Palancia (calibración de pesos, transferencias laterales, desconexión de sectores...), aunque sin hacer el análisis integrado del sistema, por lo que el conocimiento para llevar a cabo las calibraciones no era tan alto y los resultados no han sido óptimos.

En la siguiente tabla (Tabla 26) aparecen los resultados del modelo calibrado en 43 manantiales significativos (2 no tenían dato de caudal y por lo tanto no se ha podido llevar a cabo el contraste), en régimen natural y para el periodo completo, 1940-2017.

Análisis del inventario de manantiales de la Confederación Hiodrográfica del Júcar y modelización de su comportamineto hidrológico

Manantial	Q observado (m³/s)	Q simulado (m³/s)	BIAS (m³/s)	PBIAS	NSE
Font dels Rossegadors	0.10	0.25	0.15	153.51	-12.84
Gola del Prado (Peñíscola)	0.54	0.62	0.08	15.75	-0.03
Fuente del Molino	0.61	0.60	-0.01	-2.10	0.11
Nacimiento del Río Mijares	0.04	0.02	-0.01	-32.21	0.00
Babor	0.40	0.43	0.03	7.19	0.13
Mas Royo	0.55	0.56	0.01	1.11	0.76
La Escaleruela	0.50	0.53	0.03	6.15	-0.34
Fuente los Baños de Montanejos	0.51	0.47	-0.04	-8.65	-0.28
La Esperanza	0.46	0.33	-0.14	-29.35	-0.74
Manantial del Berro	0.11	0.09	-0.02	-14.77	-0.68
Barranco Hondo	0.48	0.46	-0.02	-3.37	-0.68
Escaldador	0.03	0.00	-0.03	-99.42	-2.78
Manantial de las Balsas	0.50	0.34	-0.16	-32.87	0.00
La pozas (Manantial) Teruel	0.29	0.36	0.07	23.61	-0.06
Fuente o Nacimiento La Morca	0.73	0.52	-0.21	-28.82	-1.01
Fuente Manantial de San Vicente	0.29	0.26	-0.03	-9.25	-0.09
Nacimiento del Rincón	0.20	0.17	-0.03	-13.70	0.57
Fuente de los Baños	0.50	1.09	0.59	117.59	0.31
Fuente de la Pila	0.98	0.96	-0.02	-1.87	0.00
Fuente del Charco Azul (Humedal Charco Azul)	0.21	0.25	0.04	18.92	0.53

Análisis del inventario de manantiales de la Confederación Hidrográfica del
Júcar y modelización de su comportamiento hidrológico

Bolinches	0.14	0.15	0.01	7.74	0.12
Arroyo de la Hoz	0.21	0.09	-0.11	-54.96	0.00
Los Ojos de Moya	0.52	0.44	-0.08	-15.42	-11.63
Manantial de Navarrés / Lago de Playamonte	0.25	0.28	0.03	12.19	0.27
Albufera de Anna	0.40	0.38	-0.02	-4.49	0.29
Manantial de Játiva	0.27	0.41	0.14	52.90	-4.47
Nacimiento del Río de Los Santos	0.61	0.57	-0.05	-8.07	-0.01
Ullal- Nacimiento Río Verde	0.33	0.31	-0.02	-4.94	0.21
Fuente Grande - Caudete	0.00	0.02	0.02	1443	-19.28
Fuente La Orza	0.00	0.42	0.42	210162	0.00
Fuente la Peñuela	0.00	0.09	0.09	2986	0.00
Fuente Currucheres	0.26	0.00	-0.26	-100.00	0.00
Font del Almaguer	0.00	0.03	0.03	17261	0.00
Manantial el Molinar	0.30	0.48	0.18	60.75	0.00
Les Aigües	0.07	0.04	-0.03	-37.84	-1.56
El Salinar (Pego)	0.47	0.48	0.01	2.42	0.02
Manantial La Bolata (Girona)	0.32	0.03	-0.29	-90.78	-0.16
Font de la Cava (Girona)	0.24	0.34	0.10	41.26	0.17
Fuentes del Algar	0.89	0.29	-0.60	-67.30	-0.22
Font de la Coveta	0.05	0.10	0.05	88.04	-1.75
Fuente de Quart	0.31	0.33	0.01	4.01	0.41
Font del Barret	0.02	0.02	0.00	2.43	-0.95
Ullal de Baldovi	0.25	0.25	0.00	-1.23	0.00

Tabla 26. Resultados de las simulaciones finales en régimen natural en el periodo 1940-2017 y en los manantiales más significativos de la DHJ. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, y para una mejor apreciación de los resultados se presenta un mapa con los manantiales indicándose la bondad del ajuste del (PBIAS) según Moriasi et al. 2007 (Figura 80).

