

INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA SOBRE MASAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON PROBLEMAS DE EXPLOTACIÓN EN LA CUENCA DEL GUADALQUIVIR, PROPUESTA DE USO SOSTENIBLE (ALTO GUADALQUIVIR). 2015-2017. 2ª FASE.

INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA SOBRE MASAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON PROBLEMAS DE EXPLOTACIÓN

Guadix-Marquesado (Alto Guadalquivir)

INFORME FINAL SOBRE RECOMENDACIONES DE EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE EN LOS SECTORES ACUÍFEROS DE GUADIX-MARQUESADO (MAS_b DE GUADIX Y MAS_b DE LA CALAHORRA-HUÉNEJA)

TOMO XI

NOVIEMBRE 2017

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1 SITUACIÓN Y LÍMITES	2
2 SUBDIVISIÓN DE LA ANTIGUA MASb 05.12 “GUADIX-MARQUESADO” COMO PUNTO DE PARTIDA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS DE GUADIX (ES050MSBT000051201) Y CORREDOR LA CALAHORRA-HUÉNEJA (ES050MSTB000051202)	4
2.1 SOBRE LA MASA Nº ES050MSBT000051201 GUADIX	8
2.2 SOBRE LA MASA Nº ES050MSBT000051202 CORREDOR DE LA CALAHORRA-HUÉNEJA	20
3 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN	25
4 RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO E HIDROMÉTRICO	28
4.1 RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO	28
4.2 HIDROMETRÍA	32
5 INSTRUMENTACIÓN DE SONDEOS	44
6 ANÁLISIS ESPACIAL DE LA PIEZOMETRÍA	49
7 ANÁLISIS TEMPORAL DE LA PIEZOMETRÍA	57
8 CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTO DE SONDEOS EN LA MASB CORREDOR DE LA CALAHORRA-HUÉNEJA Y GUADIX MEDIANTE DIGRAFÍAS CON LA UNIDAD MÓVIL DEL IGME DE GRANADA.....	69
8.1 INTRODUCCIÓN	69
8.2 METODOLOGÍA	70
8.3 SELECCIÓN PREVIA DE SONDEOS DONDE EFECTUAR UN RECONOCIMIENTO PRELIMINAR ...	74
8.4 TESTIFICACIONES REALIZADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO	76
9 IMPACTO EN EL ACUÍFERO TRAS EL CESE DE LA EXPLOTACIÓN DE LA MINA EN 1996	97
10 SOBRE LAS POSIBILIDADES DE RECARGA ARTIFICIAL PARA RESTITUCIÓN DE NIVELES EN LA MASb ES050MSBT000051202 CORREDOR DE LA CALAHORRA-HUÉNEJA.	103
10.1 INTRODUCCIÓN Y CONSIDERACIONES PREVIAS SOBRE LA POSIBLE RECARGA EN LA MASA DE AGUA DE LA CALAHORRA-HUÉNEJA.	103
10.2 LA RECARGA EN EL PLAN HIDROLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR	107
10.3 PROPUESTA DE RECARGA ARTIFICIAL EN EL CORREDOR DE LA CALAHORRA-HUÉNEJA COMO RESTITUCIÓN DE LA MASA DE AGUA AL BUEN ESTADO CUANTITATIVO	108
10.3.1 Objeto de la recarga	108
10.3.2 Metodología para la propuesta de recarga artificial en las diferentes subcuencas ...	109
10.3.3 Recarga artificial mediante el agua superficial invernal de la vertiente Norte de Sierra Nevada (Barranco de Benéjar).	112

10.3.4	Sobre la calidad del agua procedente del barranco de Benéjar para su utilización en recarga artificial.	118
10.3.5	Recarga artificial desde la acequia de Huéneja	127
10.3.6	Recarga artificial mediante el agua de extracción de la Mina de Alquife	130
10.4	CONSIDERACIONES FINALES SOBRE EL EMPLAZAMIENTO SELECCIONADO PARA LA POSIBLE RECARGA ARTIFICIAL	135
10.5	SOBRE LA CALIDAD NATURAL DE LAS AGUAS DEL ACUÍFERO Y DEL AGUA DE RECARGA ...	135
10.6	SOBRE EL MÉTODO DE RECARGA	136
11	SOBRE EL MODELO GEOLÓGICO 3D DEL SECTOR MERIDIONAL DE LA CUENCA DE GUADIX.....	139
11.1	JUSTIFICACIÓN	139
11.2	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA	139
11.3	METODOLOGÍA	141
11.4	ELEMENTOS DEL MODELO. SUPERFICIES DE REFERENCIA Y FALLAS.....	141
11.5	SOFTWARE UTILIZADO EN LA MODELIZACIÓN 3D	145
11.6	RESULTADOS.....	147
11.7	CONCLUSIONES	152
12	RECOMENDACIONES PARA LA EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DE LA MASA DE AGUA CORREDOR DE LA CALAHORRA-HUÉNEJA	153
13	BIBLIOGRAFÍA	157

INTRODUCCIÓN

El presente informe se redacta dentro del proyecto “Investigación hidrogeológica sobre masas de agua subterránea con problemas de explotación en la Cuenca del Guadalquivir. Propuesta de uso sostenible (Alto Guadalquivir)”, vinculado al Convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y el Instituto Geológico y Minero de España, para la investigación de diferentes masas de agua subterránea como apoyo a gestión hidrológica de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Periodo 2012-2015, y Adenda periodo 2015-2017. En él se presentan las recomendaciones para un uso sostenible de las masas de agua subterránea (MASb) 51201 “Guadix” y 51202 “Corredor de La Calahorra-Huéneja” que con anterioridad integraban la MASb 05.12 “Guadix-Marquesado”.

Los trabajos que se recogen en este informe y la redacción del mismo han corrido a cargo de los técnicos del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) D. Jorge Jiménez Sánchez y D. Juan Carlos Rubio Campos (Jefe de la Unidad Territorial de Granada y Responsable del Proyecto), con el apoyo para el sector de Huéneja de D. Crisanto Martín Montañés y la colaboración de José Antonio Navarro García, Luis Miguel Hueso Quesada y Antonio González Ramón.

Para la realización de las actividades incluidas en este informe se ha utilizado el equipamiento de la Unidad móvil para estudios hidrogeológicos y medioambientales disponible en la Unidad Territorial del IGME en Granada, cofinanciada con Fondos Feder (referencia proyecto IGME 10-1E-1284).

