



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 1: Revisión hidrogeológica de los abastecimientos urbanos  
mediante aguas subterráneas en 15 términos municipales.**

**MEMORIA RESUMEN**



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 1: Revisión hidrogeológica de los abastecimientos urbanos mediante aguas subterráneas en 15 términos municipales.  
MEMORIA RESUMEN

---

## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN .....	5
2	ANTECEDENTES .....	8
3	OBJETIVOS .....	8
4	METODOLOGÍA Y TRABAJOS REALIZADOS .....	8
5	ESTADO ACTUAL DE LOS ABASTECIMIENTOS URBANOS .....	10
5.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES .....	11
5.2	CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES .....	13
5.3	OPTIMIZACIÓN DE INSTALACIONES .....	18
5.4	RECOMENDACIONES GENERALES .....	18
6	RECURSOS DISPONIBLES Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS .....	22
6.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ACUÍFEROS .....	22
6.1.1	Acuífero de Sierra Mágina .....	23
6.1.2	Acuífero de Cabra del Santo Cristo .....	26
6.1.3	Acuífero Almadén .....	30
6.1.4	Acuífero Alta Coloma .....	32
6.1.5	Acuífero Sierra del Trigo-Puerto Arenas .....	35
6.1.6	Acuíferos de Larva .....	38
6.1.7	Acuífero Sierra de Castril .....	43
6.1.8	Acuífero de las Escamas Inferiores .....	45
6.1.9	Acuífero Cabañas-Gualay .....	49
6.1.10	Acuífero Los Nacimientos-Sazadilla .....	53
6.1.11	Acuífero La Canal-Torre del Vinagre .....	56
6.1.12	Acuíferos de las Escamas de Cazorla: Béjar, Gilillo, La Viñuela .....	58
6.1.13	Acuífero Arroyo Frío .....	68
6.1.14	Acuífero Escamas de Aguascebas .....	70
6.2	BALANCE DE LOS ACUÍFEROS EXPLOTADOS PARA ABASTECIMIENTO .....	73
6.3	CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE ALTERNATIVAS .....	76
7	FOCOS POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN .....	79
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	80



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 1: Revisión hidrogeológica de los abastecimientos urbanos mediante aguas subterráneas en 15 términos municipales.  
MEMORIA RESUMEN

---

## 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 la elaboración de este documento han participado el técnico del IGME Crisanto Martín Montañés (Director del proyecto) y se ha contado con la colaboración de José Alberto Moreno Martínez de GEO, S.C.A. y Adela Hódar Pérez, los cuales actúan como Asistencia Técnica del proyecto.

Los datos existentes sobre abastecimientos de agua indican que, en la provincia de Jaén, con una población en 2018 de 638.099 (Fuente: I.N.E.), aproximadamente un 32 % de la misma se abastece exclusivamente de las aguas subterráneas, y un 79 % tiene de algún modo dependencia de las mismas, sin embargo, sólo el 15 % de los núcleos se abastece con exclusividad de aguas superficiales, frente a un 67 % de subterráneas y un 18 % de mixtas (Gay Torres et al.2002, in González Ramón et al. 2006). Se hace, por tanto, necesario proteger estos recursos hídricos en dos líneas fundamentales: asegurar la cantidad y mantener unas condiciones de calidad aceptable para el consumo humano.

En este marco se sitúa el presente proyecto que abarca 15 municipios. Estos son los de **Belmez de la Moraleda, Cabra de Santo Cristo, Cambil, Campillo de Arenas, Cazorla, Chilluévar, Hinojares, Huelma, Huesa, La Iruela, Larva, Peal de Becerro, Pozo Alcón, Quesada y Santo Tome.**

En la figura 1 se incluye un mapa con la situación de los municipios y los acuíferos implicados en su abastecimiento. En el cuadro nº 1 se presentan un listado de los municipios junto con los acuíferos y las agrupaciones de estos consideradas en el Atlas Hidrogeológico de la provincia de Jaén.

Los trabajos de esta actividad se han encaminado al reconocimiento hidrogeológico de los términos municipales de los municipios a estudiar tomando como base la información contenida en trabajos anteriores.

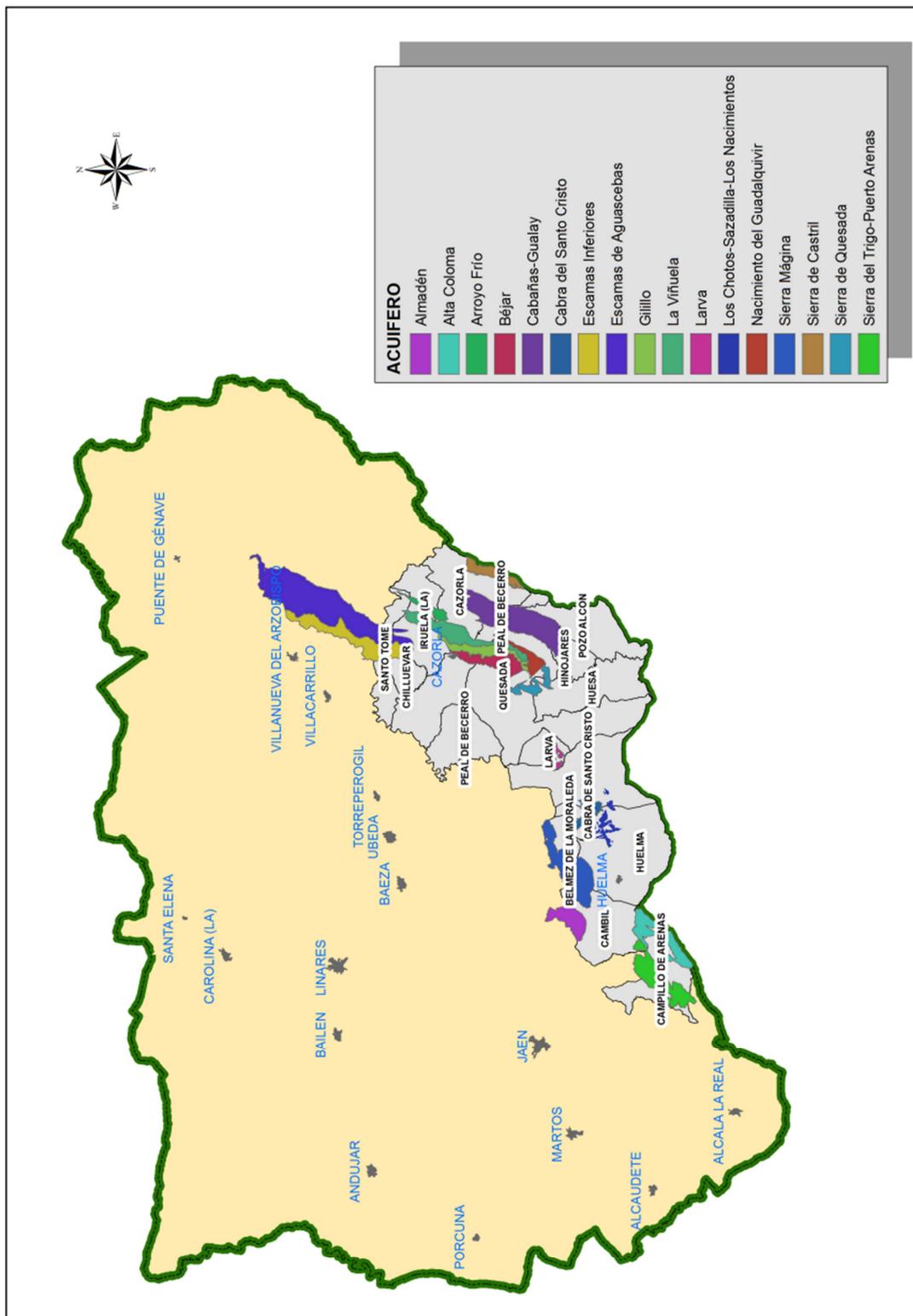


Figura 1: Localización de los municipios estudiados (en gris) y acuíferos implicados en los abastecimientos

Así, para cada uno de los municipios estudiados se presenta en un documento separado, una descripción del sistema de abastecimiento mediante aguas subterráneas, la descripción

pormenorizada de los acuíferos explotados para abastecimiento junto con una valoración de campo y recomendaciones.

Como se puede observar en el cuadro 1, los municipios estudiados en el proyecto se abastecen de varios acuíferos que a su vez abastecen a distintos municipios.

En los mencionados informes se incluye un mapa hidrogeológico del municipio junto con un esquema de los acuíferos implicados en el abastecimiento.

**Cuadro 1: Listado de municipios estudiados en esta fase y acuíferos implicados en el abastecimiento.**

MUNICIPIO	AGRUPACIÓN DEL ATLAS	ACUÍFERO
Bélmez de la Moraleda	Cárceles-Carluco y Sierra Mágina	Sierra Mágina
	Larva-Solera	Cabra del Santo Cristo
Huelma	Cárceles-Carluco y Sierra Mágina	Sierra Mágina
	Larva-Solera	Chotos-Sazadilla-Los Nacimientos
Cabra del Santo Cristo	Larva-Solera	Cabra del Santo Cristo
		Chotos-Sazadilla-Los Nacimientos
Larva	Larva-Solera	Larva
Cambil	Almadén-La Atalaya-Cerro Cántaro	Almadén
	Sierra del Trigo-Puerto Arenas-Alta Coloma	Alta Coloma
Campillo de Arenas	Sierra del Trigo-Puerto Arenas-Alta Coloma	Sierra del Trigo-Puerto Arenas
		Alta Coloma
Peal de Becerro	Acuíferos de la Sierra de Cazorla	Béjar
Chilluévar	Acuíferos de la Sierra de Cazorla	Escamas Inferiores
Santo Tomé	Acuíferos de la Sierra de Cazorla	Aguas superficiales
La Iruela	Acuíferos de la Sierra de Cazorla	Escamas Inferiores
		Escamas del Aguascebas
		Arroyo Frío
		La Viñuela
		Gilillo
		Béjar
Cazorla	Acuíferos de la Sierra de Cazorla	Gilillo
		Béjar
	Acuíferos de Quesada-Castril	Sierra de Castril
Quesada	Acuíferos de la Sierra de Cazorla	Sierra de Quesada
		Béjar
		Gilillo
		Nto. del Guadalquivir
	Acuíferos de Quesada-Castril	Cabañas-Gualay
Hinojares	Acuíferos de Quesada-Castril	Cabañas-Gualay
Huesa	Acuíferos de Quesada-Castril	Cabañas-Gualay
Pozo Alcón	Acuíferos de Quesada-Castril	Aguas superficiales

En lo que respecta al abastecimiento mediante aguas superficiales, de los municipios estudiados, los de Bélmez de la Moraleda y Chilluévar complementan el abastecimiento mediante captaciones de aguas superficiales. Los de Pozo Alcón y Santo Tomé se abastecen exclusivamente de aguas superficiales.

## **2 ANTECEDENTES**

Los antecedentes en los planes de control de abastecimientos urbanos en la provincia de Jaén se remontan a los trabajos realizados por el IGME y la DPJ en 1997 con el proyecto titulado PLAN DE CONTROL DE RECURSOS Y GESTIÓN DE CAPTACIONES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA PROVINCIA DE JAÉN (1ª FASE).

En fechas posteriores, entre los años 2007 y 2010 y en el marco del Convenio de Colaboración establecido entre el IGME y la DPJ, se llevó a cabo el proyecto ACTUALIZACIÓN Y MEJORA DEL CONOCIMIENTO DE LA HIDROGEOLOGÍA DE LA PROVINCIA DE JAÉN Y PROTECCIÓN DE LOS ABASTECIMIENTOS COMO ASESORAMIENTO A LA DIPUTACIÓN PROVINCIAL (AÑOS 2007-2010). En ese proyecto realizaron tres fases del Plan de Control de abastecimientos urbanos con los que se pretendió abarcar todos los abastecimientos mediante agua subterránea de los municipios de la provincia.

La información técnica de partida para el presente trabajo se ha tomado principalmente de dicho Plan de Control de Abastecimientos Urbanos mediante aguas subterráneas y la hidrogeológica del Atlas Hidrogeológico de la provincia de Jaén, igualmente elaborado y publicado por ambos organismos.

## **3 OBJETIVOS**

Los objetivos perseguidos con el presente trabajo son los siguientes:

- Análisis del estado actual de las captaciones destinadas al abastecimiento de los municipios. Una vez realizado el estudio del sistema de abastecimiento se está en condiciones de definir las posibles mejoras funcionales y estructurales, que conduzcan a una optimización de la instalación de abastecimiento y, en el caso de que proceda, la ubicación de posibles captaciones complementarias a las actuales.
- Reconocimiento del acuífero captado con el fin de establecer unas recomendaciones de explotación y de protección de la cantidad y la calidad, Para ello se han determinado y caracterizado las posibles afecciones al mismo, con el fin de establecer unas recomendaciones de explotación y protección de las aguas subterráneas.

## **4 METODOLOGÍA Y TRABAJOS REALIZADOS**

Los trabajos realizados han sido los siguientes:

- Recopilación y revisión de la documentación bibliográfica existente sobre el área de estudio. En este sentido destacan los distintos estudios hidrogeológicos realizados en el marco del convenio de colaboración entre la Diputación y el IGME. en muchos de los

municipios del sector, así como otros estudios de carácter regional, entre los que cabe mencionar:

- Plan Hidrológico del Guadalquivir. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. 1999.
- Plan de control de recursos y gestión de captaciones de aguas subterráneas de la provincia de Jaén (1ª Fase). 1995.
- Plan de control de abastecimientos urbanos mediante aguas subterráneas de la provincia de Jaén (1ª, 2ª y 3ª Fase). 2007-2010.
- Normas de explotación de las unidades hidrogeológicas de la Cuenca del Guadalquivir. Instituto Geológico y Minero de España y Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. 2001
- Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Jaén. Diputación Provincial de Jaén-Instituto Geológico y Minero de España. 1997.
- Presente y futuro de las aguas subterráneas en la provincia de Jaén. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. 2002.
- Abastecimientos, aguas subterráneas y nitratos en la provincia de Jaén. 2002.
- Las aguas minerales, minero-medicinales y termales de la provincia de Jaén. Instituto Geológico y Minero de España y Diputación de Jaén. 2003.

Por otra parte, se han recopilado las estadísticas necesarias para la cumplimentación de las diferentes fichas a rellenar y para el cálculo de demandas y consumos de agua de la población. Éstas se han basado en las estadísticas municipales sobre el padrón municipal, recopiladas durante la realización de las encuestas, estimaciones de población estacional, realizadas por los ayuntamientos, dotaciones estándares a poblaciones y volúmenes anuales consumidos, obtenidos de contador volumétrico y aportados por los ayuntamientos o las entidades gestoras del abastecimiento, o deducidos de los volúmenes captados en las diferentes fuentes de suministro municipal.

Para el tratamiento de la información y evaluación de extracciones, se han utilizado además los datos del inventario de puntos de agua del IGME.

- Realización de encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo: Se han realizado 11 encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo para estimar el rendimiento de las instalaciones de elevación de agua conectadas a la red de distribución de energía eléctrica, y determinar la relación entre el consumo eléctrico y el volumen de agua bombeado.
- Revisión y actualización del inventario de puntos acuíferos: Se han revisado más de 53 puntos de agua.
- Análisis de posibles focos de contaminación: Se han localizado y caracterizado los principales focos potenciales de contaminación en el entorno de las captaciones de abastecimiento. Además, se ha evaluado la afección potencial sobre la calidad de las aguas subterráneas.

- Análisis químicos de las aguas utilizadas para abastecimiento urbano: La caracterización físico-química de las aguas de abastecimiento se ha establecido a partir de los análisis de las aguas de abastecimiento de las diferentes fuentes de suministro, realizados por el IGME.
- Reconocimiento hidrogeológico del entorno y estimación de la extracción de aguas en el sector de acuífero en que se ubican las captaciones de abastecimiento.
- Se ha llevado a cabo un estudio hidrogeoquímico con el objetivo principal de caracterizar las aguas de los distintos acuíferos implicados en los abastecimientos. Para ello se han estudiado los principales constituyentes químicos de las aguas, cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ) y aniones ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), que nos permiten caracterizar sus facies hidroquímicas. También se han tenido en cuenta algunas características físico-químicas básicas, como la conductividad, pH, oxidabilidad, dureza y total de sólidos disueltos. Por otra parte, también se ha analizado la presencia de iones presentes de forma natural y/o como resultado de actividades humanas que puede ser indicadores de contaminación, como los compuestos nitrogenados (nitratos, nitritos y amonio), los fosfatos y los sulfatos, que puedan estar afectando el buen estado químico de las aguas subterráneas.
- Se intentará establecer si existen diferencias en la composición del agua de los distintos grupos acuíferos de la zona, si existen problemas de contaminación y finalmente se indicará si las aguas podrían ser aptas para el consumo humano, aunque debemos señalar que si se van utilizar para tal fin sería conveniente completar la información con análisis de potabilidad.
- Elaboración de una base de datos: Con los datos georreferenciados procedentes de la revisión de las instalaciones, las encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo y los focos potenciales de contaminación se ha elaborado una base de datos que permita realizar el seguimiento de los municipios estudiados pudiendo verificar la evolución en el tiempo de aquellos parámetros que se estime oportuno de manera ágil y eficaz, así como su integración en un SIG.
- Análisis de datos y Memoria Final. La Memoria se ha estructurado en dos partes. Una Memoria General en la que se recogen los aspectos relativos a metodologías, descripción de trabajos realizados, exposición global de datos y conclusiones generales; y una Memoria de municipios en la que se expone la información recogida y analizada, y las conclusiones y recomendaciones para cada uno de ellos.

## 5 ESTADO ACTUAL DE LOS ABASTECIMIENTOS URBANOS

Con objeto de evaluar el estado en que se encuentran las distintas captaciones utilizadas para abastecimiento urbano, se ha procedido a estudiar el sistema de abastecimiento de cada municipio, confirmando la localización de los depósitos de regulación y redes de abastecimiento en alta.

En el caso de los sondeos se han realizado encuestas de cuantificación a las instalaciones aplicando la metodología de evaluación de extracciones de aguas subterráneas mediante

contadores eléctricos, rendimientos y costes del agua desarrollada por el IGME en aquellos casos en que se dan las condiciones de validez del método.

Este método, aplicable a captaciones con equipos de elevación conectados a la red general de distribución de energía eléctrica, permite evaluar el rendimiento de las instalaciones y el volumen total bombeado por las mismas. A través de las encuestas de cuantificación se obtienen los parámetros hidráulicos y eléctricos de funcionamiento de la impulsión. Con los consumos extraídos de los recibos de electricidad, que suponen la demanda real, se calculan los volúmenes bombeados. Dichos parámetros y los volúmenes diarios bombeados podrán utilizarse como punto de partida en la elaboración de los distintos supuestos a considerar para valorar las posibilidades de mejora y optimización de cada instalación de bombeo.

### 5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los municipios incluidos en esta fase del Plan de Control tienen una población estable total de 45.798 habitantes (2018) con un incremento estacional evaluado en aproximadamente 10.850 habitantes.

La demanda base se ha calculado para las dotaciones teóricas máximas asignadas según se recoge en el Artículo 22 “Dotaciones de agua para abastecimiento urbano” del *Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tago, Guadiana y Ebro* y teniendo en cuenta las particularidades de cada municipio.

**Cuadro 2: Dotaciones brutas máximas para uso doméstico. Procedimiento particularizado. Apéndice 11.2. del R.D. 1/2016.**

Población abastecida por el sistema (habitantes)	Dotación máxima bruta (l/hab/día)
Menos de 101	220
De 101 a 2.000	210
De 2.001 a 10.000	205
De 10.000 a 50.000	200
De 50.000 a 250.000	195
Más de 250.000	190

El consumo base se ha obtenido con las encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo y de contador volumétrico, así como con los valores facilitados por los ayuntamientos, Diputación Provincial de Jaén y/o las empresas gestoras. Los datos de población, demanda y consumo, junto con el origen del suministro (sondeo, manantial o captación superficial) y la capacidad de almacenamiento diferenciados por municipio se muestran en el cuadro 3.

Como se puede observar en las celdillas sombreadas, el consumo es superior a la demanda teórica en campillo de Arenas, Huelma y Pozo Alcón. En cuanto a la capacidad de almacenamiento óptima (1,5 veces la demanda punta) en la mayoría de los casos está por encima de la existente.

**Cuadro 3: Características generales de los municipios.**

Municipio	Población		Dotación (l/hab/día)	Demanda diaria (m <sup>3</sup> /día)		Valores anuales (m <sup>3</sup> /año)		Infraestructura					
	Residente	Estacional		Base	Punta	Demanda	Consumo	Suministro			Almacenamiento		
								Sond.	Man.	Sup.	Nº. Dep.	Tot. (m <sup>3</sup> )	Opt. (m <sup>3</sup> )
Bélmez de la Moraleda	1.567	200	200	314	354	118.071	-	1	4	0	4	1.702	530
Cabra del Santo Cristo	1.877	300	200	375	435	187.000	-	2	1	0	5	3.040	652
Cambil	2.772	450	200	555	645	210.000	-	2	2	0	3	900	967
Campillo de Arenas	1.784	273	200	357	427	136.672	140.290	3	1	0	2	9.000	640
Cazorla	7.613	2.500	200	1.520	2023	602.000	500.170	2	2	0	8	3.036	3.034
Chilluévar	1.483	100	200	297	317	110.100	-	1	0	1	2	465	475
Hinojares	334	250	200	67	117	29.000	-	0	2	0	3	160	175
Huelma	5.845	450	200	1.360	1.459	434.965	922.245	8	1	0	4	2.420	1.889
Huesa	2.527	25	200	505	510	184.931	173.149	0	1	0	4	1.482	766
La Iruela	1.958	3.850	200	392	1.162	214.000	-	3	13	0	18	3.500	1.742
Larva	486	100	200	97	117	33.800	-	2	0	0	3	725	175
Peal de Becerro	5.290	650	200	1.058	1.188	400.000	-	3	1	0	4	3.500	1.782
Pozo Alcón	4.708	750	200	942	1.092	357.484	1.500.000	0	0	2	4	1.816	1.640
Quesada	5.400	700	200	1.080	1.120	408.000	-	1	4	0	8	2.488	1.830
Santo Tomé	2.154	250	200	431	481	161.482	-	0	0	1	1	750	721

## 5.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES

De los 15 municipios estudiados, 2 se abastecen totalmente mediante aguas superficiales, 1 tiene una cierta dependencia y los 12 restantes lo hacen exclusivamente mediante aguas subterráneas. En el cuadro 4 se resumen el número de captaciones actual o potencialmente en uso en los municipios estudiados.

**Cuadro 4: Tipos de captaciones para abastecimiento**

NATURALEZA	Número de captaciones
Sondeos / pozos	28
Manantiales / galerías	32
Captaciones superficiales	4

La mayoría de las instalaciones de bombeo están automatizadas, de modo que se activan mediante sondas en el depósito distribuidor cuando los niveles bajan hasta un mínimo. En otros casos se accionan manualmente, manteniéndolas en marcha cierto número de horas al día según la apreciación del encargado municipal, o disponen de reloj que activa el funcionamiento de la impulsión durante cierto número de horas, graduado regularmente atendiendo a las previsiones y experiencia del encargado municipal.

Solamente 4 de los sondeos reconocidos disponen de tubo piezométrico relativamente operativo, elemento imprescindible para poder llevar un control de los niveles estáticos y dinámicos de los sondeos de abastecimiento.

Las elevaciones de agua han sido estudiadas mediante las encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo realizadas al efecto. Han sido objeto de chequeo todas aquellas captaciones de suministro urbano y titularidad públicas que cuentan con instalación eléctrica, en las que se puede determinar experimentalmente la relación entre los consumos de energía y los volúmenes bombeados, cumplimentándose a este fin la correspondiente encuesta para cuantificación de volúmenes de bombeo. Sin embargo, solamente en un caso se ha podido llevar a cabo la encuesta correctamente ya que en el resto faltaba alguno de los elementos necesarios (tubo piezométrico, caudalímetro, contador de energía, etc.)

En el cuadro 5 se resumen los datos de las encuestas de cuantificación de volúmenes de extracción. En los casos en que ha sido posible, se ha incluido información procedente de encuestas anteriores realizadas por el IGME.

**Cuadro 5: Resumen de los datos de las encuestas de cuantificación de volúmenes de extracción**

MUNICIPIO	DENOMINACION	FECHA	Alt. Man. (m)	Q (l/s)	Pa (kW)	E (m <sup>3</sup> /kWh)	Rdmt (%)	VALORES ANUALES			COSTE UNITARIO	
								CONSUMO ELÉCTRICO (kWh/año)	VOL. EXTR (m <sup>3</sup> /año)	FACT. (€/año)	(€/m <sup>3</sup> )	(€/kwh)
Chilluévar	Sondeo de Los Vilchites	22/03/2018	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Cazorla	Sondeo Riogazas	15/02/2018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cazorla	Sondeo El Almicarán	22/02/2018	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Cambil	Las Rozas- Sondeo Cambil- Covezuelos	21/05/2018	130,40	6,6	-	-	-	-	-	-	-	-
Cambil	Sondeo Los Mimbres	21/05/2018	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-
La Iruela	El Pollo o Barranco Perona	22/02/2018	271 (b)	3,16	13,64	0,83	62	33.743 (c)	14.896 (c)	-	-	-
La Iruela	Carrasquea	23/02/2018	-	17,4	-	-	-	-	-	-	-	-
La Iruela	Campo de fútbol o Prado Redondo	23/02/2018	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Quesada	La Majuela	24/04/2018	90 (d)	11	11,16	3,55	-	-	-	-	-	-
Quesada	El Chorro I	24/04/2018	-	35	-	-	-	-	-	-	-	-
Quesada	El Chorro II	24/04/2018	-	35	-	-	-	-	-	-	-	-
Quesada	El Hoyazo	08/05/2018	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-
Campillo de Arenas	Almendro Gordo o Barranco Cagasebo	05/04/2019	180,99	10	32,44	1,11	55	210.307	140.290	26.885	0,192	0,128
Bélmez de la Moraleda	Baltibañas (Pedanía Belmez)	22/04/2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Huelma	Guadalijar 1	02/04/2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Huelma	Guadalijar 2	02/04/2019	85 (d)	17(a)	23,17	2,64	-	-	-	-	-	-
Huelma	Tosquilla 1	02/04/2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Huelma	Tosquilla 2	02/04/2019	150 (d)	5(a)	17,11	1,05	-	-	-	-	-	-
Huelma	Chopof	02/04/2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Huelma	Cortijo Cújar	02/04/2019	90 (d)	0,5	17,25	0,10	-	-	-	-	-	-
Huelma	Las Cabritas o Cueva Mosa	02/04/2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Larva	Majablanquilla II	02/04/2019	-	7	-	-	-	-	29.000 (f)	-	-	-

(a) : Caudal estimado

(b) : Procedente de encuestas anteriores

(c) : Prorrrateado desde la última encuesta realizada en el sondeo

(d) : Dato estimado

(e) : Calculado en función del volumen y consumo energético de un periodo de control

(f) : Volumen facilitado por la empresa gestora del servicio o Ayto.

La distribución de volúmenes bombeados por municipio, que solamente se ha podido calcular en tres casos, es muy variable. Existen municipios con un consumo muy alto, caso de Campillo de Arenas con casi 0,15 hm<sup>3</sup>/año con el sondeo de Almendro Gordo. Este aspecto se refleja en la figura nº 2.

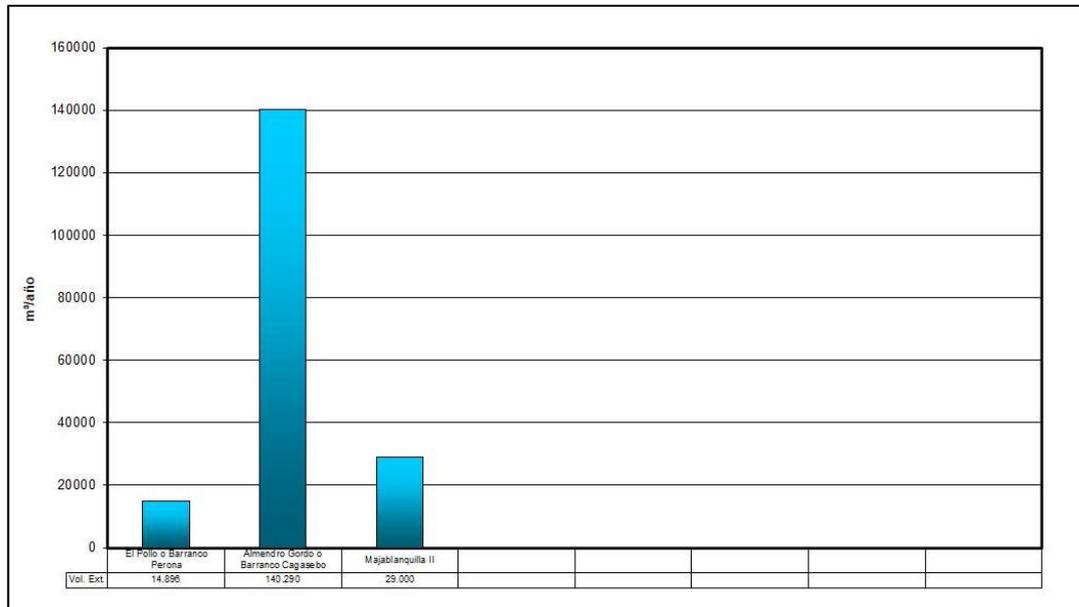


Figura 2: Volumen de agua elevada anualmente en captaciones de agua subterránea.

El caudal de explotación oscila entre 35 y 0,5 l/s, con una media de 10,7 l/s. Las alturas manométricas oscilan entre 271 y 85 m, con un valor medio de aproximadamente 142,5 m.

La relación E calculada, entre el volumen de agua bombeado y la energía eléctrica consumida para realizar el trabajo, toma valores entre 3,55 y 0,10 m<sup>3</sup>/kWh, siendo la media de 1,5 m<sup>3</sup>/kWh.

En la figura 3 se representan las instalaciones analizadas, situándose en ordenada la altura manométrica y en abscisas la relación E entre el volumen bombeado y el consumo eléctrico. Los datos han quedado distribuidos en varias curvas de isorrendimientos (del 10% al 70%), observándose como hay una instalación con rendimiento inferior al 40% que aparentemente presenta anomalías en su funcionamiento.

Estos casos se tratan particularmente en los informes municipales. Asimismo, se observa que 2 instalaciones presentan rendimientos entre el 40% y el 60% y otras 2 superan este último. Destaca la identificada con el nº 2, 213770008 “La Majuela”, con un rendimiento superior al 80%.

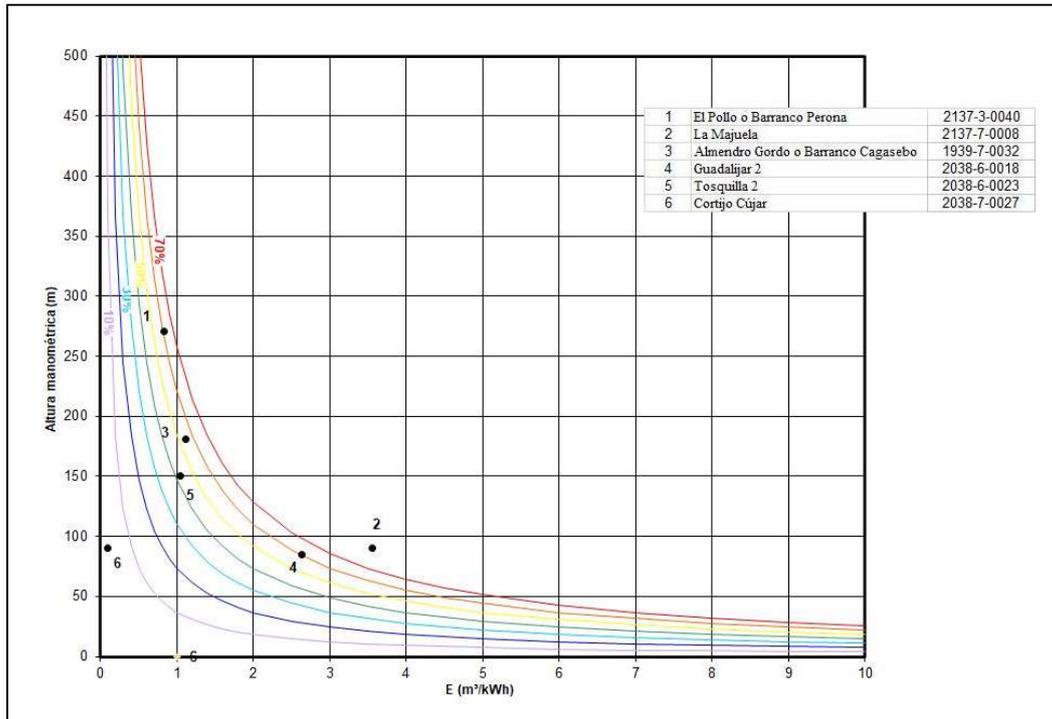


Figura 3: Relación entre E, altura de impulsión y rendimiento de las instalaciones estudiadas.

Los rendimientos apreciados en las instalaciones oscilan entre el 87%, como máximo, y el 3%, como mínimo, presentando en conjunto un valor medio del 51,8%.

En los informes municipales se califican los rendimientos según se indican en la tabla siguiente:

Anómalo	> 65 %
Óptimo	Entre 55 y 65 %
Normal	Entre 50 y 55 %
Bajo	Entre 45 y 50 %
Muy bajo	Entre 40 y 45 %
Inadecuado	< 40 %

Más representativo que la gestión económica del agua es el coste unitario del metro cúbico de agua elevado. La distribución por sondeo de este parámetro se representa en el histograma de la figura 4 que incluye todos los casos de las diferentes fases del plan de control realizado con anterioridad (años 2004-2006) y el obtenido en este trabajo. Hay que insistir que se hace referencia al coste eléctrico del agua impulsada en las instalaciones de bombeo.

Así, en la figura 4, indicativa de una posible "mala gestión eléctrica" y/o un alto coste de elevación de agua, destaca el sondeo de Almendro Gordo como de alto coste del metro cúbico elevado.

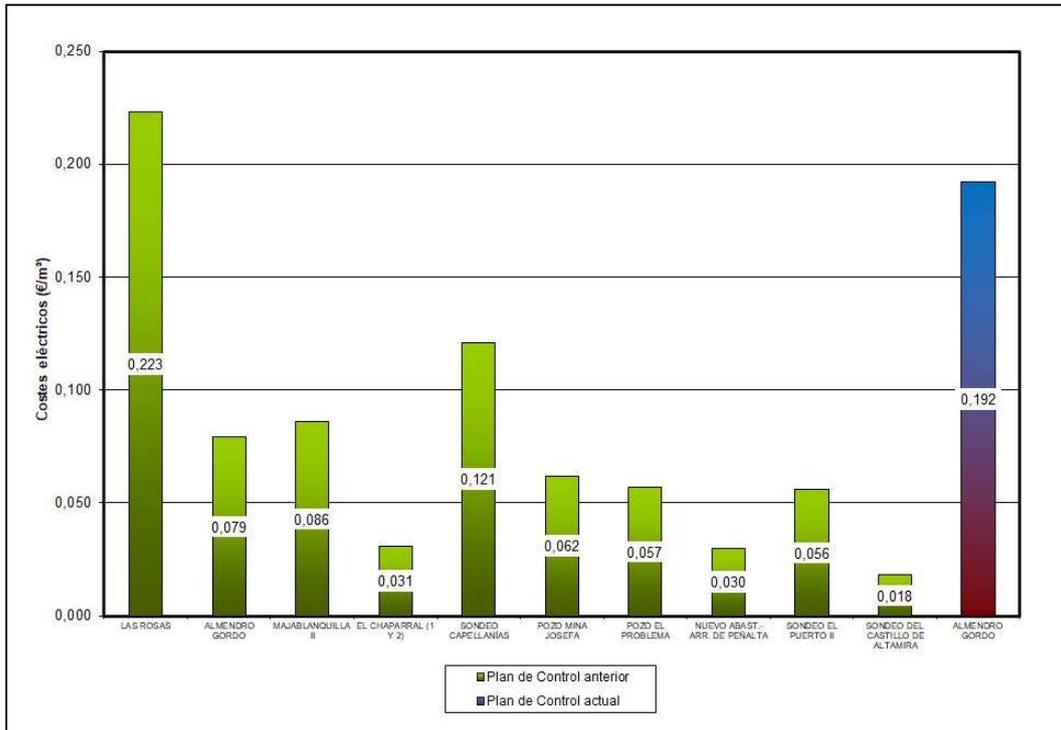


Figura 4: Coste eléctrico del agua elevada (€/m³)

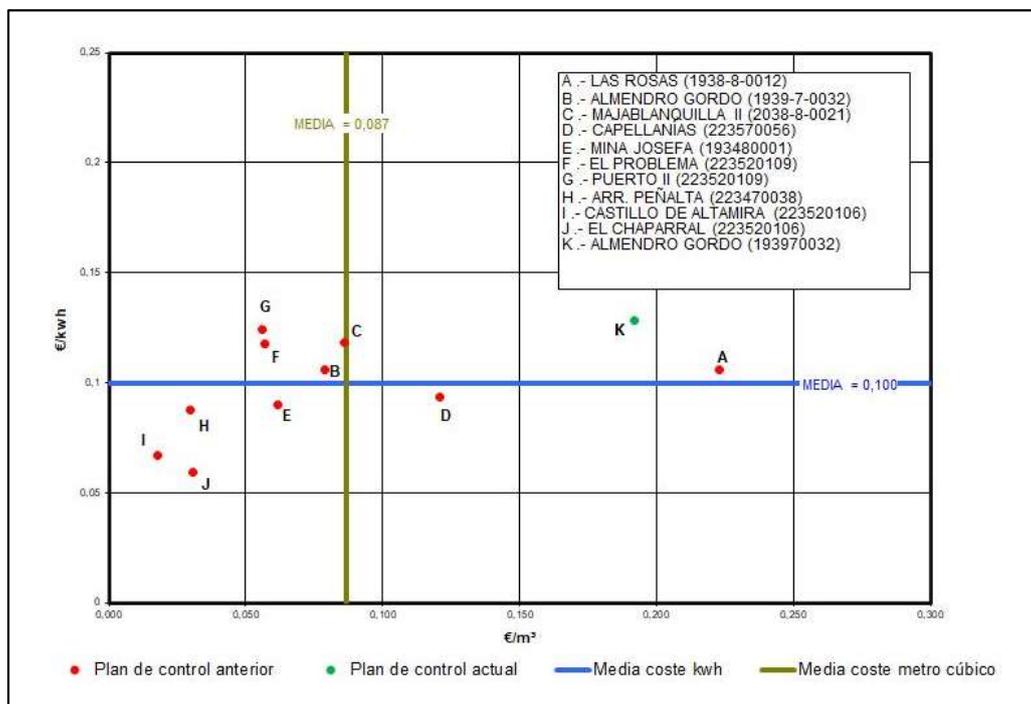


Figura 5: Relación entre el gasto unitario del agua y el eléctrico.

En la figura 5 se ha representado el diagrama de distribución de las instalaciones chequeadas en fases del plan de control realizado con anterioridad y el obtenido en este trabajo respecto a los costes unitarios, indicando también la media de ambos parámetros para todos los valores. Por un lado, las instalaciones cercanas al eje de abscisas serían indicativas de una “gestión eléctrica

adecuada" (valores bajos del kWh), mientras que, al contrario, los más alejados del eje lo serían de una "mala gestión eléctrica".

El concepto de "mala gestión eléctrica" es necesario tomarlo con ciertas reservas, ya que en algunos casos es posible que sea debido a imponderables. Todas las circunstancias relativas a las características de las instalaciones comentadas de forma general en este epígrafe serán objeto de detallada explicación en el texto del municipio correspondiente, así como las alternativas propuestas para una mejor explotación del sistema de abastecimiento.

### 5.3 OPTIMIZACIÓN DE INSTALACIONES

En este apartado se analizan las circunstancias que condicionan el funcionamiento y el coste de cada instalación eléctrica, y se definen unas directrices básicas a seguir, buscando siempre abaratar significativamente la explotación.

