



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.

ACUÍFEROS DE LAS CALCARENITAS DE ALCALÁ LA REAL-SANTA ANA Y LARVA



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.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	5
2	ACUÍFERO DE LAS CALCARENITAS DE ALCALÁ LA REAL-SANTA ANA	5
2.1	Introducción	5
2.2	Localización geográfica	5
2.3	Características climáticas	6
2.4	Contexto hidrogeológico	7
2.5	Materiales y métodos	10
2.6	Recarga natural del acuífero	11
2.7	Evolución piezométrica	11
2.8	Caudales drenados por los principales manantiales	15
2.8.1	Fuente Somera	16
2.8.2	Fuente del Rey y Fuente Gallardo	17
2.9	Uso para abastecimiento y riego	17
2.10	Conclusiones y recomendaciones	19
2.11	Referencias	19
3	ACUÍFERO DE LARVA	21
3.1	Introducción	21
3.2	Marco geográfico	21
3.3	Características climáticas e hidrológicas	22
3.4	Marco hidrogeológico	22
3.4.1	Acuífero Dolomítico de Larva	22
3.4.2	Acuífero Calcaenítico de Larva	22
3.5	Trabajos realizados	24
3.6	Evolución piezométrica	24
3.7	Conclusiones y recomendaciones	28
3.8	Referencias	30



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.

1 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 a los acuíferos de las Calcarenitas de Alcalá la Real-Santa Ana y Larva.

2 ACUÍFERO DE LAS CALCARENITAS DE ALCALÁ LA REAL-SANTA ANA

2.1 Introducción

El abastecimiento al municipio de Alcalá la Real (Jaén), que tiene una población residente estable de 21.758 habitantes en enero de 2017 (INE, 2017) de los que 16.897 corresponden al núcleo de Alcalá la Real y los restantes 4.861, a 22 entidades singulares, se realiza desde un total de 10 sondeos y 5 manantiales, entre los que se encuentran los sondeos denominados Llanos I (184040075), Llanos II (184040077), Llanos III (184040133) y los manantiales de Fuente Somera (184040014) y Fuente de San Marcos o Corredera (184040074) los cuales captan o drenan, respetivamente, el acuífero de las Calcarenitas de Alcalá la Real-Santa Ana, administrativamente incluido en la Masa de Agua Subterránea (MASb) 052.800 “Montes Orientales. Sector Norte”.

La información contenida en este epígrafe ha dado lugar a una comunicación en el Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA) celebrado en Huelva en octubre de 2018.

2.2 Localización geográfica

El acuífero de las Calcarenitas de Alcalá la Real-Santa Ana se localiza en el suroeste de la provincia de Jaén, a unos 70 km de la capital. Está situado al este del casco urbano de Alcalá la Real y limitando con este y con la aldea de Santa Ana (figura 1).

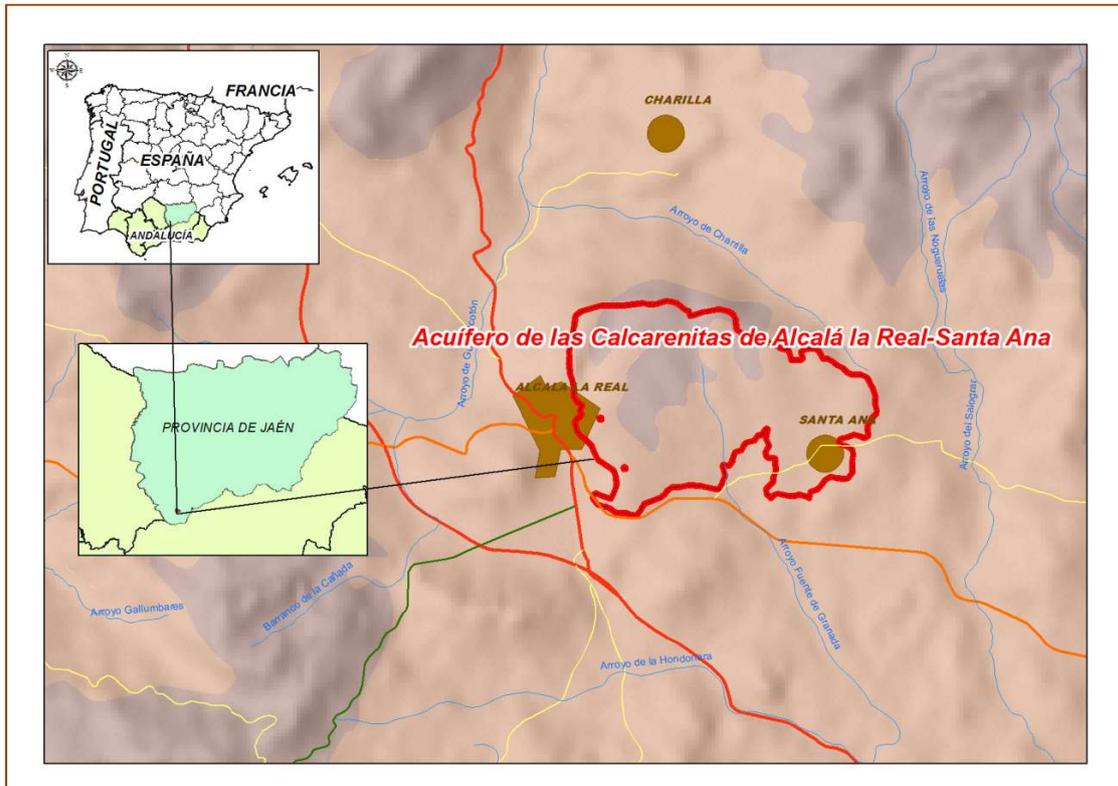


Figura 1: Localización geográfica del acuífero de las Calcarenitas de Alcalá la Real-Santa Ana

2.3 Características climáticas

El conjunto de la MASb se caracteriza por la existencia de un clima Mediterráneo Templado según la clasificación de Papadakis (DGOH-ITGE, 1993). En la zona de estudio se dispone de un registro pluviométrico llevado a cabo por ADALSA desde la Estación “EDAR Alcalá la Real”.

Los valores anuales (ver Figura 2) indican una precipitación media de 620,36 mm/año para el periodo 2004-2015. En ese periodo se observa que existen años hidrológicos extremadamente secos como 2004-2005 con 248 mm/año y otros muy lluviosos como el caso de 2012-2013 en el que cayeron 1.182 mm.

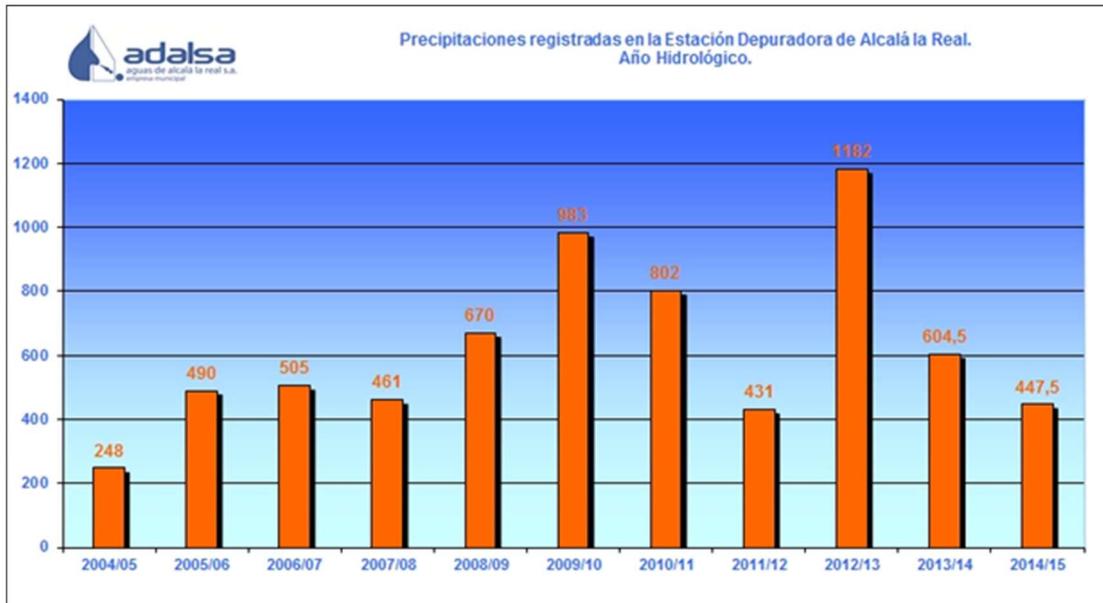


Figura 2: Precipitaciones anuales registradas en la Estación "EDAR Alcalá la Real" (ordenadas en mm)

2.4 Contexto hidrogeológico

El acuífero de las Calcarentas de Alcalá la Real-Santa Ana es un acuífero multicapa situado entre los núcleos de Alcalá la Real y Santa Ana y constituido por calcarenitas, arenas y conglomerados del Mioceno superior que ocupan una superficie de 6,6 km².

Consiste en un afloramiento tabular con espesores entre 36 y 97 m (50-60 metros de espesor medio) que se dispone, horizontalmente o buzando ligeramente al suroeste, sobre una formación margosa del Mioceno que constituye sus límites y sustrato impermeable.

Aunque presenta carácter libre, en su zona suroriental existen algunos sectores confinados o semiconfinados, debido a la existencia de cambios laterales de facies. En las figuras 3 y 4 se presenta un mapa hidrogeológico del acuífero y un corte geológico esquemático del mismo.