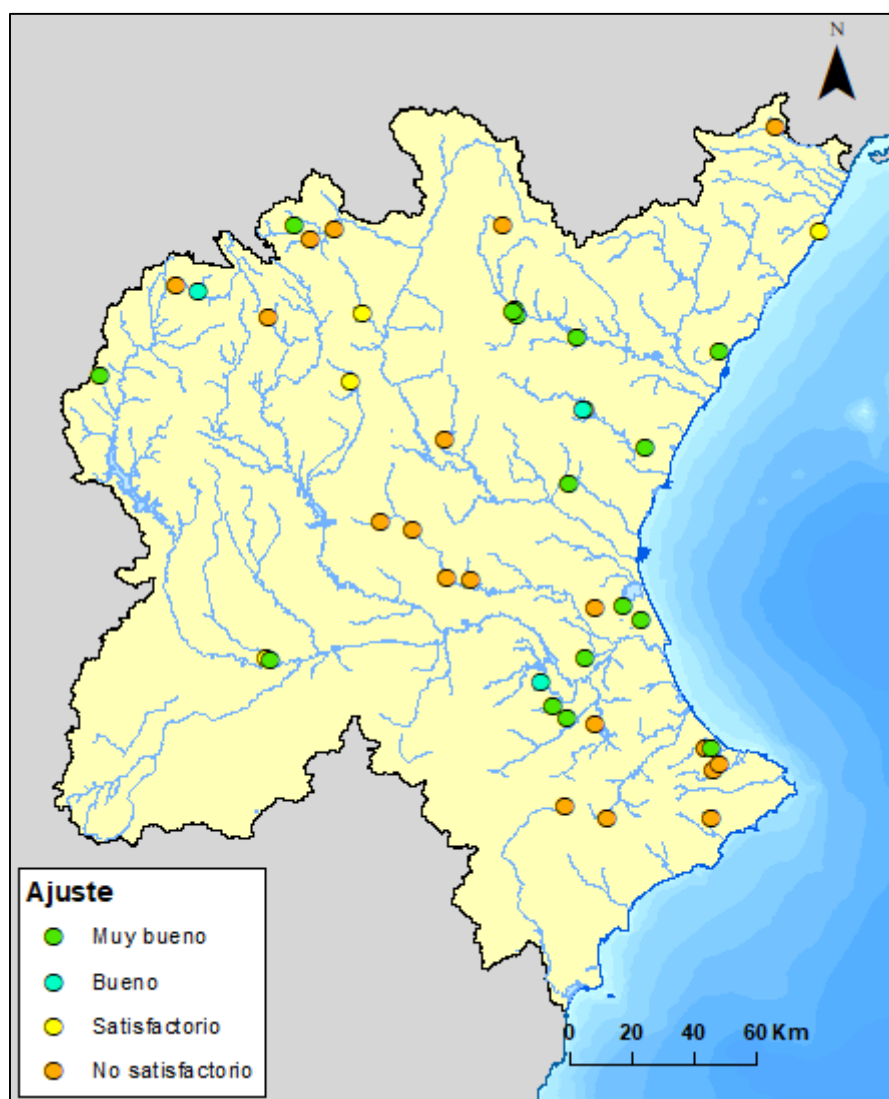


Figura 80. Calidad del ajuste final en los manantiales significativos de la CHJ. Fuente: elaboración propia.

Los resultados han sido, por lo general, bastante buenos. Se han obtenido BIAS porcentuales menores al 10%, indicador de un ajuste muy bueno, en 16 manantiales. En 3 manantiales se ha obtenido un ajuste bueno, y satisfactorio en otros 4. En los manantiales que no se ha conseguido un ajuste satisfactorio, ha sido a causa de que el modelo actualmente no es capaz de modelizar los procesos hidrológicos de la zona de manera óptima. Esto se puede dar, por una parte, porque es necesario introducir varios cambios en el modelo, como nuevas sectorizaciones o una modelación pluricelular de las masas de agua subterránea, y, por otra parte, porque los datos e información disponibles en la actualidad no son suficientes para entender el funcionamiento hidrológico real de

varias zonas, y por lo tanto será muy complicado modelizar procesos desconocidos.