1 SITUACIÓN Y LÍMITES

La antigua MASb 05.12 “Guadix - Marquesado” ocupaba gran parte de la denominada Vega de Guadix y los Llanos del Marquesado. Comprendía básicamente, la Planicie del Marquesado y el Valle del Río Verde, principal afluente del Río Fardes (figura 1).

Se localiza entre Sierra Nevada y la Sierra de Baza, y constituye una extensa altiplanicie a una altitud media de 1100 m sobre el nivel del mar, conocida como Comarca del Marquesado. Su borde sur, de dirección aproximada E-O, se apoya en la pendiente y esquistosa ladera norte de Sierra Nevada; el sector suroriental de esta altiplanicie se adentra en la provincia de Almería a través del Corredor de Fiñana, pasando a formar parte de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. El borde nordeste, lo forma la Sierra de Baza, de naturaleza similar a Sierra Nevada en la parte meridional, y más escarpada y de naturaleza carbonatada en la zona septentrional. El sector

norte de esta llanura se termina bruscamente en los valles del Río Verde y sus tributarios, valles en los que se localizan las zonas de cultivo más importantes de la comarca.

Esta cuenca, situada en la provincia de Granada, se encuentra comprendida dentro de las hojas, Moreda (nº 992), Benalúa de Guadix (nº 993), La Peza (nº 1010), Guadix (nº 1011) y Aldeire (nº 1028) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1: 50 000 del I.G.C.

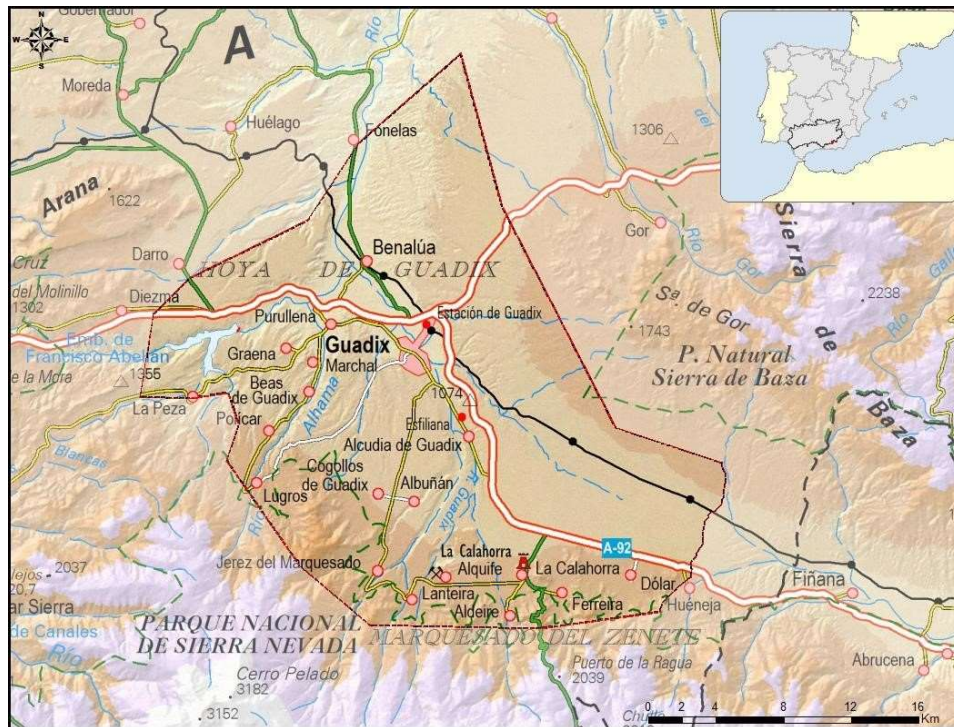


Figura 1: Localización de la MASb 0512 Guadix-Marquesado.

Los términos municipales incluidos de forma total o parcial en esta poligonal envolvente son los siguientes: Guadix, Valle Del Zalabí, Dólar, La Calahorra, Ferreira, Alquife, Jerez del Marquesado, Lanteira, Cogollos de Guadix, Benalúa de Guadix, Fonelas, Purullena, Darro, Diezma, Cortes y Graena, La Peza, Polícar, Lugros, Beas de Guadix, Marchal y Albuñán, todos ellos pertenecientes a la provincia de Granada.

2 SUBDIVISIÓN DE LA ANTIGUA MASb 05.12 “GUADIX-MARQUESADO” COMO PUNTO DE PARTIDA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS DE GUADIX (ES050MSBT000051201) Y

CORREDOR LA CALAHORRA-HUÉNEJA (ES050MSTB000051202)

En el marco del presente proyecto se ha procedido a la propuesta de segregación de la MASb 05.12 Guadix-Marquesado en dos nuevas MASb, tomando como partida lo recogido en la Instrucción de Planificación Hidrológica aprobada por orden ARM/2656/2008 de 10 de septiembre, BOE nº 229 de fecha 22 de septiembre de 2008. Así, se han seguido, entre otros criterios, los recogidos de la Instrucción de Planificación Hidrológica, para la delimitación de las propuestas de nuevas MASb ES050MSBT000051201 Guadix y ES050MSBT000051202 Corredor de La Calahorra-Huéneja:

2.3.1 a) Las masas de agua subterránea se definirán a partir de las unidades hidrogeológicas definidas en los planes hidrológicos de cuenca aprobados mediante Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio, comprobando, según los criterios expuestos a continuación, la vigencia de los fundamentos en que se basaba el establecimiento de los límites de cada unidad. Asimismo, se identificarán y delimitarán aquellas zonas en las que no se definieron unidades hidrogeológicas pero donde existen acuíferos significativamente explotados o susceptibles de explotación, en particular para abastecimiento de agua potable.

2.3.1 b) En la delimitación se seguirán los límites impermeables, lo que simplifica el establecimiento de balances hídricos y permite una evaluación más fiable del estado cuantitativo de la masa. En zonas remotas situadas en divisorias hidrográficas donde no haya actividades humanas significativas podrá utilizarse como alternativa la divisoria de flujo subterráneo. El curso de ríos efluentes también podrá utilizarse como límite en aquellos casos en que el riesgo de no alcanzar el buen estado sea diferente en las zonas en que queda dividida la unidad.

2.3.1 c) En la delimitación también se seguirán los límites de influencia de la actividad humana, con objeto de que las masas definidas permitan una apropiada descripción del estado de las aguas subterráneas.

