



MINISTERIO  
DE ECONOMÍA  
Y COMPETITIVIDAD

Instituto Geológico  
y Minero de España



**Informe de actividades realizadas y avance del conocimiento de características hidrogeológicas generales los acuíferos carbonáticos de las sierras Tejeda, Almirara, Guájares y Albuñuelas.**

**Proyecto *TEJAL***



**Jorge Prieto Mera**

**Bartolomé Andreo Navarro**

## Índice

1.- INTRODUCCIÓN .....	3
1.1 Metodología.....	3
1.2 Contexto Geológico .....	4
2. Características hidrogeológicas generales .....	7
2.1 Límites y geometría.....	7
2.2 Inventario de puntos de agua .....	10
2.3 Piezometría .....	11
2.4 Hidroquímica.....	13
2.4.1.- Evolución temporal del manantial de La Fájara .....	16
2.4.2.- Evolución temporal del manantial de Maro .....	21
2.5.- Características isotópicas .....	23
2.5.1.- $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ .....	23
2.5.2.- Carbono 13 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) .....	25
3. Diferenciación de sistemas hidrogeológicos .....	27
4. Conclusiones .....	33
5. Referencias .....	34
Anexo: Fichas de inventario de puntos de agua .....	35

## 1.- INTRODUCCIÓN

El proyecto *TEJAL* tiene como objetivo ampliar el conocimiento hidrogeológico de los acuíferos carbonáticos de las sierras Tejeda, Almirajara, Guájares y Albuñuelas. Para ello, el trabajo se divide en dos partes, por un lado se están analizando y tratando los datos recopilados por Isaac Pérez Ramos durante el periodo comprendido entre 2003 y 2006, así como, los datos históricos de la red de control de aguas subterráneas del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Por otro lado, desde junio de 2005 se mantiene un control de las respuestas naturales en una selección de 10 manantiales, considerados como los más representativos, después de hacer un estudio preliminar de los datos antecedentes.

En el presente informe se presentan primeros resultados del control mantenido en las surgencias seleccionadas desde Junio de 2015 hasta la actualidad. Pretende ser una primera aproximación al funcionamiento hidrogeológico regional. Para ello, se evaluará la distribución espacial de las características hidroquímicas e isotópicas del agua de los manantiales estudiados y se analizarán las evoluciones temporales de las respuestas naturales en los manantiales de Maro y La Fájara.

### 1.1 Metodología

Los parámetros físico-químicos del agua han sido medidos *in situ*, para la conductividad eléctrica (CE) y la temperatura, se ha utilizado un equipo *WTW* modelo 3310 cuya precisión es de  $\pm 1 \mu\text{S}/\text{cm}$  y  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  respectivamente. Por otro lado, la medida del pH se llevó a cabo con un equipo *HACH LANGE*, modelo HQ10d cuya precisión es de  $\pm 0,01$  (unidades de pH).

Los análisis químicos e isotópicos se han llevado a cabo en el Laboratorio del Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga. Los componentes químicos mayoritarios de cada muestra se han analizado mediante cromatografía iónica, con un equipo *METROHM*, modelo 881 *Compact IC Pro* para aniones y modelo 930 *compact IC Flex* para cationes.

Para los análisis isotópicos se han utilizado equipos *PICARRO Cavity Ringdown spectrometer*, para obtener  $\delta^{13}\text{C}$  (modelo G1111-i) y  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  (modelo L2120-i).

### 1.2 Contexto Geológico

Desde el punto de vista geológico, el área de estudio se sitúa dentro de la Zona Interna de la Cordillera Bética, los materiales que constituyen estos macizos montañosos forman parte del Complejo Alpujarride (Fig. 1). Se pueden diferenciar dos unidades tectónicas (Sanz de Galdeano y López-Garrido, 2003): Almijara y Guájares.

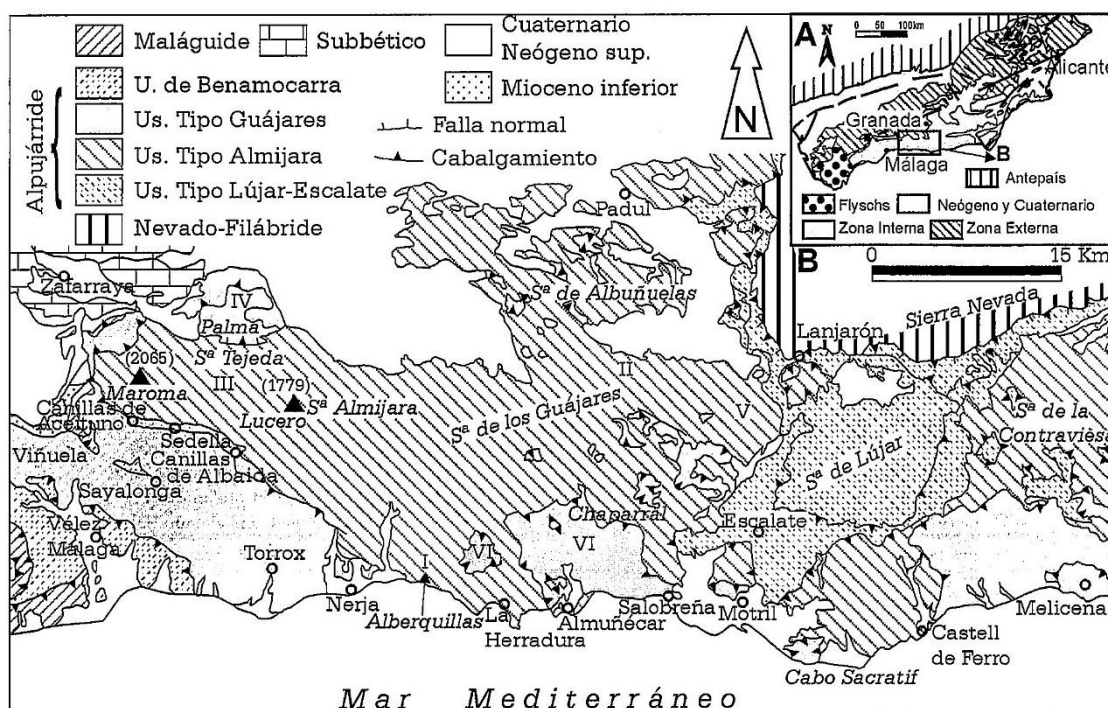


Figura 1. Mapa geológico del área de estudio (Sanz de Galdeano y López-Garrido, 2003)

La unidad de Almijara (Fig. 2) aflora extensamente y tiene una sucesión estratigráfica que, de muro a techo, presenta esquistos del Paleozoico-Triásico Inferior de colores oscuros que pasan a tonos progresivamente más claros, la potencia de estas metapelitas puede llegar a los 500 m. Inmediatamente encima se sitúan mármoles dolomíticos y calizos del Triásico Medio con una potencia cercana a los 800m y presentan intercalaciones de calcoesquistos de escasa continuidad lateral. En el techo de la unidad encontramos mármoles dolomíticos blancos del Triásico Superior, de aspecto sacaroideo muy recrystalizados, se

pueden observar en las zonas más altas de las sierras Tejeda y Almijara y más extensamente en la Sierra de Albuñuelas.

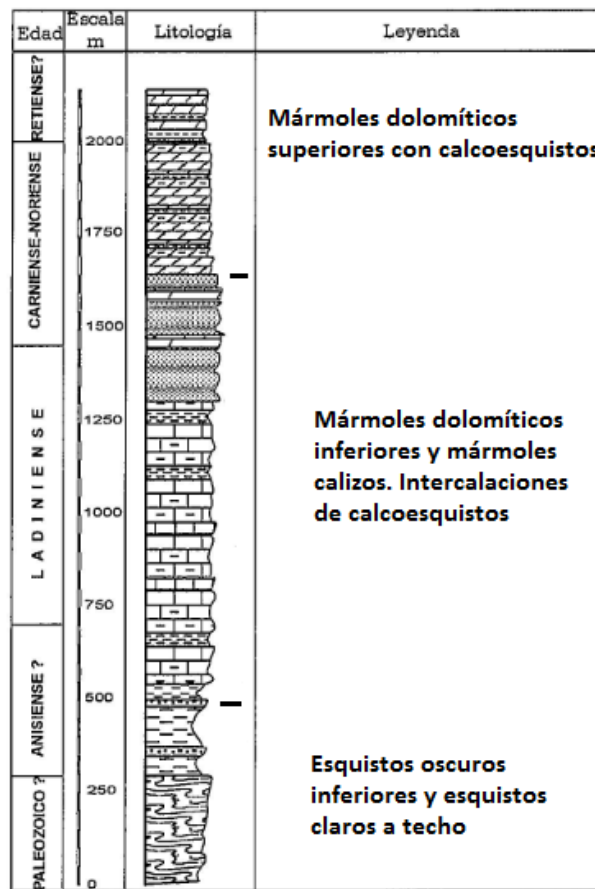


Figura 2. Columna estratigráfica de la U. Almijara (Sanz de Galdeano y López-Garrido, 2003)

En la unidad de Guájares, se sitúa tectónicamente por encima de la unidad Almijara. El tramo basal, corresponde a unos esquistos de color oscuro, con una potencia en torno a 500-600 m y se atribuyen al Paleozoico. Encima aparecen unos esquistos de colores claros y tonos verdosos, de grano fino, cuya máxima potencia es de unos 300 m. Se podrían asignar al Trías Inferior, por correlación con los esquistos del manto de Almijara. Sobre estos se sitúan mármoles dolomíticos de color claro, se conservan algunos afloramientos pero son escasos y de reducidas dimensiones generalmente.

Por último, en el entorno de las sierras de Tejeda, Almijara y Albuñuelas se pueden observar materiales del Terciario, más concretamente del Neógeno, los cuales permanecen generalmente horizontales o poco inclinadas, con escasa

deformación. Fueron depositadas sobre el sustrato alpujarride después de la fase orogénica, por lo que el contacto entre ambos conjuntos es de naturaleza discordante.

La estructura geológica de sierra Tejeda, Almirajara y Guájares consiste, a grandes rasgos, en una serie de grandes antiformes dirección E-O aproximadamente. En detalle, la estructura es mucho más complicada. Existen gran número de repliegues a todas las escalas, desde kilométricos a centimétricos, los cuales son muy apretados generalmente, lo que evidencia un elevado grado de deformación. Sin embargo, la sierra de Albuñuelas tiene una estructura más o menos tabular sin contactos tectónicos importantes.

## 2. Características hidrogeológicas generales

### 2.1 Límites y geometría

Las sierras Tejeda, Almirajara, Guájares y Albuñuelas constituyen un afloramiento de mármoles de más de 700 km<sup>2</sup> de extensión, cuyo espesor supera ampliamente los 500 m. Estos mármoles descansan sobre una potente serie de metapelitas.

Al noroeste, sierra Tejeda, está limitada por fallas normales (Fig. 3), con buzamientos que varían entre 40° y 80° aproximadamente. Estas fallas separan los mármoles de la sierra con los esquistos que circundan dicho relieve. El borde sur, a diferencia del anterior, es un contacto normal entre los mármoles y los esquistos de la base. En el corte 1 (Fig. 4) se puede observar antiformal de dirección E-O que domina la estructura general de Sierra Tejeda.

Sierra Almirajara también tiene una estructura antiformal, cuya zona de charnela coincide aproximadamente con la línea de cumbres de mayor altitud (Fig. 3). Al igual que ocurre en sierra Tejeda, la presencia de los anticlinales favorece la presencia de divisorias hidrogeológicas que puedan dividir el área de estudio en diferentes sistemas (Fig. 4, cortes 1, 2 y 3). Al norte, el límite es discordante entre los mármoles y el relleno neógeno de la Cuenca de Granada. Por el sur, sin embargo, el límite lo forman grandes fallas normales de dirección NO-SE (Fig. 3).

En la Sierra de los Guájares, la mayor parte de los límites son contactos normales; los mármoles descansan directamente sobre la serie metapelítica (Fig. 4, corte 4). La estructura es más o menos tabular, ligeramente buzante hacia el sur-sureste.

El acuífero de la Sierra de Albuñuelas es un gran afloramiento de mármoles en disposición tabular (Fig. 4, corte 5). En este caso, los límites son una combinación de fallas normales y también contactos discordantes con el relleno neógeno de las depresiones de Granada, al norte y oeste, y del valle del Lecrín, al este y al sur.

