



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Estudio de la conexión río-acuífero del río Magro (Valencia)

Presentado por

Martínez Gil, Pablo

Para la obtención del

Grado de Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: Diciembre de 2019

Tutor: Pérez Martín, Miguel Ángel

*A mis abuelos y a todas
las personas que me han
enseñado a querer y
valorar el patrimonio
natural, cultural e
histórico de Requena y su
comarca.*

Índice

1	Introducción y objetivos	1
2	Antecedentes	3
2.1	Plan hidrológico del Júcar	3
2.2	Plan de explotación de la masa de agua subterránea Requena-Utiel	4
2.3	Modelos y trabajos académicos	6
3	Ámbito de estudio	7
3.1	Confederación hidrográfica del Júcar	7
3.2	Río Magro	9
4	Metodología	11
5	Análisis de la información	13
5.1	Contexto hidrogeológico	14
5.2	Perfil topográfico del río	18
5.3	Estudio piezométrico	21
5.3.1	Piezómetros de la rambla de la Torre	21
5.3.2	Piezómetros del río Madre	24
5.3.3	Piezómetros del río Magro desde Utiel hasta Requena	26
5.3.4	Piezómetros del acuífero Cabrillas-Malacara	30
5.4	Análisis de mapas de isopiezas	30
5.5	Manantiales	33
5.6	Aforos	36
5.7	Caudales E.D.A.R.	38
6	Análisis de la conexión río-acuífero	41
6.1	Comparación del nivel del acuífero con el nivel del río	42
6.1.1	Conexión río-acuífero de la rambla de la Torre	42
6.1.2	Conexión río-acuífero del río Madre	43
6.1.3	Conexión río-acuífero del río Magro entre Requena y Utiel	45
6.2	Análisis transversal. Dirección del flujo	47
6.2.1	Corte rambla de la Torre – río Madre – rambla de Albosa	48

6.2.2	Corte Requena – Río Cabriel	49
6.2.3	Corte Cabrillas-Malacara – Requena-Utiel.....	50
6.2.4	Análisis transversal. Conclusiones	51
7	Modelo conceptual	53
7.1	Conexión río-acuífero y flujo de agua en el acuífero	54
7.2	Síntesis	57
8	Balance matemático. Simulación y validación	60
8.1	Discretización espacial de la cuenca	62
8.2	Simulación de caudales	63
8.3	Simulación de niveles piezométricos	67
8.4	Balance de agua subterránea	74
8.5	Balance del río	77
9	Medidas	79
10	Resumen y conclusiones.....	81
11	Líneas futuras.....	85
12	Referencias	87

Índice de figuras

<i>Figura 1: Mapa de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Fuente: CHJ</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2: Demanda total de agua en la DHJ. Fuente: propia con datos de CHJ</i>	<i>8</i>
<i>Figura 3: Río Magro con sus acuíferos. Fuente: propia</i>	<i>9</i>
<i>Figura 4: Red fluvial de los acuíferos 080.133 y 08.139 Fuente: IIMA 2019</i>	<i>10</i>
<i>Figura 5: Límites hidrogeológicos. Fuente: CHJ 2009</i>	<i>14</i>
<i>Figura 6: Mapa geológico de los acuíferos 080.133 y 08.139. Fuente: IGME 2017</i>	<i>15</i>
<i>Figura 7: Mapa de permeabilidades. Fuente: IGME 2009</i>	<i>16</i>
<i>Figura 8: Dominios hidrogeológicos. Fuente: IIMA 2019</i>	<i>17</i>
<i>Figura 9: Modelo digital del terreno. Fuente: IIMA 2019</i>	<i>18</i>
<i>Figura 10: Perfil topográfico de la rambla de la Torre. Fuente: propia</i>	<i>19</i>
<i>Figura 11: Perfil topográfico del río Madre. Fuente: propia</i>	<i>19</i>
<i>Figura 12: Perfil topográfico del río Magro. Fuente: propia</i>	<i>20</i>
<i>Figura 13: Localización de piezómetros de la rambla de la Torre. Fuente: propia</i>	<i>22</i>
<i>Figura 14: Evolución temporal del piezómetro 08.18.005. Fuente: propia</i>	<i>22</i>
<i>Figura 15: Evolución temporal del piezómetro 08.24.011. Fuente: propia</i>	<i>23</i>
<i>Figura 16: Evolución temporal del piezómetro 08.24.033. Fuente: propia</i>	<i>23</i>
<i>Figura 17: Evolución temporal del piezómetro 08.24.012. Fuente: propia</i>	<i>23</i>
<i>Figura 18: Localización de piezómetros del río Madre. Fuente: propia</i>	<i>24</i>
<i>Figura 19: Evolución temporal del piezómetro 08.24.007. Fuente: propia</i>	<i>24</i>
<i>Figura 20: Evolución temporal del piezómetro 08.24.014. Fuente: propia</i>	<i>25</i>
<i>Figura 21: Evolución temporal del piezómetro 08.24.031. Fuente: propia</i>	<i>25</i>
<i>Figura 22: Evolución temporal del piezómetro 08.24.012. Fuente: propia</i>	<i>26</i>
<i>Figura 23: Localización de piezómetros del río Magro. Fuente: propia</i>	<i>26</i>
<i>Figura 24: Evolución temporal del piezómetro 08.24.012. Fuente: propia</i>	<i>27</i>
<i>Figura 25: Evolución temporal del piezómetro 08.24.005. Fuente: propia</i>	<i>27</i>
<i>Figura 26: Evolución temporal del piezómetro 08.24.013. Fuente: propia</i>	<i>28</i>
<i>Figura 27: Evolución temporal del piezómetro 08.24.003. Fuente: propia</i>	<i>28</i>
<i>Figura 28: Evolución temporal del piezómetro 08.24.010. Fuente: propia</i>	<i>29</i>
<i>Figura 29: Evolución temporal del piezómetro 08.24.032. Fuente: propia</i>	<i>29</i>
<i>Figura 30: Evolución temporal del piezómetro 08.24.009. Fuente: propia</i>	<i>29</i>
<i>Figura 31: Evolución temporal del piezómetro 08.18.086. Fuente: propia</i>	<i>30</i>
<i>Figura 32: Evolución temporal del piezómetro 08.18.003. Fuente: propia</i>	<i>30</i>
<i>Figura 33: Mapa de isopiezas en régimen natural. Fuente: IGME</i>	<i>31</i>
<i>Figura 34: Mapa de isopiezas en régimen alterado. Fuente: CHJ 2005</i>	<i>32</i>
<i>Figura 35: Mapa de isopiezas en régimen alterado. Fuente: IGME 2008</i>	<i>32</i>

<i>Figura 36: Mapa de manantiales en los acuíferos 080.133 y 080.139. Fuente: propia, datos CHJ</i>	33
<i>Figura 37: Fuente Grande. Caudete de las Fuentes. Mayo 2019. Fuente: propia</i>	34
<i>Figura 38: Fuente de la Orza. Requena. Mayo 2019. Fuente: propia</i>	34
<i>Figura 39: Rambla de Albosa. Requena. Octubre 2019. Fuente: propia</i>	35
<i>Figura 40: Fuente de los Morenos. Requena. Octubre 2019. Fuente: propia</i>	35
<i>Figura 41: Río Mijares. Octubre 2019. Fuente: propia</i>	36
<i>Figura 42: Caudal aforado en Requena y el embalse de Forata. Fuente: propia, datos CHJ</i>	37
<i>Figura 43: Localización y caudales de las EDAR. Fuente: propia, datos CHJ</i>	38
<i>Figura 44: Conexión río-acuífero rambla de la Torre. Fuente: propia</i>	42
<i>Figura 45: Rambla de la Torre. Mayo 2019. Fuente: propia</i>	43
<i>Figura 46: Conexión río-acuífero del río Madre. Fuente: propia</i>	44
<i>Figura 47: Río Magro. Caudete de las Fuentes. Mayo 2019. Fuente: propia</i>	45
<i>Figura 48: Conexión río-acuífero del río Magro. Fuente: propia</i>	45
<i>Figura 49: Río Magro en la pedanía de San Juan (Requena). Mayo 2019. Fuente: propia</i>	46
<i>Figura 50: Planta de cortes transversales. Fuente: propia</i>	47
<i>Figura 51: Corte transversal de la cabecera. Fuente: propia</i>	48
<i>Figura 52: Corte transversal. Requena-Río Cabriel. Fuente: propia</i>	50
<i>Figura 53: Corte transversal Cabrillas-Requena. Fuente: propia</i>	51
<i>Figura 54: Esquema de flujo en los acuíferos. Fuente: propia</i>	52
<i>Figura 55: Conexión río-acuífero en régimen natural. Fuente: propia</i>	55
<i>Figura 56: Conexión río-acuífero en régimen alterado. Fuente: propia</i>	57
<i>Figura 57: Modelo conceptual. Fuente: propia</i>	58
<i>Figura 58: Esquema de funcionamiento del modelo PATRICAL. Fuente: Pérez-Martin, M.A. (2014).</i>	60
<i>Figura 59: Discretización espacial para el modelo de simulación. Fuente: propia, datos CHJ</i>	62
<i>Figura 60: Caudal aforado y simulado para el aforo de Requena en régimen natural. Fuente: IIAMA 2019</i>	63
<i>Figura 61: Caudal aforado y simulado para el aforo de Forata en régimen natural. Fuente: IIAMA 2019b</i>	64
<i>Figura 62: Caudal aforado y simulado para el aforo de Requena en régimen alterado. Fuente: IIAMA 2019b</i>	65
<i>Figura 63: Caudal aforado y simulado para el aforo de Forata en régimen alterado. Fuente: IIAMA 2019b</i>	66
<i>Figura 64: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona cabecera Rambla de la Torre. Fuente: IIAMA 2019c</i>	67

<i>Figura 65: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Rambla de la Torre. Fuente: IIAMA 2019c</i>	68
<i>Figura 66: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona cabecera Río Madre. Fuente: IIAMA 2019c</i>	68
<i>Figura 67: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Caudete de las Fuentes y confluencia. Fuente: IIAMA 2019c</i>	69
<i>Figura 68: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona montaña Requena. Fuente: IIAMA 2019c</i>	69
<i>Figura 69: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona cabecera Río Magro Utiel-Requena. Fuente: IIAMA 2019c</i>	70
<i>Figura 70: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Requena MI. Fuente: IIAMA 2019c</i>	70
<i>Figura 71: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Río Magro en Requena. Fuente: IIAMA 2019c</i>	71
<i>Figura 72: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Planicie Requena. Fuente: IIAMA 2019c</i>	71
<i>Figura 73: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Pedanías. Fuente: IIAMA 2019c</i>	72
<i>Figura 74: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Cabriel Alto. Fuente: IIAMA 2019c</i>	72
<i>Figura 75: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Cabriel Bajo. Fuente: IIAMA 2019c</i>	73
<i>Figura 76: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Magro a Forata. Fuente: IIAMA 2019c</i>	73
<i>Figura 77: Balance de agua subterránea en régimen natural (hm³/año). Fuente: propia</i>	75
<i>Figura 78: Balance de agua subterránea en régimen alterado (hm³/año). Fuente: propia</i>	76
<i>Figura 79: Caudales simulados en régimen natural y alterado. Fuente: propia</i> ..	77
<i>Figura 80: Bombeos agrícolas. Fuente: IIAMA 2019</i>	79
<i>Figura 81: Bombeos urbanos. Fuente: IIAMA 2019</i>	79

1 Introducción y objetivos

El río Magro siempre ha sido de vital importancia para el desarrollo de las comarcas y municipios por los que discurre por las que discurre. Su denominación histórica de Oleana u Oliana (río de olivos) en el curso alto, da una referencia a las tierras por las que discurría antiguamente. Con este nombre ha sido conocido hasta principios del siglo XX, cuando pasó a llamarse río Magro (río seco o enjuto). Pero esta denominación que ya fue reflejada a comienzos del siglo XVI por Bartolomé Ferrer Pertusa en su *Chorografía del obispado de Cuenca* (1602), y hace referencia a su escaso régimen de caudales. Su caudal, en algunas épocas más abundante y en otras más escaso siempre ha sido un elemento muy a considerar por los habitantes de la zona, ya que de él dependía la vida de sus cultivos, ganados, su economía y por consiguiente sus vidas.

Actualmente, con la introducción de bombeos en las masas de agua subterránea para abastecer las distintas demandas, el río ha disminuido notablemente sus caudales, llegando a ser más río Magro, seco o enjuto que nunca. El caudal del río Magro ha casi desaparecido en Requena en la actualidad, reduciéndose de 21 hm³/año en la década de 1960 a 1970 a 4 hm³/año en los últimos años. Por otro lado, el caudal a la entrada del embalse de Forata se ha reducido de 41 hm³/año a 6 hm³/año, siendo este embalse fundamental para el riego aguas abajo del mismo. Para realizar este trabajo se acotará el estudio al tramo del río Magro que discurre entre su nacimiento y el embalse de Forata, debido a que la problemática que se plantea tiene como foco principal lo que sucede en ese tramo y hasta la actualidad aún no se ha conseguido establecer un modelo conceptual del sistema que funcione correctamente en un modelo de simulación

Este problema también va acompañado de un descenso no sostenible de los niveles piezométricos de la zona, también manifiesto en la ausencia de caudal en fuentes y manantiales, que en algunos casos son de vital importancia para la vida cotidiana de los habitantes de la zona.

La problemática planteada está siendo muy analizada en los últimos años tanto por organismos oficiales, como la Confederación Hidrográfica del Júcar, y por trabajos académicos que pretenden establecer el correcto funcionamiento del sistema para poder analizar medidas. Todos estos trabajos y documentos servirán como base para plantear este estudio.

A priori, las causas que provoquen esta reducción del caudal pueden ser dos. En primer lugar, una desconexión del río con el acuífero en el acuífero Utiel-Requena debido a extracciones de agua por bombeos y a la acción humana sobre el mismo. Otra causa que también puede estar detrás de esta reducción de caudales sea el cambio en el clima reciente.

Con este trabajo se pretende determinar “lo mejor posible” el funcionamiento del acuífero Requena-Utiel, ya que hasta la actualidad no se ha podido determinar con la precisión suficiente para que un modelo matemático refleje la situación real. Por otro lado, y una vez determinado el correcto funcionamiento del sistema y simulado y ajustado mediante un modelo matemático, se podrán establecer de manera inicial o preliminar medidas que ayuden a revertir la situación.

2 Antecedentes

Como base para este trabajo se han escogido documentación tanto emitida por organismos oficiales como son la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) y otros precedentes de trabajos académicos que han precedido a este en el análisis de la situación actual del río y de su conexión con el acuífero

2.1 Plan hidrológico del Júcar

El Plan Hidrológico del Júcar del ciclo 2015-2021, aprobado mediante Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, declara el mal estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 080.133 Requena-Utiel. A la vez que declara el mal estado cuantitativo pretende establecer soluciones para los usuarios de esta masa de agua y llegar, en un futuro a un buen estado cuantitativo de la masa.

En su artículo 20.C)9., en referencia esta masa de agua se establece lo siguiente:

“Se reservan 6,5 hm³/año de recursos subterráneos de la masa de agua subterránea de Requena-Utiel para atender futuros crecimientos en la unidad de demanda urbana de Subterráneos de Requena y de la industria de la zona, así como para la adecuación de concesiones de regadío y redotaciones en la comarca Requena-Utiel. Esa reserva podrá materializarse una vez se realice un plan de explotación de la masa de agua subterránea”.

La dotación para el cultivo de la vid que se establecía en el anterior plan hidrológico, de 2009 a 2015, era insuficiente según manifestaban los usuarios. Esta era una dotación bruta de 450 m³/ha/año, siendo en el actual plan de 1250 m³/ha/año, limitándose por el mal estado cuantitativo las concesiones de recursos subterráneos.

2.2 Plan de explotación de la masa de agua subterránea Requena-Utiel

Este plan de explotación tiene como objetivo fundamental distribuir de forma adecuada la reserva de agua subterránea, teniendo en cuenta que los recursos disponibles en la masa son escasos y está motivado por lo establecido en el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar 2015-2021.

En su capítulo VI, titulado “Reserva de recursos subterráneos” establece lo siguiente: Del total de la reserva de recursos subterráneos de 6,5 hm³ /año que se establece en el artículo 20.C).9 de la normativa del plan hidrológico, se reserva un volumen de 6 hm³ /año para la adecuación de las concesiones de regadío y redotaciones en la comarca Requena-Utiel. El volumen restante de 0,5 hm³ /año se reserva para atender futuros crecimientos en la unidad de demanda urbana de Subterráneos de Requena y de la industria de la zona. Del citado volumen de 6 hm³ /año, podrá emplearse hasta 5,5 hm³ /año para redotar a usuarios con concesiones para cultivos de vid y atender aquellos aprovechamientos que se encuentran en tramitación. El resto del volumen, 0,5 hm³ /año, podrá utilizarse para mejorar la garantía de los regadíos superficiales con concesión.

Más adelante, en su capítulo VII “Dotaciones”, éstas se establecen teniendo en cuenta estado de la masa de agua subterránea, los usos existentes y previsibles, las necesidades del cultivo y la reserva establecida en el Plan Hidrológico.

Puesto que las plantaciones necesitarán una cantidad de agua diferente en función de las condiciones climáticas del año, y de acuerdo con lo establecido en la normativa del plan, esta dotación puede variar en función de las precipitaciones a lo largo del año según los siguientes criterios:

1. Un año será considerado seco cuando la precipitación entre los meses de octubre y abril, incluyéndose los dos, no supere los 230 mm. En un año seco la dotación media bruta para el cultivo de la vid, el olivar y los frutales de fruto seco pasará de ser de 600 m³/ha/año a 900 m³/ha/año.

2. Un año será considerado medio cuando la precipitación entre los meses de octubre y abril incluyéndose los dos, esté comprendida entre 230 y 310 mm. Esta dotación se mantendrá en 600 m³/ha/año.

3. Un año será considerado húmedo cuando la precipitación entre los meses de octubre y abril, incluyéndose los dos, supere los 310 mm. En estos años

la dotación media bruta para el cultivo de la vid, el olivar y los frutales de fruto se disminuirá hasta, como máximo, 450 m³/ha/año.

Para el seguimiento de este plan de explotación, se publican anualmente en la web de la Confederación Hidrográfica del Júcar una evolución de los recursos subterráneos y superficiales.

2.3 Modelos y trabajos académicos

Algunos trabajos y modelaciones numéricas de apoyo a la gestión de la masa de agua han servido como referencia para realizar este estudio:

- Mercé Gallo, A., 2015. Estudio de alternativas de gestión de agua subterránea en la cuenca del río Magro. Trabajo de fin de grado, Universitat Politècnica de València, 88 p.

En este trabajo se establecen varias conclusiones importantes. La primera es que las masas de agua que abastecen al río Magro de forma más significativas son la de Requena-Utiel (08.133) y Cabrillas-Malacara (08.139) por lo que la correcta gestión de estos acuíferos son clave para que se recarguen y aporten agua al río.

Además, establece que los acuíferos no están en mal estado y que no llega agua a Forata, por lo que se puede deducir que están drenando agua hacia otros sitios aún en régimen natural. La masa de agua de Requena-Utiel drenaría agua hacia el río Magro y el Cabriel y Cabrillas-Malacara hacia el Mijares y el río Buñol.

- Fernández-Urizar, I., 2017. Modelación matemática del flujo de agua subterránea del acuífero de Requena-Utiel. Estudio del plan de explotación de la masa de agua. Trabajo de fin de máster, Universitat Politècnica de València, 95 p.

Este trabajo realiza una simulación del comportamiento con un modelo distribuido de detalle tipo MODFLOW. De ello concluye que actualmente la masa de agua Requena-Utiel se encuentra en mal estado cuantitativo debido a un aumento progresivo de los volúmenes extraídos y un descenso. El caudal del río Magro también ha disminuido considerablemente, así como de los valores que entran en Forata, lo que podría ser explicado por una reducción de la precipitación en la zona.

Según la autora, el Plan de Explotación de la masa de agua Requena-Utiel podría dar solución a los usuarios de la masa con en cuanto a los escenarios simulados, con horizonte temporal considerado ha sido el año hidrológico 2030/2031, pero la situación empeoraría, llegando a tener unas pérdidas de 35 hm³/anuales.

3 Ámbito de estudio

En este apartado se establecerá el ámbito o zona geográfica del estudio con grado de detalle de mayor a menor, comenzando por la Confederación Hidrográfica del Júcar y terminando con detalle en la masa de agua subterránea Requena-Utiel (08.133).

3.1 Confederación hidrográfica del Júcar

La demarcación de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), se coloca en el centro este de la Península Ibérica y abarca todas las cuencas que dan sus aguas al mar Mediterráneo entre la margen izquierda de la Gola del Segura en su desembocadura y la desembocadura del río Cenia. Además, incluye la cuenca endorreica de Pozohondo.

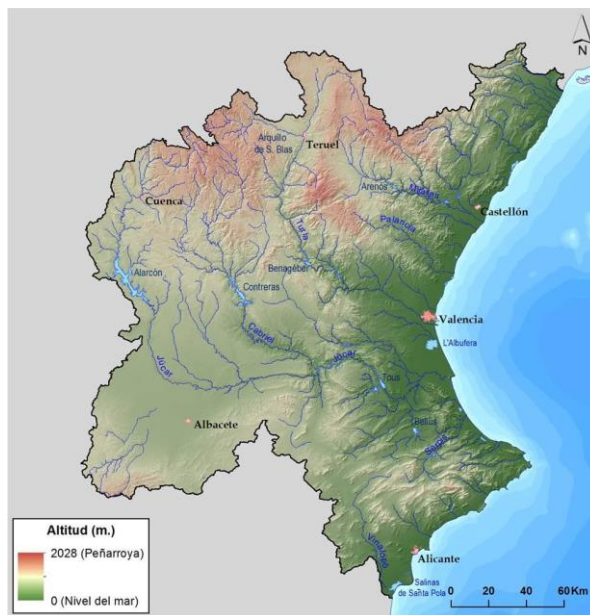


Figura 1: Mapa de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Fuente: CHJ

Su extensión total es de 42.989 km² y comprende las provincias de Tarragona, Teruel, Cuenca, Albacete, Castellón, Valencia, Alicante y Murcia. La Comunidad Valenciana comprende el 50 % del total de la superficie. Su ámbito comprende un total de 789 municipios.

La población total equivalente, según datos del año 2017 es de 5.506.000 habitantes, siendo población permanente 5.026.000 habitantes y la densidad media de población de 118 hab/km², con amplias diferencias de densidad entre las zonas costera y el interior.

El sector que aporta el mayor Valor Añadido Bruto al ámbito territorial es el sector servicios, seguido de la industria, agrario y energético casi por igual. En contraposición a ello, la agricultura de secano y de regadío ocupa 390.000 ha., siendo casi la mitad del ámbito territorial.

La demanda total consuntiva de agua es de 3.132 hm³/año según datos de 2017, con la demanda agraria como la mayoritaria.

DEMANDA TOTAL DE AGUA EN LA DHJ

■ Urbana ■ Agraria ■ Industria ■ Recreativa

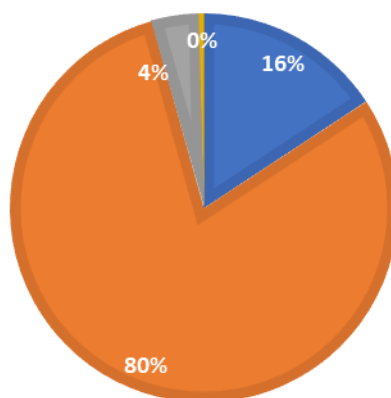


Figura 2: Demanda total de agua en la DHJ. Fuente: propia con datos de CHJ.

El sistema de explotación Júcar es uno de los 9 sistemas de explotación en los que se divide la Confederación Hidrográfica del Júcar. Comprende la cuenca completa del río Júcar y el área y servicios que atiende el canal Júcar Turia y las subcuencas litorales comprendidas entre la Gola de El Saler y el límite de los términos municipales de Cullera y Tavernes de la Valldigna. También incluye a la cuenca endorreica de Pozohondo, en Albacete. Su extensión es de 22.378 km², siendo la más extensa y la que más recursos tiene de la confederación

3.2 Río Magro

El río Magro es un afluente del río Júcar. Pasando por las localidades de Utiel, Requena, Yátova, Macastre, Turís, Montroy, Real de Montroy, Llombay, Alfarp, Catadau, Carlet, Alcudia, Guadassuar y Algemesí. Comienza a tomar la denominación de río Magro en las inmediaciones de la localidad de Utiel, donde confluyen la rambla de la Torre y el río Madre.

Su cuenca tiene una superficie total de Tiene una longitud total de 1543.7 km² y la longitud total del río desde la confluencia del río Madre y la rambla de la Torre hasta la desembocadura en Algemesí es de 127 km. La rambla de la Torre y el río Madre tienen una longitud similar, alrededor de 18 km.

Discurre por las masas de agua subterránea Requena-Utiel (80.133), Cabrillas-Malacara (80.139), Sierra del Ave (80.144), acuífero impermeable (80.912), la Contienda (80.143) y la Plana de Valencia Sur (80.142).

Aproximadamente en la mitad de su longitud se encuentra el embalse de Forata, construido en 1969 para abastecer el riego aguas abajo del mismo. Su capacidad es de 37 hm³. Aguas arriba del embalse tiene su desembocadura el río Mijares y aguas abajo el río Buñol.

Aguas arriba se sitúa también la estación de aforo de Requena, con código 8060.

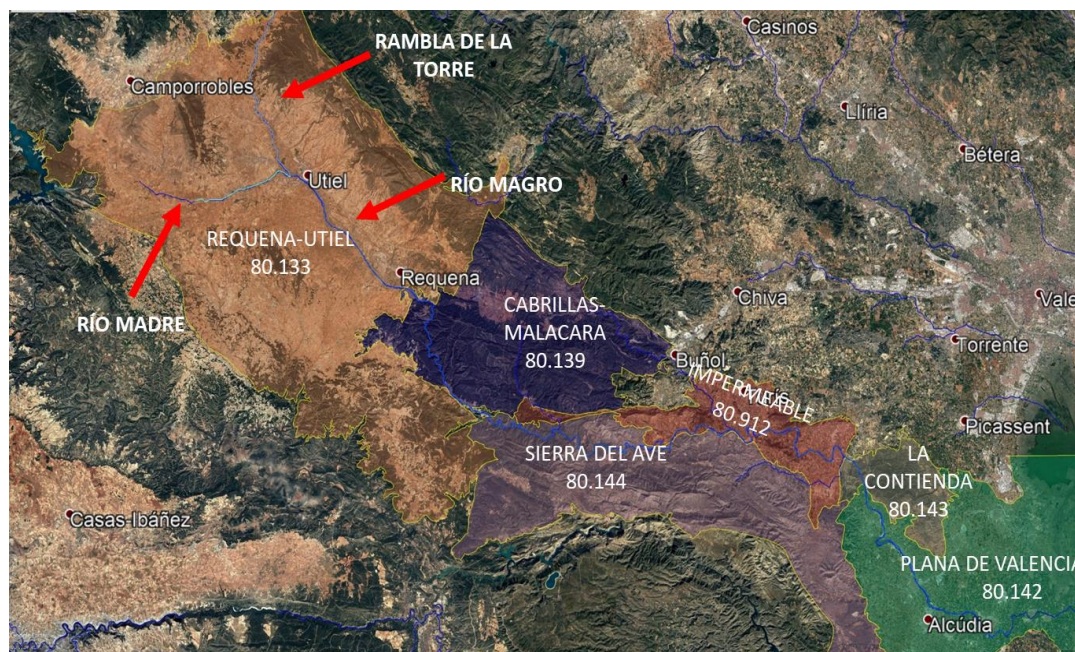


Figura 3: Río Magro con sus acuíferos. Fuente: propia

Las masas de aguas subterráneas que drenan agua al Magro hasta el embalse de Forata son fundamentalmente la de Requena-Utiel (080.133) y Cabrillas Malacara (08.139), por lo que el siguiente estudio se centrará en ellos por ser la zona donde tiene su origen la problemática planteada en la introducción

El sistema fluvial o de aguas superficiales es el siguiente: el río Madre, que históricamente ha sido considerado como el nacimiento del río Magro con sus fuentes en la localidad de Caudete de las Fuentes, se une cerca de la localidad de Utiel a la rambla de la Torre. Esta última siempre ha sido considerada como un cauce torrencial que únicamente drena caudal en situaciones de precipitación.