2.3.1 d) Se delimitarán como masas de agua diferenciadas aquellas zonas de las unidades hidrogeológicas que, por razones de explotación, de intrusión marina, de afección a zonas húmedas o de contaminación difusa, presenten un riesgo evidente de no alcanzar el buen estado, lo que permitirá concentrar en la zona problemática el control y la aplicación de medidas.

2.3.1 e) Con carácter excepcional, en el caso de acuíferos confinados podrán definirse masas superpuestas en la vertical si la importancia del nivel acuífero inferior lo justifica, siempre que existan marcadas diferencias con el superior en cuanto a estado, presiones, ecosistemas vinculados o valores umbral y se requiera una caracterización adicional.

2.3.1 f) En aquellos casos en que una formación acuífera aflorante en superficie pase lateralmente a confinada sin volver a aflorar ni ponerse en contacto directo con otro acuífero, la masa de agua subterránea podrá prolongarse hasta una línea virtual que comprenda las captaciones existentes en el acuífero confinado, con objeto de incorporar en su caracterización las presiones a que está sometida la masa.

2.3.1 g) Se considera deseable un tamaño mínimo de masa comprendido entre 25 y 100 km², por lo que se procederá a agregar unidades contiguas o próximas entre sí hasta alcanzar dicho tamaño, siempre que con ello no se vulneren los criterios anteriores. En este proceso de agrupación se tendrá en cuenta que las formaciones de baja permeabilidad son susceptibles de integración en masas de agua subterránea. Las masas de agua subterránea se definirán mediante un sistema de información geográfica. Esta definición se completará con las coordenadas del centroide correspondiente. Asimismo, se indicará el área total de la masa y el horizonte en que se sitúa (superior, intermedio o inferior).

La antigua MASb 05.12 “Guadix-Marquesado” ha sido dividida en las masas de Guadix y Corredor de La Calahorra-Huéneja. Las nuevas masas de agua diferenciadas (Guadix y Corredor de La CalahorraHuéneja), presentan un comportamiento hidrogeológico y características diferenciadas en cuanto a la evolución piezométrica, espesor y entradas naturales, por lo que su diferenciación permitirá concentrar las medidas correctoras en cada una de ellas por separado, caso de ser necesarias.

La nueva delimitación (segregación) se apoya en varios de los criterios enunciados en la Instrucción de Planificación anteriormente citada. Estos son los siguientes:

- La Masb 51202 “Corredor de La Calahorra-Huéneja” presenta unos espesores menores y unas entradas muy limitadas en relación con la vecina MASb 51201 “Guadix” (apartado b de la Instrucción referido a la simplificación de los balances hídricos).
- Asimismo se le pueden asignar límites impermeables y cursos efluentes diferenciados: los de las ramblas de Benéjar y Algaida para la MASb 51202 (apartado b de la Instrucción).

- La actividad humana existente en ambas MASb permite diferenciarlas en función del estado de las aguas subterráneas (apartado c de la Instrucción).
- En la MASb 51202, la explotación de las aguas subterráneas, a priori, hace que presente un riesgo evidente de no alcanzar el buen estado, lo que permitirá concentrar en ella el control y la aplicación de medidas correctoras (apartado d de la Instrucción).

En la figura siguiente (figura 2), podemos observar la antigua delimitación de la MASb 05.12 GuadixMarquesado (a), y las nuevas delimitaciones propuestas para el Plan hidrológico de las nuevas MASb 51201 Guadix y 51202 Corredor de La Calahorra-Huéneja.