Sin embargo, puesto que el mercado del suministro eléctrico ha sido liberalizado, no existen tarifas de obligado cumplimiento. Esto invalida en parte este apartado, pues en cada caso se debe tratar la tarifa mediante una negociación particular entre consumidor y compañía eléctrica.

No obstante, es procedente incidir en la adecuada instalación desde el punto de vista de rendimiento y de un excesivo consumo de energía reactiva, esto se incluye las recomendaciones generales del apartado siguiente.

### 5.4 RECOMENDACIONES GENERALES

La puesta en marcha del Plan de Control, siguiendo la filosofía del mismo resumida en la introducción de esta Memoria, debe servir de punto de partida para el seguimiento y mejora de los abastecimientos urbanos.

Hay que señalar, por una parte, que en muchas ocasiones los propios ayuntamientos carecen de información exacta sobre las características de las instalaciones de abastecimiento. Por otra parte, y no menos importante, el control de las explotaciones se realiza de forma parcial y esporádica, y se restringe, en el mejor de los casos a medidas eventuales del nivel piezométrico, lecturas del contador y, más raramente, medida de los caudales aprovechados.

En primer lugar, se recomienda el control de los volúmenes de agua que entran en los depósitos reguladores de abastecimiento, ya sea impulsados o por gravedad. En este sentido, las encuestas para cuantificación de volúmenes de bombeo suponen una herramienta de gran utilidad para llevar a cabo este control que se complementaría con el seguimiento periódico de los contadores de energía y verificaciones de los factores que intervienen en la encuesta.

Por otro lado, y también con carácter periódico, es necesario medir la evolución de los niveles piezométricos, tanto estático como dinámico, y de los caudales de bombeo. Para ello se recomienda la instalación de elementos que permitan realizar estas medidas, principalmente tuberías piezométricas en los sondeos que, como se ha indicado anteriormente, son

prácticamente inexistentes. Por lo que respecta al caudal, para su medida, sería necesario acondicionar secciones para instalar caudalímetros.

Para el control de las instalaciones, además de las visitas periódicas de técnicos especializados, es de suma importancia la colaboración del personal municipal.

Por lo que respecta al estado de las instalaciones, sería muy recomendable realizar un chequeo detallado de las mismas, con la finalidad de acotar con más precisión las posibles anomalías, algunas de ellas observadas en el Plan de Control, y proponer soluciones para su optimización.

Las instalaciones eléctricas asociadas a impulsiones, suelen presentar una potencia contratada por debajo de la potencia activa real del equipo de bombeo. En los casos en que no hay máxímetro instalado, esto redundará en un menor valor del término de potencia facturado. Sin embargo, en instalaciones con máxímetro, si sus registros superan el 105% de la potencia contratada, se factura el valor registrado por el máxímetro más el doble de la diferencia entre el valor registrado por el máxímetro y el valor correspondiente al 105% de la potencia contratada, por lo que se debería contratar una potencia acorde a la potencia activa real.

Las recomendaciones para la mejora exclusivamente de la infraestructura de las instalaciones, descritas de forma más detallada en los informes municipales, se resumen en el cuadro 6.

En el estudio realizado han sido objeto de análisis las instalaciones en la red en alta exclusivamente, es decir, hasta los depósitos de distribución, no entrándose en valoraciones sobre el estado de las redes de distribución en baja. El grado de deterioro de estas conlleva, con bastante frecuencia, importantes pérdidas, en parte causa de la necesidad de mayores dotaciones para satisfacer la demanda.

**Cuadro 6: Resumen de recomendaciones para la mejora de las infraestructuras.**

MUNICIPIO	MEJORAS PROPUESTAS
BÉLMEZ DE LA MORALEDA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acondicionar los manantiales de abastecimiento y llevar a cabo un control de los caudales drenados.</li> <li>- Realizar la encuesta de Cuantificación de Volúmenes de Bombeo del sondeo Baltibañas cuando se encuentre operativo. Para ello será necesario acondicionarlo con una tubería piezométrica adecuada para poder controlar la evolución del nivel piezométrico y un contador volumétrico, para controlar el volumen de agua bombeado y poder estimar el caudal bombeado en un momento dado.</li> <li>- Una vez realizadas las encuestas de cuantificación, recomendar, si es necesario las mejoras en la instalación del sondeo.</li> <li>- Acondicionar la captación de agua en el río Gargantón para evitar el acceso libre y posibles focos puntuales de contaminación.</li> </ul>
CABRA DEL SANTO CRISTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Llevar a cabo el seguimiento, al menos mensual, de los caudales bombeados para ambos usos (abastecimiento y riego)</li> <li>- Instalar un sistema de medida de caudal en el manantial del Nacimiento y llevar a cabo su seguimiento.</li> </ul>
CAMBIL	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acondicionar los manantiales del Cortijo de Villanueva y Mata Bejid para monitorear el caudal drenado por los mismos, conocer in situ el caudal captado para abastecimiento y llevar a cabo un seguimiento de ambos parámetros.</li> </ul>

MUNICIPIO	MEJORAS PROPUESTAS
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar, si procede, las encuestas de Cuantificación de Volúmenes de Bombeo de los sondeos Cambil y Los Mimbrales. Serán necesarios hidroniveles de bajo diámetro (en el caso de Los Mimbrales incluso se pueden tomar medidas con aire comprimido) y un comprobador eléctrico si no se puede tomar lectura de potencia activa en los contadores eléctricos.</li> <li>- Una vez realizadas las encuestas de cuantificación, recomendar, si es necesario las mejoras en la instalación de cada sondeo.</li> <li>- Realizar un seguimiento de la calidad del agua procedente del sondeo Los Mimbrales, y en caso de tener que usar este punto de captación, someter a tratamiento el agua para reducir el contenido en sulfatos.</li> <li>- Llevar a cabo un seguimiento de la evolución del nivel, de los caudales bombeados y de las características fisicoquímicas de ambos sondeos.</li> </ul>
CAMPILLO DE ARENAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar una testificación geofísica del sondeo Almendro Gordo para evaluar el estado del entubado y, en general del sondeo, así como para intentar conocer si éste está en relación con materiales que pudieran aportar los sulfatos que presentan sus aguas.</li> <li>- Instalar una tubería piezométrica en el sondeo de Almendro Gordo y llevar a cabo el seguimiento de la evolución del nivel piezométrico.</li> <li>- Acondicionar el manantial de Matarratones para tener acceso al mantenimiento de la captación y su posible puesta en marcha en caso de avería del sondeo Almendro Gordo.</li> <li>- Instalar contadores volumétricos para conocer los caudales captados.</li> <li>- Depurar las ARU del municipio antes de su vertido al río Campillo.</li> </ul>
CAZORLA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intentar realizar las encuestas de cuantificación de bombeos de los dos sondeos. Para ello habrá que conseguir de la empresa suministradora de energía acceso a los cuadros eléctricos de ambos sondeos, además de instalar una tubería piezométrica en el sondeo de El Almicerán.</li> <li>- Una vez realizadas las encuestas de cuantificación evaluar y rediseñar, si procede, la instalación de los sondeos.</li> <li>- Llevar a cabo un seguimiento de la evolución del nivel, de los caudales bombeados de los sondeos y de las características fisicoquímicas de sondeos y manantiales.</li> <li>- Instalar contadores volumétricos en las captaciones de los manantiales para conocer y controlar el volumen captado en cada uno de ellos.</li> </ul>
CHILLUÉVAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalar tubería piezométrica y caudalímetro en el sondeo de Los Vilchetes y llevar a cabo un seguimiento de los niveles y volúmenes bombeados.</li> </ul>
HINOJARES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentar la capacidad de almacenamiento.</li> <li>- Acondicionar los manantiales de abastecimiento para poder medir el caudal drenado y llevar a cabo su seguimiento.</li> </ul>
HUELMA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar un estudio hidrogeológico del acuífero captado por el sondeo El Chopo, para evaluar sus reservas y recursos y planificar la explotación del sondeo.</li> <li>- Reacondicionar adecuadamente los sondeos de abastecimiento para poder tomar medidas de caudal captado y nivel piezométrico en cada uno de ellos.</li> <li>- Realizar la encuesta de Cuantificación de Volúmenes de Bombeo de cada uno de los sondeos operativos cuando se pueda obtener la información de caudal captado y profundidad del nivel piezométrico.</li> <li>- Poner en funcionamiento, periódicamente, el sondeo Las Cabritas o Cueva Mosa para verificar que su instalación funciona adecuadamente en caso de emergencia.</li> <li>- Depurar las aguas residuales de Solera.</li> <li>- Mejorar el sistema de abastecimiento a la pedanía de Villacampo del</li> </ul>

MUNICIPIO	MEJORAS PROPUESTAS
	Moral y tratar el agua para el consumo humano. El punto de captación actual debería ser modificado tras un estudio hidrogeológico que definiera la mejor ubicación posible, teniendo en cuenta calidad y cantidad de agua y distancia a la pedanía.
HUESA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acondicionar el manantial de abastecimiento para poder medir el caudal drenado y llevar a cabo su seguimiento.</li> <li>- Depurar las aguas residuales del municipio antes de su vertido al arroyo.</li> </ul>
LA IRUELA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimizar el sistema de abastecimiento con menos captaciones. Para ello es necesario realizar un estudio hidrogeológico encaminado a realizar alguna captación que sustituya algunas de las existentes.</li> <li>- Intentar realizar las encuestas de cuantificación de bombeos de los tres sondeos, por su aportación al sistema de abastecimiento y para optimizar el rendimiento de los mismos. Es especialmente necesario evaluar el sondeo Carrasquea (213730054) por la poca información disponible del mismo y por el elevado contenido de Sodio en el agua, que puede provocar problemas de calidad en el futuro.</li> <li>- Llevar a cabo un seguimiento de la evolución del nivel, de los caudales bombeados de los sondeos y de las características fisicoquímicas de sondeos y manantiales.</li> <li>- Instalar contadores volumétricos en las captaciones de los manantiales para conocer y controlar el volumen captado en cada uno de ellos.</li> </ul>
LARVA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inclusión, en el sistema de abastecimiento a Larva de un sondeo actualmente existente próximo al de La Casería.</li> <li>- Realización de un sondeo en el sector Mioceno Oriental.</li> <li>- Captación del manantial Fuente del Pozuelo, localizado en el mencionado sector Mioceno Oriental.</li> <li>- Adecuación de la instalación existente desde el río Guadiana Menor hasta Larva para su inclusión en el sistema de abastecimiento.</li> <li>- Realización de un estudio que incluya los materiales de edad Mioceno localizados al norte de Larva.</li> </ul>
PEAL DE BECERRO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalar sistemas de control de caudal y realizar medidas periódicas en el manantial de La Maleza en los periodos en que drene, así como instalar tubería piezométrica en los dos sondeos de abastecimiento y llevar a cabo un seguimiento de los niveles y volúmenes bombeados.</li> </ul>
POZO ALCÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentar la capacidad de almacenamiento hasta cubrir 1,5 veces la demanda punta.</li> <li>- Realizar un estudio hidrogeológico en el acuífero Cabañas-Gualay para determinar las posibilidades de complementar el abastecimiento al municipio con aguas subterráneas en épocas de sequía prolongada en las que el embalse de La Bolera tenga escasez de recursos.</li> </ul>
QUESADA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acondicionar los manantiales de abastecimiento para poder medir el caudal drenado y llevar a cabo su seguimiento.</li> <li>- Instalar tubería piezométrica y caudalímetro en el sondeo del Hoyazo y llevar a cabo un control de la evolución del nivel piezométrico y de los caudales bombeados.</li> </ul>
SANTO TOMÉ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar los estudios hidrogeológicos necesarios para plantear alternativas para un eventual periodo de escasez de agua superficial.</li> </ul>

## 6 RECURSOS DISPONIBLES Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

En este epígrafe se hace un análisis de las características generales de los acuíferos captados para abastecimiento, junto con la evaluación de los recursos disponibles en cantidad y en calidad. Asimismo, se hacen una serie de consideraciones y recomendaciones de cara al planteamiento de posibles alternativas al abastecimiento.

### 6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ACUÍFEROS

Los acuíferos captados por los puntos de abastecimiento urbano de los núcleos de población objeto de esta fase del Plan de Control se indican en el cuadro nº 7 junto con las Masas de Agua Subterránea (MASb) en la que se incluyen.

La mayoría de los acuíferos captados son de naturaleza carbonatada, con permeabilidad por fisuración y karstificación, existiendo también materiales de naturaleza detrítica, con permeabilidad por porosidad intergranular. Además, existen varios puntos de abastecimiento sin masa de agua subterránea definida.

MUNICIPIO	NÚCLEOS	ACUÍFERO	MASb
BÉLMEZ DE LA MORALEDA	Bélmez de la Moraleda	Sierra Mágina	052.100 "Sierra Mágina"
	Aulabar	Cabra del Santo Cristo	054.102 "Cabra del Santo Cristo"
CABRA DEL SANTO CRISTO	Cabra del Santo Cristo	Cabra del Santo Cristo	054.102 "Cabra del Santo Cristo"
		Gante-Chotos	054.104 "Gante-Santerga-Chotos"
CAMBIL	Cambil, Arbuniel y Mata Begid	Almadén	052.000 "Almadén-Carlucá"
		Sierra Mágina	052.100 "Sierra Mágina"
		Alta Coloma	052.800 "Montes Orientales. Sector Norte"
CAMPILLO DE ARENAS	Campillo de Arenas	Alta Coloma	052.800 "Montes Orientales. Sector Norte"
		Sierra del Trigo-Puerto Arenas	
CAZORLA	Cazorla, El Molar, Puente de la Cerrada, Los Peralejos, La Ribera, Vadillo Castril, Valdecazorla y El Valle	Gilillo	050.100 "Sierra de Cazorla"
		Béjar¿?	
	El Almicarán	Sierra de Castril	050.200 "Quesada-Castril"
CHILLUÉVAR	Chilluévar, Las Almansas, Cortijo Grande y Cañada del Moro	Escamas Inferiores	050.100 "Sierra de Cazorla"
HIÑOJARES	Hinojares	Detrítico terciario <sup>1</sup>	Fuera de MASb
	Cuenca	Cabañas-Gualay	050.200 "Quesada-Castril"
HUELMA		Sierra Mágina	052.100 "Sierra Mágina"
		Gante-Chotos	054.104 "Gante-Santerga-Chotos"

<sup>1</sup> El manantial Puente de la Cerrada drena materiales que no se encuentran incluidos en ninguna MASb definida actualmente. Se encuentra en el contacto entre una formación detrítica de edad Turolense superior-Pleistoceno inferior con otra de edad triásica compuesta por areniscas y arcillas rojas con yeso. El drenaje podría tener relación con la MASb 050.200 "Quesada-Castril".

MUNICIPIO	NÚCLEOS	ACUÍFERO	MASb
	Huelma, Solera, La Cabrita y Villacampo del Moral <sup>2</sup>	-	Fuera de MASb
HUESA	Huesa, Ceal, Cerrillo y Cortijo Nuevo	La Canal-Torre del Vinagre	050.200 “Quesada-Castril”
LA IRUELA	La Iruela, Burunchel, Mortalejos y San Martín	Gilillo	050.100 “Sierra de Cazorla”
		La Viñuela	
		Béjar	
		Escamas Inferiores	
		Escamas de Aguascebas ¿Escamas del Tranco?	
	Arroyo Frío	Arroyo Frío	050.200 “Quesada-Castril”
LARVA	Larva	Dolomítico de Larva	054.101 “Larva”
		Calcarenítico de Larva	
PEAL DE BECERRO	Peal de Becerro, Hornos y Toya	Béjar	050.100 “Sierra de Cazorla”
POZO ALCÓN	Pozo Alcón y Fontanar	-	Masa de agua superficial
QUESADA	Quesada, Bruñel Alto, Bruñel Bajo, Acra y La Vega	Béjar	050.100 “Sierra de Cazorla”
	Belerda, Collejares, Cortijuelo, Los Rosales, Casa Blanco, El Salón, Higueral, Tíscar y Don Pedro	La Canal-Torre del Vinagre	050.200 “Quesada-Castril”
SANTO TOMÉ	Santo Tomé, agrupación de Santo Tomé, Arroyos Plaza, Las Ericas	-	Masa de agua superficial

### 6.1.1 Acuífero de Sierra Mágina

#### 6.1.1.1 Descripción general

Los materiales que lo conforman son las dolomías del Lías inferior y medio que presentan espesores entre 500 y 800 m. El acuífero ocupa una superficie de unos 57 km<sup>2</sup> de los que casi su totalidad son afloramientos permeables (56,83 km<sup>2</sup>).

El substrato impermeable general del acuífero corresponde a niveles arcillosos y margosos de la Unidad Olistostrómica aunque en la zona sur existen materiales arcillosos triásicos que localmente pueden constituir también el muro impermeable. Los límites están formados por materiales impermeables del Terciario, Cretácico inferior y del Trías. En su zona septentrional, está en contacto con el acuífero de Cárceles-Carluco con el que la comunicación hidráulica no debe ser de entidad.

Solamente se dispone de los datos obtenidos en ensayos de bombeo realizados por el IGME en los sondeos de La Tosquilla y Guadalijar, en el límite meridional del acuífero, a uno y dos

<sup>2</sup> Villacampo del Moral no aparece en el Nomenclator del INE como pedanía.

kilómetros del manantial de Mata Bejid respectivamente. Según estos datos la transmisividad del acuífero calculada oscila entre 11 y 165 m<sup>2</sup>/d.

El acuífero de Sierra Mágina presenta cuatro puntos principales de drenaje, denominados de oeste a este, Manantial de Mata Bejid, Guadalijar, Gargantón y Fuente del Parque, cuya diferenciación es consecuencia de las compartimentaciones en el almacenamiento del agua subterránea que sufre el acuífero por motivos tectónicos y estructurales. El más importante por su volumen drenado y paradójicamente el situado a mayor cota (1.120 m s.n.m.) es el manantial de El Gargantón, que surge en la cabecera del barranco del mismo nombre con caudales medios cercanos a 300 l/s, puntas superiores a 1000 l/s y mínimos de unos 40 l/s. El manantial de Mata Bejid, que abastece a Cambil y Arbuñiel, se sitúa en el extremo suroccidental del acuífero y presenta caudales medios de más de 100 l/s, con máximos de casi 300 l/s y mínimos de poco más de 10 l/s. El manantial del Parque forma parte del centro urbano de Bélmez de la Moraleda y su caudal medio es de unos 30 l/s también con grandes variaciones de caudales (máximo 167 l/s y mínimos 2 l/s). Finalmente, los manantiales de Guadalijar drenan parcialmente un sector del acuífero captado mediante sondeos para abastecimiento a Huelma, y sus caudales no han sido controlados sistemáticamente, aunque junto con el cercano manantial del Higuérón pueden considerarse en torno a 20 l/s en condiciones no influenciadas por bombeos.

La piezometría queda definida por la cota de sus puntos de descarga y por el sondeo de la Tosquilla de abastecimiento a Huelma y el del Ranchuelo. El nivel está comprendido entre 1020 y 1.060 (área de Mata Bejid) y 1.170 msnm (área del Gargantón)

La alimentación del acuífero se produce exclusivamente por infiltración de la precipitación y se puede estimar, aplicando un porcentaje de infiltración del 45% de la precipitación media sobre sus afloramientos (56,83 km<sup>2</sup>), en 17,9 hm<sup>3</sup>/año. Las salidas corresponderían por un lado a los bombeos de los sondeos que lo explotan para abastecimiento a Huelma y por otro a las salidas por manantiales. Los datos expuestos en el Atlas Hidrogeológico de Jaén estiman la superficie permeable del acuífero en 45 km<sup>2</sup>, y los recursos estarían entre 8,7 y 15,2 hm<sup>3</sup>/año.

No existen datos sobre reservas de agua explotables acumuladas en el acuífero, ya que no se conocen ni la estructura en profundidad ni el coeficiente de almacenamiento, por lo que cualquier cifra podría considerarse como aventurada.

#### 6.1.1.2 Características fisicoquímicas del agua

Para la caracterización fisicoquímica del agua de este acuífero se han tomado los análisis de la base de datos AGUAS del IGME, que comprende análisis realizados desde 1989 hasta 2001, junto con el que se han llevado a cabo en 2018, perteneciente al presente proyecto. Además, no se han considerado los análisis recogidos en la base de datos del IGME cuyo error de balance es muy alto.

Los resultados del análisis de estas muestras se pueden consultar en el anexo correspondiente de esta Memoria Resumen. A partir de los datos obtenidos para los principales cationes y aniones se ha representado un diagrama de Piper (Figura 6) en el que se observa que las aguas

presentan facies bicarbonatadas cálcicas o cálcico magnésicas e incluso magnésico-cálcica. Según se recoge en el Atlas Hidrogeológico de la provincia de Jaén, existe una gradación en el contenido en estos cationes en el sentido E-O.

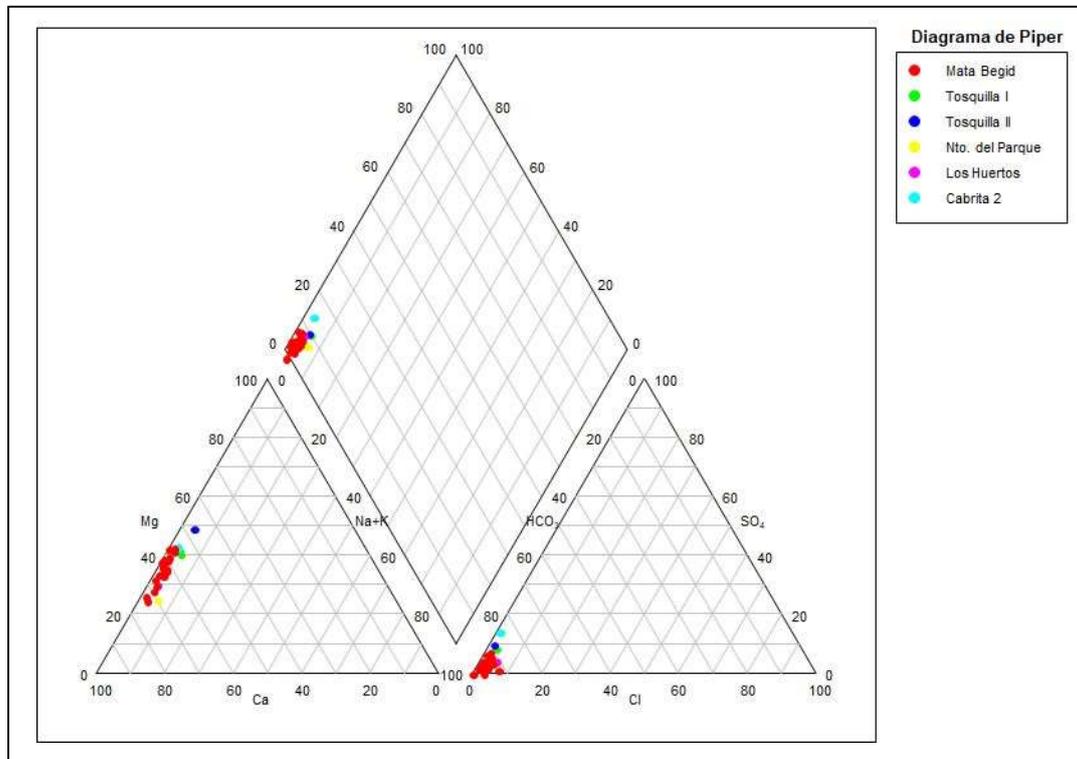


Figura 6: Diagrama de Piper del acuífero de Sierra Mágina.

Las principales variables físico-químicas medidas en el acuífero de Sierra Mágina están dentro de los límites recomendados para consumo humano (R. D. 140/2003), tal y como podemos ver en la tabla 1, en la que se resumen algunos parámetros estadísticos básicos calculados para la conductividad, el pH y oxidabilidad.

Parámetros	Conductividad	pH	Oxidabilidad
Máximo	558	8,4	1,5
Mínimo	226	7,5	0,4
Media	327	7,9	0,7
Límites paramétricos	<2500 $\mu\text{s}/\text{cm}$	6.5-9.5	<5.0 mg/l

Tabla 1: Cálculos estadísticos de algunos parámetros representativos.

La conductividad medida indica que las aguas tienen una mineralización de ligera a notable, aunque mayoritariamente son de mineralización ligera. Según el grado de dureza calculado (en Memoria Resumen) se trata de aguas de dureza media, con valores que van desde 125 a 313 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . El total de sólidos disueltos (TSD) medio del acuífero es de 297 mg/l, por lo que resultará un agua agradable al paladar.

El resto de componentes hidroquímicos medidos presentan concentraciones habituales en aguas subterráneas naturales. Respecto a los compuestos químicos considerados contaminantes, su presencia no es significativa en las muestras analizadas. Así pues, el contenido medio en nitratos es de 9,75 mg/l y los contenidos en nitritos, amonio y fosfatos están en la mayoría de los casos por debajo del límite de detección. No obstante, como se puede observar en la figura 7, en algunos momentos se observan aumentos en el contenido en alguno de estos compuestos que podrían atribuirse a fenómenos puntuales (vertidos, tormentas, etc.). Apoyándonos en estos resultados se podría decir que las aguas del acuífero de Sierra Mágina presentan una buena calidad química natural para consumo humano pero que deberían llevarse a cabo controles periódicos de la evolución de la misma.

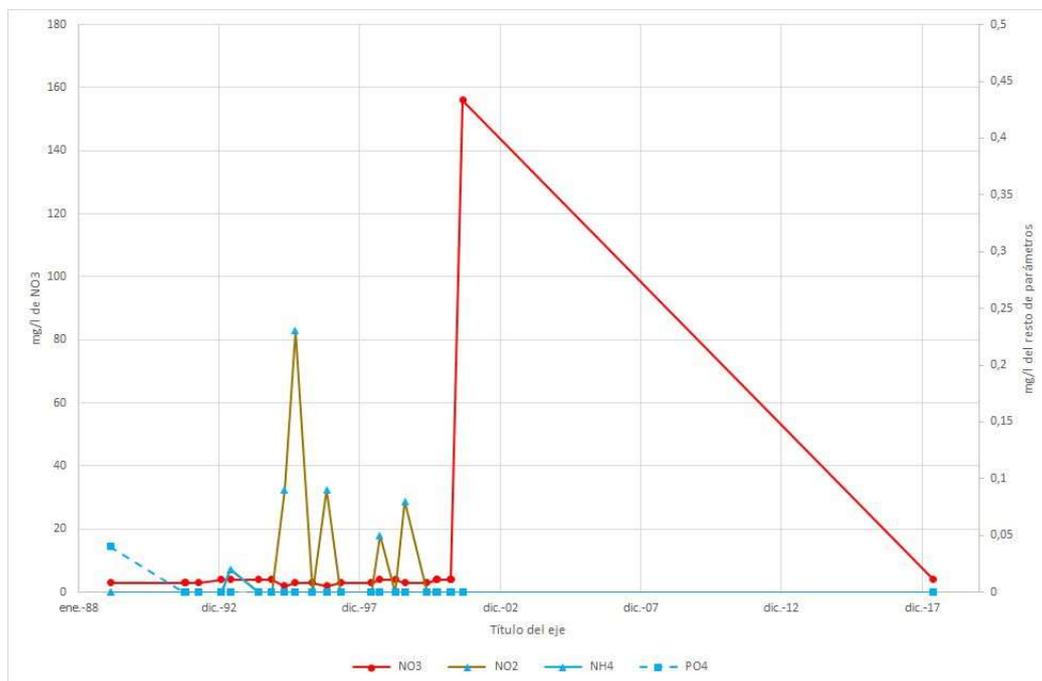


Figura 7: Evolución de algunos compuestos químicos considerados contaminantes en el manantial de Mata Begid del acuífero de Sierra Mágina.

## 6.1.2 Acuífero de Cabra del Santo Cristo

### 6.1.2.1 Descripción general

Está constituido por dolomías de edad Triásico-Lías inferior y medio que afloran en las sierras del Buitre y de los Cangilones, muy próximas a la localidad de Cabra de Santo Cristo.

El conjunto se encuentra colgado sobre materiales impermeables de edad triásica pertenecientes a la Unidad Olistostrómica, si bien algunos sectores de su borde oriental y septentrional se encuentran fracturados, lo que puede facilitar un cierto grado de enraizamiento.

Al norte del Cortijo de los Barrancos, la base impermeable describe una especie de collado, a una cota superior a los 1.200 metros, y desciende tanto al este como al oeste, constituyendo

una divisoria hidrogeológica que divide los materiales permeables en dos sectores independientes, uno oriental, denominado Cerro de los Buitres y otro occidental denominado La Silleta. Las superficies respectivas son 8,45 y 4,31 km<sup>2</sup>.

El sector del Cerro del Buitre presenta una base impermeable entre las cotas 1.000 y 1.200 m s.n.m., a excepción del sector más próximo a Cabra de Santo Cristo, donde baja hasta los 900 m. El sector de La Silleta presenta gran parte de su base casi horizontal, a una cota de 1.000 m.

No se dispone de datos obtenidos por el IGME respecto de parámetros hidrodinámicos para este acuífero.

La alimentación de ambos sectores se realiza exclusivamente a partir de la infiltración directa de las precipitaciones. En el sector del cerro del Buitre, las salidas tienen lugar fundamentalmente a través del manantial del Nacimiento (203870002), que drena un caudal medio de unos 19 l/s, a una cota de 991 m s.n.m. En el sector de La Silleta no se conocen descargas puntuales de entidad, lo que puede indicar una descarga muy rápida hacia los arroyos que tienen su cabecera en estos carbonatos.

Los datos de evolución piezométrica de que se dispone (05.41.001 de la Red Nacional) y la surgencia del manantial del Nacimiento de Cabra del Santo Cristo (203870002) indican que al menos el sector Cerro del Buitre se encuentra en una situación de equilibrio. Como se puede observar en la figura 8, el nivel piezométrico del sector presenta una curva que tiende a la horizontalidad desde principios del año 2011, lo que a su vez es reflejo del buen estado cuantitativo. Esto queda corroborado con la surgencia continua del manantial anteriormente referido, al menos desde el año 2012. No obstante, los datos tomados con posterioridad indican una pendiente negativa, aunque no se llegan a los valores mínimos alcanzados en 2009.



Figura 8: Evolución piezométrica medida en el piezómetro 05.41.001 “Cerro del Buitre” de la Red Nacional

### 6.1.2.2 Características fisicoquímicas del agua

Para caracterizar este acuífero contamos con 4 muestras recogidas durante los años 2006 y 2014. Los resultados del análisis de estas muestras se pueden consultar en el anexo correspondiente de esta Memoria Resumen. Los resultados del análisis de estas muestras se pueden consultar en el anexo correspondiente de esta Memoria Resumen. Aunque se trate de una aproximación no dejar de ser orientativa y útil para completar nuestro estudio, ya que, según indica el examen realizado en el resto de acuíferos de la zona, no hay variaciones muy significativas en los últimos años.

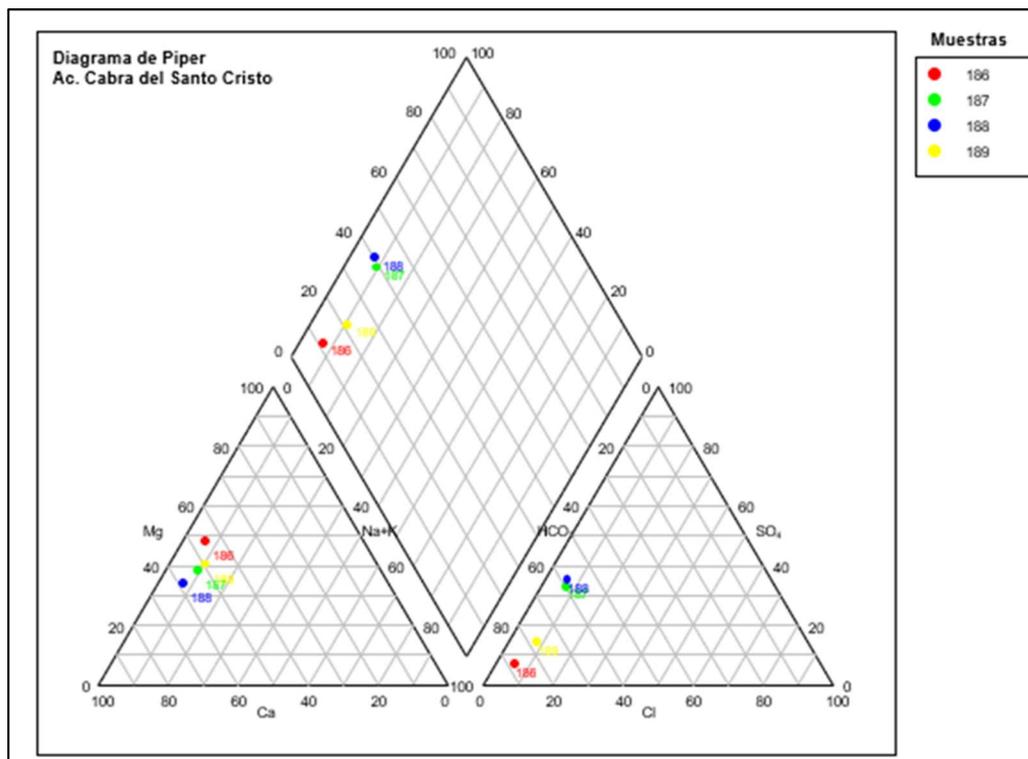


Figura 9: Diagrama de Piper del acuífero de Cabra de Santo Cristo.

Se ha proyectado el contenido de los principales cationes y aniones de las muestras de agua analizadas en un diagrama de Piper y la representación gráfica obtenida indica que las aguas del acuífero son bicarbonatadas cálcicas con variaciones a cálcico-magnésicas y magnésico-cálcicas (Figura 9).

En la tabla 2 se recogen algunas funciones estadísticas básicas calculadas a partir de los datos de los principales parámetros físico-químicos medidos en el acuífero. Los valores obtenidos son propios de aguas subterráneas naturales y además están dentro de los límites paramétricos permitidos para el consumo humano (R.D. 140/2003).

Parámetros	Conductividad	pH	Oxidabilidad
Máx.	474	8,3	0,7
Min.	439	7,6	0,5
media	457	8,0	0,6
Límites paramétricos	<2500 $\mu\text{s}/\text{cm}$	6.5-9.5	<5.0 mg/l

Tabla 2: Cálculos estadísticos de algunos parámetros representativos.

Se trata de aguas de mineralización ligera y dureza media. El grado de dureza promedio para las muestras analizadas es de 239 mg/l  $\text{CaCO}_3$  y el promedio del total de sólidos disueltos es de 376 mg/l. A la luz de estos resultados podríamos considerar que son aguas que resultan agradables al paladar.

El resto de componentes hidroquímicos analizados presentan concentraciones normales en aguas subterráneas. Los compuestos nitrogenados muestran valores bajos o indetectables, al igual que los fosfatos, por lo que no hay indicios de contaminación antrópica.

El contenido en nitratos del agua del sector del Cerro del Buitre no supera los 16 mg/l, según la información disponible correspondiente al manantial “El Nacimiento” 203870002 (05.41.01 de la Red Nacional), por lo que se puede considerar que, al respecto de este ion, la MASb está en buen estado cualitativo. Asimismo, la evolución que se presenta en la figura 10 para el periodo 2005-2014 muestra una tendencia a la estabilidad con un máximo entre 2007 y 2008 y un posterior descenso, si bien debe tenerse en cuenta un amplio periodo sin datos (2009-2014).

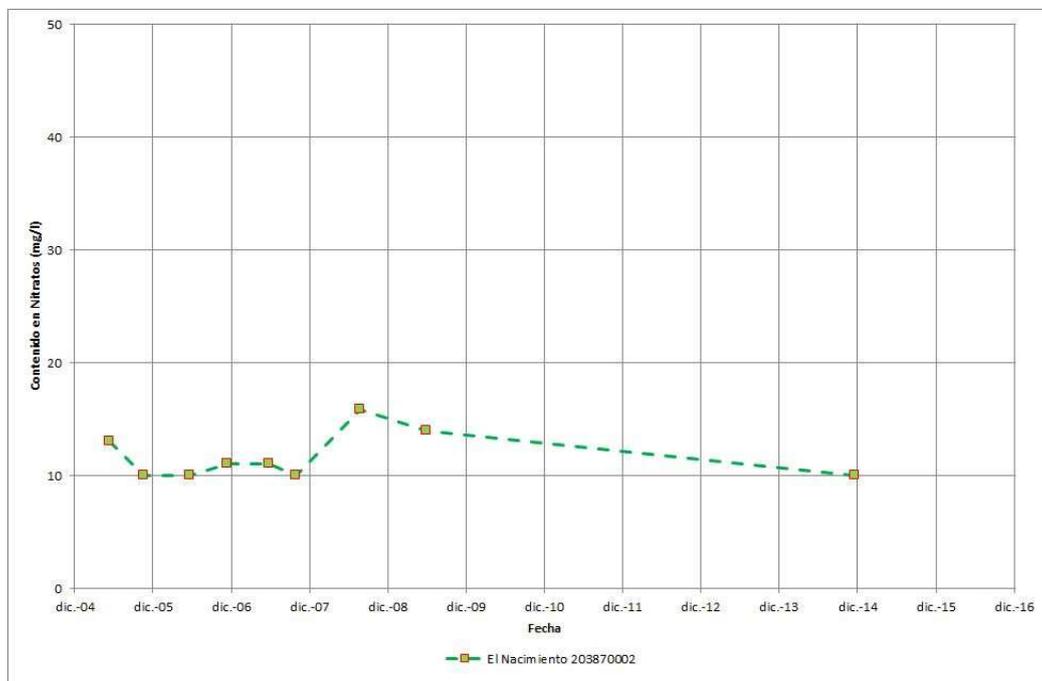


Figura 10: Evolución del contenido en nitratos en el Sector Cerro del Buitre (MASb 054102 Cabra del Santo Cristo).

En base a los resultados de estos análisis podemos considerar que el acuífero Cabra del Santo Cristo contiene aguas de buena calidad.

### 6.1.3 Acuífero Almadén

#### 6.1.3.1 Descripción general

Los materiales que lo conforman son las dolomías del Lías inferior y una potente serie de calizas y calizas tableadas del Lías Superior. En conjunto presentan un espesor superior a los 700 m. Existe en la serie calcárea un nivel de contenido más margoso, con una potencia máxima de 30 metros, uno de cuyos afloramientos separa este acuífero del vecino La Atalaya.

El sustrato impermeable está constituido mayoritariamente por margoareniscas cretácicas. El resto de los límites están constituidos por materiales margosos miocenos y margoareniscas cretácicas.

Solamente se dispone de los datos obtenidos en el ensayo de bombeo realizado en el sondeo Cambil. La transmisividad obtenida en este ensayo fue del orden de 250 m<sup>2</sup>/día.

El acuífero presenta dos sectores diferenciados: uno septentrional que corresponde a Cerro Saladillo, que drena hacia el arroyo Aguas Blancas, a través de los manantiales de Fuenmayor y Fuente del Zar, situados a una cota de 1.200 metros; y otro meridional, de mayor entidad, que drena por la Fuente del Cortijo de Villanueva, situado a 950 m s.n.m. El límite entre ambos sectores no se conoce con precisión, pero debe corresponder a una serie de fallas inversas situadas entre el pico Almadén y Cerro Saladillo.

La alimentación del acuífero se produce exclusivamente por infiltración de la precipitación y se puede estimar, aplicando un porcentaje de infiltración del 35% de la precipitación media sobre sus afloramientos (21,75 km<sup>2</sup>), en 6,09 hm<sup>3</sup>/año. Las salidas corresponderían por un lado a los bombeos de los sondeos que lo explotan para riego o para el abastecimiento de Cambil y por otro a las salidas por manantiales.

No existen datos sobre reservas de agua explotables acumuladas en el acuífero, ya que no se conocen ni la estructura en profundidad ni el coeficiente de almacenamiento, por lo que cualquier cifra podría considerarse como aventurada.

#### 6.1.3.2 Características fisicoquímicas del agua

Para la caracterización fisicoquímica del agua de este acuífero se han tomado los análisis de la base de datos AGUAS del IGME, que comprende análisis realizados desde 1989 hasta 2001, junto con los que se llevaron a cabo en el Plan de Control de abastecimientos urbanos de la provincia de Jaén en 2006 y la tomada en 2018, perteneciente al presente proyecto. Además, no se han considerado los análisis recogidos en la base de datos del IGME cuyo error de balance es muy alto.