En el Anexo I que se adjunta al final de este TFM aparecen todos los resultados de la modelización de los manantiales significativos, en régimen natural y con gráficos incluidos.

7 CONCLUSIONES

Mediante este trabajo se ha conseguido profundizar en el conocimiento de los manantiales localizados en la CHJ. Se ha construido un inventario unificando toda la información sobre manantiales disponible hasta la fecha, con un resultado satisfactorio. Además, para conseguir un mejor entendimiento del funcionamiento de los manantiales, se ha hecho una modelación de los mismos utilizando el modelo Patrical. Con la modelización se ha conseguido, por una parte, la obtención de una herramienta para el estudio del comportamiento y evolución de los manantiales, y, por otra parte, la mejora del modelo Patrical, el cual se ajusta más a la realidad de los procesos hidrológicos modelados y ha ganado robustez.

El inventario de manantiales ha dotado a la Confederación Hidrográfica del Júcar en general y a la Oficina de Planificación Hidrológica en particular, de una herramienta básica para el conocimiento de la realidad hidrológica que se da dentro de sus términos geográficos, que era un objetivo prioritario. Se ha llevado a cabo un costoso proceso de recogida, análisis y procesamiento de datos que ha tenido como resultado un inventario completo de los manantiales de la CHJ, con una información depurada, homogénea y ordenada de todos los manantiales de los que se dispone información en el año 2018.

Toda la información procesada ha sido introducida en el sistema de información hidrológica de la CHJ, denominado Geshidro. De esta manera se ha conseguido que la información del nuevo inventario de manantiales esté disponible de una manera clara, concisa y accesible.

El hecho de tener una información sobre manantiales completa, ordenada y depurada, facilitará, los estudios importantes para la gestión y planificación hidrológica, por ejemplo, la protección de los manantiales, la mejora de información sobre utilización de aguas o el estudio del comportamiento temporal de los manantiales por la unificación de información sobre caudales y otras variables.

La modelización de los manantiales mediante el modelo Patrical ha sido básica para, además de entender el comportamiento de los manantiales, entender el comportamiento hidrológico de los distintos sistemas, ya que los manantiales son un nexo entre agua subterránea y superficial, siendo esta conexión un proceso hidrológico de especial relevancia en la CHJ, un territorio con zonas semiáridas y con una gran cantidad de acuíferos.

Se ha llegado a la clara conclusión de que es necesario entender el comportamiento de los manantiales para entender el comportamiento hidrológico de sistema y que es necesario entender el comportamiento hidrológico del sistema para entender el comportamiento de los manantiales, en un proceso que se retroalimenta.

En análisis de los datos de los manantiales llevado a cabo, junto a la posterior modelización, ha indicado errores en varios puntos de la red de hidrometría. Con esto se llega a dos conclusiones claras. Por una parte, queda claro que una buena red de seguimiento precisa de una validación de sus datos observados, y en este aspecto, el uso de un modelo matemático es una herramienta válida para llevar a cabo esta labor. El modelo Patricál será por tanto una herramienta que se puede utilizar para comprobar la validez de los datos recogidos sobre manantiales. Por otra parte, será preciso la revisión de los puntos de medición hidrométrica de la confederación en general y de las estaciones operativas en particular.

En lo que respecta a los resultados de la modelación de los manantiales con el modelo Patricál, se han obtenido, por lo general resultados satisfactorios. Esto indica que el modelo Patricál es una herramienta válida para estudiar las surgencias naturales de agua, y que la metodología de calibración utilizada es válida.

8 LÍNEAS FUTURAS

Tras el trabajo realizado y las conclusiones obtenidas se sugieren futuros pasos o líneas de investigación para profundizar en el conocimiento de los manantiales y la modelización de éstos y en la mejora del modelo Patrical.

Sería importante llevar a cabo el análisis hidrológico integrado de otras zonas o cuencas de la DHJ, para de esta manera entender el funcionamiento hidrológico de la mayor área posible y poder así obtener resultados satisfactorios de modelación.

También sería interesante, para una mejora del modelo Patrical, revisar los tramos definidos por el IGME como tramos drenaje puntual por grupo de manantiales, ya que como se ha indicado anteriormente, en varios casos se está duplicando la capacidad de estas zonas para drenar agua subterránea por la presencia en el modelo de los manantiales que determinan estos tramos de conexión río-acuífero.