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

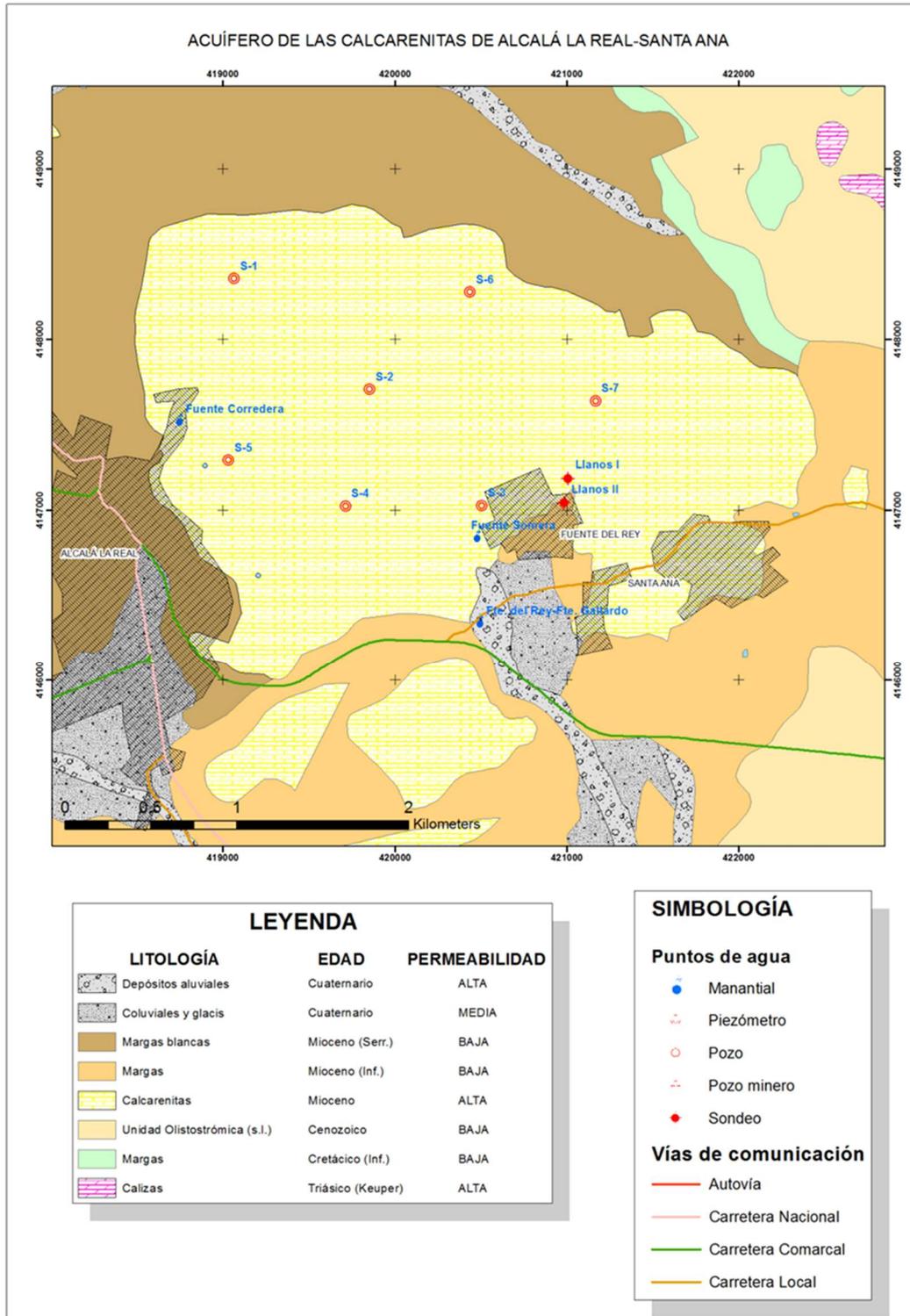


Figura 3: Mapa hidrogeológico del acuífero de las Calcaenitas de Alcalá la Real-Santa Ana (modificado de IGME-DPJ, 2012).

El principal drenaje se localiza en el paraje de Fuente del Rey, donde se sitúan las surgencias más representativas: Fuente Somera, Fuente del Rey y Fuente Gallardo, que surgen a cotas comprendidas entre 900-925 m s.n.m. La Fuente del Rey pertenecía a las redes hidrométrica y

de calidad, controladas por el IGME hasta 2001. Otra surgencia significativa es Fuente Corredera (o Fuente de San Marcos), situada en el extremo occidental del acuífero a 960 m s.n.m. Estos manantiales presentaban, hace 10-15 años, caudales de 20-40 l/s; sufriendo importantes descensos en los años siguientes, tras la puesta en funcionamiento sucesivamente de los sondeos de los Llanos, denominados Llanos Viejo, I, II y III, para abastecimiento a Alcalá La Real. Existen además numerosas perforaciones de titularidad particular, concentradas en Santa Ana y Fuente del Rey, algunas de las cuales se comportaron inicialmente como surgentes.

El flujo subterráneo se dirige principalmente hacia el sureste, aunque una pequeña parte lo hace hacia el SO; el nivel piezométrico se sitúa entre 980 m s.n.m., en las zonas septentrionales y 900 m s.n.m., en las áreas de descarga.

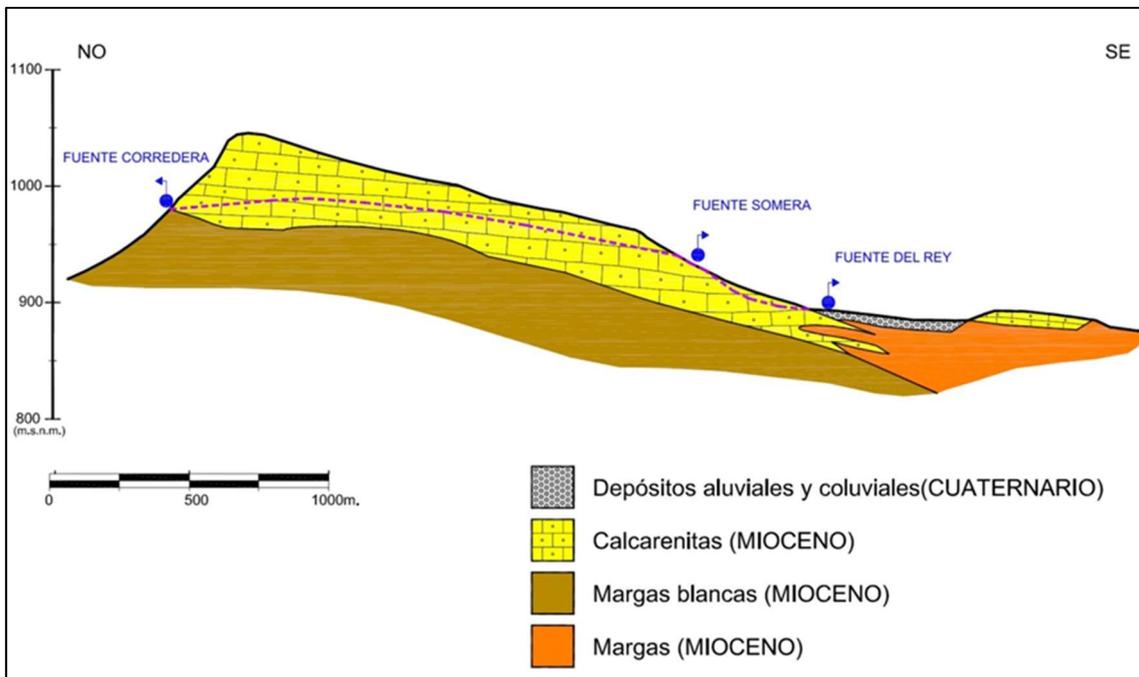


Figura 4: Corte hidrogeológico esquemático (tomado de IGME-DPJ, 2012)

Los parámetros hidráulicos del acuífero, según los ensayos de bombeo realizados en los sondeos Llanos I y II, son de 2.200-2.400 m²/día para la transmisividad y de 2x10⁻³ para el coeficiente de almacenamiento.

La alimentación se produce exclusivamente por infiltración del agua de lluvia. Las salidas corresponden, por un lado, a los bombeos efectuados para abastecimiento de Alcalá La Real junto con otros bombeos de menor importancia, y, por otro, a las emergencias naturales a través de manantiales.

El balance hídrico medio del acuífero, para el período de 24 años hidrológicos 1975-76 a 1998-1999, considerado válido hasta la realización de este trabajo, asignaba unos recursos renovables medios del acuífero de 1,3 hm³/año. De los recursos renovables estimados, se aprovechaban 0,6 hm³/año para abastecimiento a Alcalá La Real, desconociéndose el volumen anual destinado a regadío.

2.5 Materiales y métodos

Los cálculos de este trabajo se han basado en los datos de precipitación y temperatura tomados de la estación P18 “Alcalá la Real” del Sistema Automático de Información Hidrológica de la Cuenca del Guadalquivir (SAIH) y de la estación de Alcaudete de la Red de Estaciones Agroclimáticas de la Junta de Andalucía, respectivamente. En la tabla 1 se incluyen las principales características de estas estaciones y el periodo considerado.

Estación	X	Y	Z (msnm)	Periodo
P18 Alcalá la Real	419116	4146406	996	Oct-2013/Sep-2019
Alcaudete	404780	4159460	645	Oct-2013/Sep-2019

Tabla 1: Estaciones meteorológicas utilizadas.

Las entradas al acuífero se han calculado mediante el balance de agua en el suelo (BAS) que consiste en la aplicación del principio de conservación de masa a una cierta región de volumen conocido y definida por unas determinadas condiciones de contorno, siendo la diferencia entre el total de entradas y de salidas igual al cambio de agua almacenada durante el periodo de tiempo en el que se realiza el balance (Samper, 1998). Por tanto, los métodos para la cuantificación de la recarga mediante balance de agua evalúan los volúmenes infiltrados al acuífero de forma directa, mediante la medida y el cálculo de los componentes del balance.

A efectos prácticos, solo algunos de los componentes del balance pueden ser medidos (precipitación, salidas por manantiales o extracciones por bombeo), mientras que el resto de componentes han de evaluarse a partir de la utilización de fórmulas semiempíricas, que se emplean básicamente para el cálculo de la evapotranspiración de referencia o potencial (ETP), de la evapotranspiración real (ETR) y de la lluvia útil (LLU).

El balance hídrico se ha realizado a partir de series de datos diarios de precipitación para un periodo de 5 años comprendido entre los años 2013 y 2018. Los valores de LLU se han calculado a partir de balances diarios de agua en el suelo utilizando un valor de reserva útil de 15 mm que se ha considerado el más adecuado para las condiciones del área de estudio en función del tipo de suelos existentes sobre la superficie de recarga de este acuífero.

Para descomponer la LLU en escorrentía (ESC) y en infiltración (INF) se ha seguido el método del Soil Conservation Service de los EE.UU. (Témez, 1978). Este método parte de un umbral de escorrentía (P_0) a partir del cual se empieza a producir escorrentía superficial. El valor de este parámetro depende de la litología, de la pendiente y de la vegetación y se le ha asignado un valor de 10. El cálculo de la recarga se ha realizado mediante la clásica metodología de Thornthwaite y Mather (1955) con datos diarios y con la ayuda del programa informático TRASERO 2.1.0 (Padilla y Delgado, 2011).