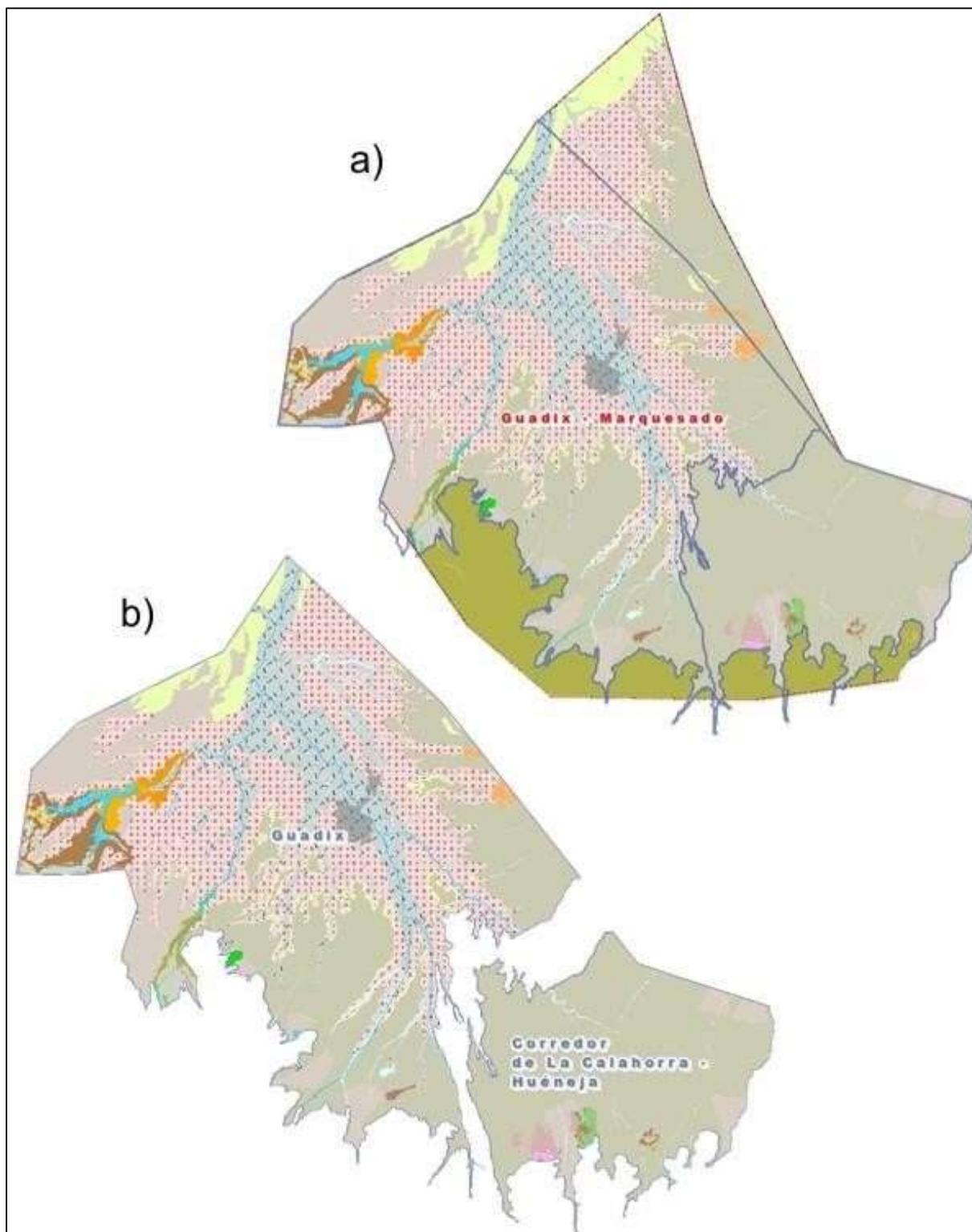


Figura 2: (a) Delimitación de la MASb 05.12 Guadix-Marquesado. (b) Delimitación de las MASb 51201 Guadix y 51202 Corredor de La Calahorra-Huéneja.

2.1 SOBRE LA MASA Nº ES050MSBT000051201 GUADIX

La nueva delimitación se apoya, en grandes líneas, en lo recogido en el apartado 2.3.1. b) de la Instrucción de Planificación Hidrológica en lo que se refiere a límites impermeables y presencia de cursos efluentes (Benéjar y Algaida) que la limitan por el Este, con la vecina masa de La CalahorraHuéneja.

La MASb 51201 “Guadix” ocupa gran parte de la denominada Vega de Guadix y los Llanos del Marquesado. Se localiza entre Sierra Nevada y la Sierra de Baza, y constituye una extensa altiplanicie a una altitud media de 1.100 m sobre el nivel del mar, dentro de la Comarca del Marquesado, que comprende la planicie del Marquesado y el Valle del Río Verde, principal afluente del Fardes .

Esta MASb engloba una superficie de unos 372 km², siendo la superficie total de afloramientos permeables de 235 km², de los cuales unos 3 km² corresponden a afloramientos carbonatados, otros 3 km² de esquistos y 225 km² a materiales Pliocuaternario, con espesores de hasta 300 m.

Litológicamente está constituida esencialmente por un conjunto de materiales detríticos de origen fluvial, denominados “Formación Guadix” de edad Plioceno y Cuaternario antiguo (ITGE, 2000; IGME, 2001 e IGME, 2014). El acuífero que conforman estos materiales se alimenta fundamentalmente de la escorrentía superficial que aporta la vertiente norte de Sierra Nevada y su drenaje principal se realiza al cauce del Río Verde. Por el oeste destaca el aporte superficial a través de la vertiente nororiental de la Sierra de La Peza. A este proceso de alimentación hay que sumar la infiltración directa del agua de lluvia caída directamente sobre los materiales permeables de la “Formación Guadix” así como la transferencia lateral subterránea procedente de las formaciones carbonáticas de borde (Sierra de Baza y Sierra de La Peza), en contacto directo con los materiales detríticos permeables (IGME, 2014).

Los límites de la formación acuífera son los siguientes: por el suroeste, el borde de la ladera norte de Sierra Nevada, de naturaleza esquistosa y acentuada pendiente; por el este, la rambla de Benéjar, hasta las proximidades de Alcadia de Guadix, y la Rambla de Algaida; por el nordeste, el borde formado por las estribaciones de la Sierra de Baza, de naturaleza similar a Sierra Nevada en la parte meridional, y más escarpada y de naturaleza carbonatada en la zona septentrional y por el norte, los valles del Río Verde y sus tributarios, en los que se localizan las zonas de cultivo más importantes de la comarca.

Esta MAS está situada en la provincia de Granada y se encuentra comprendida dentro de las hojas, Moreda (nº 992), Benalúa de Guadix (nº 993), La Peza (nº 1010), Guadix (nº 1011) y Aldeire (nº 1028) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1: 50 000 del I.G.C.

La masa de agua está integrada por parte de los términos municipales de Albuñan, Aldeire, Alquife, Beas de Guadix, Benalúa de Guadix, La Calahorra, Cogollos de Guadix, Corte y Graena, Darro, Diezma, Dólar, Ferreira, Fonelas, Guadix, Huéneja, Jeres del Marquesado, Lanteira, Lugros, Marchal, La Peza, Policar, Purullena y Valle del Zalabí.

La MASb **ES050MSBT000051201 “Guadix”** comprende los tramos de conglomerados y arenas adyacentes a la vertiente septentrional de Sierra Nevada, más los depósitos aluviales recientes asociados a los ríos Alhama y Verde, hasta su confluencia con el Río Fardes.

La formación detrítica primera “Formación Guadix”, se corresponde con facies proximales de un sistema de abanicos aluviales coalescentes cuyo origen está en Sierra Nevada. Hacia el norte, los conglomerados y arenas pasan a facies más distales, limos y arenas finas, de baja permeabilidad “Formación Gorafe–Huélago”, localizándose este cambio de facies aproximadamente a un kilómetro al sur de una línea imaginaria que une las localidades de Diezma y Fonelas.

La naturaleza del sustrato impermeable es variable, estando constituido por esquistos nevado – filábrides en el sector oriental y meridional de la masa, y por niveles margosos miocenos en los sectores occidental y septentrional de la misma. En ocasiones, como ocurre en las inmediaciones de Alquife, La Calahorra y La Peza, entre los esquistos y los sedimentos detríticos se localizan afloramientos de mármoles o dolomías, existiendo conexión hidráulica entre estos y el acuífero detrítico.

En conjunto, el acuífero se puede considerar como monocapa y libre, si bien en detalle puede establecerse un sistema multicapa cuando se superponen los niveles acuíferos constituidos por los mármoles y/o dolomías, el detrítico “Formación Guadix”, y el aluvial reciente de los ríos Alhama y Verde. En el sector septentrional de la MASb en el que se localiza el cambio de facies de los conglomerados y arenas a limos, en ocasiones se produce el confinamiento de algunos niveles permeables, dando lugar a fenómenos de artesianismo en las perforaciones.

Existe abundante información sobre los parámetros hidráulicos del acuífero, así como de su distribución espacial.