En esa unión de los dos afluentes nace lo que ya se conoce como río Magro, que discurrirá hasta el embalse de Forata y posteriormente hasta su desembocadura en Algemesí. Como afluentes del río Magro, con nacimiento en el acuífero Cabrillas-Malacara serían el río Mijares y el río Buñol. El primero desemboca en el magro aguas arriba del embalse de Forata y el segundo, aguas abajo.

El sistema está limitado en su zona sur por un pequeño río conocido en la zona como la rambla de Albosa, también conocido en organismos oficiales como río Romeroso o rambla de los Ruices. Este cauce tiene su nacimiento cerca de la localidad de Jaraguas, muy próximo al nacimiento del río Madre y desemboca en el río Cabriel.

En la parte norte una pequeña porción del río Reatillo pasa por el acuífero Requena-Utiel. Este río es afluente del río Turia.

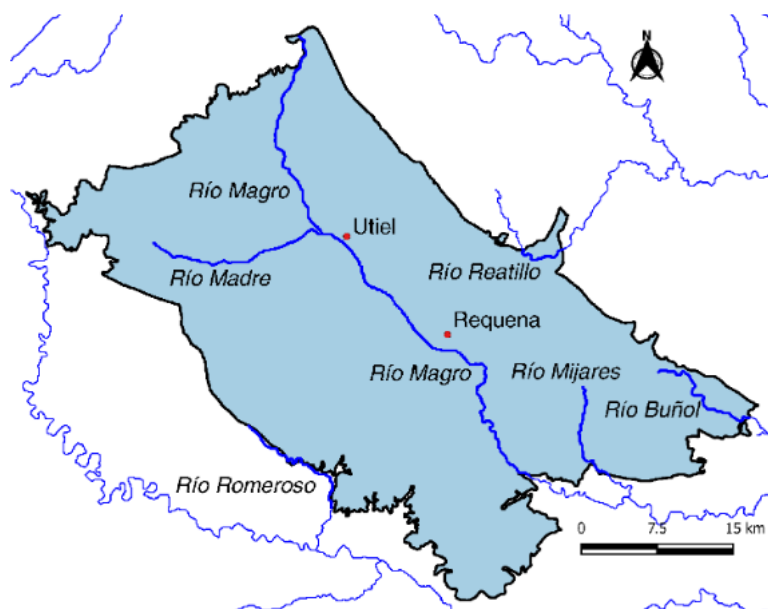


Figura 4: Red fluvial de los acuíferos 080.133 y 08.139 Fuente: IIMA 2019

4 Metodología

El objetivo fundamental del trabajo será conocer el funcionamiento del río Magro hasta el embalse de Forata y su conexión con los acuíferos que atraviesa, prestando especial atención a lo que ocurre en el acuífero Requena-Utiel ya que se ha observado una reducción considerable de los caudales en el aforo de Requena y en las entradas al embalse de Forata y no se ha podido establecer aún un mapa conceptual que explique el funcionamiento del sistema. Una vez se conozca realmente lo que ocurre, se podrá establecer un modelo conceptual que se validará mediante simulación matemática y que permitirá proponer medidas para la resolución de la problemática y el restablecimiento de la conexión río-acuífero.

En todo el trabajo se hablará de régimen natural y de régimen alterado. Como ya es conocido, el caudal en el río tanto en Requena como en Forata tiene dos períodos claros, uno hasta 1980 aproximadamente, cuando no existían bombeos significativos en la zona, y otro periodo en la actualidad, donde el caudal se ve muy reducido. Al primero será al que denominemos régimen natural y al segundo régimen alterado.

En primer lugar, se analizará la información disponible como la geología de la zona, se elaborarán perfiles topográficos del río para compararlos con los niveles piezométricos (también a analizar en este apartado). Es de vital importancia también considerar la localización de los manantiales y su estado actual, así como la información que proporcionan los aforos en funcionamiento (Requena y Forata). Las estaciones depuradoras de aguas residuales también proporcionarán información sobre caudales aportados al río que están fuera de los modelos de simulación y que es importante considerar. Es de destacar que no únicamente ha sido importante el trabajo de estudio o de análisis propiamente dicho, si no que el trabajo de campo pormenorizado en la zona también ha ayudado a establecer conclusiones importantes. Sin él, es complicado poder conocer el verdadero estado del río, de los manantiales y fuentes, las localizaciones de bombeos, etc. También han sido importantes las entrevistas con personas que habitan en lugares cercanos y que por su profesión o edad tienen una cierta vinculación con el sistema a analizar.

El siguiente paso será realizar un análisis piezométrico en comparación con el perfil del acuífero con los perfiles topográficos. Para ello se establecerá una

media de los niveles piezométricos tanto en régimen natural (sin bombeos) como en régimen alterado (con bombeos) y se contrastará con el perfil topográfico del río para poder ver el estado actual de la conexión río-acuífero. El análisis longitudinal se complementará con un análisis transversal de los acuíferos utilizando también como base el estudio piezométrico anterior. Este apartado aportará información sobre cómo es el movimiento del agua en el subsuelo, algo que también estará apoyado en las isopiezas y los mapas de sentido de flujo. Este análisis también reforzará las conclusiones de la conexión río-acuífero.

Toda la información quedará reflejada en un mapa conceptual que será el que ayude a comprender cómo funciona el sistema y qué ocurre en él.

Este modelo conceptual servirá para realizar una simulación matemática mediante el modelo de simulación hidrológica PATRICAL, utilizado en la demarcación hidrográfica del Júcar, que arrojará datos de caudales en los aforos de Requena y Forata y de los niveles piezométricos de la zona tanto en régimen alterado como en natural. Al compararlos con los niveles observados, se podrá determinar si el modelo conceptual se ajusta a la realidad de lo que ocurre entre el río y el acuífero.

Si finalmente el modelo conceptual es válido, se sabrá dónde actuar y de qué manera para poder mejorar la situación tanto de las masas de agua superficial como subterránea y recuperar la conexión río-acuífero en la zona.

Como el problema es complejo y depende de multitud de variables, también se establecerán posibles líneas de actuación futuras que modifiquen, rectifiquen y complementen el contenido de este trabajo.

5 Análisis de la información

En este apartado se analizará toda la información disponible y se comenzará a establecer algunas conclusiones que ayudarán a formular el siguiente apartado de manera correcta.

La geología, y más concretamente la hidrogeología, será de vital importancia a la hora de analizar los acuíferos, ya que su permeabilidad determinará cómo se mueve el agua dentro de ellos.

Seguidamente se analizará la topografía, tanto la general de la zona como la del río, que dará una idea de cómo es el flujo y su pendiente en la zona.

A continuación, se analizarán uno por uno los piezómetros existentes en la zona y se establecerán medias de periodos en régimen natural y alterado para contemplar los descensos piezométricos.

Fruto de ese estudio piezométrico y como complemento al mismo se analizarán las isopiezas para ver cómo es la superficie piezométrica del acuífero y cuáles son las principales líneas de dirección del flujo.

Fuera ya de analizar los piezómetros se localizarán espacialmente los manantiales para ver sus zonas de concentración y por tanto las surgencias de agua del sistema. También se complementa con trabajo de campo para observar el estado actual de los mismos.

Finalmente se analizarán los caudales, tanto los registrados en el aforo de Requena como en la entrada del embalse de Forata para observar lo que ocurre en régimen natural y en régimen alterado y sus diferencias.

5.1 Contexto hidrogeológico

La masa de agua subterránea 080.133 Requena-Utiel y 08139 Cabrillas-Malacara son las que fundamentalmente proporcionan agua al río Magro hasta la entrada al embalse de Forata. En su conjunto están limitadas por los límites definidos en el documento “Identificación y delimitación de masas de agua superficial y subterránea” (CHJ 2009). Estos son:

- Al este se encuentra la masa de agua subterránea 080.132 Las Serranías. Éstas se unen a la traza de cabalgamiento entre los municipios de Sinarcas y Buñol.
- Al sureste existe la masa de agua subterránea 090.140 Buñol-Cheste.
- A lo largo del límite oeste se encuentra la masa de agua subterránea 080.135 Hoces de Cabriel.
- Al norte se encuentran las formaciones cretácicas de la masa de agua subterránea 080.134 Mira.
- Al suroeste el límite es totalmente impermeable, siendo el flujo de transferencia completamente nulo.

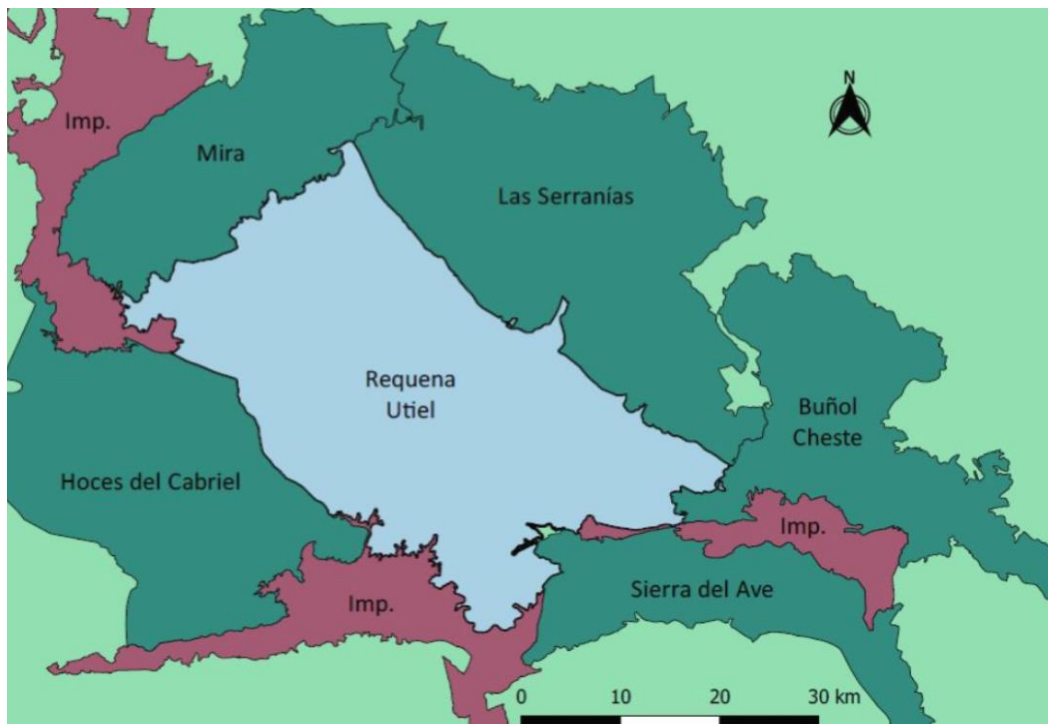


Figura 5: Límites hidrogeológicos. Fuente: CHJ 2009.

“Por unidad hidrogeológica se entiende uno o varios acuíferos agrupados a efectos de conseguir una racional y eficaz administración del agua” según el Reglamento de la Administración Pública el Agua y Planificación Hidrológica de 1988 en su artículo 2.2 incluyéndola como una herramienta de gestión, y que se

delimitarían poco después en toda la península en los Planes Hidrológicos de Cuenca.

Las unidades hidrogeológicas que se plantean en este estudio, basándose en las definidas por la CHJ en la Redacción del plan de explotación de la unidad hidrogeológica 08.24 “Utiel-Requena”, 2001 y obtenidas a partir de los datos litológicos de los que se disponen en la masa de agua de Requena-Utiel, son:

- “• Acuífero cuaternario: libre por naturaleza, compuesto por materiales detríticos del aluvial del Magro y glacis de la Sierra de Utiel
- Acuífero mioceno, dividido en dos sistemas:
 - Mioceno calcáreo: se trata como acuífero libre y está compuesto por calizas pontienses drenadas por materiales de borde.
 - Mioceno conglomerático de base: tiene un comportamiento característico de un acuífero confinado o semiconfinado, dependiendo de las zonas, y se compone de niveles alternantes de conglomerados y areniscas con tramos arcillosos y conglomerados de la formación terciaria.” (CHJ, 2001)

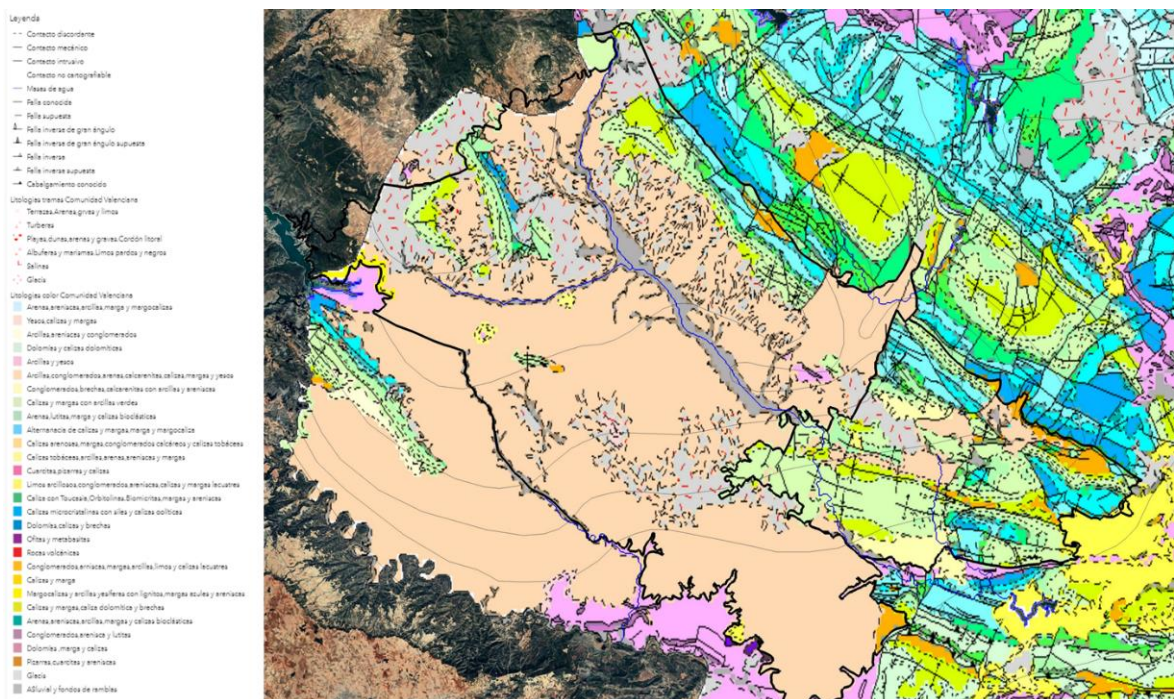


Figura 6: Mapa geológico de los acuíferos 080.133 y 08.139. Fuente: IGME 2017

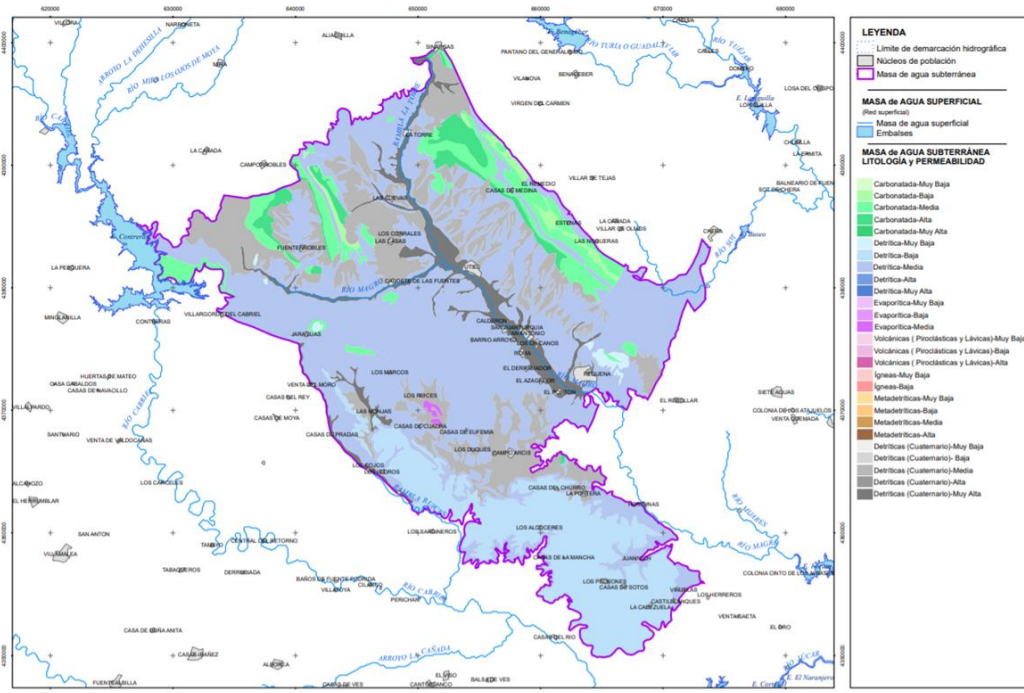


Figura 7: Mapa de permeabilidades. Fuente: IGME 2009

A partir de los mapas geológicos y de permeabilidad disponibles, se han determinado cuatro dominios hidrogeológicos principales que componen las masas de agua subterráneas y que se detallan a continuación.

- Dominio 1: consta de formaciones de una permeabilidad muy alta. Gravas, arenas, limos (depósitos aluviales, fondos de valle y terrazas bajas en los ríos principales).
- Dominio 2: se trata de formaciones de alta permeabilidad, entre las que destacan las arenas, margas y calizas.
- Dominio 3: son formaciones de permeabilidad media. Entre éstas se encuentran calizas y margas de menor tamaño de grano, y dolomías.
- Dominio 4: principalmente arcillas y yesos, aunque también se cuentan margas de aun menor tamaño de grano que en el caso anterior. Por ello, estas formaciones son consideradas de una permeabilidad baja.

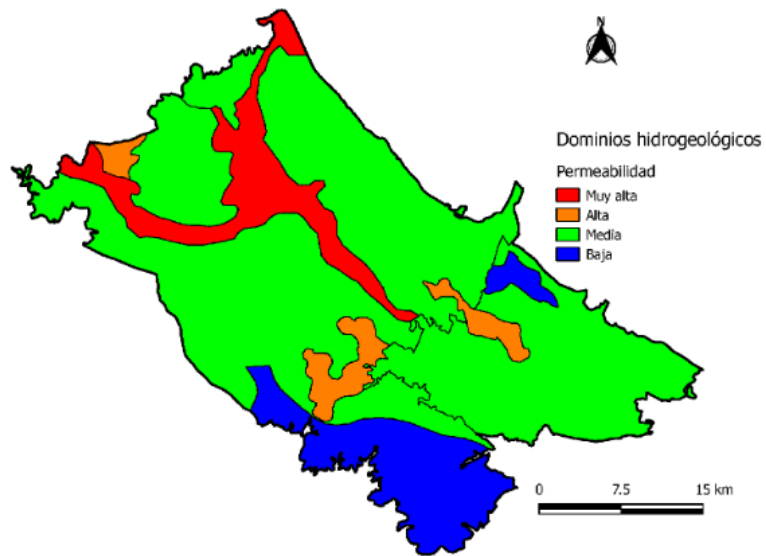


Figura 8: Dominios hidrogeológicos. Fuente: IIMA 2019

5.2 Perfil topográfico del río

En primer lugar, se analizará la topografía general del terreno en la zona de los acuíferos Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara, observando que la superficie topográfica del mismo tiene un rango de altitud entre 559 y 1020 m.s.n.m. La parte norte es la más alta con un fuerte descenso de la cota del terreno en la zona sur.

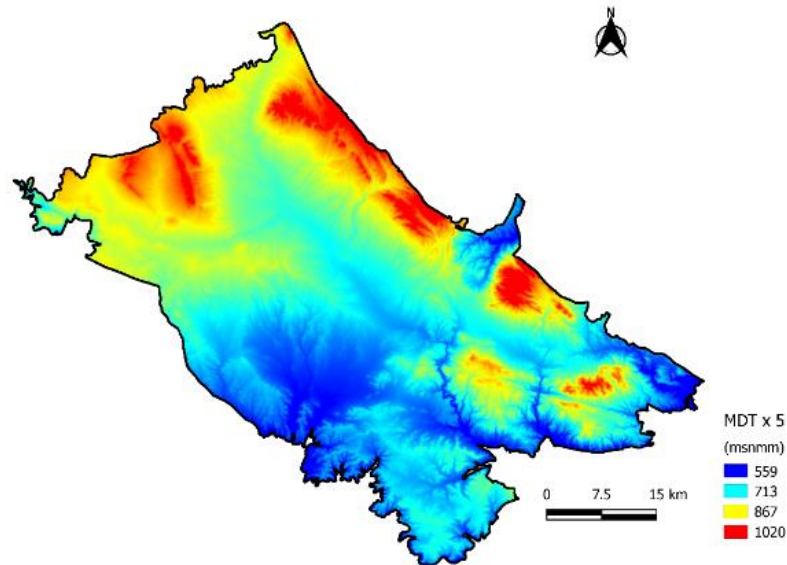


Figura 9: Modelo digital del terreno. Fuente: IIMA 2019.

Para poder analizar la conexión río-acuífero se ha realizado un perfil topográfico del cauce del río Magro completo con el objetivo de comparar su cota con la de los piezómetros en las inmediaciones. Se ha realizado en tres partes: el río Magro desde Utiel hasta la desembocadura en el Júcar en Algemesí y el río Madre y la rambla de la Torre hasta su confluencia en Utiel.

Como se aprecia en las anteriores figuras, en la cabecera del río hay un descenso de cota de aproximadamente 100 m. desde el nacimiento de la rambla de la Torre y el río Madre hasta la confluencia de ambos. Desde la confluencia hasta el aforo de Requena hay un descenso de cota de 100 m. y desde el aforo hasta el embalse de Forata de 200m.

Todo suma un total de un descenso de 500 m. en una longitud total de 80 km. Por lo que se puede estar hablando de un flujo con una fuerte pendiente y no plano, que será determinante para el funcionamiento del sistema.

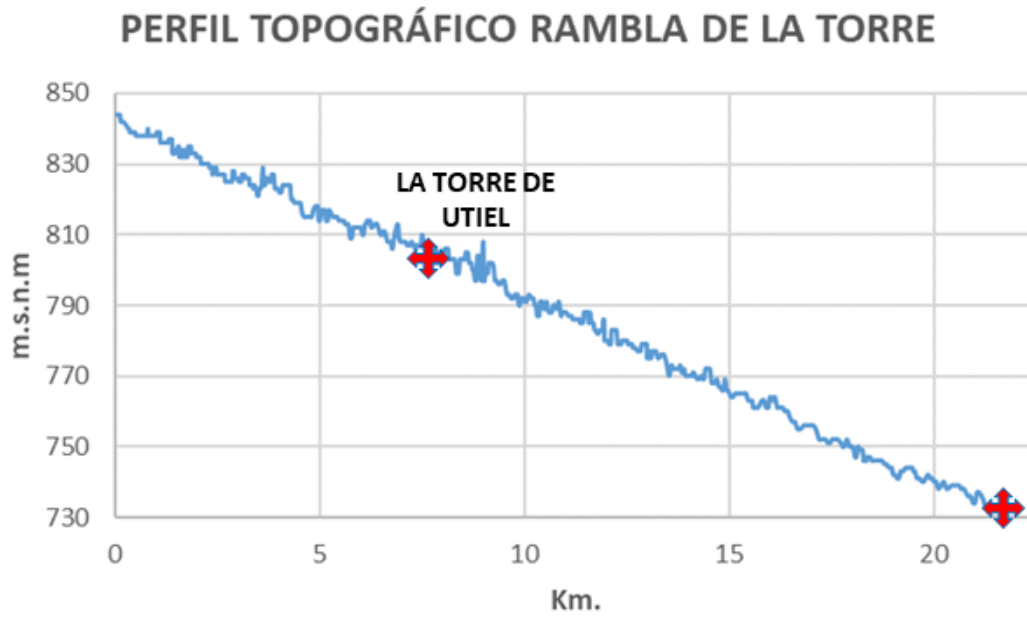


Figura 10: Perfil topográfico de la rambla de la Torre. Fuente: propia.

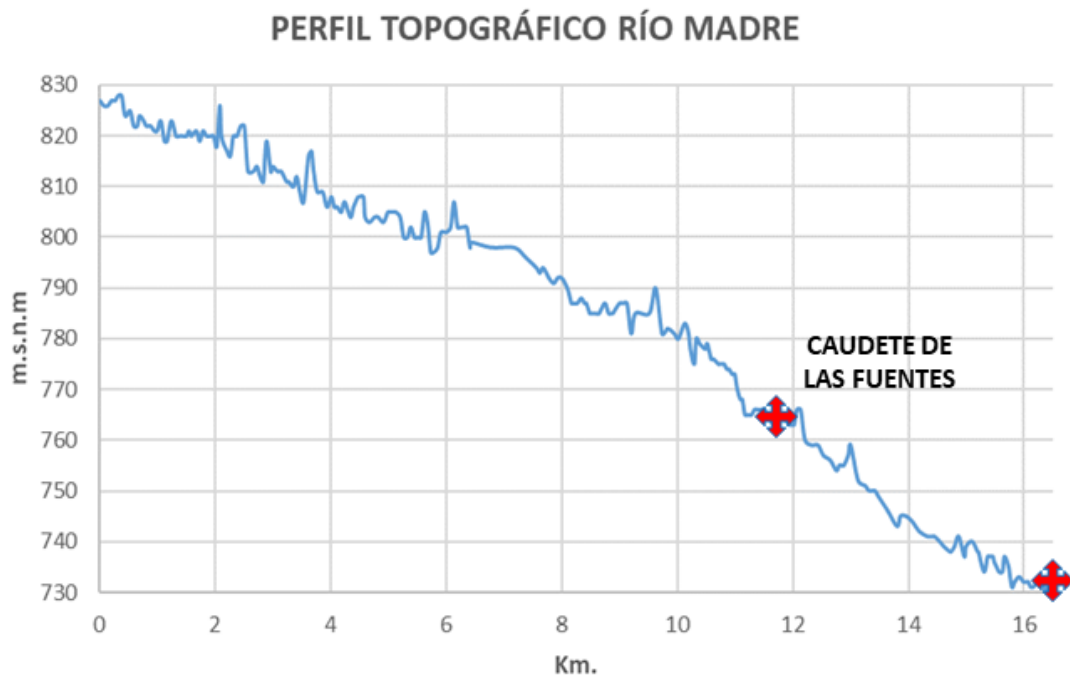


Figura 11: Perfil topográfico del río Madre. Fuente: propia.

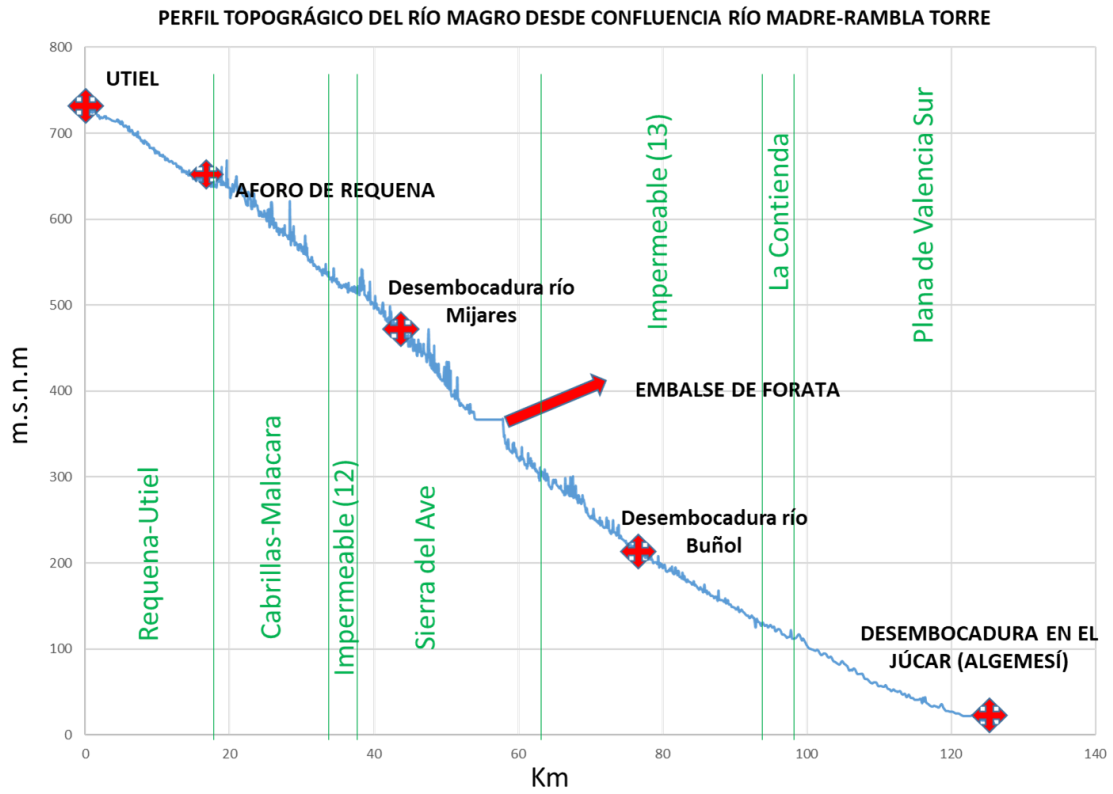


Figura 12: Perfil topográfico del río Magro. Fuente: propia.

