



APLICACIÓN DE TÉCNICAS E INVESTIGACIONES HIDROGEOLÓGICAS EN RELACIÓN CON EL USO SOSTENIBLE DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA ABASTECIMIENTO URBANO Y APOYO A LA PUESTA EN VALOR Y DIVULGACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO Y MONUMENTAL DE LA PROVINCIA DE JAÉN.



ACTIVIDAD 3: Apoyo a las operaciones de recarga artificial en los acuíferos de Bedmar-Jódar, Larva y Calcarentas de Alcalá la Real-Santa Ana.

APLICACIÓN DE TÉCNICAS E INVESTIGACIONES HIDROGEOLÓGICAS EN RELACIÓN CON EL USO SOSTENIBLE DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA ABASTECIMIENTO URBANO Y APOYO A LA PUESTA EN VALOR Y DIVULGACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO Y MONUMENTAL DE LA PROVINCIA DE JAÉN.

ACTIVIDAD 3: Apoyo a las operaciones de recarga artificial en los acuíferos de Bedmar-Jódar, Larva y Calcarentas de Alcalá la Real-Santa Ana.

ACUÍFERO DE BEDMAR-JÓDAR



APLICACIÓN DE TÉCNICAS E INVESTIGACIONES HIDROGEOLÓGICAS EN RELACIÓN CON EL USO SOSTENIBLE DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA ABASTECIMIENTO URBANO Y APOYO A LA PUESTA EN VALOR Y DIVULGACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO Y MONUMENTAL DE LA PROVINCIA DE JAÉN.



ACTIVIDAD 3: Apoyo a las operaciones de recarga artificial en los acuíferos de Bedmar-Jódar, Larva y Calcaenitas de Alcalá la Real-Santa Ana.

APOYO A LAS OPERACIONES DE RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO DE BEDMAR-JÓDAR

INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico y Minero de España (en adelante IGME) y la Diputación Provincial de Jaén (en adelante DPJ) vienen colaborando desde 1981. Para ello, ambos organismos suscribieron un Convenio Marco con fecha 27 de octubre de 1981 que regula de forma general la colaboración entre ambas entidades y que prevé en su cláusula segunda la realización de una serie de actuaciones mediante la figura de un convenio de colaboración.

Con ese mismo objetivo, el IGME y la DPJ firmaron el 24 de julio de 2017 el CONVENIO ESPECÍFICO DE COLABORACIÓN ENTRE LA EXCMA. DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE JAÉN Y EL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA PARA EL APOYO TÉCNICO EN MATERIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y PATRIMONIO MINERO Y MONUMENTAL (AÑOS 2017-2019) para la realización de diferentes actividades en materia de aguas subterráneas y patrimonio minero y monumental.

En el presente documento se presentan los trabajos realizados en la Actividad 3 “Apoyo a las operaciones de recarga artificial en los acuíferos de Bedmar-Jódar, Larva y Calcarenitas de Alcalá la Real-Santa Ana” correspondientes al acuífero de Bedmar-Jódar.

CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO DE BEDMAR JÓDAR

Geometría del acuífero

El acuífero está formado por dos afloramientos de carbonatos aislados en superficie por margas miocenas, que conforman las serrezuelas de Bedmar y Jódar, el de mayor tamaño (la Serrezuela), y la Golondrina, el más pequeño. En su conjunto presentan una superficie permeable próxima a 17 km² (Fig. 1). Se trata de un acuífero kárstico constituido por calizas y dolomías del Cretácico, con potencias del orden de 600-700 m, que pueden aparecer localmente recubiertas por calizas algales del Mioceno medio con espesores inferiores a 100 m. El muro está definido por margas, arcillas y areniscas calcáreas del Cretácico inferior (Álvaro López et al., 1992; Roldán García et al., 1992). Lateralmente el acuífero se enfrenta a materiales acuitados del Mioceno medio y a materiales de origen triásico, incluidos en el conjunto Olistostrómico del Guadalquivir o Complejo Caótico Subbético, que también constituyen el substrato general de la serie cretácica (Fig. 2.). La geometría consiste en una sucesión de pliegues apretados y vergentes al NNO, de tal forma que los núcleos anticlinales se localizan en los relieves más elevados de la Serrezuela y de La Golondrina.

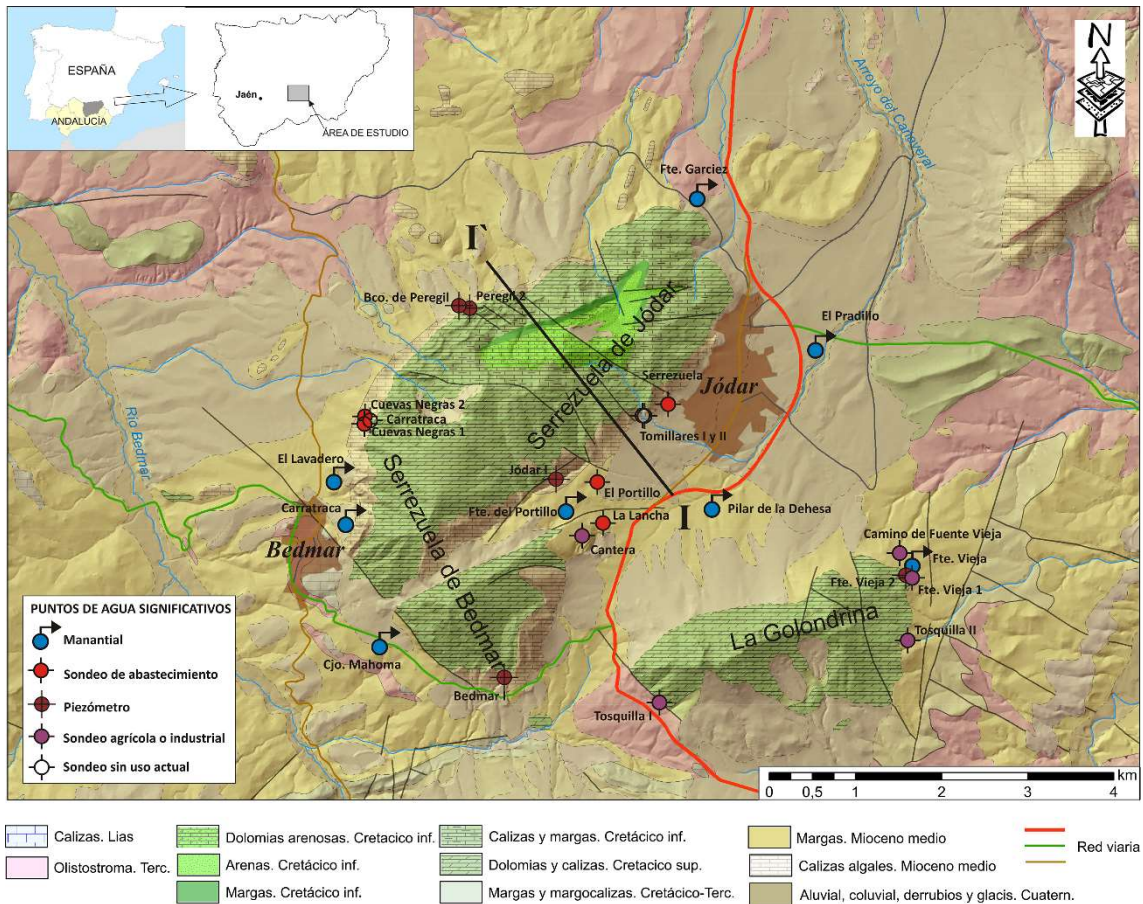


Figura 1. Mapa hidrogeológico del acuífero de Bedmar-Jódar.