La piezometría se lleva controlando en el acuífero de las Calcañetas de Alcalá la Real-Santa Ana, con diferente periodicidad, desde 1994 por ADALSA en los sondeos Llanos I y II y desde 2003 por el IGME en los piezómetros construidos por el Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP). Actualmente, tres de los siete piezómetros del SGOP están instalados por el IGME y la Diputación de Jaén con sensores piezométricos con datalogger modelo Diver de Schlumberger

Water Services (S-6 y S-7) y LevelScout de Seametrics (S-2). Las extracciones por bombeo y el caudal drenado por Fuente Somera se controlan por ADALSA mediante contadores y el caudal de Fuente del Rey-Fuente Gallardo y Fuente Corredera (San Marcos) se mide periódicamente con micromolinetes OTT C2 de Hydromet. La localización de los puntos de agua comentados se puede ver en el mapa hidrogeológico de la figura 3.

2.6 Recarga natural del acuífero

El tratamiento de los datos de precipitación y temperatura han permitido obtener, a partir de la Lluvia Útil, la infiltración que se produce sobre los materiales permeables. Este valor, multiplicado por la superficie de afloramiento nos da la recarga natural. En la tabla 2 se presentan los valores de la Lluvia Útil, Infiltración y Recarga para una superficie total de afloramiento del acuífero de 6,6 km².

Año hidrológico	Precipitación (mm)	Lluvia Útil (mm)	Infiltración (mm)	Entradas al acuífero (hm ³ /año)
2013-2014	458	299	284	1,87
2014-2015	504	251	235	1,55
2015-2016	520	316	293	1,94
2016-2017	386	191	183	1,21
2017-2018	782	613	544	3,59
2018-2019	422	239	228	1,51
Media anual	512	319	295	1,95

Tabla 2: Principales valores calculados para la recarga

2.7 Evolución piezométrica

En el presente proyecto se ha continuado con el control de la piezometría en la red construida por el SGOP, así como con el control de los caudales drenados por los principales manantiales. En la figura 5 se presenta un gráfico de la evolución piezométrica del acuífero.

Los datos, que han sido tomados con hidronivel, utilizados para configurar el gráfico proceden tanto de los trabajos anteriores llevados a cabo por el IGME y la Diputación de Jaén como de los tomados en los estudios que se están llevando a cabo actualmente.

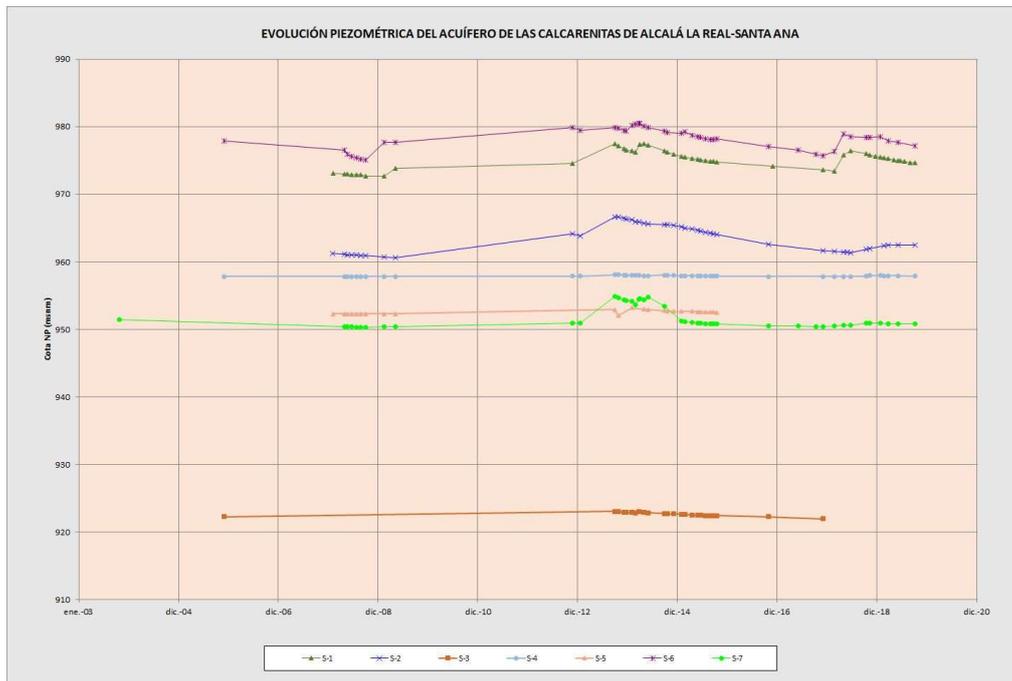


Figura 5: Gráfico de evolución piezométrica (red SGOP medida con hidronivel)

Además del control de la red establecida, en este proyecto se ha continuado (incluso en el periodo de tramitación del actual convenio) con el control de tres sensores automáticos de registro de nivel y temperatura con almacenamiento de datos (datalogger). La fecha de instalación fue marzo de 2014 para dos de ellos y mayo de 2018 para el tercero. En la actualidad siguen operativos. Algunos de los sensores han sufrido averías durante el periodo de observación y han sido sustituidos. En la tabla 3 se incluye un resumen de las características de estos sensores y en las figuras 6, 7 y 8 se han representado los valores registrados en dichos puntos (S-2, S-6 y S-7).

Tipo sensor	Modelo	Num. Ref.	Instalado en	Prof. (m)	Fecha inicio	Fecha fin	Observaciones
Piezométrico	Diver	4735	S-6	39,68	28/03/14	18/08/19	Sustituido por avería
Piezométrico	LevelScout	21730034	S-6	39,68	22/01/20	-	-
Piezométrico	Diver	4377	S-7	54,69	28/03/14	14/10/15	Sustituido por avería
Piezométrico	Diver	3226	S-7	55,38	26/11/16	-	-
Piezométrico	LevelScout	21647074	S-2	45,41	24/05/18	-	-
Barométrico	BaroScout	21730030	Arqueta de S-2	-	24/05/18	-	-
Piezométrico	Diver	4084	Fuente Somera	-	28/03/14	-	-
Barométrico	BaroDiver	N5758	Fuente Somera	-	28/03/14	-	-

Tabla 3: Principales características de los sensores instalados

En las figuras se observa que los sensores instalados en S-6 y S-7 registran, en el año hidrológico 2014-15 prácticamente el mismo periodo de recarga del acuífero, entre septiembre de 2014 y marzo de 2015, pero con ligeras diferencias. El sensor instalado en S-7 registra un ascenso en

abril-mayo de 2014 que no se detecta en S-6 y el nivel en este piezómetro continúa descendiendo a partir de marzo de 2015, fecha a partir de la cual el nivel en S-7 parece tender a una estabilización.

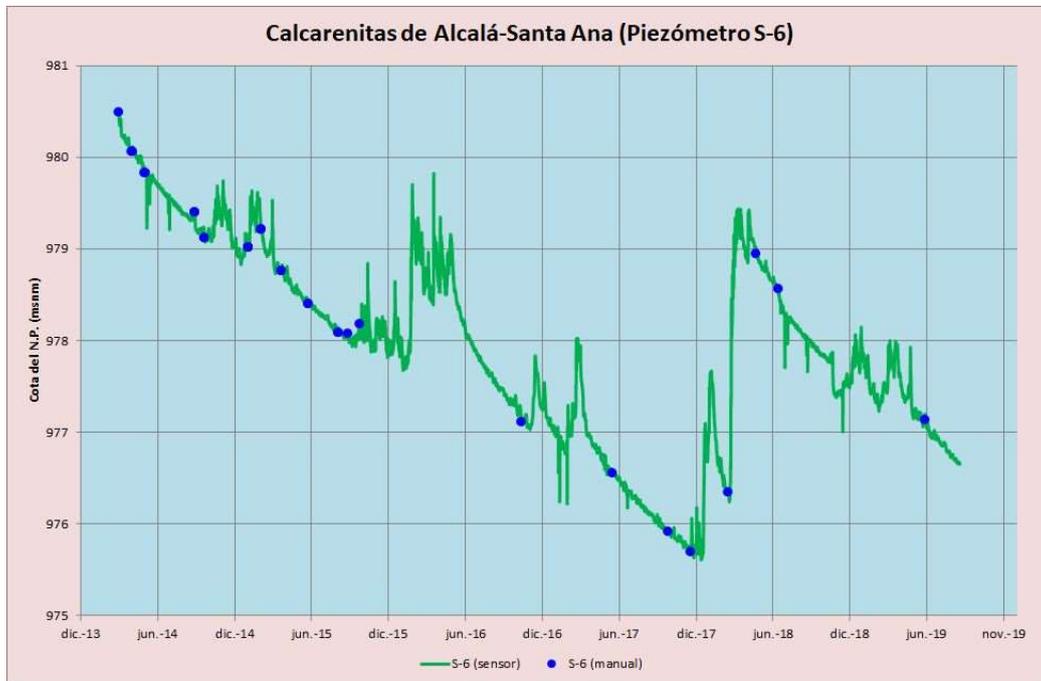


Figura 6: Evolución piezométrica en S-6 (datalogger).

Con posterioridad a estas fechas, el sensor de S-7 dejó de funcionar (ya finalizado el proyecto anterior) y, aunque se instaló otro sensor, no fue hasta mayo de 2017 que se pudieron tomar datos. Así, en S-6 se registra un significativo ascenso del nivel piezométrico próximo a los 2 metros para el periodo de recarga del año 2015-16 que no se observa en S-7 por las razones anteriormente expuestas.

Para el año hidrológico 2016-2017, en el que tenemos datos de ambos sensores, se observa que en S-6 hay un reflejo de la recarga menor que el registrado para el año hidrológico anterior que no se observa en S-7. Además, en S-6 se pone de manifiesto una tendencia descendente para todo el periodo de observación.

El conjunto de apreciaciones de la evolución piezométrica indica una sectorización en el acuífero ya puesta de manifiesto en informes anteriores junto con un importante descenso de la superficie piezométrica. Este descenso se cuantifica en valores entre 4,5 y 5 metros en los puntos de observación automática.