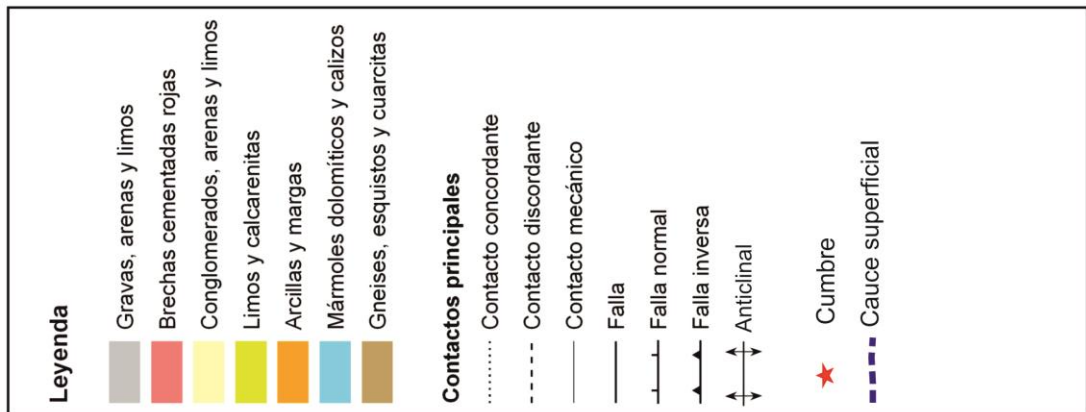
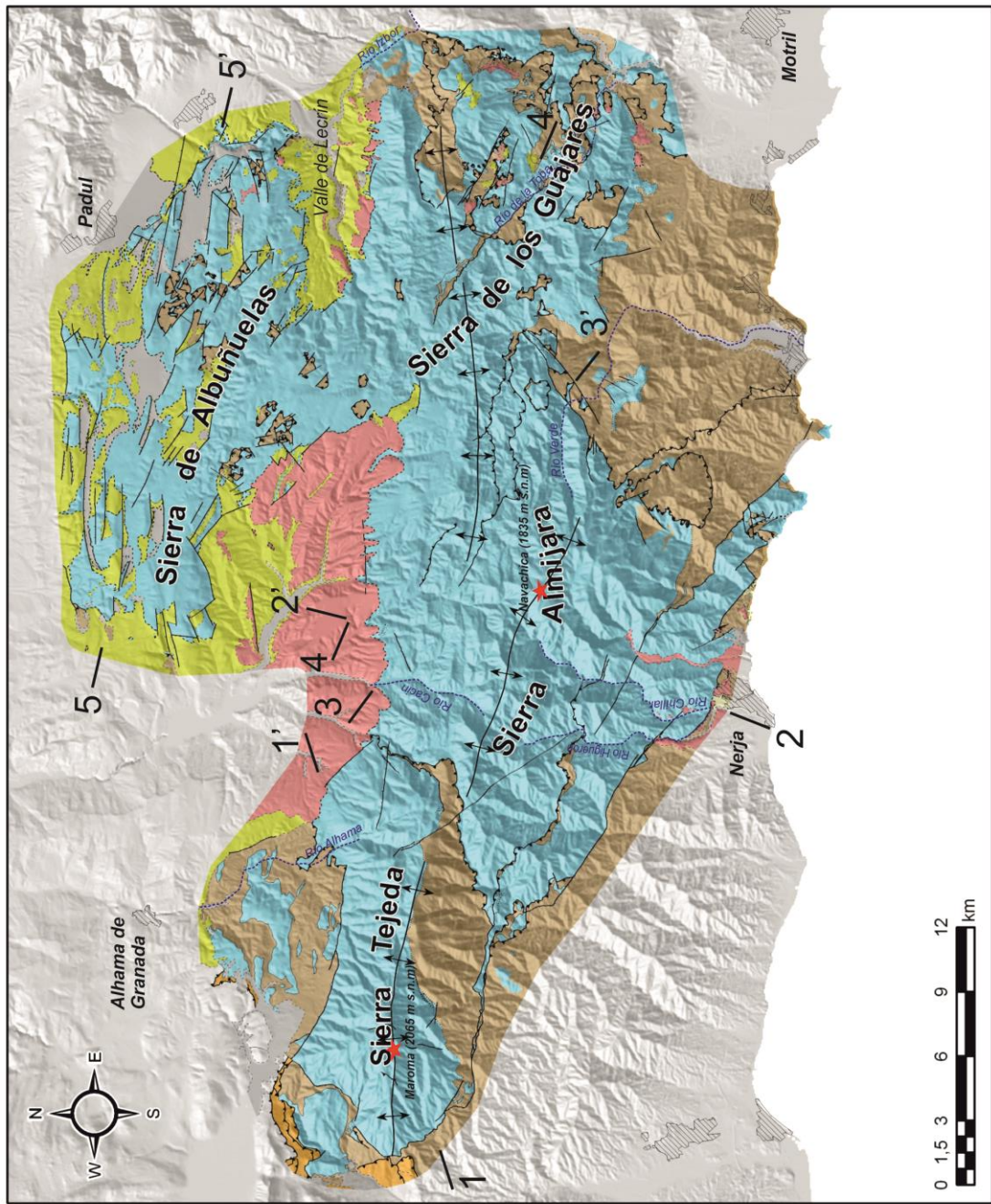


Figura 3. Mapa general del área de estudio. Contactos principales y situación de cortes hidrogeológicos.



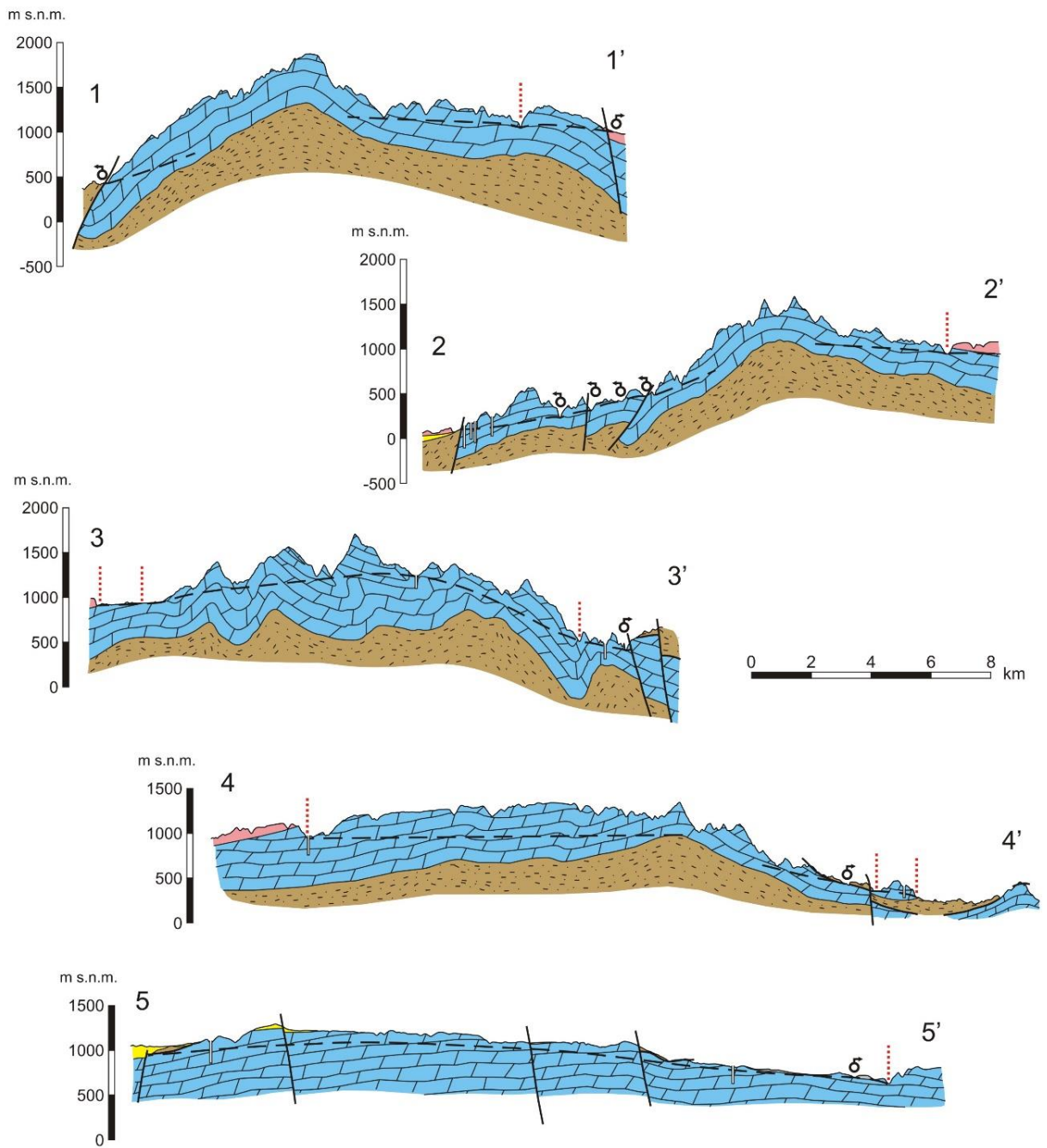


Figura 4. Cortes hidrogeológicos del macizo de Sierra Tejeda-Almijara

## 2.2 Inventario de puntos de agua

En la tabla 1 se recogen aquellos puntos que se han considerado representativos y ha sido posible tomar, al menos, una muestra de agua para su análisis químico e isotópico, durante el periodo comprendido entre junio de 2015 y marzo de 2016.

Nº	TIPO	NOMBRE	Coordenadas		COTA (m s.n.m)	CUENCA	MUNICIPIO
			UTM (S30) X	Y			
1	Manantial	La Fájara	402321	4082550	420	C.Mediterráneas Andaluzas	Canillas de Aceituno
2	Manantial	Rio Alhama	412225	4087334	1020	Guadalquivir	Alhama de Granada
3	Manantial	Játar	418662	4087816	990	Guadalquivir	Arenas del Rey
4	Manantial	Linarejo	419830	4085742	1020	Guadalquivir	Arenas del Rey
5	Manantial	Rodaderos	414856	4091028	940	Guadalquivir	Alhama de Granada
6	Manantial	Baños de Alhama	412563	4097359	775	Guadalquivir	Alhama de Granada
7	Manantial	Cijancos	447009	4093023	700	C.Mediterráneas Andaluzas	Villamena
8	Manantial	Molino	444693	4095913	729	C.Mediterráneas Andaluzas	Padul
9	Manantial	La Zaza	450761	4083931	680	C.Mediterráneas Andaluzas	El Pinar
10	Manantial	Fte.Santa	444630	4078634	430	C.Mediterráneas Andaluzas	Los Guájares
11	Manantial	Fte.Negra	435696	4076585	420	C.Mediterráneas Andaluzas	Otivar
12	Manantial	Socavon	433298	4076620	580	C.Mediterráneas Andaluzas	Otivar
13	Manantial	Maro	425248	4068886	120	C.Mediterráneas Andaluzas	Nerja
14	Sondeo	Piezometro Cantarrijan	430606	4066912	55	C.Mediterráneas Andaluzas	Almuñecar
15	Sondeo	Playa Cantarrijan	430679	4066662	33	C.Mediterráneas Andaluzas	Almuñecar
16	Sondeo	Cantarrijan 2	430337	4067762	110	C.Mediterráneas Andaluzas	Almuñecar
17	Sondeo	Marina	429834	4067315	100	C.Mediterráneas Andaluzas	Nerja
18	Sondeo	Sondeo Cueva Nerja	424624	4068811	124	C.Mediterráneas Andaluzas	Nerja
19	Sondeo	Cañuelo	429139	4067917	160	C.Mediterráneas Andaluzas	Nerja

Tabla 1. Inventario de puntos de agua (Junio 2015-Marzo 2016)

En el presente informe se presentan resultados preliminares de los manantiales en los que se ha mantenido un control periódico de las respuestas naturales; han sido 10: La Fájara, Rio Alhama, Játar, Linarejo, Cijancos, Molino, La Zaza, Fuente Santa, Fuente Negra y Maro. La ubicación de cada uno se muestra en la figura 5. Como Anexo al presente trabajo se adjunta la ficha de inventario de cada manantial anteriormente citado.

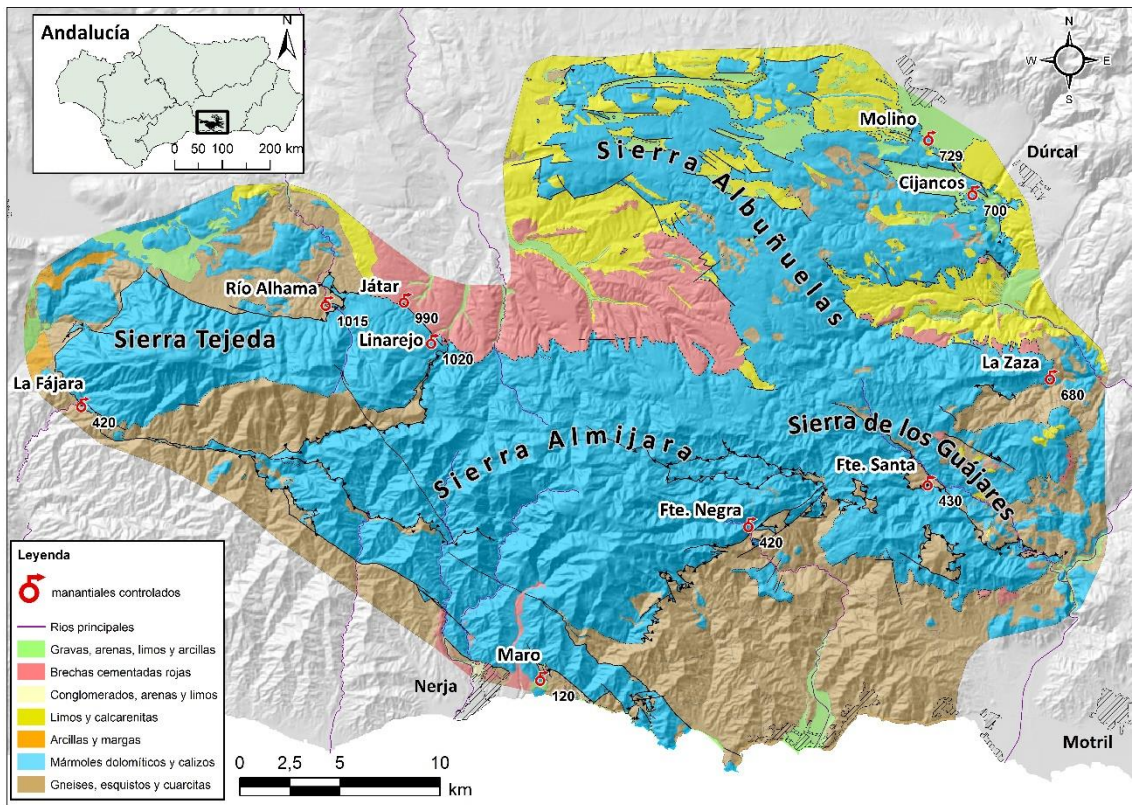


Figura 5. Localización de los manantiales principales junto con su correspondiente cota (m s.n.m)

### 2.3 Piezometría

Para elaborar un mapa de isopiezas de toda el área de estudio, se han utilizado tanto los datos recolectados durante el periodo de 2003 a 2006 por Isaac Pérez como los existentes en la bibliografía, especialmente en el informe del SGOP (1991). Aunque se dispone de muchos datos de piezometría, en la mayoría de los casos es insuficiente para realizar un mapa de isopiezas, ya que los puntos de agua suelen situarse en zonas marginales del acuífero. Por ello, en el mapa piezométrico general (Fig. 6) sólo se muestra la cota media del nivel en cada punto de agua. Aun así, es posible determinar con cierta exactitud la dirección de flujo general, si se tiene en cuenta la información que aporta el conocimiento de la estructura geológica.