La distribución espacial de la permeabilidad del acuífero, presenta valores máximos en el centro de la cuenca (Llanos del Marquesado), oscilando entre 30 m/día y 5,6 m/día. Alrededor de esta zona, se define un sector de transición caracterizado por valores intermedios comprendidos entre 2 a 5,6 m/día. Las zonas del borde occidental y oriental de la masa presentan valores de permeabilidad que oscilan entre 0,1 y 6 m/día, con un intervalo de mayor frecuencia comprendido entre 0,75 y 1,5 m/día.

Los valores mínimos de permeabilidad se registran en el sector norte de la MASb, en los bordes de la Sierra de Baza, donde no supera el valor de 0,2 m/día.

Para los aluviales de los ríos Alhama y Verde los valores de permeabilidad se encuentran entre 1 y 1,5 m/día.

Las diferencias granulométricas y el espesor de los materiales acuíferos condicionan la distribución espacial de la transmisividad en el acuífero. Este parámetro, en la mayor parte del acuífero, está comprendido entre 100 y 900 m²/día (2141/5/0025 y 2141/5/0031), excepto en el entorno de Guadix y extremo suroccidental de la MAS donde los sedimentos son más heterométricos, en los que los valores son significativamente menores (inferiores a 100 m²/día); y en la zona central del Llano del Marquesado donde la transmisividad alcanza valores 8000 m²/día, coincidiendo con los sectores en que los sedimentos son más homométricos.

En los materiales aluviales del Río Verde la transmisividad alcanza valores superiores a 900 m²/día. El coeficiente de almacenamiento se encuentra comprendido entre el 5 y el 10 %, con valores máximos del 13 % en la zona central del Llano del Marquesado.

El acuífero de Guadix se alimenta fundamentalmente de la escorrentía superficial que aporta la vertiente norte de Sierra Nevada, que tiene una extensión de 350 km² y su drenaje principal se realiza al cauce del Río Verde. Por el oeste destaca el aporte a través de la vertiente nororiental de la Sierra de La Peza.

A este proceso de alimentación hay que sumar la Infiltración directa del agua de lluvia caída directamente sobre los materiales permeables de la "Formación Guadix"; así como la transferencia lateral subterránea procedente de las formaciones carbonáticas de borde (Sierra de Baza y Sierra de La Peza), en contacto directo con los materiales detríticos permeables.

Las descargas se producen fundamentalmente a través de galerías excavadas en los aluviales, a través de manantiales y por descarga directa a los cauces de los ríos. También son significativas las extracciones por bombeo.

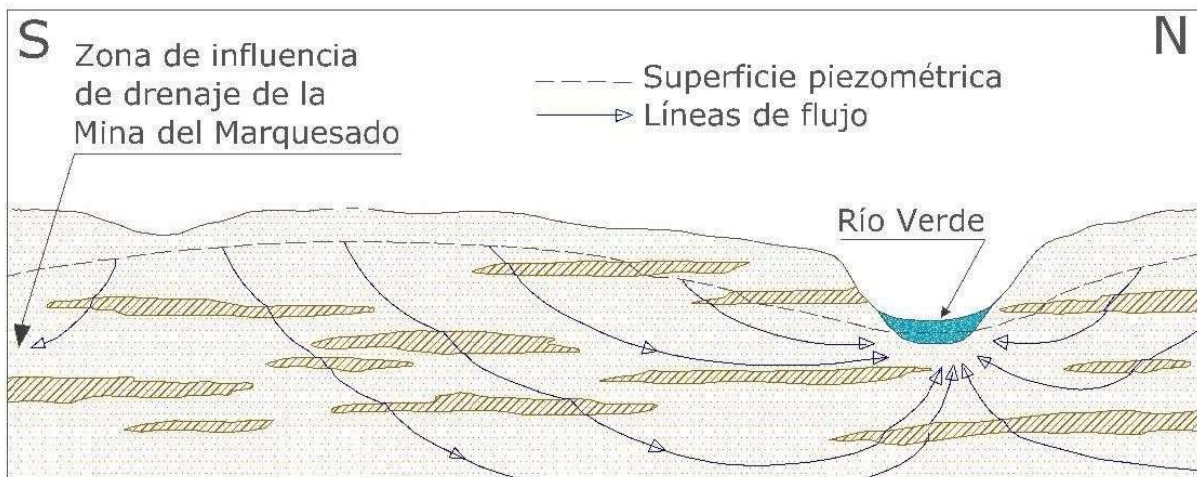
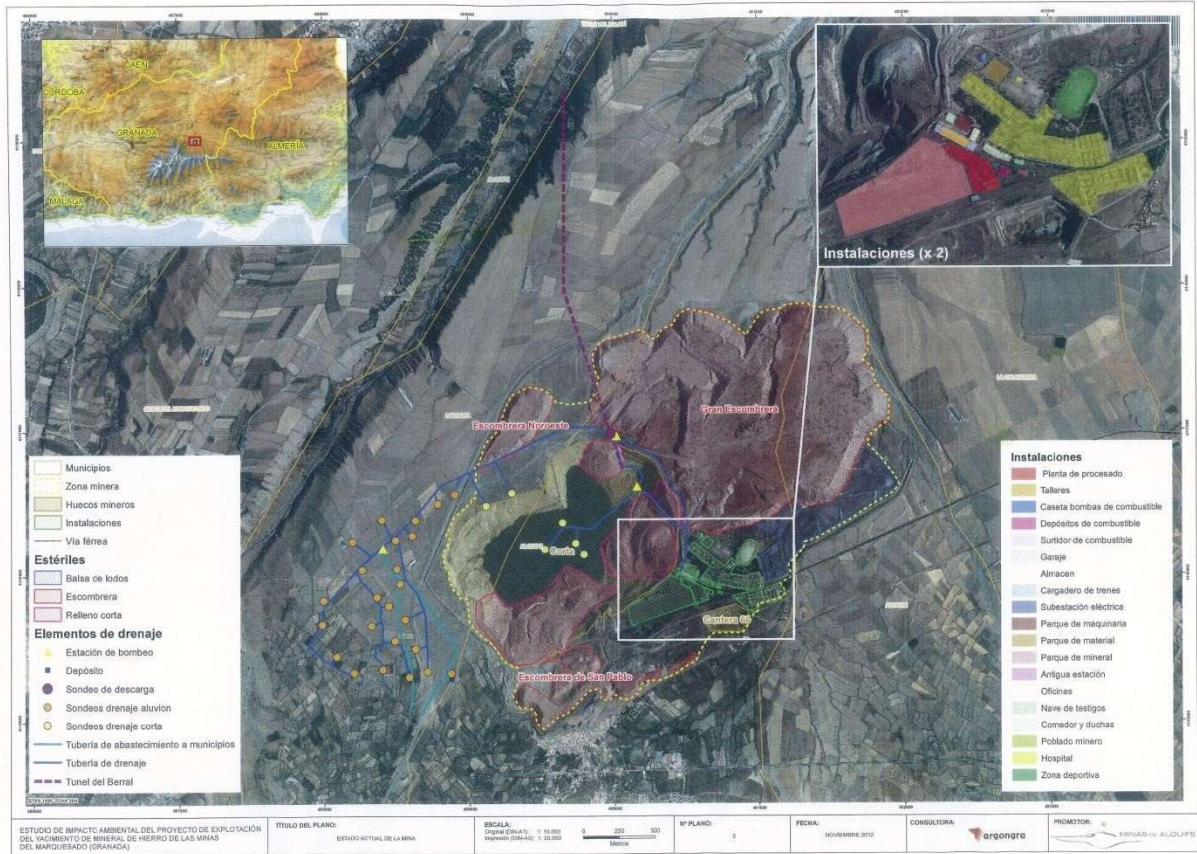
La piezometría del sector de la Cuenca del Río Verde, muestra un eje principal de drenaje de dirección N-S, que aproximadamente coincide con el cauce del Río Verde, definido entre las isopiezas 1.075 y 875 ms.n.m.