En capítulos anteriores se ha observado que con el uso del modelo Patrical no ha sido posible modelar con resultados satisfactorios los caudales de los manantiales de ciertas zonas. Para que los resultados mejoren se podrían hacer nuevas sectorizaciones de la zona de almacenamiento de agua subterránea o acuíferos para que estas se ajusten más a la realidad hidrogeológica o bien una modificación más general, cambiando la forma agregada o unicelular en la que se modela los acuíferos a día de hoy, por una pluricelular o distribuida en celdas. De esta manera se podrían modelar, por ejemplo, acuíferos kársticos con más de un ramo de descarga.

Será necesario profundizar en el conocimiento de las aguas subterráneas de la DHJ. De esta manera se podrá entender con mayor claridad la estructura de ciertos acuíferos y así el funcionamiento de los manantiales que estos alimentan.

Puede ser importante hacer cambios y mejoras en la red de hidrometría de la CHJ, corrigiendo fallos en la medición de los caudales de los manantiales, estableciendo nuevos puntos de medición en otros manantiales y validando estas mediciones mediante el uso del modelo Patrical.

9 REFERENCIAS

- CHJ. (2006). *Evaluación integrada de las guías de la Directiva Marco Europea del agua y su aplicación en el proceso de planificación de la Cuenca Piloto del Júcar*. Confederación Hidrográfica del Júcar.
- CHJ. (2015a). *Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológica 2015-2021*. Confederación Hidrográfica del Júcar.
- CHJ. (2015b). *Reconocimiento de campo sobre la situación actual de los manantiales Mas Royo, Babor y La Escaleruela*. Confederación Hidrográfica del Júcar.
- CHJ. (s.f.). *Confederación Hidrográfica del Júcar*. Obtenido de www.chj.es
- DPA. (2003). *Los Manantiales Provinciales. Primera parte*. Diputación Provincial de Alicante.
- DPA. (2007). *Los Manantiales Provinciales. Segunda parte*. Diputación Provincial de Alicante.
- Gupta, H. V., Sorooshian, S., & Yapo, P. O. (1999). Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*(4(2)), 135-143. doi:10.1061/(ASCE) 1084-0699(1999)4:2(135)
- Hervás, R. I. (2015). Proyecto Albaqua. proyecto multidisciplinar para el conocimiento de las fuentes, manantiales y otros puntos de agua de la Sierra de Albarracín. *Fuentes, Manantiales y otros puntos de agua de la Sierra de Albarracín: aproximación a su estudio e inventario*, 13-24. Centro de Estudios de la Comarca de Albarracín (CECAL).
- IGME. (2009). Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. *Actividad 4: Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, zonas húmedas y otros ecosistemas de especial interés hídrico*, 141. Instituto Geológico y Minero de España.
- IGME-DGA. (2009). *Trabajos de la Actividad 5 "Elaboración del mapa piezométrico de España". Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Demarcación Hidrográfica del Júcar*. Instituto Geológico y Minero de España (Ministerio de Ciencia e Innovación) y Dirección General del Agua (Ministerio de Medio y Medio Rural y Marino).
- IGN. (s.f.). *Instituto Geográfico Nacional*. Obtenido de www.ign.es
- MAPAMA. (s.f.). *Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente*. Obtenido de www.mapama.gob.es

- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Binger, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900. doi:0.13031/2013.23153
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models. Part 1 a discussion of principles. *Journal of Hydrology*(10(3)), 282-290.
- Pérez Martín, M. Á. (2005). *Modelo distribuido de simulación del ciclo hidrológico con calidad de aguas integrado en sistemas de información geográfica para grandes cuencas. Aportación al análisis de presiones e impactos de la Directiva Marco del Agua*. Universitat Politècnica de Valencia.
- Pérez Martín, M. Á., Teodoro, E., Andreu, J., & Ferrer, J. (2014). Modeling water resources and river-aquifer interaction in the Jucar River Basin, Spain. *Water Resources Management*, 28, 4337-4358.
- SINAC. (s.f.). *Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo*. Obtenido de www.sinac.msssi.es
- Témez, J. R. (1977). *Modelo matemático de transformación precipitación-aportación*. ASINEL.
- UCLM. (2009). *Estudio de fuentes, manantiales y pequeños espacios del agua en la cuenca media de los ríos Júcar y Cabriel*, 285 pp . Convenio entre la CHJ y la Universidad de Castilla La Mancha.
- Vázquez, S. (2017). Mejora de la componente subterránea y la relación río-acuífero del modelo Patricál en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Universitat Politècnica de Valencia.