Los resultados del análisis de estas muestras se pueden consultar en el anexo correspondiente de esta Memoria Resumen. A partir de los datos obtenidos para los principales cationes y aniones se ha representado un diagrama de Piper (Figura 11) en el que se observa que las aguas presentan facies bicarbonatadas cálcicas.

La conductividad medida indica que se trata de aguas de mineralización ligera. Por otra parte, los valores de dureza calculados van desde 96 a 247 mg/l  $\text{CaCO}_3$ , con un valor promedio de 193 mg/l, por lo que se consideran aguas de dureza media. En correlación con estos resultados, el total de sólidos disueltos obtenido en este acuífero (tabla 2 en anexo Memoria Resumen) no es alto, siendo la concentración media de 317 mg/l.

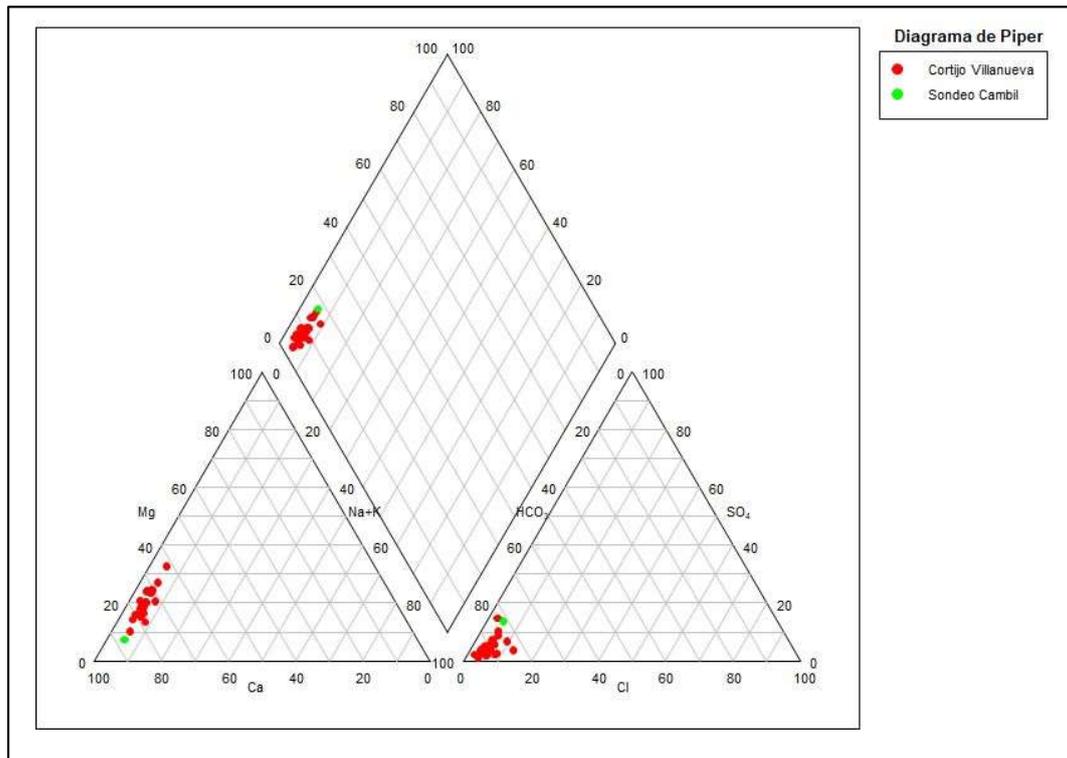


Figura 11: Diagrama de Piper del acuífero de Almadén.

También se han analizado parámetros fisicoquímicos fundamentales como la oxidación, la conductividad y el pH. En la tabla 3 se muestran algunos cálculos estadísticos básicos y además se indican los límites paramétricos permitidos para el consumo humano (R. D. 140/2003). Según estos valores, las aguas serían aptas para su consumo.

Parámetros	Conductividad	pH	Oxidabilidad
Máx.	420	8,1	0,7
Mín.	200	7,2	0,5
media	357	7,7	0,6
Límites paramétricos	<2500 $\mu\text{s/cm}$	6.5-9.5	<5.0 mg/l

Tabla 3: Cálculos estadísticos de algunos parámetros fisicoquímicos representativos

Respecto a los compuestos químicos considerados contaminantes, su presencia no es significativa en las muestras analizadas. Así pues, el contenido medio en nitratos es de 9,5 mg/l y los contenidos en nitritos, amonio y fosfatos están en la mayoría de los casos por debajo del límite de detección. No obstante, como se puede observar en la figura 12, en algunos momentos se observan aumentos en el contenido en alguno de estos compuestos que podrían atribuirse a

fenómenos puntuales (vertidos, tormentas, etc.). Apoyándonos en estos resultados se podría decir que las aguas del acuífero de Almadén presentan una buena calidad química natural para consumo humano pero que deberían llevarse a cabo controles periódicos de la evolución de la misma.

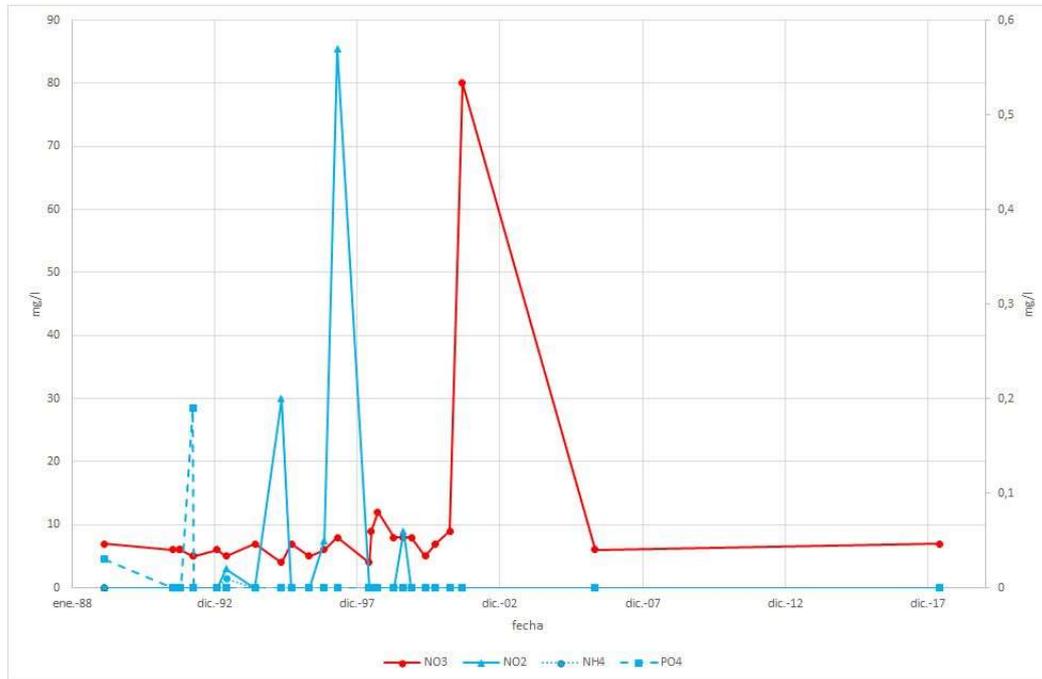


Figura 12: Evolución de algunos compuestos químicos considerados contaminantes en el manantial del Cortijo Villanueva del acuífero Almadén

## 6.1.4 Acuífero Alta Coloma

### 6.1.4.1 Descripción general

Los materiales que lo conforman son calizas y dolomías del Lías inferior que alcanzan potencias superiores a 300 m. El acuífero ocupa una superficie de unos 71 km<sup>2</sup> de los que algo menos de la mitad son afloramientos permeables (35 km<sup>2</sup>), ya que hay amplias zonas donde existe un recubrimiento de materiales de baja permeabilidad poco potente, por lo que la superficie efectiva podría ser mayor.

La geometría del acuífero corresponde a una estructura formada por varios anticlinales y sinclinales orientados en dirección NE-SO, que afectan a materiales mesozoicos del Subbético externo. Los materiales permeables aparecen afloran únicamente en los núcleos de los anticlinales, de tal forma que en superficie aparecen varios afloramientos discontinuos, conectados en profundidad. El substrato impermeable corresponde a materiales arcillosos del Triás en facies Keuper, que constituyen además sus límites septentrional y nororiental.

El límite occidental corresponde a margocalizas jurásicas y margoareniscas del Cretácico inferior que se disponen a techo de los materiales permeables. Los materiales del Lías inferior continúan en profundidad hacia el Oeste, quedando aislados del acuífero Sierra del Trigo-Puerto Arenas

(perteneciente también a la misma MASb) por medio de una importante falla, en la que se encuentran inyectados materiales impermeables del Trías. En su zona occidental, limita con materiales margoarenosos del Cretácico inferior, al Norte, y con materiales pliocenos al Sur. Los materiales pliocenos están constituidos por conglomerados, gravas, arcillas y calizas, y se disponen discordantes sobre los materiales jurásicos

Respecto a los parámetros hidráulicos, la transmisividad obtenida en Alta Coloma está comprendida entre 1.100 m<sup>2</sup>/día (sondeo Cortijo de Buenavista de abastecimiento a Domingo Pérez en la provincia de Granada) y 3.000 m<sup>2</sup>/día (sondeo Almendro Gordo o Barranco de Cagasebo de abastecimiento a Campillo de Arenas). En el sector del Cabezo de Utrera la transmisividad obtenida en el sondeo del mismo nombre de abastecimiento a Montejícar fue de entre 900 y 2.200 m<sup>2</sup>/día.

Los flujos principales se dirigen hacia el NE, donde se sitúa el manantial del Nacimiento de Arbuniel (muy cercano al sondeo Los Mimbrales) que constituye la principal descarga, con caudales superiores a 200 l/s. El nivel piezométrico, viene impuesto por la cota de surgencia del manantial de Arbuniel, situado a 940 m s.n.m. Los datos de nivel del sondeo Los Mimbrales (suministrados verbalmente), quedarían sobre los 930-935 m s.n.m. lo que concuerda, en general, con la cota del agua en esta zona.

#### 6.1.4.2 Características fisicoquímicas del agua

En la base de datos AGUAS del IGME disponemos de 11 muestras de agua de este acuífero (ver anexos de esta Memoria Resumen) recogidas en 7 puntos diferentes y en distintas fechas.

En general, las aguas analizadas presentan facies sulfatadas cálcicas y bicarbonatadas cálcicas, según se deduce de la interpretación del diagrama de Piper (Figura 13) representado a partir de los datos de los principales cationes y aniones presentes en estas muestras. Concretamente solo tres de las muestras analizadas (220,222,226), son bicarbonatadas el resto son sulfatadas.

La casi totalidad de las muestras con facies sulfatadas cálcicas presentan concentraciones en sulfatos por encima de 250 mg/l (límite permitido para el consumo humano según R.D. 140/2003), todas excepto la muestra 225, aunque también tiene contenidos significativos. Estas muestras se tomaron en los puntos 193940002, 193940008, 193940015 y 193970032, es decir en 4 de los 7 puntos muestreados, por lo que podemos considerar que el 57 % de los puntos estudiados contienen aguas no aptas para el consumo humano sin un tratamiento previo. El punto 193940002 (Nacimiento del Río Arbuniel) es uno de los puntos de descarga más importantes de este acuífero y, en estudios anteriores realizados en esta zona por el IGME (IGME 2012), ya había sido señalado como no apto para el consumo.

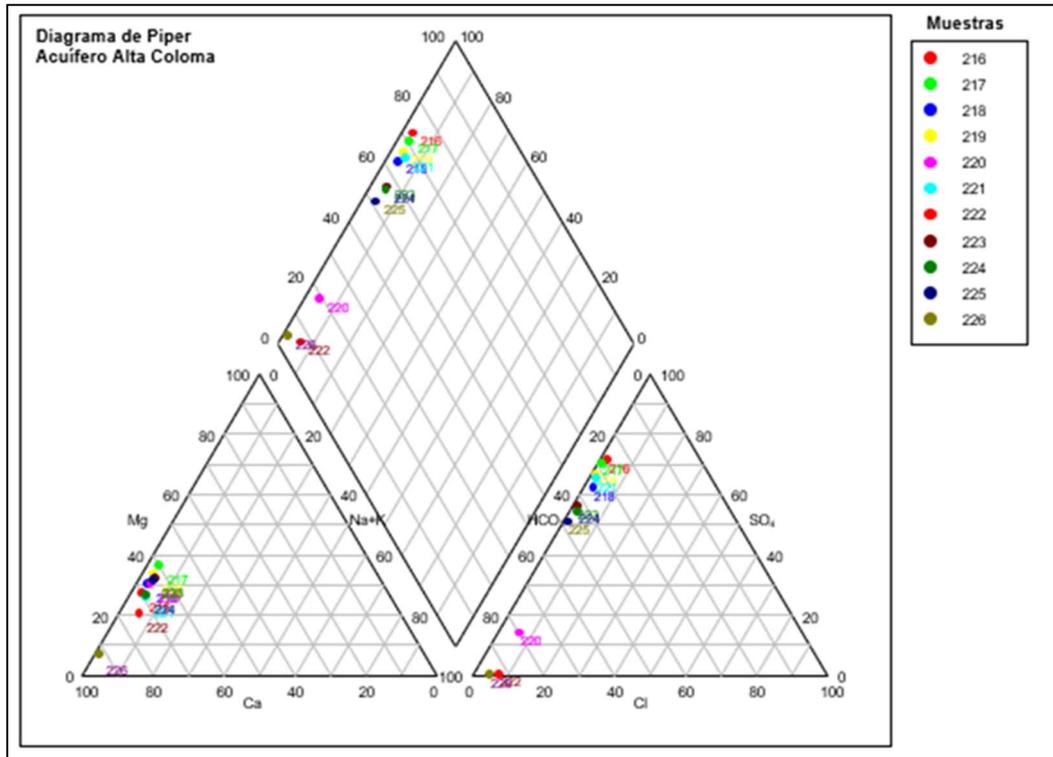


Figura 13 Diagrama de Piper del acuífero de Atla Coloma.:

Los altos contenidos en sulfatos de este acuífero se relacionan con los materiales salinos del Trías presentes en la zona. Debido a la cantidad de sales disueltas las muestras sulfatadas cálcicas son las que presentan mayor cantidad de sólidos disueltos, llegando a superar los 1000 mg/l en algunos casos, como en las muestras 216, 217 y 221 correspondientes al manantial del Nacimiento del Río Arbuniel (193940002) y al sondeo de Cañada Barbarín (193940015). Con estas cantidades de sólidos disueltos resultarían desagradables al paladar, lo que nos estaría alertando de que son aguas no potables, a menos que reciban el tratamiento oportuno.

Por otra parte, las aguas bicarbonatadas cálcicas si son aptas para el consumo, ya que tienen concentraciones de sulfatos muy por debajo del límite establecido. Estas aguas fueron tomadas en los puntos 193940011 (Manantial las Mimbres), 193970027 (sondeo) y 193980012 (manantial), el primero de ellos en el extremo del acuífero más cercano a la localidad de Arbuniel y los dos últimos en el otro extremo cercanos a Campillo de Arenas. Es curioso que, pese a estar en extremos diferentes, tengan facies bicarbonatadas, mientras que el resto de muestras recogidas, incluso en puntos muy cercanos, han resultado ser sulfatadas cálcicas. Esto puede explicarse por la compleja estructura geológica existente en la zona, que origina una hidrogeología también compleja.

Los principales parámetros fisicoquímicos medidos en el acuífero de Alta Coloma (de la 216 a 226) muestran valores adecuados para el consumo humano, tal y como refleja la tabla 6 en la se han indicado los valores máximos, mínimos y medios calculados para la conductividad, el pH y la oxidabilidad. Pese a ello, las aguas de carácter sulfatado se siguen considerando no potables, precisamente por la contaminación en sulfatos detectada.

Parámetros	Conductividad	pH	Oxidabilidad
<b>Máx.</b>	1475	7.8	1.2
<b>Min.</b>	355	7.1	0.5
<b>media</b>	886	7.4	0.7
<b>Límites paramétricos</b>	<b>&lt;2500 <math>\mu\text{s}/\text{cm}</math></b>	<b>6.5-9.5</b>	<b>&lt;5.0 mg/l</b>

Tabla 4: Cálculos estadísticos de algunos parámetros representativos.

Según la conductividad media obtenida (tabla 4), en su mayoría, se puede considerar que estas aguas son de mineralización notable. Aunque, las muestras de carácter bicarbonatado tienen una mineralización ligera. Por otra parte, considerando la dureza promedio calculada, 551 mg/l (muestras de la 216 a 226), podríamos decir que se trata de aguas duras, aunque muchas de las muestras sulfatadas son muy duras.

Los componentes químicos considerados habitualmente indicativos de contaminación, como los compuestos nitrogenados o los fosfatos, han resultado tener valores bajos, por debajo de los límites considerados como aceptables para el consumo humano. Así pues, el contenido medio de nitrato en el acuífero es 9 mg/l, mientras que el nitrito y el amonio han resultado indetectables. Respecto a los fosfatos, en general, también están por debajo del límite de detección, tan solo una de las muestras, la 222, tiene una concentración de 0,09 mg/l. Las concentraciones medias de fosfatos en aguas naturales no suelen superar los 0.02 mg/l (CHG, 1994), por lo que, aunque la concentración obtenida está por debajo de los 0,4 mg/l establecidos como límite de referencia en este estudio, es aconsejable ser precavidos y estudiar la existencia de posibles focos de contaminación en el entorno donde fue tomada la muestra. Dicha muestra se extrajo del sondeo con número IGME 193970027, situado cerca de la localidad de Campillo de Arenas, por lo que la presencia de fosfatos podría asociarse con aguas residuales o vertidos urbanos procedentes de este núcleo de población.

Como conclusión, y según los datos estudiados, podemos considerar que un gran porcentaje de las aguas del acuífero de Alta Coloma presentan facies sulfatadas cálcicas, una mineralización notable y no aptas para el consumo humano debido a su alto contenido en sulfatos, por lo que requieren de un tratamiento previo y aplicación de medidas correctoras, para su uso en abastecimiento urbano. Localmente, en algunos sondeos y manantiales de la zona, como el manantial Las Mimbres, se pueden encontrar aguas de mineralización ligera, con facies bicarbonatadas cálcicas, que sí son aptas para el consumo.

## 6.1.5 Acuífero Sierra del Trigo-Puerto Arenas

### 6.1.5.1 Descripción general

Se localiza en la margen izquierda del río Guadalbullón, al Noroeste y Este de Campillo de Arenas y se extiende desde el cerro del Maceral, situado al oeste de Noalejo, hasta el entorno de Puerto Arenas. Ocupa una superficie de 40 km<sup>2</sup>, mientras que sus afloramientos permeables tienen una extensión de 18 km<sup>2</sup> (unos 26 km<sup>2</sup>, según los cálculos de este trabajo). Presenta dos niveles acuíferos, el principal está constituido por calizas y dolomías del Lías con un espesor de 100-200

m, y un nivel superior de 30-40 m constituido por calizas nodulosas del Malm. Además, incluye un pequeño afloramiento situado al NE, en la margen derecha del río Guadalbullón. Corresponde a una estructura sinclinal de dirección NE-SO, constituida por materiales jurásicos y del Cretácico inferior. Estos últimos, formados por margas, margocalizas y areniscas, de carácter impermeable, afloran en el núcleo del sinclinal.

Los límites corresponden a sendas fallas inversas, que superponen la estructura sobre materiales impermeables del Cretácico inferior. Los límites suroccidental y nororiental, corresponden a materiales impermeables del Keuper, que constituyen, además, el substrato impermeable. En la zona suroccidental el Keuper tiene carácter intrusivo, mientras que, en el sector nororiental, sus materiales se disponen sobre los materiales permeables. El acuífero está formado por calizas y dolomías del Lías inferior, pertenecientes al Subbético externo, sobre las que se disponen, en la serie, materiales margocalcáreos impermeables del resto del Jurásico y del Cretácico inferior.

No se disponen de datos de ensayos de bombeo realizados por el IGME en este acuífero, por lo que no hay información sobre la Transmisividad o coeficiente de almacenamiento en el mismo.

La descarga se produce hacia el cauce del río Guadalbullón, a través del manantial de Puerto Arenas, situado en las proximidades de la Ermita de Santa Lucía. Esto condiciona que los principales flujos subterráneos tengan dirección SO-NE con un nivel piezométrico impuesto por la cota de su surgencia al río Guadalbullón, situada a 720 m s.n.m. Al NO de la localidad de Campillo de Arenas se encuentra el manantial de Matarratones que se utiliza para abastecimiento a dicho núcleo, a una cota de 1.105 m s.n.m. y presenta un caudal medio de 4 l/s, por lo que debe drenar un sector o nivel colgado del acuífero.

La alimentación procede de la infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos permeables y se estima en 5,5 hm<sup>3</sup>/año; debe existir además una alimentación adicional diferida, desde los materiales suprayacentes, que será como mínimo de 0,2 hm<sup>3</sup>/año. La descarga se produce de forma natural hacia el cauce del río Guadalbullón (5,6 hm<sup>3</sup>/año) y secundariamente a través de pequeños manantiales, destacando el manantial de Matarratones (0,1 hm<sup>3</sup>/año).

#### 6.1.5.2 Características fisicoquímicas del agua

Para la caracterización hidroquímica de este acuífero se ha contado con la información histórica incluida en la base de datos AGUAS del IGME junto con la obtenida en el presente proyecto.

En el diagrama de Piper de la figura 14 se ha representado la proporción de los cationes y aniones principales obtenida para cada muestra. Según la proyección obtenida las facies hidroquímicas de las aguas van desde sulfatadas cálcicas a bicarbonatadas cálcicas. Las facies sulfatadas cálcicas corresponden al manantial de Puerto Arenas (193940001) donde se tomaron tres de las muestras analizadas (212, 213, 214). Los contenidos en sulfatos detectados en estas muestras son altos, siendo la concentración máxima detectada de 229 mg/l, aunque no se llega a superar los 250 mg/l (límite permitido para el consumo humano, R.D. 140/2003) se debe tener presente que tienen un contenido significativo. Presumiblemente, la presencia de sulfatos en esta zona es de origen natural y se deba a los yesos contenidos en las margas y arcillas del

Keuper, que limitan con los materiales acuíferos en las inmediaciones de este manantial, según indican estudios hidrogeológicos de la zona (IGME 2012).

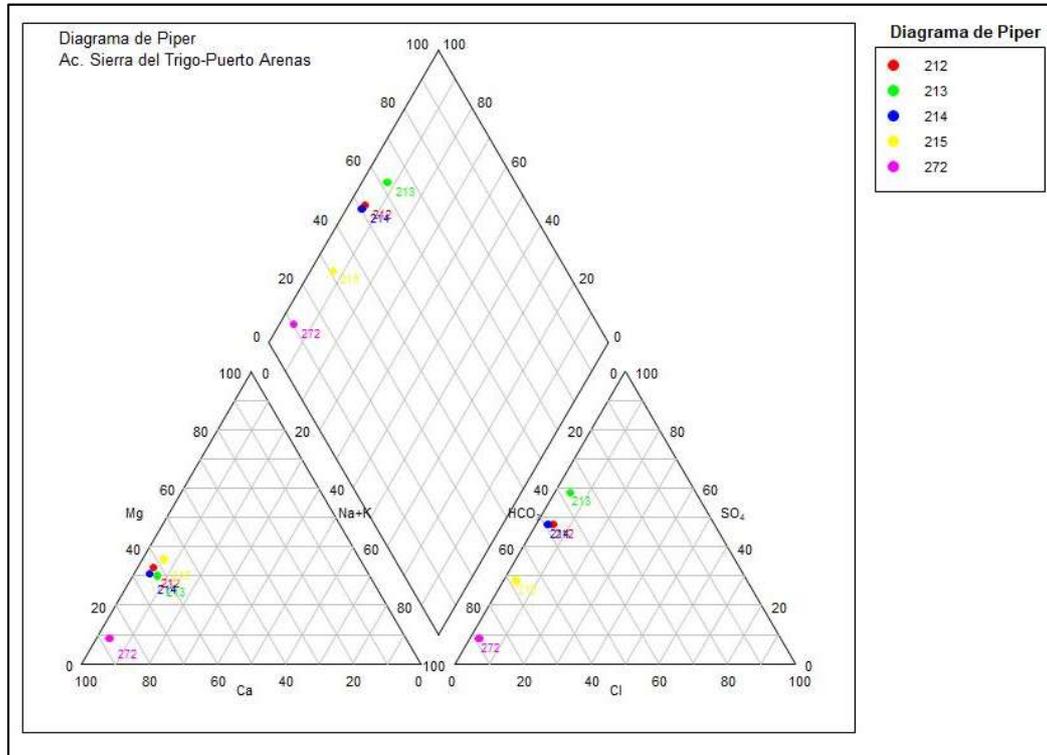


Figura 14: Diagrama de Piper de análisis correspondientes al acuífero Sierra del Trigo-Puerto Arenas

Los valores de la conductividad medidos indican que se trata de aguas de mineralización notable y según la dureza media calculada para este acuífero, que ha resultado ser de 332 mg/l, se consideraran aguas duras. El TDS medio calculado a partir de los resultados analíticos obtenidos en este acuífero es de 499 mg/l. Según esta cantidad de sólidos disueltos obtenida el agua puede resultar aceptable para el consumo, por encima de 1000 mg/l resulta desagradable para los consumidores (OMS, 2006).

El contenido medio de nitratos en el acuífero es de 8 mg/l y el de nitrito de 0,01, con valores máximos de 9 mg/l y 0,05 mg/l respectivamente, en ambos casos son valores que están muy por debajo del límite admitido para el consumo humano. Los contenidos en amonio y fosfatos han sido indetectables. Según estos resultados no existen indicios de contaminación antrópica.

Según los datos analizados, podríamos decir que las aguas del acuífero Sierra del Trigo-Puerto Arenas no presentan signos de contaminación y son aptas para el consumo humano, aunque hay que tener presente los altos contenidos en sulfatos detectados. Las concentraciones de sulfatos están dentro de los límites aceptados para el consumo, pero sería aconsejable realizar medidas periódicas para controlar este parámetro.

## 6.1.6 Acuíferos de Larva

### 6.1.6.1 Acuífero Dolomítico de Larva: Descripción general.

El acuífero Dolomítico de Larva, incluido administrativamente en la MASb 054.101 “Larva”, lo conforman 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 km<sup>2</sup>.

El sustrato impermeable lo conforman, muy probablemente, 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 existiendo la posibilidad, aunque remota, de conexión con las calcarenitas miocenas.

Los valores de transmisividad para el acuífero, calculados en el sondeo Majablanquilla II IGME-JA (2002), son del orden de 41.500 m<sup>2</sup>/día.

Su alimentación se produce exclusivamente por infiltración de la precipitación. El nivel piezométrico está situado a una cota entre 657 y 662 m s.n.m. (octubre de 2014). 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.

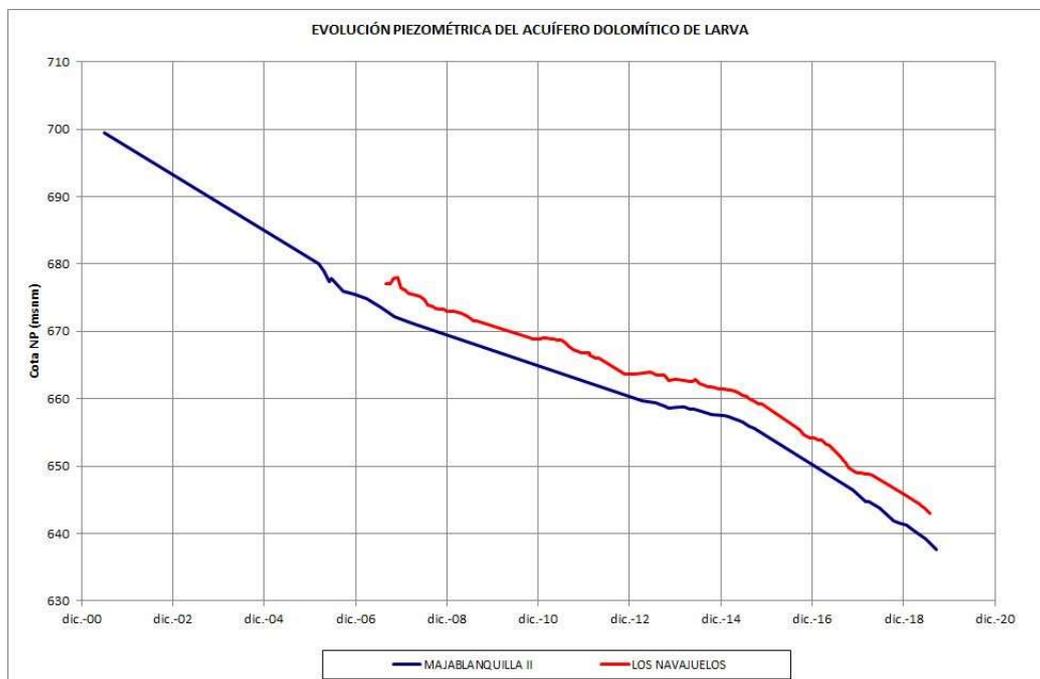


Figura 15: Evolución piezométrica del acuífero Dolomítico de Larva

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.

Los datos de evolución piezométrica disponibles tomados en el sondeo Majablanquilla II indican que el acuífero Dolomítico se encuentra en una situación de desequilibrio. Como se puede observar en la figura 15, en la que se incluyen junto a los de Majablanquilla II los datos disponibles del piezómetro Los Navajuelos de la Red Nacional, 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.

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.

Los datos de evolución piezométrica disponibles tomados en el sondeo Majablanquilla II indican que el acuífero Dolomítico se encuentra en una situación de desequilibrio. Como se puede observar en la figura 15, en la que se incluyen junto a los de Majablanquilla II los datos disponibles del piezómetro Los Navajuelos de la Red Nacional, 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.

#### 6.1.6.2 Acuífero Calcarenítico de Larva: Descripción general.

El acuífero Calcarenítico de Larva, incluido administrativamente en la MASb 054101 "Larva", lo definen las calcarenitas y calizas de algas 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, ocupando entre ambos afloramientos una extensión de unos 3,68 km<sup>2</sup>.

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.

El Mioceno Oriental corresponde a los afloramientos calcareníticos miocenos localizados en la zona oriental de la Sierra de Larva, los cuales ocupan una extensión aproximada de 2,45 km<sup>2</sup>. 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, constituyendo estos últimos su substrato impermeable, así como su límite occidental. Hacia el norte, este sector limita a través de una gran falla en dirección E-O con la Unidad Olistostrómica que se encuentra tapizado por los materiales semipermeables de la Depresión de Larva.

El Mioceno Central está constituido por conglomerados, areniscas y margas del Mioceno que afloran en la Sierra de Larva, ocupando una superficie de 1,23 km<sup>2</sup>. El límite septentrional está constituido por la ya citada falla de dirección E-O que en la zona oriental pone en contacto

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.

Los valores de transmisividad para el acuífero, calculados en el sondeo La Casería (IGME-JA, 2002), son del orden de 3 m<sup>2</sup>/día.

En cuanto al funcionamiento hidrogeológico y la piezometría también existen diferencias:

- Mioceno Oriental: 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 %, los recursos del sector se estiman en 0,21 hm<sup>3</sup>/año. La descarga se produce de forma subterránea hacia los materiales semipermeables de la Depresión de Larva y por bombeo para riego.
- Mioceno Central: La alimentación procede de la infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos (1,23 km<sup>2</sup>) en los que aplicando una infiltración del 22 % de la precipitación media, se obtiene una alimentación de 0,11 hm<sup>3</sup>/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) que es una galería realizada en la base del talud en las proximidades del sondeo mencionado, que surge actualmente. 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.

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.

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 ha descendido hasta los niveles próximos a los medidos en 2001 en torno a 700 m s.n.m. (IGME-JA, 2002) (ver figura 16).

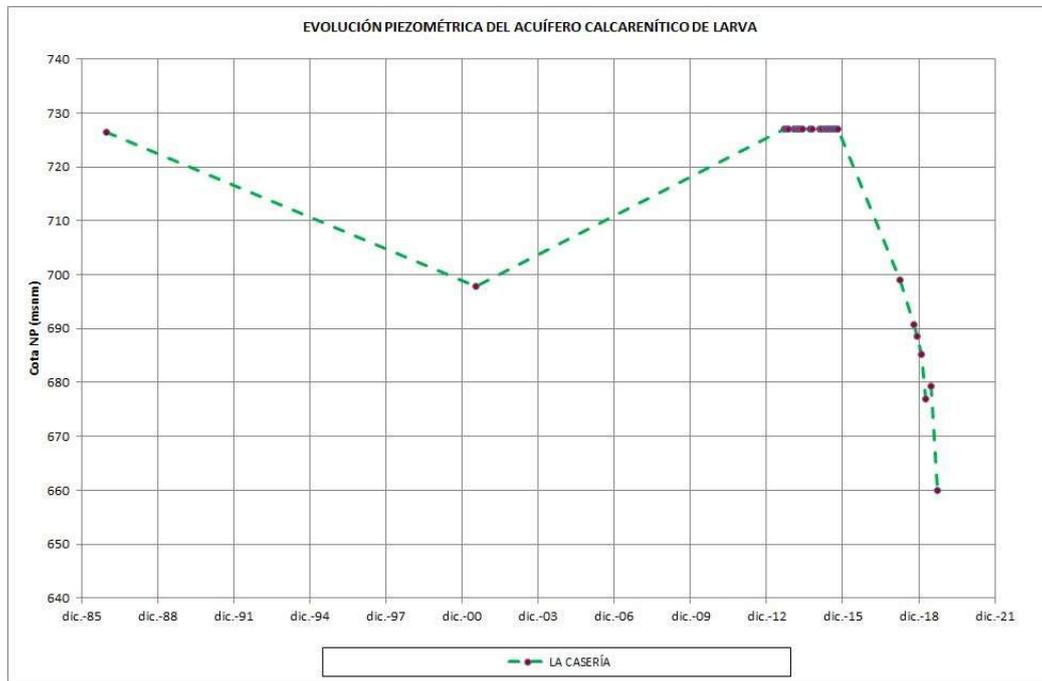


Figura 16: Evolución piezométrica del acuífero Calcarenítico de Larva

### 6.1.6.3 Características fisicoquímicas de los acuíferos de Larva

Para el estudio hidroquímico de estos acuíferos contamos con 9 muestras de agua, de la 203 a la 211, recogidas en 5 puntos de agua diferentes y en distintas fechas. Algunas muestras fueron tomadas durante las campañas de campo del presente proyecto, realizadas en 2017-2018, por lo que nos proporcionarán una información más reciente del estado de los acuíferos, que se completará con muestras recogidas en campañas anteriores. Los datos obtenidos en los análisis de agua realizados se exponen en el anexo correspondiente de esta Memoria Resumen, en las filas correspondientes a las muestras indicadas.

Para determinar las facies hidroquímicas hemos representado en un diagrama de Piper (Figura 17) los cationes y aniones principales, que contienen las distintas muestras analizadas.

En el acuífero Calcarenítico se observa que las muestras presentan una facies bicarbonatada cálcica (205 y 204) que pasa a sulfatada cálcica (203). Este fenómeno, identificado en la figura con flecha roja, coincide con la progresiva explotación del sondeo 203840011 “La Casería” de abastecimiento a Larva. La muestra 205 corresponde a un manantial que nos marca la calidad natural del agua del acuífero.

Para el acuífero Dolomítico, las muestras presentan una facies sulfatada cálcica, con gradación composicional a cálcico-magnésica y magnésicas-cálcicas (206, 207, 208, 210 y 211) junto con bicarbonatadas cálcicas (209). En este caso también se observa una evolución temporal marcada con flecha morada desde las muestras pertenecientes al sondeo 203840014 “Majablanquilla I” (antiguo abastecimiento a Larva) a las del sondeo 203840035 “Majablanquilla II” (actual abastecimiento) situado a escasos 30 metros y más profundo. En este último, las muestras siguen en el tiempo una evolución hacia una facies más clorurada sódica (flecha naranja). La

muestra 209 pertenece a un manantial aparentemente no afectado por la explotación intensiva a la que está sometido este acuífero.

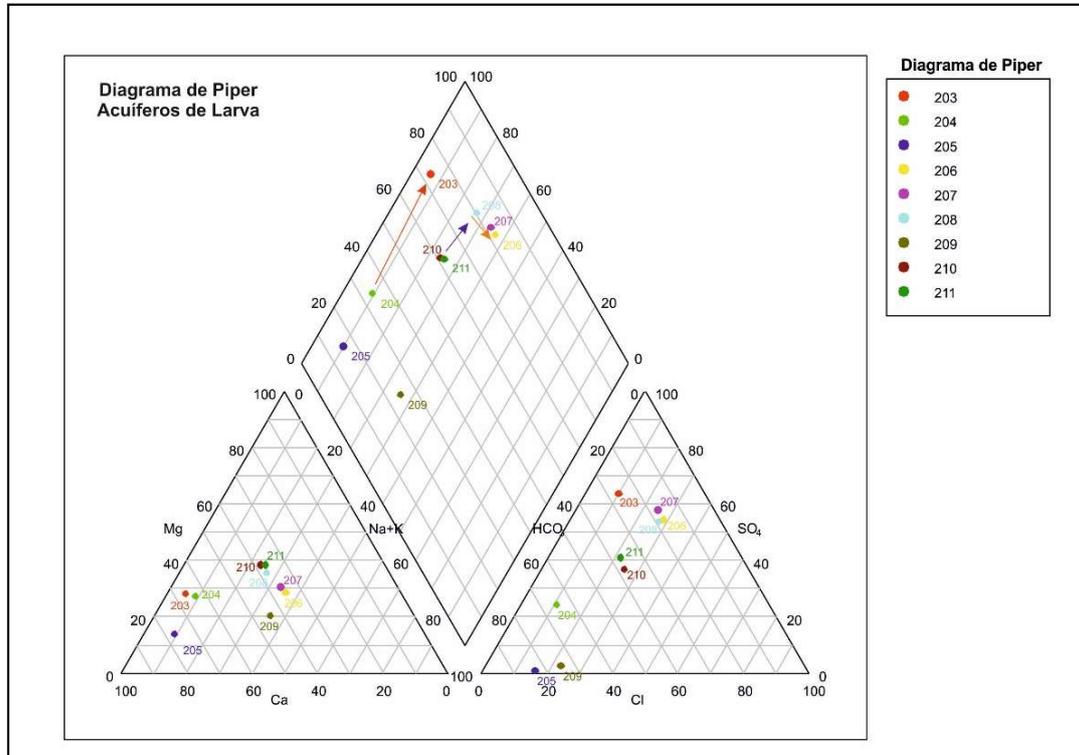


Figura 17: Diagrama de Piper de los acuíferos de Larva

El contenido en sulfatos y en sodio del agua puede explicarse por la presencia de materiales yesíferos del Trías en la zona, por lo que parece tener un origen natural.

En la actualidad, la mayoría de las muestras de carácter sulfatadas, que son todas excepto las muestras 204, 205 y 209 que son bicarbonatadas, presentan contenidos en sulfatos, por encima del límite permitido para consumo humano (250 mg/l).

Respecto al sodio, solo una de las muestras analizadas, la 206, supera el límite permitido (200 mg/l), aunque las muestras 207 y 208 también presentan concentraciones significativas.

Según lo expuesto podemos concluir que en tres (203840011, 203840035 y 203840014) de los cinco puntos muestreados, es decir el 60%, presentan problemas de alto contenido en sulfatos y/o sodio por lo que sus aguas se consideran no potables y deben someterse a tratamiento previo para su consumo.

También se han analizado los parámetros fisicoquímicos fundamentales como la oxidación, la conductividad y el pH. Para facilitarnos la interpretación de estos datos, se han recogido en la tabla 5 los valores máximos, mínimos y promedio calculados para cada parámetro. Los valores obtenidos están dentro de los límites permitidos para el consumo humano (R.D. 140/2003), aunque debemos señalar que se han obtenido valores de conductividad bastante altos.

Parámetros	Conductividad	pH	Oxidabilidad
Máx.	2051	8.0	1.1
Min.	492	7.3	0.5
media	1228	7.7	0.8
Límites paramétricos	<2500 $\mu\text{s}/\text{cm}$	6.5-9.5	<5.0 mg/l

Tabla 5: Cálculos estadísticos de algunos parámetros representativos.