En la cuenca del Río Alhama aparece otro eje de drenaje coincidente con el curso del río, las isopiezas descienden gradualmente de sur a norte desde 975 m, a 850 m.s.n.m. al norte de Purullena.

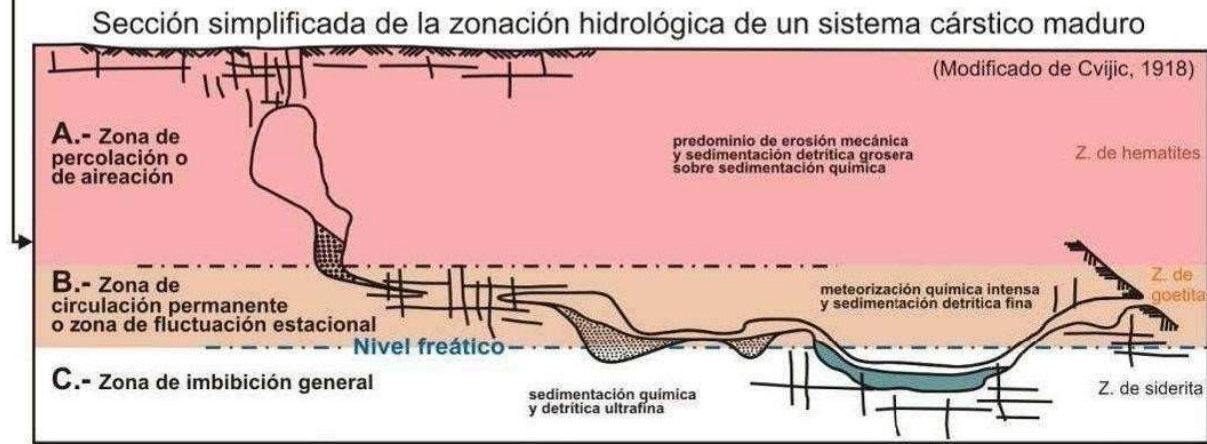
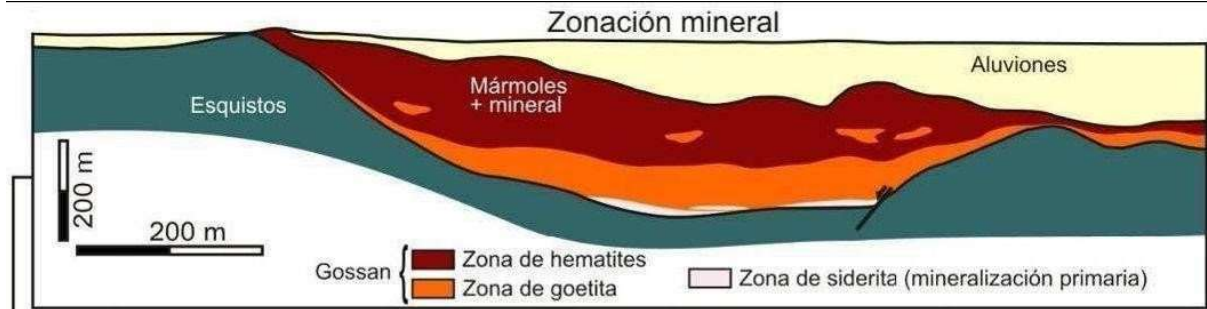
[El balance de la anterior masa 05.12 Guadix-Marquesado ha sido actualizado, tanto en lo que se refiere al tratamiento climatológico e infiltración, como a las aportaciones procedentes de la escorrentía de la vertiente norte de Sierra Nevada y de las masas de agua subterránea limítrofes de la Sierra de Baza occidental y Padul – La Peza tras la realización del informe sobre modelización matemática del acuífero \(ITGE-CHG, 1997\), el informe \(ITGE, 2000\) y los trabajos sobre la sostenibilidad del acuífero en el marco del Convenio de Colaboración IGME-CHG \(2012-2017\).](#)

[Existen dificultades inherentes a la cuantificación de recargas y descargas, debidas a las grandes variaciones pluviométricas interanuales, lo que conlleva cierta incertidumbre a la hora de adoptar una cifra única para la estimación de las aportaciones superficiales.](#)