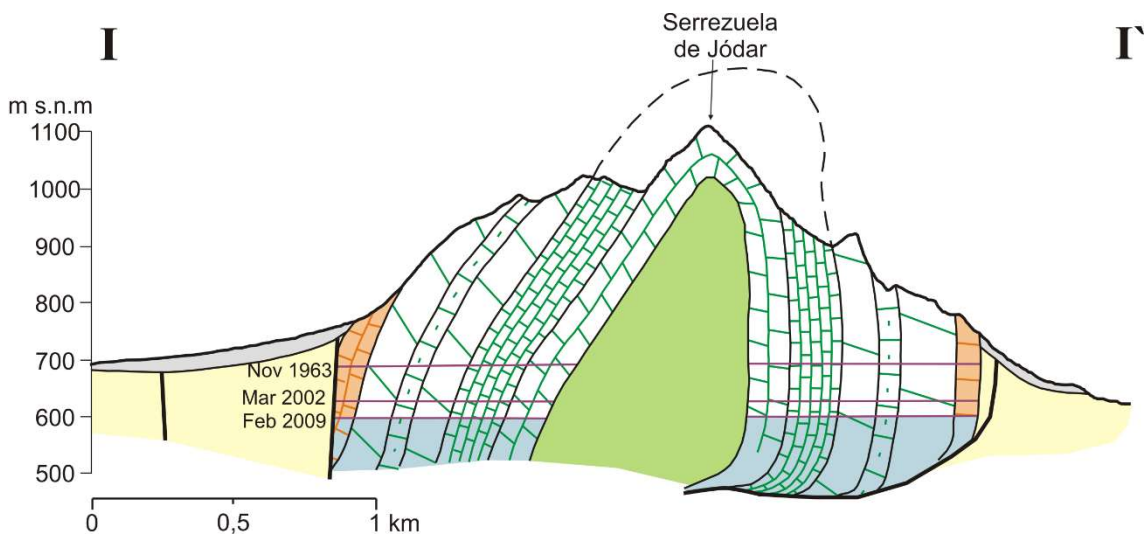


Figura 2. Corte hidrogeológico de la Serrezuela de Jódar. Situación piezométrica actual.

Investigaciones recientes realizados en la zona por el IGME han demostrado la conexión hidrogeológica entre ambos afloramientos, las Serrezuelas de Bedmar y Jódar y la Golondrina. Esta conexión ha sido puesta de manifiesto a partir de trabajos geofísicos (Fig. 3) y ha sido confirmada por el seguimiento piezométrico de los sondeos de la zona y por las características físico-químicas del agua subterránea. Los resultados fueron publicados por González Ramón *et al.* (2017). Esto significa que los sondeos que explotan agua subterránea para regadío de olivar

ubicados en el afloramiento de la Golondrina afectan a los niveles piezométricos en el afloramiento de la Serrezuela, a los que se suman los bombeos para abastecimiento a Jódar y, en menor medida, a Bedmar. Esto permite explicar los elevados descensos registrados en el acuífero, que se agravaron notablemente tras la perforación y uso de estos sondeos, tal y como se explica en los párrafos siguientes.

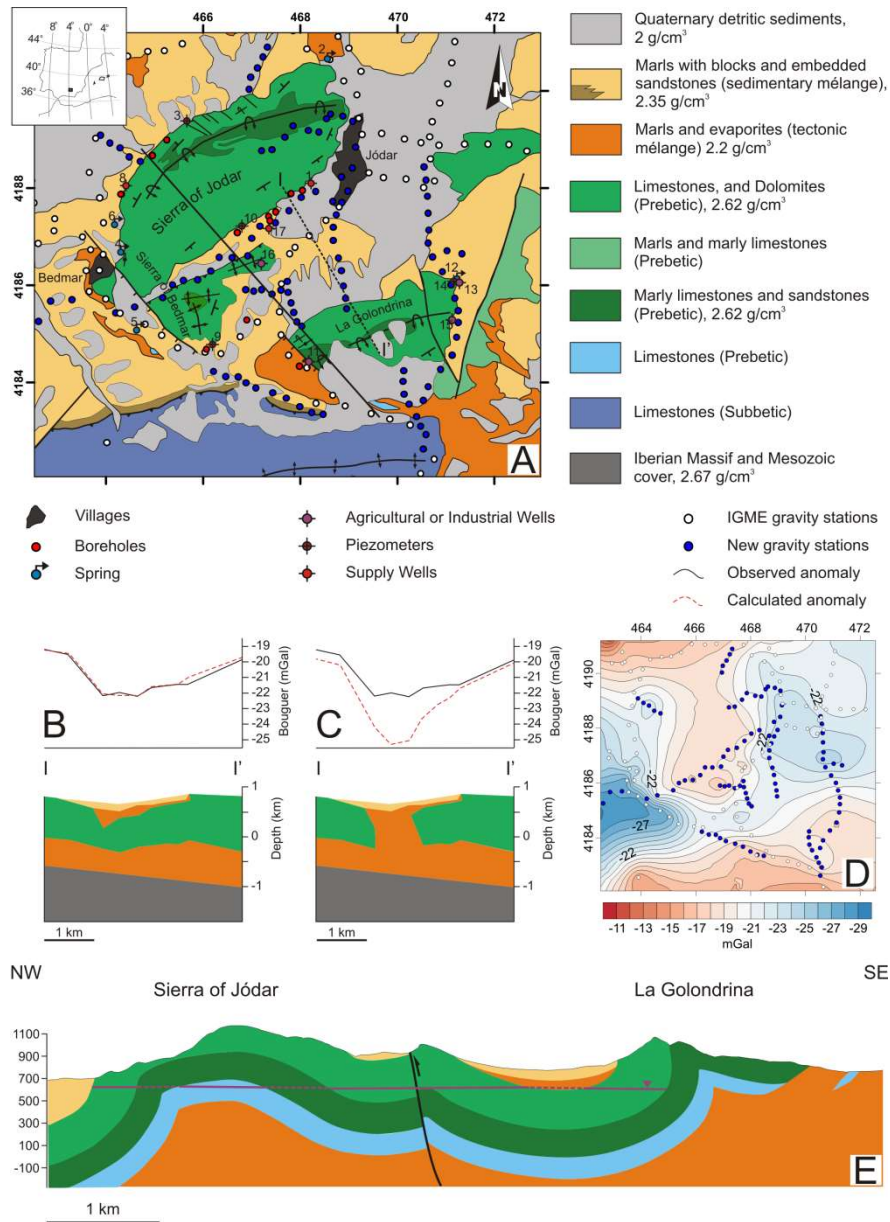


Figura 3. Resultados de la prospección geofísica realizados en el acuífero de Bedmar-Jódar (modificado de González-Ramón et al., 2017).

Evolución de la piezometría

Se dispone de datos sobre la piezometría del acuífero desde 1962, año en el que se construyó el primer sondeo en el acuífero (sondeo de la Serrezuela para abastecimiento a Jódar). En el momento de su construcción, el nivel piezométrico se situó a 695 m s.n.m., cota de referencia del nivel previa al inicio de la explotación del acuífero. Los manantiales existentes previos a la

explotación del acuífero se situaban a cotas de 650 m (Fuente públicas de Jódar), 670 m (Fuentes de Carratraca, El Lavadero y del Cjo. de Mahoma) y 695 m (Fuente Vieja en la Golondrina). Actualmente aún existe un manantial sin afectar, se trata de la Fuente de Garcéz, situado a 630 m s.n.m. que drena un pequeño sector aislado desde el punto de vista hidrogeológico del sector principal (Fig. 1).