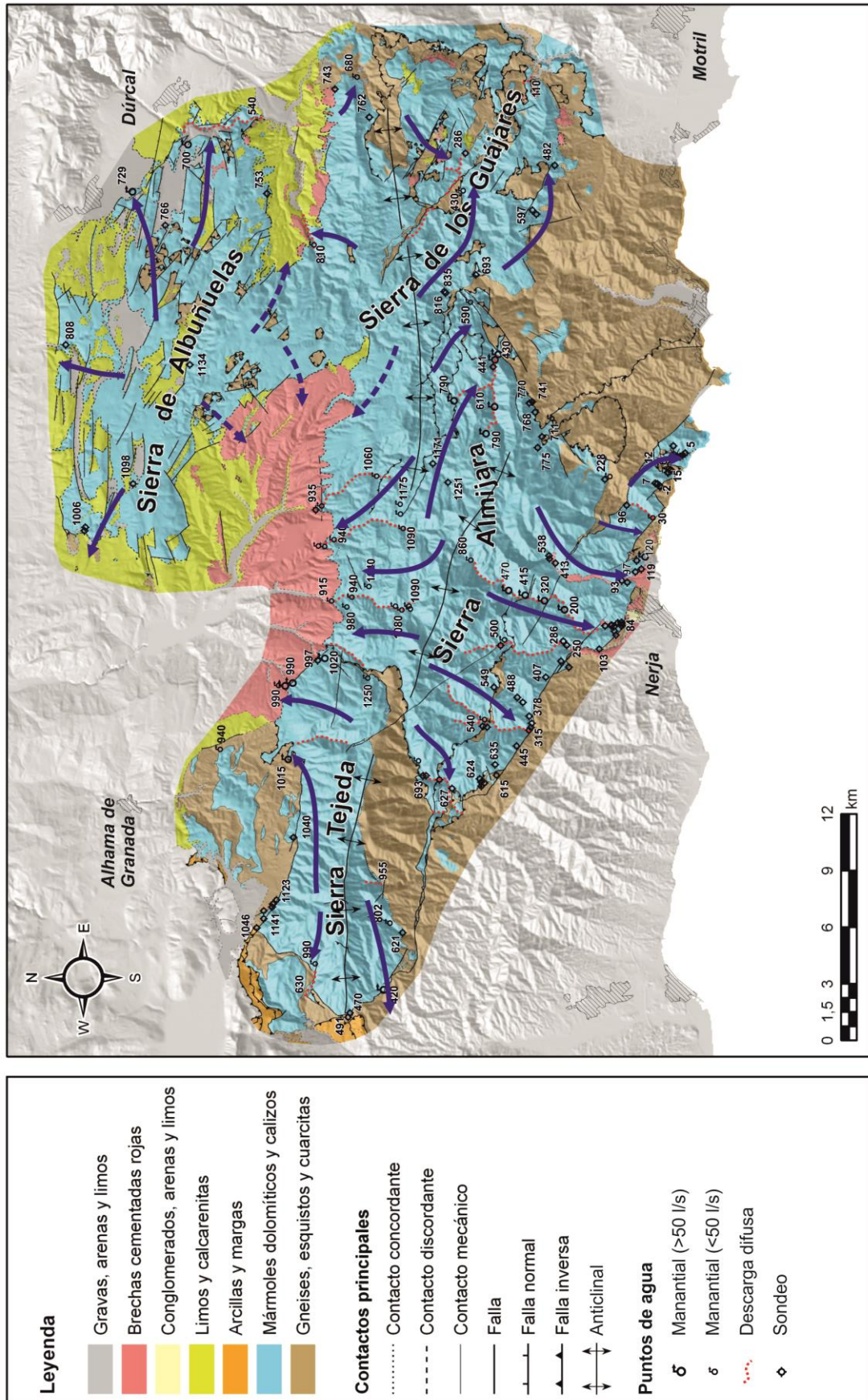


Figura 6. Mapa de cotas piezométricas y direcciones de flujo.

## 2.4 Hidroquímica

En la tabla 2 se muestran las concentraciones medias de los componentes químicos mayoritarios del agua en los manantiales controlados del área de estudio.

Las aguas subterráneas del área de estudio son, en general, poco mineralizadas, con valores medios de conductividad eléctrica que varían entre 315  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (nacimiento de Játar) y 737  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (manantial de Maro) (Tabla 2). Las temperaturas que se han medido han variado entre 11,6°C del nacimiento del Río Alhama y 19,4°C del manantial de Maro (Tabla 2).

A partir de los datos se ha llevado a cabo un diagrama de Piper (Fig. 7) que pone de manifiesto la existencia de tres facies hidroquímicas principales: bicarbonatada cálcica, bicarbonatada cálcico-magnésica y sulfatada cálcica.

El agua de los manantiales del borde norte de Sierra Tejeda tienen las concentraciones más bajas de  $\text{SO}_4^-$  (<8 mg/l). Los manantiales de Maro y Fuente Negra (Fig.x) presentan elevadas concentraciones de  $\text{SO}_4^-$  (239,8 y 81,2 mg/l, respectivamente) en comparación con el resto de manantiales estudiados.

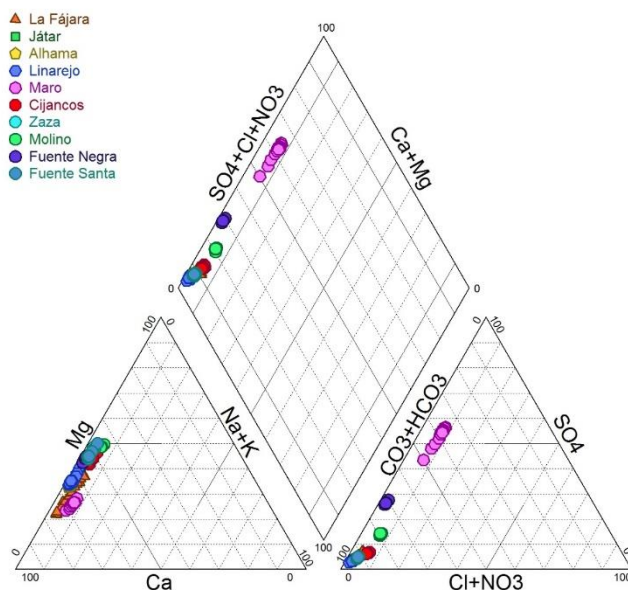


Figura 7. Diagrama de Piper de todas las muestras recogidas

	Manantial	CE punt. ( $\mu\text{S/cm}$ )	T <sup>º</sup> ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	TAC (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	F <sup>-</sup> (mg/l)
n		22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
mín	<b>La Fájara</b>	294	14,3	7,42	50,5	9,1	1,9	0,7	197,0	2,7	9,3	1,8	0,1
máx		399	16,5	7,89	62,8	21,0	4,7	1,6	270,4	6,6	15,4	4,4	0,3
m		349	15,6	7,65	55,5	15,4	3,3	1,1	227,9	4,4	13,3	2,8	0,2
CV (%)		8,26	4,07	1,69	6,12	25,82	26,35	27,13	9,00	21,30	14,74	25,21	26,96
n		19	19	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18
mín	<b>Játar</b>	313	12,0	7,60	43,2	14,0	1,1	0,7	201,5	2,3	7,1	2,2	0,1
máx		316	12,2	8,00	53,2	19,5	1,8	1,2	218,8	3,0	10,7	3,0	0,1
m		315	12,1	7,77	48,5	16,6	1,4	0,9	214,2	2,6	8,0	2,6	0,1
CV (%)		0,25	0,48	1,41	5,00	8,07	14,62	15,62	2,01	7,37	9,24	6,11	5,77
n		19	19	16	19	19	19	19	19	19	19	19	19
mín	<b>Alhama</b>	314	11,6	7,57	45,1	14,1	1,2	0,7	208,9	2,3	7,3	2,1	0,1
máx		318	11,6	7,95	54,6	17,9	1,9	1,1	219,4	2,8	7,9	3,0	0,1
m		316	11,6	7,77	50,7	16,0	1,5	0,8	215,5	2,5	7,6	2,6	0,1
CV (%)		0,30	0,00	1,49	4,89	5,71	15,57	12,37	1,19	4,92	2,11	7,47	6,69
n		17	17	15	17	17	17	17	17	17	17	17	17
mín	<b>Linarejo</b>	338	13	7,96	46,4	16,1	1,2	0,4	227,9	1,9	5,4	1,1	0,0
máx		342	13	8,40	56,1	19,7	1,9	0,9	243,1	3,1	6,9	2,1	0,1
m		340	12,8	8,21	52,4	18,0	1,5	0,6	238,2	2,6	6,5	1,9	0,1
CV (%)		0,41	1,63	1,25	4,97	4,75	16,60	26,20	1,46	10,59	4,89	12,36	11,21
n		21	21	18	21	21	21	21	21	21	21	21	21
mín	<b>Maro</b>	587	19	7,51	91,7	18,3	7,8	1,3	214,2	16,3	147,1	1,0	0,4
máx		782	19	7,83	134,4	31,0	14,8	3,5	221,8	26,7	267,8	2,4	0,6
m		739	19,4	7,65	120,4	28,3	12,5	2,0	217,8	24,3	240,3	1,4	0,5
CV (%)		6,50	0,18	1,20	8,12	11,50	11,87	20,53	1,02	10,16	12,15	21,84	10,56
n		5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
mín	<b>Fte. Negra</b>	531	15	7,52	65,4	33,6	2,4	0,9	255,2	4,3	78,8	1,9	0,4
máx		538	17	7,54	74,7	36,9	2,6	1,1	288,4	4,6	83,7	2,0	0,5
m		536	16,3	7,53	72,1	35,4	2,5	1,0	279,6	4,4	81,2	1,9	0,5
CV (%)		0,48	3,77	0,11	4,75	3,49	2,42	7,92	4,57	2,44	1,92	1,41	10,57
n		6	6	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6
mín	<b>Fte.Santa</b>	512	18	7,34	57,9	32,8	3,5	1,0	339,4	6,4	12,9	1,8	0,1
máx		519	19	7,56	68,9	37,4	3,9	1,3	353,3	6,9	14,9	2,7	0,1
m		517	18,8	7,42	64,0	35,5	3,7	1,1	348,2	6,6	14,5	2,4	0,1
CV (%)		0,47	1,01	1,11	6,55	3,97	4,08	10,31	1,36	2,86	4,88	12,43	6,38
n		8	8	5	8	8	8	8	8	8	8	8	8
mín	<b>La Zaza</b>	411	16	7,40	45,9	27,9	2,4	1,1	270,6	4,8	10,3	2,1	0,1
máx		420	16	7,76	55,5	29,3	3,0	1,2	291,2	5,2	11,0	2,5	0,1
m		416	15,8	7,59	49,7	28,4	2,6	1,1	283,9	5,1	10,8	2,3	0,1
CV (%)		0,80	0,61	1,53	7,80	1,91	8,88	5,13	2,14	2,42	1,89	5,54	5,72
n		5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5
mín	<b>Molino</b>	500	17	7,50	52,2	35,0	5,8	1,8	289,6	9,5	37,9	7,6	0,3
máx		502	17	7,60	59,1	37,5	6,3	2,2	294,4	9,9	41,8	8,8	0,3
m		502	16,8	7,56	56,6	36,4	6,0	2,0	291,2	9,7	40,2	8,1	0,3
CV (%)		0,16	0,88	0,55	4,21	2,25	2,60	6,42	0,57	1,68	3,48	4,68	1,74
n		8	8	6	8	8	8	8	8	8	8	8	8
mín	<b>Cijancos</b>	436	16	7,44	51,83	27,84	4,48	1,22	271,82	6,21	15,78	8,26	0,26
máx		445	16	7,58	61,44	29,78	5,38	1,65	287,24	7,46	17,79	9,11	0,31
m		441	16,4	7,52	56,7	29,2	4,8	1,4	281,5	7,0	16,6	8,7	0,3
CV (%)		0,76	0,20	0,59	4,97	2,57	6,00	8,03	1,73	5,62	3,43	3,52	5,12

Tabla 2. Parámetros físico-químicos del agua, componentes químicos mayoritarios del agua de los manantiales controlados (**n**= número de análisis, **mín**= valor mínimo, **máx**= valor máximo, **cv (%)**= coeficiente de variación expresado en tanto por ciento)

En la figura 8 se puede observar la distribución espacial de la composición química del agua subterránea del área de estudio. Sierra Tejeda está formada mayoritariamente por mármoles calizos, lo cual explica por qué sus manantiales (La Fájara, Játar, Alhama y Linarejo) drenan aguas de facies bicarbonatada cálcica. El agua del resto de surgencias del área de estudio presenta facies bicarbonatada cálcico-magnésica, debido al predominio de mármoles dolomíticos en los acuíferos que drenan. Esto es particularmente patente en las aguas de los manantiales de la sierra de Albuñuelas (Molino y Cijancos). Por otro lado, el agua de los manantiales de Maro y Fuente Negra tiene una composición química diferente al resto. La del primero es de facies sulfatada cálcica y tiene mayor mineralización, mientras que la de Fuente Negra es bicarbonatada cálcico-magnésica (Fig. 7) pero contiene una elevada concentración de  $\text{SO}_4^-$ .

La figura 8 pone de manifiesto que las aguas de dos manantiales como Maro y Fuente Negra presentan un elevado contenido de  $\text{SO}_4^-$  que no concuerda con la litología de los materiales que se observan en superficie. Andreo y Carrasco (1993) plantearon dos posibilidades para explicar el origen de los sulfatos contenidos en el agua del manantial de Maro: disolución de yesos u oxidación de sulfuros. El elevado grado de metamorfismo experimentado por los mármoles alpujárrides, con temperaturas por encima de  $700^\circ\text{C}$  (López y Gómez Pugnaire, 1993), incompatible con la presencia de yeso, parece apoyar la opción de la oxidación de sulfuros. Sin embargo, Vadillo *et al.* (2016), mediante el análisis isotópico del azufre y el oxígeno ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$  y  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ ) en el agua del manantial de Maro, determinaron que el origen más probable de los sulfatos es la disolución de yeso ( $\text{CaSO}_4$ ). Para precisar el origen de este componente en el agua de estos manantiales, próximamente se llevará a cabo un nuevo estudio isotópico ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$  y  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ ).