5.3 Estudio piezométrico

Para el estudio de los niveles piezométricos se han utilizado los datos disponibles de los piezómetros de la red de la Confederación Hidrográfica del Júcar, tanto la operativa como la que está en desuso, para poder tener información próxima a lo que sería el régimen natural y el régimen alterado de las masas de agua subterránea. Los niveles se miden con frecuencia mensual y bimensual.

También merecen especial mención los piezómetros de la red representativa, que siendo de la red operativa, su información se considera representativa de la masa de agua.

Para ello se ha trazado una perpendicular al río que pase por el piezómetro y en su intersección el eje del río se ha considerado como su localización en el río. También se ha reflejado en cada gráfico la cota del terreno del punto en el que se encuentra el piezómetro.

Para cada piezómetro se han hallado las medias de periodos de tiempo de un mínimo de siete años, intentando corresponderse con la variación de caudales en los aforos de Requena y entrada de Forata para establecer el régimen natural (hasta 1980 aproximadamente) y el alterado (desde 2005 hasta la actualidad).

Para analizar esta masa de agua se estudiará por separado el río en tres tramos, como son la Rambla de la Torre, el río Madre y el río Magro, desde la confluencia de los anteriores en Utiel hasta que el río abandona la masa de agua subterránea.

Los piezómetros existentes son los siguientes:

Rambla de la Torre: 08.18.005, 08.24.033, 08.24.011, 08.24.012.

Río Madre: 08.24.007, 08.24.017 (sin datos), 08.24.018, 08.24.014, 08.24.031, 08.24.012.

Río Magro (desde Utiel hasta Requena): 08.24.012, 08.24.013, 08.24.005, 08.24.003, 08.24.010, 08.24.009, 08.24.022(sin datos), 08.24.032, 08.24.032.

5.3.1 Piezómetros de la rambla de la Torre

A lo largo de la rambla de la Torre se sitúan cuatro piezómetros distribuidos en toda la longitud del trazado. Según los testimonios orales, este cauce históricamente solamente ha recogido las aguas procedentes de escorrentía de la cuenca alta y la cuenca media, siendo frecuente encontrar caudal en la parte baja.

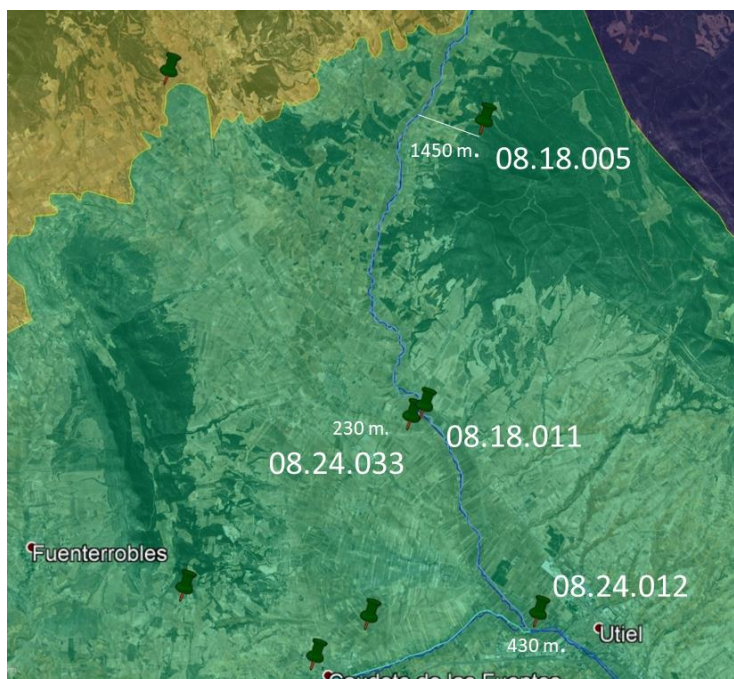


Figura 13: Localización de piezómetros de la rambla de la Torre. Fuente: propia.

- El piezómetro 08.18.005 está situado en la zona norte del acuífero, en la cabecera de la rambla de la Torre y a 1450 m. de esta. Contiene información desde el año 2007 a la actualidad, por tanto, no se pueden observar descensos o variaciones entre el régimen natural y el alterado, pero sí información de lo que ocurre en la actualidad.

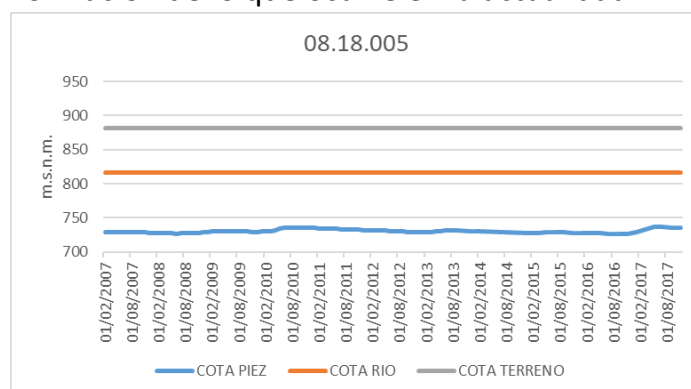


Figura 14: Evolución temporal del piezómetro 08.18.005. Fuente: propia.

- Los piezómetros 08.24.011 y 08.24.033 por su proximidad entre sí y al río ofrecen información de un mismo punto, aunque de períodos de tiempo diferentes. El primero recoge datos desde 1981 hasta 2007 y el segundo desde 2007 hasta la actualidad. La media de los primeros siete años y la de los últimos ofrecen un descenso de 4 m. en el nivel del acuífero.

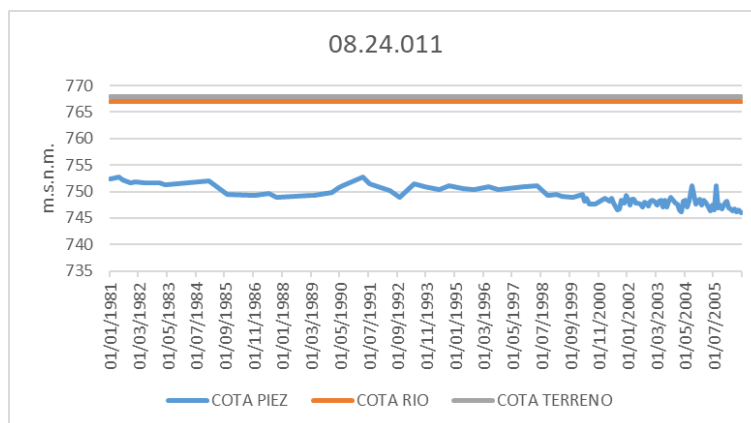


Figura 15: Evolución temporal del piezómetro 08.24.011. Fuente: propia.

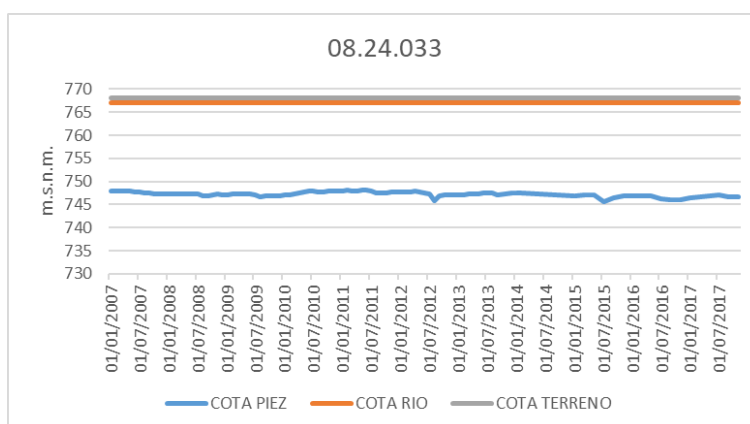


Figura 16: Evolución temporal del piezómetro 08.24.033. Fuente: propia.

- El piezómetro 08.24.012 solamente ofrece datos desde del periodo comprendido entre 1981 y 1996, pero aun así es significativo el descenso en tan corto período de tiempo, por tanto, la media de los primeros siete años y de los últimos ofrece un descenso de 2.5 m.

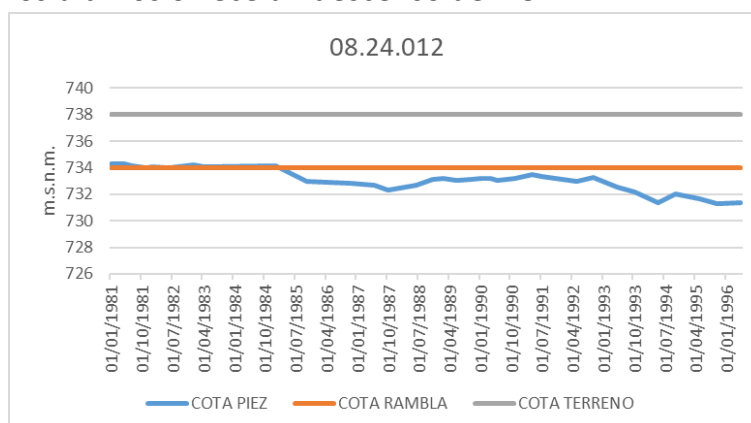


Figura 17: Evolución temporal del piezómetro 08.24.012. Fuente: propia.

5.3.2 Piezómetros del río Madre

El río Madre cuenta con seis piezómetros, de los cuales solamente cuatro proporcionan información válida. Así pues, se cuenta, como en el caso de la rambla de la Torre, de un piezómetro en la zona alta, dos en la zona media (en las inmediaciones de la localidad de Caudete de las Fuentes) y otro en la zona baja, que será el 08.24.012, ya utilizado en el caso de la rambla de la Torre y situado en la confluencia de las dos.



Figura 18: Localización de piezómetros del río Madre. Fuente: propia.

- El piezómetro 08.24.007, aunque bastante alejado de la cuenca, proporciona información de lo que ocurre en la parte alta de la cuenca. En los datos que ofrece desde 2001 hasta 2017, se observa un nivel piezométrico por debajo de la cota del terreno.

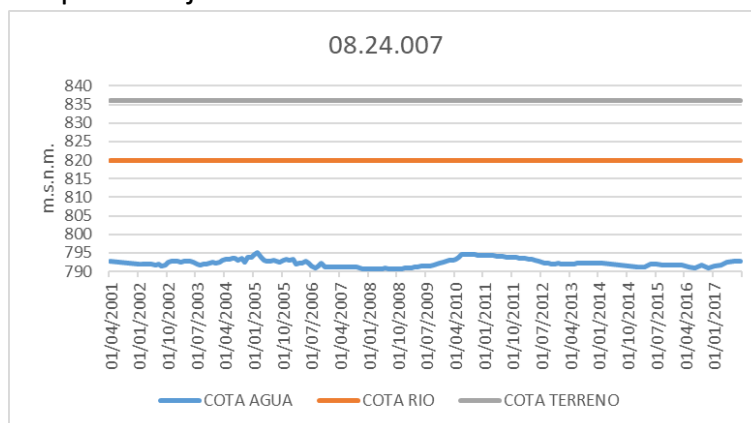


Figura 19: Evolución temporal del piezómetro 08.24.007. Fuente: propia.

- En los 08.24.031 y 08.24.014, situados en el cauce medio, ofrecen información de distintos periodos de tiempo que se complementan y están situados muy próximos entre sí. Requieren especial atención ya que están situados en las inmediaciones de la localidad de Caudete de las Fuentes,

cuyo uno de sus principales atractivos turísticos son dos fuentes llamadas la Fuente Grande y la Fuente Chica, cuyos manantiales se han secado en la actualidad. Los datos del 08.24.031 dan información del régimen natural y los del 08.24.031 del régimen actual. Siguiendo la misma metodología que para la rambla de la Torre, se observa un descenso de 2 m. en el nivel piezométrico, cayendo por debajo del perfil topográfico del río, por lo que la desconexión con el río está en una situación límite. El piezómetro 08.24.031, muy próximo a las fuentes, puede ser un indicador de lo que ocurre en ellas.

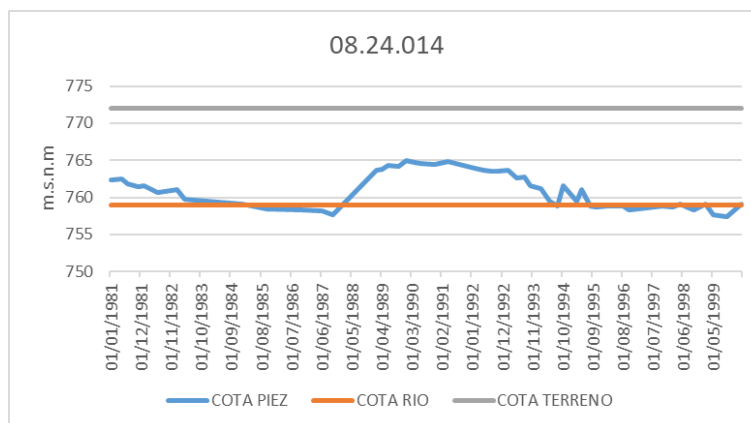


Figura 20: Evolución temporal del piezómetro 08.24.014. Fuente: propia.

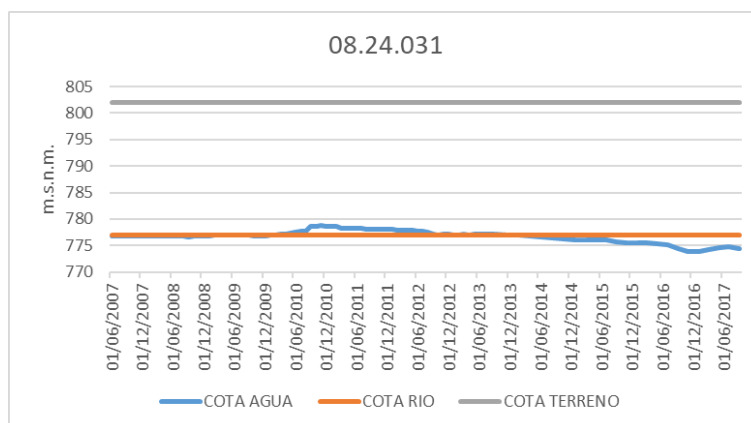


Figura 21: Evolución temporal del piezómetro 08.24.031. Fuente: propia.

- El piezómetro de la confluencia con la rambla de la Torre revela un descenso piezométrico hasta el año 1997 de 2.5 m., sin disponer de datos actuales.

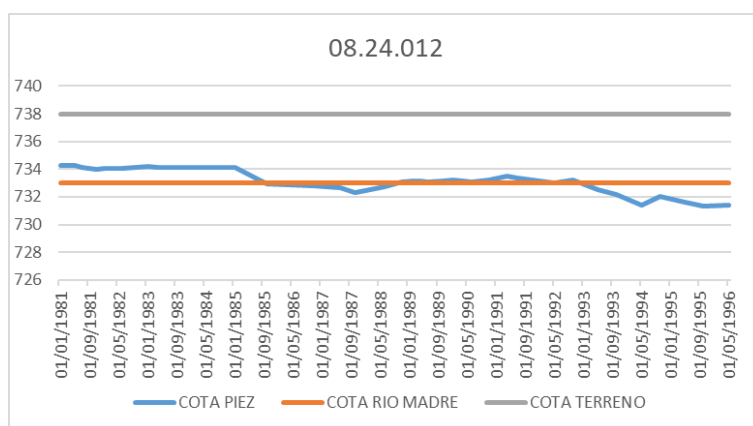


Figura 22: Evolución temporal del piezómetro 08.24.012. Fuente: propia.

5.3.3 Piezómetros del río Magro desde Utiel hasta Requena

En este apartado se analizará únicamente el tramo del río Magro situado desde la confluencia de la rambla de la Torre y el río Madre en las inmediaciones de Utiel hasta que el río abandona la masa de agua subterránea de Requena-Utiel (08.133).

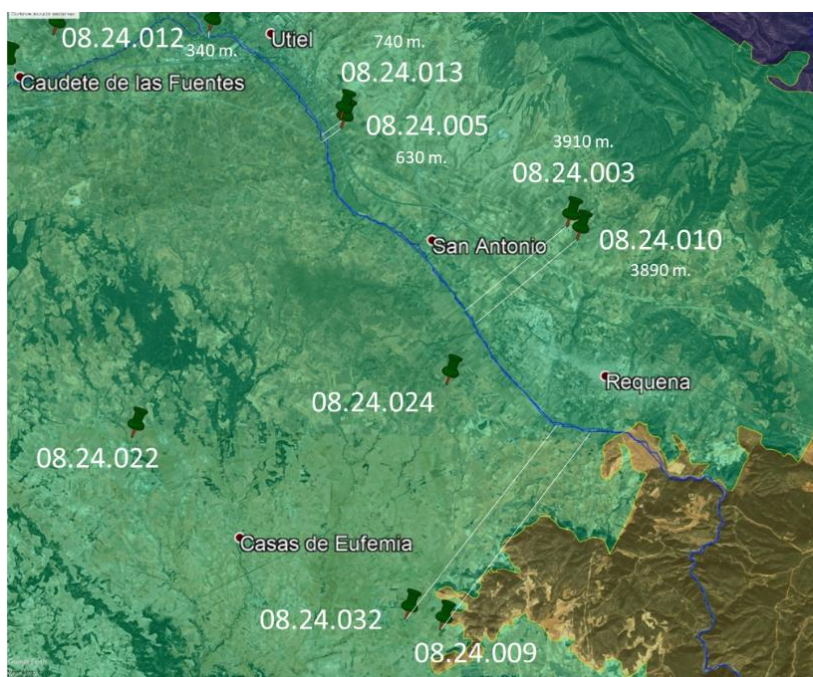


Figura 23: Localización de piezómetros del río Magro. Fuente: propia.

En la figura siguiente hay un total de nueve piezómetros que cubren la zona, de los cuales 08.24.022 no dispone de datos y 08.24.024 solo dispone de un dato. Del resto de piezómetros, 08.24.005, 08.24.012 y 08.24.013 están en las proximidades del río (menos de 750 m.) mientras que 08.24.003, 08.24.009, 08.24.010 y 08.24.032 están situados a distancias considerables del río, pero

proporcionan información muy válida a la hora de trazar un perfil terreno-acuífero perpendicular al río que se tratará más adelante.

- El piezómetro 08.24.012, en la zona cercana a la confluencia en Utiel, pese al descenso piezométrico ocurrido de 1981 a 1997, la cota del río queda por debajo de la cota piezométrica y se mantiene la conexión del río.

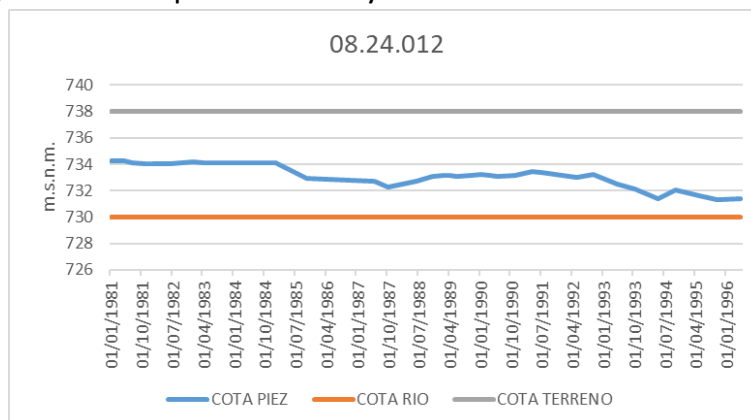


Figura 24: Evolución temporal del piezómetro 08.24.012. Fuente: propia.

- Aguas abajo se encuentran dos piezómetros muy cercanos como son el 08.24.013 y el 08.24.005. Este último ofrece información desde 1981 hasta la actualidad, y siguiendo la metodología anteriormente descrita se aprecia un descenso piezométrico de 2 metros. En el piezómetro 08.24.013 el descenso entre el año 1981 y 2000 es de un metro. Al compararlo con el perfil topográfico del río Magro se observa un tramo de conexión y posteriormente y cercano a los últimos piezómetros nombrados, la desconexión-conexión intermitente.

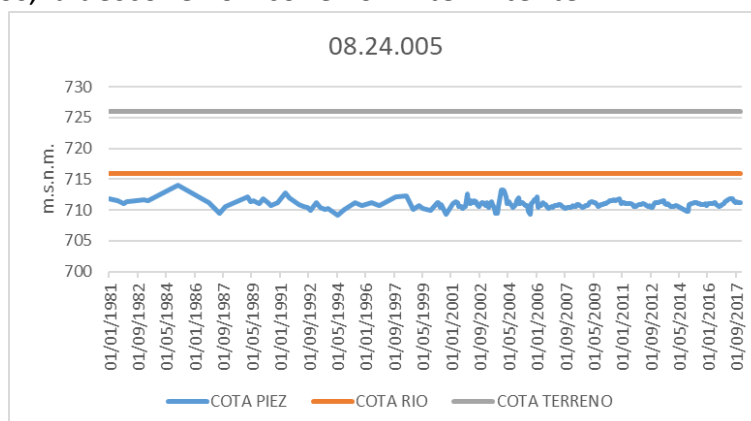


Figura 25: Evolución temporal del piezómetro 08.24.005. Fuente: propia.

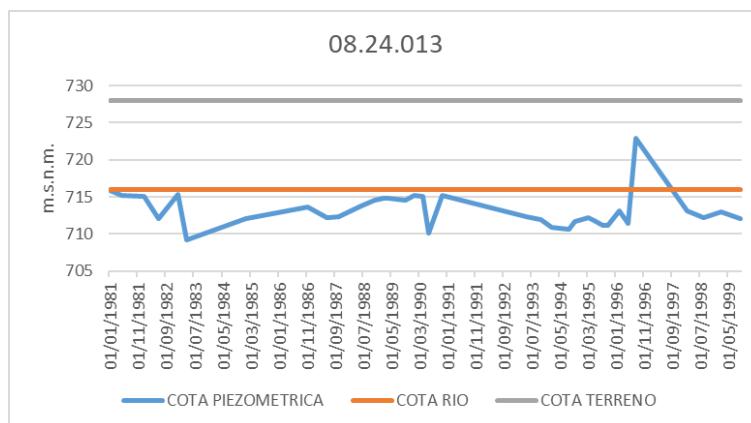


Figura 26: Evolución temporal del piezómetro 08.24.013. Fuente: propia.

Los siguientes piezómetros, muy separados del río, carecen de información relevante para el perfil río-acuífero al estar muy alejados del cauce del río Magro, pero al observar los niveles piezométricos y su evolución, da una idea de lo interesante de trazar cortes transversales al acuífero para observar cómo se mueve el agua en el mismo.

- Los piezómetros 08.24.003 y 08.24.010 están situado en la falda de la Sierra del Negrete, a una distancia de aproximadamente 3 km. del cauce del río Magro. El primero proporciona datos desde 2007 hasta la actualidad, mientras que el segundo da información desde 1891 hasta hoy en día. De los datos de 08.24.010 se observa un descenso de 17 m. en el nivel piezométrico, lo que contrasta con la estabilidad del piezómetro 08.24.003, por lo que sería conveniente una revisión del funcionamiento.

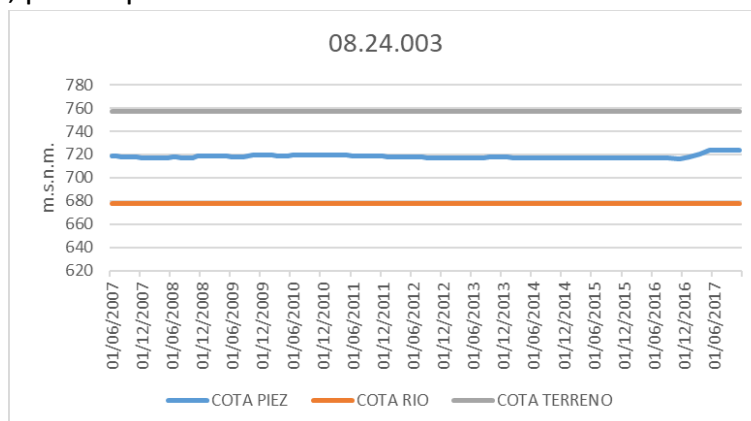


Figura 27: Evolución temporal del piezómetro 08.24.003. Fuente: propia.

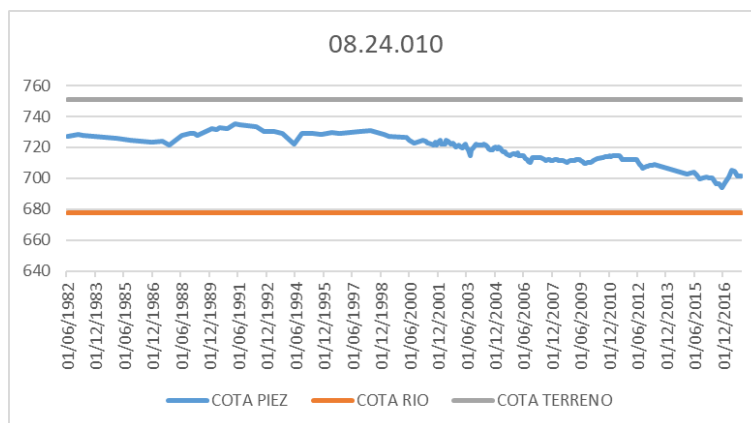


Figura 28: Evolución temporal del piezómetro 08.24.010. Fuente: propia.

- En la zona sur del acuífero se encuentran los piezómetros 08.24.009 y 08.24.032. En ambos se aprecia cierta estabilidad piezométrica a excepción de una caída de 20 m. en el piezómetro 08.24.032 pero que luego se recupera al nivel habitual. Pese a su proximidad y tener una diferencia en los niveles de alrededor de 40m. también sería conveniente una revisión de los piezómetros y la información que proporcionan.

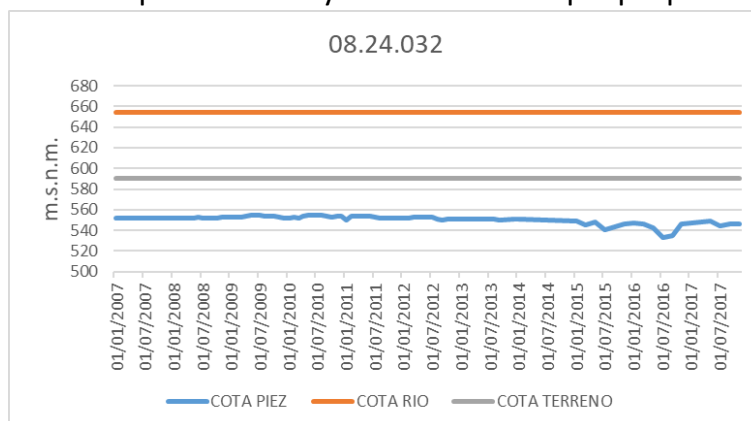


Figura 29: Evolución temporal del piezómetro 08.24.032. Fuente: propia.

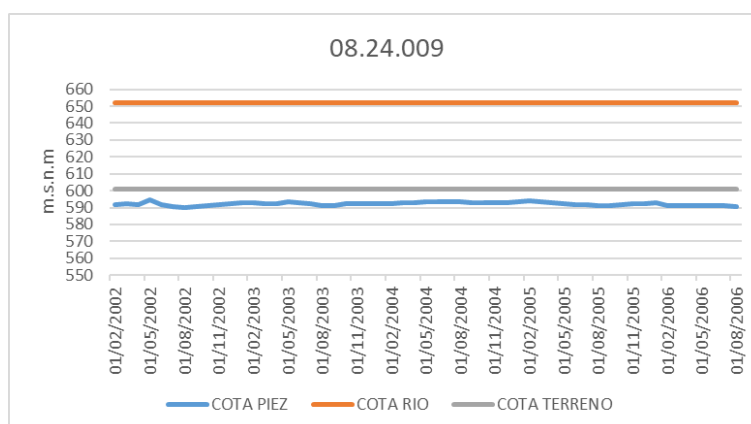


Figura 30: Evolución temporal del piezómetro 08.24.009. Fuente: propia.