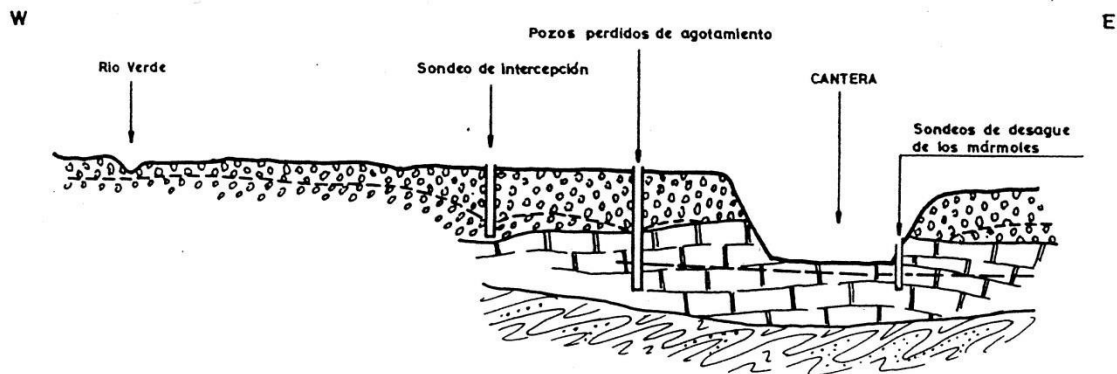
[Además, los balances anteriormente realizados tenían en cuenta los bombeos realizados en la Mina del Marquesado que suponían unas extracciones de 13 hm³/año, bombeos que actualmente no se llevan a cabo debido a la paralización de la explotación minera.](#)



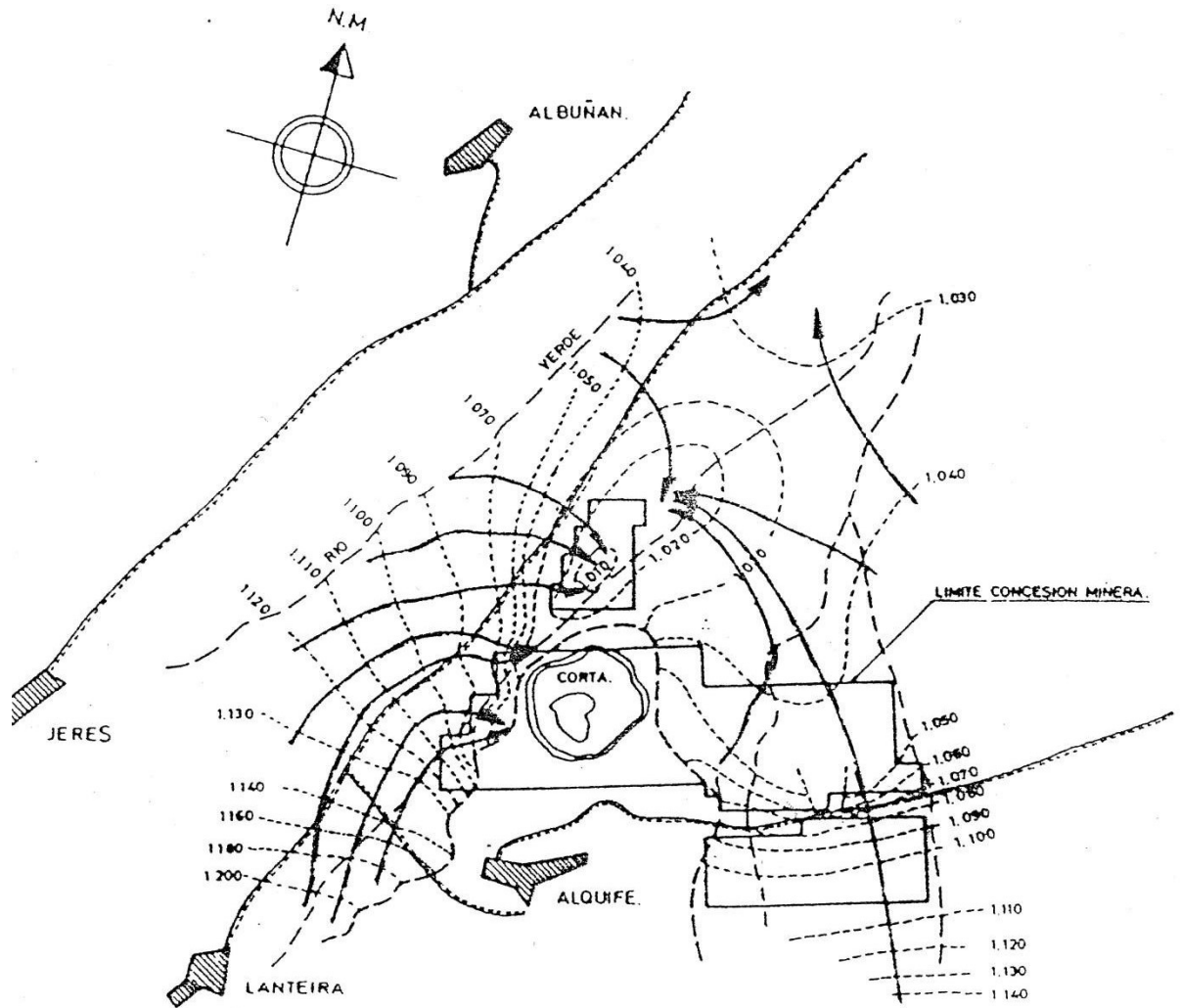
Esquema general de flujo subterráneo en la cuenca del río Verde (modificado de Loisy y Medina, 1992).