La explotación del acuífero comenzó en 1963 (Fig. 4) con la instalación del sondeo de la Serrezuela, que aún continúa utilizándose. En 1979 se construyó otro para el abastecimiento a Bedmar, que solo se utiliza esporádicamente como apoyo en el estiaje y en épocas de sequía. Los primeros descensos de niveles importantes en el acuífero se registraron durante la sequía de comienzos de los 80 del siglo pasado (Peinado et al., 1989). En esos años se construyeron varios sondeos para regadío de olivar en el flanco NE del anticlinal de las Serrezuelas de Bedmar y Jódar. La alarma provocada por los descensos de niveles llevó a la clausura de esos sondeos en 1988. La gran sequía de comienzos de los noventa provocó nuevos descensos de niveles, que se agravaron posteriormente por la construcción de sondeos para regadío de olivar en la Golondrina. El máximo descenso registrado se produjo al final de la sequía de 2005-08, con 107 m por debajo del nivel de referencia inicial. En 2010 comenzó un nuevo ciclo húmedo, lo que provocó una recuperación parcial de niveles hasta situarse en torno a 77 m por debajo del nivel de referencia en marzo de 2014. En 2016 se registró un nuevo ciclo seco que ha llevado de nuevo el nivel a los 91 m de descensos desde el nivel de referencia en los últimos datos registrados, en julio de 2020 (Fig. 4 y 5).

Los principales manantiales desaparecieron al final de los años 70, incluyendo el localizado en la Golondrina, el manantial de Fuente Vieja. En la figura 5 se muestran las evoluciones de niveles desde el comienzo del control piezométrico sistemático, en enero de 1995, hasta la actualidad. En mayo de 2013 se instaló el piezómetro Bedmar 1 con un sensor que permite el control horario de niveles y de temperatura del agua en el acuífero. Posteriormente, pero durante ese mismo año, se instalaron también los piezómetros Fuente Vieja y Perejil 2. Se indica que el sensor instalado en el piezómetro Perejil 2 ha estado operativo, con algunos problemas, hasta finales de febrero de 2019. En esas fechas, la comunidad de regantes propietaria del pozo, en un celo excesivo consecuencia de lo que podría llamarse como “el síndrome de Totalán” decidió sellar el pozo soldando su tapa, pese a que la tapa se encontraba cerrada con un candado. La soldadura se hizo sin siquiera abrir el candado y con el sensor dentro. Conversaciones posteriores con los responsables de la comunidad no llegaron a buen término, pues se negaron rotundamente a permitir que se continuara con el uso del pozo como piezómetro, a pesar de que no se utiliza ni se utilizará en el futuro para ningún otro fin. Actualmente aún no se ha logrado rescatar el sensor que continua en su interior.

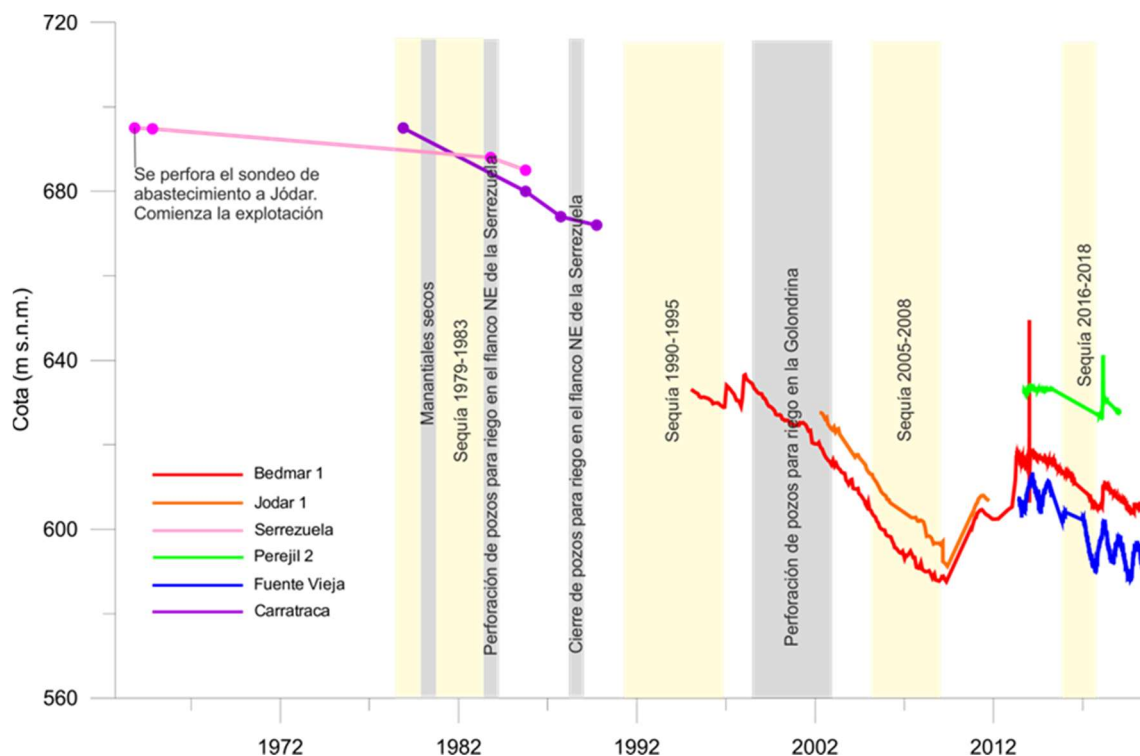


Figura 4. Evolución histórica de niveles piezométricos en el acuífero de Bedmar-Jódar y su relación con sequías y actuaciones en el acuífero. Periodo 1962-2020. La localización de los puntos de medida del nivel se puede observar en la Fig. 1.

La figura 5 muestra como los tres piezómetros monitorizados siguen una misma tendencia, descendente en líneas generales, lo que demuestra la relación hidrogeológica entre todos los puntos. Las bruscas variaciones anuales del nivel en el piezómetro de Fuente Vieja se deben a su cercanía al sondeo que explota aguas subterráneas en este sector, propiedad del ayuntamiento de Jódar pero cedido a los regantes. El control de niveles en este punto ha permitido conocer los ciclos de explotación para el regadío de olivar, e incluso calcular con precisión el volumen explotado en este punto, como se explicará más adelante.

Las evoluciones piezométricas en los acuíferos suelen ajustarse bien a la curva de desviación acumulada con respecto a la media en las estaciones pluviométricas representativas del agua recargada en el acuífero. Por esta razón, se comparan en la figura 5. A primera vista se podría interpretar que las variaciones registradas son de origen climático, sin embargo, si no existiera explotación, el acuífero registraría unas variaciones similares, pero con un rango mucho menor, condicionado exclusivamente por las descargas de los manantiales. Resulta obvio que variaciones temporales de varias decenas de metros en un acuífero de este tipo no responden a procesos naturales sino a una consecuencia de una explotación por encima de los valores de la recarga media anual, lo que explica la tendencia generalizada al descenso de niveles que se observa en el acuífero.