5.3.4 Piezómetros del acuífero Cabrillas-Malacara

Aunque el estudio se centra sobre todo en lo que ocurre en el acuífero 08.133, también es interesante analizar lo que ocurren en los piezómetros del acuífero 08.139 Cabrillas-Malacara. Se dispone de dos piezómetros: 08.18.003 y 08.18.086, ambos en la zona norte y lejanos a los cauces del río Buñol y Mijares.

Los dos proporcionan información únicamente desde el año 2010, por tanto, información del régimen alterado y en ellos no se aprecia ningún descenso considerable.

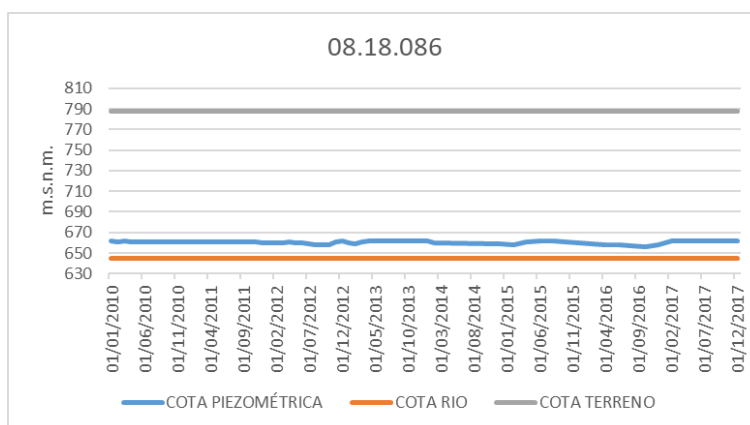


Figura 31: Evolución temporal del piezómetro 08.18.086. Fuente: propia.

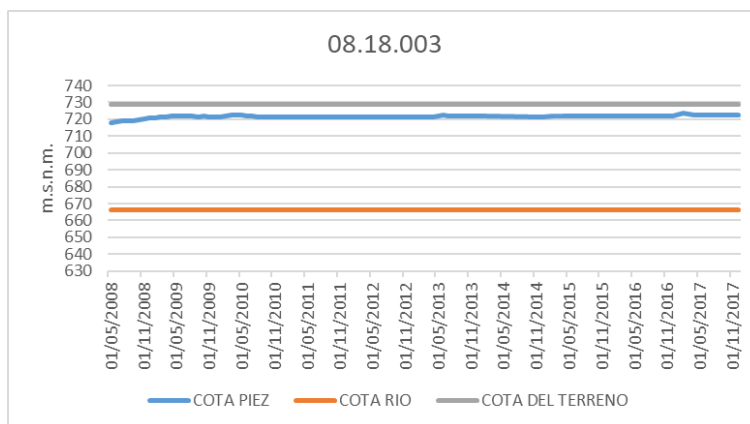


Figura 32: Evolución temporal del piezómetro 08.18.003. Fuente: propia.

5.4 Análisis de mapas de isopiezas

Para este apartado se ha tomado como base los mapas de isopiezas editados por el IGME y la CHJ. Se denomina *isopiezas* al lugar geométrico de los puntos con el mismo nivel piezométrico.

En primer lugar, el IGME ofrece un mapa de isopiezas realizado con datos de los años 1970 a 1974, por tanto, es representativo de lo que ocurre en régimen natural. En este periodo se observa un descenso piezométrico en el acuífero Requena-Utiel de 400 m. (desde los 800 m.s.n.m. de la zona norte hasta los 400 m.s.n.m. en la zona sur). Se tratan de isopiezas paralelas tanto al río Magro como al río Madre, por tanto, la dirección del flujo de agua será perpendicular a los mismos, que lo interceptarán. No ocurre lo mismo en la rambla de la Torre, siendo el flujo perpendicular a la misma hasta la parte baja. La dirección general del flujo se puede decir que es norte-sur.

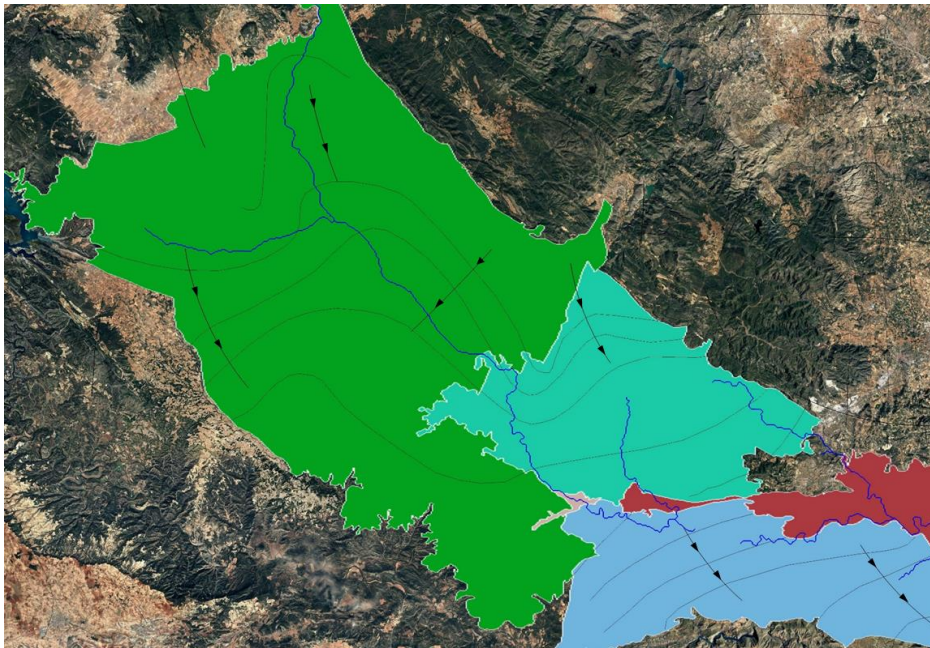


Figura 33: Mapa de isopiezas en régimen natural. Fuente: IGME

Para lo que ocurre en régimen alterado se dispone de dos mapas de isopiezas. Uno dado por la CHJ en 2005 y otro por el IGME en 2008. En ellos se puede observar un descenso piezométrico total en el acuífero de 500 m. (desde 800 m.s.n.m. en la parte norte hasta los 300 m.s.n.m. en la zona sur). EL flujo continúa siendo norte-sur y en las isopiezas se observa una ligera tendencia a ser perpendiculares al río Magro, por lo que el flujo de agua también será ligeramente paralelo al río.

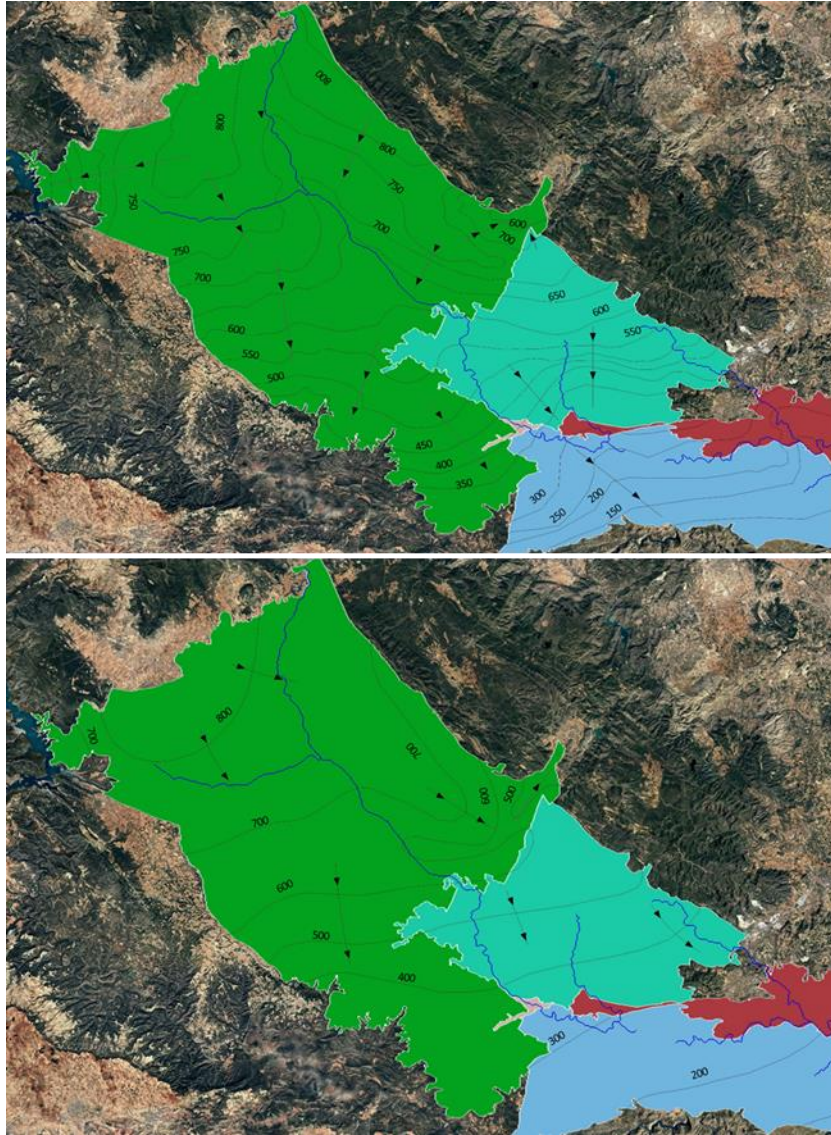


Figura 34: Mapa de isopiezas en régimen alterado. Fuente: CHJ 2005
Figura 35: Mapa de isopiezas en régimen alterado. Fuente: IGME 2008

5.5 Manantiales

Se han representado geográficamente los manantiales dentro del acuífero para poder ver su concentración y su localización dentro de éste para poder situar los puntos de concentración de salidas de agua y por tanto el flujo de agua en el mismo. Las localizaciones de los manantiales son las siguientes:

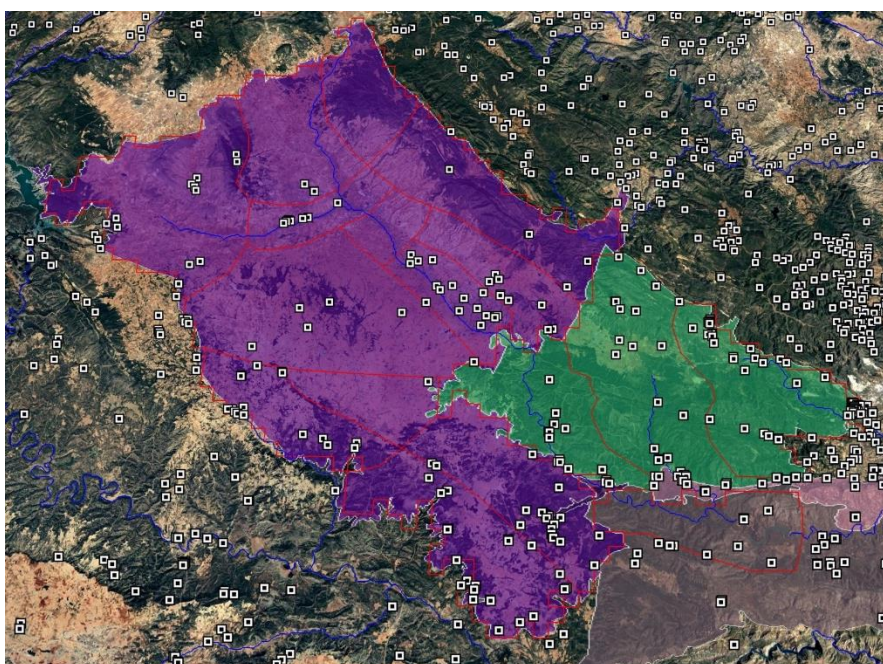


Figura 36: Mapa de manantiales en los acuíferos 080.133 y 080.139. Fuente: propia, datos CHJ

Se puede observar una concentración de manantiales en la zona de la confluencia del río Madre y la Rambla de la Torre, otra próxima a la ciudad de Requena y en la zona sur del acuífero Requena-Utiel. En el acuífero Cabrillas-Malacara también se observa concentración de manantiales en la zona sur. Ambos datos están en consonancia con las direcciones del flujo dadas por las isopiezas elaboradas por el IGME y la CHJ tanto para el régimen natural como en el alterado.

Paralelamente se ha realizado un trabajo de campo que permite conocer el estado actual de esos manantiales, a continuación, se muestran algunas fotografías de ese estado:

Zona de Caudete de las Fuentes: actualmente los manantiales se han secado en la zona. La prueba más evidente son la Fuente Chica y la Fuente Grande, donde por tradición se ha considerado siempre por los habitantes de la zona como el nacimiento del río Magro.



Figura 37: Fuente Grande. Caudete de las Fuentes. Mayo 2019. Fuente: propia

Zona entre Utiel y Requena: en esta zona se observa que los manantiales no se han secado por completo como ocurre con la zona de Caudete de las Fuentes y la confluencia de los ríos Madre y rambla de la Torre, pero el caudal es muy pequeño.



Figura 38: Fuente de la Orza. Requena. Mayo 2019. Fuente: propia

Zona sur del acuífero: la parte sur del acuífero está delimitada por la conocida en la zona como rambla de Albosa, en la que también se concentran buen número de manantiales y un caudal considerable de la misma. Más hacia el sur se encuentra la fuente de los Morenos, en una zona a la que según las líneas de flujo se dirige el agua en el acuífero. El caudal en la fuente de los Morenos es

muy abundante e inusual para lo observado en el resto de fuentes y manantiales de la zona.



Figura 39: Rambla de Albosa. Requena. Octubre 2019. Fuente: propia
Figura 40: Fuente de los Morenos. Requena. Octubre 2019. Fuente: propia

Zona sur de Cabrillas-Malacara y límite con Requena-Utiel: en esta zona también se concentran manantiales, pero con un caudal de agua mucho menos que el citado en la fuente de los Morenos. Si que es considerable el caudal que circula por el río Mijares, afluente del Magro.



Figura 41: Rio Mijares. Octubre 2019. Fuente: propia

5.6 Aforos

En la zona a analizar se cuenta con dos aforos que proporcionan información del caudal que circula por el río. El primero sería el aforo de Requena, con código 8060 y el aforo de entrada al embalse de Forata.

Del aforo de la entrada de Forata se disponen de datos desde la construcción del pantano (1968) hasta la actualidad, mientras que del aforo de Requena solamente se disponen datos de un período comprendido entre 1940 y 1979, y desde 2004 hasta la actualidad, por tanto, se utilizarán los datos de los periodos coincidentes, siendo el primero 1968-1979 el correspondiente al régimen natural y el segundo, desde 2004 el régimen alterado. Para trabajar se han tomado valores medios de dichos ciclos.

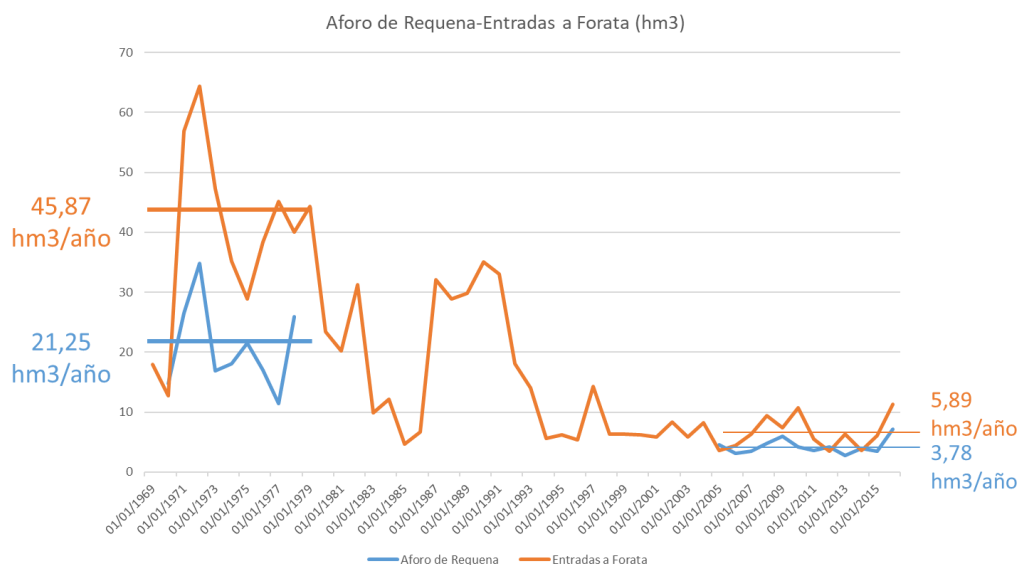


Figura 42: Caudal aforado en Requena y el embalse de Forata. Fuente: propia, datos CHJ

Analizando los datos, se puede observar que en el aforo de Requena y en régimen natural, los caudales son aproximadamente la mitad que en la entrada al embalse de Forata. En régimen alterado (actualidad) no ocurre lo mismo, si no que los valores registrados en el embalse de Forata son muy similares a los que se registran en el aforo de Requena. Si comparamos los caudales en régimen natural y alterado para Requena y Forata, en el primer caso supone una reducción de un 83 % y en el segundo del 89 %.

5.7 Caudales E.D.A.R

En régimen alterado es significativo considerar el caudal que proporcionan las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), ya que suministrarán un caudal constante que será medido por los aforos junto al caudal propio del río. Se consideran solamente en el régimen alterado ya que en el natural no estaban operativas y por tanto no proporcionaban caudal al río.

En el tramo entre el nacimiento del río Magro y el embalse de Forata hay un total de cuatro E.D.A.R. En el río Madre la encargada del saneamiento de Caudete de las Fuentes, aguas abajo la que se ocupa de las aguas residuales de la ciudad de Utiel y antes de llegar al aforo de Requena la encargada del saneamiento de las aldeas de Requena. Aguas abajo del aforo de Requena, vierte caudal la EDAR de Requena. A continuación, se muestran los caudales de cada una de ellas.

De los datos aportados por los aforos y de los caudales de las EDAR, se puede concluir que, si por el aforo de Requena pasan en la actualidad 3,78 hm³/año y 0,936 hm³/año proceden, el caudal base del río será de 2,84 hm³/año. Y si al embalse de Forata entran 5,89 hm³/año y 2,556 hm³/año son de las EDAR, el caudal base del río a la entrada del embalse será de 3,334 hm³/año, tan solo 0,49 hm³/año más que en Requena, que se generarán entre los dos aforos.

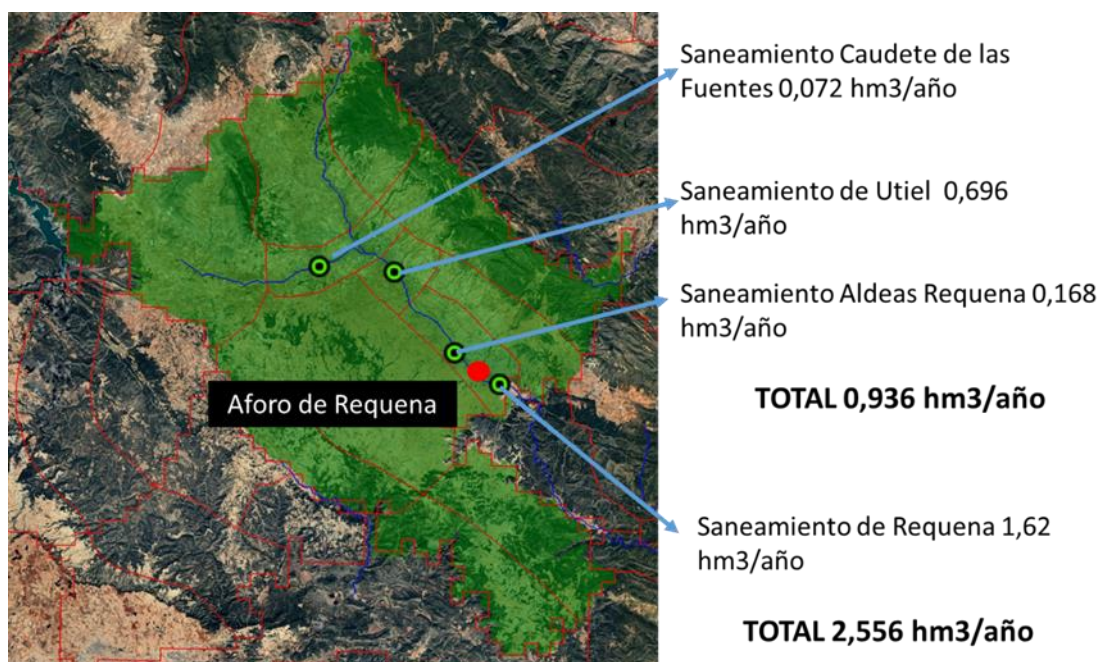


Figura 43: Localización y caudales de las EDAR. Fuente: propia, datos CHI

También sería recomendable aforar el caudal que se vierte por la rambla de San Antonio que procede de una EDAR de una embotelladora de agua mineral. Este caudal no se ha podido cuantificar para este estudio.

6 Análisis de la conexión río-acuífero

Este apartado se desarrollará en dos partes principales que tendrán como fuente principal la información analizada en el apartado 5.

Primeramente, con los datos obtenidos en el análisis piezométrico del apartado 5.3 y el perfil topográfico del río del apartado 5.2, se elaborarán unos perfiles que compararán el nivel del río con el nivel del acuífero tanto en régimen natural como en régimen alterado. Al comparar estos dos niveles se puede determinar cuál es el estado actual de la conexión río-acuífero y cómo ha evolucionado entre el régimen natural y el alterado.

Seguidamente se realizarán perfiles transversales al acuífero. Estos tienen como objetivo fundamental obtener información y conclusiones sobre el movimiento de agua dentro del acuífero, pero también reforzarán lo obtenido en el primer apartado sobre la conexión río acuífero.

Con las conclusiones del apartado 5, y lo obtenido en la relación río-acuífero y la dirección del flujo, se podrá realizar un modelo conceptual que indique cómo funciona el sistema.

6.1 Comparación del nivel del acuífero con el nivel del río

El objetivo de este primer apartado es intentar hacer una representación del nivel de agua en los acuíferos tanto en régimen natural como en alterado frente al nivel del río. Al comparar el acuífero con el río se podrá observar tanto la evolución del nivel del agua en el acuífero como su conexión-desconexión con el río.

El punto en el que se encuentra el piezómetro en el río se realizó mediante una perpendicular al río que pase por el piezómetro, al ser las distancias entre los piezómetros utilizados y el cauce lo suficientemente pequeñas como para poder asumirlo.

6.1.1 Conexión río-acuífero de la rambla de la Torre

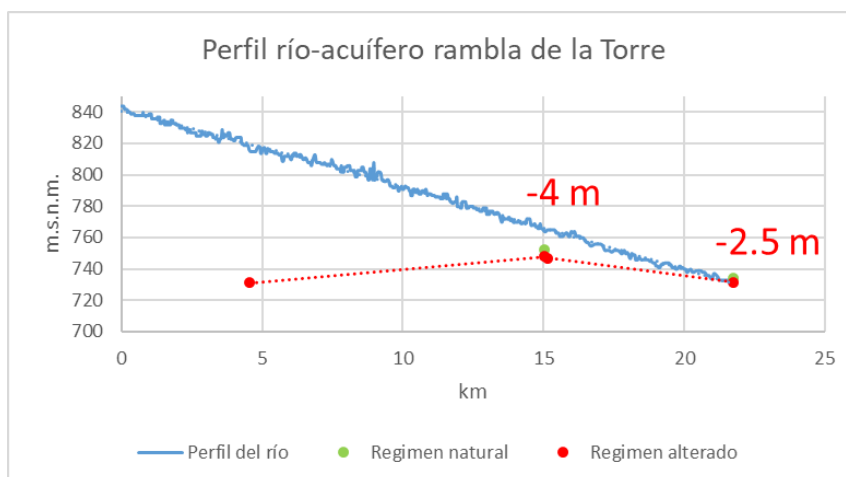


Figura 44: Conexión río-acuífero rambla de la Torre. Fuente: propia

Es de especial importancia analizar esta zona al detalle, pues con los datos del piezómetro 08.24.011 y 08.24.012, al compararlos con el perfil topográfico de la rambla de la Torre se observa que en el régimen natural la rambla estaba conectada en el último tramo, mientras que en el período próximo a 1996 se podría haber desconectado. Sin embargo, para lo que sucede en la actualidad se carece de datos de la zona baja del cauce, por tanto, es importante considerar volver a poner en funcionamiento el piezómetro 08.24.012 o colocar otro en las inmediaciones para conocer qué ocurre actualmente.

Los descensos piezométricos están entre los 4 y los 2.5 metros en el piezómetro 08.24.012. Este último solamente proporciona información hasta

1997, por lo que el descenso en la actualidad podría ser mayor, aumentando y haciendo más evidente la desconexión.

Al observar los datos de los tres puntos donde se realizan mediciones, se observa también que, en el punto de la zona alta del cauce, en el que la cota del terreno es superior al resto, la cota piezométrica está por debajo de la del punto de la zona media, de menor cota topográfica, por tanto es necesario revisar si es un error de medida o porque en la zona hay unas condiciones concretas que hacen que así sea.

Las fotografías también pueden dar información en tiempo real de lo que en la actualidad ocurre, y es que, en las inmediaciones de los tres piezómetros, la rambla discurre sin caudal en la actualidad.



Figura 45: Rambla de la Torre. Mayo 2019. Fuente: propia

6.1.2 Conexión río-acuífero del río Madre

Al trazar una aproximación de lo que sería la superficie piezométrica frente al perfil del río, se observa que el descenso provocado en el nivel desde Caudete de las Fuentes a la confluencia está provocando continuas desconexiones y conexiones del acuífero con el río, algo que no ocurriría el régimen natural, cuando el río estaba completamente conectado en ese tramo. Los descensos están entorno a los 2 metros, pero en la zona de la confluencia, al no disponer de datos actuales, el descenso actual podría ser mucho mayor.

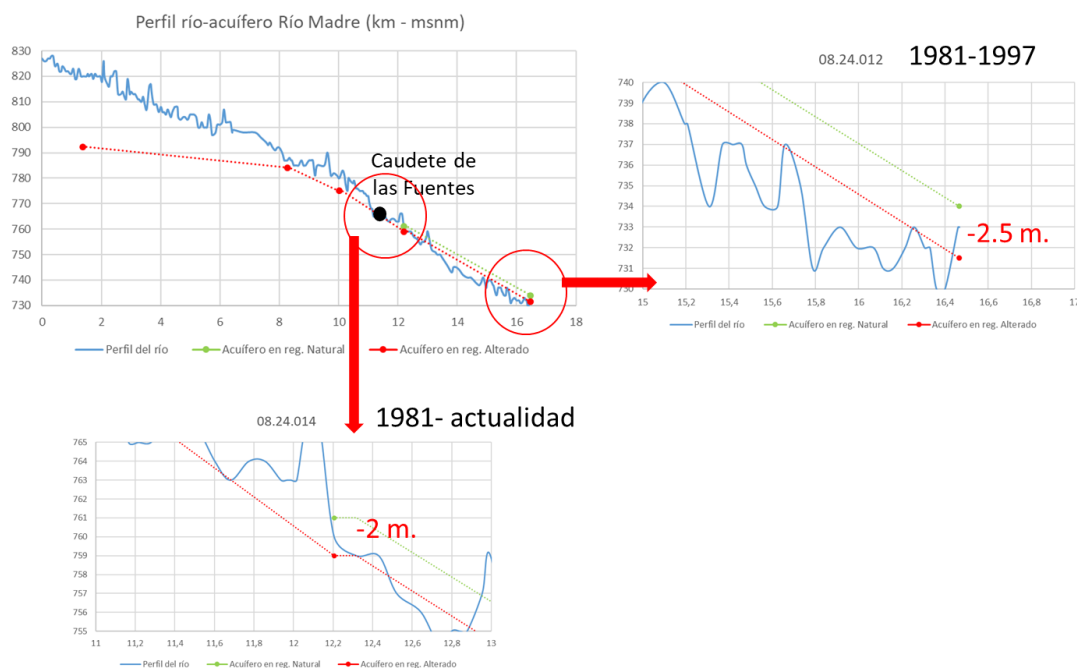


Figura 46: Conexión río-acuífero del río Madre. Fuente: propia

Otro aspecto importante que destacar es el desvío del caudal del río realizado desde un pequeño azud situado en Caudete de las Fuentes, que hace que gran parte del caudal se utilice para el riego de la zona de huerta y vid situada entre Caudete de las Fuentes y Utiel, con continuos retornos al río desde la acequia, llegando a desembocar en la confluencia de la rambla de la Torre con el río Madre.