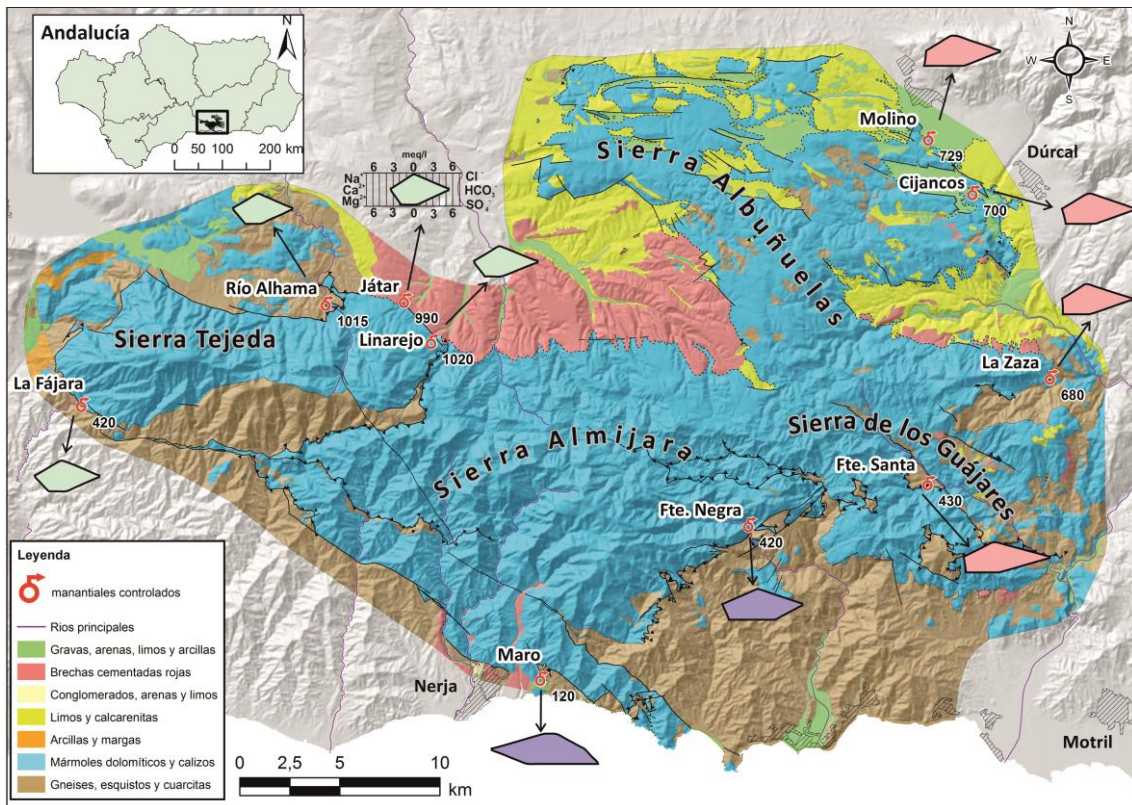


Figura 8. Distribución espacial de las características hidroquímicas (diagramas de Stiff)

#### 2.4.1.- Evolución temporal del manantial de La Fájara

Con el fin de evaluar el comportamiento hidrogeológico del manantial de la Fájara, a continuación se analizan las evoluciones temporales de los componentes químicos mayoritarios junto con el hidrograma de la propia surgencia en diferentes periodos de investigación.

- Periodo 2003-2009

En la figura 9 se muestra la evolución temporal del periodo de control del manantial de la fajara comprendido entre 2003 y 2009.

En primer lugar, se observa que la conductividad eléctrica (CE) y la temperatura (T°C) tienen un comportamiento muy similar. Ambos parámetros disminuyen, de forma muy rápida, ante los aumentos del caudal de la surgencia. Durante la primera crecida importante del año hidrológico 2003/2004 se produjo un rápido descenso de CE y T°C, en torno a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 2-3°C respectivamente. Sin embargo, la crecida que se registró un mes después no tuvo el mismo efecto. En



la primavera del mismo año se repitió este comportamiento con dos importantes aumentos de caudal separados por un mes. En ausencia de precipitación, en la época de estiaje, la CE tiende a aumentar progresivamente hasta alcanzar valores comprendidos entre 350 y 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Lo mismo ocurre con la temperatura que llega a valores en torno a 16 °C.

Las evoluciones de la alcalinidad, el  $\text{Ca}^{2+}$ , el  $\text{Mg}^{2+}$ , y el  $\text{SO}_4^{2-}$  (Fig. 9), son muy similares entre sí. Del mismo modo que ocurre con la CE y T°C, se producen descensos de concentración muy rápidos y marcados ante aumentos del caudal del manantial. La alcalinidad y la concentración en  $\text{Ca}^{2+}$  son los parámetros que más incidencia tiene en la composición química del agua del manantial de la Fájara (facies bicarbonatada cálcica), por ello son los componentes que más variación en su concentración sufren. La alcalinidad llega a tener descensos de hasta 50 mg/l como ocurre en las lluvias de otoño de 2003 y el invierno de 2007. Por otro lado, el contenido en  $\text{Ca}^{2+}$  se ve reducido en torno a 15 mg/l en las crecidas de los otoños de 2005 y 2007.

La concentración de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  (Fig. 9), experimentan diluciones durante las épocas de aguas altas. Estos componentes suelen estar en concentraciones muy bajas (<5 mg/l) a lo largo del año, y las variaciones que sufren son rápidas pero en general de pequeña entidad. No obstante, se aprecia que estos componentes, en mayor o menor medida, se producen un ligero aumento de las concentraciones justo antes de producirse la dilución. Esto se debe al empuje que ejercen las aguas de recarga sobre las que están presentes en el epikarst y la zona no saturada, cuyos procesos de evaporación aumenta la concentración de estos componentes.

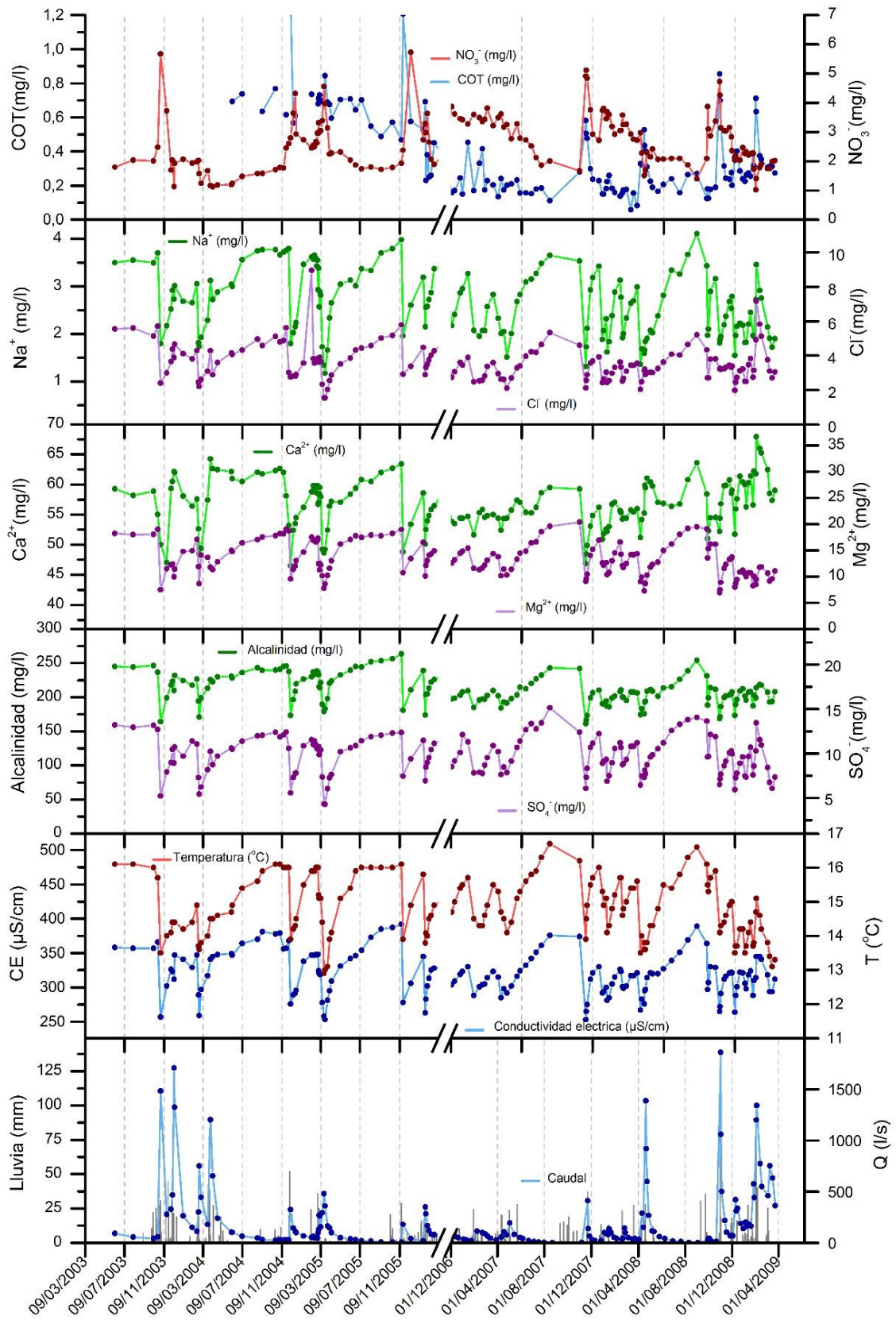


Figura 9. Evolución temporal del manantial de La Fajara para el periodo 2003-2009

Por último, las concentraciones en carbono orgánico total (COT) y  $\text{NO}_3^-$  presentan un comportamiento completamente diferente a lo observado en el resto de parámetros químicos analizados. Ambos parámetros sufren rápidos aumentos de concentración como respuesta ante las principales crecidas. Esto es más evidente con las primeras lluvias del año hidrológico, ya que durante el estiaje existe una acumulación de estos componentes en el suelo y con las primeras lluvias se produce un lixiviado que provoca el aumento de la concentración en las aguas que drena el manantial.

Durante el otoño e invierno del año hidrológico de 2008-2009 se producen importantes y frecuentes episodios de precipitación. La evolución en la concentración de los parámetros químicos es igual a lo comentado anteriormente, pero en este periodo las variaciones son más frecuentes y de menor entidad, con concentraciones por debajo de la media a lo largo de este periodo.

-Periodo junio de 2015 hasta marzo de 2016

En la figura 10 está representada la evolución temporal del periodo comprendido entre junio de 2015 hasta marzo de 2016.

La escasa precipitación durante el presente año hidrológico ha condicionado el comportamiento del manantial de la Fájara. En el hidrograma se puede apreciar que el manantial llegó casi a secarse al principio del mes de febrero, obteniendo una curva de agotamiento durante los meses de invierno poco frecuente como se ha podido observar en la figura 9.

El registro continuo del caudal permite observar con exactitud el comportamiento hidrodinámico del manantial de La Fajara, el cual experimenta rápidos aumentos de caudal en mayor o menor medida en función de la intensidad de la lluvia, a principio del mes de noviembre, después de los primeros eventos pluviométricos importantes el caudal de la fajara llegó a presentar valores por encima de 1000 l/s.

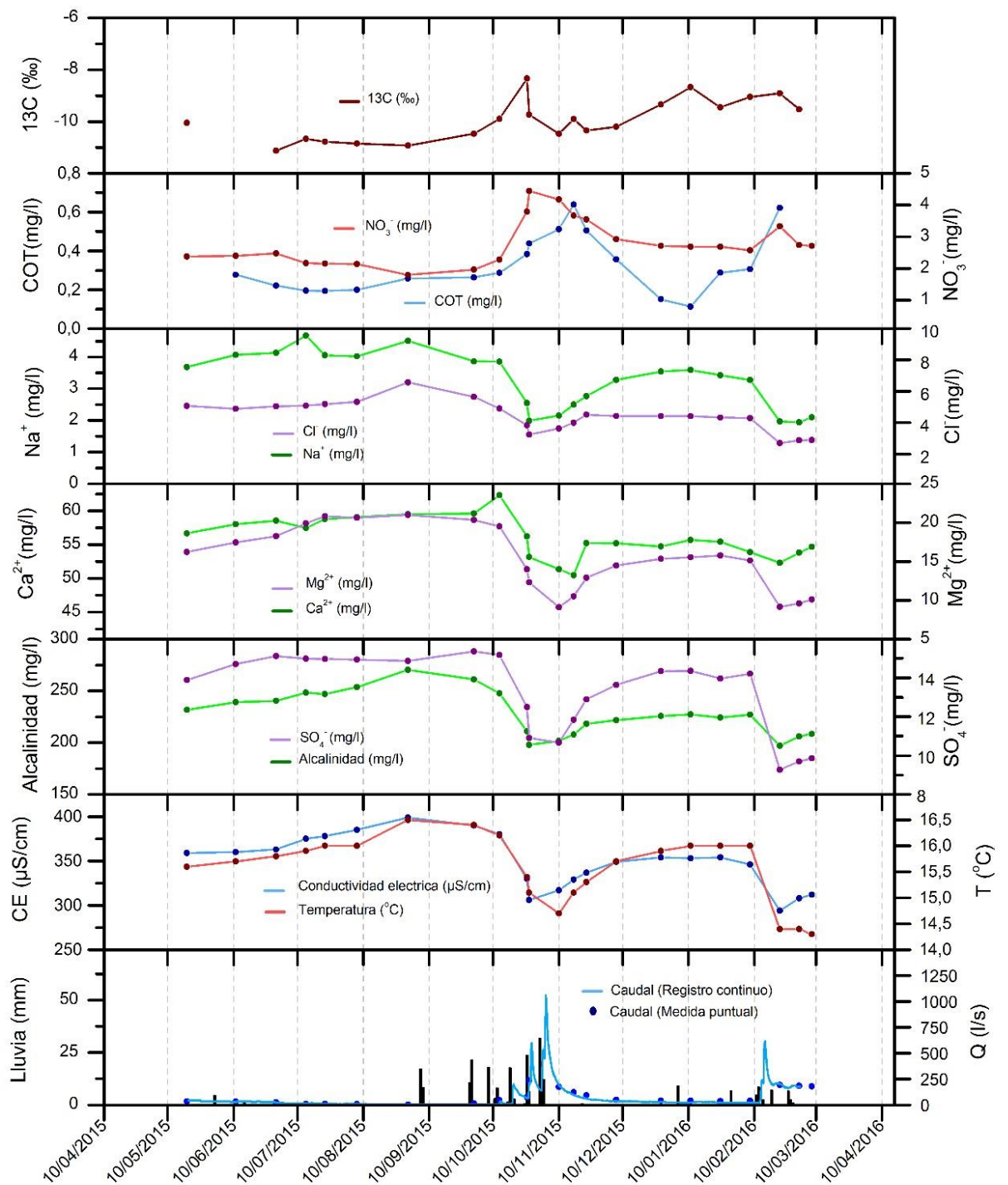


Figura 10. Evolución temporal del manantial de La Fájara (junio 2015- marzo 2016)

Al igual que lo observado anteriormente, se puede observar que los bruscos aumentos de caudal van acompañados de descensos de CE y T<sup>°</sup>C y diluciones generalizadas en todos los componentes químicos mayoritarios. Sin embargo, la

morfología de la evolución temporal del COT y  $\text{NO}_3^-$  coincide con la del caudal, es decir, se produce un aumento en la concentración de ambos parámetros en el agua como respuesta a importantes eventos pluviométricos.