Figura 7: Evolución piezométrica en S-7 (datalogger).



Figura 8: Evolución piezométrica en S-2 (datalogger)

En la figura 9 se ha representado la evolución del nivel piezométrico controlado en los piezómetros S-2, S-6 y S-7 junto con la desviación acumulada de la media con la misma escala temporal. En dicho gráfico se observa que existe una buena coincidencia entre los periodos húmedos y la recarga del acuífero en el caso del S-6, la cual no se pone de manifiesto en S-2 y S-7 con tanta claridad.

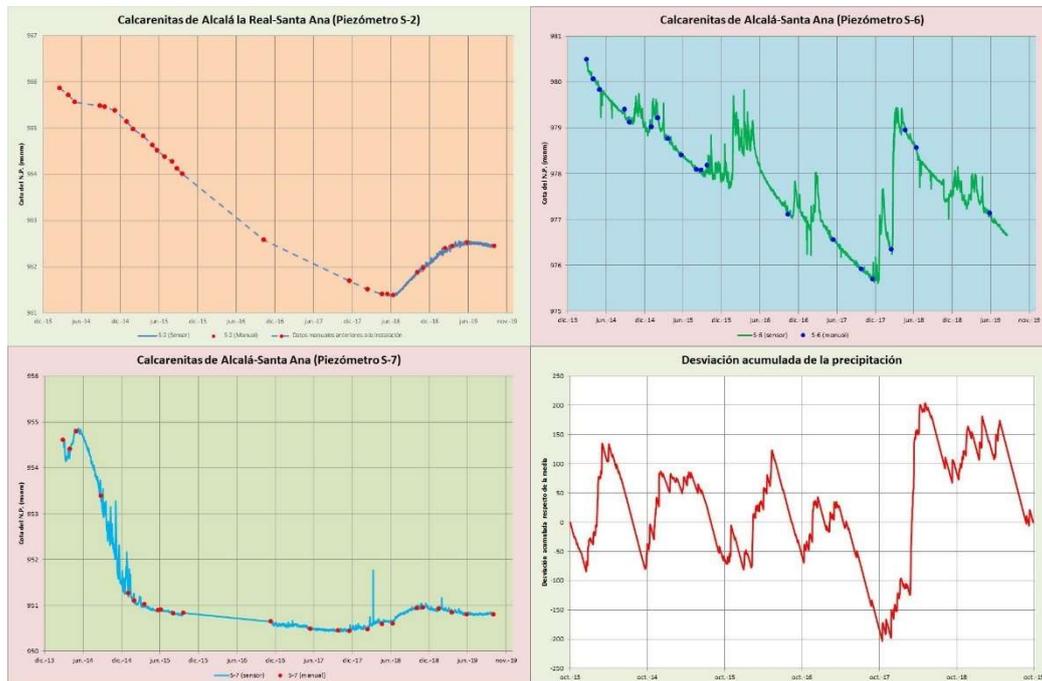


Figura 9: Desviación acumulada de la precipitación y evolución piezométrica.

Este fenómeno podría deberse a que S-6 está más alejado de la zona donde se concentran los bombeos, lo que hace que la evolución del nivel piezométrico se vea menos afectada por estos que en el S-7 y responda con claridad a los periodos húmedos con ascensos y a los secos con descensos. Por otra parte, también se podría interpretar como que en el acuífero existe una sectorización como se indica en IGME-DPJ (2015). Esta hipótesis se espera que se aclare con los datos de la instrumentación del piezómetro S-2, recientemente instalado. Hay que señalar que en el piezómetro S-7 se perdieron los datos del año hidrológico 2015-2016 por una avería del sensor.

En la misma figura se observa que los sensores de S-6 y S-7 registran prácticamente el mismo periodo de recarga del acuífero, entre septiembre de 2014 y marzo de 2015 pero con ligeras diferencias. El sensor instalado en S-7 registra un ascenso en abril-mayo de 2014 que no se detecta en S-6 y, el nivel en este piezómetro, continúa descendiendo desde marzo de 2015, fecha a partir de la cual el nivel en S-7 parece tender a una estabilización, aunque en 2017-2018 sí registra una tendencia al ascenso que se podría correlacionar con la observada en S-6, si bien con bastante menos entidad. Esta última subida se observa en S-2 con más claridad.

2.8 Caudales drenados por los principales manantiales

El control del caudal drenado por los principales manantiales del acuífero, Fuente Somera, Fuente de Rey, Fuente Gallardo y Fuente San Marcos (anteriormente nombrada Fuente Corredera) se ha llevado a cabo por parte del IGME y la Diputación de Jaén, al igual que la evolución de la piezometría, durante un periodo de tiempo más amplio que el de este proyecto.

En el caso de Fuente Somera se ha instalado un datalogger para controlar la altura de la lámina de agua de la captación y en el conjunto Fuente del Rey-Fuente Gallardo se ha llevado a cabo un

control mediante aforos puntuales con molinete. En la Fuente de San Marcos, debido a imponderables atribuibles a causas ajenas a los trabajos del proyecto, el control ha sido solo estimativo en aquellas visitas de campo en que ha sido posible.

2.8.1 Fuente Somera

Los datos registrados por el datalogger en esta surgencia junto con los aforos volumétricos llevados a cabo han permitido extrapolar los valores de altura de la lámina de agua mediante la curva de gasto correspondiente para caudales superiores a 10 l/s. Para los caudales inferiores a esa cantidad, el dispositivo de control se ha manifestado poco sensible a las variaciones de caudal por lo que se ha optado por ajustar la curva matemáticamente a los valores medidos volumétricamente en la salida de la captación al depósito.

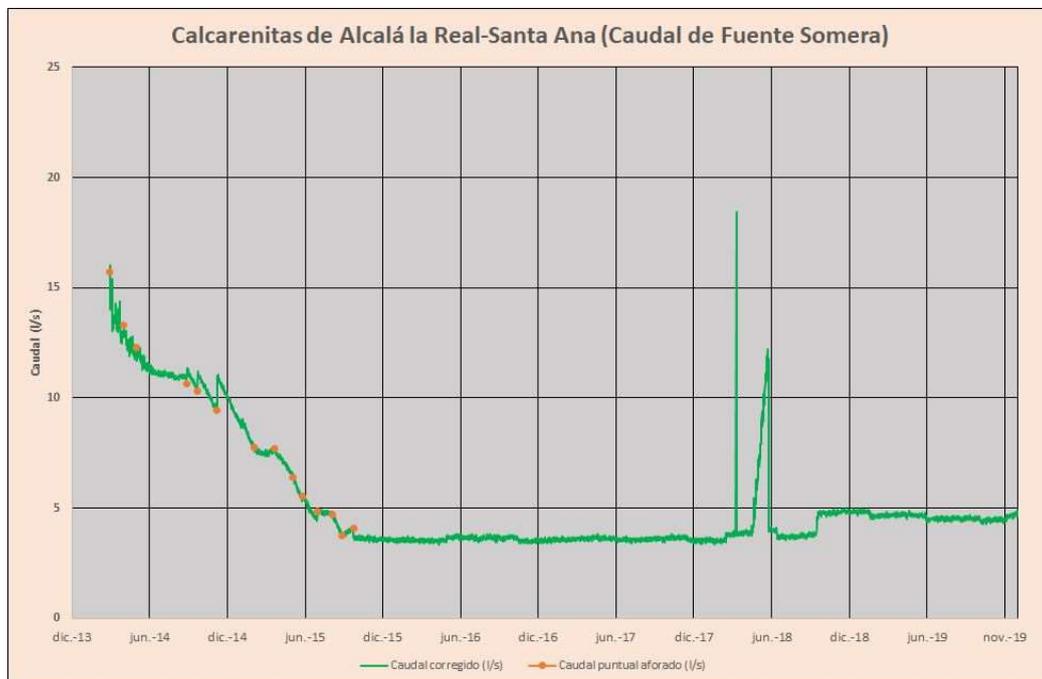


Figura 10: Evolución del caudal drenado por Fuente Somera

En la figura 10 se ha representado la evolución del caudal de esta surgencia. Como se puede observar, en el periodo transcurrido desde la instalación del datalogger (finales de marzo de 2014) hasta finales de octubre de 2015, el manantial fue disminuyendo paulatinamente su caudal. A partir de esa fecha, el caudal drenado ha sido muy escaso, de apenas 3-4 l/s. Sin embargo, en marzo y mayo de 2018 se dieron sendos episodios de aumento muy rápido del caudal con un retorno a la tónica general de bajos caudales. Éste fenómeno, que en un principio podría interpretarse como datos anómalos, puede correlacionarse, muy claramente en el caso del aumento de marzo, con un ascenso de los niveles piezométricos tanto en S-6 como en S-7 (ver figura 9). Igualmente, en la gráfica de desviación acumulada de la precipitación de la misma figura 9, también se aprecia un ascenso muy significativo.

2.8.2 Fuente del Rey y Fuente Gallardo

El seguimiento de los manantiales denominados Fuente del Rey y Fuente Gallardo se ha realizado conjuntamente ya que ambos manantiales confluyen en las proximidades de las respectivas surgencias en una acequia de riego y mediante micromolinete durante el periodo abril de 2018 a octubre de 2019. En estos manantiales no ha sido posible la instalación de datalogger ya que se trata de una acequia de riego sin protección.

La evolución del caudal se ha representado en el gráfico de la figura 11. En el caudal de los manantiales se aprecia un decrecimiento que se podría evaluar en el 50% si comparamos el final del periodo de control correspondiente al anterior proyecto (IGME-DPJ, 2015) con el llevado a cabo en el proyecto actual.