Con los datos obtenidos, únicamente se podrá establecer una representación del perfil del río frente al nivel de agua en los piezómetros en la zona más próxima a la confluencia del río Madre y la rambla de la Torre, siendo la situación en régimen alterado de continuas conexiones y desconexiones frente a la conexión estable del río con el acuífero en régimen natural.

Si se observa la situación actual del río, se observa muy poco caudal en el cauce, reduciéndose notablemente desde las localidades de Caudete a Utiel.



Figura 47: Río Magro. Caudete de las Fuentes. Mayo 2019. Fuente: propia

6.1.3 Conexión río-acuífero del río Magro entre Requena y Utiel

En este tramo solamente se compararán con el río los piezómetros más próximos a este, es decir, los que están en la parte alta del cauce y próximos a la zona de la confluencia: 08.24.012, 08.24.013 y 08.24.005.

Los descensos piezométricos varían entre los 2.5 m y 1 m., pudiendo ser mayores en la zona próxima a la confluencia como se ha dicho anteriormente y por el mismo motivo.

Estos descensos provocan que el río en ese tramo se encuentre en una situación límite de conexión-desconexión, en la que se encuentra conectado con el acuífero en algunos tramos en régimen alterado, pero en otros la pierde

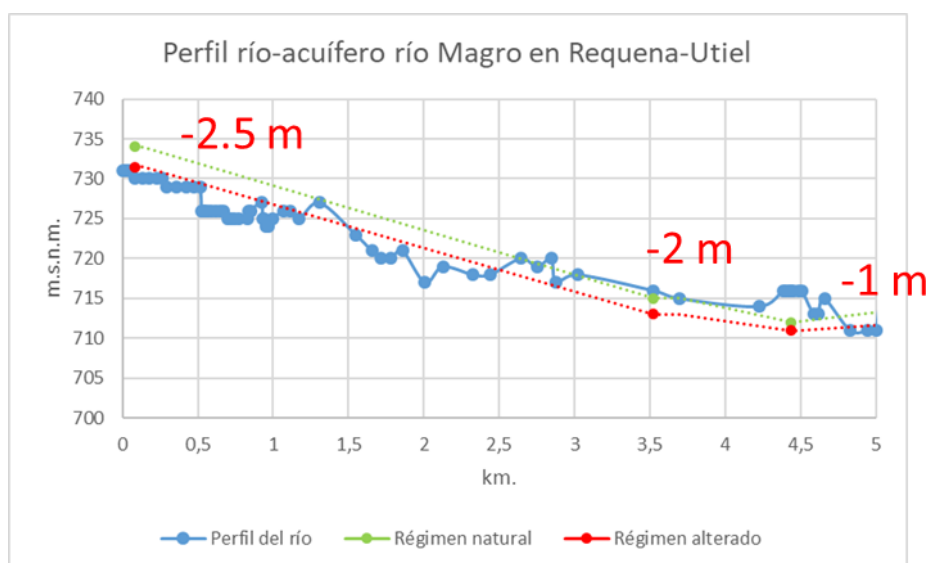


Figura 48: Conexión río-acuífero del río Magro. Fuente: propia

El resto de los piezómetros de la zona, por su distancia al río, no proporcionan ninguna información que sea significativa para la conexión río-acuífero del río. Si que lo serán para el siguiente apartado en que perfiles transversales al río y al acuífero proporcionarán información sobre la dirección del agua en el acuífero.



Figura 49: Río Magro en la pedanía de San Juan (Requena). Mayo 2019. Fuente: propia

6.2 Análisis transversal. Dirección del flujo

Aunque el análisis longitudinal ya proporciona una idea de cómo se mueve el agua en el acuífero y facilita información sobre la conexión o desconexión río acuífero, se han trazado tres perfiles transversales a los acuíferos Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara con el fin de obtener más información que complementa a la dada en el apartado 6.1 y a las isopiezas descritas en el apartado 5.4. Los tres cortes que se han realizado se indican en la figura siguiente y han sido trazados de manera que pasen por el mayor número de piezómetros posible y en ellos se representa el perfil topográfico del terreno frente a una aproximación al acuífero tanto en régimen natural y alterado que parte del análisis piezométrico.

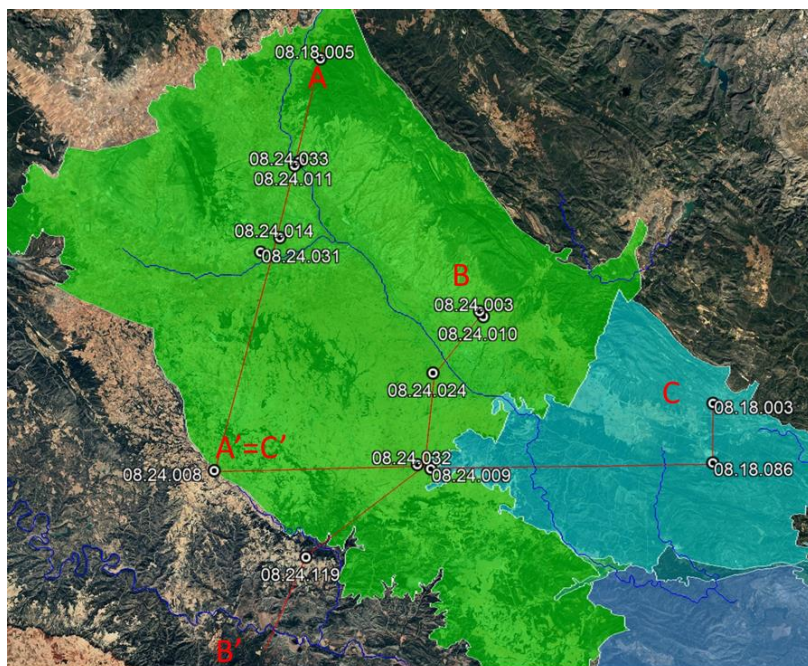


Figura 50: Planta de cortes transversales. Fuente: propia

Los cortes trazados son los siguientes:

- Rambla de la Torre – río Madre – rambla de los Ruices (A-A'). Este corte proporciona información de lo que ocurre la parte alta de la cuenca y del acuífero, intersectando los tres cauces de agua que le dan nombre.
- Requena – río Cabriel (B-B'). Este corte atraviesa la zona intermedia del acuífero Requena-Utiel, partiendo desde la Sierra del Negrete hasta el río Cabriel y seccionando la barrera que separa el acuífero con el de las Hoces del Cabriel.
- Cabrillas-Malacara – Requena-Utiel (C-C'). Se obtendrá información de lo que ocurre en los dos acuíferos: en la parte sureste de Requena-Utiel y en la zona norte de Cabrillas-Malacara.

6.2.1 Corte rambla de la Torre – río Madre – rambla de Albosa

Este primer perfil transversal de la parte alta intentará analizar lo que ocurre en la parte alta de la cuenca del río, antes de la confluencia del río Madre y la rambla de la Torre. Se ha trazado de manera que pase por los piezómetros ya analizados con anterioridad 08.18.005, 08.24.033, 02.24.011, 08.24.014, 08.24.031, 08.24.008.

Como se puede observar, el perfil viene a corroborar lo ya establecido en el análisis longitudinal: una desconexión río-acuífero en las proximidades de la rambla de la Torre y una desconexión-conexión intermitente en la zona más cercana al río Madre y la localidad de Caudete de las Fuentes con un descenso piezométrico de 2 m.

Por otro lado, este corte también da una idea de cómo se mueve el agua en el acuífero en la parte más alta de la cuenca del Magro. Se observan dos direcciones: una en dirección sureste desde el río Madre hacia la rambla de los Ruices y otra nordeste que sería paralela a la rambla de la Torre. Esta última dirección convendría analizarla con detenimiento observando si las mediciones del piezómetro 08.18.005 son correctas, ya que discrepa de la información dada por las isopiezas tanto en régimen natural como alterado.

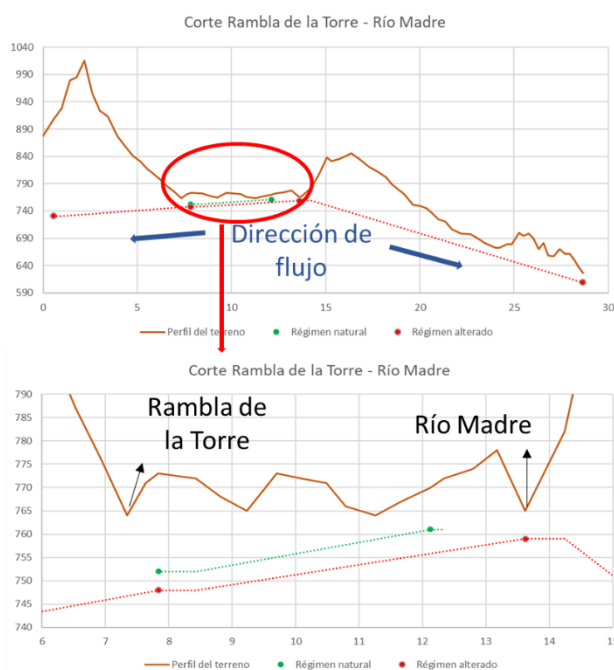


Figura 51: Corte transversal de la cabecera. Fuente: propia

6.2.2 Corte Requena – Río Cabriel

Para trazar este perfil, que atraviesa por completo el acuífero Requena-Utiel, se han utilizado datos disponibles de tres períodos de tiempo, el régimen natural, el régimen actual o alterado y un período intermedio del que se tienen los suficientes datos. Para ello se han utilizado los piezómetros 08.24.003, 08.24.010, 08.24.024, 08.24.009, 08.024.032 y 08.24.119 (ya en el acuífero Hoces del Cabriel).

También se ha marcado en el perfil, el límite entre la masa de aguas subterránea Requena-Utiel y la masa Hoces del Cabriel, impermeable según fuentes IGME. Al mismo tiempo se ha llevado la cota del río Magro al pasar por el límite entre el acuífero de Requena-Utiel y la masa Cabrillas-Malacara, quedando por debajo del nivel del acuífero. Por tanto, si la dirección del flujo es paralela al corte y la barrera impermeable impide que el agua de la masa de Requena-Utiel pase a la de las Hoces del Cabriel hasta el río Cabriel, cabe plantear la hipótesis de que el agua en el acuífero se dirige hacia la zona en la que limitan las masas de agua de Requena-Utiel, Cabrillas-Malacara y Sierra del Ave. Al mismo tiempo por la zona en la que limitan el acuífero Requena-Utiel y las Hoces del Cabriel (impermeable) discurre la llamada rambla de los Ruices y como se verá en un apartado posterior, multitud de manantiales que junto a la rambla proporcionan caudal a afluentes del río Cabriel.

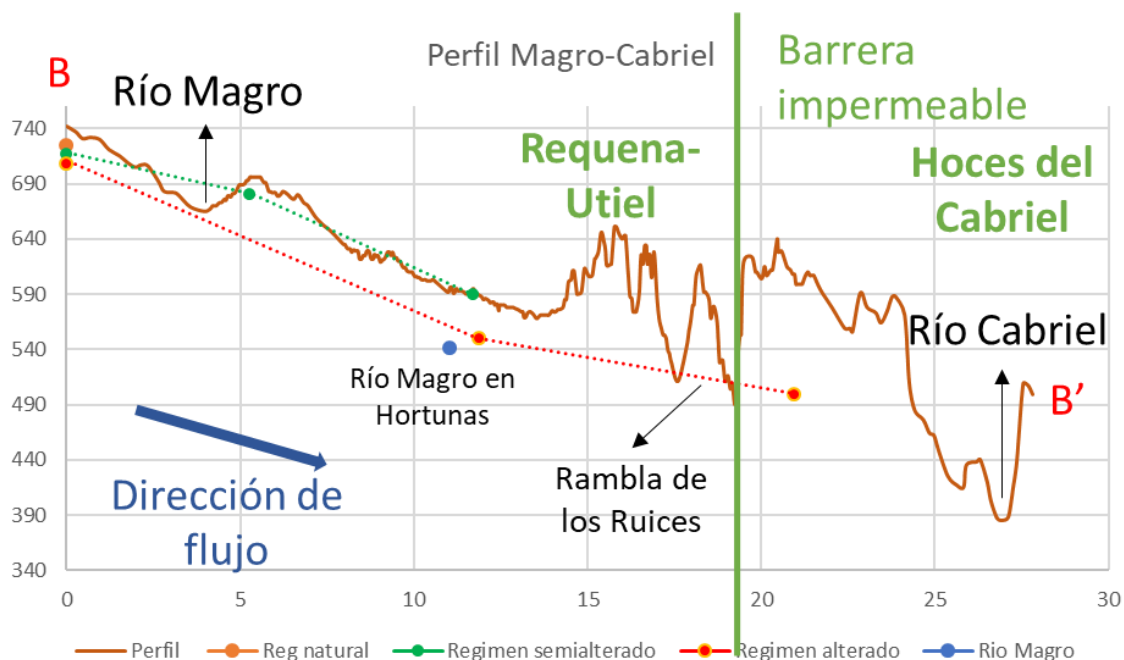


Figura 52: Corte transversal. Requena-Río Cabriel. Fuente: propia

6.2.3 Corte Cabrillas-Malacara – Requena-Utiel

El siguiente corte proporciona información de lo que ocurre en la parte sur de Requena-Utiel (y que complementa al anterior) y lo que sucede en la parte alta del acuífero Cabrillas-Malacara. Para ello se han utilizado los piezómetros 08.18.003 y 08.18.086 (en el acuífero Cabrillas-Malacara), los piezómetros 08.24.009, 08.24.032 (en el límite entre los dos acuíferos) y el 08.28.008 (en la barrera impermeable que separa Requena-Utiel de Hoces del Cabriel).

En este caso, los piezómetros solamente proporcionan información de lo que ocurre en régimen alterado, pues han estado operativos desde el año 2005 a la actualidad, por tanto, no será posible representar la aproximación al acuífero en régimen natural.

El corte indica un descenso de la cota piezométrica entre los piezómetros 08.18.003 y 01.18.086, por lo que la dirección del flujo de agua en Cabrillas-Malacara sería norte-sur. También se aprecia que el acuífero parece estar conectado con la cabecera del río Buñol, lo que parece tener sentido con la gran cantidad de manantiales que se localizan en la zona, próxima a la localidad de Siete Aguas. El río Mijares y el río Magro en este perfil estarían por encima del nivel del acuífero y por tanto desconectados en Cabrillas-Malacara.

Sobre lo que ocurre en Requena-Utiel, el flujo en este corte iría desde el piezómetro 08.24.008 hasta el 08.24.032, lo que viene a corroborar la hipótesis de que el flujo en esa zona tiene una componente noreste-sureste muy significativa.

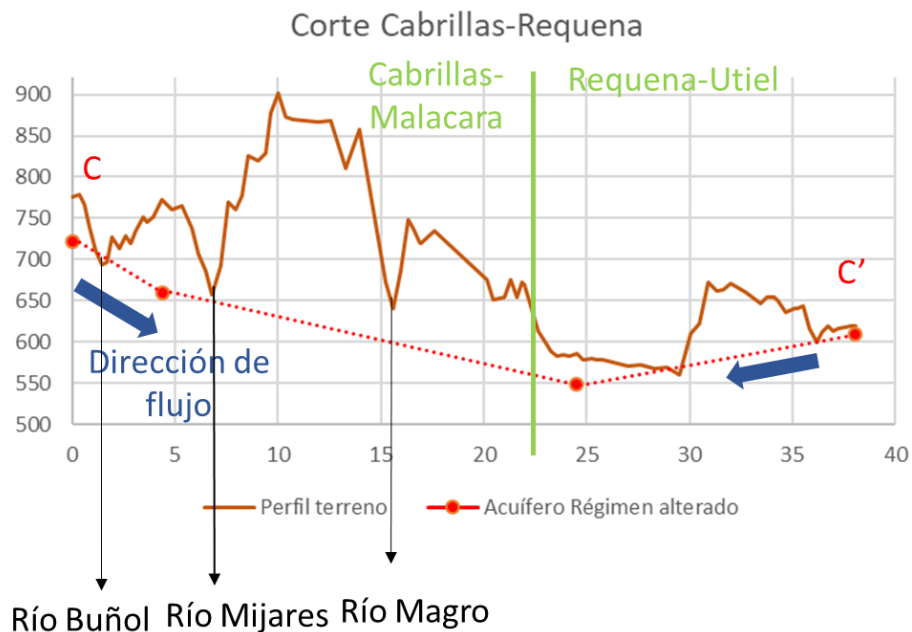


Figura 53: Corte transversal Cabrillas-Requena. Fuente: propia

6.2.4 Análisis transversal. Conclusiones

En vistas a las direcciones de flujo establecidas en cada corte transversal, se puede realizar una aproximación de cómo se mueve el agua en el acuífero, que coincide con la que proporcionan las isopiezas y las líneas de flujo que se pueden deducir de estas. El flujo será perpendicular al río Magro y al río Madre. En la parte sur el flujo tendrá dirección noreste-sureste.

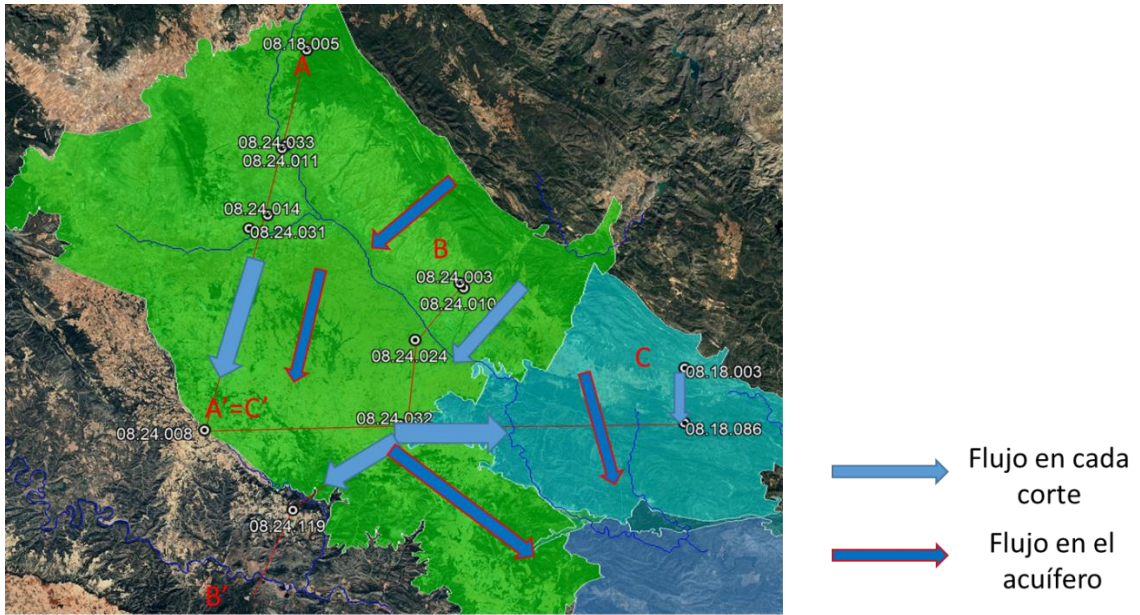


Figura 54: Esquema de flujo en los acuíferos. Fuente: propia

7 Modelo conceptual

El siguiente apartado pretende ser una síntesis de lo que se ha analizado en los apartados anteriores y servir de partida para el siguiente. Una vez analizada la información obtenida en el análisis, conviene establecer un modelo conceptual que indique cómo funciona el sistema antes de plantear el balance matemático. Se ha realizado el modelo contemplando dos escenarios como se ha venido realizando hasta ahora: el régimen natural o sin bombeos y el régimen alterado o con bombeos.

En él se podrán observar los siguientes aspectos:

- Dirección del flujo de agua dentro del acuífero, para analizar hacia dónde se mueve el agua, ver qué características tiene y plantear posibles cambios en el planteamiento del balance matemático.
- Zonas de conexión-desconexión del río y el acuífero, así como de sus afluentes, para observar si ha habido cambios entre el régimen natural y el alterado y señalar las zonas de especial interés.
- Síntesis y visión general de lo que ocurre en el acuífero.

7.1 Conexión río-acuífero y flujo de agua en el acuífero

Para analizar cómo se mueve el agua dentro de los acuíferos se parte de los datos proporcionados por el IGME y la CHJ como son las isopiezas. Desde ahí se han trazado las posibles líneas de flujo procurando que tengan las características de líneas de máxima pendiente, perpendiculares a las isopiezas. Para complementar esta información también son muy importantes las conclusiones del análisis transversal (apartado 6.2), en el que representado las superficies piezométricas en cada corte transversal se obtenía un esbozo de cómo se mueve el agua dentro de cada acuífero.

En el caso del régimen natural, se han utilizado las isopiezas realizadas en los años 1970 y 1974, los resultados se pueden observar en la figura 33 y se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Isopiezas muy separadas entre sí, lo que indica un flujo tendido del agua dentro de los acuíferos.
- El flujo, en general, tiene un claro sentido noroeste-sureste. En la rambla de la Torre las isopiezas son perpendiculares al cauce, por lo que el flujo será paralelo a la rambla. En el río Madre y la río Magro (después de la confluencia) las isopiezas son paralelas al río y por tanto el sentido del flujo perpendicular al río
- En la zona desde el río Magro y el río Madre hacía el sur y el sureste las líneas de flujo son perpendiculares a la rambla de los Ruices, que marca el límite del acuífero Requena-Utiel con el de las Hoces del Cabriel. Esta barrera, impermeable según el IGME como ya se ha citado, parece indicar que las líneas de flujo serán cada vez más paralelas a la misma ya que supone un impedimento para que el flujo continúe hasta el Cabriel.
- En el acuífero Cabrillas Malacara, la dirección es norte-sur, siendo las líneas de flujo paralelas a los cauces del río Mijares y Buñol

Para el régimen alterado se han utilizado las isopiezas proporcionadas por la CHJ (2005) y el IGME (2008). Se pueden analizar en las figuras 34 y 35 En líneas generales el sentido del flujo es idéntico en líneas generales al que se observaba en el régimen natural con alguna salvedad que a continuación se detalla.

- En la parte oeste del acuífero se observa un descenso de los niveles piezométricos, por lo que el flujo también se dirigiría hacia esa

dirección, confluyendo hacia el río Cabriel en las inmediaciones del embalse de Contreras.

- En la zona norte, también se observa una depresión de isopiezas en las inmediaciones del río Reatillo, con una dirección de flujo perpendicular a dicho río.

En este apartado también se analizará cómo era la conexión río acuífero tanto en régimen natural como en alterado y cómo lo es en el régimen alterado para poder compararlas y poder establecer las zonas de especial singularidad. Para poder confeccionar estos mapas de conexión-desconexión es de especial importancia lo obtenido en el análisis longitudinal, así como el análisis de manantiales que indican los puntos de surgencia de agua en el acuífero.

En régimen natural, la margen izquierda del río Magro en el acuífero Requena Utiel estaría conectada. La misma margen del río Madre estaba conectada con el acuífero desde la altura de la localidad de Caudete de las Fuentes La rambla de la Torre ha estado desconectada históricamente hasta la zona de la confluencia con el río Madre, en el que, en vista de los resultados, estaba conectado. Por tanto, en estas zonas el río sería ganador.

La margen derecha tanto del río Madre como de río Magro, en función del sentido del flujo y de la información del análisis longitudinal y transversal, el río sería perdedor.

En la parte sur del acuífero, su límite corresponde con la rambla de los Ruices, y según el sentido del flujo, éste se dirigiría hasta este cauce, afluente del Cabriel. En la parte sureste del acuífero Requena-Utiel, en su límite con Cabrillas-Malaca, el río Magro discurre por dicho límite, por lo que, por esa zona, el río también sería ganador.

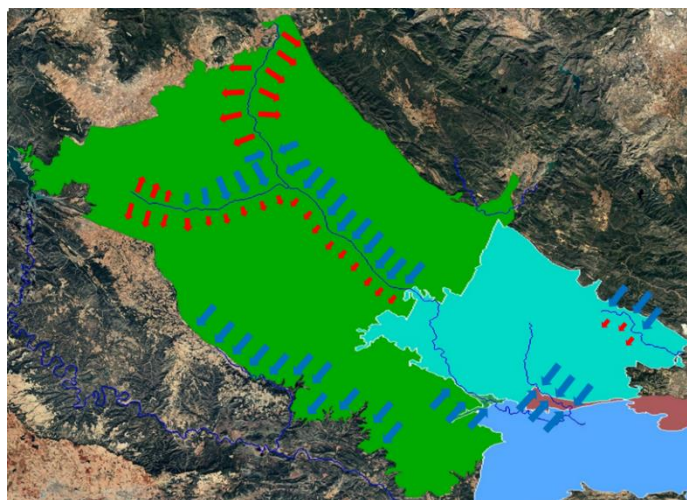


Figura 55: Conexión río-acuífero en régimen natural. Fuente: propia

En cuanto a lo que sucede en el acuífero Cabrillas-Malacara, no se dispone de información suficiente para conocer lo que ocurría en río Magro en régimen natural ni en régimen alterado. Por otro lado, sí que se conoce lo que ocurre en la desembocadura del río Mijares y en la cabecera del río Buñol en la actualidad y si al no haber bombeos el régimen natural y alterado se asemejarán mucho, se puede concluir que, si en esas zonas el río es ganador en la actualidad, también lo sería cuando el sistema funcionara en régimen natural.

Con el sistema funcionando en régimen alterado, la principal variación de la conexión río acuífero es que la zona del río Magro y la rambla de la Torre que en régimen natural estaban conectadas, en este escenario están en situación límite con conexiones y desconexiones intermitentes. Esto también se corrobora porque los manantiales más próximos al río tienen poco caudal que aparece y desaparece. Se trataría de un río “menos ganador” que en régimen natural. Por otro lado, la zona de la rambla de la Torre que en régimen natural estaba conectada, actualmente está desconectada.

La margen izquierda, siguiendo el sentido del flujo y la situación límite que se indica anteriormente, será la de río “más perdedor” que cuando el sistema funcionaba en régimen natural.

Estas dos situaciones (río poco ganador por una margen y muy perdedor por la otra, puede explicar la reducción de caudal en el río que se pretende explicar en este trabajo).

Los manantiales situados en la rambla de los Ruices, las inmediaciones de la desembocadura del Mijares con el Magro, y en la cabecera del río Buñol, junto a la información que se desprende del análisis transversal, indican que tanto el río Mijares en su último tramo y la rambla de los Ruices serán ganadores también, aunque debido al descenso piezométrico, en menor medida que en régimen natural.