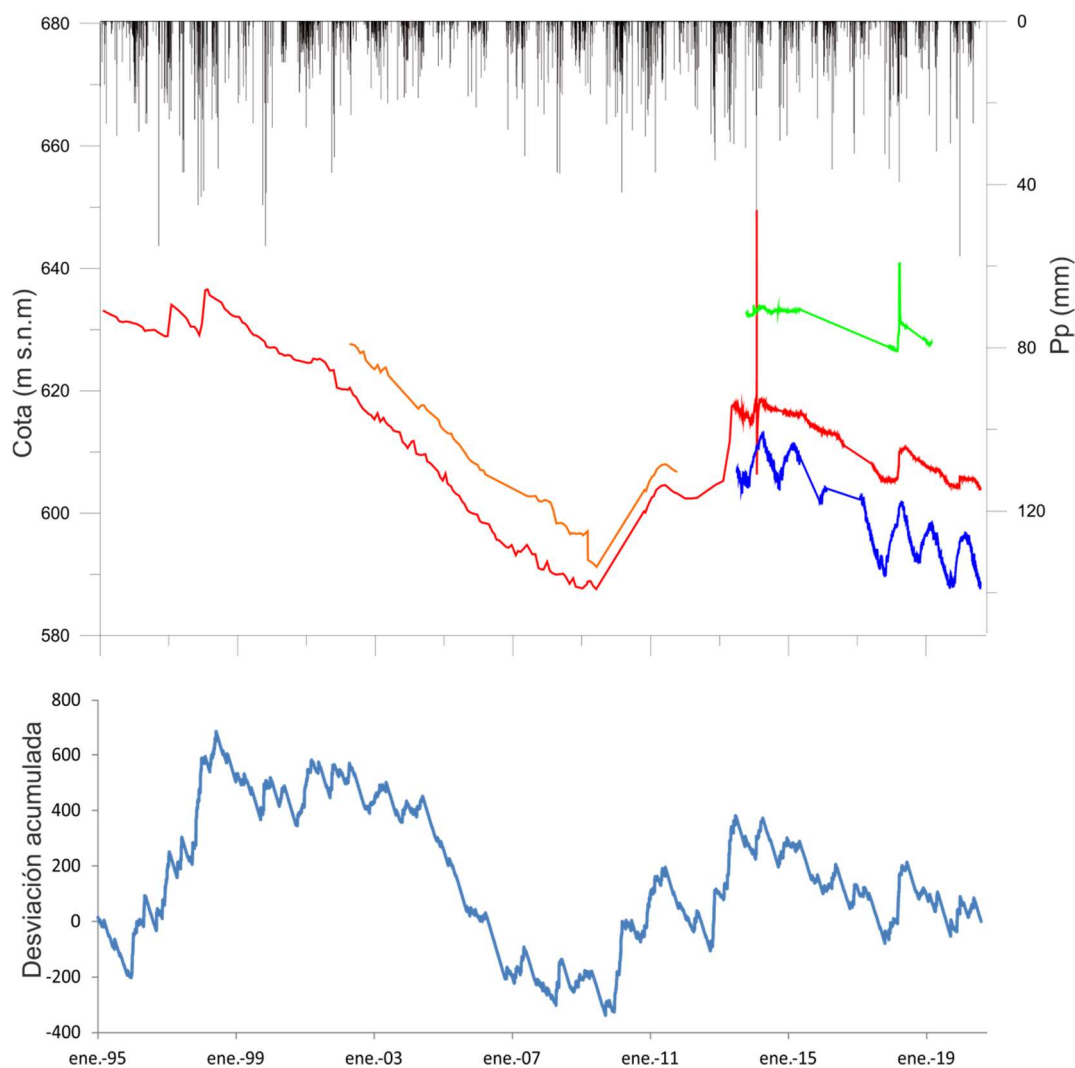


Figura 5 Detalle de las evoluciones piezométricas en el acuífero de Bedmar-Jódar desde 1995 hasta julio de 2020 y su comparación con la desviación acumulada de la precipitación con respecto a la media. Datos de precipitaciones diarias procedentes de la estación agroclimática del IFAPA en Jódar.

Evolución de la temperatura del agua subterránea

En 2013 se realizó en la zona una campaña de muestreos de aguas subterráneas que incluyó medidas precisas de su temperatura (T^a). Además, la instalación de sensores, permite conocer la evolución de la temperatura del agua en los piezómetros, pues los sensores miden también este parámetro.

En el gráfico de la figura 6 se muestra la relación entre la T^a del agua y la cota del nivel piezométrico en los puntos medidos. La línea negra muestra que la correlación existente es muy baja, con un valor de R^2 de 0,39. Sin embargo, si se eliminan los puntos situados en la Golondrina, Fuente Vieja I y II, el valor de R^2 pasa a ser de 0,94, lo que demuestra la estrecha relación existente entre todos los puntos situados en el afloramiento de la Serrezuela. Las aguas más frías aparecen en el flanco noroccidental, en el sensor del Perejil II y en la Fuente de Garciez, donde los valores pueden considerarse dentro del rango normal de T^a , adecuadas a las medias existentes en superficie. Los afloramientos de carbonatos relacionados con la Fuente de Garciez

presentan una cota media en torno a 800 m, mientras que en el resto de la Serrezuela puede ser superior a 1000 m, esto puede explicar su mayor T^a en relación a Perejil II. En el resto de puntos, en cambio, los valores superan a los de Perejil II entre 6 y 14 °C, presentando claramente características termales, incluidos los sondeos de la Golondrina. El punto con valores más elevados es el sondeo Portillo (Fig. 1), que capta los carbonatos en una situación de confinamiento. Esta elevada T^a podrían explicarse por la presencia de aguas que han circulado a mayores profundidades en zonas donde el acuífero está confinado. Este hecho debe ser consecuencia del descenso en la piezometría provocada por los bombeos. Con los descensos se produce una llamada del agua contenida en la zona en que el acuífero se encuentra confinado en el área comprendida entre la Serrezuela y la Golondrina, estas aguas habrían circulado a mayor profundidad que el resto y por tanto tendrían una T^a más elevada, su mezcla con el agua de recarga anual produciría estas anomalías térmicas.

Es posible hacer una estimación preliminar de la profundidad a la que habría circulado el agua subterránea captada en el sondeo del Portillo, el de T^a más elevada. La T^a del aire media en la zona es de 17,15°C en la estación agroclimática de Jódar, la diferencia con el sondeo del Portillo es de 12,4°C. Si se considera un gradiente geotérmico normal, el ascenso de T^a cada 100 m sería de entre 3 y 4°C, con lo que la profundidad de circulación del agua sería de entre 300-400 m sin contar el posible enfriamiento por mezclas de aguas.

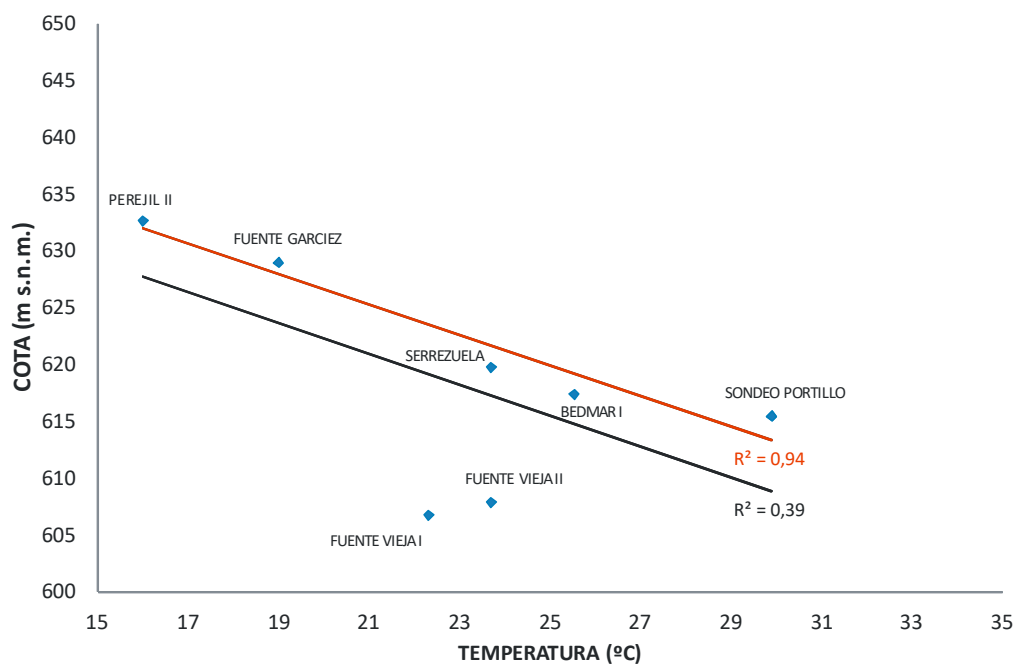


Figura 6. Relación entre la T^a del agua en los puntos muestreados en 2013 y la cota del nivel piezométrico. La línea negra muestra la correlación entre todos los puntos y la roja excluyendo los puntos situados en la Golondrina.

La evolución de la T^a del agua en los piezómetros permite evaluar como se ha ido produciendo este incremento. En los tres puntos monitorizados se observa un progresivo crecimiento de este valor desde que se disponen de datos (Fig. 6). El ajuste lineal de los datos muestra que en los tres puntos hay un crecimiento de la T^a con un gradiente casi idéntico en Fuente Vieja y Bedmar,

y más débil en el sondeo Perejil 2. Resulta revelador que los puntos más cercanos a la zona confinada presentan la T^a más elevada.