La conductividad media obtenida indica que, en general, los acuíferos de Larva contienen aguas de mineralización notable, alcanzando una mineralización fuerte en algún caso puntual.

Si observamos los valores de dureza, podemos ver que sus aguas van de duras a muy duras, aunque según la dureza media calculada, 543 mg/l, en general se pueden considerar aguas duras. Las muestras que presentan mayor dureza (muestras 203,206,207,208), debido a los altos contenidos en sales, son las de mayor contenido en sulfatos, sodio y cloruros. Consecuentemente, también coinciden con las muestras de mayor contenido en sólidos disueltos, con concentraciones superiores a 1.000 mg/l, por lo que resultan desagradables para el paladar (OMS 2006), lo que estaría alertándonos de que se trata de aguas no potables.

Por otra parte, los componentes hidroquímicos que normalmente se consideran indicativos de contaminación asociada con la actividad humana se encuentran en concentraciones muy bajas. El contenido medio de nitratos es de 11 mg/l y los contenidos en nitritos, amonio y fosfatos están por debajo del límite de detección, por lo que no parece haber contaminación antrópica.

### 6.1.7 Acuífero Sierra de Castril

#### 6.1.7.1 Descripción general

Los materiales que lo conforman son las dolomías y calizas del Cretácico superior y las calizas del Terciario con potencias mínimas del orden de 300 m hasta 500 m. La delimitación actual del acuífero ocupa una extensión de aproximadamente 59 km<sup>2</sup> de los que prácticamente su totalidad son de superficie permeable.

El sustrato impermeable lo forman los materiales rítmicos margoso-calcáreos del Cretácico inferior. El acuífero está formado, en general, por un gran antiforme de orientación nornoreste-Sursuroeste. Los flancos del anticlinal y el eje Sur están sellados por materiales de baja permeabilidad y el eje en el norte cortado por una fractura que distingue este acuífero de la cuenca endorreica del acuífero Pinar Negro. No es improbable que los límites sean abiertos y haya transferencia entre este y otros acuíferos, dada la propia naturaleza de los materiales y la posibilidad de que los materiales permeables continúen en profundidad.

Se dispone de los ensayos de bombeo efectuados por el IGME en la captación de abastecimiento a la aldea de El Almicerán. Los datos arrojan valores de Transmisividad bajos, entre 15-20 m<sup>2</sup>/d.

Estos datos indican unas formaciones carbonatadas en las que los procesos kársticos han tenido un escaso desarrollo, y la circulación subterránea tiene lugar, preferentemente, a través de discontinuidades menores y, ocasionalmente, por conductos de mayor tamaño.

La alimentación del acuífero se produce por infiltración de la precipitación, aunque no es descartable la conexión hidráulica con los acuíferos adyacentes (Bolera, Pinar Negro, Castril de la Peña y Sierra Seca). Así, la infiltración de la precipitación se puede estimar, aplicando un porcentaje de infiltración del 45% de la precipitación media sobre sus afloramientos (59 km<sup>2</sup>), en unos 20 hm<sup>3</sup>/año. Las salidas corresponderían por un lado al bombeo de los sondeos que lo explotan para abastecimiento y riego y por otro a los drenajes por manantiales. Sin embargo, dada la gran cantidad de manantiales y el escaso control sobre su caudal es muy aventurado establecer un valor de salidas, teniendo en cuenta, además, las posibles conexiones con otros acuíferos.

El nivel piezométrico, según los datos de cota de los manantiales y el sondeo del Almicerán, está situado a una cota entre 1.050 y 1.140 m s.n.m. (fuentes bibliográficas), donde parece que existe un gradiente hidráulico hacia el sur.

No existen datos sobre reservas de agua explotables acumuladas en el acuífero, ya que no se conocen ni la estructura en profundidad ni el coeficiente de almacenamiento, por lo que cualquier cifra podría considerarse como aventurada.

#### 6.1.7.2 Características fisicoquímicas del agua

Para caracterizar el acuífero Sierra de Castril solo disponemos de una muestra que fue recogida en el punto 203840023 “Sondeo del Almicerán” durante durante los trabajos de campo del presente proyecto, en 2018. Por tanto, aunque no disponemos de muchos datos, se trata de una muestra reciente que nos dará información acerca del estado actual del acuífero. Los resultados analíticos se incluyen en el anexo correspondiente de esta Memoria Resumen.

La muestra analizada presenta una facies bicarbonatada cálcica, tal y como refleja el diagrama de Piper (Figura 18) donde se han representado los valores de los cationes y aniones principales.

Los valores de conductividad, pH y oxidabilidad obtenidos en el análisis de la muestra 175 se recogen en la tabla 6, donde puede verse que están dentro del rango de valores recomendado para el consumo humano (R.D. 140/2003).

Parámetros	Conductividad	pH	Oxidabilidad
Muestra 175	435	7.6	0.6
Límites paramétricos	<2500 µs/cm	6.5-9.5	<5.0 mg/l

Tabla 6: Valores de conductividad, pH y Oxidabilidad obtenidos en la muestra 175 y límites paramétricos recomendados.

Según los valores de conductividad obtenidos el acuífero de Castril contiene un agua de mineralización ligera, de dureza media, ya que la dureza calculada ha sido de 243 mg/l. El total de sólidos disueltos presentes en la muestra es de 390 mg/l, por lo que se trataría de un agua agradable al paladar (el límite son 1.000 mg/l según la OMS, 2006).

Por otra parte, los componentes hidroquímicos que habitualmente se consideran como indicativos de contaminación, se encuentran en concentraciones muy bajas. Así pues, el contenido en nitratos es de 8 mg/l y los contenidos en nitritos, amonio y fosfatos están por

debajo del límite de detección. El agua analizada tiene buena calidad y según los resultados obtenidos nada hace pensar que existan amenazas de contaminación, aunque debemos tener presente que solo disponemos de una muestra y no podemos tener la certeza de que esto sea extensible a todo el acuífero.

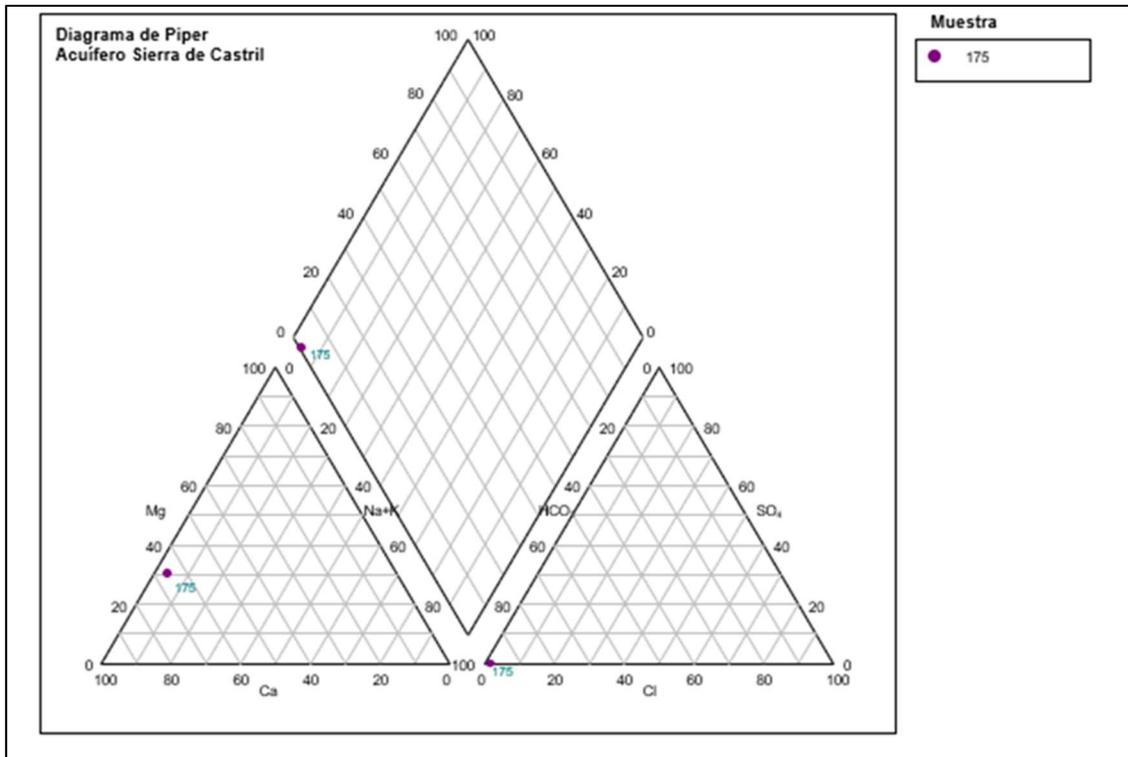


Figura 18: Diagrama de Piper del acuífero Sierra de Castril.

## 6.1.8 Acuífero de las Escamas Inferiores

### 6.1.8.1 Descripción general

Los materiales que lo conforman son las calizas y dolomías del Jurásico de la formación Chorro. Estas presentan potencias mínimas del orden de 200 m y, en conjunto, ocupan una extensión de aproximadamente 30 km<sup>2</sup>.

El acuífero se estructura en un complejo sistema de escamas imbricadas, que superponen los carbonatos de la Formación Chorro sobre las arcillas del Cretácico. El edificio tectónico así definido presenta una directriz general N30E y buzamientos internos de 20° a 40° al este.

No se dispone de datos hidrodinámicos de este acuífero, pero sí de los acuíferos adyacentes que forman el resto de Escamas del Guadalquivir. Así, en ensayos de bombeo realizados por el IGME en los Acuíferos de Escamas del Tranco (Sector Escamas del Guadalquivir) y Béjar (Sector Escamas de Cazorla) indican transmisividades de entre 35 y 3.000 m<sup>2</sup>/día. Se deduce de esos valores que, en general, la magnitud de la transmisividad en esta zona es baja a media, aunque existen casos excepcionales en los que se alcanzan valores del orden de 2.000 a 3.000 m<sup>2</sup>/día. Esta heterogeneidad es habitual en las formaciones carbonatadas en las que los procesos

kársticos han tenido un escaso desarrollo, y la circulación subterránea tiene lugar, preferentemente, a través de discontinuidades menores y, ocasionalmente, por conductos de mayor tamaño

La alimentación del acuífero se produce exclusivamente por infiltración de la precipitación y se puede estimar, aplicando un porcentaje de infiltración del 22% de la precipitación media (800 mm/año) sobre sus afloramientos (30 km<sup>2</sup>), en 5,3 hm<sup>3</sup>/año. No obstante, si hacemos el cálculo teniendo en cuenta los datos del Atlas Hidrogeológico de la provincia de Jaén (una superficie permeable de toda la MASb de 393 km<sup>2</sup> y unos recursos medios anuales de 141 hm<sup>3</sup>) las entradas serían de 10,8 hm<sup>3</sup>. Las salidas corresponderían por un lado a las de carácter natural por los manantiales y por otro al abastecimiento del municipio de Chilluévar.

El nivel piezométrico del acuífero en la zona del sondeo de Los Vilchites está situado a una cota 1.000 m s.n.m. (marzo de 2018).

No existen datos sobre reservas de agua explotables acumuladas en el acuífero, ya que no se conocen ni la estructura en profundidad ni el coeficiente de almacenamiento, por lo que cualquier cifra podría considerarse como aventurada.

#### 6.1.8.2 Características fisicoquímicas del agua

Para la caracterización hidroquímica disponemos de 11 análisis de muestras de agua recogidas en distintas fechas en puntos de agua de este acuífero incluidos la base de datos AGUAS del IGME localizados sobre el acuífero Escamas Inferiores. Cuatro de estas muestras han sido tomadas durante la última campaña realizada durante este año (ver anexo correspondiente de esta Memoria Resumen) por lo que disponemos de información muy reciente. Debemos señalar que la muestra 11, de forma excepcional, no corresponde a aguas subterráneas, sino que fue tomada en un punto del cauce que discurre sobre el acuífero.

Para clasificar las aguas subterráneas de este acuífero se han representado un diagrama de Piper (Figura 19) los datos de las 11 muestras analizadas. Los resultados analíticos se incluyen en el anexo correspondiente de esta Memoria Resumen. Según nos muestra este diagrama, las aguas del acuífero Escamas inferiores son fundamentalmente bicarbonatadas cálcicas y cálcico-magnésicas, llegando la muestra 5 a ser de tipo bicarbonatado magnésico. Podemos apreciar que la muestra 8 se separa un poco del resto, ya que presenta un ligero componente sulfatado en comparación con las demás. Este leve enriquecimiento en sulfato no está fuera de los parámetros naturales y puede deberse a la presencia de materiales triásicos con yesos detectada en sector Escamas del Guadalquivir. El contenido medio en sulfatos es de 27 mg/l y el máximo 110 mg/l (muestra 8), en todo caso por debajo del valor límite establecido para consumo humano (250 mg/l).

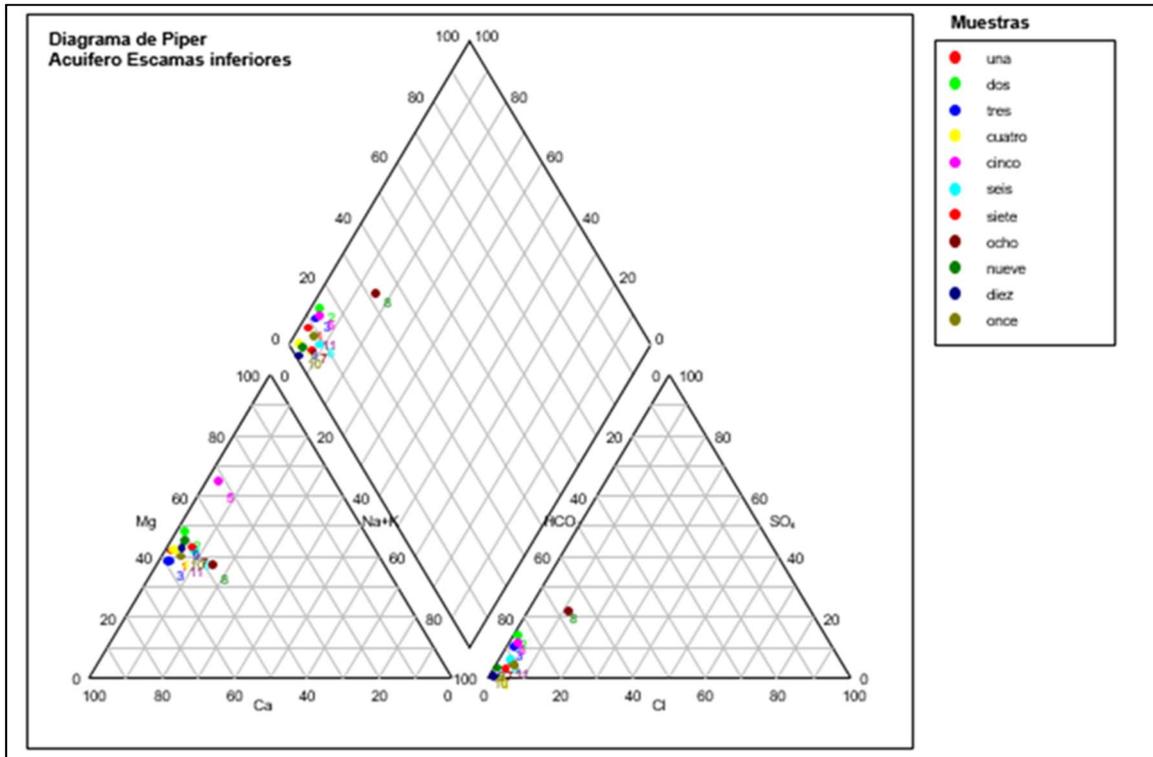


Figura 19: Diagrama de Piper de las muestras del acuífero Escamas inferiores.

Por otro lado, los principales parámetros físico-químicos medidos en las muestras de agua de ese acuífero presentan valores aceptables, es decir están dentro de los valores habituales en aguas naturales. En la tabla 7 se indican los valores máximos, mínimos y medios, calculados a partir de la totalidad de los valores obtenidos, así como los límites paramétricos indicados para el consumo humano, según indica Real Decreto 140/2003.

Parámetros	Conductividad	pH	Oxidabilidad
máx.	882	7.8	1.0
min.	380	7.2	0.0
media	569	7.6	0.6
Límites paramétricos	<2500 $\mu\text{s}/\text{cm}$	6.5-9.5	<5.0 mg/l

Tabla 7: Cálculo de estadísticos básicos de los principales parámetros físico-químicos.

Según la conductividad medida, las aguas del acuífero Escamas inferiores tienen una mineralización de ligera a notable, aunque predominan las aguas con mineralización notable. El total de sólidos disueltos calculado varía entre 282 y 805 mg/l, con un contenido medio de 526 mg/l, por lo que son valores generalmente considerados como tolerables por el paladar de los consumidores.

Por su parte, según la dureza obtenida (ver anexo correspondiente de la Memoria Resumen) las aguas varían de medias a duras, con valores entre 190 y 481 mg/l  $\text{CaCO}_3$ . La dureza media es de 335 mg/l  $\text{CaCO}_3$ , por lo que en general podría considerarse que las aguas del acuífero Escamas inferiores tienen dureza media.

Como hemos comentado en la Memoria Resumen, es importante tener en cuenta los contenidos en compuestos nitrogenados y fosfatos, ya que estos compuestos pueden indicarnos la existencia de contaminación. Los contenidos medios de nitratos obtenidos son de 12,09 mg/l, lo que nos indica que en general las concentraciones obtenidas no son altas y están por debajo del límite de calidad establecido para consumo humano que es de 50 mg/l (R. D. 140/2003). Sin embargo, en punto 213730037 se han tomado muestras en dos fechas diferentes (muestras 8 y 9) y se ha detectado un incremento significativo en la concentración de nitratos, que ha pasado de 4 mg/l en 2006 a 50 mg/l en 2018. Este último valor está justo en el límite de calidad para el consumo, por lo que el uso de este manantial (213730037) para abastecimiento debería hacerse con precaución y con un control adecuado de la calidad del agua. Este incremento del contenido en nitratos puede deberse a la utilización de fertilizantes nitrogenados en las zonas de cultivo cercanas, aunque sería recomendable examinar de forma más exhaustiva el entorno del punto para determinar el origen de los nitratos.

Respecto a los nitritos, han resultado imperceptibles en la mayoría de las muestras analizadas (ver anexo correspondiente de la Memoria Resumen) solo se ha detectado la presencia de este compuesto en dos de ellas, la muestra 1 y la muestra 2, siendo significativo en la primera y despreciable en la segunda. La muestra 1 (213630005) presentó un contenido en nitrito de 0,1 mg/l, es decir justo en el límite que hemos establecido como admisible. No consideraremos este resultado muy relevante, parece tratarse de un aporte excepcional acaecido en el periodo de tiempo cercano a la recogida de esta muestra, ya que el resto de compuestos nitrogenados no presentan concentraciones elevadas en este punto (213630005). Sin embargo, los datos en dicho punto son de análisis antiguos, por lo que sería recomendable actualizar la información y tomar de nuevo muestras de agua en este manantial para comprobar cual es su estado actual.

Por su parte, los fosfatos, en general, tampoco han presentado concentraciones detectables en los análisis realizados, excepto una de las muestras, la muestra 2, tomada en el punto 213670039 en 1992, que tiene una concentración de 0,15 mg/l. Este valor es un tanto elevado para un agua en estado natural, que suele tener concentraciones medias de 0,005-0,02 mg/l. Además, en este mismo punto (213670039) se tomó otra muestra (muestra 3) el año anterior, en 1991, y en esta ocasión no se detectaron fosfatos. Esto podría indicar que entre 1991 y 1992 se ha producido un aumento de aportes en la zona, aunque también podría tratarse de algo puntual, no podemos proponer una interpretación más precisa porque no disponemos de datos posteriores. Por ello, sería recomendable volver a tomar muestras en este punto para ver cuál ha sido su evolución y como se encuentra en la actualidad. Pese haber obtenido valores significativos en la muestra 2, podemos considerar que los análisis muestran contenidos en fosfatos aceptables, ya que en este estudio hemos considerado como límite orientativo de calidad una concentración de 0,4mg/l, y las concentraciones obtenidas están por debajo.

De forma general, con los datos analizados, consideraremos que el acuífero escamas inferiores presenta una calidad aceptable, aunque se recomienda seguir controlando el estado de sus aguas, fundamentalmente de los puntos 213730037, 213630005 y 213670039.

### 6.1.9 Acuífero Cabañas-Gualay

#### 6.1.9.1 Descripción general

Los materiales que lo conforman son las dolomías y calizas del Cretácico superior y las calizas del Terciario con potencias mínimas del orden de 300 m hasta 500 m. La delimitación actual del acuífero ocupa una extensión de aproximadamente 82 km<sup>2</sup>, de los que algo más de la mitad (43 km<sup>2</sup>) son de superficie permeable.

El sustrato impermeable lo forman los materiales rítmicos margoso-calcáreos del Cretácico inferior. Los materiales están dispuestos formando varios grandes pliegues antiformes de traza aproximada norte-sur (que gira en el borde meridional hacia noreste-suroeste). Adicionalmente, existen estructuras cabalgantes buzantes al este y paralelas a los ejes de los pliegues que laminan las secuencias litológicas. El borde meridional está delimitado por el borde impermeable de los materiales triásicos del corredor tectónico del Guadiana Menor.

Se dispone de los ensayos de bombeo efectuados por el IGME en la captación de abastecimiento a la aldea de El Almicerán, en el acuífero de Sierra de Castril, situado al Este del Cabañas-Gualay y constituido por materiales similares. Los datos arrojan valores de Transmisividad bajos, entre 15-20 m<sup>2</sup>/d.

Estos datos indican unas formaciones carbonatadas en las que los procesos kársticos han tenido un escaso desarrollo, y la circulación subterránea tiene lugar, preferentemente, a través de discontinuidades menores y, ocasionalmente, por conductos de mayor tamaño.

La alimentación del acuífero se produce exclusivamente por infiltración de la precipitación y se puede estimar, aplicando un porcentaje de infiltración del 45% de la precipitación media sobre sus afloramientos (43 km<sup>2</sup>), en unos 15 hm<sup>3</sup>/año. Las salidas corresponderían, fundamentalmente, a los drenajes por manantiales.

El nivel piezométrico está situado a la cota de los manantiales más importantes, es decir, entre 900 y 1.200 m s.n.m.

#### 6.1.9.2 Características fisicoquímicas del agua

Para la caracterización hidroquímica este acuífero disponemos de 26 muestras de agua recogidas en distintas fechas en 9 manantiales diferentes. Los resultados analíticos se incluyen en el anexo correspondiente de esta Memoria Resumen.

Dos de estas muestras se tomaron durante la última campaña realizada en este proyecto, el resto pertenecen a campañas, tal como podemos ver si nos fijamos en la fecha en la que se recogieron las muestras. En este acuífero, al contar con un registro histórico más amplio, podremos tener una visión más completa del estado del mismo.

Para hacer la caracterización de las facies hidroquímicas del acuífero hemos representado en un diagrama de Piper (Figura 20) los valores de los cationes y aniones principales. Debido a que contamos con numerosas muestras, se han diferenciado por colores las muestras recogidas en

el mismo año (ver leyenda de la misma figura), de esta manera la representación es más clara y nos ayuda a ver si ha habido cambios significativos con el paso del tiempo. El número de la muestra se indica junto al punto proyectado. Según la representación gráfica obtenida el acuífero contiene fundamentalmente aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, es decir desde cálcicas a magnésicas, con variaciones graduales a cálcico-magnésicas y a magnésico-cálcicas. Como puede observarse en el diagrama, las muestras 173 y 174, tomadas ambas en el mismo punto (213870003), se separan un poco de la mayoría de las muestras que aparecen concentradas en la misma zona del rombo. Estas dos muestras, aunque también son bicarbonatadas cálcico-magnésica, tienen mayor contenido en  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  y  $\text{Na}^+$  que el resto, por lo que se encuentran algo más cerca del límite con el campo de las facies cloruradas y sulfatadas-sódicas.

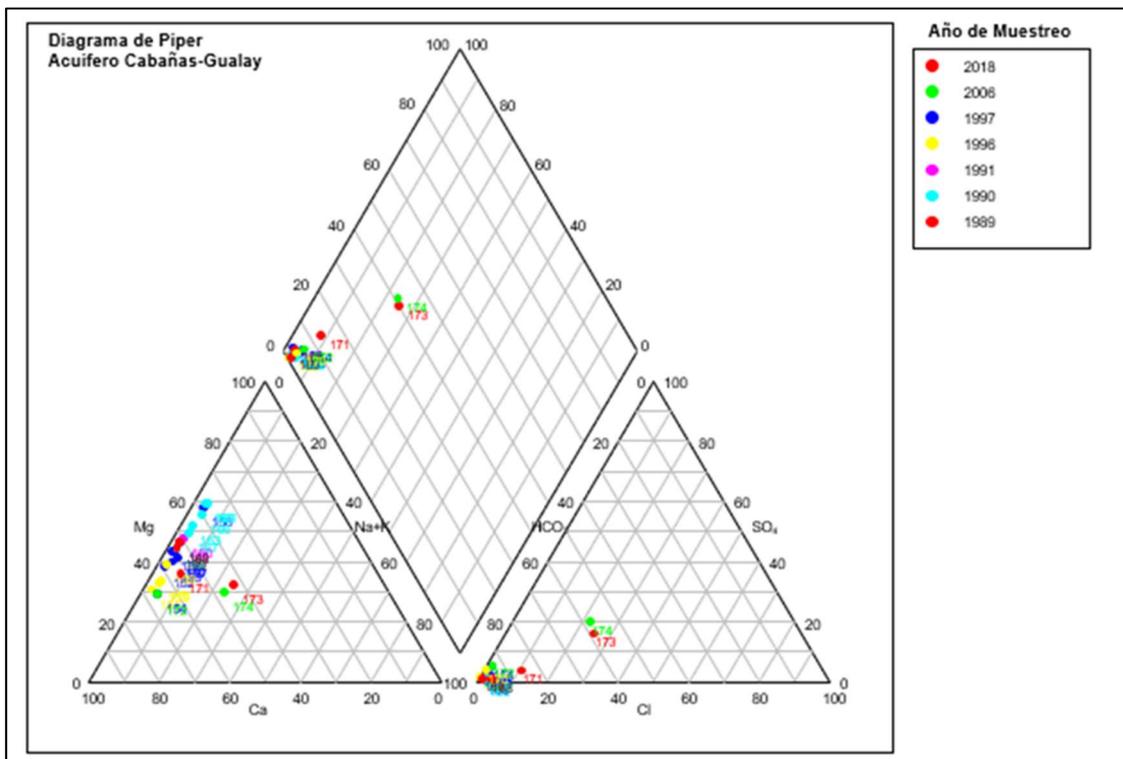


Figura 20: Diagrama de Piper del acuífero Cabañas-Gualay

Si nos fijamos en los valores obtenidos en los análisis de las muestras 173 y 174 (anexo correspondiente de esta Memoria Resumen) podemos ver que la mayoría de los componentes químicos analizados presentan valores mayores que los obtenidos en el resto de las muestras, lo cual resulta sospechoso. Estas muestras se recogieron en el mismo manantial (213870003) en fechas distintas, esto descarta que esta diferencia se deba a un error puntual de análisis, ya que se han tomado muestras en dos ocasiones diferentes y siempre se han obtenido valores mayores que el resto de muestras. Por tanto, podemos deducir que este punto presenta ciertas diferencias hidrogeológicas con respecto al resto. Estas diferencias pueden deberse a diversos procesos de modificación del quimismo que tienen lugar en las distintas zonas del acuífero dependiendo de las condiciones locales y de la interacción con el medio geológico. Una posible explicación podría ser que las aguas de este manantial proceden de un flujo de mayor recorrido,

mientras que el resto de manantiales descargan aguas más cercanas a la zona de recarga, ya que las aguas recogidas en la zona de recarga de un acuífero suelen tener menos sólidos disueltos que un agua de circulación profunda. También podrían explicarse por la existencia de escamas y acuñamientos en estas formaciones geológicas que han podido independizar, en cierto modo, este punto del resto del acuífero, confiriéndole unas características algo distintas. Por todo esto, nos podríamos cuestionar si de este manantial brotan aguas pertenecientes al acuífero Cabañas-Gualay o se trata de un acuífero independiente, esta duda la hemos reflejado en la tabla 1 con una interrogación junto al nombre del acuífero.

Por otra parte, los principales parámetros fisicoquímicos estudiados en este acuífero como son la conductividad, el pH y la oxidabilidad, presentan valores propios de aguas subterráneas naturales y además están dentro de los valores permitidos para el consumo humano. En la tabla 8 se indican los valores máximos, mínimos y medios, calculados a partir de la totalidad de los valores disponibles (Muestras de la 149 a la 174), así como los límites paramétricos indicados para el consumo humano (R. D.140/2003).

Parámetros	Conductividad	pH	Oxidabilidad
Máx.	768	8,6	1,4
Min.	273	7,4	0,0
media	411	7,9	0,5
Límites paramétricos	<2500 $\mu\text{s/cm}$	6.5-9.5	<5.0 mg/l

Tabla 8: Cálculos estadísticos de algunos parámetros fisicoquímicos representativos

Los valores de conductividad obtenidos indican que las aguas del acuífero Cabañas-Gualay son aguas de mineralización de ligera a notable, aunque en general podemos considerarlas como ligeras, ya que tan solo las aguas muestreadas en el manantial 213870003 tiene una mineralización notable. Este punto, tal y como hemos comentado con anterioridad, presenta una hidroquímica algo distinta al resto del acuífero. La dureza varía entre 145 y 364 mg/l  $\text{CaCO}_3$ , con un valor medio de 239 mg/l. De forma mayoritaria las aguas de este acuífero tienen dureza media, únicamente la muestra 174 (recogida en 213870003) llega a ser un agua dura. El total de sólidos disueltos también es algo mayor en las muestras tomadas en el manantial 213870003, donde se registra un máximo de 667 mg/l, aunque incluso este máximo está por debajo de 1.000 mg/l, que es la concentración a partir de la cual se considerara desagradable para consumo (OMS, 2006). El valor promedio para el TDS calculado en el acuífero Cabañas-Gualay es de 390 mg/l.

Como viene siendo habitual, también nos detendremos en el análisis de los componentes hidroquímicos que habitualmente se consideran como indicativos de contaminación, como son los compuestos nitrogenados o los fosfatos. En general, las muestras analizadas en este acuífero han resultado tener valores bajos, siendo la concentración media de nitratos de 4 mg/l. Tan solo se ha detectado algún aumento puntual de la concentración, en alguna de las muestras. Concretamente los contenidos más altos de nitratos los presentan, de nuevo, las muestras 173 y 174 tomadas en el manantial 213870003. La muestra 173, recogida en 2018, tiene una concentración de 47 mg/l y la muestra 174, recogida en 2006, tiene una concentración de 39 mg/l. Aunque estos valores no llegan a superar los 50 mg/l, límite indicado para el consumo

humano (R.D. 140/2003), se acercan bastante a este valor y, según indican los datos, en los últimos años han ido en aumento. Todo indica que la situación de este punto (213870003) es delicada, por lo que recomienda vigilar los aportes de nitratos en esta zona, ya que podía alcanzar el valor límite de contaminación fácilmente.

El amonio ha resultado indetectable, mientras que el nitrito presenta concentraciones algo más significativas en dos de las muestras analizadas, la 158 y la 173. En la muestra 158 el contenido en nitrito es de 0,13 mg/l, por lo que se supera ligeramente el límite que hemos establecido para el nitrito, que es de 0,1 mg/l. Este ligero aumento parece deberse a un evento aislado, ya que en las muestras recogidas en el mismo punto (213840009) en fechas anteriores y posteriores no se han detectado contenidos significativos de nitritos (Figura 21). Puesto que las concentraciones no son muy altas y no parece que se mantengan en el tiempo consideraremos que la situación del punto 213840009 no es preocupante.

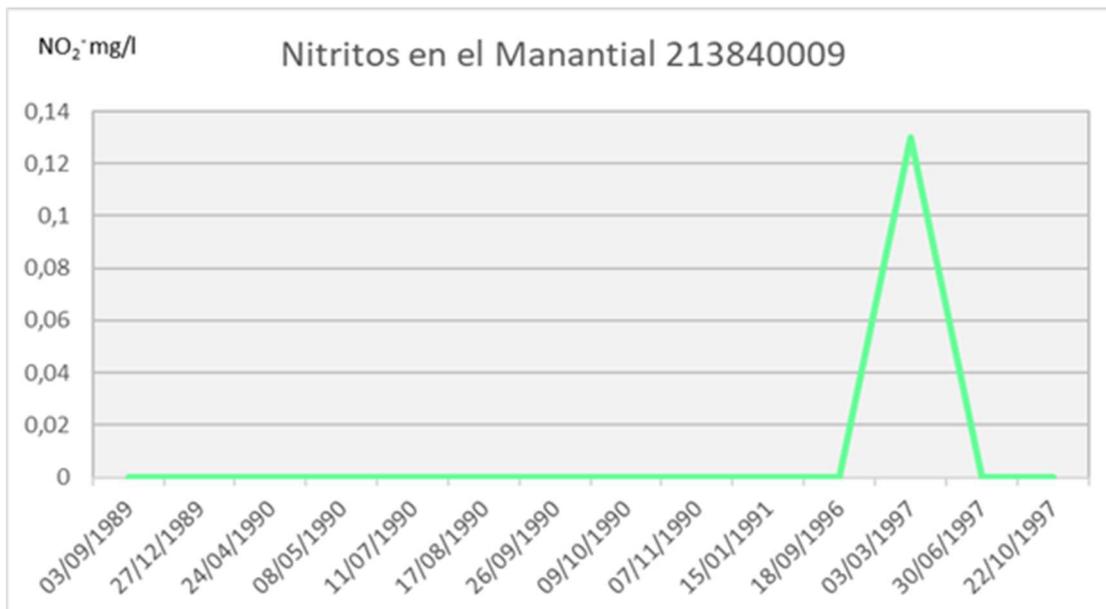


Figura 21: Registro histórico de los nitritos detectados en las muestras recogidas en el manantial 213840009.

Sin embargo, la situación del manantial 213870003, donde se tomó la muestra 173, no está tan clara. Esta muestra fue recogida durante la última campaña, realizada el año 2018, por lo que no disponemos de datos posteriores y tampoco contamos con un registro histórico, como ocurría en el punto anterior. La concentración de nitritos obtenida para la muestra 173 ha sido de 0,2 mg/l, valor que supera el límite indicado y nos alerta de la presencia de contaminación reciente. En este caso, la falta de datos no nos permite analizar la situación, pero teniendo en cuenta que esta última medida supera las concentraciones indicadas, se debe controlar la presencia de focos de contaminación en el entorno que puedan afectar al manantial 213870003.

Por su parte, el contenido en fosfatos ha sido indetectable en general excepto en la muestra 159, que tiene una concentración de 0,07 mg/l. Si bien es recomendable actuar con cautela si las muestras superan los 0,02 mg/l, en este caso no le vamos a conceder demasiada importancia, ya que parece tratarse de algo puntual. Tal y como podemos ver en la Figura 22, en otras

muestras recogidas en el mismo manantial (213840009), tanto en fechas anteriores como posteriores al momento en que se tomó la muestra 159 (18/09/1996), no se detectan concentraciones de fosfatos. La muestra 159, al igual que la 158, se tomó en el punto 213840009 que, tal y como hemos mencionado con anterioridad, cuenta con un amplio registro de análisis, lo que nos permite valorar si un aumento de la concentración se debe a acontecimiento puntual, como parece ser el caso, o si la contaminación perdura en el tiempo.

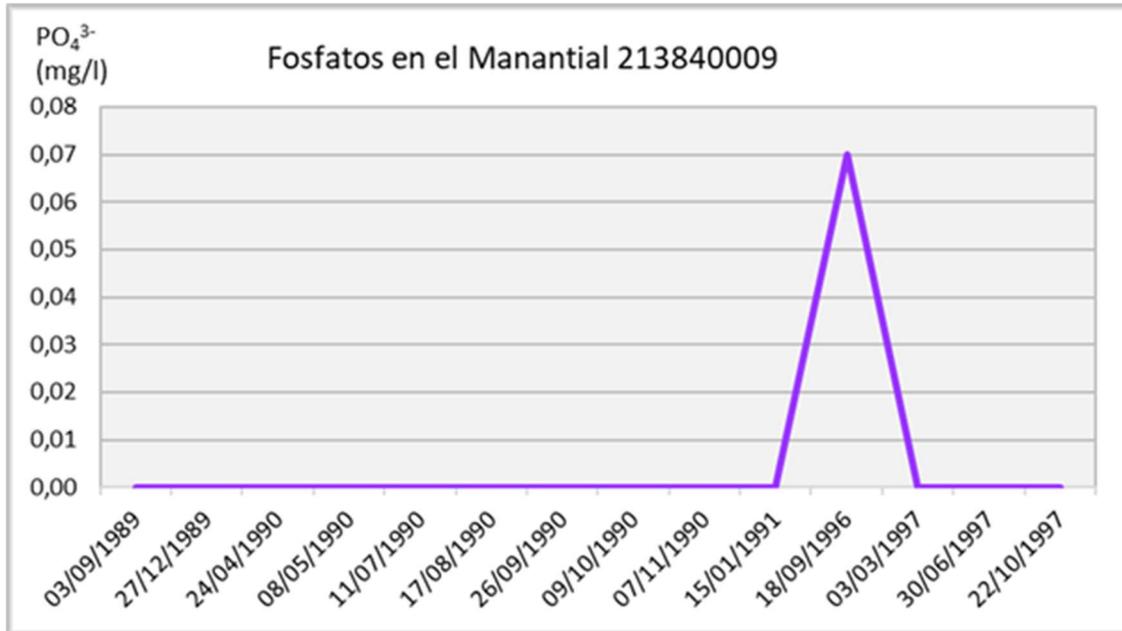


Figura 22: Registro histórico de los fosfatos detectados en las muestras recogidas en el manantial 213840009.

En general, se puede considerar que el agua del acuífero de Cañabas-Gulay presenta un buen estado, aunque se debe vigilar el manantial 213870003, ya que la concentración de nitritos detectada localmente en este punto podría indicar la presencia de contaminación reciente por compuestos nitrogenados en esta zona de descarga. Por otra parte, se recomienda estudiar si la descarga del manantial 213870003 procede del acuífero Cabañas-Gualay o tiene otro origen.

#### 6.1.10 Acuífero Los Nacimientos-Sazadilla

##### 6.1.10.1 Descripción general

El acuífero Los Nacimientos-Sazadilla, incluido administrativamente en la MASb 054.103 “Los Nacimientos”, está constituido por los niveles calcareníticos terciarios y materiales carbonatados mesozoicos. Es el principal acuífero de la MASb cuya poligonal envolvente está comprendida íntegramente dentro de las hojas Torres (nº 948) y Huelma (nº 970) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1: 50000 del I.G.C.

La poligonal envolvente de la MASb abarca una superficie de 43,58 km<sup>2</sup> con una superficie permeable total de 19,73 km<sup>2</sup> de los que 3,39 km<sup>2</sup> corresponden a carbonatos, 10,44 km<sup>2</sup> a conglomerados y calcarenitas, ambos del acuífero Los Nacimientos-Sazadilla, y 5,90 km<sup>2</sup> a materiales detríticos cuaternarios definidos como “otros acuíferos”, en el conjunto de la MASb.

En este acuífero se pueden diferenciar dos sectores denominados Los Nacimientos y Sazadilla.

#### 6.1.10.1.1 Sector acuífero de Los Nacimientos

Litológicamente está integrado por materiales Aquitanienses–Burdigalienses, representados por calcarenitas, calizas lacustres y niveles conglomeráticos, con una superficie de afloramiento de 7,84 km<sup>2</sup>, en cuya base se sitúan las margas blanquecinas rojizas que actúan de impermeabilizante de los niveles carbonatados superiores, produciéndose los drenajes a favor de este contacto.