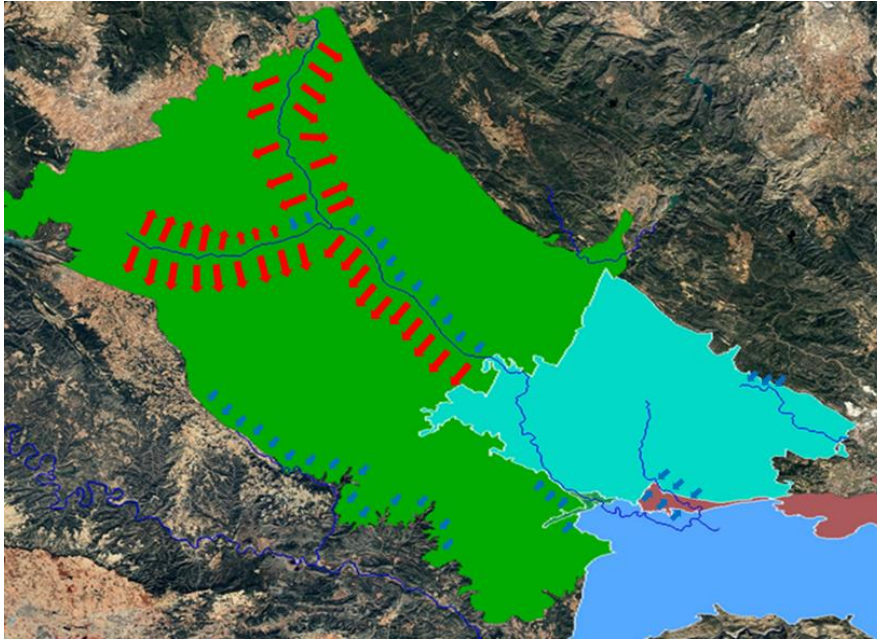


Figura 56: Conexión río-acuífero en régimen alterado. Fuente: propia

7.2 Síntesis

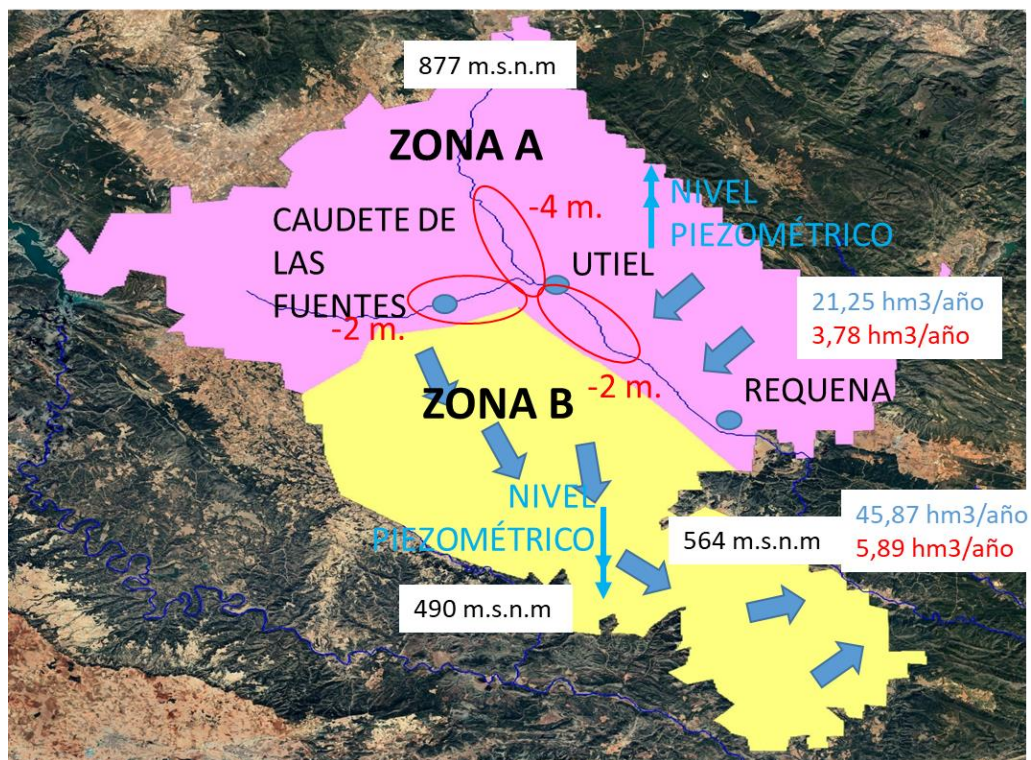
Se han producido descensos de entre 4 y 2 metros en los acuíferos de la zona de la confluencia del río Madre y la Rambla de la Torre, lo que ha provocado una desconexión del río con el acuífero en la zona, no siendo así en el tramo entre Utiel y Requena, en el que la conexión es intermitente. Esto, junto con otros factores como el climático que será necesario estudiar en otro trabajo, ha provocado una reducción del 83 % en los caudales que llegan al aforo de Requena.

En vista del flujo del agua en el acuífero y de las surgencias y aportaciones de agua tanto al río Magro como al Cabriel por medio de distintos cauces situados en su zona sur del mismo, sería conveniente dividir este acuífero en dos zonas para poder ajustar mejor el balance matemático.

Una primera que proporcionaría agua al río Magro (zona A) y que iría desde el límite norte y oeste de Requena-Utiel hasta el mismo río Magro y el río Madre y otra que fuera desde esos cauces hasta el límite sur y este del acuífero y que proporcionaría agua al río Cabriel y al Magro en la frontera entre Cabrillas-Malacara y Requena-Utiel por el sureste (zona B).

Esto también viene explicado por la diferencia de cota topográfica entre la zona alta del acuífero y la zona sur, que varía entre los 1000 m.s.n.m. y los 490 m.s.n.m. de la zona más baja. Los niveles piezométricos y las isopiezas también

reflejan esta diferencia, siendo en la zona A el nivel piezométrico mayor y menor en la zona B, interceptando el flujo de la zona A el río Magro y el de la zona B se recogería en el río Magro aguas abajo del acuífero Requena-Utiel y en la rambla de Albosa (río Romeroso o rambla de los Ruices). De esa zona B, sería recomendable separar y analizar la zona que drena agua al río Cabriel y la que drena agua al Magro.



- Aporta agua al Magro dentro del acuífero
- Aporta agua al Cabriel o al Magro aguas abajo.

Figura 57: Modelo conceptual. Fuente: propia

8 Balance matemático. Simulación y validación

En el último apartado del trabajo se pretende, partiendo de los resultados de los análisis sintetizados en el modelo conceptual, reproducir de la manera más fidedigna posible lo que ocurre en el sistema.

Para ello se ha utilizado el modelo de simulación PATRICAL, utilizado en la demarcación hidrográfica del Júcar. El modelo de simulación permite construir modelos del ciclo hidrológico y calidad de aguas distribuidos espacialmente, con paso de tiempo de simulación mensual.

Los modelos construidos simulan el ciclo hidrológico en régimen natural y alterado, aplicando la formulación en cada pequeño elemento en que se discretiza la cuenca hidrológica.

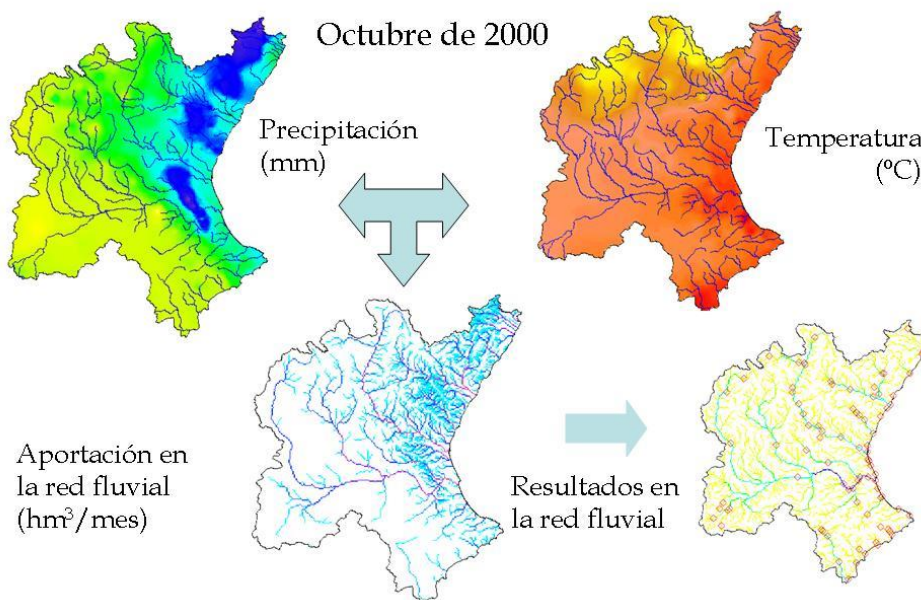


Figura 58: Esquema de funcionamiento del modelo PATRICAL. Fuente: Pérez-Martin, M.A. (2014).

El modelo lluvia-escorrentía utiliza los registros históricos de lluvia total mensual y los registros históricos de temperaturas diarias medias del mes, gracias

a los cuales y mediante interpolación, es posible obtener los mapas de lluvia mensual distribuida y de temperaturas media mensual distribuida. Estos registros se introducen en el modelo de simulación para reproducir el ciclo hidrológico, que obtiene como resultados las aportaciones de la red fluvial y evolución de los acuíferos.

El modelo obtiene: los mapas de aportación generada en cada punto de la cuenca, las pérdidas en los cauces y las aportaciones en cada punto de la red fluvial. Para cada acuífero obtiene: niveles piezométricos medios, volúmenes de agua almacenados y transferidos a otros acuíferos y salidas directas al mar.

Para validar el modelo se compararán los datos obtenidos en los aforos de Requena y de la entrada a Forata con los que arroja el modelo matemático para el régimen natural y alterado. Otra forma de validación será comparar los valores de los niveles piezométricos reales con los que ofrece el modelo. Para que el modelo conceptual se valide, el modelo debe reproducir de forma bastante aproximada lo que ocurre en la realidad.

Una vez que el modelo conceptual esté validado, se podrá realizar el balance de agua subterránea para determinar en qué estado se encuentra el acuífero en su conjunto y su grado de explotación, teniendo en cuenta las entradas y salidas totales que ofrece el modelo matemático.

Otro balance que se puede realizar es el del agua que el acuífero aporta al río y que permitirá conocer en cada punto del cauce, según la discretización espacial realizada, cuáles son las aportaciones o pérdida.

8.1 Discretización espacial de la cuenca

Como la zona de estudio está comprendida entre el nacimiento de la Rambla de la Torre y el río Madre hasta el embalse de Forata, los acuíferos que aportan agua al río en ese tramo son: Requena-Utiel, Cabrillas, Malacara y Sierra del Ave. Para las entradas en el modelo de simulación se establece la siguiente discretización espacial de la zona. En esta ocasión

Código	Zona del acuífero
8128510	Requena - Utiel (cabecera Rambla de la Torre)
8128520	Requena - Utiel (Rambla de la Torre)
8128530	Requena - Utiel (cabecera río Madre)
8128540	Requena - Utiel (Caudete de las Fuentes y confluencia)
8128550	Requena - Utiel (Montaña requena)
8128560	Requena - Utiel (Río Magro Utiel-Requena)
8128564	Requena - Utiel (Requena MI)
8128566	Requena - Utiel (Río Magro en Requena)
8128570	Requena - Utiel (Planicie Requena)
8128575	Requena - Utiel (Pedanías)
8128580	Requena - Utiel (Cabriel Alto)
8128585	Requena - Utiel (Cabriel Bajo)
8128590	Requena - Utiel (Magro a Forata)

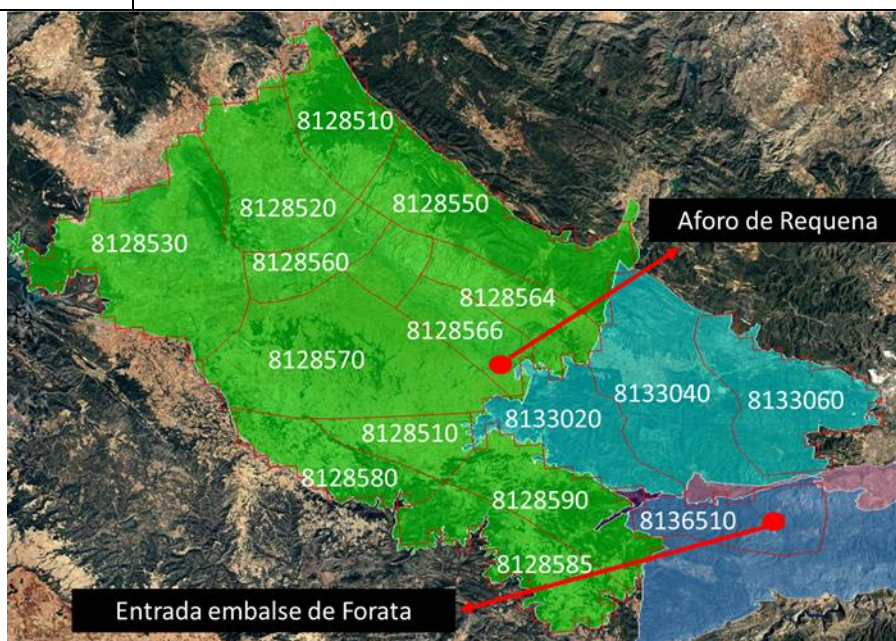


Figura 59: Discretización espacial para el modelo de simulación. Fuente: propia, datos CHJ

8.2 Simulación de caudales

El modelo ofrece series de caudales tanto en régimen natural como en régimen alterado. Los valores que arroja en los puntos coincidentes con los aforos se comparan con los valores observados en dichos aforos para valorar si el modelo conceptual se ajusta a lo que realmente ocurre en el sistema.

Como solamente hay datos coincidentes en ambos aforos en los periodos comprendidos entre el año hidrológico 1968/1968 y 1978/1979, y por otro lado 2004/2005 y 2015/2016 se adoptará el primero como el régimen natural y el segundo como el alterado.

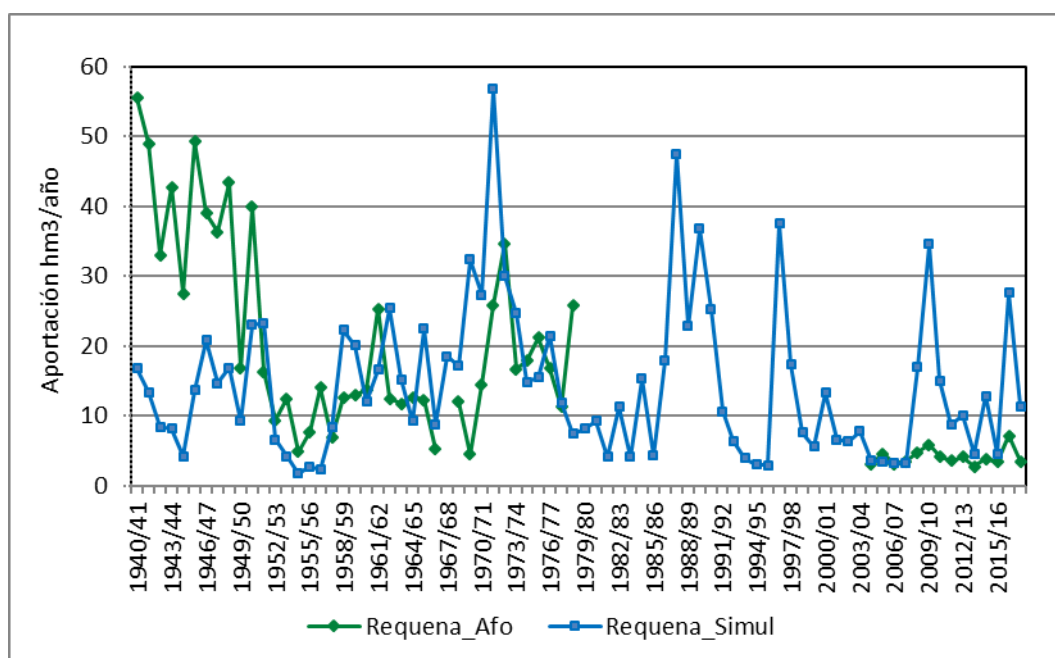


Figura 60: Caudal aforado y simulado para el aforo de Requena en régimen natural. Fuente: IIAMA 2019

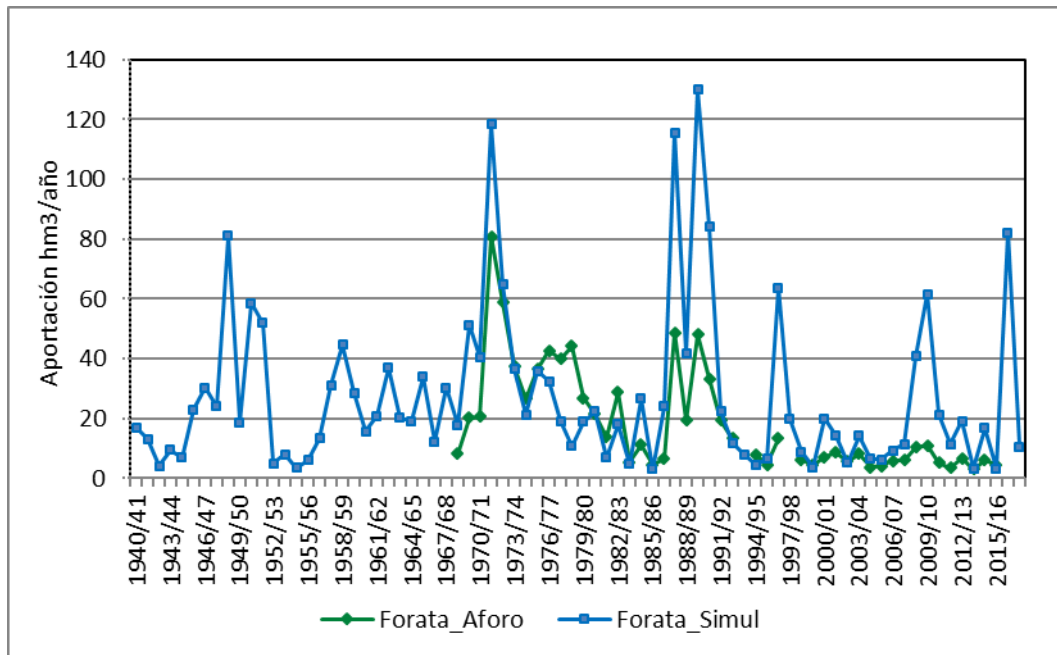


Figura 61: Caudal aforado y simulado para el aforo de Forata en régimen natural. Fuente: IIAMA 2019b

Para el sistema funcionando en régimen natural (1968-1969), en el aforo de Requena se observa una media de 21,25 hm³/año, mientras que en el embalse de Forata se observan 45,87 hm³/año. Le modelo proporciona un valor medio para el régimen natural de 22,81 hm³/año en Requena y de 42,36 hm³/año.

La diferencia sería de 1,55 hm³/año en el aforo de Requena y de 3,51 hm³/año en Forata. Los valores simulados y observados son del mismo orden de magnitud y las gráficas de caudal simulado reproducen la forma de las observadas.

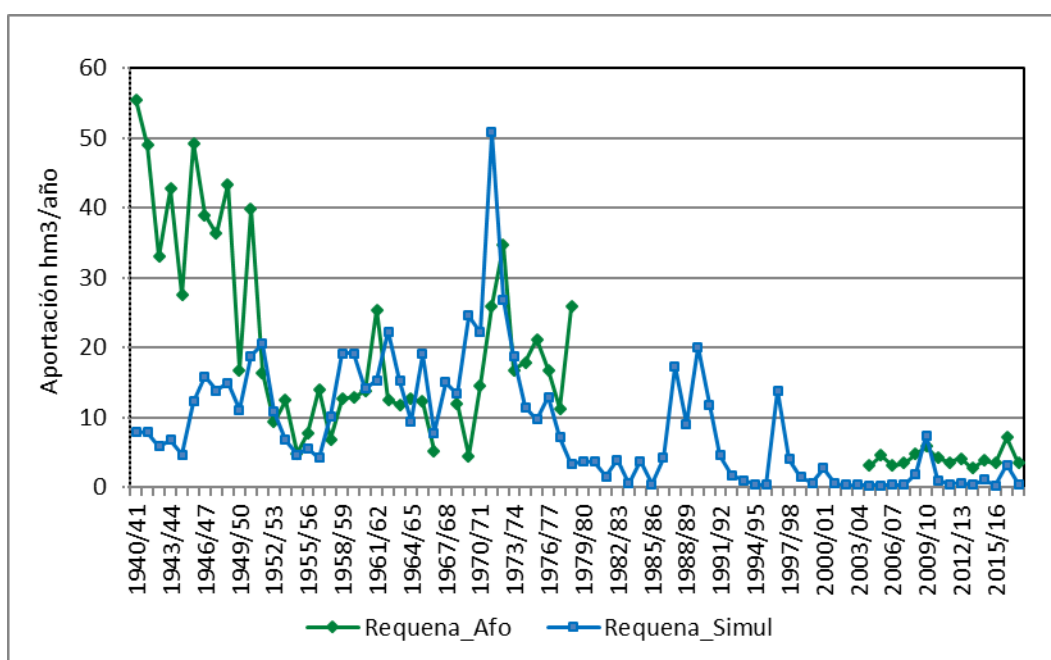


Figura 62: Caudal aforado y simulado para el aforo de Requena en régimen alterado. Fuente: IIAMA 2019b

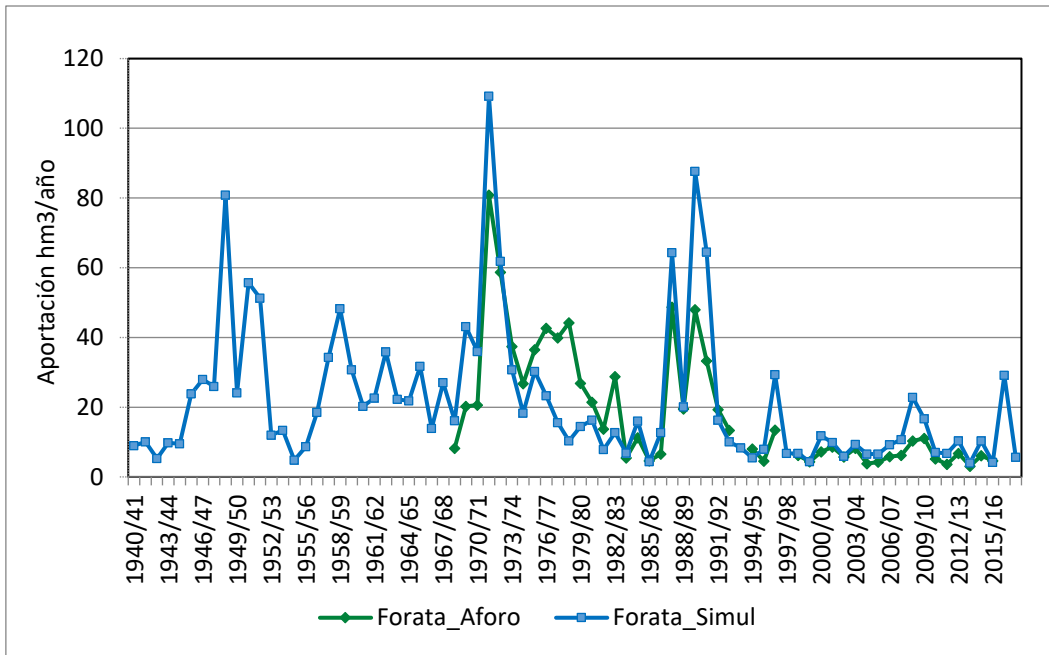


Figura 63: Caudal aforado y simulado para el aforo de Forata en régimen alterado. Fuente: IIAMA 2019b

En régimen alterado (2004-2016), se observan 3,78 hm³/año en el aforo de Requena y 5,89 hm³/año en la entrada del embalse de Forata. El modelo da un valor medio de 1,16 hm³/año para Requena y de 9,59 hm³/año en la entrada del embalse.

8.3 Simulación de niveles piezométricos

Otra información que se conoce son los niveles piezométricos reales en el acuífero y que se han analizado en el apartado 5.3. El modelo también ofrece una simulación de cómo evolucionan los niveles piezométricos tanto en régimen natural como alterado. Si se ajusta a lo que realmente ocurre, también servirá como validación

A continuación se observan los resultados del modelo de simulación frente a los datos reales de los piezómetros y agrupados según la discretización espacial del apartado 8.1 dada por la CHJ. Estos niveles han sido extraídos del documento *Informe de niveles piezométricos por sistemas. Contraste de niveles piezométricos* (IIAMA, 25 de octubre de 2019).

Como se puede observar, aunque los valores discrepan mínimamente, el modelo reproduce a la perfección el comportamiento del acuífero reflejado en sus niveles piezométricos.

Por tanto, si el modelo si los caudales y los niveles piezométricos que arroja el modelo se corresponde con lo que ocurre en la realidad, se puede concluir que el modelo matemático valida el modelo conceptual del apartado 7 sobre el funcionamiento del sistema.

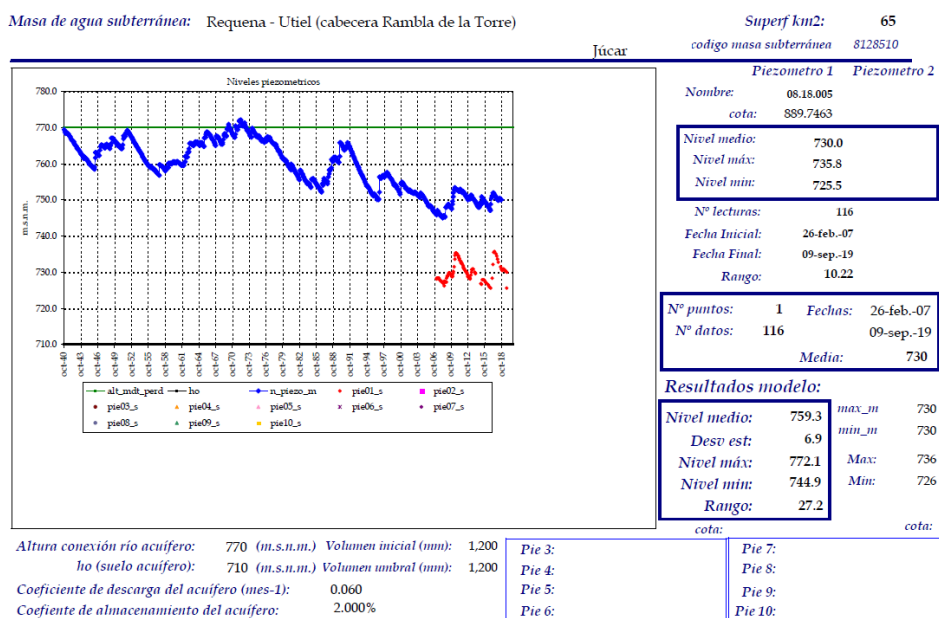


Figura 64: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona cabecera Rambla de la Torre. Fuente: IIAMA 2019c

Estudio de la conexión río-acuífero del río Magro (Valencia)

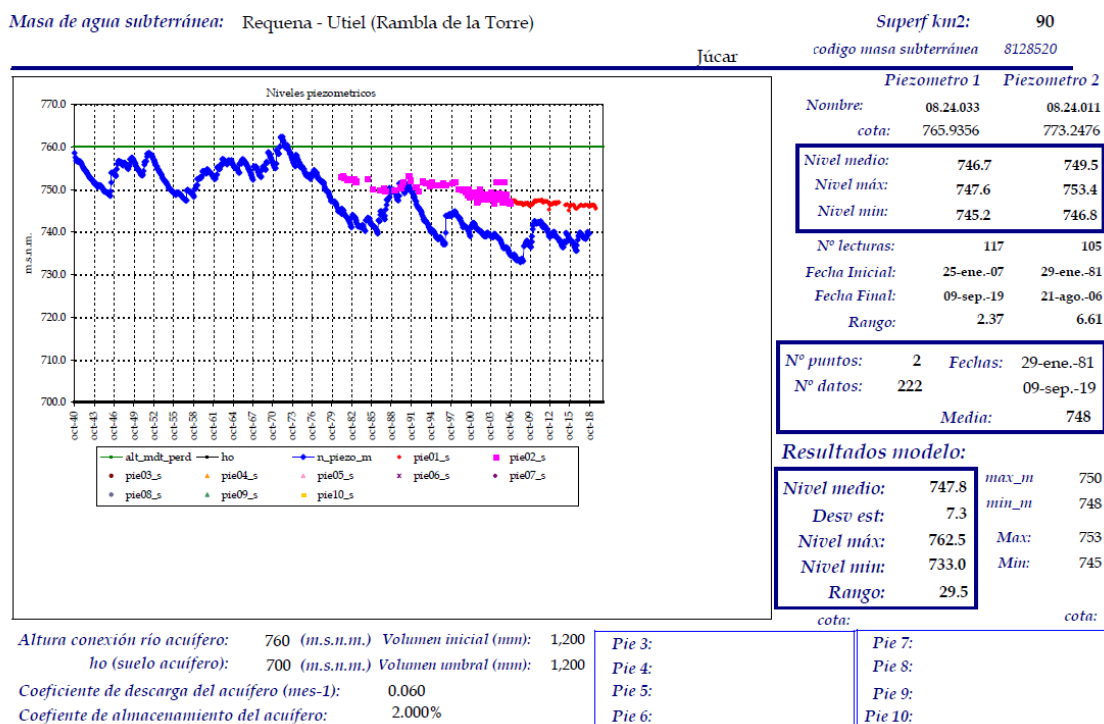


Figura 65: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Rambla de la Torre. Fuente: IIAMA 2019c