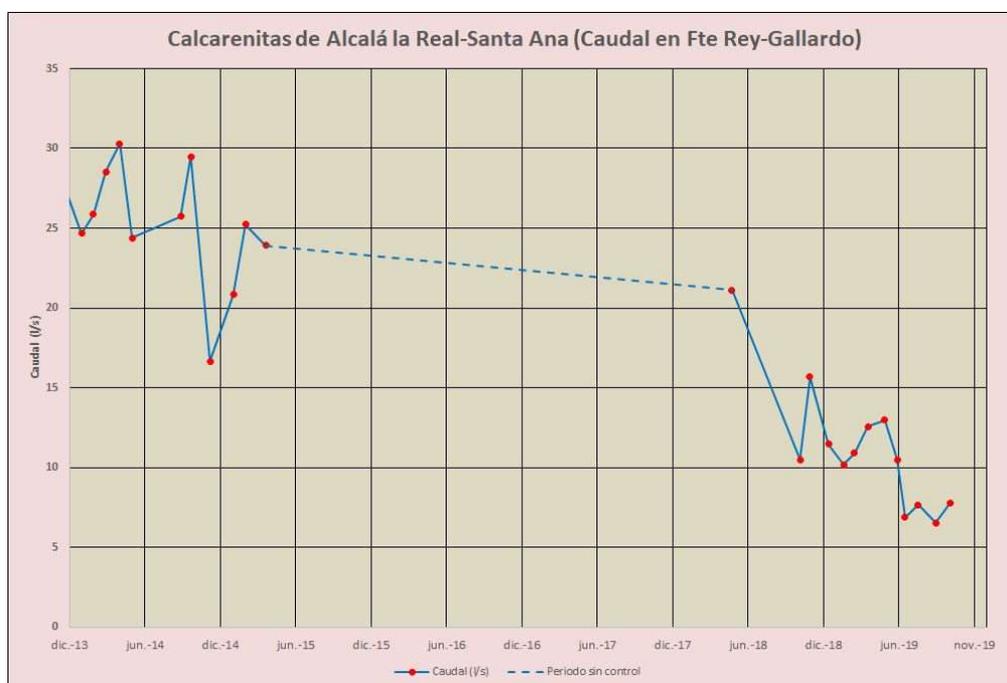


Figura 11: Evolución del caudal conjunto drenado por los manantiales Fuente del Rey y Fuente Gallardo

2.9 Uso para abastecimiento y riego

En cuanto a los usos del agua procedente del acuífero, se dispone de los valores de la extracción para abastecimiento correspondientes a los años 2012 a 2018, facilitados por la empresa municipal de abastecimiento a Alcalá la Real (ADALSA) y del drenaje medio por los manantiales principales, y prácticamente únicos, del acuífero. Estos datos se presentan en la tabla 4 en la que se puede observar que los valores de extracción más el drenaje controlados coinciden en gran medida con las entradas calculadas si bien, como cabe esperar de un acuífero en el que el abastecimiento urbano supone el principal uso del agua, se asemejan mucho a la media.

Año hidrológico	Llanos I	Llanos II y Fte. Somera		Llanos III	Subtotal	Fte. Corredera (San Marcos) ¹	Fte. del Rey-Fte. Gallardo ²	TOTAL
		Llanos II	Fte. Somera					
2012-2013	0,14	0,63	0,01	0,78	0,21	0,94	1,94	
2013-2014	0,17	0,59	0,01	0,77	0,21	0,79	1,77	
2014-2015	0,17	0,22	0,23	0,01	0,63	0,21	0,50	1,34
2015-2016	0,11	0,33	0,11	0,03	0,58	0,21	0,85	1,65
2016-2017	0,12	0,10	0,11	0,07	0,40	0,21	0,19	0,81
2017-2018	0,11	0,19	0,13	0,07	0,51	0,21	2,37	3,09
Media	0,14	0,21	0,15	0,03	0,61	0,21	0,94	1,77

Tabla 4: Extracciones y drenaje del acuífero (valores en hm³).

En la figura 12 se ha representado la explotación del acuífero para abastecimiento a Alcalá la Real en los distintos años hidrológicos diferenciando cada una de las captaciones. Como se puede observar, predomina la extracción en el sondeo Llanos II junto con los caudales captados en Fuente Somera (rojo y verde oscuros, respectivamente). La extracción en Llanos III fue meramente testimonial en el periodo 2012-2015 y el valor considerado para la Fuente Corredera (San Marcos) debe ser tomado con reservas ya que, a falta de datos fiables, se ha utilizado el valor medio de todo el periodo.

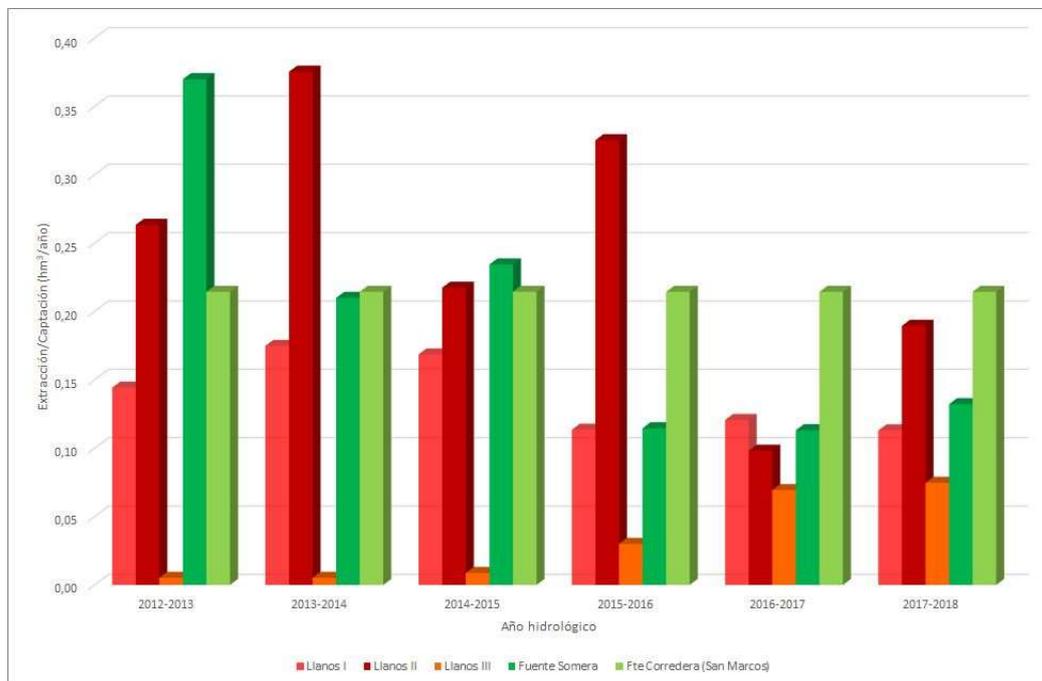


Figura 12: Distribución temporal de la captación para abastecimiento de Alcalá la Real.

¹ Valor medio para todo el periodo de estudio.

² Sombreados los valores estimados en función de la recarga natural calculada y el caudal medio.

2.10 Conclusiones y recomendaciones

Los recursos renovables medios del acuífero, de 1,95 hm³/año según se deduce de los cálculos realizados, podrían ser superiores a los 1,30 hm³/año considerados en trabajos anteriores. Esta afirmación viene apoyada por la combinación de las observaciones piezométricas que se llevan a cabo por el IGME y la Diputación Provincial de Jaén en convenios anteriores y en el Convenio Específico actualmente vigente, y las realizadas por ADALSA, empresa de abastecimiento de agua a Alcalá la Real.

Asimismo, las extracciones anuales junto con los caudales captados para abastecimiento, que suman una media de 0,82 hm³/año, están por debajo de los recursos medios renovables del acuífero y permiten que el caudal medio conjunto de la Fuente del Rey y Fuente Gallardo, cuyo uso es el riego, se mantenga dentro de unos 24-25 l/s.

Según las observaciones y cálculos realizados, se considera que el acuífero está explotado de manera sostenible, por lo que un eventual aumento de la explotación debería ir acompañado de medidas correctoras como una hipotética recarga artificial.

Asimismo, se recomienda continuar con los controles tanto de las extracciones y los caudales drenados como de la evolución piezométrica del acuífero junto con una estricta vigilancia de las posibles nuevas captaciones.

2.11 Referencias

DGOH-ITGE (1993): Propuesta de normas de explotación de las Unidades Hidrogeológicas con afección a embalses de regulación y fuentes de abastecimiento a poblaciones de la cuenca del Guadalquivir. Propuesta de norma de explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.28 (Montes Orientales). Dirección General de Obras Hidráulicas e Instituto Geológico y Minero de España.

INE (2017): Instituto Nacional de Estadística. Página web: <http://www.ine.es>

IGME-DPJ (2007): “Plan de Control de Abastecimientos Urbanos mediante Aguas Subterráneas”. Dentro del Proyecto: Aplicación de técnicas hidrogeológicas para la incorporación a la ordenación del territorio de medidas preventivas de la contaminación y/o de la explotación inadecuada de los acuíferos en 17 términos municipales de la tercera fase del plan de control. Instituto Geológico y Minero de España y Diputación Provincial de Jaén.

IGME-DPJ (2012): “Atlas Hidrogeológico de la provincia de Jaén”. Instituto Geológico y Minero de España y Diputación Provincial de Jaén.

IGME-DPJ (2015): Investigación hidrogeológica en sectores de gran presión de la provincia de Jaén. Pautas para la sostenibilidad de los abastecimientos urbanos. Relación entre la recarga natural y la piezometría en el acuífero de las Calcarentas de Alcalá la Real-Santa Ana. Instituto Geológico y Minero de España y Diputación Provincial de Jaén.

Padilla A, y Delgado J. (2011): Tratamiento y gestión de series temporales hidrológicas. Diputación Provincial de Alicante, Alicante.



Samper, J., 1998: Evaluación de la recarga por lluvia mediante balances de agua: utilización, calibración e incertidumbres. Boletín Geológico y Minero 109:31-54.

Témez Peláez, J.R. (1978): Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. MOPU.

Thornthwaite, G. W. (1948): An approach toward a rational classification of climate. Geographycal. 38: 59-64.

3 ACUÍFERO DE LARVA

3.1 Introducción

El abastecimiento urbano de Larva se realiza desde dos sondeos denominados Majablanca II (203840035) y La Casería (203840011) que captan los acuíferos Dolomítico y Calcarenítico de Larva, respectivamente. Estas son, en la actualidad, las únicas fuentes de suministro de agua a la población, lo que hace que el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos de los acuíferos captados se considere de gran importancia para el desarrollo del municipio.

La información contenida en este epígrafe ha dado lugar a una comunicación en el Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA) celebrado en Huelva en octubre de 2018.

3.2 Marco geográfico

El área de estudio se ubica en el sureste de la provincia de Jaén, en el área delimitada por los cursos fluviales de los ríos Salado y Guadiana Menor (Figura 13).