En Fuente Vieja se observan dos fuertes anomalías temporales en la T^a durante episodios de grandes lluvias que generan una elevada recarga. Ambos episodios se producen en invierno. Se observan episodios de recarga de agua considerablemente más fría que la contenida en el acuífero que llegan muy rápidamente a la zona saturada provocando una alteración de la temperatura. Estos episodios no se observan en los piezómetros situados en el afloramiento de la Serrezuela. Se considera que precisamente la ubicación de Fuente Vieja en el pequeño afloramiento de la Golondrina podría explicar esta cuestión, pues el agua local recargada en este afloramiento llega a la zona saturada muy rápidamente, debido a su pequeña extensión superficial, y en un volumen suficiente como para provocar esta alteración local.

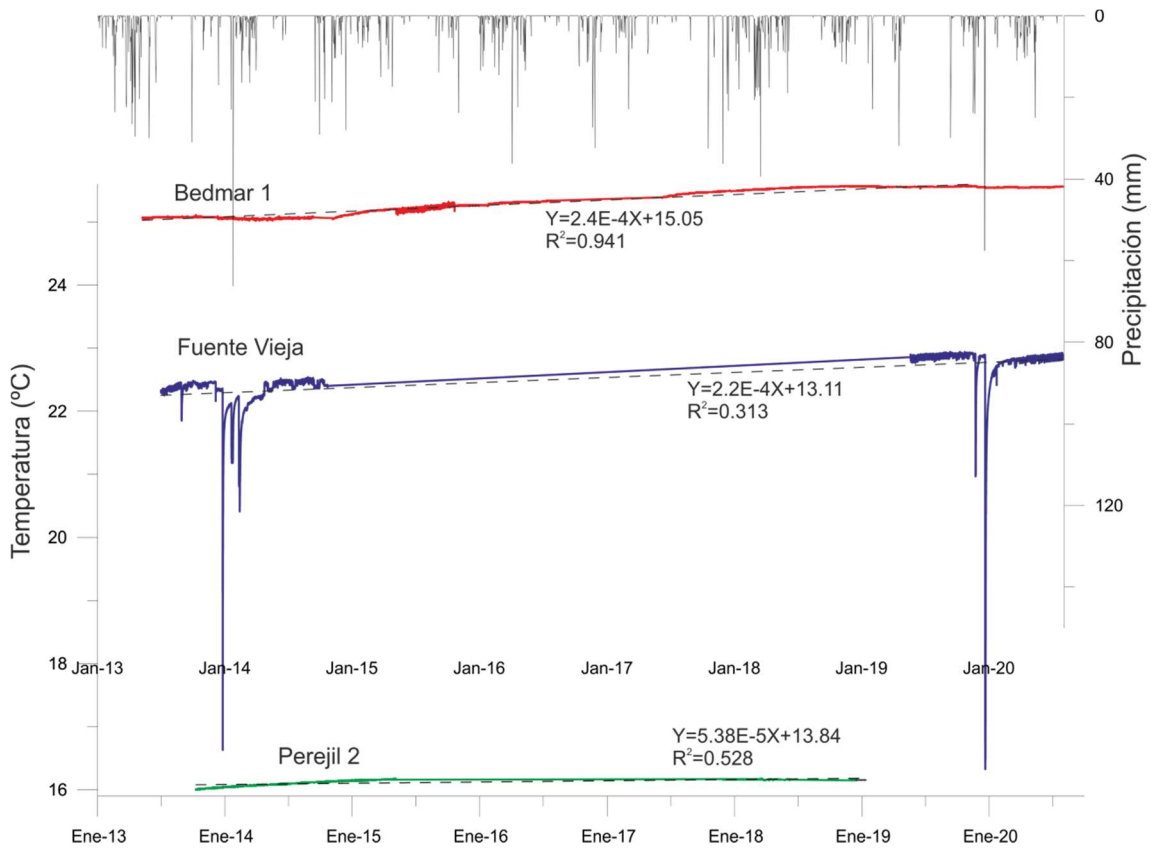


Figura 7. Evolución de la temperatura del agua subterránea en los tres piezómetros monitorizados.

El sondeo Perejil también muestra un crecimiento lineal de la T^a , pero con un gradiente mucho más bajo que en los puntos anteriores.

Modelización de la recarga y volumen vaciado en el acuífero

Para el estudio de la recarga se ha optado por su modelización con la utilización del software RENATAv3.0, realizado por el IGME y la Diputación de Alicante y desarrollado por la empresa ALJIBE S.A. Este software calcula la recarga en el acuífero a partir de su discretización en celdas para cada periodo de tiempo, diario o mensual, de una serie climática dada. El programa permite la calibración de los parámetros del acuífero mediante el ajuste de los resultados a partir de

series de piezometría y/o hidrometría. Además, permite incluir series de extracciones de agua subterránea en las celdas en las que se localizan y calcular retornos de regadío en caso de que existan.

El periodo de tiempo escogido ha sido de 19 años (2000-2018) del que se dispone de datos climáticos diarios y un buen registro piezométrico en el piezómetro Bedmar 1 y de menor duración en Jódar 1, completado con datos horarios en los tres piezómetros instrumentalizados. En este periodo se producen los descensos de niveles en el acuífero mejor documentados, lo que también permite evaluar el volumen de agua vaciado durante en estos años. La calibración de la recarga se ha realizado con la utilización de los datos de los cuatro piezómetros cuyas curvas de variación se exponen en la figura 5. En la figura 8 se muestran los ajustes conseguidos. Se puede observar que en tres de los piezómetros se ha conseguido un ajuste muy bueno. La excepción ha sido el piezómetro Perejil 2 en el que no se ha podido lograr un buen ajuste. Esto podría ser debido a las características de este piezómetro, un sondeo abandonado poco penetrativo que posiblemente no registra la piezometría adecuadamente y además podría estar influenciado por niveles semicolgados existentes en las margas arenosas miocenas que se superponen a los carbonatos.

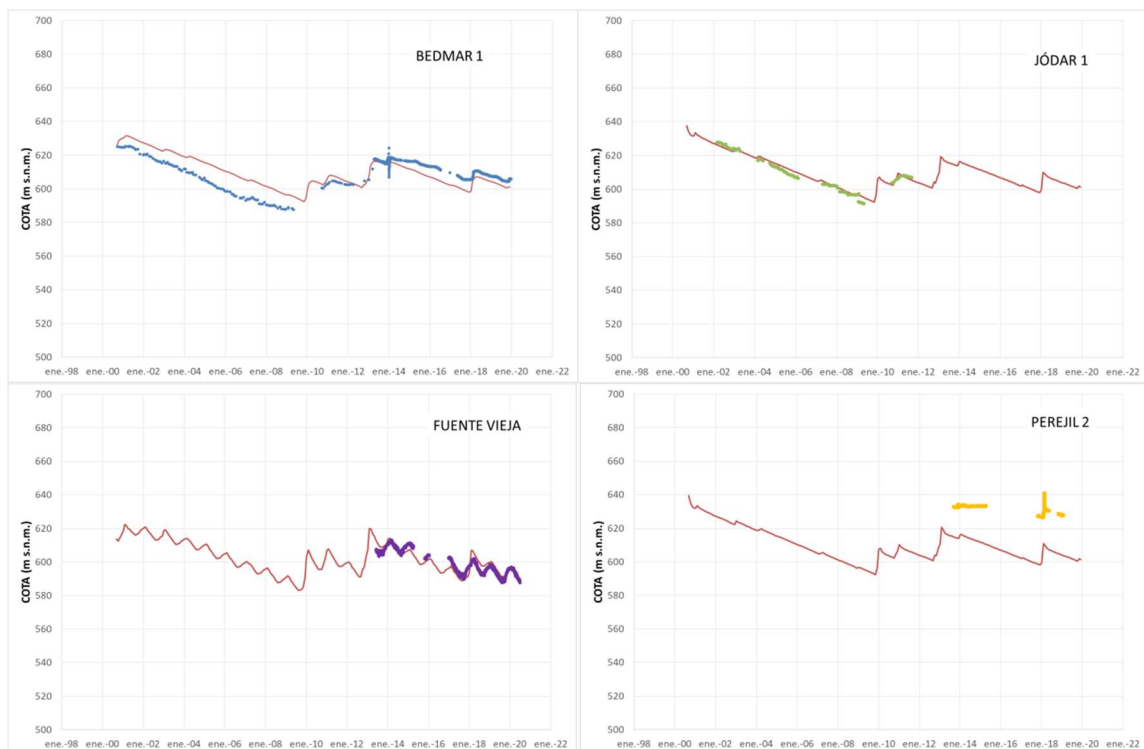


Figura 8. Ajustes conseguidos en los cuatro piezómetros tras la calibración.