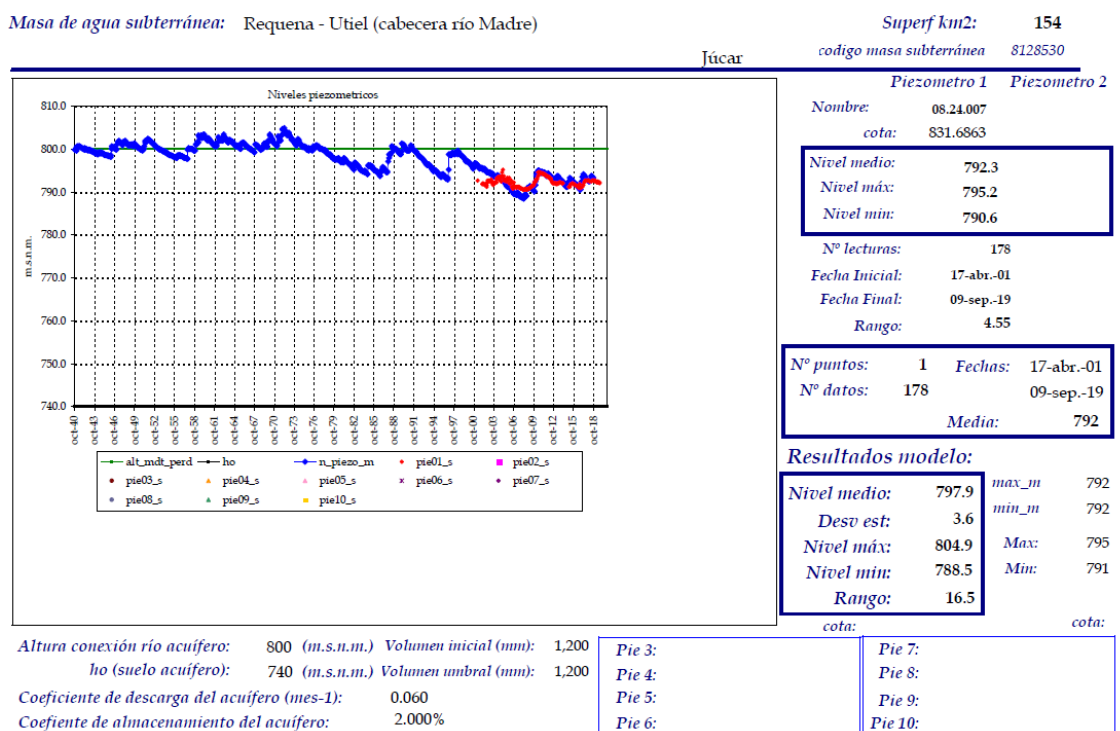


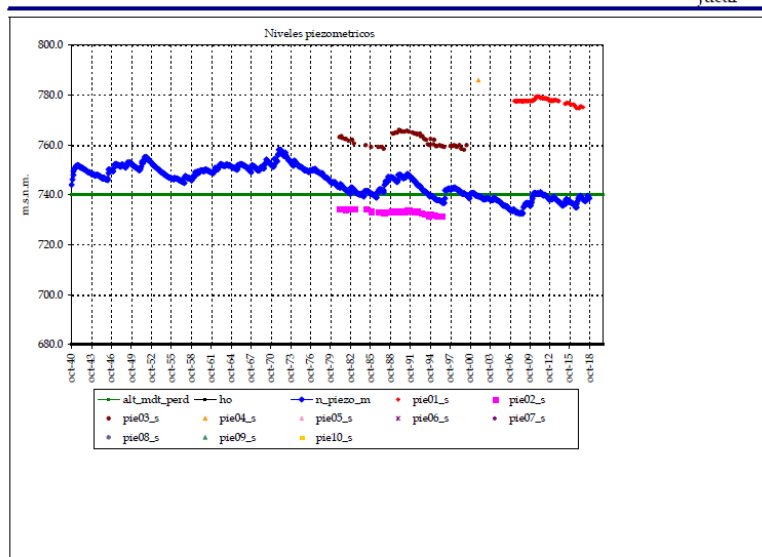
Figura 66: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona cabecera Río Madre. Fuente: IIAMA 2019c

Masa de agua subterránea: Requena - Utiel (Caudete de las Fuentes y confluencia)

Superf km2: 37

Júcar

código masa subterránea 8128540



	Piezometro 1	Piezometro 2
Nombre:	08.24.031	08.24.012
cota:	799.195	735.7539
Nivel medio:	777.6	733.4
Nivel máx:	779.5	734.7
Nivel mín:	774.6	731.7
Nº lecturas:	96	34
Fecha Inicial:	28-jun.-07	29-ene.-81
Fecha Final:	19-sep.-17	06-may.-96
Rango:	4.86	2.97
Nº puntos:	4	Fechas: 29-ene.-81
Nº datos:	183	19-sep.-17
Media:	765	

Resultados modelo:

Nivel medio:	745.2	max_m	786
Desv est:	6.0	min_m	765
Nivel máx:	758.2	Max:	786
Nivel mín:	732.3	Min:	732
Rango:	25.8		

Altura conexión río acuífero: 740 (m.s.n.m.) Volumen inicial (mm): 1,200
 ho (suelo acuífero): 680 (m.s.n.m.) Volumen umbral (mm): 1,200
 Coeficiente de descarga del acuífero (mes-1): 0.060
 Coeficiente de almacenamiento del acuífero: 2.000%

Pie 3:	08.24.014 #####	Pie 7:	
Pie 4:	08.24.018 #####	Pie 8:	
Pie 5:		Pie 9:	
Pie 6:		Pie 10:	

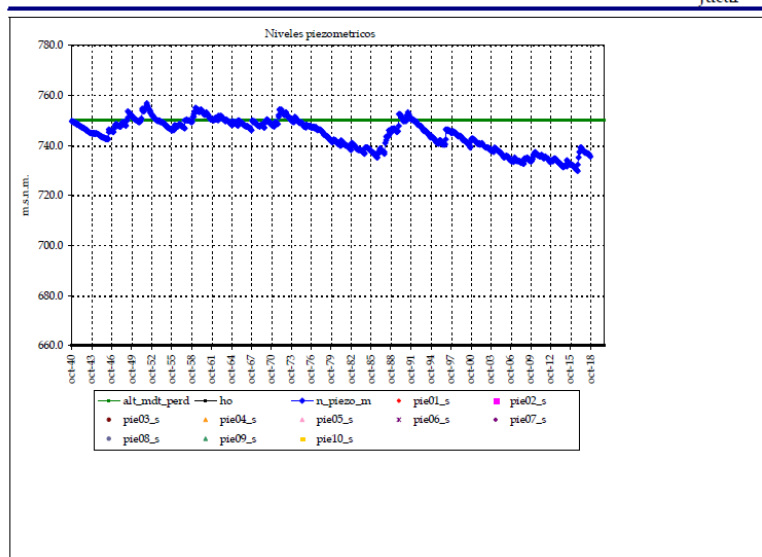
Figura 67: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Caudete de las Fuentes y confluencia. Fuente: IIAMA 2019c

Masa de agua subterránea: Requena - Utiel (Montaña requena)

Superf km2: 116

Júcar

código masa subterránea 8128550



	Piezometro 1	Piezometro 2
Nombre:		
cota:		
Nivel medio:		
Nivel máx:		
Nivel mín:		
Nº lecturas:		
Fecha Inicial:		
Fecha Final:		
Rango:		
Nº puntos:	0	Fechas:
Nº datos:		
Media:		

Resultados modelo:

Nivel medio:	744.2	max_m	
Desv est:	6.2	min_m	
Nivel máx:	756.7	Max:	
Nivel mín:	729.8	Min:	
Rango:	26.9		

Altura conexión río acuífero: 750 (m.s.n.m.) Volumen inicial (mm): 1,800
 ho (suelo acuífero): 660 (m.s.n.m.) Volumen umbral (mm): 1,800
 Coeficiente de descarga del acuífero (mes-1): 0.060
 Coeficiente de almacenamiento del acuífero: 2.000%

Pie 3:		Pie 7:	
Pie 4:		Pie 8:	
Pie 5:		Pie 9:	
Pie 6:		Pie 10:	

Figura 68: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona montaña Requena. Fuente: IIAMA 2019c

Estudio de la conexión río-acuífero del río Magro (Valencia)

Masa de agua subterránea: Requena - Utiel (Río Magro Utiel-Requena)

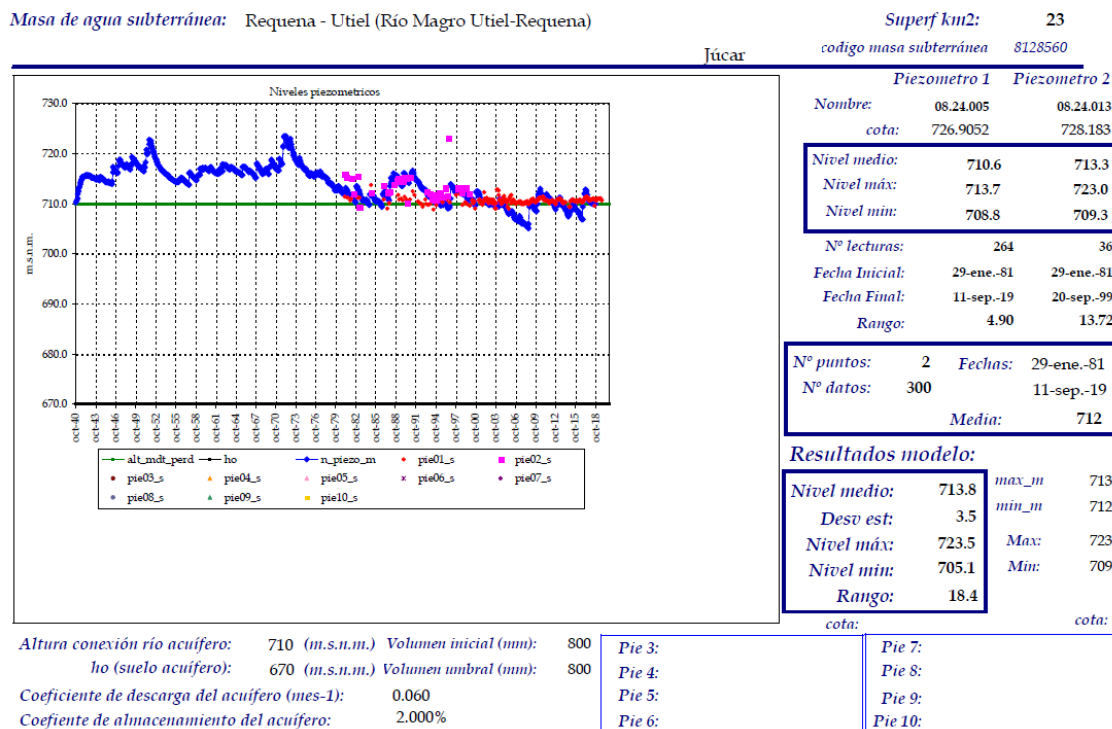


Figura 69: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona cabecera Río Magro Utiel-Requena. Fuente: IIAMA 2019c

Masa de agua subterránea: Requena - Utiel (Requena MI)

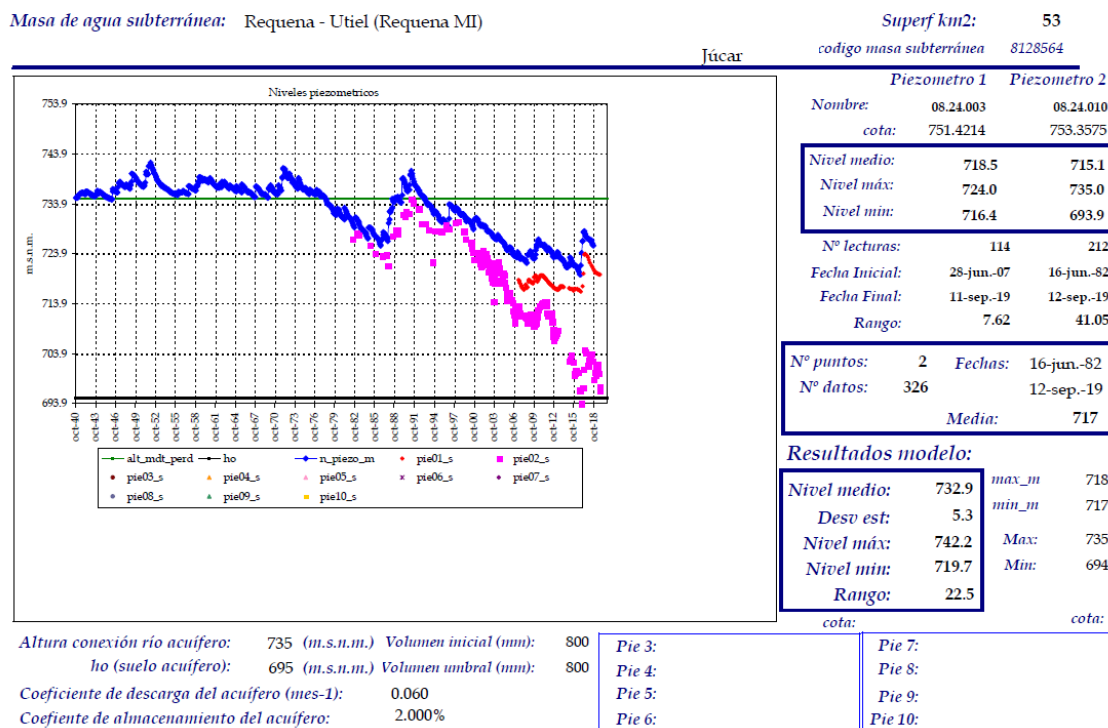


Figura 70: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Requena MI. Fuente: IIAMA 2019c

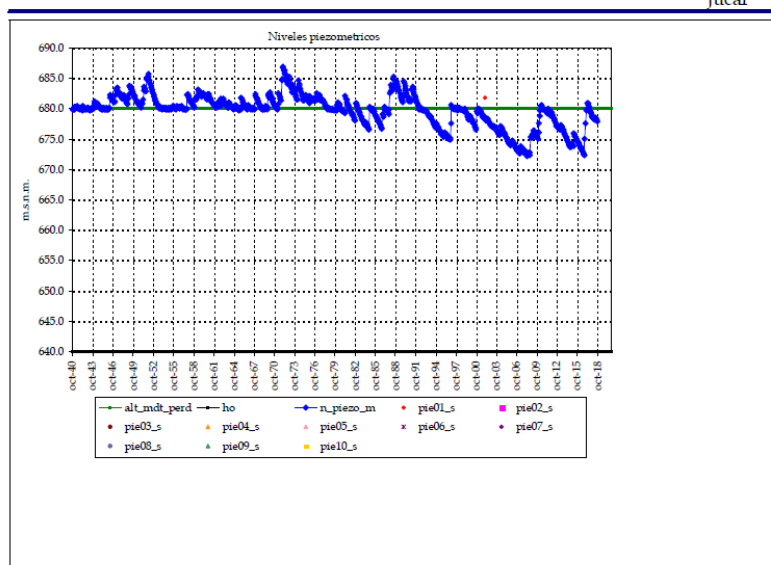
Estudio de la conexión río-acuífero del río Magro (Valencia)

Masa de agua subterránea: Requena - Utiel (Río Magro en Requena)

Júcar

Superf km2: 40

código masa subterránea 8128566



Piezometro 1 Piezometro 2

Nombre: 08.24.024

cota: 687.2476

Nivel medio:	681.9
Nivel máx:	681.9
Nivel mín:	681.9

Nº lecturas: 1

Fecha Inicial: 30-ene.-02

Fecha Final: 30-ene.-02

Rango: 0.00

Nº puntos:	1	Fechas:	30-ene.-02
Nº datos:	1		30-ene.-02
Media: 682			

Resultados modelo:

Nivel medio:	679.7	max_m	682
Desv est:	2.7	min_m	682
Nivel máx:	686.9	Max:	682
Nivel mín:	672.3	Mín:	682
Rango:	14.7		

cota: cota:

Altura conexión río acuífero: 680 (m.s.n.m.) Volumen inicial (mm): 800

ho (suelo acuífero): 640 (m.s.n.m.) Volumen umbral (mm): 800

Coefficiente de descarga del acuífero (mes-1): 0.060

Coefficiente de almacenamiento del acuífero: 2.000%

Pie 3:	Pie 7:
Pie 4:	Pie 8:
Pie 5:	Pie 9:
Pie 6:	Pie 10:

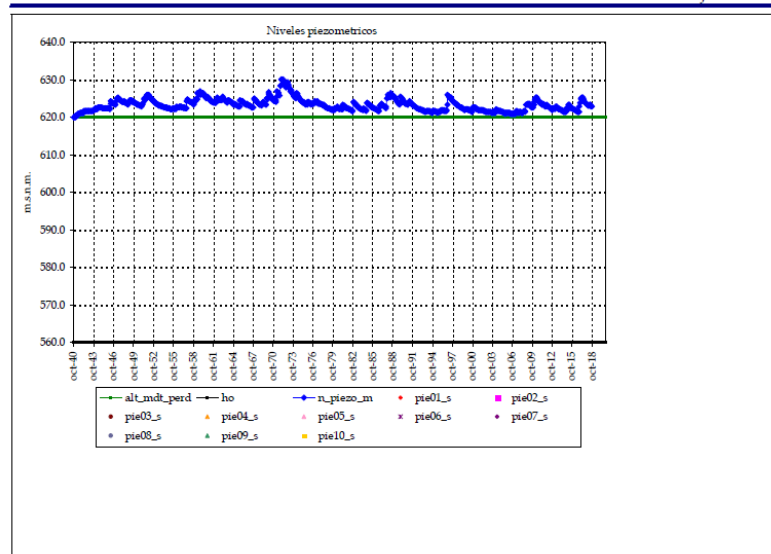
Figura 71: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Río Magro en Requena. Fuente: IIAMA 2019c

Masa de agua subterránea: Requena - Utiel (Planicie Requena)

Júcar

Superf km2: 160

código masa subterránea 8128570



Piezometro 1 Piezometro 2

Nombre:

cota:

Nivel medio:
Nivel máx:
Nivel mín:

Nº lecturas:

Fecha Inicial:

Fecha Final:

Rango:

Nº puntos:	0	Fechas:
Nº datos:		
Media:		

Resultados modelo:

Nivel medio:	623.3	max_m	
Desv est:	1.6	min_m	
Nivel máx:	630.2	Max:	
Nivel mín:	620.0	Mín:	
Rango:	10.2		

cota: cota:

Altura conexión río acuífero: 620 (m.s.n.m.) Volumen inicial (mm): 1,200

ho (suelo acuífero): 560 (m.s.n.m.) Volumen umbral (mm): 1,200

Coefficiente de descarga del acuífero (mes-1): 0.060

Coefficiente de almacenamiento del acuífero: 2.000%

Pie 3:	Pie 7:
Pie 4:	Pie 8:
Pie 5:	Pie 9:
Pie 6:	Pie 10:

Figura 72: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Planicie Requena. Fuente: IIAMA 2019c

Estudio de la conexión río-acuífero del río Magro (Valencia)

Masa de agua subterránea: Requena - Utiel (Pedanías)

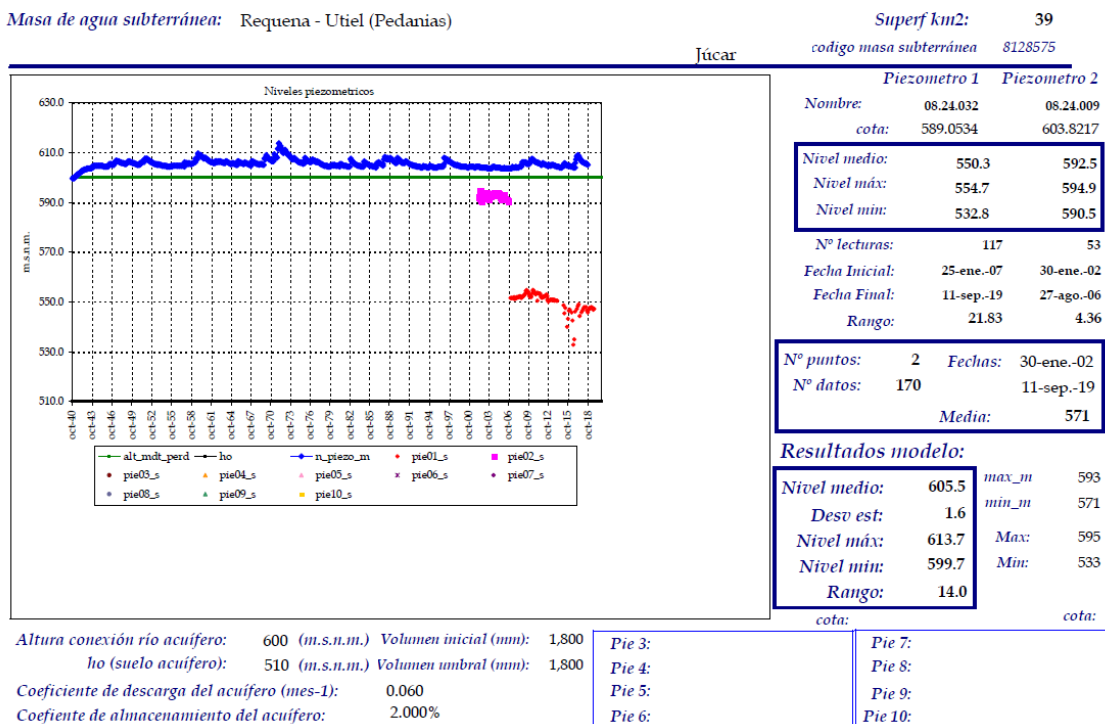


Figura 73: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Pedanías.

Fuente: IIAMA 2019c

Masa de agua subterránea: Requena - Utiel (Cabriel Alto)

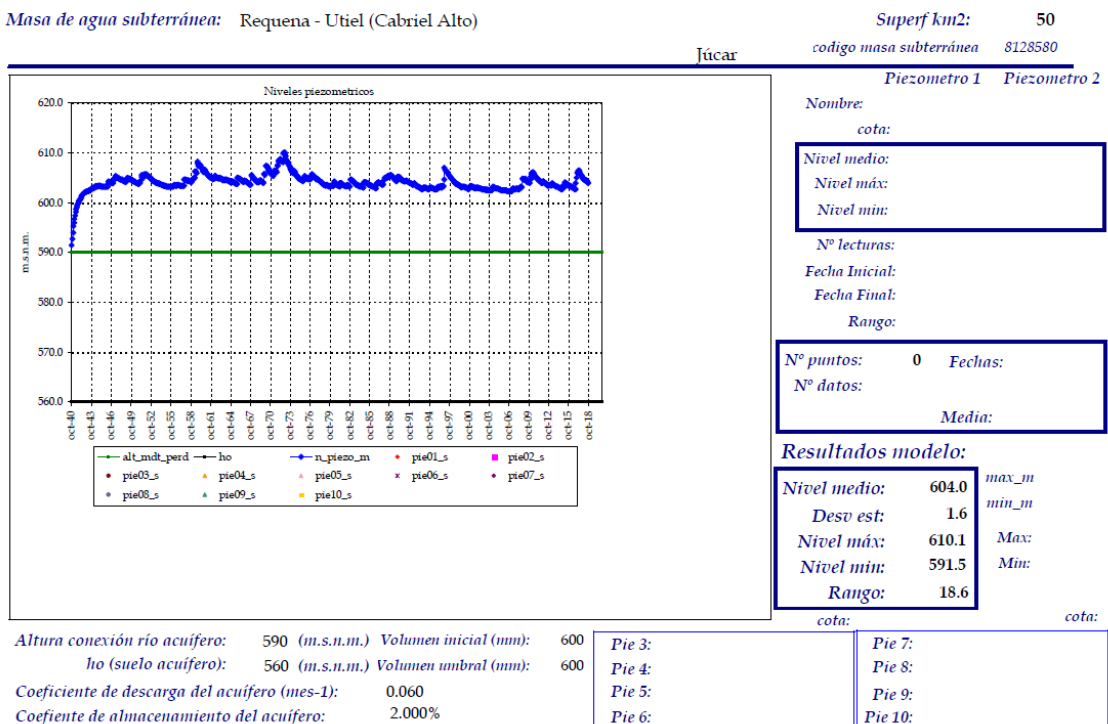


Figura 74: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Cabriel Alto.

Fuente: IIAMA 2019c

Estudio de la conexión río-acuífero del río Magro (Valencia)

Masa de agua subterránea: Requena - Utiel (Cabriel Bajo)

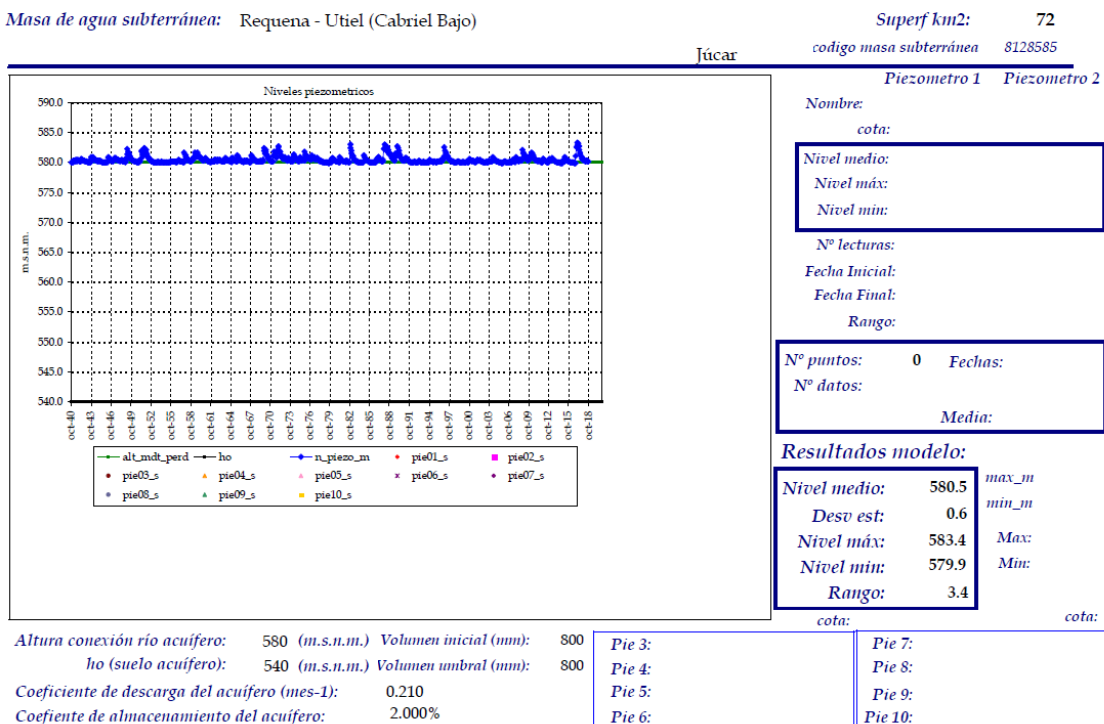


Figura 75: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Cabriel Bajo.
 Fuente: IIAMA 2019c

Masa de agua subterránea: Requena - Utiel (Magro a Forata)

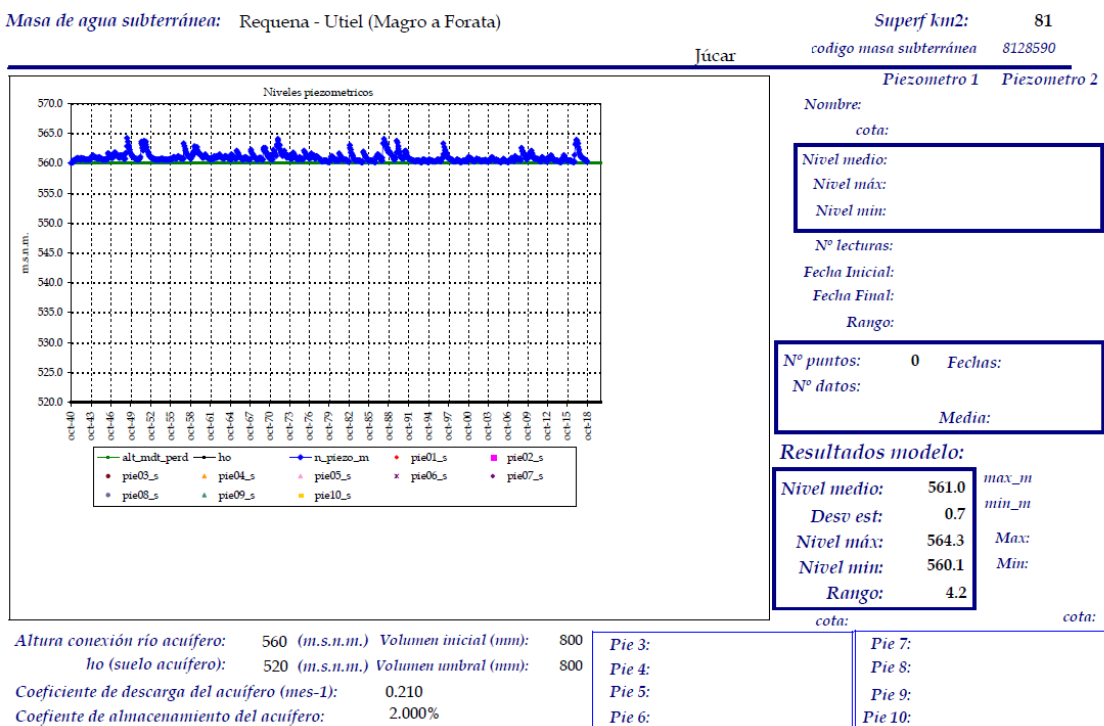


Figura 76: Niveles piezométricos reales y simulados para la zona Magro a Forata.
 Fuente: IIAMA 2019c

8.4 Balance de agua subterránea

Para realizar el balance de agua subterránea tanto en régimen alterado como en natural se utilizarán los datos que proporciona el modelo una vez que se ha comprobado que funciona correctamente con lo establecido en el modelo conceptual.