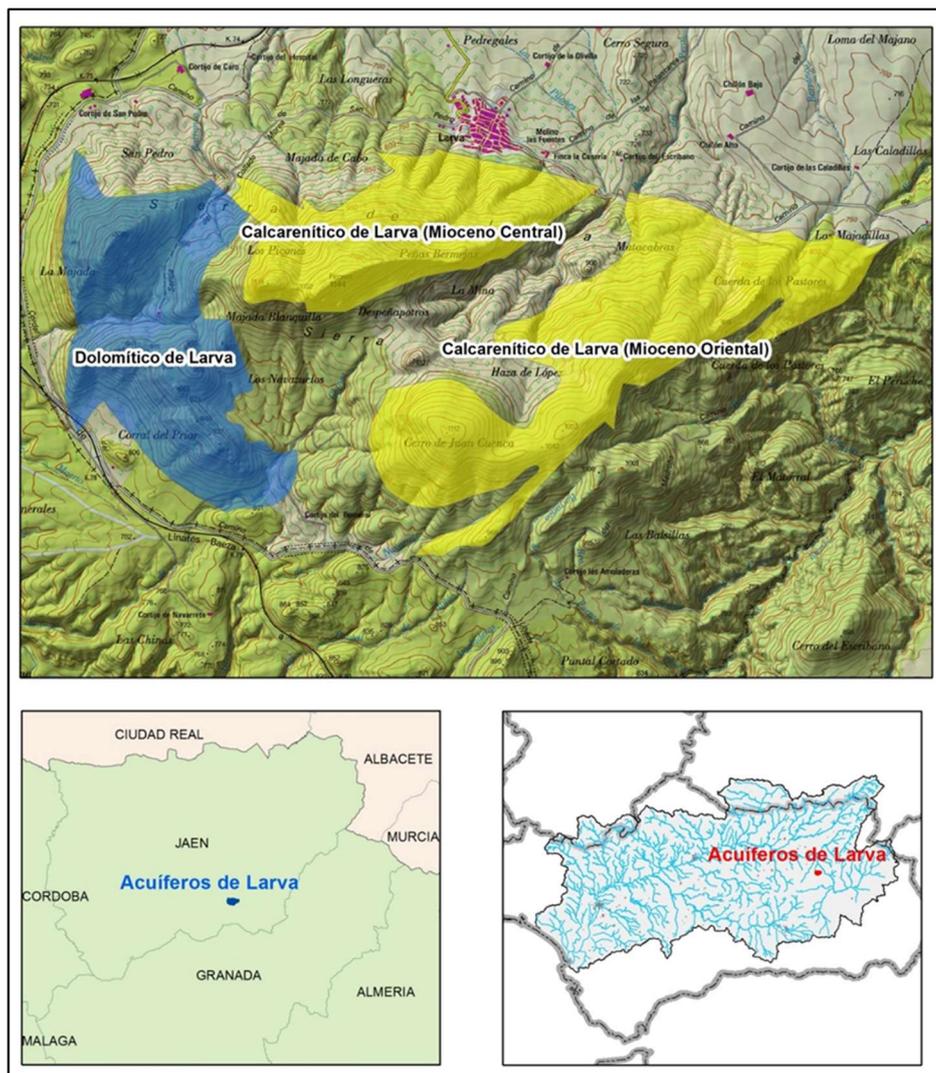


Figura 13: Localización geográfica de los acuíferos de Larva

Los acuíferos de Larva se localizan al noreste de los de Cabra del Santo Cristo y Gante-Chotos y vienen definidos por los afloramientos dolomíticos triásico-jurásicos (acuífero Dolomítico de Larva) y los calcareníticos oligocenos (acuífero Calcaenítico de Larva) que configuran la Sierra de Larva.

3.3 Características climáticas e hidrológicas

El clima del área donde se localizan los acuíferos de Larva, atendiendo a su régimen térmico, es de tipo “templado-cálido” y en función de su régimen de humedad es de tipo “mediterráneo húmedo” (DPJ-ITGE, 1997).

Los principales parámetros climáticos correspondientes al periodo 1940/41 y 1985/86 son una precipitación media anual de 500 mm y una temperatura media anual 15 °C en Larva, con una ETP anual de 772 mm para la estación 5138 “Cabra de Santo Cristo”. La Lluvia Útil media anual es inferior o muy próxima a 200 mm (DPJ-ITGE, 1997).

El área está delimitada por los cursos fluviales de los ríos Salado y Guadiana Menor. Los barrancos y arroyos que la drenan son tributarios en la zona de cabecera del río Jandulilla y del río Guadahortuna, en las subcuencas del Guadalbullón y del Guadiana Menor.

3.4 Marco hidrogeológico

3.4.1 Acuífero Dolomítico de Larva

Los materiales que lo conforman son las dolomías del Triásico-Jurásico (Triásico superior-Lías inferior y medio) y las dolomías y calizas del Jurásico indiferenciado que afloran en la Sierra de Larva. Estas presentan potencias del orden de 300 m y, en conjunto, ocupan una extensión de aproximadamente 1,63 km².

El sustrato impermeable está formado, muy probablemente, por las arcillas con yeso triásicas incluidas en la Unidad Olistostrómica que a su vez son el límite occidental. El resto de los límites están constituidos por margas terciarias. Existe la posibilidad, aunque remota, de conexión hidrogeológica con las calcarenitas miocenas.

Su alimentación se produce exclusivamente por infiltración de la precipitación y se puede estimar, aplicando un porcentaje de infiltración del 22% de la precipitación media sobre sus afloramientos (1,63 km²), en 0,14 hm³/año (IGME-DPJ, 2015).

El nivel piezométrico está situado a una cota entre 644 y 648 m s.n.m. (abril de 2018). Las salidas corresponderían por un lado a los bombeos de los sondeos que lo explotan para riego y por otro al abastecimiento del municipio de Larva (IGME-DPJ, 2015).

3.4.2 Acuífero Calcaenítico de Larva

Lo definen las calcarenitas y calizas algales miocenas (Aquitaniense s.l.) que afloran en la zona de los Picones y en la ladera oriental de la Sierra de Larva, con espesores entre 100 y 120 m, y ocupan una extensión conjunta de unos 3,68 km².

El substrato impermeable está constituido por materiales margosos del Paleógeno. En este acuífero, que se encuentra compartimentado, se pueden considerar dos sectores denominados Mioceno Central y Mioceno Oriental (IGME-DPJ, 2015).

- El sector Mioceno Oriental corresponde a los afloramientos calcareníticos localizados en la zona oriental de la Sierra de Larva, los cuales ocupan una extensión aproximada de 2,45 km².

Los límites oriental y meridional de este sector están constituidos por materiales arcillosos yesíferos del Trías pertenecientes a la Unidad Olistostrómica y materiales margosos paleógenos su substrato impermeable, así como su límite occidental. Hacia el norte, este sector lo limita con la Unidad Olistostrómica una gran falla dirección E-O que se encuentra tapizada por los materiales semipermeables de la depresión de Larva.

Su alimentación se produce exclusivamente por la infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos permeables. Considerando la precipitación media anual de la zona de 391 mm y aplicando un porcentaje de infiltración del 22 % (IGME-DPJ, 2015), los recursos del sector se estiman en 0,21 hm³/año. La descarga se produce de forma subterránea hacia los materiales semipermeables de la Depresión de Larva y por bombeo para riego (IGME-DPJ, 2015).

- El sector Mioceno Central está constituido por conglomerados, areniscas y margas que afloran en la Sierra de Larva, con una superficie de 1,23 km².

El límite septentrional está constituido por la ya citada falla de dirección E-O que en la zona oriental pone en contacto con materiales arcillosos y yesíferos triásicos de la Unidad Olistostrómica, mientras que en la oriental pone en contacto materiales semipermeables de la Depresión de Larva. El resto de los límites lo componen las margas miocenas.

La alimentación procede de la infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos (1,23 km²) en los que aplicando una infiltración del 22 % (IGME-DPJ, 2015) de la precipitación media, se obtiene una alimentación de 0,11 hm³/año. Las salidas corresponden principalmente a las extracciones para abastecimiento de Larva desde el sondeo 203840011 en el que la cota del nivel piezométrico es de 725 m s.n.m., coincidente con la Mina de la Casería (203840037). Se trata de una galería realizada en las proximidades del sondeo La Casería, topográficamente más baja. Por otra parte, no es descartable que con anterioridad existiera alimentación mediante drenaje subterráneo desde el acuífero Dolomítico, si bien la diferencia de cotas del agua de ambos acuíferos en la actualidad lo hace poco probable (IGME-DPJ, 2015).

En la figura 14 se presenta un mapa hidrogeológico de los acuíferos de Larva.

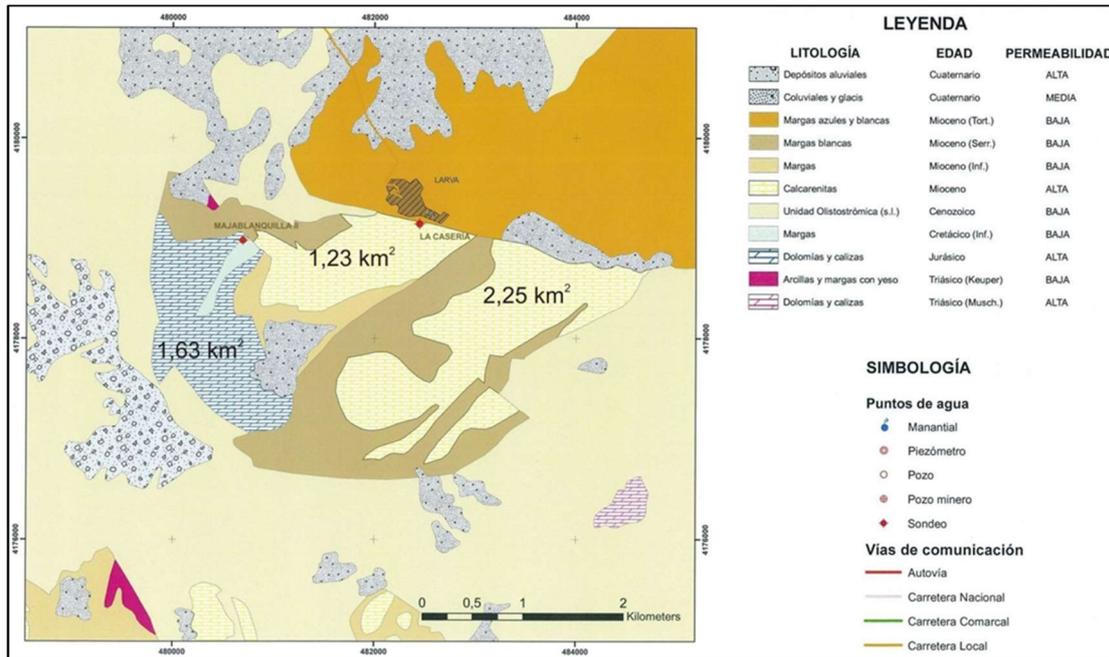


Figura 14: Mapa hidrogeológico de los acuíferos de Larva.