La intensa fracturación de estos materiales origina descargas de pequeños caudales en los contactos permeable–impermeable. En el límite suroccidental, en la zona conocida como Los Nacimientos, se localizan dos manantiales (203920017 y 203920018), que drenan un caudal conjunto de unos 20 l/s, a una cota de 1.000 m s.n.m. La intensa compartimentación estructural de este sector da lugar a pequeñas surgencias en el contacto permeable–impermeable a cotas más elevadas, 1.180 m s.n.m., como es el caso de los manantiales de los Laeros de Jesús y Las Cañadas (203870025 y 2038070026) o del Cortijo del Solana (203920025) a 1.095 m s.n.m.

#### 6.1.10.1.2 Sector acuífero de Sazadilla

Está constituido por materiales carbonatados mesozoicos. Desde el punto de vista litológico, está integrado por dolomías y carniolas del Trías superior–Lías inferior, a las que se le superponen calizas oolíticas con sílex del resto del Jurásico. Sus afloramientos se encuentran fosilizados por materiales cretácicos y terciarios y presenta una extensión de unos 3,15 km<sup>2</sup> para los carbonatos mesozoicos y de 1,64 km<sup>2</sup> para los materiales terciarios. Cabe suponer que exista continuidad de los carbonatos mesozoicos hacia el suroeste bajo los materiales terciarios y cuaternarios.

La alimentación se produce por infiltración directa del agua de lluvia, mientras que el drenaje visible se realiza a través de una serie de manantiales que a su vez hacen posible la diferenciación de dos subsectores. El primero de ellos, definido por los afloramientos mesozoicos de El Jaral, es el drenado por los manantiales del Cortijo de Béjar (203870023) a una cota de 1067 m s.n.m.) y del Cortijo de Metelos y Cújar (203870022, a 1108 m s.n.m.). El otro subsector, localizado al oeste del primero y definido por los afloramientos de Cañada Hermosa y Ayoza, se drena por los manantiales de Fuente Caña Hermosa (203930027, a 1.170 m s.n.m.) y Cortijo Ayoza (203930016, a 1.215 m s.n.m.), entre otros.

#### 6.1.10.2 Características fisicoquímicas del agua

La caracterización hidroquímica de este acuífero se ha llevado a cabo dentro del conjunto de acuíferos de la zona, anteriormente denominados Los Chotos-Sazadilla-Los Nacimientos. Para ello se cuenta con trece análisis en la base de datos del IGME, casi todos ellos realizados en 2014. Los resultados de estos análisis se incluyen en el anexo correspondiente de esta Memoria Resumen.

Se ha proyectado el contenido de los principales cationes y aniones de las muestras de agua analizadas en un diagrama de Piper (Figura 23) y la representación gráfica obtenida indica que las aguas del acuífero son bicarbonatadas cálcicas con gradación a cálcico-magnésicas. Sin embargo, existen dos muestras con mayor contenido en sodio (facies bicarbonatadas magnésico-sódicas y sódicas) y una cuya facies es sulfatada. Estas gradaciones en la composición del agua probablemente se relacionan con cambios litológicos existentes en las propias series carbonatadas que forman el acuífero y se deben a procesos naturales ocurridos por la interacción del agua con el medio.

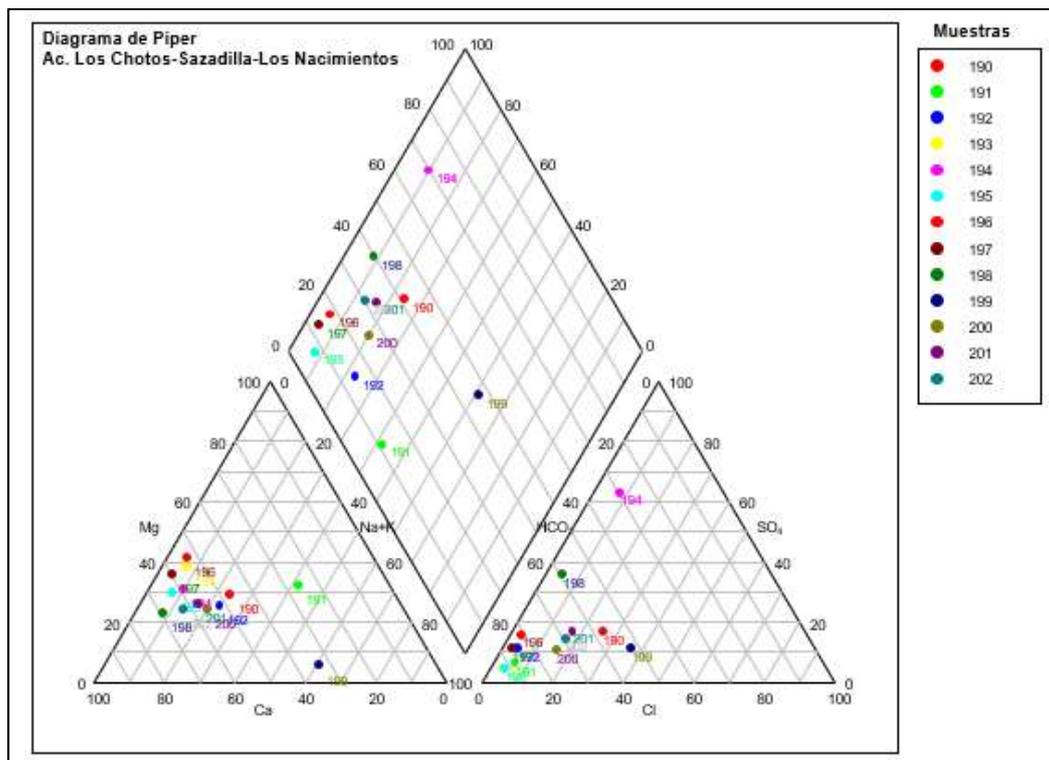


Figura 23 : Diagrama de Piper del conjunto de acuíferos de la zona, anteriormente denominados Los Chotos-Sazadilla-Los Nacimientos

Los principales parámetros físico-químicos, como conductividad, pH y oxidabilidad, medidos en las muestras de agua de este acuífero presentan valores habituales en aguas naturales y aceptables para su consumo.

Con los datos de conductividad disponibles, podemos considerar que, en general, las aguas del acuífero tienen una mineralización notable. La dureza calculada va desde 170 mg/l de mínima a 692 mg/l de máxima, siendo la dureza promedio de 314 mg/l  $\text{CaCO}_3$ . En general, son aguas de dureza media, aunque algunos manantiales como Los Nacimientos (203920017) y el Molino del Barranco (203870009) tienen mayor dureza, llegando a ser aguas de este último muy duras (692 mg/l), pudiendo incluso resultar desagradables para el consumo. Según la OMS, 500 mg/l, suele ser la dureza máxima tolerada por los consumidores para considerar que tienen un sabor aceptable (OMS, 2006). Además de su alta dureza, las aguas del manantial del Molino tienen un alto contenido en sulfatos, lo que las convierte en no potables.

Los compuestos nitrogenados y los fosfatos del acuífero son los principales indicadores de contaminación antrópica. El contenido medio en nitratos es de 21 mg/l y el máximo obtenido es de 46 mg/l, por lo que los contenidos en nitratos medidos en todo el acuífero están por debajo del límite establecido para consumo humano (50 mg/l según R. D. 140/2003). Sin embargo, el contenido máximo, registrado en el punto 203930023 en 2014, se acerca bastante al valor límite y además si nos fijamos en los valores registrados en este punto, los contenidos han aumentado desde el año 2000 al 2014. Por su parte, las concentraciones de nitrito, amonio y fosfatos medidas en todos los casos, están por debajo del límite de detección. Según estos resultados se puede considerar que no hay claras evidencias de contaminación inducida por la mano del hombre, aunque se deberían controlar los aportes de nitratos en la zona de influencia del punto 203930023.

### 6.1.11 Acuífero La Canal-Torre del Vinagre

#### 6.1.11.1 Descripción general

Los materiales que lo conforman son calizas del Portlandiense (tránsito Jurásico-Cretácico) con potencias medias de 200 metros, aunque pueden llegar a alcanzar los 400 metros. La delimitación actual del acuífero ocupa una extensión de aproximadamente 32 km<sup>2</sup> de los que 16,5 km<sup>2</sup> son de superficie permeable.

Los afloramientos permeables se ubican en la vertiente occidental de la Sierra del Pozo, entre la falla de Tíscar, al sur, y el Puente de las Herrerías, al norte. En el borde oriental, las calizas son solapadas por margas de edad Cretácico inferior; en la parte sur están limitadas por depósitos miocenos del Guadiana Menor; por el oeste cabalga sobre calizas miocenas del acuífero Nacimiento del Guadalquivir y su substrato de margas cretácicas; por el norte se encuentran sobre margas y calizas del Jurásico superior. Los afloramientos permeables se encuentran conectados hidráulicamente bajo las margas de techo.

Se dispone de los ensayos de bombeo efectuados por el IGME en la captación de abastecimiento a la aldea de El Almicarán, que capta el acuífero cercano Sierra de Castril. Los datos arrojan valores de Transmisividad bajos, entre 15-20 m<sup>2</sup>/d.

Estos datos indican unas formaciones carbonatadas en las que los procesos kársticos han tenido un escaso desarrollo, y la circulación subterránea tiene lugar, preferentemente, a través de discontinuidades menores y, ocasionalmente, por conductos de mayor tamaño.

Este acuífero se sitúa a muro de otras formaciones permeables y es atravesado por el río Guadalquivir. Esto hace suponer que las fuentes de alimentación puedan ser la infiltración de la precipitación, agua procedente de los acuíferos situados a techo e, incluso, percolación del río. Así, la infiltración de la precipitación se puede estimar, aplicando un porcentaje de infiltración del 45% de la precipitación media sobre sus afloramientos (16,5 km<sup>2</sup>), en unos 6 hm<sup>3</sup>/año. Las salidas corresponderían por un lado a los drenajes por manantiales, que el IGME (PAIH 2001) estima en 9,2 hm<sup>3</sup>/año. Además, se ha estimado un aporte al acuífero Nacimiento del Guadalquivir de 2,4 hm<sup>3</sup>/año.

El nivel piezométrico, según los datos de cota de los principales manantiales, está situado a una cota entre 1.050 m s.n.m, al norte, y 860 m s.n.m, al sur (según PAIH, 2001).

No existen datos sobre reservas de agua explotables acumuladas en el acuífero, ya que no se conocen ni la estructura en profundidad ni el coeficiente de almacenamiento, por lo que cualquier cifra podría considerarse como aventurada.

#### 6.1.11.2 Características fisicoquímicas del agua

En el acuífero La Canal-Torre del Vinagre disponemos de dos muestras de agua analizadas cuyos resultados analíticos se incluyen en el anexo correspondiente de esta Memoria Resumen. Las muestras se tomaron en dos puntos de agua diferentes y en distintas fechas, una de ellas durante el 2018, por lo que, aunque no tenemos muchos datos analíticos contamos con información reciente.

Se ha proyectado el contenido de los principales cationes y aniones de las muestras de agua analizadas en un diagrama de Piper y la representación gráfica obtenida indica que las aguas del acuífero son bicarbonatadas cálcicas (Figura 24).

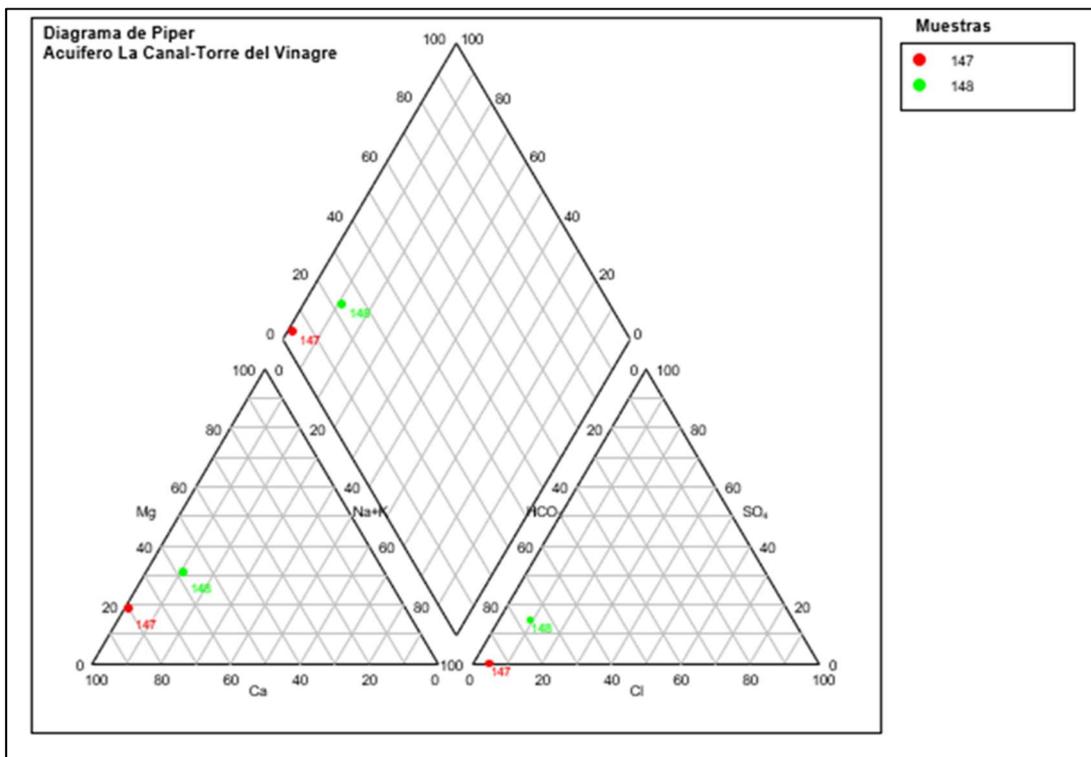


Figura 24: Diagrama de Piper del acuífero la Canal-Torre del Vinagre.

Los principales parámetros físico-químicos, como son la conductividad, el pH y la oxidabilidad, medidos en las muestras 147 y 148 se recogen en la Tabla 9, así como la media obtenida. Los valores obtenidos son habituales en aguas de acuíferos carbonatados y, además, tal y como podemos ver en la tabla 9, están dentro de los límites recomendados para consumo humano (R. D. 140/2003).

Parámetros	Conductividad	pH	Oxidabilidad
Muestra 147	360	7,7	1,2
Muestra 148	416	7,8	0,5
media	388	7,7	0,9
Límites paramétricos	<2500 $\mu\text{s}/\text{cm}$	6.5-9.5	<5.0 mg/l

Tabla 9: Cálculos básicos de algunos parámetros fisicoquímicos representativos.

Según los valores de conductividad medidos, las aguas del acuífero La Canal-Torre del Vinagre son de mineralización ligera. El grado de dureza varía de 211 a 235 mg/l  $\text{CaCO}_3$  por lo que son aguas de dureza media. El cálculo del total de sólidos disueltos muestra valores aceptables para el paladar, siendo la media de 355 mg/l.

Al igual que en el acuífero anterior, el resto de componentes hidroquímicos medidos presentan concentraciones habituales en aguas subterráneas naturales, no se ha detectado nada anómalo ni destacable. El contenido medio en nitratos es de 1.5 mg/l y los contenidos en nitritos, amonio y fosfatos han sido imperceptibles, por lo que no hay evidencias de contaminación antrópica. Según estos resultados, se podría considerar que las aguas del acuífero La Canal-Torre del Vinagre tienen una buena calidad.

#### 6.1.12 Acuíferos de las Escamas de Cazorla: Béjar, Gilillo, La Viñuela.

##### 6.1.12.1 Descripción general

Los materiales que lo conforman principalmente son las calizas y dolomías del Jurásico (Lías y Dogger) que tienen potencias de entre 200 y 350 metros. También existen pequeños afloramientos de carbonatos del Jurásico Superior, Cretácico y Mioceno. La delimitación actual del acuífero Gilillo ocupa una extensión de aproximadamente 21  $\text{km}^2$  de los que 16  $\text{km}^2$  de ellos son de superficie permeable. En el caso del Acuífero Béjar, ocupa una extensión de aproximadamente 24  $\text{km}^2$  de los que 8,5  $\text{km}^2$  de ellos son de superficie permeable. El acuífero La Viñuela, más extenso y complejo que los otros, ocupa una extensión de unos 40  $\text{km}^2$ , 21 de ellos ocupados por materiales permeables.

Este sector se estructura en 4 grandes escamas, que duplican la secuencia litológica a partir de la ritmita margoso-calcárea del Malm, o Formación Utrillas (que hacen de sustrato impermeable e individualizan los acuíferos). A veces se encuentran pinzadas las dolomías del Cenomaniense. En las dos escamas más bajas los buzamientos son suaves hacia el este mientras que, en las dos superiores, se definen sendos sinclinales vergentes al oeste.

El acuífero Béjar incluye los carbonatos de la Formación Chorro de las dos escamas inferiores, además de un afloramiento de dolomías cenomanienses que está situado en el borde sur. El tramo impermeable que se encuentra entre las dos láminas tectónicas no es continuo, lo que posibilita el contacto entre los tramos dolomíticos de ambas escamas.

El acuífero Gilillo se define sobre las dolomías de la Formación Chorro de la tercera escama y unos afloramientos de calizas del Portlandiense y de dolomías cenomanienses, que se encuentran en continuidad lateral por la acción de fallas.

El acuífero de La Viñuela está formado por los depósitos carbonatados de la Formación Chorro, por las calizas portlandienses, y por las dolomías cenomanienses, éstos dos últimos son afloramientos de escasa entidad. El límite con el acuífero Gilillo está definido por la base de la escama, mientras que a techo está separado del acuífero Nacimiento del Guadalquivir por la Formación Utrillas. Ambos límites no se pueden considerar totalmente cerrados, por lo que hay cierto grado de comunicación hídrica entre los tres. Por otro lado, en el tercio septentrional llegan a aflorar las arcillas triásicas de base de la Subunidad.

En la Subunidad de Sierra de Cazorla se dispone de los ensayos de bombeo efectuados por el IGME en las captaciones de abastecimiento a algunas poblaciones. Los ensayos se realizaron en los sectores de las Escamas del Guadalquivir y de Cazorla, en los acuíferos Escamas de Aguascebas, Escamas del Tranco y Béjar. Los valores de Transmisividad obtenidos son bajos y medios, aunque con valores excepcionales muy altos, del orden de 2.000-3.000 m<sup>2</sup>/d.

Esta heterogeneidad es habitual en las formaciones carbonatadas en las que los procesos kársticos han tenido un escaso desarrollo, y la circulación subterránea tiene lugar, preferentemente, a través de discontinuidades menores y, ocasionalmente, por conductos de mayor tamaño.

La alimentación de los acuíferos se produce por infiltración de la precipitación y, como ya se ha comentado, por la transferencia de agua entre ellos.

Así, en el acuífero Gilillo, la infiltración de la precipitación se puede estimar, aplicando un porcentaje de infiltración del 45% de la precipitación media sobre sus afloramientos (16 km<sup>2</sup>), en 5,73 hm<sup>3</sup>/año. En el acuífero Béjar, del mismo modo, y con sus afloramientos de 8,5 km<sup>2</sup>, en 3,35 hm<sup>3</sup>/año. En el acuífero de La Viñuela resulta una infiltración de 7,56 hm<sup>3</sup>/año (21 km<sup>2</sup> de superficie permeable).

Las salidas en todos los acuíferos corresponderían, por un lado, a los bombeos de los sondeos que lo explotan para abastecimiento y riego y, por otro, a los drenajes por manantiales. Para equilibrar los balances es necesario incluir transferencia de aguas entre los acuíferos.

El nivel piezométrico, en el acuífero Gilillo, según los datos de cota de los manantiales y los sondeos, está situado a una cota entre 893 y 1.370 m s.n.m. En el acuífero Béjar, está situado a una cota entre 998 y 1.009 m s.n.m. El manantial de Béjar, principal descarga del acuífero, se encuentra a cota 900 m s.n.m. El nivel piezométrico del acuífero La Viñuela, en el sector de La Iruela, es muy variable, desde la cota 968 m s.n.m. de la Fuente del Cuerno hasta 1.175 del manantial Aguarillo. Este hecho pone de manifiesto la complejidad estructural e hidráulica de este sector de la MASb 050.100.

No existen datos sobre reservas de agua explotables acumuladas en el acuífero, ya que no se conocen ni la estructura en profundidad ni el coeficiente de almacenamiento, por lo que cualquier cifra podría considerarse como aventurada.

### 6.1.12.2 Características fisicoquímicas del agua

El agua subterránea de los acuíferos del sector Escamas de Cazorra, presenta una facies bicarbonatada cálcico-magnésica con Conductividad Eléctrica baja, entre los 350 y 570  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , presentando los puntos más septentrionales los mayores valores.

#### 6.1.12.2.1 Acuífero de Béjar

Para estudiar el acuífero Béjar se cuenta con un número significativo de muestras, concretamente con 41 muestras de agua (de la muestra 30 a la 70), muchas de ellas fueron tomadas en los mismos puntos en diferentes fechas. Concretamente se cuenta con un registro histórico más extenso en los puntos 213770001 y 213830004, así mismo también se dispone del análisis de muestras muy recientes recogidas durante el 2018. Los resultados de los análisis realizados se incluyen en el anexo correspondiente de esta Memoria Resumen.

La composición química de cada muestra de agua se ha representado gráficamente en un diagrama de Piper, (Figura 25) de esta manera resulta mucho más fácil interpretar toda la información disponible.

La interpretación del diagrama nos indica que la mayoría de las muestras se encuentran dentro del campo de las facies bicarbonatadas cálcicas, aunque se observa una gradación hacia bicarbonatada magnésica pasando por cálcico-magnésica y magnésico-cálcicas. Pese a esta gradación, las aguas de este acuífero presentan una facies bastante uniforme durante el periodo estudiado.

Las principales variables físico-químicos medidas en el acuífero de Béjar presentan valores propios de aguas subterráneas naturales. Así pues, los valores de oxidabilidad, conductividad y pH obtenidos son bastante uniformes, no habiendo ningún valor que resulte anómalo. Además, tal y como podemos ver en la tabla 10, en la que se resumen algunos parámetros estadísticos básicos, todos valores están dentro de los límites recomendados para consumo humano (R. D. 140/2003).

Parámetros	Conductividad	pH	Oxidabilidad
máx.	510	8.3	2.2
min.	268	7.1	0.0
media	414	7.7	0.5
Límites paramétricos	<2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	6.5-9.5	<5.0 mg/l

Tabla 10: Cálculo de parámetros estadísticos de algunas variables físico-químicas.

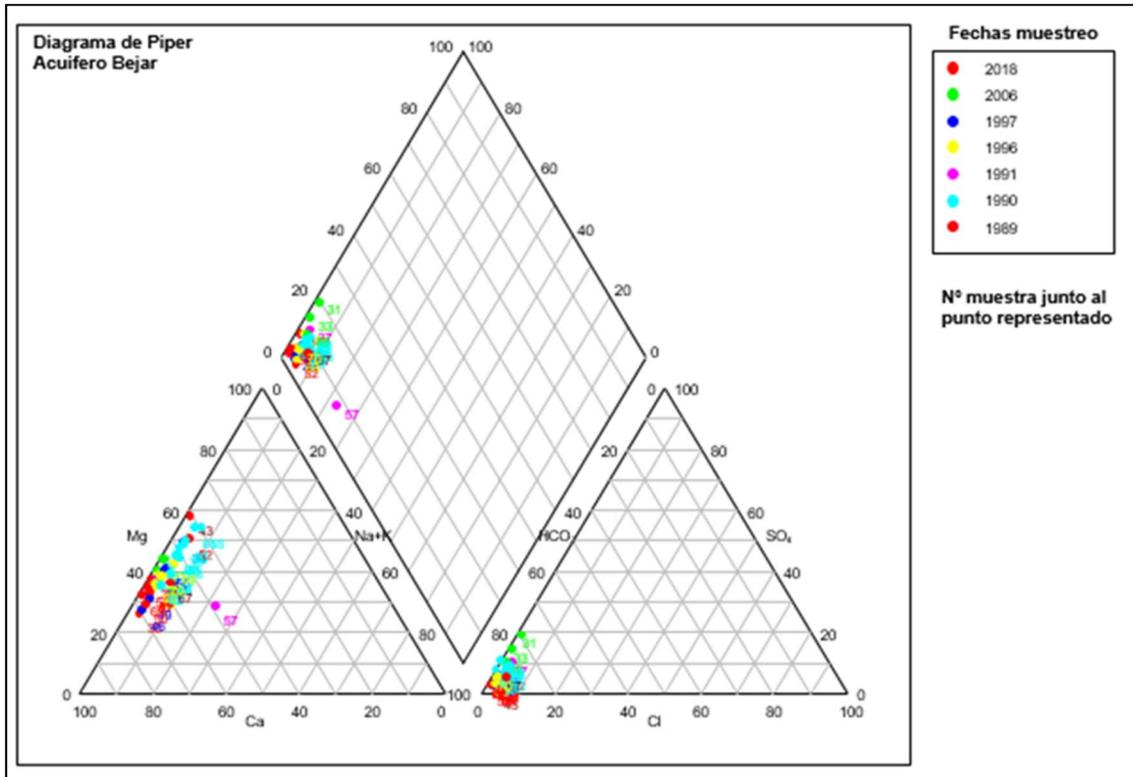


Figura 25: Diagrama de Piper de las muestras del acuífero Béjar.

En general, según la conductividad media obtenida, en general las analizadas tienen una mineralización de ligera. El total de sólidos disueltos calculado va desde un mínimo de 236 hasta 496 mg/l de máximo, por lo que está por debajo de 1.000mg/l, que es la concentración a partir de la cual no resulta agradable para su consumo (OMS, 2006). La dureza varía entre 160 y 311 mg/l CaCO<sub>3</sub>, con un valor medio de 240 mg/l por lo que las aguas del acuífero de Béjar tienen dureza media.

Los componentes químicos considerados indicativos de contaminación, como los compuestos nitrogenados o los fosfatos, en general han resultado tener valores bajos por debajo de los límites considerados como aceptables. Tan solo la muestra 34, tomada en el punto 213770001, presenta un contenido significativo en nitritos, concretamente 0,21 mg/l, por lo que estaría por encima del límite de referencia considerado (0,1 mg/l). Sin embargo, en el resto de las muestras recogidas en el mismo manantial (213770001), tanto en años sucesivos como anteriores, no se han detectado nitritos (figura 26) por lo que probablemente se trate de algún aporte puntual que no se ha mantenido en el tiempo. Además, los nitritos son indicativos de contaminación reciente, por lo que la concentración obtenida en la muestra 34, se deberá a un aporte puntual que tuvo lugar en momentos cercanos a la fecha de recogida de dicha muestra (02/02/1997) y no parece que el problema persista actualmente.

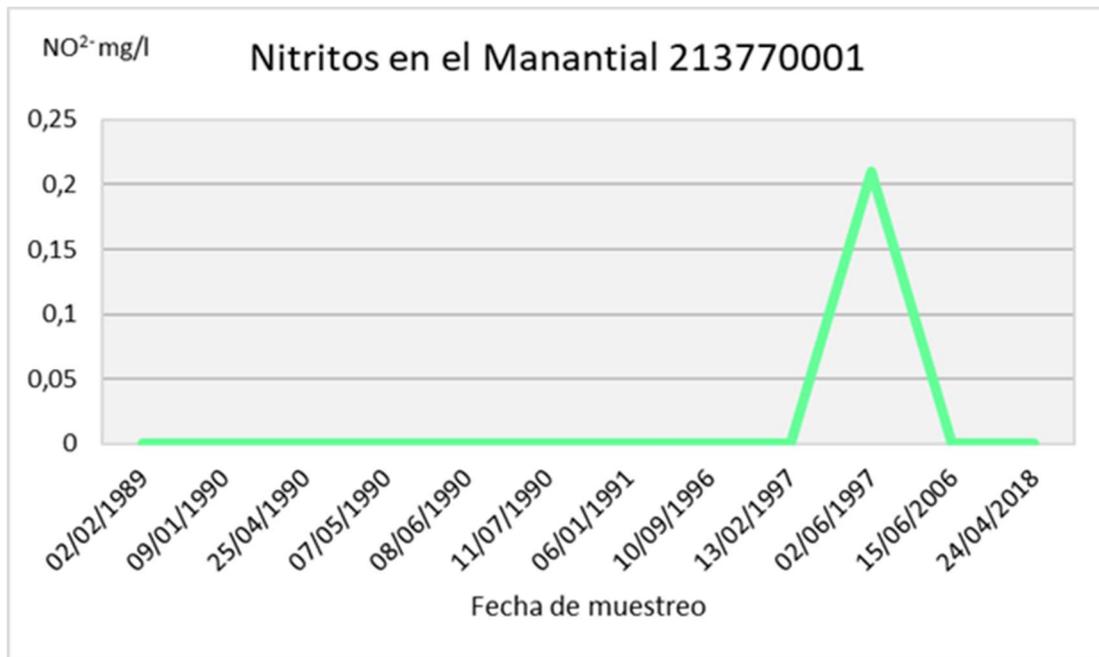


Figura 26: Registro histórico de los contenidos en nitritos de las muestras recogidas en el manantial 213770001.

Las medias obtenidas en el acuífero para el nitrato y el nitrito son de 1,5 mg/l y 0,01 mg/l, respectivamente, y 0,0 mg/l para el amonio y el fosfato, por lo que se podría decir que el acuífero no presenta muestras de contaminación asociada a estos elementos.

#### 6.1.12.2.2 Acuífero del Gilillo

Para caracterizar este acuífero contamos con un total de 27 muestras de agua, recogidas en 8 puntos de agua diferentes en diversas fechas. La mayoría de las muestras pertenecen al manantial identificado con el nº IGME 213770016, el cual cuenta con un seguimiento desde el año 1989 hasta la actualidad, aunque no siempre de forma continua. Los resultados del análisis de estas muestras se pueden consultar en el anexo correspondiente de esta Memoria Resumen.

Con la finalidad de ver de forma más gráfica la naturaleza química del conjunto de muestras disponibles, hemos representado un diagrama de Piper (figura 27). En este diagrama se han representado con el mismo color las muestras tomadas en el mismo año y el número de muestra se indica junto al punto proyectado. A la luz de la proyección obtenida podemos deducir que las aguas del acuífero Gilillo presentan facies bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, además de situaciones intermedias con facies cálcico-magnésicas y magnésico-cálcicas. No se observan cambios significativos a lo largo de los años muestreados, ya que tal y como podemos ver en el gráfico obtenido todas las muestras proyectadas se concentran en la misma zona (esquina izquierda del rombo, figura 27).

También se han analizado parámetros fisicoquímicos fundamentales como la oxidación, la conductividad y el pH. En la tabla 11 se muestran algunos cálculos estadísticos básicos obtenidos para dichos parámetros en las muestras de agua analizadas. Estos valores indican que las aguas del acuífero de Gilillo tienen una oxidabilidad baja, una conductividad normal en aguas

bicarbonatadas y un pH ligeramente básico. Los valores obtenidos indican que estos parámetros están dentro de los límites permitidos para el consumo humano (R. D. 140/2003).

Parámetros	Conductividad	pH	Oxidabilidad
máx.	627	8.6	1.9
min.	236	7.5	0.0
media	395	8.0	0.5
Límites paramétricos	<2500 $\mu\text{s}/\text{cm}$	6.5-9.5	<5.0 mg/l

Tabla 11: Cálculos estadísticos de algunos parámetros fisicoquímicos representativos.

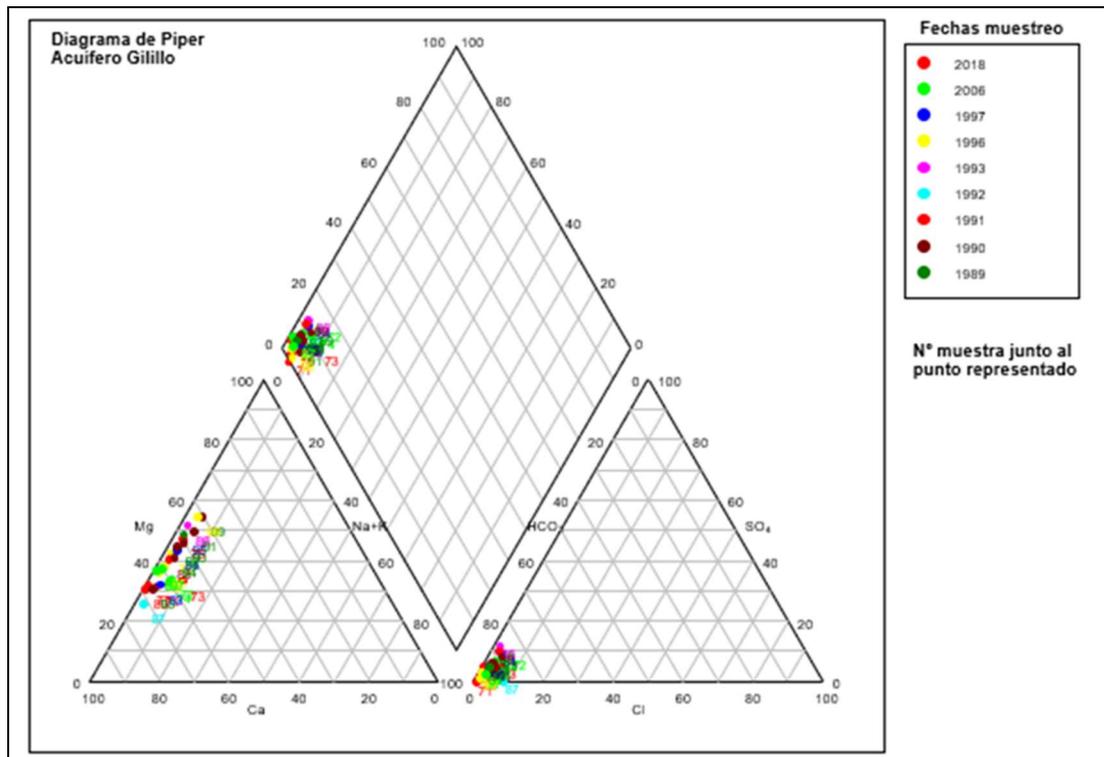


Figura 27: Diagrama de Piper de las muestras del acuífero Gilillo.

Según los valores de conductividad obtenidos las aguas del acuífero de Gilillo tienen una mineralización de ligera notable, aunque de forma general predominan las aguas de mineralización ligera. Por otra parte, la dureza obtenida varía entre 155 y 418 mg/l  $\text{CaCO}_3$ , es decir se trata de aguas de medias a duras, aunque teniendo en cuenta el valor medio obtenido, 235 mg/l, consideraremos las aguas de este acuífero como de dureza media. En concordancia, las concentraciones de TSD obtenidas están entre los valores que resultan aceptables al paladar, siendo la concentración media de 368 mg/l.

A continuación, analizaremos los elementos más significativos para detectar la presencia de contaminación antrópica, como son los compuestos nitrogenados y los fosfatos. Así pues, las concentraciones de amonio y nitratos están por debajo de los límites paramétricos establecidos en cada caso, siendo las medias obtenidas de 0,01 mg/l y 2 mg/l respectivamente. La concentración de nitritos está por debajo del límite de referencia que hemos establecido (0,1 mg/l) en todas las muestras excepto en la muestra 86, que lo supera por solo una centésima.

Aunque no lo vamos a considerar relevante, ya que lo supera por muy poco y además las muestras recogidas en este mismo punto (213770016) en fechas anteriores y posteriores presentan concentraciones menores (figura 28). Probablemente se trate de un aporte puntual cercano a la fecha de recogida (18/06/1993). La media de las concentraciones de nitritos obtenidos en el acuífero es de 0,01mg/l.

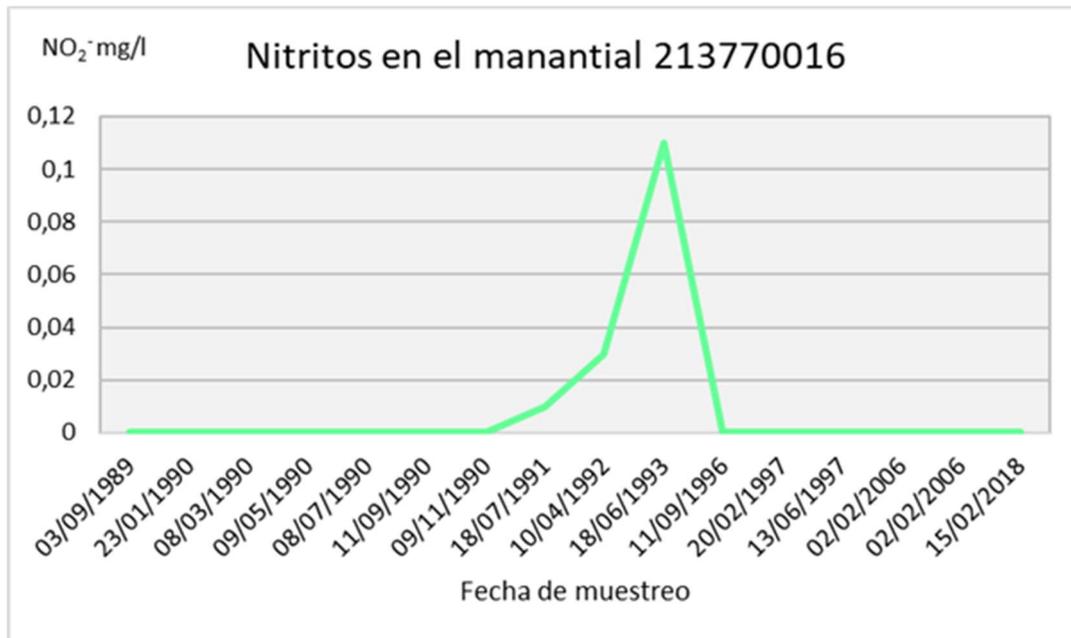


Figura 28: Registro histórico de los nitritos detectados en las muestras recogidas en el manantial 213770016

La concentración en fosfatos varía entre 0 y 0,19 mg/l, siendo la media para el acuífero de 0,02 mg/l. Estos valores están por debajo del límite de calidad establecido, que es de 0,4 mg/l, por lo que consideraremos que tienen una calidad aceptable. Además, el valor medio obtenido (0,02 mg/l) está dentro de los valores habituales en aguas naturales (0,005-0,02 mg/l). No obstante, se ha considerado oportuno señalar que tres de las muestras (muestras 74, 87 y 88) recogidas en los puntos 213730040 y 213770016, tienen concentraciones por encima de estos valores habituales en aguas naturales. Esto podría ser una señal de alerta de contaminación antrópica. Sin embargo, otras muestras tomadas en estos mismos puntos en la última campaña (2018) han mostrado concentraciones bajas, por lo que no parece que los contenidos vayan en aumento y lleguen a suponer un problema. Aun así, sería recomendable controlar las prácticas en estos puntos y prevenir a los agricultores de la zona de la sensibilidad del acuífero ante este tipo de contaminación.

En general podríamos decir que las aguas del acuífero de Gilillo se encuentra dentro de los parámetros normales y no presentan muestras evidentes de contaminación antrópica.

### 6.1.12.2.3 Acuífero de La Viñuela

En este acuífero disponemos de 23 muestras de agua analizadas, de la muestra 98 a la 120, recogidas en 8 puntos de agua diferentes en distintas fechas. Muchas de estas muestras pertenecen al registro histórico del manantial nombrado con el número 213770022 y también se cuenta con muestras recientes recogidas en otros puntos del acuífero.

A partir de los datos analíticos obtenidos en estas muestras de agua (recogidos en las filas correspondientes a las muestras de la 98 a la 120 en el anexo correspondiente de esta Memoria Resumen) se caracterizará la naturaleza hidroquímica de las aguas subterráneas del acuífero de La Viñuela. Para ello se ha representado un diagrama de Piper (Figura 29) en el que se proyecta el contenido de los cationes y aniones principales. En este diagrama se han representado con el mismo color las muestras tomadas en el mismo año, el número de muestra se indica junto al punto proyectado. La representación gráfica obtenida indica que las aguas analizadas son en su mayoría de naturaleza bicarbonatada cálcica. Podemos observar que la muestra 102 se separa un poco del resto, esto se debe a que presenta un contenido en sulfato y cloruro algo mayor que el resto, aunque no llega a ser ni sulfatada, ni clorurada, sino que se considera bicarbonatada cálcico-magnésica.