Las entradas al acuífero corresponderían con la recarga procedente de la lluvia, la recarga de los ríos, las entradas laterales desde otros acuíferos y las recargas urbanas y agrícolas. Por otro lado, las salidas al acuífero estarían formadas por las salidas laterales a otros acuíferos, las salidas a los ríos y los bombeos urbanos y agrícolas. El total de entradas menos las salidas, sería el balance de agua, si es positivo el acuífero ganará volumen de agua almacenado y si es negativo, lo perderá.

Se realiza el balance para el acuífero en su extensión total y dividiendo el acuífero en dos zonas, zona A (drena agua hacia el Magro) y zona B (drena agua hacia el Cabriel y el río Magro aguas abajo).

Las entradas totales al acuífero en régimen natural eran de 61,61 hm³/año y las salidas de 59,05 hm³/año, lo que daría un balance positivo de 2,56 hm³/año y el acuífero aumentaría el volumen de agua almacenado.

Ese balance en las zonas A y B sería de 2,24 y 0,33 hm³/año respectivamente.

Lo más significativo se aprecia al analiza el balance en régimen alterado. Para el acuífero en su totalidad las entradas serían de 60,52 hm³/año y las salidas de 61,95 hm³/año. El balance sería negativo de 1,43 hm³/año, por lo que el acuífero perdería volumen de agua almacenado y estaría sobreexplotado.

Si se analiza ahora por zonas, la zona A tendría unas entradas de 32,52 hm³/año y unas salidas de 34,03 hm³/año, por lo que el balance sería negativo con un valor de 1,51 hm³/año y en esa zona el volumen de agua almacenado disminuiría.

En la zona B las entradas serían de 28 hm³/año y las salidas de 27,91 hm³/año, resultando un balance positivo de 0,09 hm³/año y se almacenaría agua.

Por tanto, se tendría una parte del acuífero que drena agua al río Magro sobreexplotada (zona A) frente a otra parte que drena agua hacia el río Cabriel y el río Magro aguas abajo del aforo de Requena (zona B).

Estudio de la conexión río-acuífero del río Magro (Valencia)

Código	Zona del acuífero	Recarga lluvia	Recarga ríos	Entradas laterales	Recarga agrícola	TOTAL	Salidas laterales	Salidas ríos	Bombeos urbanos	Bombeos agrícolas	TOTAL	BALANCE
8128510	Requena - Utiel (cabecera Rambla de la Torre)	3,08	1,99	0,00	0,06	5,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,13
8128520	Requena - Utiel (Rambla de la Torre)	3,64	2,69	0,00	0,73	7,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,06
8128530	Requena - Utiel (cabecera río Madre)	5,45	0,07	0,00	0,19	5,71	0,00	1,65	0,00	0,00	1,65	4,07
8128540	Requena - Utiel (Caudete de las Fuentes y confluencia)	1,28	0,00	0,00	0,14	1,42	0,00	5,94	0,00	0,00	5,94	-4,51
8128550	Requena - Utiel (Montaña requena)	6,55	0,25	0,00	0,05	6,85	0,00	0,87	0,00	0,00	0,87	5,97
8128560	Requena - Utiel (Río Magro Utiel-Requena)	1,13	0,00	0,00	0,05	1,18	12,13	2,06	0,00	0,00	14,19	-13,00
8128564	Requena - Utiel (Requena MI)	2,07	0,00	0,00	0,24	2,32	0,00	2,07	0,00	0,00	2,07	0,25
8128566	Requena - Utiel (Río Magro en Requena)	2,09	0,87	0,00	0,28	3,25	4,99	0,98	0,00	0,00	5,97	-2,73
	TOTAL ZONA A	25,30	5,88	0,00	1,74	32,92	17,12	13,56	0,00	0,00	30,68	2,24
8128570	Requena - Utiel (Planicie Requena)	4,87	0,00	17,12	0,23	22,22	0,00	5,84	0,00	0,00	5,84	16,38
8128575	Requena - Utiel (Pedanías)	1,15	0,00	0,00	0,03	1,18	0,00	1,74	0,00	0,00	1,74	-0,57
8128580	Requena - Utiel (Cabriel Alto)	1,02	0,00	0,00	0,01	1,03	0,00	14,58	0,00	0,00	14,58	-13,55
8128585	Requena - Utiel (Cabriel Bajo)	1,95	0,00	0,00	0,01	1,96	0,00	1,95	0,00	0,00	1,95	0,01
8128590	Requena - Utiel (Magro a Forata)	2,25	0,00	0,00	0,05	2,30	0,00	4,25	0,00	0,00	4,25	-1,95
	TOTAL ZONA B	11,24	0,01	17,12	0,33	28,70	0,00	28,37	0,00	0,00	28,37	0,33
	TOTAL ACUIFERO REQUENA-UTIEL	36,54	5,89	17,12	2,07	61,61	17,12	41,93	0,00	0,00	59,05	2,56

Figura 77: Balance de agua subterránea en régimen natural (hm³/año). Fuente: propia

Estudio de la conexión río-acuífero del río Magro (Valencia)

Código	Zona del acuífero	Recarga lluvia	Recarga ríos	Entradas laterales	Recarga agrícola	TOTAL	Salidas laterales	Salidas ríos	Bombes urbanos	Bombes agrícolas	TOTAL	BALANCE
8128510	Requena - Utiel (cabecera Rambla de la Torre)	3,08	1,91	0,00	0,06	5,05	0,00	0,00	0,04	0,61	0,65	4,40
8128520	Requena - Utiel (Rambla de la Torre)	3,64	2,30	0,00	0,73	6,67	0,00	0,00	0,80	3,84	4,64	2,03
8128530	Requena - Utiel (cabecera río Madre)	5,45	0,25	0,00	0,19	5,89	0,00	0,05	0,40	2,06	2,51	3,38
8128540	Requena - Utiel (Caudete de las Fuentes y confluencia)	1,28	0,14	0,00	0,14	1,57	0,00	0,71	1,51	0,46	2,68	-1,11
8128550	Requena - Utiel (Montaña requena)	6,55	0,35	0,00	0,05	6,95	0,00	0,11	0,10	1,93	2,14	4,81
8128560	Requena - Utiel (Río Magro Utiel-Requena)	1,13	0,03	0,00	0,05	1,21	11,78	0,45	0,02	0,82	13,06	-11,85
8128564	Requena - Utiel (Requena MI)	2,07	0,07	0,00	0,24	2,39	0,00	0,16	0,94	1,65	2,75	-0,37
8128566	Requena - Utiel (Río Magro en Requena)	2,09	0,43	0,00	0,28	2,80	4,64	0,21	0,34	0,40	5,60	-2,79
	TOTAL ZONA A	25,30	5,49	0,00	1,74	32,52	16,42	1,69	4,15	11,77	34,03	-1,51
8128570	Requena - Utiel (Planicie Requena)	4,87	0,00	16,42	0,23	21,53	0,00	6,02	0,62	1,66	8,30	13,23
8128575	Requena - Utiel (Pedanías)	1,15	0,00	0,00	0,03	1,18	0,00	2,78	0,00	0,34	3,12	-1,94
8128580	Requena - Utiel (Cabriel Alto)	1,02	0,00	0,00	0,01	1,03	0,00	9,57	0,21	0,25	10,03	-9,00
8128585	Requena - Utiel (Cabriel Bajo)	1,95	0,00	0,00	0,01	1,96	0,00	1,75	0,02	0,19	1,96	0,00
8128590	Requena - Utiel (Magro a Forata)	2,25	0,00	0,00	0,05	2,30	0,00	3,41	0,01	1,09	4,51	-2,21
	TOTAL ZONA B	11,24	0,01	16,42	0,33	28,00	0,00	23,52	0,86	3,53	27,91	0,08
	TOTAL ACUIFERO REQUENA-UTIEL	36,54	5,49	16,42	2,07	60,52	16,42	25,21	5,01	15,30	61,95	-1,43

Figura 78: Balance de agua subterránea en régimen alterado (hm³/año). Fuente: propia

8.5 Balance del río

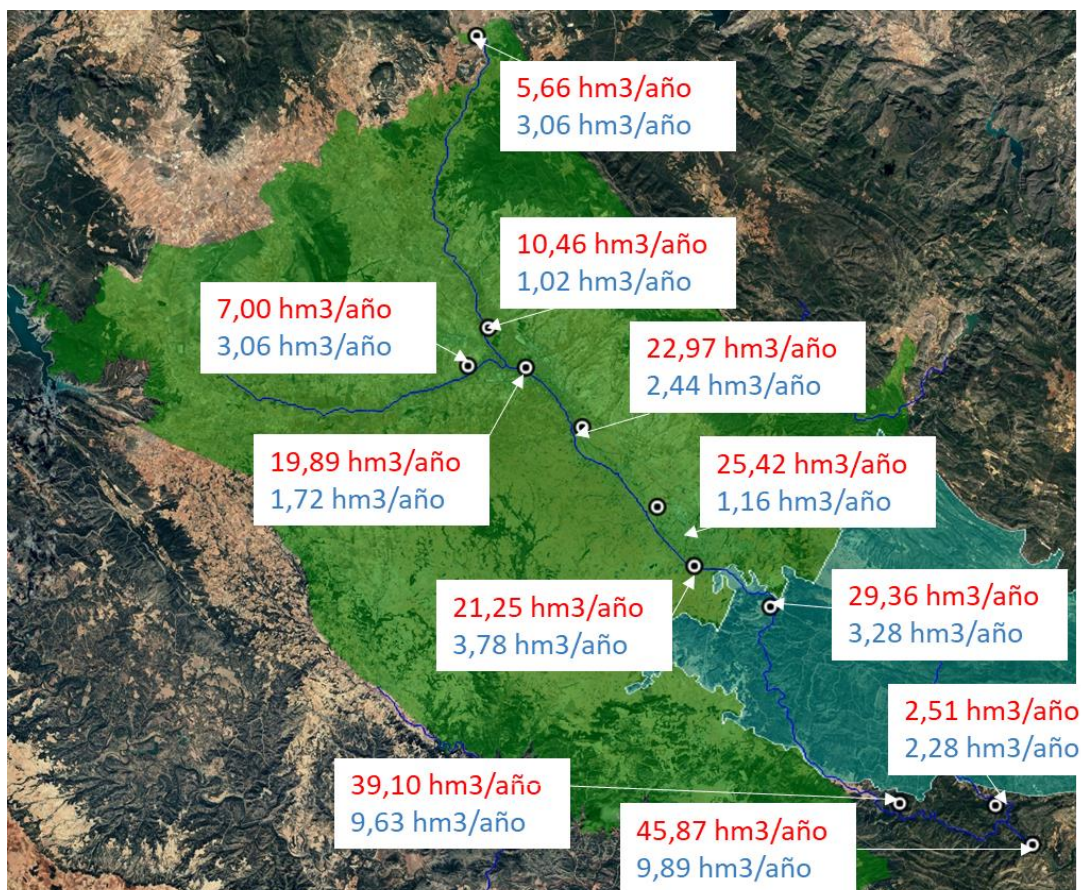


Figura 79: Caudales simulados en régimen natural y alterado. Fuente: propia

En vista de las tablas analizadas en el apartado anterior, las salidas totales al río en régimen natural del acuífero eran de 41,93 hm³/año, de los que 13,96 hm³/año pertenecían a los aportados por la zona A y que drenan agua al Magro hasta Requena y 28,37 hm³/año a la zona B que drena agua hacia el río Cabriel y el Magro aguas debajo de Requena-Utiel.

En régimen alterado, estas aportaciones se han reducido a 1,69 hm³/año en la zona A y a 23,52 hm³/año en la zona B.

De la zona B, si en el aforo de Forata según el modelo se registra un total de 9,58 hm³/año en régimen alterado y por Requena solamente pasan 1,16 hm³/año, los restantes 8,42 hm³/año se producirían en la parte del acuífero Requena-Utiel "zona B" o en el paso del río por el acuífero Cabrillas-Malacara. Por lo analizado en la topografía

(figura 9), únicamente podría drenar hacia el río Magro desde esa zona las subzonas Magro a Forata (código 8128590) y Cabriel bajo (código 8128585).

Estas dos zonas generan un total de 1,75 hm³/año (Cabriel bajo) y 3,41 hm³/año (Magro a Forata), haciendo un total de 5,16 hm³/año. Por lo que el resto hasta los 8.42 hm³/año se generarían en el acuífero Cabrillas-Malacara, posiblemente aportados por el río Mijares, por lo que sería necesario ajustar un modelo conceptual de lo que sucede en ese acuífero.

Por tanto, a priori, sería conveniente dividir la zona B en una zona que drene aguas al Cabriel y otra que las drene al Magro, pero para poder ajustarlo sería necesario ver con detalle qué ocurre en el acuífero Cabrillas-Malacara y en concreto el agua drenada por el río Mijares, con un caudal considerable en la actualidad.

9 Medidas

Todo parece indicar que la principal medida para revertir la situación sería reducir los bombeos en la zona para volver paulatinamente a una situación que, aunque no sea igual al régimen natural sí sea estable.

Los bombeos para demanda agrícola y urbana se encuentran localizados en las siguientes figuras:

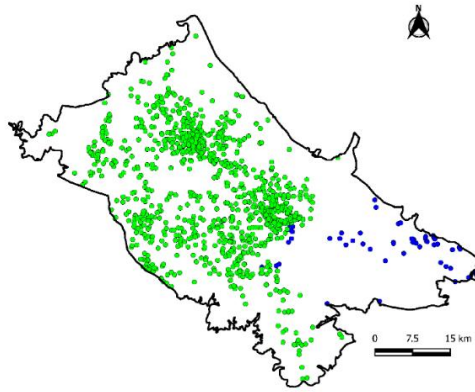


Figura 80: Bombeos agrícolas. Fuente: IIAMA 2019

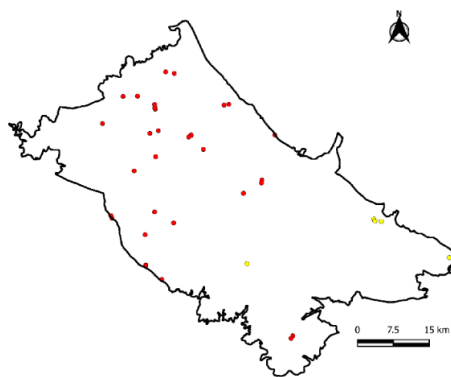


Figura 81: Bombeos urbanos. Fuente: IIAMA 2019

Como se puede observar y según lo establecido en el modelo conceptual, la mayor parte de los bombeos están localizados en la zona de la confluencia y en las proximidades de Requena, esto es en la zona A que drena agua al Magro. Otro gran número de bombeos se sitúan en la zona B, pero estos afectarán al caudal que circula hacia el Cabriel o al medido en Forata al llegar al río Magro aguas abajo de Requena.

Además, y según el balance de agua subterránea queda demostrado que la zona A del acuífero está sobreexplotada y la zona B subexplotada con un excedente de agua.

Por tanto, si se quiere actuar para aumentar los caudales en el aforo de Requena será necesario reducir los bombeos en la zona A y no en la B, que influirá en los caudales aguas abajo o en la rambla de Albosa y el Cabriel.

La problemática de reducir los caudales en la zona A es que sea lo suficiente como para poder abastecer las demandas de los usuarios que extraen el agua del acuífero de esta zona. Para solucionar ese problema, sería conveniente realizar un estudio de viabilidad en cuanto a caudales a transportar, inversiones, desniveles y costes para bombear caudales de la zona A a la zona B.

10 Resumen y conclusiones

Tras analizar toda la información disponible y elaborar un modelo conceptual que permite una simulación matemática correcta de lo que ocurre en el sistema (acuífero 08.133 Requena-Utiel y su interacción con el río Magro) se pueden establecer interesantes conclusiones.

En la actualidad hay un descenso considerable del caudal del río Magro en los aforos de Requena y Forata. En régimen natural, al embalse de Forata llegaban 45,87 hm³/año, siendo 21,25 hm³/año los que pasaban en Requena. En la actualidad llegan a Forata 5,89 hm³/año, de los que 3,78 hm³/año corresponden a los que se aforan en Requena. Entre el régimen natural y el alterado se observan reducciones del 83 % en Requena y del 89 % en Forata. De los recursos que llegan al aforo de Requena en la actualidad, 0,94 hm³/año corresponden a caudales aportados por las EDAR. Y de los 5,89 hm³/año que llegan a Forata, 2,56 hm³/año tienen la misma procedencia.

Estos dos regímenes de caudales serán los que marquen todo el trabajo, correspondiendo el primero a un régimen sin bombeos o natural y el segundo a un régimen con bombeos o alterado.

Los acuíferos que proporcionan recursos subterráneos al río Magro entre su nacimiento y el embalse de Forata son Requena-Utiel (080.133) y Cabrillas-Malacara (080.139). En menor medida el acuífero Sierra del Ave (080.144), por lo que el estudio se centrará en analizar lo que ocurre en ellos únicamente.

Si se analizan los piezómetros disponibles, hay descensos de los niveles piezométricos considerables en el acuífero de Requena-Utiel entre los dos periodos a analizar. En la mayoría de piezómetros se observan descensos entre 1980 y la actualidad de entre 2 y 4 m., siendo en algunos casos puntuales de cerca de 20 m. Estos descensos piezométricos, al compararlos con el perfil topográfico del río se observa que han ocasionado desconexiones río acuífero en la zona de la confluencia de la rambla de la Torre y el río Madre. La conexión en otras zonas está en estado límite. Esta zona ha estado históricamente conectada con el río y han aportado agua, por lo que, al desaparecer, sería una de las principales causas de la reducción de caudales en el aforo de Requena.

Para establecer el sentido del flujo de agua en el acuífero, se han realizado tres perfiles piezométricos transversales al acuífero, lo que junto a la información que dan

las isopiezas dadas por el IGME y la CHJ, permite establecer un flujo en dirección norte-sur y más bien noroeste-sureste. Los perfiles piezométricos transversales también confirman las desconexiones río-acuífero al compararlas con la cota del río. El flujo de la zona también viene determinado por una fuerte pendiente topográfica del cauce y de la orografía, existiendo descensos de 500 m. en distancias que no superan los 80 km desde el nacimiento del río hasta el embalse de Forata, lo que supone un flujo no plano.

Los manantiales, localizados en el acuífero también proporcionan información de cómo se mueve el agua en el mismo. De esta manera y fruto del trabajo de campo realizado, se constatan los manantiales secos en la zona en la que el río se ha desconectado y con caudal abundante en la zona sur o hacia donde se dirige el flujo. En el caso de Caudete de las Fuentes, zona del nacimiento del río Magro con la Fuente Grande y la Fuente Chica, fuentes que dan nombre al pueblo, han llegado a secarse de manera permanente desde el año 2014. Los manantiales con mayor caudal se ha observado que son los que se encuentran en la parte sur del acuífero.

Si el flujo es norte-sur y el río Magro está en situación límite a su paso por el acuífero, se puede concluir que es ganador en la margen izquierda y perdedor en la derecha entre Requena y Utiel. No ha cambiado desde el régimen natural, pero si la cantidad de agua que aporta. En la zona de la confluencia sí que se ha desconectado por completo, como queda demostrado. Como dato complementario a esto, en la zona desconectada es donde se encuentra la mayor concentración de extracciones por bombeo.

Se ha definido un modelo conceptual de la relación río-acuífero Utiel-Requena y río Magro y se ha validado con un modelo numérico con buenos resultados. Para la modelación se han comparado los valores reales de caudales en los aforos de Requena y Forata con los que aporta el modelo para régimen natural y alterado. También se ha comparado la evolución de los piezómetros que da el modelo con lo que ocurre en la realidad.

En vista de lo anterior parece existir dos comportamientos en el acuífero:

Una que drena agua hacia el río Magro y que se recoge en el aforo de Requena. (zona A) Esta parte ocuparía desde el río Magro y Madre hacia el límite norte y oeste del acuífero. Estas aportaciones al río serían de 1,69 hm³/año, a lo que si se suman los 0,93 hm³/año de las EDAR, darían un total de 2,62 hm³/año, muy cerca de los 3,78 hm³/año aforados en el aforo de Requena.

Otra parte del acuífero drena agua al Magro hacia aguas abajo (se recoge en Forata) y hacia la rambla de Albosa (de los Ruices o río Romeroso). Las aportaciones al río de esta zona serían en total de 23,42 hm³/año. Por la topografía y geología de la

zona se puede concluir a priori que, de toda esa zona, al río Magro corresponderían las salidas al río de la subzona “Magro a Forata” y “Cabriel bajo” es decir 5,16 hm³/año frente a los 18,16 hm³/año que se drenarían al Cabriel. Los caudales que faltan de esos 5,16 hm³/año hasta los 9,89 hm³/año que el modelo indica que llegan a Forata, podrían llegar del acuífero Cabrillas-Malacara, lo que requeriría un estudio de detalle de la zona para determinarlo con exactitud.

La zona que drena agua hacia el río Magro estaría sobreexplotada, siendo el balance total de agua de la zona negativo, mientras que la zona que drena al Cabriel o al Magro aguas abajo estaría subexplotada con un balance total de agua positivo.

Por este motivo, para recuperar caudales en Requena, se debería actuar en la zona que drena al Magro del acuífero y no en la que drena aguas abajo y al Cabriel reduciendo bombeos.

Como la posibilidad de reducir bombeos en la zona A es complicada ya que los usuarios necesitan esas extracciones de agua, por ello, se plantea la posibilidad de estudiar la viabilidad de aumentar los bombeos en la zona B y trasladar el agua a la zona A.

El presente estudio ha supuesto una actualización del estado de la cuestión, pues ha permitido establecer un modelo conceptual que ha sido validado con un modelo de simulación. Aunque desde diversos organismos se ha trabajado durante años para conseguirlo, todavía ningún modelo conceptual funcionaba “lo mejor posible”.

11 Líneas futuras

Una vez concluido el estudio es el momento de establecer líneas futuras que permitan mejorarlo o complementarlo.

En primer lugar, se deberá confirmar el comportamiento con un modelo distribuido de detalle, tipo MODFLOW.

Para poder obtener más información sobre lo que ocurre en la realidad en el sistema, es conveniente mejorar la red de piezómetros y aforos. En cuanto a piezómetros sería conveniente volver a poner en funcionamiento el piezómetro 08.24.012, situado en la confluencia del río Madre y la rambla de la Torre. Pese a ser un punto clave en la desconexión río acuífero, ese piezómetro tan solo aporta datos hasta el año 1997, por lo que se desconoce lo que ocurre en la actualidad en ese punto del acuífero.

También sería conveniente colocar más piezómetros en el acuífero Cabrillas-Malacara (08.139), especialmente en la zona sur, por la que discurren los ríos Magro y Mijares. Otra zona interesante de la que no se disponen piezómetros sería la que drenaría agua del acuífero Requena-Utiel al río Magro aguas abajo del aforo de Requena.

En cuanto a aforos sería conveniente aforar la rambla de Albosa (río Romeroso o rambla de los Ruices) para poder cuantificar la cantidad de agua que el acuífero Requena-Utiel está drenando hacia el río Cabriel. También sería recomendable aforar el río Mijares poco antes de su desembocadura en el río Magro.

Otra línea futura sería la evaluación económica y de viabilidad de trasladar recursos desde la zona B hasta la zona A para poder reducir los bombeos en la zona que drena agua al río Magro y así poder aumentar el caudal.

Al igual que se ha realizado un modelo conceptual y una simulación con un modelo matemático para su validación del acuífero Requena-Utiel, también sería conveniente realizarlo del acuífero Cabrillas-Malacara para poder determinar de forma adecuada que parte del caudal que entra al embalse de Forata llega desde el aforo de Requena, desde la zona B del acuífero y desde Cabrillas-Malacara por el río Mijares.

12 Referencias

- CHJ (1998). *Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar*. Real Decreto 1664/1998, de 25 de julio.
- CHJ (2001). *Redacción del plan de explotación de la unidad hidrogeológica 08.24 "Utiel-Requena"*.
- CHJ. (2005b). *Delimitación y caracterización de los acuíferos en las masas de agua subterránea de la Confederación Hidrográfica del Júcar*.
- CHJ (2009). *Identificación y delimitación de las masas de agua superficial y subterránea*. Ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar.
- CHJ. (2015). *Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Ciclo de planificación hidrológica 2015-2021*. Valencia.
- CHJ (2016). *Plan hidrogeológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar del ciclo 2015-2021*. Real Decreto 1/2016, de 8 de enero.
- CHJ (2016). *Plan de explotación de la masa de agua subterránea Requena-Utiel*.
- CHJ. (2017). *Seguimiento del Plan de Explotación de la masa de agua subterránea 080.133 Requena-Utiel. Campaña del año hidrológico 2016/2017*.
- CHJ (2018). *Seguimiento del Plan de Explotación de la masa de agua subterránea 080.133 Requena-Utiel*. Campaña del año hidrológico 2017/2018.
- CHJ (2019). *Seguimiento del Plan de Explotación de la masa de agua subterránea 080.133 Requena-Utiel*. Campaña del año hidrológico 2018/2019.
- CHJ. *Sistemas de información (S.I.A. Júcar)*.
- IGME-DGA. (2005). *Estudio inicial para la identificación y caracterización de las masas de agua subterránea de las cuencas intercomunitarias*.

- IGME. (2006). *Mapa Litoestratigráfico y de Permeabilidad de España*.
- IGME. (2009). *Identificación y delimitación de masas de agua superficial y subterránea*.
- IGME-DGA. (2009). *Apoyo a la caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015*.
- IGME. (2011). *Informe sobre la caracterización básica de las masas de agua subterránea de la Confederación Hidrográfica del Júcar*.
- IGME. (2017). *Mapa geológico de la Comunidad Valenciana a escala 1:400000*. Modificado el 8 de febrero de 2017.
- IIAMA (2019). *Convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Júcar y la Universitat Politècnica de València para la mejora de modelos hidrológicos*. Instituto de ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València.
- IIAMA (2019b). *Informe de caudales mensuales por sistemas*. Instituto de ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València. 28 de octubre de 2019
- IIAMA (2019c). *Informe de niveles piezométricos por sistemas*. Instituto de ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València. 25 de octubre de 2019.
- MIMAM (2005). *Estudio inicial para la identificación y caracterización de las masas de agua subterránea de las cuencas intercomunitarias*.
- Fernández-Urizar, I. (2017). *Modelación matemática del flujo de agua subterránea del acuífero de Requena-Utiel. Estudio del plan de explotación de la masa de agua*. Trabajo de fin de máster, Universitat Politècnica de València, 95 p.
- Mercé Gallo, A. (2015). *Estudio de alternativas de gestión de agua subterránea en la cuenca del río Magro*. Trabajo de fin de grado, Universitat Politècnica de València, 88 p.

Pérez-Martin, M.A. (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 Europea del Agua*. Ph. D. Thesis, Universitat Politècnica de València.

Pérez-Martin, M.A. (2014). *Modeling Water Resources and River-Aquifer Interaction in the Jucar River Basin, Spain*.

Pérez Membrives, Miguel Ángel (2019). *Modelo matemático del flujo de agua subterránea de los acuíferos de Requena-Utiel y Cabrillas-Malacara*. Trabajo de fin de grado, Universitat Politècnica de València, 105 p.