Estos ajustes se consiguen aplicando una reserva útil (RU) de 40 mm. La superficie del acuífero se ha dividido en 5 sectores. Uno de ellos corresponde a la zona confinada y otro al núcleo del anticlinal de la Serrezuela, donde afloran arenas arcillosas. Las permeabilidades (k) ajustadas están en un margen de entre 10 y 80 m/día para los carbonatos de la Serrezuela, de 3 m/día en la Golondrina, de 0.001 m/día en el núcleo del anticlinal y de 0,5 m/día en la zona confinada. El coeficiente de almacenamiento S varía entre 6 y $1,5 \times 10^{-3}$ en la Serrezuela, 3×10^{-3} en la Golondrina, 0.02 en el núcleo del anticlinal y 1×10^{-6} en la zona confinada.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos. Se observa que durante el periodo simulado la media de extracciones anuales fue de 2 hm³ frente a una recarga de 1,62 hm³, con lo que existe un claro desequilibrio que se resuelve con un consumo de reservas del acuífero de 0,41 hm³ de media anual, con un volumen total de reservas vaciadas del acuífero de 7,81 hm³ para el periodo simulado (Fig. 9b).

Tabla 1. Resultados obtenidos en la modelización de la recarga

Fecha	Extracciones hm ³	Infiltración hm ³	Almacenamiento hm ³
2000	-2.13	1.33	0.76
2001	-2.04	0.43	1.57
2002	-2.04	1.27	0.79
2003	-2.04	1.13	0.92
2004	-2.04	0.00	2.00
2005	-2.04	0.16	1.90
2006	-2.04	0.88	1.25
2007	-2.04	0.38	1.72
2008	-2.04	0.81	1.36
2009	-2.04	5.71	-3.65
2010	-2.04	3.15	-1.05
2011	-1.97	0.04	2.11
2012	-1.93	7.75	-5.72
2013	-1.93	1.32	0.61
2014	-1.93	0.71	1.16
2015	-1.93	0.53	1.43
2016	-1.93	0.71	1.31
2017	-1.93	4.41	-2.47
2018	-1.93	0.12	1.81
TOTAL	-37.95	30.86	7.81
MEDIA	-2.00	1.62	0.41

Hay que indicar que en la simulación se ha descontado la superficie de recarga que correspondería a la descarga por la fuente de Garcéz. Se observa que durante el periodo simulado hay 2 años en los que la recarga es nula y otros 3 muy baja, por otra parte hay otros 4 años en los que se supera ampliamente la media, por lo que la recarga es muy irregular (Fig 9) y el periodo simulado podría considerarse seco en líneas generales (Fig 9 y curva de DA de la Fig. 5)

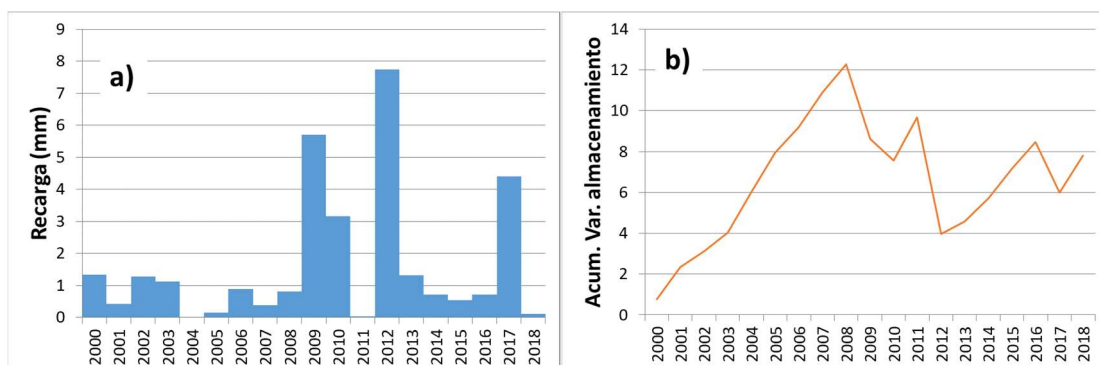


Figura 9. a) variación anual de la recarga calculada en el acuífero. b) variación acumulada del volumen de vaciado en la zona saturada (hm³).

AGUAS DE RECARGA EN ORIGEN

Dos son las posibles fuentes de suministro de agua de recarga, el río Cuadros y el río Jandulilla, dependiendo si la recarga se hace en el afloramiento de la Serrezuela o en el afloramiento de la Golondrina.

Caudales disponibles en el río Cuadros

El río Cuadros recoge las principales descargas del Sector de Sistillo (Masa de Agua Subterránea de Sierra Mágina), evaluadas en una media de unos 9 hm³. Se dispone de datos de la descarga en el manantial de Sistillo I (CHG-IGME, 2001) durante el periodo 1982 a 2020 (Fig. 10). A partir de estos datos se puede hacer una primera evaluación de los recursos disponibles para recarga.

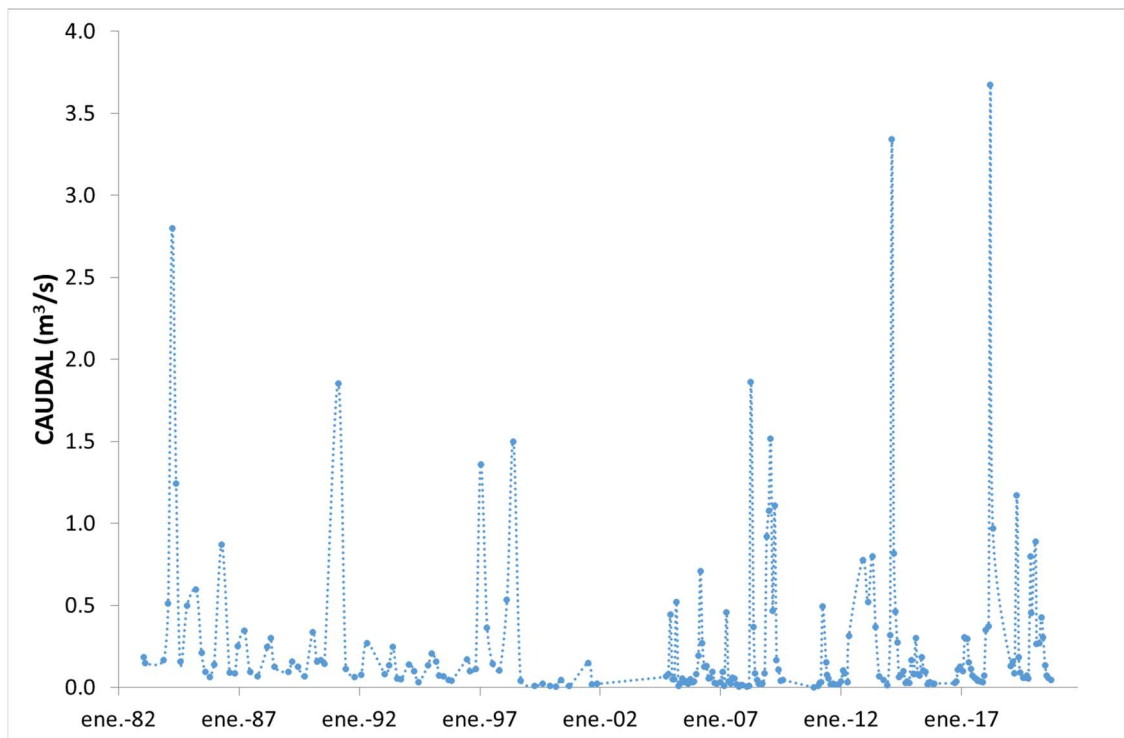


Figura 10. Hidrograma correspondiente al río Cuadros durante el periodo 1982/2020.