#### *2.4.2.- Evolución temporal del manantial de Maro*

En la figura 11 muestra la evolución temporal del manantial de maro para los periodos 2003-2006 y junio 2015-marzo 2016.

El manantial de Maro responde rápidamente con aumentos de caudal ante los eventos de precipitación, con caudales máximos por encima de 1500 l/s a finales del año 2003, posteriormente las crecidas han sido de menor magnitud. En noviembre de 2015 el manantial alcanzó el caudal máximo (250 l/s) durante el presente periodo de investigación, la única crecida hasta el momento en este año hidrológico.

Las evolución de la CE y  $T^{\circ}\text{C}$  pone de manifiesto rápidos y marcados descensos como respuesta ante aumentos del caudal del manantial. El  $\text{SO}_4^{2-}$  y la concentración en  $\text{Ca}^{2+}$  son los parámetros que más incidencia tiene en la composición química del agua del manantial de Maro (facies sulfatada cálcica), por ello son los componentes que una variación más acentuada durante los procesos de dilución. Esto último se observa bien en la dilución que acompaña a la crecida de noviembre de 2015 donde la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  llega a descender más de 100mg/l y la del  $\text{Ca}^{2+}$  en torno 50 mg/l.

El comportamiento hidrodinámico e hidroquímico del manantial de Maro frente a la precipitación (con importantes y bruscos aumentos de caudal acompañado de claros procesos de dilución) es típicamente kárstico, lo que se traduce en una infiltración rápida del agua de lluvia a través de una red jerarquizada de conductos.

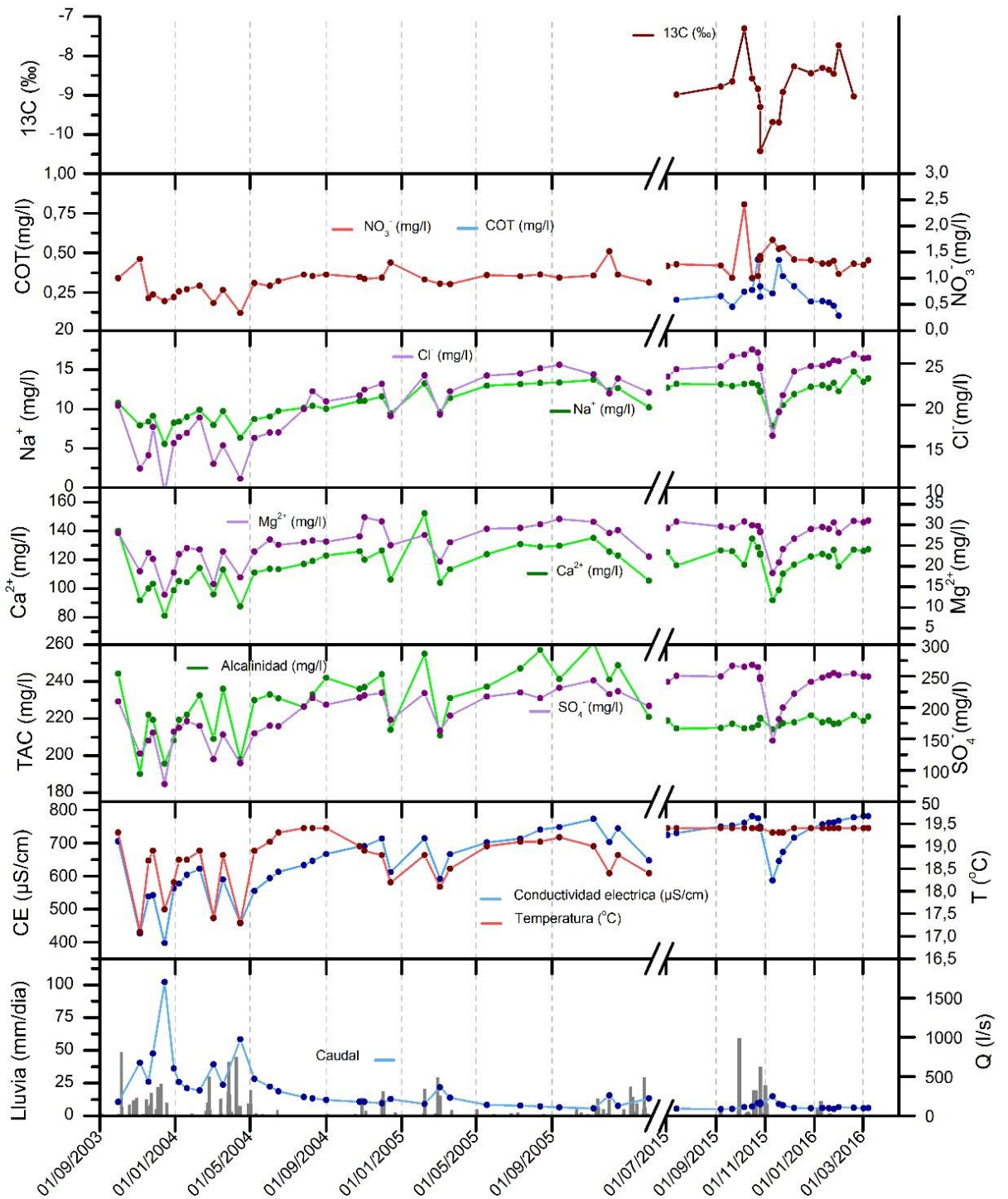


Figura 11. Evolución temporal del manantial de La Fájara (junio 2015- marzo 2016)

## 2.5.- Características isotópicas

### 2.5.1.- $\delta^{18}O$ y $\delta^2H$

En el tiempo de investigación se han recogido muestras de agua de la mayoría de manantiales y sondeos existentes en el área de estudio con objeto de determinar su composición isotópica. No obstante, el muestreo se ha centrado preferentemente en las principales surgencias, con mayor interés desde el punto de vista hidrogeológico.

En la tabla 3 se muestran los valores medios y coeficiente de variación de  $\delta^{18}O$  y  $\delta^2H$ , así como del exceso de deuterio (*d*) de las aguas. El valor medio de  $\delta^{18}O$  varía entre -8,26‰ (manantial de Játar) y -7,40‰ (Fuente Santa), mientras que el valor promedio de  $\delta^2H$  está comprendido entre -43,89‰ en la Fuente Santa y -54,21 ‰ en la surgencia del Molino (Padul, Granada).

Manantial	n	$\delta^{18}O$ (‰)				$\delta^2H$ (‰)				d, exceso de deuterio (‰)			
		min	max	med	cv	min	max	med	cv	min	max	med	cv
Cijancos	5	-8,16	-7,96	-8,03	-0,89	-53,22	-52,40	-52,90	-0,58	10,76	12,06	11,30	3,98
Molino	4	-8,27	-8,06	-8,17	-1,06	-54,37	-54,05	-54,21	-0,21	10,22	12,07	11,15	6,98
La Zaza	4	-8,14	-8,01	-8,05	-0,64	-49,60	-49,40	-49,46	-0,17	14,47	15,68	14,94	3,05
Fte.Santa	4	-7,48	-7,31	-7,40	-0,92	-44,05	-43,70	-43,89	-0,29	14,51	15,80	15,34	3,41
Fte.Negra	2	-7,70	-7,65	-7,68	-0,33	-46,55	-46,39	-46,47	-0,17	14,65	15,21	14,93	1,88
Fájara	21	-8,10	-7,59	-7,86	-1,59	-48,90	-45,92	-47,57	-1,68	14,76	16,16	15,29	2,94
Jatar	8	-8,39	-8,12	-8,26	-0,97	-51,24	-50,55	-51,05	-0,41	13,83	16,09	15,06	4,34
Linarejo	8	-8,32	-7,75	-8,18	-2,11	-50,59	-47,02	-50,04	-2,29	14,71	15,99	15,42	2,86
Alhama	8	-8,23	-8,06	-8,16	-0,70	-50,10	-49,54	-49,88	-0,43	14,91	15,93	15,42	2,33
Maro	19	-7,91	-7,66	-7,93	-2,35	-47,00	-46,35	-48,24	-3,09	13,92	16,16	15,20	3,50

Tabla 3. Parámetros estadísticos (número de análisis, n; mínimo, mín; máximo, máx; medio, med; y coeficiente de variación expresado en %, cv) de los isótopos de la molécula del agua.

El valor medio de exceso en deuterio (*d*, en la tabla 3) está comprendido entre 11,15 ‰, en el manantial Molino, y 15,42‰ en los manantiales de Linarejo y Alhama.

La composición isotópica más empobrecida de las aguas de los manantiales de la vertiente septentrional de sierra Tejada (Alhama, Játar y Linarejo) (Fig. 12 y Tabla 3) es coherente con una elevada altitud de recarga y con el hecho de que estas

surgencias se localizan en la parte más occidental del área de estudio (donde la cantidad de lluvia es mayor) y en la zona de umbría de sierra Tejeda (donde la evaporación es menor). En las surgencias más orientales, donde la precipitación es menor, se observan generalmente los valores isotópicos menos negativos (Fuente Santa). Entre ambos sectores se localizan los manantiales de La Fájara y de Maro, los cuales drenan aguas con composiciones isotópicas intermedias. Esta distribución espacial de la composición isotópica del agua subterránea es coherente con un efecto *Foehn* en dirección O-E de las precipitaciones de procedencia atlántica, lo que da lugar a un enriquecimiento en los valores isotópicos desde el oeste hacia el este, como ocurre en otros macizos montañosos de la provincia de Málaga (Andreo *et al.*, 2004).

Por otro lado, los manantiales más septentrionales del área de estudio (Cijancos y Molino) presentan los valores de deuterio más negativos (Fig. 12 y Tabla 3). Estas surgencias drenan aguas que se han infiltrado en la sierra de Albuñuelas y presentan una composición isotópica que no concuerda con la distribución espacial que se ha descrito previamente. Ello puede deberse a que la propia alineación montañosa de las sierras Tejeda, Almijara y Guájares, e incluso Sierra Nevada que queda inmediatamente al este, ejerzan de barrera para las precipitaciones de procedencia mediterránea y, por tanto, las aguas de recarga de los manantiales de sierra Albuñuelas tienden a alinearse más cerca de la LMM (Fig. 12). No obstante, es necesario seguir investigando las respuestas naturales de los manantiales de este acuífero, así como la composición isotópica del agua del resto de surgencias, para confirmar esta hipótesis.



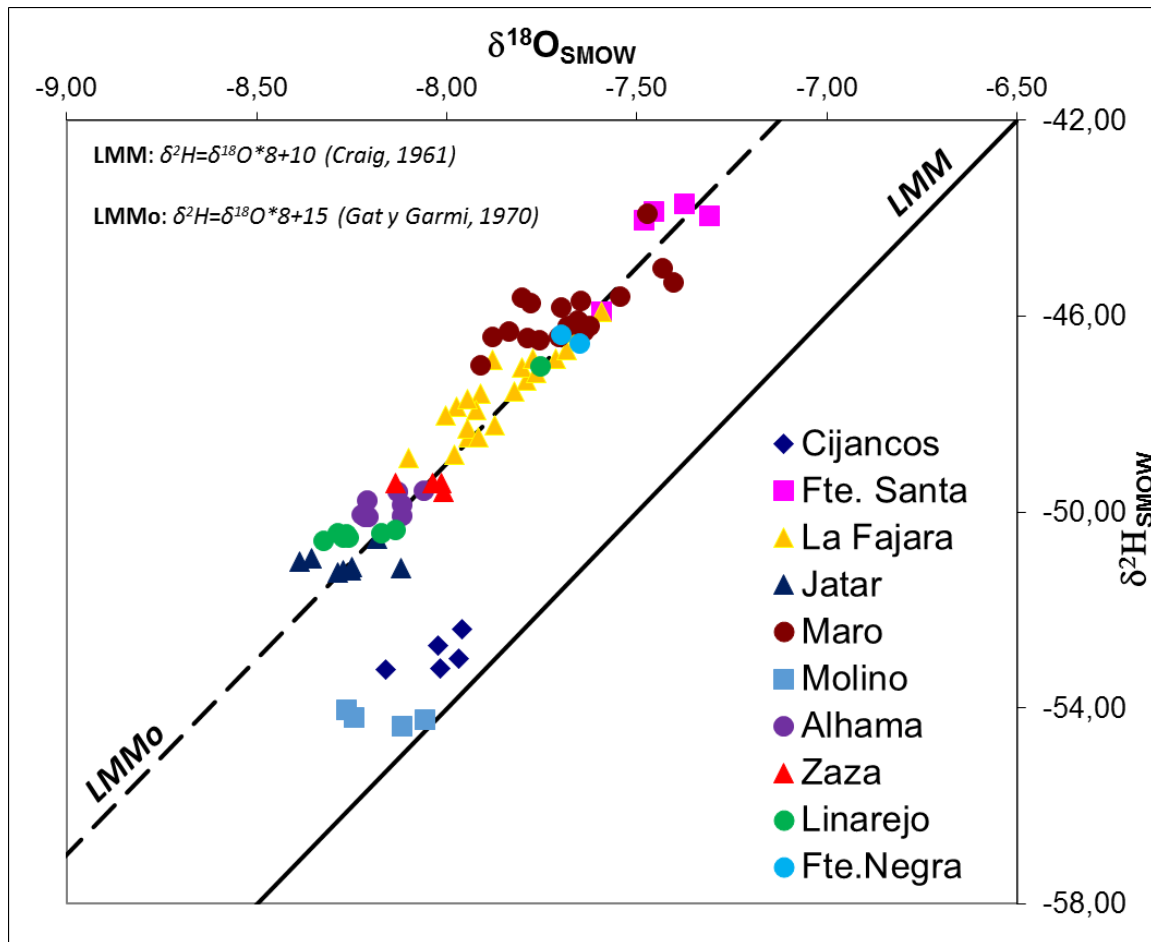


Figura 12. Representación de los valores de  $\delta^{18}O$  frente a  $\delta^2H$  de los manantiales controlados

### 2.5.2.- Carbono 13 ( $\delta^{13}C$ )

En la tabla 4 se presentan los parámetros estadísticos de los valores isotópicos del Carbono ( $\delta^{13}C$ ) contenido en el agua de las surgencias controladas. Según Clark y Fritz (1997) los valores de  $\delta^{13}C$  cercanos a 0‰ corresponden a aguas cerca del equilibrio con la roca, mientras que los valores en torno a -22‰ representan a las aguas meteóricas. Por consiguiente, este parámetro se utiliza como trazador natural ya que puede ser una medida cualitativa de del tiempo de residencia del agua en el acuífero.