3.5 Trabajos realizados

Los análisis fisicoquímicos de las muestras de agua de los sondeos, manantial y río se han llevado a cabo en los laboratorios del IGME en Tres Cantos. Además, se han tenido en cuenta los análisis realizados por la empresa Quimicontrol S.L. para el Ayuntamiento de Larva.

La piezometría se lleva controlando en los acuíferos de Larva con diferente periodicidad y frecuencia desde 1987. Más recientemente, en las actividades incluidas en los convenios entre el IGME y la Diputación Provincial de Jaén, se ha llevado un control de la evolución piezométrica de los acuíferos de Larva, con especial dedicación en el acuífero Dolomítico de Larva, en el que actualmente se basa el abastecimiento urbano de dicha localidad.

3.6 Evolución piezométrica.

En la figura 15 se han representado los valores del descenso medidos en el sondeo Majablanquilla II de abastecimiento a Larva y en el piezómetro Los Navajuelos de la Red Nacional, ambos en el acuífero Dolomítico, hasta la fecha de redacción de este informe.

Como se puede observar, el acuífero presenta una clara dinámica de descenso progresivo del nivel piezométrico que se puede estimar en una tasa próxima a 2,5 m/año. Esta tasa de descenso ya se puso de manifiesto en el informe correspondiente del proyecto "INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN SECTORES DE GRAN PRESIÓN DE LA PROVINCIA DE JAÉN. PAUTAS PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS ABASTECIMIENTOS URBANOS" del Convenio Específico (Excma. Diputación Provincial de Jaén- IGME) en materia de aguas subterráneas (años 2012-2015).



Figura 15: Evolución del nivel piezométrico en el acuífero Dolomítico de Larva.

Por otra parte, el sector denominado Mioceno Central del acuífero Calcarenítico que aparentaba estar en equilibrio ya que uno de los puntos principales de drenaje, el manantial de la Mina de la Casería, drenó recursos de forma continua según información municipal desde al menos 2012 hasta fechas próximas a finales de 2015, sin embargo, con posterioridad a esa fecha el nivel piezométrico en el sondeo La Casería (ver figura 16) ha descendido hasta los niveles próximos a los medidos en 2001 en torno a 700 m s.n.m. (IGME-JA, 2002).

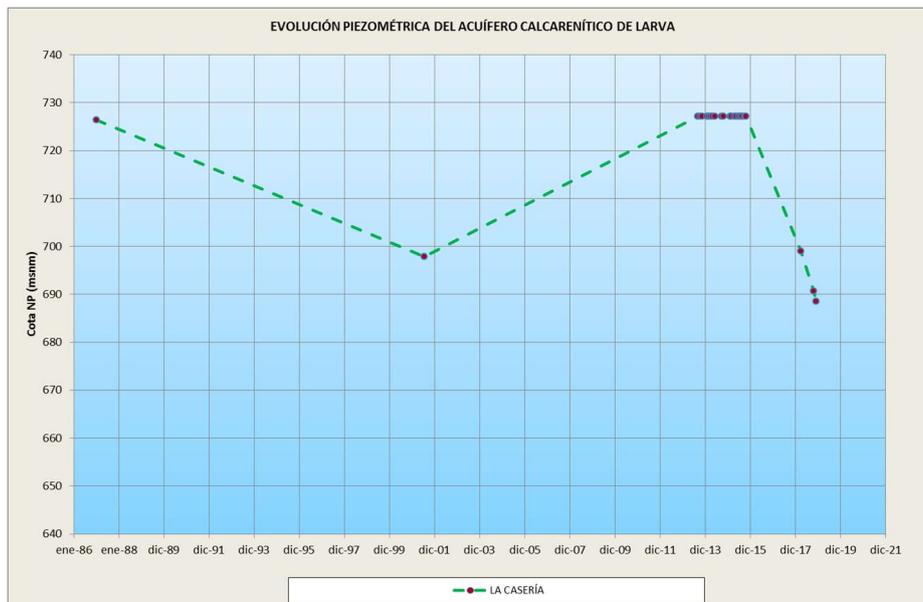


Figura 16: Evolución piezométrica del acuífero Calcarenítico

Este descenso del nivel piezométrico en el sondeo de La Casería ha venido acompañado de un aumento del contenido en sulfato (más llamativo) y en cloruros. Así, estos iones han pasado de 74 y 24 mg/l, respectivamente, a 444 mg/l de SO_4^- y 51 mg/l de Cl^- , como se ilustra en los gráficos

de las figuras 17 y 18 y la tabla 5. En estos mismos gráficos se observa que, si bien el contenido en sulfato aumenta moderadamente en el sondeo Majablanquilla II (Ac. Dolomítico) a la vez que el nivel piezométrico desciende significativamente, la concentración en cloruros también aumenta, pero de manera algo diferente. De hecho, en el acuífero Dolomítico se aprecia un aparente descenso en el contenido hasta principios del año 2013 en el que se registra un aumento significativo con una posterior disminución seguida de un aumento progresivo. En el acuífero Calcaenítico se detecta un aumento de los cloruros del mismo orden que en el Dolomítico. La interpretación de estas variaciones está actualmente siendo objeto de estudio.

Punto	Ref	Fecha	(mg/l)								
			Cl	SO4	HCO ₃	CO ₃	NO ₃	Na	Mg	Ca	K
MB	1	09/03/06	208	560	236	0,0	9,0	123,0	94,0	162,0	4,0
MB	2	10/04/13	190	661	265	0,0	10,1	141,5	126,5	176,3	3,2
MB	3	09/08/13	293	691	291	0,0	8,9	146,0	113,1	196,4	2,7
MB	4	24/09/13	212	694	260	0,0	9,3	168,0	131,3	152,3	2,6
MB	5	17/10/13	204	675	240	0,0	8,7	171,0	97,3	168,3	2,4
MB	6	19/11/13	198	699	240	0,0	8,7	156,0	126,5	160,3	1,9
MB	7	15/10/14	208	660	234	0,0	9,0	182,0	94,0	178,0	5,0
MB	8	29/11/17	240	632	239	0,0	7,0	201,0	90,0	180,0	5,0
C	9	15/10/14	24	74	242	0,0	15,0	12,0	23,0	86,0	1,0
C	10	14/10/15	-	199	-	-	-	-	-	-	-
C	11	19/06/18	51	444	222	0,0	13,0	15,0	53,0	200,0	3,0
GM	12	26/02/18	286	482	223	0,0	8,0	224,0	64,0	160,0	5,0
FP	13	19/06/18	30	4	265	0,0	11,0	11,0	10,0	86,0	0,0

Punto	Ref	Fecha	(mg/l)				pH	C.E. (µS/cm)
			NO ₂	NH ₄	PO ₄	SiO ₂		
MB	1	09/03/06	0,0	0,0	0,00	10,1	7,30	1640
MB	2	10/04/13	0,0	0,0	-	-	7,81	1818
MB	3	09/08/13	0,0	0,0	-	-	7,48	2200
MB	4	24/09/13	0,0	0,0	-	-	7,70	1805
MB	5	17/10/13	0,0	0,0	-	-	7,81	1790
MB	6	19/11/13	0,0	0,0	-	-	7,60	1812
MB	7	15/10/14	0,0	0,0	0,00	10,6	7,82	2160
MB	8	29/11/17	0,0	0,0	0,00	11,3	7,60	2051
C	9	15/10/14	0,0	0,0	0,00	9,5	8,04	558
C	10	14/10/15	-	-	-	-	-	759
C	11	19/06/18	0,0	0,0	0,00	10,5	7,63	1231
GM	12	26/02/18	0,0	0,0	0,00	7,9	7,62	1863
FP	13	19/06/18	0,0	0,0	0,00	10,2	7,68	492

Tabla 5: Parámetros analizados. (MB: Majablanquilla II; C: La Casería; GM: Río Guadiana Menor; FP: Fuente del Pozuelo).

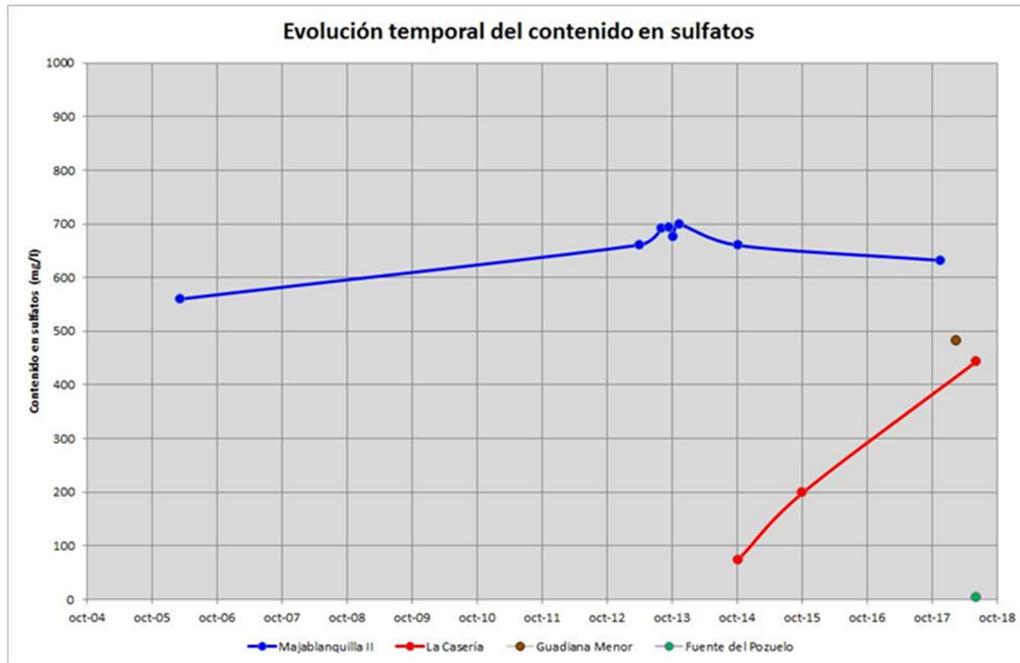


Figura 17: Evolución del contenido en sulfatos en los sondeos de abastecimiento a Larva