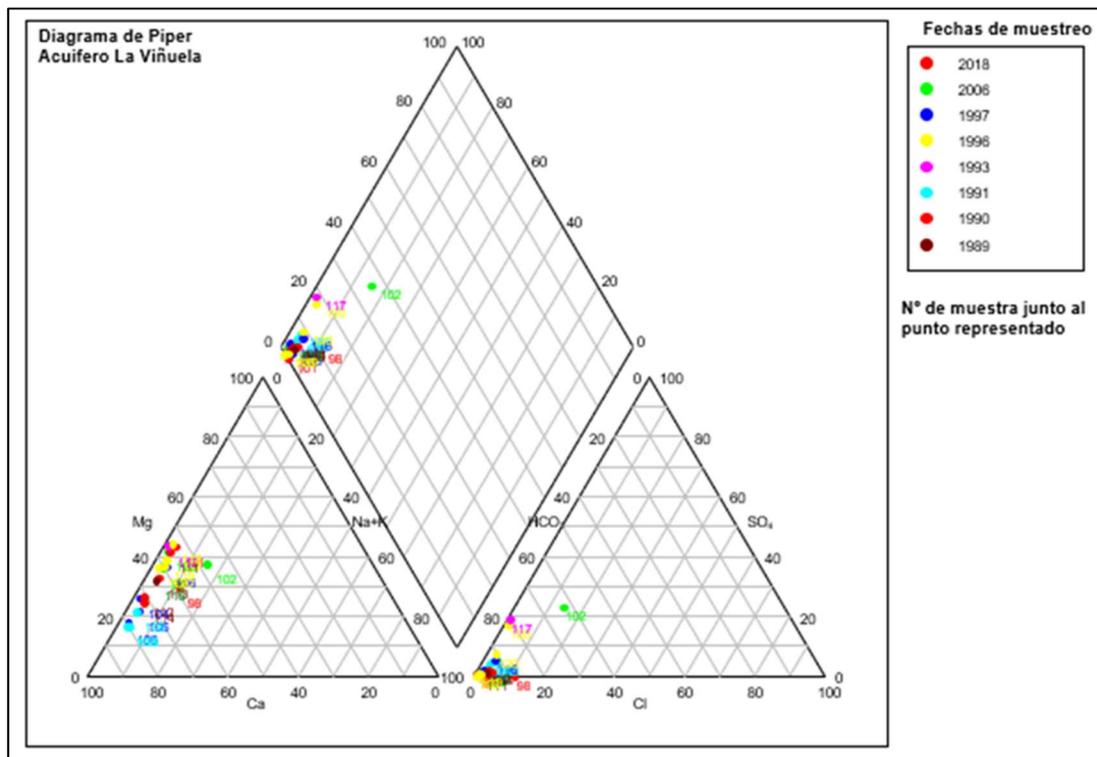


Figura 29: Diagrama de Piper de las muestras del acuífero La Viñuela.

Se han analizado parámetros fisicoquímicos fundamentales como la oxidación, la conductividad y el pH. Los valores obtenidos para las muestras analizadas en este acuífero se recogen en la tabla del anexo correspondiente en la Memoria Resumen. Para facilitar la visualización de estos resultados, en la tabla 12, se indican los valores máximos, mínimos y medios calculados para cada parámetro. Como podemos observar tanto la conductividad como la oxidabilidad están por

debajo de los límites indicados para el consumo humano según el Real decreto 140/2003 y el pH presenta valores dentro del rango recomendado.

Los valores de conductividad obtenidos indican que son agua con mineralización de ligera a notable, aunque de forma general y considerando la media obtenida consideraremos que el acuífero de La Viñuela es de mineralización ligera. El total de sólidos disueltos varía de 273 a 824 mg/l con una media de 384 mg/l. Como se puede apreciar no se superan los 1.000 mg/l de TSD, que suele ser la concentración a partir del cual el agua no resulta agradable para el consumo. Los valores de dureza calculados están entre 161 y 497 mg/l CaCO<sub>3</sub> siendo el valor promedio es de 242 mg/l CaCO<sub>3</sub>. Según estos resultados, en su mayoría, las aguas del acuífero de La Viñuela son aguas de dureza media, aunque algunas muestras analizadas llegan a ser aguas duras.

Parámetros	Conductividad	pH	Oxidabilidad
máx.	904	8.3	1.8
min.	281	7.2	0.0
media	400	7.9	0.6
Límites paramétricos	<2500 µs/cm	6.5-9.5	<5.0 mg/l

Tabla 12: Cálculos estadísticos de algunos parámetros fisicoquímicos representativos.

Las concentraciones en compuestos nitrogenados obtenidas en todas las muestras de este acuífero están dentro de los límites admisibles considerados. Los contenidos medios han sido de 3 mg/l para los nitratos y 0,00 mg/l en el caso de los nitritos y el amonio. Los contenidos en fosfatos, en general, también ha resultado ser indetectables, tan solo la muestra 117, recogida en el manantial 213770026, tiene una concentración de 0,11 mg/l. Aunque no supera los 0,4 mg/l, que es el límite de calidad que hemos tomado como referencia en este estudio, es un valor relativamente alto en aguas naturales. También se debe señalar que en este mismo manantial se recoge, años después, la muestra 116 y en este caso no se detectaron fosfatos, por lo que no le daremos demasiada importancia y únicamente se recomienda tener cierta cautela con las actividades agrícolas cercanas a este punto. En general podemos considerar que el acuífero de La Viñuela se encuentra en buen estado y no presenta signos de contaminación antrópica.

#### 6.1.12.2.4 Campana específica de 2018

En análisis realizados en el presente proyecto en los puntos de abastecimiento de los municipios de La Iruela y Cazorla, el agua presenta valores bajos de mineralización, en el sector Escamas de Cazorla, siendo apta para el consumo teniendo en cuenta los análisis hidroquímicos. El pH se encuentra en torno a 7,6-7,8, considerándose normal para este tipo de aguas. Los resultados de los análisis realizados en el acuífero de Béjar, correspondientes a los abastecimientos de Quesada y Peal de Becerro, no estaban disponibles en el momento de realización de este informe.

En cuanto a su aptitud para riego, se trata de un agua algo dura que muestra una relación de absorción de sodio baja (S<sub>1</sub>) con poco contenido en sales (C<sub>1</sub>), por lo que puede emplearse en todo tipo de suelo bajo cualquier cultivo.

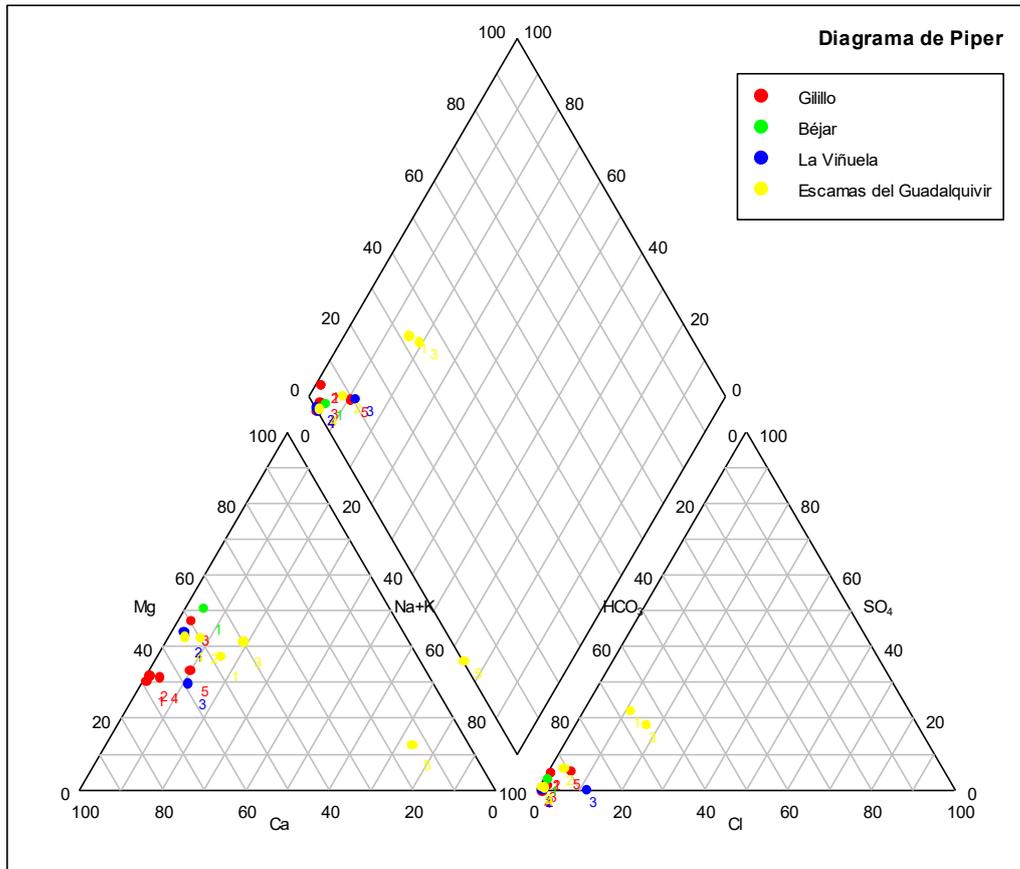


Figura 30: Diagrama de Piper de los puntos analizados en este trabajo con relación en el abastecimiento a La Iruela y pertenecientes a la MASB 050.100 "Sierra de Cazorla".

En la tabla siguiente se presenta un listado con los puntos analizados en este trabajo. En la figura 30 se muestra un gráfico de Piper con la representación de las muestras analizadas. Los códigos de colores corresponden a los diferentes acuíferos captados y el número que acompaña cada punto es el número de muestra que se muestra en la tabla precedente. Se incluyen todos los puntos analizados de la MASB 050.100 "Sierra de Cazorla".

Nº IGME	Muestra	MUNICIPIO	ACUÍFERO	Num	F_Toma
213770016	Riogazas	Cazorla	Gilillo	1	15/02/2018
213770014	Nacelrío	Cazorla	Gilillo	2	15/02/2018
213730044	La Paloma	La Iruela	Gilillo	3	23/02/2018
213770060	Sondeo Prado Redondo	La Iruela	Béjar	1	23/02/2018
213730001	La Raja	La Iruela	Gilillo	4	23/02/2018
213730045	El aguarillo	La Iruela	La viñuela	1	23/02/2018
213730027	Las Abuelas	La Iruela	La viñuela	2	23/02/2018
213730040	Sondeo El Pollo	La Iruela	Gilillo	5	23/02/2018
213730037	Mortalejos Alto	La Iruela	Escamas de Aguascebas	1	26/02/2018
213730010	El cuerno	La Iruela	La viñuela	3	26/02/2018
213730036	El Copete	La Iruela	Escamas Inferiores	2	26/02/2018
213730038	San Martín- El Prado	La Iruela	Escamas de Aguascebas	3	26/02/2018
213740022	El Tobazo	La Iruela	Arroyo Frío	1	26/02/2018
213740014	La Caida	La Iruela	Arroyo Frío	2	26/02/2018
213730049	Mortalejos Bajo	La Iruela	Escamas Inferiores	4	26/02/2018
213730054	Sondeo Carrasquea	La Iruela	¿Escamas del Tranco?	5	26/02/2018

Aunque no se describen en detalle, hay que comentar los resultados de los análisis de los puntos correspondientes al sector Escamas del Guadalquivir (Mortalejos Alto y Bajo, Fuentes del Copete y San Martín-El Prado) y el sondeo Carrasquea que no se incluye en ningún acuífero. Estos puntos, de color amarillo en el gráfico, se alejan de la nube principal, como puede observarse.

Dos puntos de este sector, Mortalejos Alto (213730037) y San Martín-El Prado (213730038), presentan valores de nitratos cercanos al límite que impone la norma para consumo, incluso en el caso del manantial de Mortalejos Alto lo llega a alcanzar.

En cuanto a su aptitud para riego, se trata de un agua dura que muestra una relación de absorción de sodio baja ( $S_1$ ) con contenido medio en sales ( $C_2$ ), por lo que puede emplearse en todo tipo de suelo excepto en los de baja permeabilidad, bajo cualquier cultivo.

En el caso del sondeo Carrasquea, presenta valores altos de contenido en sodio (143 mg/l), sin llegar al límite de 200 mg/l. El resultado de este análisis, sumado a las observaciones hechas con anterioridad, indican que este punto debería investigarse en profundidad para decidir si es conveniente mantenerlo en el sistema de abastecimiento.

### 6.1.13 Acuífero Arroyo Frío

#### 6.1.13.1 Descripción general

Los materiales que lo conforman son las dolomías del Lías inferior y por las calizas del Portlandiense aflorantes en la margen derecha del río Guadalquivir, entre el núcleo de Vadillo de Castril y Pefián Quemado. El conjunto alcanza una potencia total cercana a 400 m. La delimitación actual del acuífero ocupa una extensión de unos 8 km<sup>2</sup> de los que prácticamente su totalidad son de superficie permeable.

El sustrato impermeable lo forman las arcillas triásicas que afloran en el curso del río Guadalquivir y los materiales permeables se solapan por margas y calizas del Berriasiense, presentando un nivel intercalado de calizas y margas del Kimineridgiense de 30 m de potencia. Su borde SO está definido por una fractura que lo pone en contacto con el acuífero La Viñuela, de la MASb 050.100 Sierra de Cazorla.

Se dispone de los ensayos de bombeo efectuados por el IGME en la captación de abastecimiento a la aldea de El Almicerán, en el acuífero Sierra de Castril, que pertenece a la misma MASb. Los datos arrojan valores de Transmisividad bajos, entre 15-20 m<sup>2</sup>/d. Ensayos realizados también por el IGME en la MASb 050.100, sobre materiales de la misma edad que los que forman este acuífero, obtuvieron valores de Transmisividad bajos y medios, aunque con valores excepcionales muy altos, del orden de 2.000-3.000 m<sup>2</sup>/d.

Estos datos indican unas formaciones carbonatadas en las que los procesos kársticos han tenido un escaso desarrollo, y la circulación subterránea tiene lugar, preferentemente, a través de discontinuidades menores y, ocasionalmente, por conductos de mayor tamaño.

La alimentación del acuífero se produce por infiltración de la precipitación, existe contacto entre materiales permeables del acuífero de La Viñuela cuya cota de agua está por encima de la de Arroyo Frío y que podría aportar agua. Así, la infiltración de la precipitación se puede estimar, aplicando un porcentaje de infiltración del 45% de la precipitación media sobre sus afloramientos (8 km<sup>2</sup>), en unos 3,5 hm<sup>3</sup>/año. Las salidas corresponderían, por un lado, a los drenajes por manantiales y, por otro, a salidas ocultas, probablemente al río Guadalquivir o al acuífero Río Borosa.

El nivel piezométrico, según los datos de cota de los manantiales, es variable, comprendido entre las cotas entre 830 y 960 m s.n.m. En general, la descarga se produce hacia el eje central de drenaje que constituye el río Guadalquivir a su paso por este acuífero.

No existen datos sobre reservas de agua explotables acumuladas en el acuífero, ya que no se conocen ni la estructura en profundidad ni el coeficiente de almacenamiento, por lo que cualquier cifra podría considerarse como aventurada.

#### 6.1.13.2 Características fisicoquímicas del agua

Para caracterizar este acuífero contamos con cuatro muestras de agua recogidas en distintas fechas en tres puntos de agua diferentes. Dos de las muestras se tomaron en 2018 por lo que se cuenta con información actualizada. El resultado de los análisis se incluye en el anexo correspondiente de la presente Memoria Resumen.

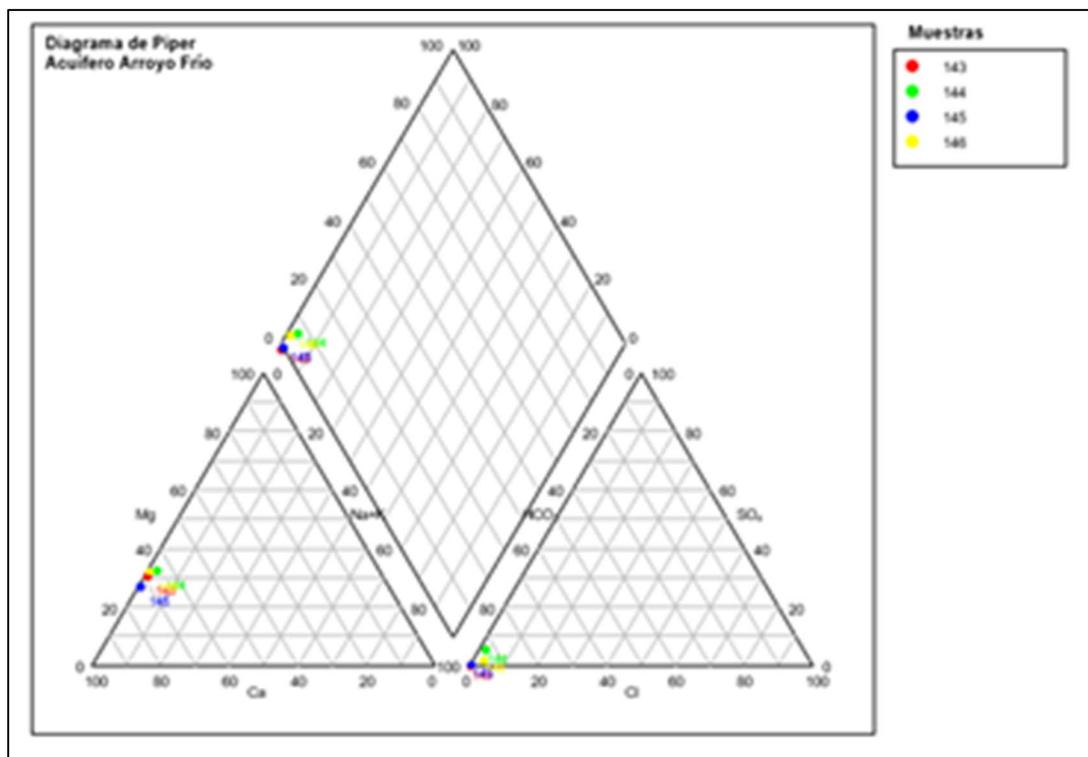


Figura 31: Diagrama de Piper del acuífero Arroyo Frío.

A partir de los datos del análisis de agua obtenido en estas muestras podremos definir la naturaleza hidroquímica de las aguas subterráneas del acuífero Arroyo Frío. Para ello se ha representado un diagrama de Piper (Figura 31) en el que se proyecta el contenido de los cationes y aniones principales. Según indica el diagrama obtenido las aguas de este acuífero tienen una facies bicarbonatada cálcica.

Las principales variables físico-químicas medidas en el acuífero Arroyo Frío presentan valores propios de aguas subterráneas naturales. Tal y como podemos ver en la tabla 13, los valores de conductividad, pH y oxidabilidad, están dentro de los límites recomendados para consumo humano (R. D.140/2003).

Parámetros	Conductividad	pH	Oxidabilidad
máx.	430	8,1	0,6
min.	315	7,5	0,5
media	389	7,7	0,6
Límites paramétricos	<2500 $\mu\text{s/cm}$	6.5-9.5	<5.0 mg/l

Tabla 13: Cálculos estadísticos de algunos parámetros fisicoquímicos representativos.

Los valores de conductividad medidos en el acuífero de Arroyo Frío indican que sus aguas tienen una mineralización de ligera. Por otra parte, la dureza muestra valores entre 182 y 264 mg/l  $\text{CaCO}_3$ , por lo que se trata de aguas de dureza media. El total de sólidos disueltos (TDS) obtenido en las muestras analizadas ha sido más bien bajo, tal y como era de esperar según la mineralización y la dureza obtenidas. Los valores de TSD obtenidos están entre 298 y 399 mg/l, estas son concentraciones aceptables para el paladar.

El resto de componentes hidroquímicos medidos presentan concentraciones habituales en aguas subterráneas naturales, por lo que no hay nada reseñable. El contenido en nitratos es de 1 mg/l y los contenidos en nitritos, amonio y fosfatos han sido imperceptibles, por lo que tampoco se observan indicios de contaminación. Según estos resultados se podría decir que las aguas subterráneas de este acuífero presentan una buena calidad.

#### 6.1.14 Acuífero Escamas de Aguascebas

##### 6.1.14.1 Descripción general

Los materiales que lo conforman son las calizas y dolomías del Jurásico de la formación Chorro. Estas presentan potencias mínimas del orden de 200 m y, en conjunto, ocupan una extensión de aproximadamente 30 km<sup>2</sup>.

El acuífero se estructura en un complejo sistema de escamas imbricadas, que superponen los carbonatos de la Formación Chorro sobre las arcillas del Cretácico. El edificio tectónico así definido presenta una directriz general N30E y buzamientos internos de 20° a 40° al este. Este acuífero está superpuesto al acuífero Escamas Inferiores, perteneciente también al mismo sector, y separado de éste por un nivel continuo de margas cretácicas.

Se dispone de datos hidrodinámicos de este acuífero obtenidos en ensayos de bombeo realizados por el IGME en algunos sondeos. Los datos obtenidos muestran transmisividades

bajas ( $50 \text{ m}^2/\text{d}$  en el sondeo El Alemán 1 y  $19 \text{ m}^2/\text{d}$  en el sondeo Aguascebas 1) y coeficientes de almacenamiento propios de acuíferos confinados y semiconfinados ( $5,21 \times 10^{-4}$  y  $13,09 \times 10^{-3}$  en los mismos sondeos anteriores). Estos datos son habituales en las formaciones carbonatadas en las que los procesos kársticos han tenido un escaso desarrollo, y la circulación subterránea tiene lugar, preferentemente, a través de discontinuidades menores y, ocasionalmente, por conductos de mayor tamaño.

La alimentación del acuífero se produce por infiltración de la precipitación y se puede estimar, aplicando un porcentaje de infiltración del 45% de la precipitación media ( $800 \text{ mm/año}$ ) sobre sus afloramientos ( $70 \text{ km}^2$ ), en unos  $25 \text{ hm}^3/\text{año}$  (Según información extrapolada del Atlas Hidrogeológico de la provincia de Jaén y de análisis GIS realizados en este trabajo).

Las salidas corresponderían, por un lado, a las de carácter natural por los manantiales y bombeos en sondeos y, por otro, a salidas ocultas o difusas en cauces a la salida de los afloramientos permeables. Estos cauces son, principalmente los ríos Aguascebas y Cañamares. Según estudios realizados por el IGME (PAIH 2001) respecto a balance de este acuífero, las salidas podrían estar comprendidas entre unos  $16$  y  $23 \text{ hm}^3/\text{año}$ , lo que concuerda, aproximadamente, con el cálculo de entradas realizado en este trabajo.

Según se contempla en el PAIH, respecto al nivel piezométrico en este acuífero, la complejidad estructural y la amplia extensión de algunas láminas tectónicas, permiten definir tres sectores hidráulicos: septentrional, área drenada por el río Guadalquivir y sector central-meridional. Cada una de estas áreas están fraccionadas por los niveles poco permeables del Cretácico, configurando una estructura multicapa con potenciales hidráulicos independientes.

El sector septentrional es el de menor extensión y se asocia a una serie de escamas que drenan a la cabecera del río Beas, entre los  $850$  y los  $1.100 \text{ m}$ , por varios manantiales de  $10$  a  $15 \text{ l/s}$  de caudal ( $223550015$ ,  $223550039$ ,  $223550048$ , entre otros); su límite con el sector drenado por el río Guadalquivir, localizado inmediatamente al sur, debe corresponder a una barrera impermeable, ya que en este último se localizan una serie de salidas difusas al cauce, entre los  $650$  y  $520 \text{ m}$  de cota, con un importante salto respecto a la posición del nivel piezométrico en el primero. Hacia el sur, los principales afloramientos permeables tienen continuidad cartográfica con el sector central-meridional, y entre ambos debe existir una serie de divisorias hidrogeológicas en cada una de las escamas, delimitando las áreas vertientes a cada zona de drenaje. En este último sector las salidas se concentran en las inmediaciones de los cauces Aguascebas y Cañamares, entre las cotas  $1.230 \text{ m}$  a  $780 \text{ m}$ .

En los sondeos cercanos existentes en las cercanías del embalse de Aguascebas, a pesar de su proximidad, reflejan importantes saltos en la cota del nivel piezométrico, que varía desde los  $1.098 \text{ m}$  en el punto  $213680032$ , a los  $1.026$  en el  $213870057$ .

#### 6.1.14.2 Características fisicoquímicas del agua

Existen datos históricos de análisis de agua procedente de manantiales que drenan el acuífero y de cauces que circulan sobre el mismo. En total son  $15$  muestras de agua (de la muestra  $12$  a

la 26), recogidas en distintas fechas en 11 puntos de agua diferentes. Cinco de las muestras de agua analizadas (de la 22 a la 26) son aguas recogidas en cauces superficiales (n<sup>os</sup> IGME 21367GAE, 21368GAD y 22355GMA) que circulan sobre el acuífero, mientras que el resto de muestras analizadas son aguas de manantiales. Una de las muestras, concretamente la 19, fue recogida en febrero de 2018, por lo que contamos con análisis recientes. Los análisis se incluyen en el anexo correspondiente de esta Memoria Resumen.

Los valores de los cationes y aniones principales se han representado en un diagrama de Piper (Figura 32).

En general, las aguas analizadas presentan facies de bicarbonatadas cálcicas a magnésicas con variaciones intermedias cálcico-magnésicas y magnésico-cálcicas, a excepción de la muestra 17 que tiene una composición sulfatada cálcico-magnésica. Dicha muestra presenta contenidos de sulfatos especialmente altos con respecto al resto, aunque teniendo en cuenta la situación del punto donde fue tomada la muestra 17 (manantial 213640015), la presencia de dichas sales podría ser de origen natural.

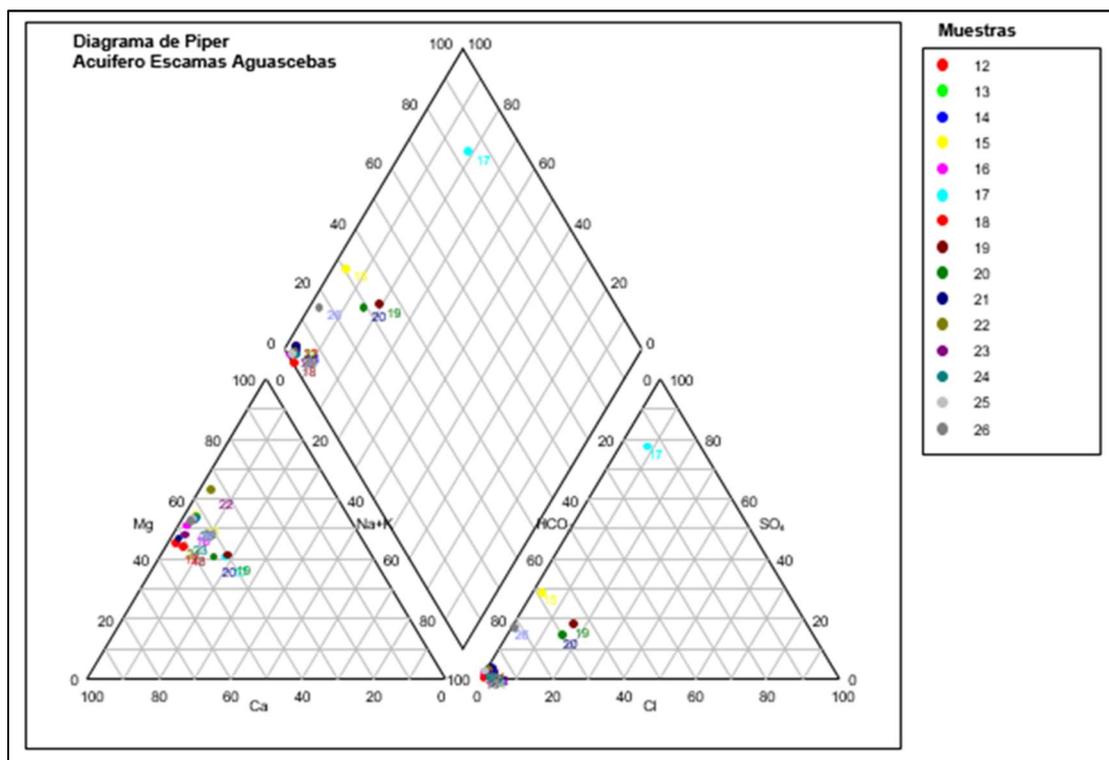


Figura 32: Diagrama de Piper para el acuífero Escamas de Aguascebas

El resto de muestras están por debajo del límite marcado por el R.D. 140/2003, con valores comprendidos entre 2 y 86 mg/l. as concentraciones de fosfatos analizadas en este acuífero han sido indetectables. Respecto a los compuestos nitrogenados, tampoco se ha detectado concentraciones de amonio y nitrito, sin embargo, el contenido en nitratos obtenido si ha sido significativo. El contenido medio de nitratos del acuífero es de 19 mg/l. Todas las muestras están por debajo de 50 mg/l (límite establecido para el consumo humano), excepto la muestra 17

(213640015) que tiene una concentración de 130 mg/l. Las muestras 15 (213640008) y 19 (213730038), aunque no llegan a superar el valor límite establecido, también tienen concentraciones significativas de nitratos, 43 y 46 mg/l respectivamente. Esto nos puede estar alertando de la existencia de contaminación, es decir, probablemente no todas las sales disueltas en el agua de estos manantiales sean de origen natural, sino que parte de ellas pueden deberse a un aporte adicional de origen antrópico.

El contenido en sílice, en general es bajo, siendo la concentración media de 8 mg/l. Sin embargo, de nuevo, la muestra 17 se sale de la norma general y tiene un contenido en sílice por encima de la media, concretamente tiene una concentración de 62 mg/l. La sílice no se considera un parámetro indicativo de contaminación, aunque podría formar incrustaciones y es recomendable controlar este parámetro.

El total de sólidos disueltos (TDS) medio en este acuífero es de 529 mg/l. Los valores de las muestras analizadas varían desde un mínimo de 251mg/l hasta un máximo de 2066 mg/l que, como es de esperar, corresponde a la muestra 17. Concentraciones superiores a 1.000 mg/l de TDS pueden dar un sabor desagradable al agua. En concordancia con los altos contenidos de sustancias disueltas obtenidos en la muestra 17, la conductividad de esta muestra también corresponde con el valor máximo, superando el límite paramétrico (2.500  $\mu$ S/cm) que establecen los criterios sanitarios de calidad del agua de consumo humano (R.D. 140/2003). El resto de muestras del sector de Aguascebas presentan conductividades de entre 876 y 299  $\mu$ S/cm, por lo que se encuentran por debajo del citado valor límite.

Los valores de oxidabilidad y pH obtenidos para todas las muestras analizadas en este acuífero pueden considerarse como valores normales en aguas subterráneas y aceptables para el consumo humano, según los límites paramétricos establecidos (R.D. 140/2003).

Por otra parte, la según la dureza obtenida, con valores de entre 165 y 444 mg/l  $\text{CaCO}_3$ , la mayoría de las aguas tienen durezas medias llegando en algunos casos a duras. Puntualmente, la muestra 17 alcanza el valor máximo de dureza detectado, 1.214 mg/l  $\text{CaCO}_3$ . Se trata de un agua de tipo muy duro no aconsejable para consumo, para el cual se recomienda aplicar procesos de ablandamiento.

Se puede considerar que el agua de esta zona en general presenta un buen estado, aunque de forma excepcional en punto de agua 213640015 (muestra 17) se han detectado aguas de mala calidad, que resultan no potables debido a su alta conductividad, dureza, contenidos en sulfatos y en nitratos.

## 6.2 BALANCE DE LOS ACUÍFEROS EXPLOTADOS PARA ABASTECIMIENTO

Los datos de balance que se indican en cuadro nº 7 se han recopilado de estudios previos y no pretenden dar valores absolutos, sino órdenes de magnitud, y por lo tanto una aproximación al volumen de recursos hídricos disponibles.

Cuadro 7: Cuadro resumen de los balances hidrogeológicos de los acuíferos implicados en el abastecimiento

MASb <sup>(1)</sup>	SUP. PERM. (km <sup>2</sup> )	ENTRADAS (hm <sup>3</sup> /año) TOT	SALIDAS (hm <sup>3</sup> /año)						ACUÍFERO <sup>(2)</sup>	SUP <sup>(3)</sup> . PERM. (km <sup>2</sup> )	ENTRADAS (hm <sup>3</sup> /año)	SALIDAS (hm <sup>3</sup> /año)				MUNICIPIO ABASTECIDO
			B	M	DR	DS	OT	TOT				SA	M	DF/NC	TOT	
050.100 "Sierra de Cazorla"	1819,02	141	40,65	71,59	16	6	6,76	141	Béjar	8,5	5,25	0,7	4,55	5,25	La Iruela	
															Peal de Becerro	
															Quesada	
															¿Cazorla?	
															Chilluévar	
															La Iruela	
															Cazorla	
050.200 "Quesada-Castril"	1355,93	215	0,54	204,96				215	Arroyo Frío	8	3,55		1,6	1,95	3,55	La Iruela
																Cabañas-Gualay
																La Canal-Torre del Vinagre
																Sierra de Castril
052.000 "Almadén-Carluca"	63,95	6	0,29	5,71				15,5	Almadén	21,75	6,09	0,19	3,47	2,43	6,09	Cambil
052.100 "Sierra Mágina"	177,73	22	1,14	20,86				22	Sierra Mágina	56,83	17,9	0,6	15,8	1,53	17,9	Bélmez de la Moraleda
																Cambil
																Huelma

MASb <sup>(1)</sup>	SUP. PERM. (km <sup>2</sup> )	ENTRADAS (hm <sup>3</sup> /año) TOT	SALIDAS (hm <sup>3</sup> /año)						ACUÍFERO <sup>(2)</sup>	SUP <sup>(3)</sup> . PERM. (km <sup>2</sup> )	ENTRADAS (hm <sup>3</sup> /año)	SALIDAS (hm <sup>3</sup> /año)				MUNICIPIO ABASTECIDO
			B	M	DR	DS	OT	TOT				SA	M	DF/NC	TOT	
052.800 "Montes Orientales. Sector Norte"	767,39	42	8,33	25,18	8,49			42	Alta Coloma	35	10,8	0,9	15,1		16	Cambil
									Sierra del Trigo-Puerto Arenas	26	5,7		0,1	5,6	5,7	Campillo de Arenas
054.101 "Larva"	52,15	1,01	0,57	0,09	0,35			1,01	Calcarenítico de Larva	3,68	0,32	0,015		0,305	0,32	Larva
									Dolomítico de Larva	1,63	0,14	0,014		0,24	0,254	
054.102 "Cabra del Santo Cristo"	75,94	3,27	0,56	0,8	1,91			3,27	Cabra del Santo Cristo	12,76	3,27		0,81	2,46	3,27	Bélmez de la Moraleda
																Cabra del Santo Cristo
054.104 'Gante-Santerga-Chotos'	204,07	14,52	9,18	5,14		0,2		14,52	Gante-Chotos	10,63	14,52		0,86	13,66	14,52	Huelma

(1): Datos de la MASb según se recoge en el PHG (2015-21)  
(2): Acuíferos estudiados en este trabajo  
(3): Afloramientos permeables considerados en este trabajo  
B: Bombeos; M: Manantiales; DR: Drenaje a ríos; DS: Drenaje subterráneo; OT: Otros; TOT: Total; SA: Bombeo en sondeos de abastecimiento; DF/NC: Salidas difusas y/o no contabilizadas

Podemos destacar que en el caso de las MASb “Sierra de Cazorla” y, sobre todo, “Quesada-Castril, el significativo volumen anual de entradas para toda la MASb se reparte entre sus numerosos acuíferos por lo que, en los estudiados en este trabajo en relación con los abastecimientos urbanos disponen de unas entradas a todas luces más limitadas. No obstante, en ningún caso observamos escasez de recursos. Este reparto también se aprecia, aunque no con tanta significación en la MASb “Montes Orientales. Sector Norte”.

En el caso de la MASb “Larva” apreciamos una cierta discrepancia entre las entradas contempladas en el Plan Hidrológico del Guadalquivir (1,01 hm<sup>3</sup>/año) con las calculadas y argumentadas en trabajos anteriores del IGME y la Diputación Provincial de Jaén (0,46 hm<sup>3</sup>/año). Estos valores hacen que sea recomendable extremar la vigilancia sobre las extracciones y evolución de la piezometría en los dos acuíferos que constituyen la MASb.

En general los acuíferos captados para abastecimiento estudiados en este trabajo disponen de recursos medios anuales suficientes a efecto de balance hídrico para garantizar el abastecimiento de la población de los municipios implicados.

### 6.3 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE ALTERNATIVAS

En el cuadro nº 8 se resumen las principales características de los abastecimientos a los núcleos urbanos estudiados en esta fase, que totalizan una población de 45.798 habitantes, según datos del Instituto Nacional de Estadística para 2018.

Respecto al origen del abastecimiento de agua, una gran parte de la población abastecida, depende en mayor o menor medida de las aguas subterráneas. Esta dependencia es en algunos municipios testimonial, como es el caso en el momento actual, de Bélmez de la Moraleda.

De los municipios que realmente se abastecen mediante aguas subterráneas, lo hacen solamente desde manantiales, además del mencionado, Hinojares y Huesa que suman una población de 4.428 habitantes.

Otro grupo de municipios es el formado por Cazorla, Cabra del Santo Cristo, Cambil, La Iruela y Quesada. En estos, el suministro se basa principalmente en manantiales, pero con el apoyo de sondeos en porcentajes que se estiman en valores de entre el 14 y el 25%.

Los municipios en los que la dependencia de sondeos es total son los de Campillo de Arenas y Larva, en los que no hay manantiales incorporados al sistema de abastecimiento urbano. Además, contamos con los de Chilluevar, Huelma y Peal de Becerro en los que el abastecimiento desde sondeos supone un alto porcentaje, estimado entre el 83 y el 95%, aproximadamente.

En el resumen correspondiente de cada municipio se indica el estado del sector de acuífero explotado por las captaciones de agua subterránea en cuanto a la cantidad y calidad de sus recursos. Cuando es necesario, se sugieren posibles zonas para la ubicación de sondeos alternativos y/o complementarios al abastecimiento actual, ya sea con fines preventivos o para paliar problemas actuales o previsibles a corto plazo.

**Cuadro 8: Resumen de los abastecimientos**

MUNICIPIO	POBLACION RESIDENTE (2018)	DEMANDA BASE (m <sup>3</sup> /día)	CONSUMO BASE (m <sup>3</sup> /día)	CONSUMO ANUAL (m <sup>3</sup> /año)	ORIGEN DEL ABASTECIMIENTO							
					SONDEOS			MANANTIALES			SUPERFICIAL	
					Nº	Qmed (l/s)	%	Nº	Qmed (l/s)	%	Nº	%
Bélmez de la Moraleda	1.567	314	-	-	1	0	0%	4	10	60%	1	40%
Cabra del Santo Cristo	1.877	375	-	-	2	72	20%	1	19	80%	0	0%
Cambil	2.772	555	-	-	2	6,5	15%	2	15	85%	0	0%
Campillo de Arenas	1.784	357	384	140.290	3	10	100%	1	0	0%	0	0%
Cazorla	7.613	1.520	1.370	500.170	2	16	15%	2	20	85%	0	0%
Chilluévar	1.483	297	-	-	1	5	83%	0	0	0%	1	17%
Hinojares	334	67	-	-	0	0	0%	2	8	100%	0	0%
Huelma	5.845	1.360	2.527	922.245	8	25	90%	1	3	10%	0	0%
Huesa	2.527	505	474	173.149	0	0	0%	1	160	100%	0	0%
La Iruela	1.958	392	-	-	3	7	15%	13	43,5	85%	0	0%
Larva	486	97	79	29.000	2	7,5	100%	0	0	0%	0	0%
Peal de Becerro	5.290	1.058	-	-	3	45	95%	1	0,5	5%	0	0%
Pozo Alcón	4.708	942	4.110	1.500.000	0	0	0%	0	0	0%	2	100%
Quesada	5.400	1.080	-	-	1	10	15%	4	50	85%	0	0%
Santo Tomé	2.154	431	-	-	0	0	0%	0	0	0%	1	100%
TOTAL	45.798				28			32			5	

En el cuadro nº 9 se resumen las consideraciones sobre alternativas para la mejora del abastecimiento indicadas en los respectivos informes municipales. En algunos municipios, la cantidad y/o calidad del agua de abastecimiento no hace necesaria la propuesta de abastecimientos alternativos.