Manantial $\delta^{13}C$			Manantial $\delta^{13}C$		
Cota (m s.n.m) (‰)			Cota (m s.n.m) (‰)		
n m CV (%)	<b>La Fájara 420</b>	20 -9,91 -7,78	n m CV (%)	<b>Fte. Negra 420</b>	5 -8,90 -9,24
n m CV (%)	<b>Játar 990</b>	17 -9,52 -4,41	n m CV (%)	<b>Fte.Santa 430</b>	6 -10,76 -5,52
n m CV (%)	<b>Alhama 1015</b>	18 -10,10 -5,33	n m CV (%)	<b>La Zaza 680</b>	8 -10,55 -6,66
n m CV (%)	<b>Linarejo 1020</b>	16 -10,84 -4,06	n m CV (%)	<b>Molino 729</b>	5 -9,34 -1,23
n m CV (%)	<b>Maro 120</b>	18 -8,76 -8,04	n m CV (%)	<b>Cijancos 700</b>	8 -9,22 -4,41

Tabla 4. Parámetros estadísticos (número de análisis, n; medio, med; y coeficiente de variación expresado en %, cv) del contenido isotópico de Carbono 13 ( $\delta^{13}C$ )

Los valores medios más negativos los presenta el manantial de Maro (-8,76 ‰) y el manantial de la Fuente Negra (-8,90 ‰), en cambio los valores menos negativos los presenta el manantial del Linarejo (-10,84‰).

La figura 13 muestra la distribución espacial de los valores medios de  $\delta^{13}C$ , pone de manifiesto que los manantiales de Maro y Fuente Negra probablemente drenen aguas con más tiempo de residencia en el acuífero respecto al resto de surgencias de las sierras Tejeda, Almirajara, Guájares y Albuñuelas.

Las aguas de estos manantiales tiene elevadas concentraciones de sulfatos en el agua (figuras 7 y 8), esto puede estar relacionado con el hecho de que sean aguas con mayor tiempo de residencia en el acuífero, pero es necesario seguir investigando esta anomalía química en el agua de estos manantiales.

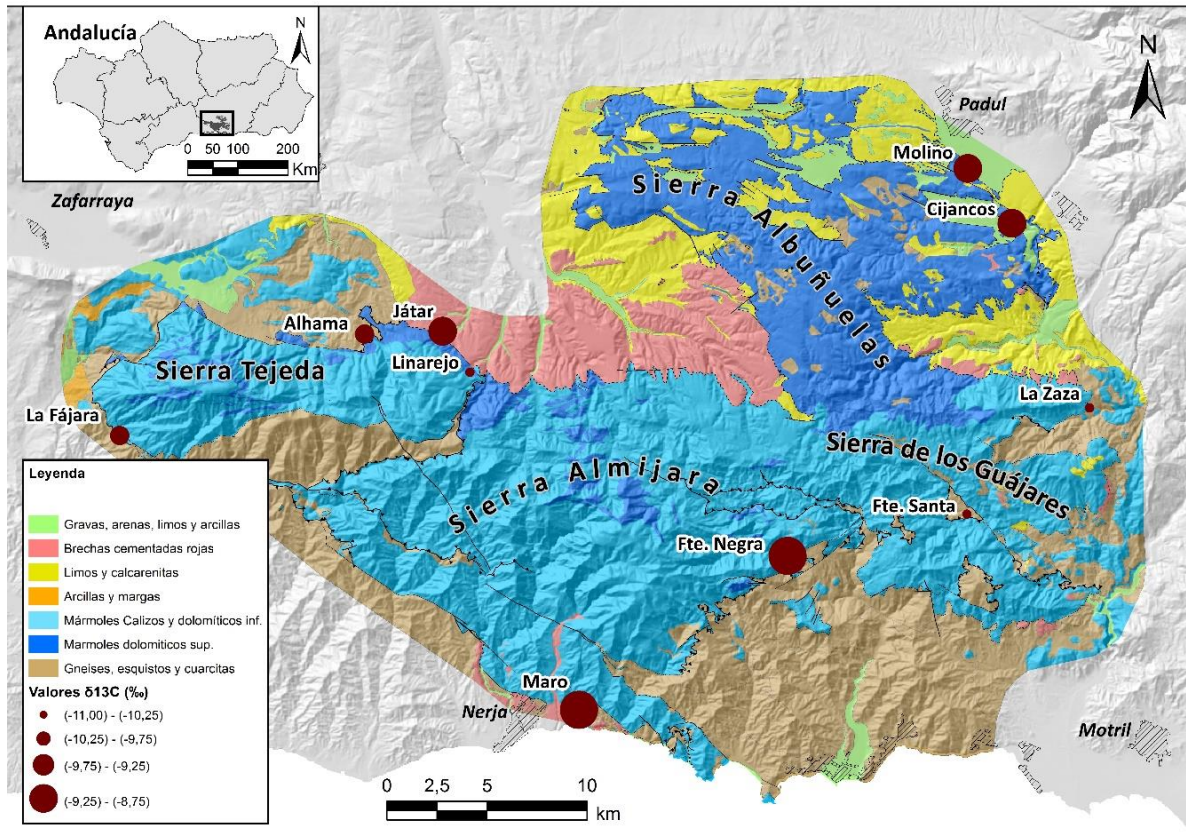


Figura 13. Distribución espacial de los valores medios de  $\delta^{13}C$

### 3. Diferenciación de sistemas hidrogeológicos

A partir de la geometría del acuífero, la piezometría, hidroquímica y composición isotópica de sus aguas subterráneas, se proponen una serie de sistemas

hidrogeológicos (Fig. 14), los cuales serán estudiados individualmente en futuros trabajos.

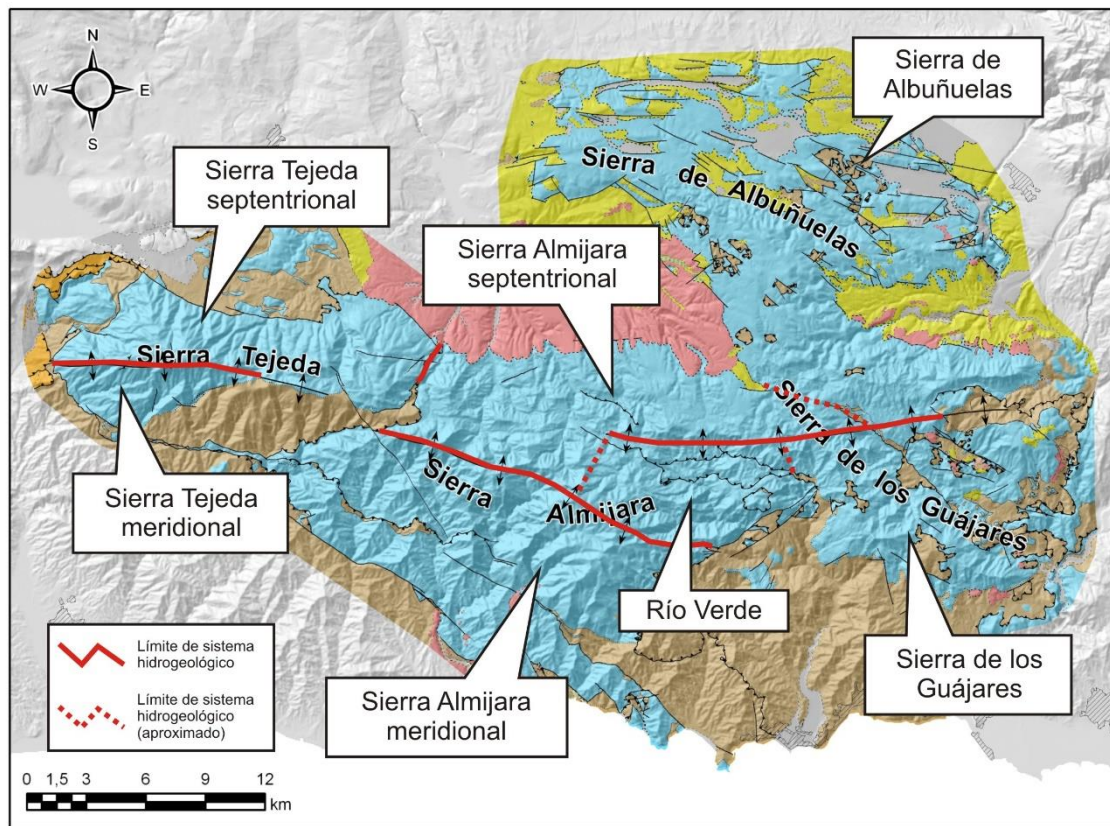


Figura 14. Sistemas hidrogeológicos definidos en Sierra Tejada-Almijara

A continuación se resumen las principales características generales de cada sistema:

**-Sierra Tejada septentrional**

Está limitada al norte y oeste por las fallas normales e inversas que separan los mármoles de los esquistos de la Unidad de los Guájares. Por el este limita con los materiales de relleno neógenos de la depresión de Granada, y al sureste, con los esquistos de la base de la serie, en posición estratigráfica normal. Al suroeste quedaría delimitado por la propia zona de charnela del antiforame de Sierra Tejada.

El drenaje se produce principalmente por los manantiales de Játar y del Río Alhama, en el sector noreste, aunque una parte de la descarga se produce

también por el extremo opuesto, en el Barranco del Alcázar, situado al norte de la localidad de Alcaucín.

La cota piezométrica se sitúa en torno a los 1000-1100 m en la mayor parte del sistema.

Las aguas de Sierra Tejada septentrional son poco mineralizadas, de facies bicarbonatadas cálcicas, debido a que los materiales acuíferos son predominantemente mármoles calizos. El valor de  $\delta^{18}\text{O}$  es relativamente empobrecido, lo que concuerda con una altitud media de la vertiente norte de sierra Tejada cercana a los 1500 m.

#### **-Sierra Tejada meridional**

El sistema está limitado al norte por la zona de charnela del antiformal de Sierra Tejada. El límite suroeste está formado por fallas normales, que separan los mármoles de los esquistos situados en cotas más bajas, mientras que por el sureste, la separación entre mármoles y esquistos se produce a través de un contacto normal.

La descarga se produce principalmente por el manantial de la Fájara, situado entre las localidades de Alcaucín y Canillas de Aceituno. Otros puntos de descarga de menor entidad se ubican en la cabecera de los ríos Almanchares y Rubite, todos situados al este de la Fájara, aunque a cotas superiores.

La cota piezométrica varía entre los 420 m de altitud en el manantial de la Fájara y los más de 900 en la cabecera del Río Rubite.

Las aguas del sistema de Sierra Tejada meridional son, desde el punto de vista hidroquímico, muy similares a las de sierra Tejada Septentrional, es decir, bicarbonatadas cálcicas, aunque con un contenido ligeramente mayor en cloruros. El valor de  $\delta^{18}\text{O}$  es menos negativo que lo observado en la vertiente septentrional donde la evaporación es menor (zona de umbría de sierra Tejada).

**-Sierra Almirajara septentrional**

El compartimento hidrogeológico de Sierra Almirajara septentrional limita por el norte con los materiales neógenos de la depresión de Granada, depositados de forma discordante sobre los mármoles. Dicho contacto es relativamente extenso, con más de 15 km de longitud. El límite sur está formado por dos anticlinales que definen las estructuras mayores del macizo de Sierra Almirajara. A grandes rasgos, dicho límite es casi coincidente con la divisoria hidrográfica entre las cuencas del Guadalquivir y Mediterránea Andaluza. Por el oeste, el sistema queda separado del de Sierra Tejada por medio de una falla inversa.

El límite más complicado de establecer es el que separa a este sistema del de la Sierra de Albuñuelas, dada la falta de datos de piezometría y la ausencia de estructuras geológicas que hagan posible la separación inequívoca. La división que se presenta debe ser verificada en investigaciones detalladas.

Las salidas se producen, mayoritariamente, de forma difusa a lo largo de los ríos que discurren por la vertiente norte de Sierra Almirajara, como son el Río Añales, el Río Cacán y su afluente el Cebollón, y el Río Grande, a cotas algo superiores a los 900 m de altitud. El sentido general de flujo es, por tanto, hacia el norte.

**-Sierra Almirajara meridional**

Está limitado al norte por el antiformal que cruza Sierra Almirajara con dirección NNO-SSE y, al sur, por el sistema de fallas normales NO-SE que van desde la población de Cómputa hasta el paraje de Cerro Gordo, donde los mármoles contactan directamente con el mar. El límite noroeste consiste en una falla inversa que coloca los esquistos de la base de la serie encima de los mármoles. Por el sureste existen fallas inversas y normales que delimitan el acuífero en ese sector, separando los mármoles de Almirajara de los esquistos basales.

La descarga tiene lugar de forma difusa hacia los cauces que surcan los relieves, de forma similar a la que se da en Sierra Almirajara septentrional. Además, existen manantiales importantes, especialmente los de Maro y el Río Chíllar. Las cotas de

descarga varían en función del sector considerado: unos 700 m s.n.m. en el sector noroccidental y el nivel del mar en Cerro Gordo.