Los recursos del río Cuadros son utilizados por las comunidades de regantes desde principios de abril hasta finales de octubre. Por tanto, existirán recursos entre noviembre y marzo de cada año. Para el cálculo de los recursos disponibles se ha utilizado la serie entre noviembre de 2005 y marzo de 2020, que totaliza 14 años hidrológicos. Se ha utilizado esta serie porque existe un volumen de datos de caudal más continuo. Para estimar el caudal, se ha asumido que el caudal puntual medido en cada mes correspondiente con la media mensual diaria. Los meses con lagunas se han completado con datos de otro año con precipitaciones similares.

El volumen total calculado para ese periodo es de 76 hm³, teniendo en cuenta solo las descargas invernales de los 5 meses considerados (de noviembre a marzo). Esto equivale a una media de 5,4 hm³ anuales. Debido a la irregularidad de las precipitaciones, con puntas de caudal elevadas y de corta duración se ha preferido utilizar la mediana de la serie a la que se ha restado el caudal ecológico en el río considerado por el Plan Hidrológico del Guadalquivir actualmente vigente. El resultado es un volumen de 4,9 hm³ que equivaldría a una media de unos 84 l/s. Sin embargo,

debido a la gran irregularidad de los caudales, la media diaria puede variar entre 43,7 l/s en 2007/08 hasta los 2387 l/s para el año 2018/19. Como medida de seguridad puede considerarse que anualmente habría disponible para recarga al menos un caudal medio de 60 l/s, que correspondería a un volumen anual de 1 hm³. Este volumen medio puede alcanzarse considerando conducciones capaces de transportar unos 100 l/s, lo que permitiría alcanzar mayores volúmenes en años húmedos y menores o incluso inexistentes en años secos o muy secos.

Caudales disponibles en el río Jandulilla

Para evaluar los caudales disponibles en el río Jandulilla se ha utilizado la estación de aforos de la red SAIH existente en dicho río, que permite trabajar con datos diarios e incluso horarios. La estimación se ha hecho para el año más reciente, 2019/20, para el que no existen lagunas. El hidrograma correspondiente a dicho año puede observarse en la figura 11. Solo se han considerado los meses en los que existirían recursos para recargar, es decir de noviembre de 2019 hasta marzo de 2020.

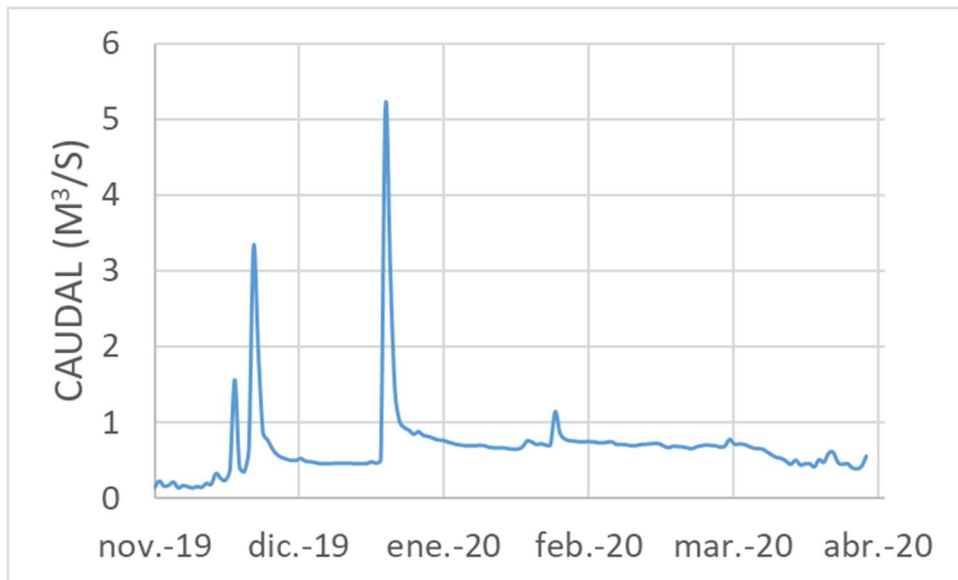


Figura 11. Hidrograma medido en la estación SAIH del río Jandulilla entre noviembre de 2019 y marzo de 2020.

El volumen total obtenido para dicho periodo es de 88 hm³, que es el caudal drenado por el río en ese año entre noviembre y marzo. Lo que correspondería con un caudal puntual de 671 l/s. Existen por tanto recursos suficientes para recarga en este río, lo que permitiría recargar al menos 2 hm³ por temporada. Para ellos será necesario construir conducciones con capacidad para elevar hasta la Golondrina al menos caudales de 150 l/s.

ANÁLISIS DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE INSTALACIONES DE RECARGA, ASÍ COMO DE LAS AUXILIARES DE CONTROL, TRATAMIENTO Y TRANSPORTE DEL AGUA DE RECARGA

Como se ha expuesto en los apartados anteriores, las alternativas para la toma de agua son dos, el Manantial de Sistillo II en el Río Cuadros y el río Jandulilla (Fig. 12).

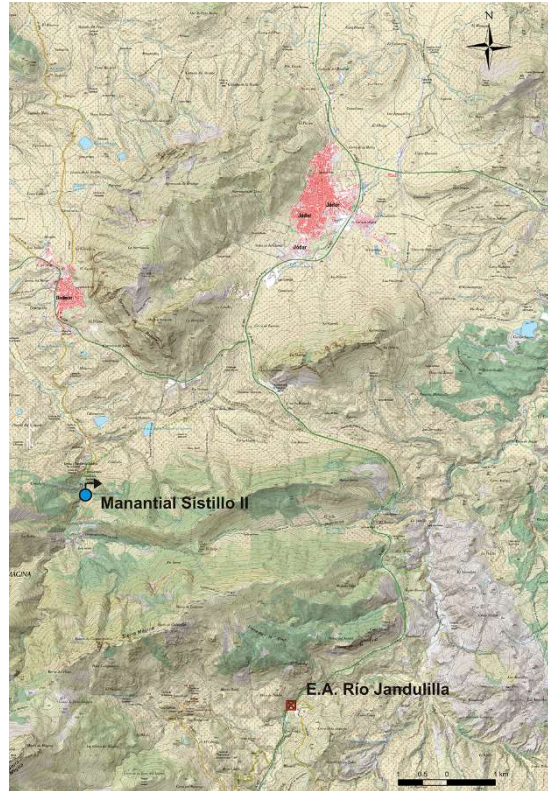


Figura 12. Puntos de control de caudales en el río Cuadros y en el Río Jandulilla.

Alternativa de recarga a partir de aguas del río Cuadros

Actualmente en el río Cuadros existen tomas que derivan agua para dos balsas que gestionan las comunidades de regantes de Bedmar. La capacidad aproximada de esas balsas es de entre 55 y 65 m³. La de mayor capacidad, Balsa del Cerrillo de los Asperones, se localiza a una cota de 659,5 m s.n.m. según el modelo digital LIDAR del IGN. La otra a 611,4 m s.n.m. según la misma fuente. Estas balsas pueden ser utilizadas durante los periodos de recarga como balsas de almacenamiento y decantación previas a la infiltración del agua, para lo que, evidentemente, habría que contar con la colaboración de las comunidades de regantes.