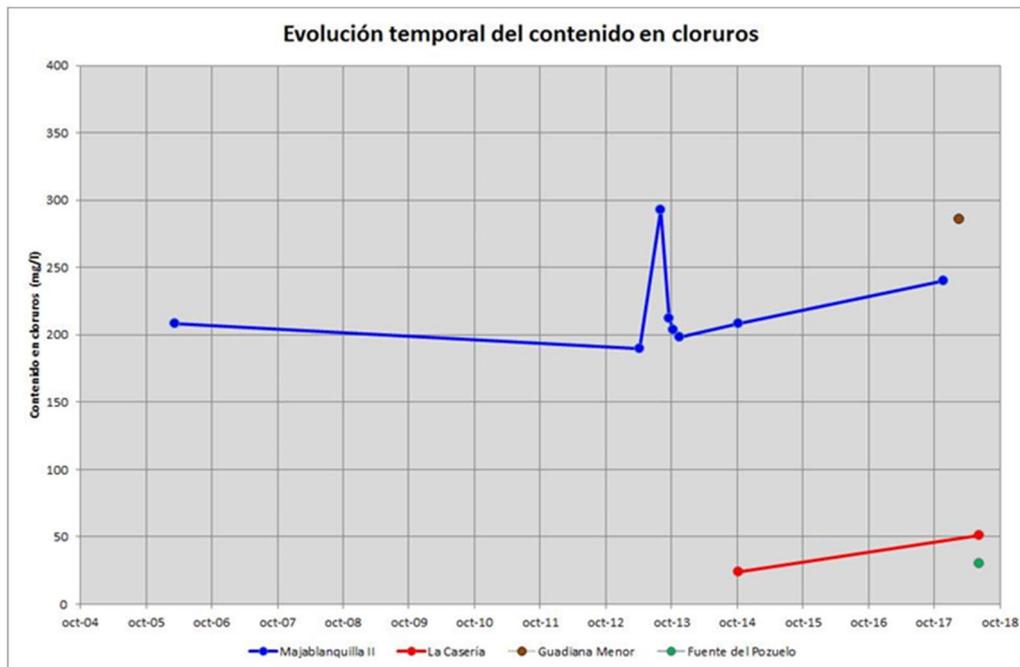


Figura 18: Evolución del contenido en cloruros en los sondeos de abastecimiento a Larva

Además de la evolución de los sulfatos y cloruros en los acuíferos de Larva, en los gráficos de las figuras 17 y 18 se han representado los valores de estos iones en el agua del río Guadiana Menor en las proximidades de la captación de que disponen los regantes de Larva y de un manantial denominado Fuente del Pozuelo localizado en el sector Mioceno Oriental del acuífero Calcarentico. Asimismo, en la figura 19 se presenta un diagrama de Piper con todas las muestras analizadas, agrupadas por puntos de muestreo.

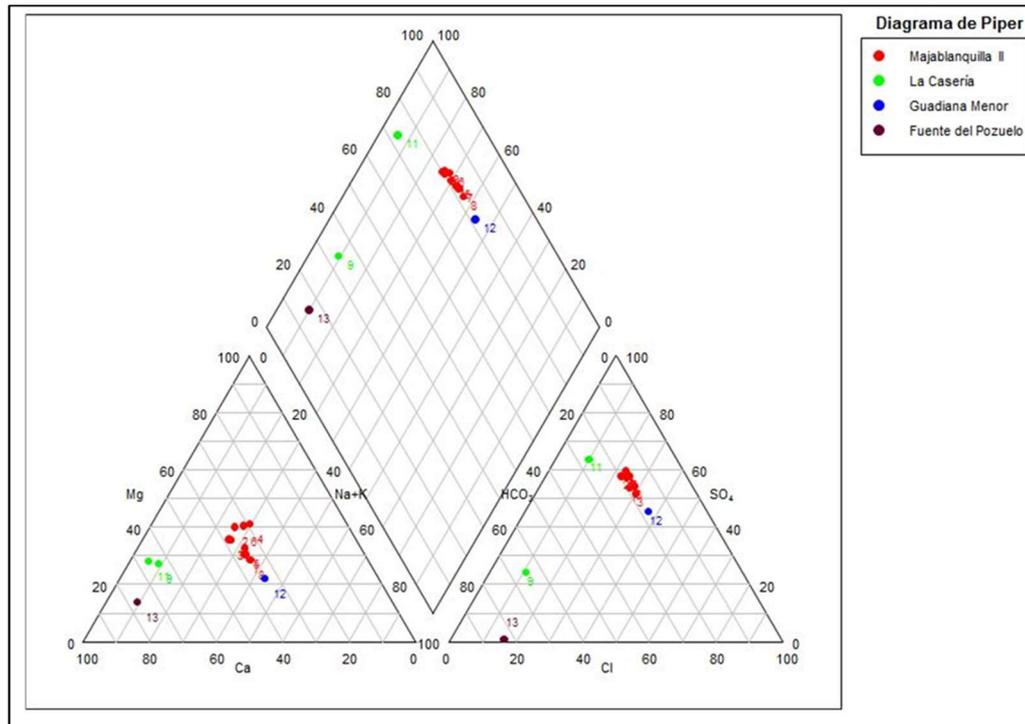


Figura 19: Diagrama de Piper

En dicho gráfico se observa que las muestras del acuífero Calcarenítico, identificadas con referencias 9 y 11 las del sondeo La Casería (sector Mioceno Central), indican un cambio con el tiempo desde facies bicarbonatada cálcica (9) del 15/10/14 a sulfatada cálcica (11) del 19/06/18. La muestra nº 13, la de la Fuente del Pozuelo (sector Mioceno Oriental), presenta una facies claramente bicarbonatada cálcica. La disposición de los tres puntos en el diagrama podría indicar una procedencia cada vez más profunda del agua extraída en los sondeos y que el sulfato proceda de estas aguas más mineralizadas. Las muestras del sondeo de Majablanquilla II también indican, aunque no con tanta claridad, un cambio de facies hidroquímica, aunque en este caso desde sulfatada a clorurada.

3.7 Conclusiones y recomendaciones

A la vista de los datos y consideraciones anteriormente expuestas, se puede concluir que el incremento del contenido en sulfatos y cloruros del sondeo La Casería podría deberse a la procedencia cada vez más profunda del agua bombeada en el acuífero. Asimismo, el enriquecimiento en cloruros en el sondeo Majablanquilla II refleja también una extracción de agua cada vez más profunda y, por lo tanto, próxima al sustrato triásico. En ambos casos, todo indica una extracción de agua subterránea superior a los recursos medios renovables.

La reversión de esta situación, encaminada a la sostenibilidad de la explotación de las aguas subterráneas de ambos acuíferos, es condición indispensable para garantizar el abastecimiento mediante agua subterránea al municipio de Larva.

Las actuaciones que se recomiendan, cuyo orden de enumeración no implica necesariamente un orden de prioridad ni de exclusión entre ellas, son las siguientes:

- Revisión y ordenación de las extracciones en ambos acuíferos tratando de adecuarlas a los recursos medios renovables.
- Inclusión, previo ensayo de bombeo que ratifique su idoneidad, en el sistema de abastecimiento a Larva de un sondeo actualmente existente próximo al de La Casería, si bien eso concentraría la explotación.
- Realización de un sondeo en el sector Mioceno Oriental que podría captar los recursos de este sector que, en principio, presenta un menor grado de explotación por lo que cabe esperar una mejor calidad del agua para abastecimiento.
- Captación del manantial Fuente del Pozuelo, localizado en el mencionado sector Mioceno Oriental. Esta surgencia no presenta un caudal muy importante, pero se entiende que podría aportar recursos de calidad que contribuirían a mejorar el abastecimiento.
- Adecuación de la instalación existente desde el río Guadiana Menor hasta Larva para su inclusión en el sistema de abastecimiento. Se trata de una conducción que permite elevar agua desde la toma que tienen los regantes de Larva hasta en depósito de abastecimiento. Esta actuación, lógicamente, estará sujeta a los análisis fisicoquímicos y biológicos y controles correspondientes, si bien el análisis de iones mayoritarios que se presenta en la tabla 5 pone de manifiesto que el agua del río en ese momento solamente superaba la normativa vigente en sulfatos, cloruros y sodio, lo que sería subsanable con la planta de tratamiento para el agua potable que tiene el municipio, actualmente en funcionamiento para el agua de los sondeos. Nótese que el contenido en sulfatos es inferior al del sondeo de Majablanquilla II y del mismo orden que el del sondeo de La Casería en la fecha del muestreo.
- Realización de un estudio que incluya los materiales de edad Mioceno localizados al norte de Larva. Sobre estos materiales, que aparecen en la cartografía oficial como margas azules y blancas del Tortoniense, existe un cierto número de sondeos para riego que, según información verbal, suministran caudales significativos. Puesto que esta afirmación no es compatible con los materiales margosos, cabe pensar que los sondeos captan materiales permeables subyacentes, los cuales deberían ser objeto del estudio propuesto.



3.8 Referencias

INE (2017): Instituto Nacional de Estadística. Página web: <http://www.ine.es>

DPJ-ITGE (1997): Atlas hidrogeológico de la provincia de Jaén. Diputación Provincial de Jaén-Instituto Geológico y Minero de España.

IGME-JA (2002): Nota Técnica sobre los trabajos de perforación y bombeos de ensayo realizados para el abastecimiento con aguas subterráneas de la localidad de Larva (Jaén). Convenio de Colaboración con la Junta de Andalucía. Instituto Geológico y Minero de España.

IGME-DPJ (2015): Investigación hidrogeológica en sectores de gran presión de la provincia de Jaén. Pautas para la sostenibilidad de los abastecimientos urbanos. Mejora del conocimiento hidrogeológico de los acuíferos de Larva (Jaén). Instituto Geológico y Minero de España y Diputación Provincial de Jaén.