Las aguas subterráneas presentan facies bicarbonatadas cálcico-magnésicas, a veces sulfatadas, e incluso cloruradas sódicas cerca del mar. Cabe señalar que los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  son menos negativos que, por ejemplo, en Sierra Tejeda, dada la menor altitud media de recarga.

### **-Río Verde**

El sistema se sitúa entre los dos anteriores, separado al norte y al sur por la charnela de dos antiformes de dirección E-O y NNO-SSE respectivamente. En el extremo NO está separado del sistema de Sierra Almijara septentrional por medio de una divisoria hidrogeológica que se ubica en las proximidades del pico Navachica. Al sureste, el acuífero queda limitado por las fallas de borde que ponen en contacto los mármoles de Sierra Almijara con la metapelitas de la base.

Las salidas de agua se producen tanto por manantiales como descarga difusa hacia el Río Verde, a cotas que van desde unos 800 m s.n.m. hasta los 430 m s.n.m de altitud, en el tramo final del río.

La composición química de las aguas varía entre bicarbonatadas cálcicas, en las surgencias de mayor cota, y más sulfatadas más cerca del contacto impermeable. El valor de  $\delta^{18}\text{O}$  es menos negativo que en Sierra Almijara meridional y similar a la de Sierra Tejeda, ya que el área de recarga de estos manantiales se sitúa en los relieves de gran altitud cercanos al Navachica.

### **-Sierra de los Guájares**

El límite norte de este compartimento lo forma uno de los anticlinales de Sierra Almijara, en su prolongación hacia el este. El resto del sistema está limitado, básicamente, por el contacto estratigráfico entre los mármoles, en una posición superior, y los esquistos, situados por debajo.

El Río de la Toba funciona como eje de drenaje de gran parte del sistema, de forma muy similar a los anteriores casos, mediante descarga difusa. La salida puntual más relevante es el manantial de la Fuente Santa, cerca de la localidad de Guájjar Alto, con una cota de surgencia de unos 430 m s.n.m. Las aguas de la Fuente Santa son de facies bicarbonatadas cálcico-magnésicas, muy parecidas a las encontradas en Sierra Almirajara meridional. El valor de  $\delta^{18}\text{O}$  es también similar, ya que la altitud de recarga media no sobrepasa los 1000 m.

### **-Sierra de Albuñuelas**

Es el sistema más grande, limitado en casi toda su extensión por materiales neógenos, discordantes sobre los mármoles, frecuentemente afectados por fallas normales, que rellenan las depresiones tectónicas del valle del Guadalfeo y la cuenca de Granada. Hacia el sur, quedaría separada de los mármoles de la Sierra de los Guájares por medio del antiformal de dirección E-O que atraviesa el macizo carbonatado. El límite suroeste, con Sierra Almirajara septentrional es, como se comentó anteriormente, más difícil de establecer. En este trabajo, se ha optado por trazar dicho límite partiendo de la traza de la falla NO-SE del Río de la Toba hasta llegar a la depresión de Granada.

La descarga visible de la Sierra de Albuñuelas tiene lugar a través de algunos manantiales situados en el borde oriental (Padul). En el Río Ízbor, a su paso un cañón excavado en los mármoles de la Sierra de Albuñuelas, se producen importantes salidas difusas, aunque son difíciles de cuantificar, debido a que una parte de las mismas debe provenir de la Sierra de Padul, situada más al este. De la piezometría existente se puede deducir, además, que una parte de los recursos se transfieren, de forma subterránea, hacia los materiales que rellenan la cuenca de Granada.

Las facies hidroquímicas de los manantiales son bicarbonatadas cálcico-magnésicas, si bien presentan contenidos relativamente elevados en sulfatos y, sobre todo, en cloruros, en el caso de los manantiales de Molino y Cijancos.



Las características isotópicas de las surgencias controladas en sierra Albuñuelas difieren respecto al resto del área de estudio, ya que se alinean más cerca de la Línea Meteorica Mundial lo que se puede deber a un efecto barrera de los propios macizos montañosos situados al sur.

#### **4. Conclusiones**

Las Sierras Tejeda y Almirajara constituyen un afloramiento de mármoles de más de 700 km<sup>2</sup> de extensión, cuyo espesor supera ampliamente los 500 m. Estos mármoles descansan sobre una potente serie de metapelitas.

Los manantiales en los que se ha mantenido un control periódico de las respuestas naturales han sido 10, seleccionados y considerados representativos después de analizar los datos antecedentes.

Las aguas subterráneas del área de estudio son principalmente de facies bicarbonatada cálcica y bicarbonatada cálcico-magnésica. Sin embargo también existen elevadas concentraciones de sulfatos en algunos puntos como Fuente Negra, pero esto es especialmente patente en el manantial de Maro cuyas aguas son de facies sulfatada cálcica. Se han planteado diferentes hipótesis para el origen de los sulfatos en dicha surgencia pero próximamente se llevará a cabo un estudio isotópico detallado pero intentar confirmar el origen de la concentración de dicho anión y conocer mejor la zona saturada del acuífero de Sierra Almirajara.

Los manantiales de la Fájara y de Maro presentan un comportamiento típicamente kárstico, es decir, sufren aumento rápido y brusco de caudal ante la precipitación acompañados de importantes procesos de dilución.

Después de analizar todos los datos se propone la división del área de estudio en diferentes sistemas hidrogeológicos que se evaluarán individualmente en los sucesivos informes.

## 5. Referencias

Andreo, B. y Carrasco, F. (1993): *Estudio hidrogeológico del entorno de la Cueva de Nerja*. Trabajos sobre la Cueva de Nerja, 3: 163-187

Andreo, B., Liñán, C., Carrasco F., Jiménez de Cisneros, C., Caballero, F., y Mudry, J. (2004): *Influence of rainfall quantity on the isotopic composition ( $^{18}O$  and  $2H$ ) of water in mountainous areas. Application for groundwater research in the Yunquera-Nieves karst aquifers (S Spain)*. Applied Geochemistry, 19: 561-574

Clark, I. y Fritz, P. (1997): *Environmental isotopes in hydrogeology*. CRC, 328 p.

Craig, H. (1961): *isotopic variations in meteoric waters*. Science, 133:1702-1703

Gat, J.R., y Garmi, I. (1970): *Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area*. J. Geophys. Res., 75 (15): 3039 – 3048.

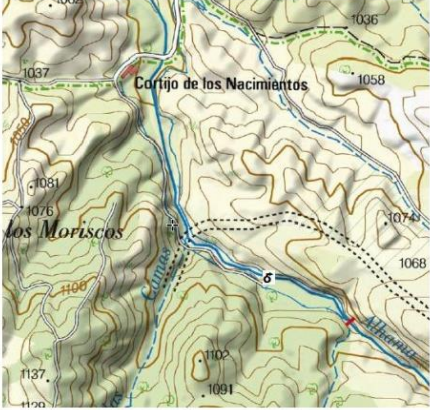

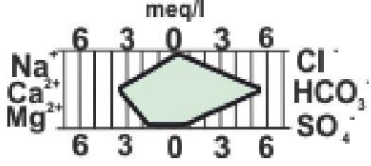
López, V. y Gómez Pugnaire M.T. (1993): *Introducción a la petrología de los mármoles de la Cueva de Nerja y materiales asociados*. Trabajos sobre la Cueva de Nerja, 3: 191-223

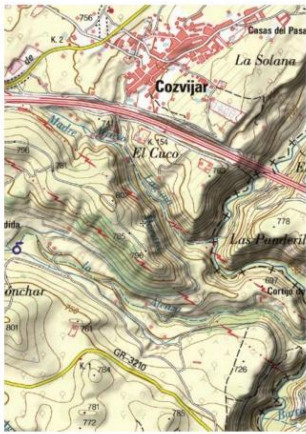

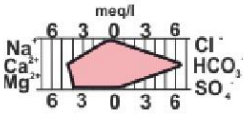
Sanz de Galdeano, C. y López-Garrido, A.C. (2003): *Revisión de las unidades alpujárrides de las sierras de Tejeda, Almirajara y Guájares*. Revista de la Sociedad Geológica de España, 16 (3-4): 135-149.

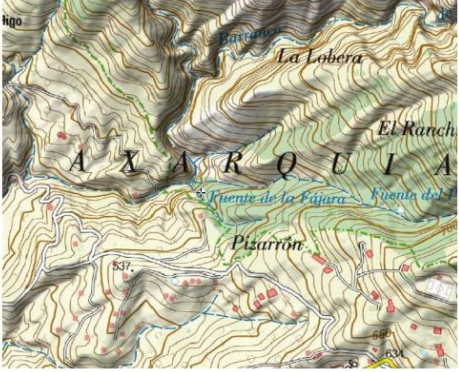

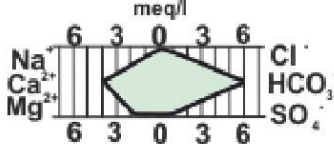
S.G.O.P. (1991): *Estudio hidrogeológico de las sierras Tejeda, Almirajara y Guájaras (Málaga y Granada)*. Memoria, planos y anejos. Informe restringido. 244 p.

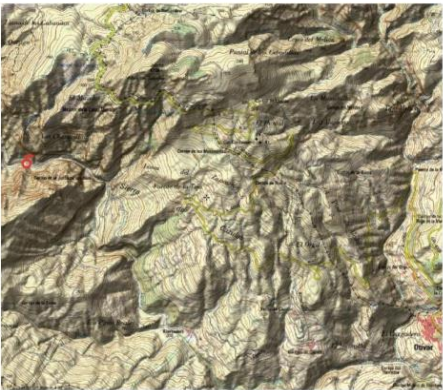

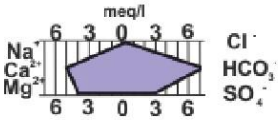
Vadillo, I., Benavente, J., Liñán, C., Carrasco, F. y Soler, A. (2016): *Nuevos datos hidroquímicos e isotópicos en el manantial kárstico de Maro (Nerja, Málaga)*. Consideraciones sobre el origen de los solutos y de la influencia de la ventilación en la zona vadosa. Geogaceta, 59, en prensa.



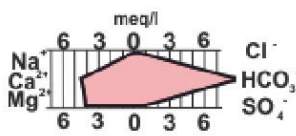
## **Anexo: Fichas de inventario de puntos de agua**

<p><b>INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA PROYECTO TEJAL</b></p>	<p><b>Nombre:</b> Nacimiento Río Alhama  <b>Hoja topográfica 1/50:000:</b> Zafarraya  <b>Coordenadas UTM (Huso 30 N):</b></p>	<p><b>Tipo de punto:</b> Manantial  <b>Número:</b> 1040  <b>X</b> 412225  <b>Y</b> 4087334</p>
<p><b>Cuenca hidrográfica:</b> Guadalquivir  <b>Masa de agua subterránea (M.A.S):</b> Sierra Tejeda (060.064)  <b>Naturaleza:</b> Rocas Carbonáticas  <b>Espacio Natural Protegido:</b> Parque Natural Sierras de Tejeda, Almijara y Alhama</p>		<p><b>Cota (m s.n.m):</b> 1020  <b>Cota piezométrica (m s.n.m):</b> 1020  <b>Profundidad:</b>  <b>Provincia:</b> Granada  <b>Termino Municipal:</b> Alhama de Granada</p>
<p>Mapa de Ubicación</p> 		<p>Fotografía: Jorge Prieto</p> 
<p><b>Caudal medio (l/s):</b> 100  <b>Caudal permanente:</b> SI  <b>Uso del Agua:</b> Abastecimiento urbano  <b>Sistema de explotación:</b>  <b>Cantidad extraída (l/s):</b> 40-50  <b>Observaciones:</b>                  Caseta de abastecimiento asociada con conducciones sin bombeo.</p>		<p><b>Conductividad eléctrica (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>):</b> 316  <b>Temperatura (<math>^{\circ}\text{C}</math>):</b> 11,6  <b>Facies Hidroquímica:</b> Bicarbonatado cálcico  <b>Diagrama de Stiff (composición química media):</b></p> 

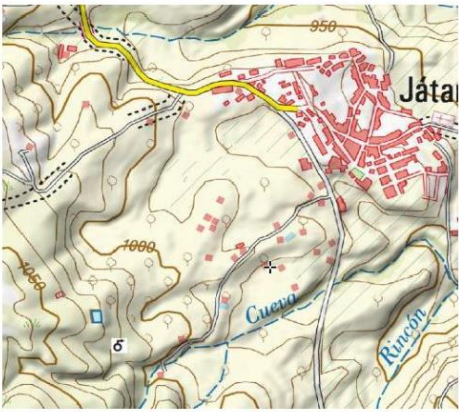

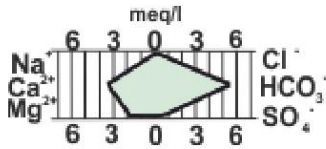
<b>INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA PROYECTO TEJAL</b>	<b>Nombre:</b> Cijancos <b>Tipo de punto:</b> Manantial
	<b>Hoja topográfica 1/50:000:</b> Dúrcal <b>Número:</b> 1041
	<b>Coordenadas UTM (Huso 30 N):</b> <b>X</b> <b>Y</b> 447009      4093023
<b>Cuenca hidrográfica:</b> C. Mediterráneas Andaluzas <b>Masa de agua subterránea (M.A.S):</b> Sierra Albuñuelas (060.061) <b>Naturaleza:</b> Rocas Carbonáticas <b>Espacio Natural Protegido:</b> No	<b>Cota (m s.n.m):</b> 700 <b>Cota piezométrica (m s.n.m):</b> 700 <b>Profundidad:</b> <b>Provincia:</b> Granada <b>Termino Municipal:</b> Villamena
<b>Mapa de Ubicación</b>	<b>Fotografía:</b> Jorge Prieto
	
<b>Caudal medio (l/s):</b> 150-175 <b>Caudal permanente:</b> Si <b>Uso del Agua:</b> No <b>Sistema de explotación:</b> <b>Cantidad extraída (l/s):</b> <b>Observaciones:</b> Existen numerosas surgencias a lo largo del cauce y termina en una cascada (Fotografía) donde se une al Río Dúrcal.	<b>Conductividad eléctrica (µS/cm):</b> 441 <b>Temperatura (°C):</b> 16,4 <b>Facies Hidroquímica:</b> Bicarbonatada cálcico-magnésica <b>Diagrama de Stiff (composición química media):</b> 