El punto donde inyectar el agua para recarga sería el sondeo construido en su día para tal fin por el antiguo Servicio de Obras Públicas de la Dirección General de Obras Hidráulicas denominado sondeo Bedmar 1, actualmente utilizado para control piezométrico del acuífero. Se perforó en 1991 por el método de percusión hasta los 289 m de profundidad. Se perforó a un diámetro entre 550 y 500 mm y está revestido con tubería metálica de 450 mm de diámetro y 6 mm de espesor. Desde el metro 149 hasta el final está ranurado con tubería troquelada con un paso de 7x25 mm. Al finalizar su construcción el nivel piezométrico se localizó a 127,43 m de profundidad, a finales de julio de 2020 se localizaba a 171,05 m. Tras su construcción se aforó extrayendo un caudal de 109 l/s durante 23 horas, con el que se consiguió un descenso de tan

solo 1,36 m. Esto implica una transmisividad de 6640 m²/día (MOPT, 1993). A partir de esta información se considera viable la inyección en este punto de un caudal de al menos 100 l/s.

En la figura 13 se muestra el esquema de inyección propuesto, con una posible utilización alternativa de las balsas de decantación cuya infraestructura ya existe. Para su puesta en marcha sería necesario la construcción de dos conducciones con capacidad para transportar unos 60 l/s hasta el punto de inyección cada una. El esquema final implicaría la elevación de entre 115 y 162 m, dependiendo de la balsa que se utilice, a lo que habría que sumar la elevación desde el río hasta esas balsas.

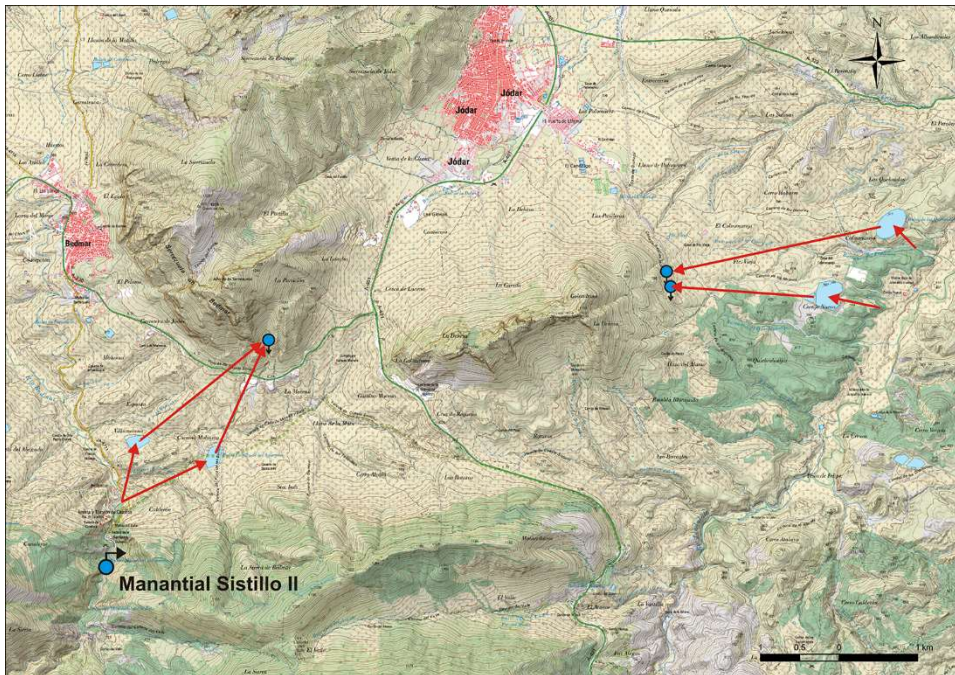


Figura 13. Esquemas de recarga artificial propuestos y posibles puntos de inyección.

ALTERNATIVA DE RECARGA A PARTIR DE AGUAS DEL RÍO JANDULILLA

Al igual que en el río Cuadros, en el río Jandulilla también existen tomas para regadío que conducen el agua a dos grandes balsas de distribución. Estas balsas también pueden ser aprovechadas como almacén temporal y para decantación del agua a inyectar para recarga.

Los puntos de inyección deben construirse en la ladera occidental de la Golondrina, pues, pese a la existencia de un sondeo abandonado, este no se considera adecuado. Se recomienda la construcción de dos sondeos con un diámetro medio que permita entubar a 400 mm. La profundidad a alcanzar dependerá de las características hidráulicas observadas durante la perforación, pero se recomienda un mínimo de 250 m por sondeo.

Las balsas de los regantes tienen una capacidad de almacenamiento en torno a 130 m³ y se sitúan a cotas de 587 m para la situada más al sur y 571 m la más al norte (Balsa de las Quebradas). Los sondeos podrían ubicarse a cotas en torno a 720-730 m. En estas condiciones las elevaciones del agua a recargar estarían entre 130 y 160 m, del mismo orden que en el caso del río Cuadros.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de los trabajos realizados para caracterizar el acuífero receptor se ha evaluado un volumen de agua que el acuífero puede almacenar de 7,81 hm³, lo que permitiría restituir al nivel piezométrico a la cota existente en el año 2000. Esto supondría elevar el nivel unos 23 m sobre la cota actual. Para llevarlo a cotas cercanas al punto de surgencia de los manantiales habría que elevarlo unos 25 m más, si las características hidráulicas son similares a las existentes en los 23 m inferiores, supondría un volumen similar, otros 8 hm³ más a restituir.

Si se acometen las dos zonas propuestas para recarga se podría lograr fácilmente recargar 3 hm³ anuales, lo que permitiría en tan solo 3 años de operaciones alcanzar las cotas de 2000 y en 6 años las cotas de surgencia de los manantiales.

Otra ventaja de la realización de la recarga, nada desdeñable es la reducción de costes de bombeo, tanto en el caso de los ayuntamientos como de los regantes, debido a la elevación de niveles. Lo que repercutiría económicamente por el abaratamiento del agua utilizada.

La infraestructura a construir para el caso de la Serrezuela (desde el río Cuadros) sería la de dos conducciones de 1,65 km y 2,4 km respectivamente capaces de elevar unos 60 l/s cada una entre 115 m y 166 m de altura de elevación. En el caso de la Golondrina (desde el río Jandulilla), habría que construir otras dos conducciones de 2,2 y 3 km hasta las zonas de recarga y dos sondeos de unos 250 m de profundidad y 500 mm de diámetro. Igualmente, las conducciones deberían ser capaces de elevar unos 60 l/s cada una con alturas de bombeo de entre 130 y 160 m.

En cuanto a los costes anuales de la recarga se recomienda que sea financiados, en el caso de la Serrezuela por el ayuntamiento de Jódar y en menor medida por el de Bedmar, ya que son los usuarios de las aguas explotadas en esa zona. En el caso del agua recargada en la Golondrina, serían las comunidades de regantes que disponen de sondeos en esa zona las que deberían costear los bombeos para la recarga.

Fdo. Antonio González Ramón

Científico titular de la Unidad
Territorial del IGME en Granada

REFERENCIAS

Álvaro López M, Hernández Samaniego A, del Olmo Zamora, P (1992). Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 948 (Torres). IGME, Madrid.

CHG-IGME (2001).

González-Ramón, A., Martos-Rosillo, S., Ruiz-Constán, A., Pedrera, A., Galindo-Zaldivar, J., & Martínez-Martos, M. (2017). Multidisciplinary Hydrogeological Study of a Folded Karst Aquifer Under Intensive Exploitation: The Bedmar-Jódar Aquifer (Southern Spain). In EuroKarst 2016, Neuchâtel (pp. 351-362). Springer, Cham.

MOPT (1993). Sondeos de Investigación hidrogeológica para estudio de las zonas de recarga artificial del acuífero de Bedmar-Jódar (Jaén). Informe 04/93.

Roldán García F, Lupiani Moreno E, Jerez Mir L (1992). Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 927 (Baeza). IGME, Madrid.