**Cuadro 9: Resumen las consideraciones sobre alternativas para la mejora del abastecimiento**

MUNICIPIO	ALTERNATIVAS
Bélmez de la Moraleda	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Instalar adecuadamente el sondeo Baltibañas.</li> <li>– Acondicionar la captación del río Gargantón.</li> </ul>
Cabra del Santo Cristo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– No se proponen.</li> </ul>
Cambil	<ul style="list-style-type: none"> <li>– No se proponen.</li> </ul>
Campillo de Arenas	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Acondicionar el manantial de Matarratones para su incorporación al abastecimiento en caso de necesidad.</li> </ul>
Cazorla	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Realizar un nuevo sondeo al oeste de Riogazas.</li> </ul>
Chilluévar	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Realizar un estudio para la perforación de un sondeo en los carbonatos próximos al Cañamares.</li> </ul>
Hinojares	<ul style="list-style-type: none"> <li>– No se proponen.</li> </ul>
Huelma	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Realizar un estudio hidrogeológico del acuífero captado por el sondeo El Chopo, para evaluar sus reservas y recursos y planificar la explotación del sondeo.</li> <li>– Mejorar el sistema de abastecimiento a la pedanía de Villacampo del Moral y tratar el agua para el consumo humano.</li> </ul>
Huesa	<ul style="list-style-type: none"> <li>– No se proponen.</li> </ul>
La Iruela	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Optimizar el sistema de abastecimiento con menos captaciones. Para ello es necesario realizar un estudio hidrogeológico encaminado a realizar un sondeo o sondeos que sustituyan algunas de las captaciones existentes.</li> </ul>
Larva	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Revisión y ordenación de las extracciones en ambos acuíferos tratando de adecuarlas a los recursos medios renovables.</li> <li>– Inclusión, en el sistema de abastecimiento a Larva de un sondeo actualmente existente próximo al de La Casería.</li> <li>– Realización de un sondeo en el sector Mioceno Oriental.</li> <li>– Captación del manantial Fuente del Pozuelo, localizado en el mencionado sector Mioceno Oriental.</li> <li>– Adecuación de la instalación existente desde el río Guadiana Menor hasta Larva para su inclusión en el sistema de abastecimiento.</li> <li>– Realización de un estudio que incluya los materiales de edad Mioceno localizados al norte de Larva.</li> </ul>
Peal de Becerro	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Evaluar el origen de la presencia de arenas en el sondeo El Chorro II y rediseñar el sistema de impulsión, si procede, para</li> </ul>

MUNICIPIO	ALTERNATIVAS
	incluirlo de manera regular en el abastecimiento y alternarlo con el sondeo El Chorro I.
Pozo Alcón	– Realizar un estudio hidrogeológico en el acuífero Cabañas-Gualay para determinar las posibilidades de complementar el abastecimiento al municipio con aguas subterráneas en épocas de sequía prolongada en las que el embalse de La Bolera tenga escasez de recursos.
Quesada	– No se proponen.
Santo Tomé	– Realizar los estudios hidrogeológicos necesarios encaminados a plantear alternativas para un eventual periodo de escasez de agua superficial.

## 7 FOCOS POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN

La localización de las actividades que pueden constituir focos potenciales de contaminación de las aguas subterráneas es importante para preservar la calidad química de los recursos explotados para abastecimiento a las poblaciones.

En este sentido se ha tenido en cuenta la incidencia de las actividades potencialmente contaminantes localizadas en los municipios estudiados en anteriores planes de control llevados a cabo por la Diputación Provincial y el IGME en el entorno de captaciones de abastecimiento municipal, analizando su situación respecto al acuífero y las captaciones de abastecimiento urbano y la tipología de los vertidos potencialmente contaminantes, para proceder a una mejor ordenación de estas actividades, de tal manera que no se presenten problemas de calidad en las captaciones municipales.

En cada municipio se han identificado los focos potenciales de contaminación, puntos de vertido de aguas residuales urbanas, vertederos de residuos sólidos urbanos e inertes, cementerios, granjas y actividades industriales con vertidos potencialmente contaminantes.

Los acuíferos carbonatados son especialmente sensibles a todo tipo de actividad contaminante, por su escaso poder autodepurador y la gran rapidez de transmisión de los posibles contaminantes, dada la naturaleza de estos acuíferos. En el presente estudio se han tratado acuíferos carbonatados de gran importancia, pertenecientes a distintas Masas de Agua Subterránea como las 050.100 “Sierra de Cazorla” y 050.200 “Quesada-Castril”. Sin embargo, la afección potencial sobre estos acuíferos será relativamente baja, dada la escasa importancia de las actividades que se llevan a cabo en estas zonas.

Las fuentes potenciales de contaminación de origen agrícola son especialmente significativas en el caso de acuíferos de naturaleza detrítica, ya que los componentes de los fertilizantes inorgánicos en exceso (que no absorben las plantas) y otros productos, se acumulan en los substratos superiores, percolando hasta niveles inferiores con los riegos o la llegada de las

lluvias. Se produce entonces una paulatina contaminación del acuífero, principalmente por el aumento de las concentraciones de nitratos. Este problema es especialmente grave en aquellas captaciones situadas en materiales detríticos cultivados.

## 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A modo de resumen, las principales conclusiones del estudio en esta fase del Plan de control se extractan en el cuadro nº 13. En los correspondientes informes municipales se hace un tratamiento más extenso de cada uno de los temas.

En el cuadro se indican:

- Datos de población, relativa a los datos del I.N.E., junto con las estimaciones municipales de población estacional que se añade a la residente, normalmente, en época estival.
- La capacidad de almacenamiento de los depósitos (m3).
- Se resumen las recomendaciones para la optimización de captaciones.
- La limitación de recursos para satisfacer la demanda desde el punto de vista de la cantidad y de la calidad.
- Los focos de contaminación que potencialmente suponen más riesgo para captaciones de abastecimiento público.
- Las alternativas de abastecimiento consideradas en los casos que pueden ser más necesarias.

Cuadro 10: Resumen de conclusiones y recomendaciones.

MUNICIPIO	POBLACIÓN ABASTECIDA		DEPÓSITOS (m <sup>3</sup> )	RECOMENDACIONES	LIMITACIÓN DE RECURSOS		FOCOS CONTAMINANTES		ALTERNATIVAS CAPTACIÓN
	Estable	Estacional			CANTIDAD	CALIDAD	Origen	Afección	
Bélmez de la Moraleda	1.567	200	1.702	<p>Acondicionar los manantiales de abastecimiento y llevar a cabo un control de los caudales drenados.</p> <p>Realizar la encuesta de Cuantificación de Volúmenes de Bombeo del sondeo Baltibañas cuando se encuentre operativo.</p> <p>Una vez realizadas las encuestas de cuantificación, recomendar, si es necesario las mejoras en la instalación del sondeo.</p> <p>Acondicionar la captación de agua en el río Gargantón para evitar el acceso libre y posibles focos puntuales de contaminación.</p>	No existe en condiciones normales	-	-	-	<p>Instalar adecuadamente el sondeo Baltibañas.</p> <p>Acondicionar la captación del río Gargantón.</p>
Cabra del Santo Cristo	1.877	300	3.040	<p>Llevar a cabo el seguimiento, al menos mensual, de los caudales bombeados para ambos usos (abastecimiento y riego)</p> <p>Instalar un sistema de medida de caudal en el manantial del Nacimiento y llevar a cabo su seguimiento.</p>	No existe en condiciones normales	-	-	-	No se proponen
Cambil	2.772	450	900	<p>Acondicionar los manantiales del Cortijo de Villanueva y Mata Bejid para monitorear el caudal drenado por los mismos.</p> <p>Realizar las encuestas de Cuantificación de Volúmenes de Bombeo de los sondeos Cambil y Los Mimbrales.</p> <p>Una vez realizadas las encuestas de cuantificación, recomendar, si es necesario las mejoras en la instalación de cada sondeo.</p>	En periodos de baja pluviometría	Alto contenido en sulfatos (Arbuniel)	-	-	No se proponen

MUNICIPIO	POBLACIÓN ABASTECIDA		DEPÓSITOS (m <sup>3</sup> )	RECOMENDACIONES	LIMITACIÓN DE RECURSOS		FOCOS CONTAMINANTES		ALTERNATIVAS CAPTACIÓN
	Estable	Estacional			CANTIDAD	CALIDAD	Origen	Afección	
				<p>Realizar un seguimiento de la calidad del agua procedente del sondeo Los Mimbres, y en caso de tener que usar este punto de captación, someter a tratamiento el agua para reducir el contenido en sulfatos.</p> <p>Llevar a cabo un seguimiento de la evolución del nivel, de los caudales bombeados y de las características fisicoquímicas de ambos sondeos.</p>					
Campillo de Arenas	1.784	273	9.000	<p>Realizar una testificación geofísica del sondeo Almendro Gordo.</p> <p>Instalar una tubería piezométrica en el sondeo de Almendro Gordo, llevar a cabo el seguimiento de la evolución del nivel piezométrico y realizar la encuesta de cuantificación.</p> <p>Acondicionar el manantial de Matarratones para tener acceso al mantenimiento de la captación y su posible puesta en marcha en caso de avería del sondeo Almendro Gordo.</p> <p>Instalar contadores volumétricos para conocer los caudales captados.</p> <p>Depurar las ARU del municipio antes de su vertido al río Campillo.</p>	No existe en condiciones normales	Alto contenido en sulfatos	A.R.U.	Alta	Incluir el manantial de Matarratones en el sistema de abastecimiento
Cazorla	7.613	2.500	3.036	<p>Realizar las encuestas de cuantificación de bombeos de los dos sondeos.</p> <p>Una vez realizadas las encuestas de cuantificación evaluar y rediseñar, si procede, la instalación de los sondeos.</p>	Escasez en periodos de afluencia de visitantes	-	-	-	Realizar un nuevo sondeo al oeste de Riogazas.

MUNICIPIO	POBLACIÓN ABASTECIDA		DEPÓSITOS (m <sup>3</sup> )	RECOMENDACIONES	LIMITACIÓN DE RECURSOS		FOCOS CONTAMINANTES		ALTERNATIVAS CAPTACIÓN
	Estable	Estacional			CANTIDAD	CALIDAD	Origen	Afección	
				Llevar a cabo un seguimiento de la evolución del nivel, de los caudales bombeados de los sondeos y de las características fisicoquímicas de sondeos y manantiales. ----- Instalar contadores volumétricos en las captaciones de los manantiales.					
Chilluévar	1.483	100	465	Determinar el estado y tipo de instalación del sondeo Los Vilchites para evaluar el estado del mismo. ----- Una vez evaluado el sondeo, realizar la encuesta de cuantificación, si se puede, y rediseñar, si procede, la instalación del sondeo. ----- Llevar a cabo un seguimiento de la evolución del nivel, de los caudales bombeados y de las características fisicoquímicas del sondeo. ----- Realizar un estudio para la perforación de un sondeo en los carbonatos próximos al Cañamares.	No existe en condiciones normales	-	-	-	Sondeo en los carbonatos próximos al Cañamares
Hinojares	334	250	160	Aumentar la capacidad de almacenamiento si la demanda real lo justifica. ----- Acondicionar los manantiales de abastecimiento para poder medir el caudal drenado y llevar a cabo su seguimiento. ----- Controlar la evolución de la calidad del agua de los manantiales Puente de la Cerrada y Siete Fuentes. ----- Llevar a cabo un estudio para determinar el origen del manantial del Puente de la Cerrada y evaluar los recursos del mismo para tomar las medidas correspondientes.	No existe en condiciones normales	Alto contenido en sulfatos del manantial del Puente de la Cerrada	-	-	No se proponen

MUNICIPIO	POBLACIÓN ABASTECIDA		DEPÓSITOS (m <sup>3</sup> )	RECOMENDACIONES	LIMITACIÓN DE RECURSOS		FOCOS CONTAMINANTES		ALTERNATIVAS CAPTACIÓN
	Estable	Estacional			CANTIDAD	CALIDAD	Origen	Afección	
Huelma	5.845	450	2.420	<p>Realizar un estudio hidrogeológico del acuífero captado por el sondeo El Chopo.</p> <p>Reacondicionar los sondeos de abastecimiento para poder tomar medidas de caudal captado y nivel piezométrico en cada uno de ellos.</p> <p>Realizar la encuesta de Cuantificación de Volúmenes de Bombeo de cada uno de los sondeos operativos.</p> <p>Una vez realizadas las encuestas de cuantificación, recomendar, si es necesario las mejoras en las instalaciones de los sondeos.</p> <p>Poner en funcionamiento, periódicamente, el sondeo Las Cabritas o Cueva Mosa.</p> <p>Depurar las aguas residuales de Solera.</p> <p>Mejorar el sistema de abastecimiento a la pedanía de Villacampo del Moral y tratar el agua para el consumo humano.</p> <p>De acuerdo con los volúmenes consumidos durante el año 2018 (suministrados por el Servicio Municipal de Aguas), se recomienda disminuir el consumo de agua en toda la población.</p>	No existe en condiciones normales	-	-	-	Sondeo para abastecimiento a Villacampo del Moral
Huesa	2.527	25	1.482	<p>Acondicionar el manantial de abastecimiento para poder medir el caudal drenado y llevar a cabo su seguimiento.</p> <p>Depurar las aguas residuales del municipio antes de su vertido al a arroyo.</p>	No existe en condiciones normales	-	-	-	No se proponen
La Iruela	1.958	3.850	3.500	Optimizar el sistema de abastecimiento con menos captaciones. Para ello es necesario realizar un		-			

MUNICIPIO	POBLACIÓN ABASTECIDA		DEPÓSITOS (m <sup>3</sup> )	RECOMENDACIONES	LIMITACIÓN DE RECURSOS		FOCOS CONTAMINANTES		ALTERNATIVAS CAPTACIÓN
	Estable	Estacional			CANTIDAD	CALIDAD	Origen	Afección	
				<p>estudio hidrogeológico encaminado a realizar un sondeo o sondeos que sustituyan algunas de las captaciones existentes.</p> <p>Realizar las encuestas de cuantificación de bombeos de los tres sondeos, por su aportación al sistema de abastecimiento y para optimizar el rendimiento de los mismos. Es especialmente necesario evaluar el sondeo Carrasquea (213730054) por la poca información disponible del mismo y por el elevado contenido de sodio en el agua, que puede provocar problemas de calidad en el futuro.</p> <p>Una vez realizadas las encuestas de cuantificación evaluar y rediseñar, si procede, la instalación de los sondeos.</p> <p>Llevar a cabo un seguimiento de la evolución del nivel, de los caudales bombeados de los sondeos y de las características fisicoquímicas de sondeos y manantiales.</p> <p>Instalar contadores volumétricos en las captaciones de los manantiales para conocer y controlar el volumen captado en cada uno de ellos.</p>	Escasez en periodos de afluencia de visitantes		Casco urbano y carretera	Elevada	<p>Sondeo o sondeos que sustituyan captaciones.</p> <p>Sondeo en los carbonatos próximos al Cañamares</p>
Larva	486	100	725	<p>Revisión y ordenación de las extracciones en ambos acuíferos tratando de adecuarlas a los recursos medios renovables.</p> <p>Inclusión, en el sistema de abastecimiento a Larva de un sondeo actualmente existente próximo al de La Casería.</p>	Problemas por explotación intensiva de los	Alto contenido en	-	-	Sondeo en el acuífero Calcarenítico

MUNICIPIO	POBLACIÓN ABASTECIDA		DEPÓSITOS (m <sup>3</sup> )	RECOMENDACIONES	LIMITACIÓN DE RECURSOS		FOCOS CONTAMINANTES		ALTERNATIVAS CAPTACIÓN
	Estable	Estacional			CANTIDAD	CALIDAD	Origen	Afección	
				<p>Realización de un sondeo en el sector Mioceno Oriental.</p> <p>-----</p> <p>Captación del manantial Fuente del Pozuelo, localizado en el mencionado sector Mioceno Oriental.</p> <p>-----</p> <p>Adecuación de la instalación existente desde el río Guadiana Menor hasta Larva para su inclusión en el sistema de abastecimiento.</p> <p>-----</p> <p>Realización de un estudio que incluya los materiales de edad Mioceno localizados al norte de Larva.</p>	acuíferos captados para abastecimiento	sulfatos, entre otros.			Incorporación al sistema de abastecimiento de la captación existente en el río Guadiana Menor
Peal de Becerro	5.290	650	3.500	<p>Realizar las encuestas de cuantificación de bombeos de los dos sondeos. Para ello habrá que disponer de hidroniveles adecuados para la medida de nivel en los sondeos, además de instalar una tubería piezométrica en el sondeo de La Majuela.</p> <p>-----</p> <p>Una vez realizadas las encuestas de cuantificación evaluar y rediseñar, si procede, la instalación de los sondeos.</p> <p>-----</p> <p>Llevar a cabo un seguimiento de la evolución del nivel, de los caudales bombeados de los sondeos y de las características fisicoquímicas de sondeos y manantiales.</p> <p>-----</p> <p>Evaluar el origen de la presencia de arenas en el sondeo El Chorro II y rediseñar el sistema de impulsión, si procede, para incluirlo de manera</p>	No existe en condiciones normales	-	-	-	No se proponen

MUNICIPIO	POBLACIÓN ABASTECIDA		DEPÓSITOS (m <sup>3</sup> )	RECOMENDACIONES	LIMITACIÓN DE RECURSOS		FOCOS CONTAMINANTES		ALTERNATIVAS CAPTACIÓN
	Estable	Estacional			CANTIDAD	CALIDAD	Origen	Afección	
				regular en el abastecimiento y alternarlo con el sondeo El Chorro I.					
Pozo Alcón	4.708	750	1.816	Realizar un estudio hidrogeológico en el acuífero Cabañas-Gualay para determinar las posibilidades de complementar el abastecimiento al municipio con aguas subterráneas en épocas de sequía. Determinar el origen del exceso de consumo en el municipio.	No existe en condiciones normales	-	-	-	No se proponen
Quesada	5.400	700	2.488	Realizar las encuestas de cuantificación de bombeos del sondeo El Hoyazo. Una vez realizadas las encuestas de cuantificación evaluar y rediseñar, si procede, la instalación del sondeo. Llevar a cabo un seguimiento de la evolución del nivel, de los caudales bombeados del sondeo y de las características fisicoquímicas de sondeo y manantiales. Acondicionar los manantiales de abastecimiento para poder medir el caudal drenado y llevar a cabo su seguimiento.	No existe en condiciones normales	-	-	-	No se proponen
Santo Tomé	2.154	250	750	Dada la escasa información actual sobre el abastecimiento no se pueden recomendar actuaciones. No obstante, se debería tener en cuenta la posibilidad de realizar los estudios hidrogeológicos necesarios encaminados a plantear alternativas para un eventual periodo de escasez de agua superficial.	-	-	-	-	No se proponen



ANEJOS

## A.1. – ANÁLISIS QUÍMICOS

## Resultados analíticos

Nº IGME	FECHA	Muestra	Oxidabilidad (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	CO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	pH	Conductividad (µS/cm)	NO2 (mg/l)	NH4 (mg/l)	PO4 (mg/l)	SiO2 (mg/l)	TSD (mg/l)	Dureza
213630005	01/05/1994	1	0,80	9	17	340	0	25	1	33	72	1	7,80	511	0,10	0,00	0,00	5,0	503,0	315,6
213670039	10/04/1992	2	0,20	5	35	343	15	4	2	34	84	1	7,60	555	0,01	0,05	0,15	5,2	528,2	349,7
213670039	17/07/1991	3	0,00	3	39	283	16	3	1	38	63	1	7,80	493	0,00	0,05	0,00	5,0	452,0	313,8
213670046	06/05/2018	4	1,00	9	3	398	0	3	2	36	76	0	7,45	534	0,00	0,00	0,00	4,7	531,7	338,0
213670046	28/09/2006	5	0,60	3	22	191	0	3	2	31	25	0	7,60	380	0,00	0,00	0,00	5,3	282,3	190,1
213730036	26/02/2018	6	0,70	9	25	418	0	18	12	42	80	1	7,60	660	0,00	0,00	0,00	6,8	611,8	372,7
213730036	28/06/2006	7	0,60	9	13	410	0	16	10	42	79	1	7,50	643	0,00	0,00	0,00	6,9	586,9	370,2
213730037	26/02/2018	8	0,80	40	110	400	0	50	36	52	107	2	7,51	882	0,00	0,00	0,00	8,0	805,0	481,3
213730037	28/06/2006	9	0,50	2	13	374	0	4	4	38	70	0	7,20	570	0,00	0,00	0,00	5,4	510,4	331,2
213730049	26/02/2018	10	0,60	3	5	408	0	5	5	37	75	0	7,47	590	0,00	0,00	0,00	5,1	543,1	339,6
21373C/A	02/10/1996	11	0,50	10	13	300	0	2	5	29	64	1	7,80	438	0,00	0,00	0,00	7,2	431,2	279,19
213580015	10/02/2001	12	1,30	6	10	392	0	11	2	41	78	0	7,50	560	0,00	0,00	0,00	4,2	544,2	363,56
213580015	22/08/1996	13	0,80	3	8	352	0	8	2	42	58	1	8,00	567	0,00	0,00	0,00	5,3	479,3	317,76
213640005	27/02/1997	14	1,20	3	4	189	5	1	2	24	32	0	8,30	340	0,00	0,00	0,00	1,1	261,1	178,73
213640008	29/08/1996	15	0,40	5	79	228	0	43	3	44	56	1	8,00	569	0,00	0,00	0,00	7,4	466,4	321,01
213640010	28/08/1996	16	0,50	0	6	264	7	1	1	31	46	1	8,20	446	0,00	0,00	0,00	4,1	361,1	242,50
213640015	29/08/1996	17	1,60	77	1050	236	0	130	111	148	242	10	8,00	3741	0,00	0,00	0,00	62,0	2066,0	1213,64
213670018	28/08/1996	18	0,40	1	3	249	0	3	3	24	45	1	8,00	436	0,00	0,00	0,00	3,7	332,7	211,17
213730038	26/02/2018	19	0,90	57	86	370	0	46	42	55	86	3	7,69	876	0,00	0,00	0,00	10,8	755,8	441,20
213730038	28/06/2006	20	0,60	51	68	388	0	39	32	52	92	2	7,20	805	0,00	0,00	0,00	11,3	735,3	443,82
223610002	04/09/1996	21	0,40	3	13	371	5	1	1	36	64	1	8,20	513	0,00	0,00	0,00	1,6	496,6	308,03
21367GAE	10/06/1997	22	1,40	2	4	215	0	0	2	23	38	0	8,10	299	0,00	0,00	0,00	2,0	286,0	189,58
21367GAE	27/02/1997	23	1,30	3	2	184	4	1	2	23	30	0	8,40	336	0,00	0,00	0,00	1,8	250,8	169,62
21367GAE	28/08/1996	24	0,80	1	6	201	7	0	1	26	23	1	8,40	311	0,00	0,00	0,00	5,2	271,2	164,50
21368GAD	28/08/1996	25	0,70	0	6	214	6	1	1	25	34	1	8,30	350	0,00	0,00	0,00	3,2	291,2	187,84
22355GMA	22/08/1996	26	0,40	1	37	214	8	1	1	30	42	1	8,20	405	0,00	0,00	0,00	2,8	337,8	228,40
213730027	23/02/2018	27	1,00	3	2	360	0	11	3	34	66	0	7,68	517	0,00	0,00	0,00	3,7	482,7	304,78
213730027	19/01/2006	28	1,30	6	5	392	0	18	3	43	73	0	8,10	550	0,00	0,00	0,00	3,9	543,9	359,32

## Resultados analíticos

N° IGME	FECHA	Muestra	Oxidabilidad (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	CO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	pH	Conductividad (µS/cm)	NO2 (mg/l)	NH4 (mg/l)	PO4 (mg/l)	SiO2 (mg/l)	TSD (mg/l)	Dureza
213730054	26/02/2018	29	0,70	2	6	480	0	8	143	14	24	2	7,93	617	0,00	0,00	0,00	9,9	688,9	117,57
213760002	24/04/2018	30	0,60	11	9	349	0	8	3	21	90	0	7,28	510	0,00	0,00	0,00	4,7	495,7	311,14
213760008	15/06/2006	31	0,40	2	40	201	0	4	0	22	45	0	7,50	355	0,00	0,00	0,00	3,5	317,5	202,94
213770001	24/04/2018	32	0,90	8	12	236	0	2	0	20	53	0	7,67	372	0,00	0,00	0,00	2,2	333,2	214,67
213770001	15/06/2006	33	0,60	2	38	264	0	4	0	25	59	0	7,40	434	0,00	0,00	0,00	2,8	394,8	250,24
213770001	02/06/1997	34	2,20	3	10	162	5	1	2	20	31	0	8,30	268	0,21	0,00	0,00	2,1	236,1	159,75
213770001	13/02/1997	35	1,30	3	15	260	0	1	2	23	60	0	7,90	405	0,00	0,00	0,00	3,1	367,1	244,50
213770001	10/09/1996	36	0,70	2	27	270	8	2	1	27	65	1	8,20	430	0,00	0,00	0,00	3,5	406,5	273,45
213770001	06/01/1991	37	0,00	6	28	275	0	0	2	21	55	0	7,60	402	0,00	0,00	0,00	0,0	387,0	223,78
213770001	11/07/1990	38	0,00	6	25	282	0	0	3	32	50	1	7,30	431	0,00	0,00	0,00	0,0	399,0	256,61
213770001	08/06/1990	39	0,00	5	24	290	0	0	2	28	46	1	7,60	435	0,00	0,00	0,00	0,0	396,0	230,15
213770001	07/05/1990	40	0,00	6	20	282	0	0	3	28	52	1	7,80	404	0,00	0,00	0,00	0,0	392,0	245,12
213770001	25/04/1990	41	0,00	5	22	275	0	0	3	29	52	1	7,60	419	0,00	0,00	0,00	0,0	387,0	249,24
213770001	09/01/1990	42	0,00	7	16	313	0	0	3	22	60	1		404	0,00	0,00	0,00	0,0	422,0	240,38
213770001	02/02/1989	43	0,00	9	0	236	0	0	0	28	32	0		435	0,00	0,00	0,00	0,0	305,0	195,20
213770008	24/04/2018	44	0,60	8	6	300	0	6	2	23	68	0	7,38	450	0,00	0,00	0,00	5,2	418,2	264,46
213770008	10/09/1996	45	0,60	3	17	310	0	10	2	25	73	1	8,10	442	0,00	0,00	0,00	6,4	447,4	285,18
213770010	06/10/1997	46	0,60	3	9	300	0	1	3	18	73	0	7,90	445	0,00	0,00	0,00	4,0	411,0	256,35
213770017	24/04/2018	47	0,90	9	5	272	0	1	2	20	63	0	7,63	405	0,00	0,00	0,00	4,2	376,2	239,63
213770017	15/06/2006	48	0,40	3	27	264	0	4	2	23	57	0	7,50	437	0,00	0,00	0,00	4,7	384,7	237,01
213770017	13/02/1997	49	1,70	6	12	284	0	0	3	20	68	0	7,70	475	0,00	0,00	0,00	4,8	397,8	252,11
213770053	08/05/2018	50	0,80	10	5	317	0	1	3	21	77	0	7,55	470	0,00	0,00	0,00	4,6	438,6	278,69
213770058	24/04/2018	51	1,10	10	5	276	0	1	2	21	65	0	7,69	408	0,00	0,00	0,00	4,3	384,3	248,74
213770060	23/02/2018	52	0,60	2	10	320	0	3	4	34	49	1	7,73	445	0,00	0,00	0,00	7,5	430,5	262,35
213830004	17/04/2018	53	0,80	7	2	287	0	1	0	22	65	0	7,58	437	0,00	0,00	0,00	3,2	387,2	252,86
213830004	03/06/1997	54	1,00	3	12	222	0	1	2	21	48	0	8,00	333	0,00	0,00	0,00	3,5	312,5	206,31
213830004	14/02/1997	55	1,70	3	8	220	0	1	2	21	46	0	7,90	358	0,00	0,00	0,00	3,6	304,6	201,31
213830004	10/09/1996	56	0,70	3	14	263	0	3	1	22	60	1	8,10	399	0,00	0,00	0,00	4,9	371,9	240,38

## Resultados analíticos

N° IGME	FECHA	Muestra	Oxidabilidad (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	CO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	pH	Conductividad (µS/cm)	NO2 (mg/l)	NH4 (mg/l)	PO4 (mg/l)	SiO2 (mg/l)	TSD (mg/l)	Dureza
213830004	06/01/1991	57	0,00	4	17	275	0	0	27	20	54	1	7,90	388	0,00	0,00	0,00	0,0	398,0	217,16
213830004	07/11/1990	58	0,00	0	22	213	0	0	4	26	31	1	7,70	416	0,00	0,00	0,00	0,0	297,0	184,47
213830004	23/10/1990	59	0,00	0	22	297	0	0	3	25	52	1	7,60	425	0,00	0,00	0,00	0,0	400,0	232,77
213830004	13/09/1990	60	0,00	5	17	290	0	0	3	32	48	1	7,10	419	0,00	0,00	0,00	0,0	396,0	251,61
213830004	11/07/1990	61	0,00	5	13	259	0	0	3	32	40	1	7,80	414	0,00	0,00	0,00	0,0	353,0	231,65
213830004	08/06/1990	62	0,00	5	15	275	0	0	2	25	46	1	7,70	403	0,00	0,00	0,00	0,0	369,0	217,79
213830004	07/05/1990	63	0,00	9	13	259	0	0	4	26	48	1	7,70	380	0,00	0,00	0,00	0,0	360,0	226,90
213830004	25/04/1990	64	0,00	7	13	275	0	0	4	24	56	1	7,80	391	0,00	0,00	0,00	0,0	380,0	238,63
213830004	07/03/1990	65	0,00	5	24	267	0	0	3	22	60	1	7,70	395	0,00	0,00	0,00	0,0	382,0	240,38
213830004	09/01/1990	66	0,00	7	12	305	0	0	4	24	56	1		398	0,00	0,00	0,00	0,0	409,0	238,63
213830004	10/10/1989	67	0,00	7	15	273	0	0	6	22	56	0		445	0,00	0,00	0,00	0,0	379,0	230,39
213830009	10/09/1996	68	0,70	4	11	330	0	2	4	32	65	1	8,10	477	0,00	0,00	0,00	5,2	454,2	294,05
213830010	17/04/2018	69	1,20	9	3	288	0	0	0	20	67	0	7,56	416	0,00	0,00	0,00	2,7	389,7	249,61
213830010	10/09/1996	70	0,80	3	14	268	0	3	2	24	59	1	8,00	423	0,00	0,00	0,00	8,7	382,7	246,12
213730001	23/02/2018	71	0,80	2	1	267	0	2	3	18	60	0	7,76	411	0,00	0,00	0,00	2,6	355,6	223,90
213730001	19/01/2006	72	0,50	11	20	238	7	3	7	21	60	0	8,60	405	0,00	0,00	0,00	2,3	369,5	236,26
213730040	23/02/2018	73	0,80	12	18	340	0	15	13	28	77	2	7,81	569	0,00	0,00	0,00	12,4	517,4	307,52
213730040	19/01/2006	74	0,80	13	30	414	0	14	10	34	102	1	7,80	627	0,00	0,00	0,19	13,9	631,9	394,64
213730044	23/02/2018	75	0,70	3	6	330	0	1	3	34	58	0	7,79	504	0,00	0,00	0,00	3,1	438,1	284,81
213730044	19/01/2006	76	0,60	6	19	295	7	1	3	32	63	0	8,50	464	0,00	0,00	0,00	3,4	429,6	289,05
213770014	15/02/2018	77	0,90	1	10	220	0	3	0	15	51	0	7,79	353	0,00	0,00	0,00	1,6	301,6	189,08
213770014	11/09/1996	78	0,80	3	14	330	0	3	1	26	72	1	8,00	448	0,00	0,00	0,00	6,6	456,6	286,80
213770015	11/09/1996	79	0,40	3	11	331	9	1	1	31	66	1	8,20	468	0,00	0,00	0,00	6,6	460,6	292,42
213770016	15/02/2018	80	0,80	1	10	218	0	4	0	14	51	0	7,78	348	0,00	0,00	0,00	1,6	299,6	184,96
213770016	02/02/2006	81	0,50	5	8	241	0	3	0	20	55	0	8,10	371	0,00	0,00	0,00	2,1	334,1	219,66
213770016	02/02/2006	82	0,50	5	8	241	0	3	0	20	55	0	8,10	371	0,00	0,00	0,00	2,1	334,1	219,66
213770016	13/06/1997	83	1,90	3	10	200	0	0	3	15	48	0	7,90	307	0,00	0,00	0,00	2,1	281,1	181,59
213770016	20/02/1997	84	0,80	4	16	175	0	2	2	19	38	0	8,10	357	0,00	0,00	0,00	2,1	258,1	173,11

## Resultados analíticos

N° IGME	FECHA	Muestra	Oxidabilidad (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	CO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	pH	Conductividad (µS/cm)	NO2 (mg/l)	NH4 (mg/l)	PO4 (mg/l)	SiO2 (mg/l)	TSD (mg/l)	Dureza
213770016	11/09/1996	85	0,60	2	7	237	6	1	1	21	54	1	8,20	372	0,00	0,00	0,00	2,9	332,9	221,28
213770016	18/06/1993	86	1,30	2	18	159	5	2	1	20	29	0	8,30	236	0,11	0,00	0,00	3,5	239,5	154,76
213770016	10/04/1992	87	0,20	11	1	193	18	3	1	13	58	1	8,00	283	0,03	0,09	0,15	1,6	300,6	198,31
213770016	18/07/1991	88	0,00	3	19	195	13	1	1	21	48	1	7,90	331	0,01	0,05	0,13	2,2	304,2	206,31
213770016	09/11/1990	89	0,00	6	17	213	0	0	3	24	29	1	7,80	360	0,00	0,00	0,00	0,0	293,0	171,24
213770016	11/09/1990	90	0,00	4	15	257	0	0	3	27	48	1	7,50	365	0,00	0,00	0,00	0,0	355,0	231,02
213770016	08/07/1990	91	0,00	4	8	244	0	0	4	27	40	1	7,70	362	0,00	0,00	0,00	0,0	328,0	211,05
213770016	09/05/1990	92	0,00	5	11	252	0	0	2	24	46	0	7,80	358	0,00	0,00	0,00	0,0	340,0	213,67
213770016	08/03/1990	93	0,00	5	15	252	0	0	2	17	60	0	8,00	355	0,00	0,00	0,00	0,0	351,0	219,78
213770016	23/01/1990	94	0,00	7	12	267	0	0	3	22	48	0		353	0,00	0,00	0,00	0,0	359,0	210,42
213770016	03/09/1989	95	0,00	4	12	267	0	0	2	27	44	0		370	0,00	0,00	0,00	0,0	356,0	221,04
213770018	11/09/1996	96	0,70	2	3	201	10	0	2	24	30	1	8,40	306	0,00	0,00	0,00	4,4	277,4	173,73
213770048	19/01/2006	97	1,00	8	11	464	0	2	3	39	103	0	8,00	620	0,00	0,00	0,00	4,9	634,9	417,73
213730010	26/02/2018	98	0,90	27	2	340	0	3	16	25	80	0	7,60	553	0,00	0,00	0,00	3,5	496,5	302,65
213730010	19/01/2006	99	0,50	10	4	354	0	3	4	29	79	0	8,00	500	0,00	0,00	0,00	3,7	486,7	316,63
213730018	03/09/1996	100	0,90	3	46	268	9	1	2	31	66	1	8,30	472	0,00	0,00	0,00	2,9	429,9	292,42
213730045	23/02/2018	101	0,70	2	3	370	0	2	4	33	66	0	7,72	504	0,00	0,00	0,00	1,9	481,9	300,66
213730045	28/06/2006	102	0,70	54	120	400	0	37	38	54	110	2	7,20	904	0,00	0,00	0,00	8,9	823,9	496,98
213730045	19/01/2006	103	0,70	5	6	400	0	2	2	37	81	0	8,10	539	0,00	0,00	0,00	2,2	535,2	354,58
213770022	27/10/1997	104	1,10	3	5	219	0	3	1	13	58	0	8,10	308	0,00	0,00	0,00	3,1	305,1	198,31
213770022	09/07/1997	105	1,10	3	4	222	0	1	3	11	60	0	7,80	327	0,00	0,00	0,00	3,7	307,7	195,07
213770022	13/02/1997	106	1,50	2	3	234	0	1	2	9	65	0	8,00	352	0,07	0,00	0,00	5,2	321,2	199,31
213770022	11/09/1996	107	0,50	2	2	239	0	3	1	19	52	1	8,10	320	0,00	0,00	0,00	4,4	323,4	208,05
213770022	30/10/1991	108	0,00	6	10	213	0	0	2	10	56	0	7,80	293	0,00	0,00	0,00	0,0	297,0	180,97
213770022	02/05/1991	109	0,00	4	9	228	0	0	2	8	61	0	7,80	318	0,00	0,00	0,00	0,0	312,0	185,21
213770022	30/03/1991	110	0,00	4	9	198	0	0	2	7	53	0	7,90	281	0,00	0,00	0,00	0,0	273,0	161,12
213770022	08/07/1990	111	0,00	5	1	229	0	0	2	21	46	0	7,60	314	0,00	0,00	0,00	0,0	304,0	201,31
213770022	07/06/1990	112	0,00	5	4	229	0	0	2	12	52	0	7,70	314	0,00	0,00	0,00	0,0	304,0	179,22

## Resultados analíticos

Nº IGME	FECHA	Muestra	Oxidabilidad (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	CO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	pH	Conductividad (µS/cm)	NO2 (mg/l)	NH4 (mg/l)	PO4 (mg/l)	SiO2 (mg/l)	TSD (mg/l)	Dureza
213770022	08/05/1990	113	0,00	5	5	229	0	0	3	16	50	0	7,80	311	0,00	0,00	0,00	0,0	308,0	190,70
213770022	04/02/1990	114	0,00	7	4	244	0	0	3	12	56	0	7,50	310	0,00	0,00	0,00	0,0	326,0	189,20
213770022	07/11/1989	115	0,00	5	4	244	0	0	2	16	52	1		330	0,00	0,00	0,00	0,0	324,0	195,70
213770026	25/09/1997	116	1,00	6	13	254	0	2	4	22	58	0	8,10	383	0,00	0,00	0,00	2,1	361,1	235,39
213770026	20/10/1993	117	1,80	2	54	280	0	1	1	31	64	0	7,80	429	0,00	0,00	0,11	3,0	436,0	287,43
213770030	11/09/1996	118	0,70	2	2	304	0	0	1	28	55	1	8,10	410	0,00	0,00	0,00	2,1	395,1	252,61
213770032	11/09/1996	119	0,80	3	3	285	0	0	2	24	59	1	7,90	403	0,00	0,00	0,00	4,6	381,6	246,12
21374G/A	03/09/1996	120	0,90	4	14	202	5	1	2	18	48	1	8,20	319	0,00	0,00	0,00	5,2	300,2	193,95
213770023	11/09/1996	121	0,70	3	2	310	0	3	1	20	76	1	8,00	418	0,00	0,00	0,00	2,6	418,6	272,08
213820036	03/10/1997	122	1,50	6	15	198	0	15	5	15	54	1	7,70	321	0,00	0,00	0,00	5,8	314,8	196,57
213820036	03/06/1997	123	1,50	3	11	156	0	5	3	12	40	0	8,10	253	0,00	0,00	0,00	8,8	238,8	149,27
213820036	31/01/1997	124	1,50	5	23	215	0	6	3	9	70	0	8,10	367	0,00	0,00	0,00	8,4	339,4	211,79
213820036	11/09/1996	125	0,80	6	8	268	0	6	4	20	64	1	8,10	390	0,00	0,00	0,00	12,1	389,1	242,12
213820036	21/01/1991	126	0,00	4	8	206	0	0	3	7	50	0	7,60	282	0,00	0,00	0,00	0,0	278,0	153,63
213820036	15/01/1991	127	0,00	6	7	214	0	0	3	7	52	0	7,60	285	0,00	0,00	0,00	0,0	289,0	158,63
213820036	23/10/1990	128	0,00	0	8	203	0	0	4	15	42	1	7,70	282	0,00	0,00	0,00	0,0	273,0	166,62
213820036	09/10/1990	129	0,00	6	5	198	0	0	4	10	42	1	7,70	291	0,00	0,00	0,00	0,0	266,0	146,02
213820036	13/09/1990	130	0,00	4	7	206	0	0	4	15	46	1	7,70	296	0,00	0,00	0,00	0,0	283,0	176,60
213820036	17/08/1990	131	0,00	5	6	206	0	0	4	11	46	1	7,50	302	0,00	0,00	0,00	0,0	279,0	160,12
213820036	31/07/1990	132	0,00	4	5	206	0	0	4	10	54	1	7,70	294	0,00	0,00	0,00	0,0	284,0	175,97
213820036	11/07/1990	133	0,00	5	1	214	0	0	4	16	44	1	7,70	303	0,00	0,00	0,00	0,0	285,0	175,73
213820036	08/06/1990	134	0,00	5	5	206	0	0	3	10	52	1	7,80	300	0,00	0,00	0,00	0,0	282,0	170,98
213820036	07/05/1990	135	0,00	7	6	198	0	0	3	13	42	0	7,40	255	0,00	0,00	0,00	0,0	269,0	158,38
213820036	25/04/1990	136	0,00	4	4	206	0	0	3	9	56	0	7,90	288	0,00	0,00	0,00	0,0	282,0	176,85
213820036	07/03/1990	137	0,00	7	5	206	0	0	3	6	60	1	7,90	303	0,00	0,00	0,00	0,0	288,0	174,47
213820036	08/01/1990	138	0,00	4	5	214	0	0	3	10	52	0		282	0,00	0,00	0,00	0,0	288,0	170,98
213820036	27/12/1989	139	0,00	7	6	221	0	0	3	10	52	0			0,00	0,00	0,00	0,0	299,0	170,98
213820036	03/09/1989	140	0,00	4	5	213	0	0	4	12	48	1		300	0,00	0,00	0,00	0,0	287,0	169,24