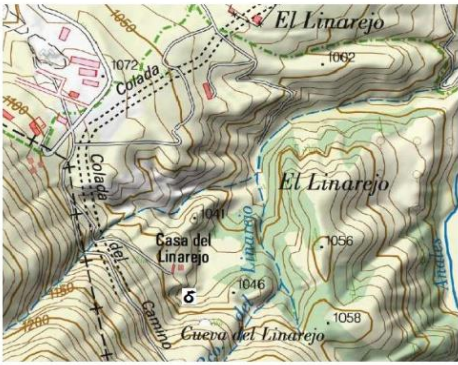

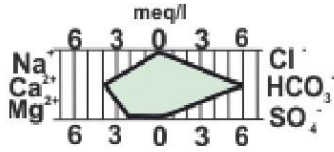
<p><b>INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA PROYECTO TEJAL</b></p>	<p><b>Nombre:</b> La Fájara  <b>Hoja topográfica 1/50:000:</b> Zafarraya  <b>Coordenadas UTM (Huso 30 N):</b></p>	<p><b>Tipo de punto:</b> Manantial  <b>Número:</b> 1040  <b>X</b> 402321  <b>Y</b> 4082550</p>
<p><b>Cuenca hidrográfica:</b> C. Mediterráneas Andaluzas  <b>Masa de agua subterránea (M.A.S):</b> Sierra Tejeda (060.064)  <b>Naturaleza:</b> Rocas Carbonáticas  <b>Espacio Natural Protegido:</b> Parque Natural Sierras de Tejeda, Almijara y Alhama</p>		<p><b>Cota (m s.n.m):</b> 420  <b>Cota piezométrica (m s.n.m):</b> 420  <b>Profundidad:</b>  <b>Provincia:</b> Málaga  <b>Termino Municipal:</b> Canillas de Aceituno</p>
<p>Mapa de Ubicación</p> 		<p>Fotografía: Jorge Prieto</p> 
<p><b>Caudal medio (l/s):</b> 100  <b>Caudal permanente:</b> SI  <b>Uso del Agua:</b> Agricultura  <b>Sistema de explotación:</b> Acequia  <b>Cantidad extraída (l/s):</b> 20-30  <b>Observaciones:</b>                  Se ha instalado un equipo de registro continuo de nivel de lámina de agua.</p>		<p><b>Conductividad eléctrica (µS/cm):</b> 349  <b>Temperatura (°C):</b> 15,6  <b>Facies Hidroquímica:</b> Bicarbonatado cálcico  <b>Diagrama de Stiff (composición química media):</b></p> 



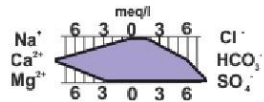
<b>INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA PROYECTO TEJAL</b>	<b>Nombre:</b> Fuente Negra	<b>Tipo de punto:</b> Manantial
	<b>Hoja topográfica 1/50:000:</b> Motril	<b>Número:</b> 1055
	<b>Coordenadas UTM (Huso 30 N):</b>	<b>X</b> 435696
<b>Cuenca hidrográfica:</b> C. Mediterráneas Andaluzas <b>Masa de agua subterránea (M.A.S):</b> Sierra de las Guájaras (060.062) <b>Naturaleza:</b> Rocas Carbonáticas <b>Espacio Natural Protegido:</b> Parque Natural Sierras de Tejeda, Almijara y Alhama		<b>Cota (m s.n.m):</b> 420 <b>Cota piezométrica (m s.n.m):</b> 420 <b>Profundidad:</b> <b>Provincia:</b> Granada <b>Termino Municipal:</b> Otívar
Mapa de Ubicación		Fotografía: Jorge Prieto
		
<b>Caudal medio (l/s):</b> 30-50 <b>Caudal permanente:</b> Si <b>Uso del Agua:</b> Si <b>Sistema de explotación:</b> acequia de riego <b>Cantidad extraída (l/s):</b> 60 <b>Observaciones:</b> El manantial se sitúa en el margen derecho del rio Verde, aguas abajo del paraje de "La Junta de los Ríos".  La cantidad extraída en la acequia depende del caudal que lleva el rio Verde aguas arriba de la Fuente Negra.		<b>Conductividad eléctrica (µS/cm):</b> 536 <b>Temperatura (°C):</b> 16,3 <b>Facies Hidroquímica:</b> Bicarbonatada cálcico-magnésica. <b>Diagrama de Stiff (composición química media):</b>
		



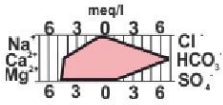
<b>INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA PROYECTO TEJAL</b>	<b>Nombre:</b> Fuente Santa <b>Tipo de punto:</b> Manantial <b>Hoja topográfica 1/50:000:</b> Dúrcal <b>Número:</b> 1041 <b>Coordenadas UTM (Huso 30 N):</b> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;"><b>X</b></td> <td style="text-align: center;"><b>Y</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">444630</td> <td style="text-align: center;">4078634</td> </tr> </table>	<b>X</b>	<b>Y</b>	444630	4078634
<b>X</b>	<b>Y</b>				
444630	4078634				
<b>Cuenca hidrográfica:</b> C. Mediterráneas Andaluzas <b>Masa de agua subterránea (M.A.S):</b> Sierra de las Guájaras (060.062) <b>Naturaleza:</b> Rocas Carbonáticas <b>Espacio Natural Protegido:</b>	<b>Cota (m s.n.m):</b> 430 <b>Cota piezométrica (m s.n.m):</b> 430 <b>Profundidad:</b> <b>Provincia:</b> Granada <b>Termino Municipal:</b> Los Guájares				
Mapa de Ubicación	Fotografía: Jorge Prieto				
					
<b>Caudal medio (l/s):</b> 40-50 <b>Caudal permanente:</b> Si <b>Uso del Agua:</b> Si <b>Sistema de explotación:</b> acequia de riego <b>Cantidad extraída (l/s):</b> 10-20 <b>Observaciones:</b>	<b>Conductividad eléctrica (µS/cm):</b> 517 <b>Temperatura (°C):</b> 18,8 <b>Facies Hidroquímica:</b> Bicarbonatada cálcico-magnésica. <b>Diagrama de Stiff (composición química media):</b> 				



<b>INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA PROYECTO TEJAL</b>	<b>Nombre:</b> Nacimiento de Játar	<b>Tipo de punto:</b> Manantial			
	<b>Hoja topográfica 1/50:000:</b> Zafarraya	<b>Número:</b> 1040			
	<b>Coordenadas UTM (Huso 30 N):</b>	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;"><b>X</b></td> <td style="text-align: center;"><b>Y</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">418662</td> <td style="text-align: center;">4087816</td> </tr> </table>	<b>X</b>	<b>Y</b>	418662
<b>X</b>	<b>Y</b>				
418662	4087816				
<b>Cuenca hidrográfica:</b> Guadalquivir <b>Masa de agua subterránea (M.A.S):</b> Sierra Tejeda (060.064) <b>Naturaleza:</b> Rocas Carbonáticas <b>Espacio Natural Protegido:</b> Parque Natural Sierras de Tejeda, Almijara y Alhama	<b>Cota (m s.n.m):</b> 990 <b>Cota piezométrica (m s.n.m):</b> 990 <b>Profundidad:</b> <b>Provincia:</b> Granada <b>Termino Municipal:</b> Arenas del Rey				
Mapa de Ubicación	Fotografía: Jorge Prieto				
					
<b>Caudal medio (l/s):</b> 60 <b>Caudal permanente:</b> SI <b>Uso del Agua:</b> Abastecimiento urbano <b>Sistema de explotación:</b> <b>Cantidad extraída (l/s):</b> 20-30 <b>Observaciones:</b> Caseta de abastecimiento asociada con conducciones sin bombeo.	<b>Conductividad eléctrica (µS/cm):</b> 315 <b>Temperatura (°C):</b> 12.1 <b>Facies Hidroquímica:</b> Bicarbonatado cálcico <b>Diagrama de Stiff (composición química media):</b> 				

<b>INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA PROYECTO TEJAL</b>	<b>Nombre:</b> El Linarejo <b>Tipo de punto:</b> Manantial
	<b>Hoja topográfica 1/50:000:</b> Zafarraya <b>Número:</b> 1040 <b>Coordenadas UTM (Huso 30 N):</b> <b>X</b> <b>Y</b> 419830      4085742
<b>Cuenca hidrográfica:</b> Guadalquivir <b>Masa de agua subterránea (M.A.S):</b> Sierra Tejeda (060.064) <b>Naturaleza:</b> Rocas Carbonáticas <b>Espacio Natural Protegido:</b> Parque Natural Sierras de Tejeda, Almijara y Alhama	<b>Cota (m s.n.m):</b> 1020 <b>Cota piezométrica (m s.n.m):</b> 1020 <b>Profundidad:</b> <b>Provincia:</b> Granada <b>Termino Municipal:</b> Arenas del Rey
Mapa de Ubicación	Fotografía: Jorge Prieto
	
<b>Caudal medio (l/s):</b> 40 <b>Caudal permanente:</b> SI <b>Uso del Agua:</b> No <b>Sistema de explotación:</b> <b>Cantidad extraída (l/s):</b> <b>Observaciones:</b>	<b>Conductividad eléctrica (µS/cm):</b> 338 <b>Temperatura (°C):</b> 12.8 <b>Facies Hidroquímica:</b> Bicarbonatado cálcico <b>Diagrama de Stiff (composición química media):</b>
	

<b>INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA PROYECTO TEJAL</b>	<b>Nombre:</b> Maro <b>Tipo de punto:</b> Manantial
	<b>Hoja topográfica 1/50:000:</b> Vélez-Málaga <b>Número:</b> 1054 <b>Coordenadas UTM (Huso 30 N):</b> <b>X</b> <b>Y</b> <span style="margin-left: 350px;">425248</span> <span style="margin-left: 350px;">4068886</span>
<b>Cuenca hidrográfica:</b> C. Mediterráneas Andaluzas <b>Masa de agua subterránea (M.A.S):</b> Sierra de Alberquillas (060.063) <b>Naturaleza:</b> Rocas Carbonáticas <b>Espacio Natural Protegido:</b> Parque Natural Sierras de Tejada, Almijara y Alhama	<b>Cota (m s.n.m):</b> 120 <b>Cota piezométrica (m s.n.m):</b> 120 <b>Profundidad:</b> <b>Provincia:</b> Málaga <b>Termino Municipal:</b> Nerja
Mapa de Ubicación	Fotografía: Jorge Prieto
	
<b>Caudal medio (l/s):</b> 100-150 <b>Caudal permanente:</b> Si <b>Uso del Agua:</b> Si <b>Sistema de explotación:</b> Derivación de abastecimiento y acequia de riego <b>Cantidad extraída (l/s):</b> 70-80 <b>Observaciones:</b> Actualmente está en proceso de construcción de una fuente	<b>Conductividad eléctrica (µS/cm):</b> 739 <b>Temperatura (°C):</b> 19,4 <b>Facies Hidroquímica:</b> Sulfatada cálcica <b>Diagrama de Stiff (composición química media):</b> 

<b>INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA PROYECTO TEJAL</b>	<b>Nombre:</b> Molino <b>Tipo de punto:</b> Manantial
	<b>Hoja topográfica 1/50:000:</b> Padul <b>Número:</b> 1026
<b>Coordenadas UTM (Huso 30 N):</b>	<b>X</b> <b>Y</b> 444693      4095913
<b>Cuenca hidrográfica:</b> C. Mediterráneas Andaluzas <b>Masa de agua subterránea (M.A.S):</b> Sierra Albuñuelas (060.061)	<b>Cota (m s.n.m):</b> 729 <b>Cota piezométrica (m s.n.m):</b> 729 <b>Profundidad:</b> <b>Provincia:</b> Granada <b>Termino Municipal:</b> Padul
<b>Naturaleza:</b> Rocas Carbonáticas <b>Espacio Natural Protegido:</b> No	
Mapa de Ubicación	Fotografía: Jorge Prieto
	
<b>Caudal medio (l/s):</b> 20 <b>Caudal permanente:</b> Si <b>Uso del Agua:</b> Si <b>Sistema de explotación:</b> acequia de riego <b>Cantidad extraída (l/s):</b> 20 <b>Observaciones:</b> Pequeña acequia de riego que recoge la totalidad de las aguas del manantial.	<b>Conductividad eléctrica (µS/cm):</b> 502 <b>Temperatura (°C):</b> 16,8 <b>Facies Hidroquímica:</b> Bicarbonatada cálcico-magnésica <b>Diagrama de Stiff (composición química media):</b>
	

<b>INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA PROYECTO TEJAL</b>	<b>Nombre:</b> La Zaza	<b>Tipo de punto:</b> Manantial			
	<b>Hoja topográfica 1/50:000:</b> Dúrcal	<b>Número:</b> 1041			
	<b>Coordenadas UTM (Huso 30 N):</b>	<table border="0"> <tr> <td style="padding-right: 20px;"><b>X</b></td> <td><b>Y</b></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 20px;">450761</td> <td>4083931</td> </tr> </table>	<b>X</b>	<b>Y</b>	450761
<b>X</b>	<b>Y</b>				
450761	4083931				

<b>Cuenca hidrográfica:</b> C. Mediterráneas Andaluzas <b>Masa de agua subterránea (M.A.S):</b> Sierra de las Guájaras (060.062) <b>Naturaleza:</b> Rocas Carbonáticas <b>Espacio Natural Protegido:</b>	<b>Cota (m s.n.m):</b> 680 <b>Cota piezométrica (m s.n.m):</b> 680 <b>Profundidad:</b> <b>Provincia:</b> Granada <b>Termino Municipal:</b> El Pinar
--	---

Mapa de Ubicación	Fotografía: Jorge Prieto
-------------------	--------------------------

	
--	---

<b>Caudal medio (l/s):</b> 40 <b>Caudal permanente:</b> Si <b>Uso del Agua:</b> Si <b>Sistema de explotación:</b> acequia de riego <b>Cantidad extraída (l/s):</b> 40 <b>Observaciones:</b> Caudal derivado para riego en su totalidad	<b>Conductividad eléctrica (µS/cm):</b> 416 <b>Temperatura (°C):</b> 15,8 <b>Facies Hidroquímica:</b> Bicarbonatada cálcico-magnésica. <b>Diagrama de Stiff (composición química media):</b> <div style="text-align: center;">  </div>
--	---