## Resultados analíticos

N° IGME	FECHA	Muestra	Oxidabilidad (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	CO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	pH	Conductividad (µS/cm)	NO2 (mg/l)	NH4 (mg/l)	PO4 (mg/l)	SiO2 (mg/l)	TSD (mg/l)	Dureza
213830002	11/09/1996	141	0,50	5	8	270	0	2	2	18	67	1	8,10	411	0,00	0,00	0,00	5,1	378,1	241,37
213820039	11/09/1996	142	0,90	13	63	340	0	23	10	30	92	3	8,10	578	0,00	0,00	0,00	21,5	595,5	353,20
213740014	26/02/2018	143	0,50	1	1	304	0	1	0	19	69	0	7,54	430	0,00	0,00	0,00	3,5	398,5	250,48
213740021	03/09/1996	144	0,60	3	11	212	0	1	1	15	48	1	8,10	315	0,00	0,00	0,00	5,9	297,9	181,59
213740022	26/02/2018	145	0,60	1	2	276	0	1	0	15	65	0	7,64	403	0,00	0,00	0,00	3,7	363,7	224,02
213740022	28/06/2006	146	0,50	6	6	288	0	1	0	21	71	0	7,50	407	0,00	0,00	0,00	4,7	397,7	263,71
213830007	17/04/2018	147	1,20	7	2	240	0	1	0	10	68	0	7,68	360	0,00	0,00	0,00	1,8	329,8	210,92
213830018	08/06/2006	148	0,50	16	37	226	0	2	11	20	61	1	7,80	416	0,00	0,00	0,00	5,8	379,8	234,64
213780001	07/10/1997	149	0,70	3	5	316	0	1	2	31	55	0	8,00	458	0,00	0,00	0,00	2,2	415,2	264,97
213780001	08/07/1997	150	1,20	4	8	305	0	1	4	29	61	0	7,80	438	0,00	0,00	0,00	2,2	414,2	271,71
213780003	30/09/1996	151	0,70	4	5	266	0	4	1	18	63	1	8,10	351	0,00	0,00	0,00	4,7	366,7	231,39
213780004	08/10/1997	152	0,40	3	5	316	0	3	2	26	65	0	8,10	459	0,00	0,00	0,00	3,9	423,9	269,33
213780004	10/07/1997	153	0,90	3	8	320	0	0	3	29	66	1	7,80	461	0,00	0,00	0,00	4,1	434,1	284,19
213780011	10/07/1997	154	0,90	3	13	262	0	0	4	18	65	1	8,00	378	0,00	0,00	0,00	2,6	368,6	236,38
213830003	30/09/1996	155	1,20	4	5	249	5	2	2	17	53	1	8,40	328	0,00	0,00	0,00	2,4	340,4	202,31
213840009	22/10/1997	156	1,20	4	5	232	0	1	1	23	47	0	8,10	331	0,00	0,00	0,00	2,1	315,1	212,05
213840009	30/06/1997	157	1,20	4	6	243	0	1	3	22	47	1	8,10	349	0,00	0,00	0,00	2,0	329,0	207,93
213840009	03/03/1997	158	1,20	3	2	195	2	1	2	26	28	0	8,30	344	0,13	0,00	0,00	2,1	261,1	176,98
213840009	18/09/1996	159	0,30	0	5	237	7	3	1	21	51	1	8,60	337	0,00	0,00	0,07	2,8	328,8	213,79
213840009	15/01/1991	160	0,00	4	5	290	0	0	2	26	44	0	7,70	377	0,00	0,00	0,00	0,0	371,0	216,92
213840009	07/11/1990	161	0,00	4	4	259	0	0	3	30	30	0	7,60	389	0,00	0,00	0,00	0,0	330,0	198,45
213840009	09/10/1990	162	0,00	5	4	313	0	0	2	28	54	0	7,60	403	0,00	0,00	0,00	0,0	406,0	250,11
213840009	26/09/1990	163	0,00	4	4	313	0	0	2	33	46	1	7,70	386	0,00	0,00	0,00	0,0	403,0	250,74
213840009	17/08/1990	164	0,00	5	4	312	0	0	2	27	52	0	7,80	406	0,00	0,00	0,00	0,0	402,0	241,00
213840009	11/07/1990	165	0,00	6	1	290	0	0	2	35	36	1	7,70	400	0,00	0,00	0,00	0,0	371,0	234,02
213840009	08/05/1990	166	0,00	5	5	297	0	0	3	34	40	1	7,80	377	0,00	0,00	0,00	0,0	385,0	239,88
213840009	24/04/1990	167	0,00	7	4	297	0	0	3	30	46	0	7,80	374	0,00	0,00	0,00	0,0	387,0	238,38
213840009	27/12/1989	168	0,00	7	5	328	0	0	2	29	52	0		390	0,00	0,00	0,00	0,0	423,0	249,24

## Resultados analíticos

N° IGME	FECHA	Muestra	Oxidabilidad (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	CO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	pH	Conductividad (μS/cm)	NO2 (mg/l)	NH4 (mg/l)	PO4 (mg/l)	SiO2 (mg/l)	TSD (mg/l)	Dureza
213840009	03/09/1989	169	0,00	2	5	313	0	0	2	27	52	0		395	0,00	0,00	0,00	0,0	401,0	241,00
213840011	18/09/1996	170	1,40	1	8	203	5	5	2	16	48	1	8,40	298	0,00	0,00	0,00	3,0	292,0	185,71
213870005	17/05/2018	171	0,70	12	7	165	0	1	5	14	35	0	7,44	273	0,00	0,00	0,00	5,1	244,1	145,03
213870005	08/06/2006	172	0,60	3	15	279	0	2	5	19	69	0	7,60	464	0,00	0,00	0,00	5,6	397,6	250,48
213870003	17/05/2018	173	0,90	74	67	292	0	47	48	37	78	4	7,42	768	0,20	0,00	0,00	12,7	659,7	347,09
213870003	08/06/2006	174	0,60	66	84	292	0	39	47	35	88	3	7,40	764	0,00	0,00	0,00	12,7	666,7	363,81
203840023	22/02/2018	175	0,60	3	2	279	0	8	3	19	66	0	7,63	435	0,00	0,00	0,00	9,6	389,6	243,00
193880003	21/05/2018	176	0,60	13	7	227	0	7	5	9	68	0	7,51	366	0,00	0,00	0,00	5,4	341,4	206,80
193880003	27/04/2006	177	0,50	4	30	201	0	6	4	16	49	0	7,20	345	0,00	0,00	0,00	5,2	315,2	188,21
193880012	21/09/2006	178	0,70	3	12	85	0	11	2	2	35	0	7,30	200	0,00	0,00	0,00	8,7	158,7	95,60
203850007	21/05/2018	179	0,50	10	2	205	0	4	0	17	46	0	7,80	307	0,00	0,00	0,00	2,0	286,0	184,84
203850017	17/05/2000	180	0,70	7	25	328	0	9	5	32	72	2	7,60	558	0,05	0,00	0,00	6,3	486,3	311,52
203850017	28/08/1996	181	0,90	8	13	336	0	7	4	33	71	1	8,10	503	0,00	0,00	0,00	8,1	481,1	313,14
203850023	11/05/2006	182	0,40	4	27	310	0	9	5	35	55	0	7,50	499	0,00	0,00	0,00	6,2	451,2	281,44
203860007	25/05/2006	183	0,50	6	5	169	0	8	4	10	46	0	7,50	278	0,00	0,00	0,00	3,4	251,4	156,01
203860014	25/05/2006	184	0,50	6	6	164	0	9	2	12	44	0	7,80	267	0,00	0,00	0,00	3,4	246,4	159,25
203860018	11/05/2006	185	0,60	2	27	202	0	5	2	20	42	0	7,80	332	0,00	0,00	0,00	4,7	304,7	187,21
203870001	15/12/2014	186		8	16	224		8	5	25	38	0	8,29		0,00		0,00	4,1	328,1	197,82
203870002	15/12/2014	187		13	83	183		10	10	26	57	0	8,25		0,00		0,00	4,4	386,4	249,36
203870002	09/03/2006	188	0,50	12	94	190	0	12	8	25	69	0	7,60	474	0,00	0,00	0,00	4,7	414,7	275,20
203870014	25/05/2006	189	0,70	13	34	216	0	19	11	26	51	0	7,90	439	0,00	0,00	0,00	5,2	375,2	234,39
203860005	15/12/2014	190		71	66	269		26	43	31	79	2	8,07		0,00		0,00	8,7	595,7	324,87
203860050	15/12/2014	191		12	20	302		0	47	23	30	11	7,97		0,00		0,00	45,5	490,5	169,62
203860051	15/12/2014	192		10	38	330		8	33	22	71	2	7,81		0,00		0,00	20,7	534,7	267,83
203860052	15/12/2014	193		7	17	336		4	7	30	69	3	7,86		0,00		0,00	24,3	497,3	295,79
203870009	15/12/2014	194		38	436	248		29	28	59	180	2	7,49		0,00		0,00	10,2	1030,2	692,30
203870022	15/12/2014	195		7	13	280		13	6	20	68	3	7,82		0,00		0,00	25,6	435,6	252,11
203870023	15/12/2014	196		5	37	224		15	5	25	52	0	7,88		0,00		0,00	5,8	368,8	232,77

## Resultados analíticos

N° IGME	FECHA	Muestra	Oxidabilidad (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	CO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	pH	Conductividad (µS/cm)	NO2 (mg/l)	NH4 (mg/l)	PO4 (mg/l)	SiO2 (mg/l)	TSD (mg/l)	Dureza
203870027	11/05/2006	197	0,40	4	26	230	0	15	3	20	54	0	7,70	384	0,00	0,00	0,00	5,4	357,4	217,16
203920017	15/12/2014	198		14	143	288		37	14	26	124	1	7,78		0,00		0,00	14,8	661,8	416,60
203920028	15/12/2014	199		135	62	330		7	152	9	75	2	7,68		0,00		0,00	15,2	787,2	224,27
203930023	15/12/2014	200		39	39	312		46	35	25	91	0	7,81		0,00		0,00	9,2	596,2	330,11
203930023	09/03/2006	201	0,60	44	63	290	0	39	28	26	91	0	7,20	701	0,00	0,00	0,00	9,3	590,3	334,23
203930023	10/05/2000	202	0,90	39	50	279	0	39	20	23	94	1	7,60	745	0,00	0,00	0,00	9,1	554,1	329,36
203840011	19/06/2018	203	0,80	51	444	222	0	13	15	53	200	3	7,63	1231	0,00	0,00	0,00	10,5	1011,5	717,51
203840011	15/12/2014	204		24	74	242		15	12	23	86	1	7,86		0,00		0,00	9,5	486,5	309,39
203880016	19/06/2018	205	1,00	30	4	265	0	11	11	10	86	0	7,68	492	0,00	0,00	0,00	10,2	427,2	255,85
203840035	29/11/2017	206	0,70	240	632	239	0	7	201	90	180	5	7,60	2051	0,00	0,00	0,00	11,3	1605,3	819,99
203840035	15/12/2014	207		208	660	234		9	182	94	178	5	7,69		0,00		0,00	10,6	1580,6	831,47
203840035	09/03/2006	208	0,50	208	560	236	0	9	123	94	162	4	7,30	1640	0,00	0,00	0,00	10,1	1406,1	791,53
203880014	15/12/2014	209		62	12	340		12	62	21	72	4	7,90		0,00		0,00	13,2	598,2	266,21
203840014	10/05/2000	210	1,10	98	197	247	0	11	55	52	84	3	7,90	1002	0,00	0,00	0,00	8,6	755,6	423,85
203840014	24/07/1996	211	0,90	96	245	270	0	9	63	59	92	9	8,00	952	0,00	0,00	0,00	12,1	855,1	472,65
193940001	13/04/2018	212	0,60	14	182	222	0	7	7	33	101	0	7,61	644	0,00	0,00	0,00	7,5	573,5	388,02
193940001	03/04/2001	213	0,80	13	229	177	0	8	8	32	107	8	7,60	683	0,00	0,00	0,00	8,3	590,3	398,88
193940001	24/05/2000	214	0,90	11	205	258	0	8	7	35	118	1	7,70	731	0,05	0,00	0,00	8,5	651,5	438,69
193960007	20/04/2006	215	0,40	6	62	181	0	6	6	21	55	0	7,60	393	0,00	0,00	0,00	4,6	341,6	223,78
193940002	21/05/2018	216	0,50	15	644	288	0	6	8	65	262	0	7,55	1475	0,00	0,00	0,00	8,6	1296,6	921,69
193940002	27/04/2006	217	0,60	6	540	265	0	6	9	76	200	0	7,10	1236	0,00	0,00	0,00	9,0	1111,0	812,24
193940008	21/05/2018	218	0,70	12	380	260	0	9	7	48	168	0	7,59	926	0,00	0,00	0,00	8,3	892,3	617,04
193940008	27/04/2006	219	0,50	6	446	262	0	9	7	56	168	0	7,10	972	0,00	0,00	0,00	8,7	962,7	649,99
193940011	27/04/2006	220	0,50	11	37	246	0	27	4	22	76	0	7,10	470	0,00	0,00	0,00	8,4	431,4	280,31
193940015	17/05/2000	221	0,90	11	484	294	0	3	13	51	217	2	7,50	1223	0,00	0,00	0,00	9,1	1084,1	751,70
193970027	07/06/1996	222	1,20	11	3	242	0	5	5	12	68	0	7,80	450	0,00	0,00	0,09	10,0	356,0	219,16
193970032	20/04/2006	223	0,50	5	310	288	0	9	8	46	146	1	7,10	893	0,00	0,00	0,00	9,3	822,3	553,89
193970032	24/05/2000	224	0,70	10	320	310	0	7	9	41	167	2	7,60	983	0,00	0,00	0,00	9,8	875,8	585,71

### Resultados analíticos

N° IGME	FECHA	Muestra	Oxidabilidad (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	CO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	pH	Conductividad (μS/cm)	NO2 (mg/l)	NH4 (mg/l)	PO4 (mg/l)	SiO2 (mg/l)	TSD (mg/l)	Dureza
193970032	13/06/1996	225	0,90	4	230	264	0	5	6	38	123	1	7,70	762	0,00	0,00	0,00	12,3	683,3	463,53
193980012	21/05/2018	226	0,60	7	2	236	0	9	0	4	77	0	7,41	355	0,00	0,00	0,00	7,8	342,8	208,67
193880003	22/02/1989	227		6	8	168	0	7	3	9	44	0	8,00	314	0,00	0,00	0,03	4,6	249,6	146,9
193880003	22/07/1991	228		8	18	200	13	6	3	9	71	1	7,90	354	0,00	0,00	0,00	5,3	334,3	214,3
193880003	04/10/1991	229		9	12	210	0	6	4	10	59	0	7,50	401	0,00	0,00	0,00	6,9	316,9	188,5
193880003	24/10/1991	230		9	12	210	0	6	4	10	59	0	7,50	401	0,00	0,00	0,00	6,9	316,9	188,5
193880003	26/03/1992	231		5	10	251	0	5	5	9	72	1	7,70	366	0,00	0,00	0,19	5,8	363,8	216,8
193880003	02/04/1992	232		5	7	219	0	5	2	10	58	0	7,70	400	0,00	0,00	0,00	5,9	311,9	186,0
193880003	28/01/1993	233		6	9	234	0	6	4	13	60	0	7,70	351	0,00	0,00	0,00	6,9	338,9	203,3
193880003	27/05/1993	234		5	9	212	0	5	2	10	58	0	7,50	340	0,02	0,01	0,00	6,0	307,0	186,0
193880003	01/06/1994	235		9	11	240	0	7	3	13	62	0	7,90	348	0,00	0,00	0,00	6,8	351,8	208,3
193880003	30/04/1995	236		9	5	242	0	4	4	10	68	0	7,60	353	0,20	0,00	0,00	8,8	350,8	210,9
193880003	12/09/1995	237		6	13	251	0	7	5	16	64	0	7,70	381	0,00	0,00	0,00	7,7	369,7	225,6
193880003	23/04/1996	238		3	5	212	0	5	3	7	62	0	8,00	350	0,00	0,00	0,00	7,0	304,0	183,6
193880003	30/10/1996	239		5	5	180	0	6	3	10	47	0	7,30	344	0,05	0,00	0,00	7,7	263,7	158,5
193880003	24/04/1997	240		8	4	149	0	8	5	8	44	0	8,10	289	0,57	0,00	0,00	6,2	232,2	142,8
193880003	27/05/1998	241		6	9	180	0	4	2	10	48	0	7,80	349	0,00	0,00	0,00	5,0	264,0	161,0
193880003	23/06/1998	242		8	7	191	0	9	5	8	59	0	7,80	372	0,00	0,00	0,00	6,1	293,1	180,2
193880003	17/09/1998	243		7	16	215	0	12	5	6	76	0	8,00	359	0,00	0,00	0,00	6,2	343,2	214,4
193880003	07/04/1999	244		7	13	209	0	8	4	9	67	0	8,00	376	0,00	0,00	0,00	5,4	322,4	204,3
193880003	12/08/1999	245		8	24	228	0	8	5	11	74	0	7,90	382	0,06	0,00	0,00	5,6	363,6	230,0
193880003	19/11/1999	246		6	10	221	0	8	4	10	66	0	7,60	352	0,00	0,00	0,00	5,0	330,0	205,9
193880003	17/05/2000	247		6	4	256	0	5	4	11	70	0	7,90	372	0,00	0,00	0,00	5,3	361,3	220,0
193880003	22/09/2000	248		7	11	236	0	7	5	11	71	0	7,40	370	0,00	0,00	0,00	6,2	354,2	222,5
193880003	30/03/2001	249		17	8	188	0	9	7	7	63	0	7,80	376	0,00	0,00	0,00	6,3	305,3	186,1
193880003	31/08/2001	250		12	13	181	0	80	5	12	79	0	8,10	420	0,00	0,00	0,00	6,1	388,1	246,6
203850007	22/02/1989	251	0,5	3	4	181	0	3	1	16	35	0	8,10	298	0,00	0,00	0,04	2	245,0	153,3
203850007	04/10/1991	252	0,4	3	4	181	0	3	0	16	36	0	7,70	324	0,00	0,00	0,00	2,9	245,9	155,8

### Resultados analíticos

Nº IGME	FECHA	Muestra	Oxidabilidad (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	CO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	K (mg/l)	pH	Conductividad (µS/cm)	NO2 (mg/l)	NH4 (mg/l)	PO4 (mg/l)	SiO2 (mg/l)	TSD (mg/l)	Dureza
203850007	25/10/1991	253	0,4	3	4	181	0	3	0	16	36	0	7,70	324	0,00	0,00	0,00	2,9	245,9	155,8
203850007	02/04/1992	254	0,4	3	5	195	0	3	1	17	37	0	7,90	350	0,00	0,00	0,00	3,0	264,0	162,37
203850007	28/01/1993	255	0,6	2	3	221	0	4	1	17	44	0	7,80	296	0,00	0,00	0,00	3,2	295,2	179,85
203850007	27/05/1993	256	1,5	2	3	208	0	4	1	16	41	0	7,60	307	0,02	0,02	0,00	3,1	278,1	168,24
203850007	01/06/1994	257	0,8	4	8	226	0	4	1	16	51	0	7,90	293	0,00	0,00	0,00	3,0	313,0	193,20
203850007	30/04/1995	258	0,8	5	5	226	0	2	1	12	55	0	7,70	302	0,09	0,00	0,00	5,4	311,4	186,71
203850007	12/09/1995	259	0,8	1	0	240	0	3	1	17	48	0	7,70	307	0,23	0,00	0,00	3,3	313,3	189,83
203850007	23/04/1996	260	0,8	3	4	194	0	3	1	15	43	0	8,00	296	0,00	0,00	0,00	3,3	266,3	169,11
203850007	30/10/1996	261	0,6	3	2	125	15	2	1	13	29	0	8,40	226	0,09	0,00	0,00	3,3	193,3	125,93
203850007	24/04/1997	262	0,5	3	2	183	6	3	2	15	45	0	8,40	301	0,00	0,00	0,00	2,5	261,5	174,10
203850007	27/05/1998	263	1,2	4	9	189	0	3	1	17	42	0	7,90	302	0,00	0,00	0,00	2,5	267,5	174,85
203850007	17/09/1998	264	0,4	2	11	198	2	4	2	16	46	0	8,20	299	0,05	0,00	0,00	2,4	283,4	180,72
203850007	08/04/1999	265	1,2	4	7	188	0	4	2	12	49	0	8,10	310	0,00	0,00	0,00	2,4	268,4	171,73
203850007	12/08/1999	266	0,9	3	13	207	0	3	1	15	52	0	7,90	304	0,08	0,00	0,00	2,4	296,4	191,58
203850007	17/05/2000	267	1,1	2	5	225	2	3	2	12	58	0	8,30	319	0,00	0,00	0,00	2,5	311,5	194,20
203850007	22/09/2000	268	0,5	2	7	203	0	4	2	13	49	0	7,60	303	0,00	0,00	0,00	2,7	282,7	175,85
203850007	23/03/2001	269	1,2	4	5	180	0	4	2	13	38	0	8,00	292	0,00	0,00	0,00	2,6	248,6	148,39
203850007	30/03/2001	270	0,8	5	5	165	3	4	2	13	41	0	8,40	303	0,00	0,00	0,00	2,7	240,7	155,88
203850007	31/08/2001	271	0,5	3	0	128	0	156	0	22	57	0	7,50	366	0,00	0,00	0,00	2,5	368,5	232,89
193970010	22/04/2019	272	0,5	4	18	215	0,0	9,0	3,0	5,0	76,0	0,0	7,63	368	0,00	0,00	0,00	9,5	339,5	210,3



## A.2. – ESTADILLO DE CONTROL PARA INSTALACIONES MUNICIPALES





### A.3. – ENCUESTA DE CUANTIFICACIÓN DE VOLÚMENES DE BOMBEO

## ENCUESTA DE CUANTIFICACIÓN DE VOLÚMENES DE BOMBEO

### ESQUEMA METODOLÓGICO

El esquema metodológico se basa en la determinación de cada uno de los parámetros necesarios para deducir los volúmenes de extracción, rendimientos de la captación y coste energético del agua. De forma gráfica un esquema simplificado del proceso se refleja en la figura 1.

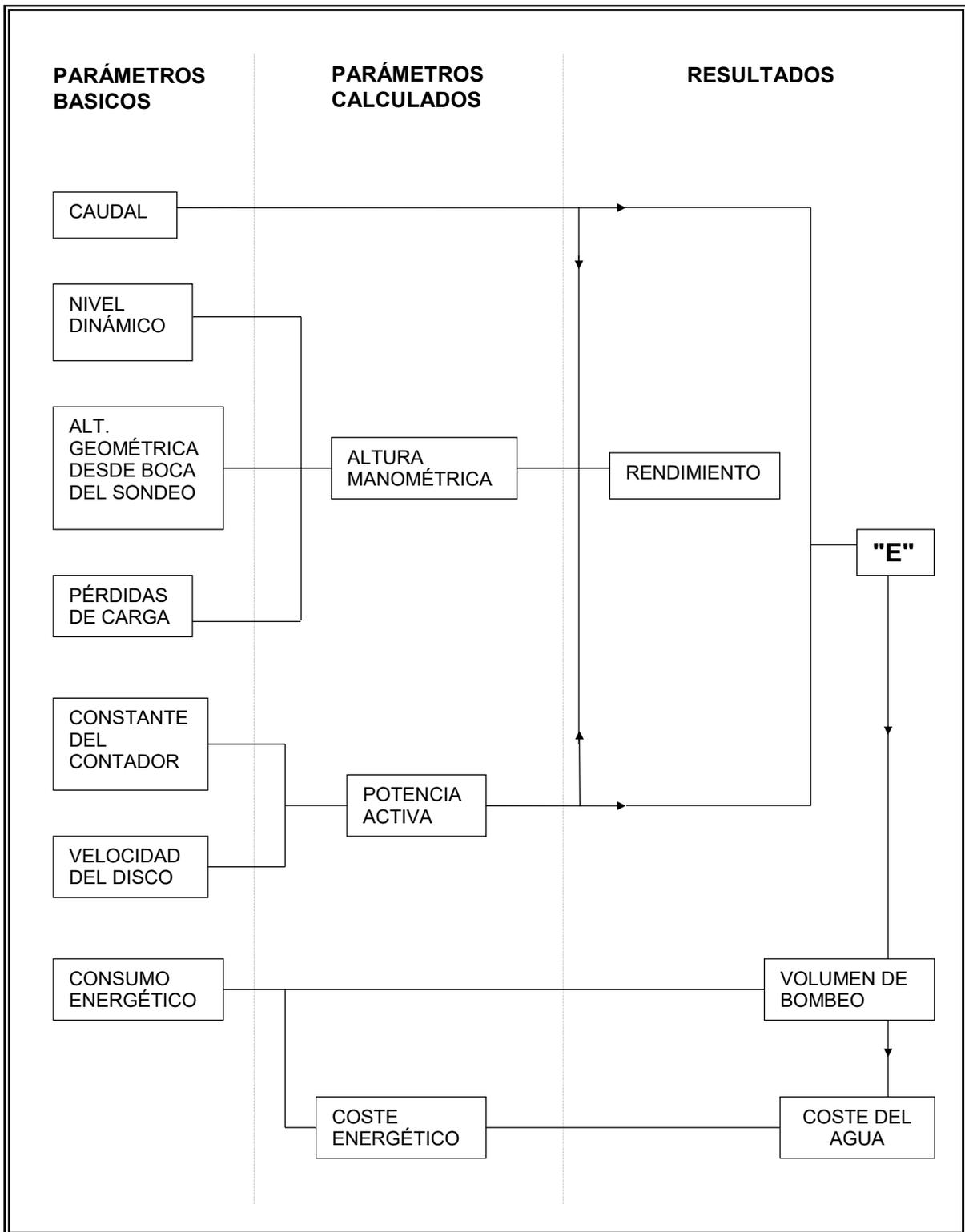
La cuantificación de las extracciones en función de los consumos energéticos de una captación parte de considerar que, si no existe una modificación de las características de la instalación para un mismo nivel dinámico en el sondeo, la relación entre ambos parámetros permanece constante a lo largo del tiempo. Ello implica considerar como despreciables los efectos de arranque y parada de la electrobomba sobre dicha relación, al igual que el desgaste de la misma.

Las condiciones del nivel dinámico se pueden generalizar y simplificar, considerando a escala anual dos condiciones: una en niveles altos y otra en estiaje con niveles bajos, estimando un período de tiempo para cada hipótesis.

Por tanto, **para el cálculo de las extracciones en función del consumo energético, es suficiente determinar con cierta precisión la relación "E" entre el volumen extraído y la energía eléctrica consumida, para las condiciones del nivel dinámico del período de cálculo.**

Para **establecer la relación "E"**, de forma práctica, se precisa determinar el **caudal de extracción** y la **potencia activa de la instalación**. Para esta última es necesario conocer la **constante K del contador** y la **velocidad de giro del disco del mismo**.

El **rendimiento total de la instalación** de la captación se define, de forma teórica, como el producto de los rendimientos de cada uno de los elementos que intervienen: motor, bomba, transformador y resto de elementos eléctricos. **De forma práctica, el rendimiento total de la instalación se calcula en función de tres parámetros: caudal, altura manométrica y potencia activa de la instalación.** Éstos son de suma importancia para la aplicación del método y su medición o cálculo deberán realizarse de la forma más precisa posible.



**Figura 1.** Esquema metodológico.

A partir del rendimiento total, estimando los rendimientos del transformador y de los elementos eléctricos, se puede deducir el rendimiento del grupo motobomba.

El **volumen de agua bombeada** en un período de tiempo dado es el resultado de multiplicar la relación E por el consumo eléctrico en dicho período.

**El coste energético real del agua de una captación** es la relación entre el pago realizado a la compañía eléctrica suministradora (debido a la potencia contratada, al consumo en kWh y a los recargos/bonificaciones por discriminación horaria y por reactiva) en un determinado período de tiempo y el volumen de agua extraído en ese mismo período, expresado en €/m<sup>3</sup>.

La reducción del coste del agua se basa en el análisis de los rendimientos y su posible mejora, así como en la adopción de una tarifa contratada y de unos tiempos de bombeo apropiados a las características de la instalación.

## DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

### CAUDAL DE EXPLOTACIÓN

**Dada la importancia de este parámetro es necesario determinarlo con la mayor exactitud posible** mediante los diferentes métodos de aforo existentes: molinete, volumétricos, por ultrasonidos, electromagnéticos, etc.

En muchos casos el único método posible es el volumétrico que se realiza en el depósito o en alguna arqueta intermedia de la conducción, para lo cual es necesario medir con precisión las dimensiones del depósito y registrar en él el tiempo de llenado de un volumen suficientemente representativo teniendo cerradas las válvulas de salida. También es posible aforar volumétricamente en un recipiente cuya capacidad es conocida. Un método que comienza a usarse son los caudalímetros de ultrasonidos que no precisan actuación alguna en la tubería y su precisión es bastante buena. Actualmente es frecuente encontrar instalaciones que poseen contadores volumétricos colocados en la conducción.

En los casos en que se deba recurrir a la medida en el depósito habrán de tenerse en cuenta las posibles fugas, tomas o derivaciones existentes en la conducción.

### ALTURA MANOMÉTRICA

**Es la altura total que debe vencer una bomba para elevar el caudal de explotación a través de una conducción desde un nivel inferior a otro superior.** Este parámetro es fundamental para establecer las condiciones actuales de las instalaciones, así como posibles actuaciones futuras. Su valor se obtendrá por la suma de los tres parámetros básicos siguientes:

- **Profundidad del nivel dinámico**

- **Altura geométrica** desde la embocadura del sondeo hasta el punto más alto de la conducción, normalmente es el punto de vertido del agua.

- **Pérdidas de carga** a lo largo de la conducción.

- **Profundidad del nivel dinámico.** Su valor es variable en función del régimen pluviométrico, las extracciones realizadas en la captación o más ampliamente en el acuífero y las obturaciones de la superficie por la que fluye el agua a la captación. **Este parámetro es el de mayor incidencia en el cálculo de la altura manométrica.**

Cuando las oscilaciones del nivel son de escasa cuantía, el régimen de explotación puede considerarse homogéneo y la electrobomba tendrá un punto o zona de funcionamiento constante. Si las oscilaciones toman valores considerables se producen variaciones de la altura manométrica de elevación y de los caudales de extracción que pueden ser importantes, con lo que se dificulta la cuantificación de los volúmenes bombeados. La forma correcta de salvar el problema consiste en hacer un seguimiento continuo de niveles y caudales; si bien, una aproximación puede ser el tomar un valor fijo del nivel dinámico en estiaje y otro en época de lluvias, estimando los diferentes niveles a lo largo del año a partir de datos de piezómetros próximos o de precipitaciones de lluvia.

- **Altura geométrica.** La obtención de este parámetro mediante altímetros, planos o levantamientos topográficos no presenta dificultad y los errores, aún en los casos más desfavorables, no suelen tener una influencia decisiva sobre la fiabilidad de los resultados.

- **Pérdidas de carga.** Se producen en la conducción debido al rozamiento del agua con las paredes de la misma o al paso del agua por válvulas y accesorios. **Las pérdidas son directamente proporcionales a la longitud de conducción**, que debe tomarse desde la profundidad de aspiración de la electrobomba hasta el punto de vertido, considerando los tramos de conducción en los que varía, bien el material, el diámetro o ambos.

Por otra parte, **cada uno de los accesorios que existen en la conducción (válvulas, codos, curvas, ensanchamientos, estrechamientos y otros) genera unas pérdidas de carga adicionales**, que comúnmente **se suelen expresar en metros de longitud equivalente de tubería recta**, para un cierto diámetro.

Se puede realizar el cálculo conjunto de la altura geométrica desde la boca del sondeo y las pérdidas de carga en la conducción exterior, midiendo la **presión en un punto próximo al codo de salida del sondeo y antes de las válvulas**. La presión, traducida a metros, proporciona la suma de los dos valores citados. Si a este valor se le suma la profundidad del nivel dinámico y las pérdidas originadas en la tubería del sondeo contadas desde la profundidad de aspiración se tiene nuevamente la altura manométrica total. Esta medición con manómetro tiene una especial importancia en los casos en que existen válvulas de

compuerta o de cierre estranguladas, ya que es difícil el cálculo teórico de las pérdidas, a veces muy elevadas y de gran influencia en los resultados

## POTENCIA ACTIVA

**La potencia activa es la consumida por el conjunto de las instalaciones (electrobomba, transformador, cuadro de maniobra, cables de baja tensión, etc.) para realizar el trabajo de impulsión del agua.** Para su medida se puede utilizar el contador de energía activa.

El valor de la **potencia activa calculada debe ser del orden de magnitud de la potencia de la electrobomba** existente expresada en kW **y de la potencia contratada** que figura en el recibo eléctrico.

Cabe puntualizar que además de la potencia activa, se consume también una **potencia reactiva**, que es la que se pierde en las líneas de corriente y redes de distribución de energía. Este consumo, medido en un contador independiente, depende de la instalación eléctrica e incide en el coste energético como un recargo o bonificación al consumidor. Su aplicación por las compañías eléctricas se dirige a inducir al usuario a la mejora de sus instalaciones.

## CONSUMO ENERGÉTICO

El consumo energético de las instalaciones electromecánicas existentes en una captación se recoge en el recibo de las Compañías de Electricidad. En él se recogen los datos de dos lecturas consecutivas del contador de energía activa, sus fechas de medida y el consumo en el período situado entre ambas, al igual que para el contador de reactiva.

Si el contador es de tarifa múltiple (valle-llano-punta), se especifican para cada tipo sus lecturas y consumos.

En el recibo también se indica, si es que existe, el factor corrector por el que hay que multiplicar la diferencia de lecturas para obtener el consumo.

## RESULTADOS A OBTENER

### RENDIMIENTO

El rendimiento total de una instalación de captación es el producto de los rendimientos de cada uno de los elementos que la componen. En él se incluye **el rendimiento de la bomba, del motor, del transformador y de los cables de baja tensión**. En la práctica, sus valores óptimos suelen oscilar:

- Rendimiento de la bomba (del 65 al 75 %, dependiendo de su estado de conservación y de su situación en la curva característica).
- Rendimiento del motor (del 85 al 90 %).
- Rendimiento del transformador (del 95 al 97 %).
- Rendimiento del resto de los elementos eléctricos (del 95 al 99%, dependiendo fundamentalmente de la longitud de los cables de conexión).

Es habitual hablar del rendimiento del grupo motobomba, que se suele situar entre el 55 y el 68 %.

En conjunto el rendimiento total es del orden del 50 al 65 %.

El cálculo exacto de estos rendimientos por separado es complejo, sin embargo, a partir de los parámetros calculados anteriormente puede obtenerse el valor del rendimiento total de la instalación.

El rendimiento es de gran importancia pues es indicativo de si la instalación está funcionando correctamente. Un rendimiento inadecuado suele tener el origen en una mala adaptación de la electrobomba al caudal de extracción y a la altura manométrica, al no funcionar dentro de la zona de curva característica para la que se obtienen rendimientos óptimos. Los rendimientos del motor y de la bomba son los que más suelen afectar al rendimiento total.

## RELACIÓN "E"

**Esta relación expresa el volumen de agua extraída por cada unidad de energía que consume la instalación ( $m^3/kWh$ ).**

Para calcular la relación "E" (volumen extraído/energía consumida) es necesario medir el caudal de bombeo y el consumo energético por unidad de tiempo. Teniendo en cuenta la forma de registro de los contadores de energía, para medir directamente y con precisión el consumo energético por unidad de tiempo, es necesario realizar un ensayo con una duración suficiente que permita visualizar y definir en dicho contador el consumo energético. El valor de "E" se determina así, a partir de las características del contador de energía eléctrica y de la instalación, midiendo el caudal de bombeo (por el método de aforo más adecuado a las características de la captación) y la potencia activa del grupo motobomba conectado al contador.

## VOLUMEN DE BOMBEO

**El volumen total extraído de una captación se calcula multiplicando el consumo total de energía activa en el período estudiado por el valor de la relación "E".**

**El tiempo total de bombeo en un lapso dado se obtiene de dividir el consumo de energía en el mismo entre la potencia activa que absorbe la instalación.** Con este resultado se pueden calcular tiempos medios de funcionamiento, incluso de forma mensual cuando se disponga de los recibos.

#### COSTE ENERGÉTICO DEL AGUA

Para evaluar el coste energético del agua es necesario disponer al menos de un recibo de la compañía de electricidad y de los **datos de consumo energético en el período que se pretende estudiar**. Además, la información que se puede extraer es importante y afecta no sólo a los costes, siendo indispensable para calcular la potencia activa cuando el factor corrector no aparece expresado en el contador de electricidad. El recibo también incluye los datos del contrato con la compañía eléctrica: potencia y tarifa contratada. Aplicando las tarifas eléctricas, publicadas anualmente en el B.O.E., a la información mencionada se obtiene el importe total adeudado.

Para el cálculo del coste del agua y su optimización, interesa conocer las tarifas aplicadas y los importes desglosados que están recogidas en el recibo. Los bloques básicos que conforman la facturación son:

- Término de potencia: término fijo, función de la potencia contratada.
- Término de energía: función del consumo energético en el período de facturación.
- Complemento por discriminación horaria: cuando existe tarifa múltiple se aplicará un recargo o bonificación según la energía consumida en cada uno de los períodos horarios.
- Complemento por reactiva: se constituye mediante un recargo o descuento porcentual sobre el total de la facturación básica, función del consumo de energía reactiva que se ha producido en el período de facturación.

El primer bloque se aplicará siempre, el segundo cuando exista consumo de energía y los dos restantes dependerán del tipo de tarifa y discriminación horaria contratada.

El resto de la facturación lo compondrá el posible equipo de medida alquilado que pueda existir y el IVA.

En cuanto a las tarifas cabe comentar que existen dos tipos básicos que son las de baja tensión (suministros efectuados a tensiones no superiores a 1000 voltios) y las de alta tensión (superiores a 1000 voltios) aplicándose en el escalón de tensión que corresponda en cada caso. Cada uno de estos tipos se subdivide según períodos de utilización (corto, medio o largo) y usos. Estas tarifas se aprueban anualmente por Real Decreto y pueden ser consultadas por cualquier usuario. Con la información de consumos y la aplicación de las tarifas se obtienen los costes eléctricos.

**La relación entre el volumen extraído, deducido del consumo energético y el importe**

**adeudado por todos los conceptos, descontando el IVA, permite obtener el precio del m<sup>3</sup> de agua extraído.**

Para este cálculo se utilizan varios recibos, preferentemente los correspondientes a un año completo, con lo que se obtienen los costes medios anuales, los máximos y los mínimos.