Relación entre zonación mineral y zonación hidrológica



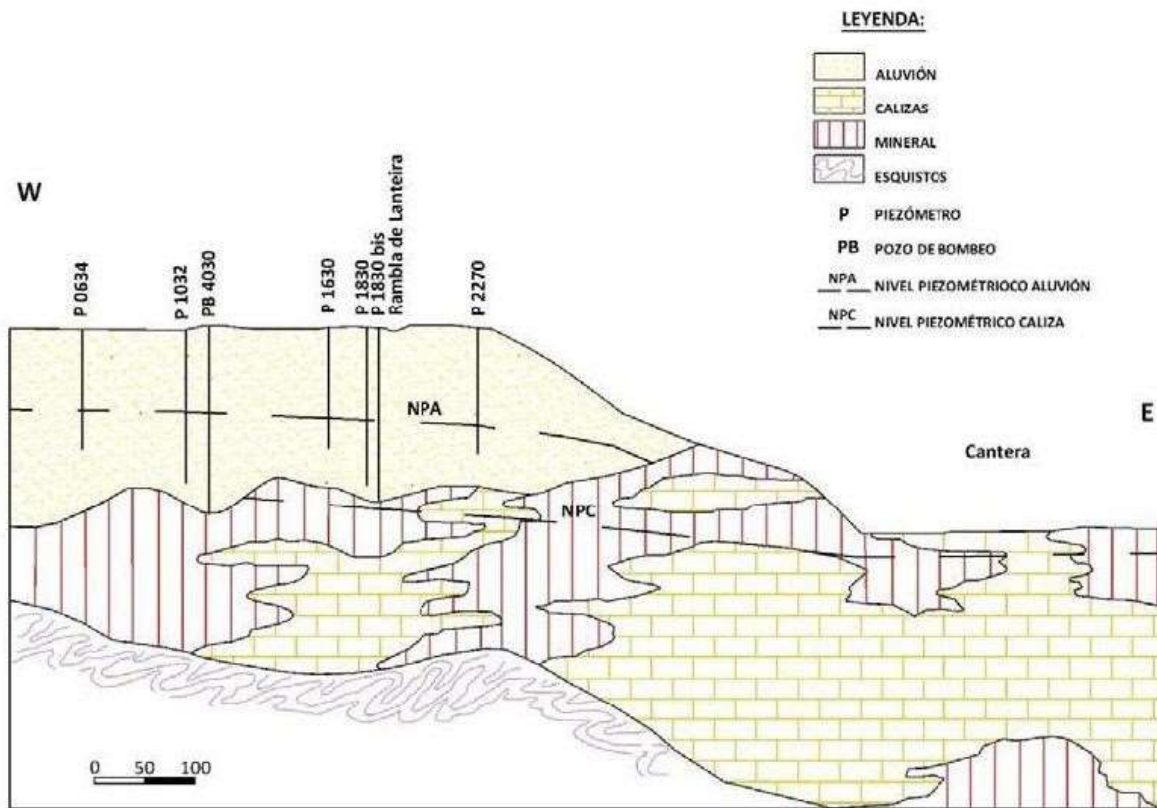
Esquema con la situación de sondeos perdidos y de intercepción.



- LÍMITE ZONA SIN AGUA "F. GUADIX"
- - - - - 1 100 - - - - - ISOPIEZA
- LÍNEA DE FLUJO.

Esquema de Flujo en las proximidades de Alquífe. (Datos facilitados por Camisa.)

Esquema de flujo en las proximidades de Alquífe (datos facilitados por Camisa).



Esquema de situación de los niveles piezométricos diferenciados del acuífero aluvial y calizo, durante las operaciones (modificado Loysi y Medina, 2012).

El balance que aquí se presenta parte de los datos reflejados en las antiguas Normas (IGME- CHG, 2001), y del “Informe sobre modelización matemática del acuífero de Guadix (ITGE-CHG, 1997); si bien las extracciones por bombeo han sido actualizadas a partir de la nueva información, se utiliza la lluvia útil y la delimitación de las poligonales de Thiessen recogidas en el informe (ITGE, 2000), y se han tenido en cuenta los recientes trabajos realizados sobre la sostenibilidad de la masa de agua.

<u>Entradas</u>	<u>Volumen (hm³)</u>
Infiltración de agua de lluvia (3)	12,02
Transferencia subterránea desde la MAS 05.11.C Sierra de Baza Occidental (4)	0,5
Infiltración directa de cauces (2)	9,75
Pérdidas de acequias, retornos de riego e infiltración de galerías y manantiales (2)	13,5
Entradas ocultas desde la Calahorra-Huéneja (7)	6,28
TOTAL ENTRADAS	42,05
<u>Salidas</u>	<u>Volumen (hm³)</u>
Salidas por Bombeos (5)	8,32
Manantiales y drenaje hacia los ríos Verde, Alhama y Fardes (6)	27,63

Consumo de freatofitas (1)	0,5
Salidas al aluvial del Fardes	5,6
TOTAL SALIDAS	42,05

Tabla 1.- Balance hidrogeológico MASb 51.201 Guadix

- (1) [IGME-CHG \(2001\) Normas de explotación de las Unidades hidrogeológicas.](#)
- (2) Estimado en base a superficie de la masa de agua, tomando como partida el modelo matemático realizado (ITGE-CHG, 1997) y la Norma (IGME-CHG, 2001).
- (3) Estimado por diferencias de entradas con el Corredor de La Calahorra – Huéneja, tomando como partida las entradas recogidas en (IGME-CHG, 2001).
- (4) Estimadas en base al informe (IGME-CHG, 2001).
- (5) Datos facilitados por la CHG. Se recomienda una actualización de las extracciones por bombeo.
- (6) Cifra reducida en un 17% tomando como partida el informe IGME-CHG (2001) y las menores entradas ocultas desde La Calahorra.
- (7) Con anterioridad las entradas ocultas desde La Calahorra-Huéneja se estimaban en 12,15 hm³/año y las salidas por manantiales y drenaje a los ríos, Verde, Alhama y Fardes en 33,5 hm³/año. Se estima que los bombeos reales de la vecina masa de agua Corredor de La Calahorra, deben de ser mucho mayores que las cifras recogidas en el Plan por lo que estas entradas se estima que serían muy inferiores. Por ello se recomienda urgentemente una revisión de las concesiones y explotaciones reales.

[La antigua MASb de origen 05.12 “Guadix-Marquesado” englobaba](#) la actual masa denominada “Corredor de La Calahorra-Huéneja” que presenta un eje principal de drenaje E-O en la zona Central, de los Llanos del Marquesado y el acuífero principal de “Guadix”, [actual Masb de Guadix](#) con un eje principal de drenaje N-S (que aproximadamente coincide con el cauce del Río Verde y la Cuenca del Río Alhama). Las nuevas masas de agua diferenciadas (Guadix y Corredor de La Calahorra-Huéneja), presentan un comportamiento hidrogeológico y características diferenciadas en cuanto a la evolución piezométrica; espesor, entradas naturales y estado de las masas, por lo que su diferenciación permitirá concentrar las medidas para la recuperación ~~de la masa con problemas~~ de descensos ~~continuados~~ de nivel ~~en la masa del (e)Corredor de La Calahorra-Huéneja) que permitirán garantizar el buen estado de la masa en el próximo horizonte del Plan.~~

[En el anterior ciclo de planificación se consideraba a la masa 05.12 Guadix-Marquesado en mal estado cuantitativo con prórroga en el cumplimiento de los objetivos medioambientales para el horizonte 2021 en gran parte por los descensos observados en un único punto \(piezómetro 05.12.009 La Calahorra I-Código IGME 2141/6/0003\) en la zona sureste de la antigua masa. En este sentido cabe](#)

decir, que de la evolución del piezómetro La Calahorra I, actualmente en la masa del Corredor de la Calahorra-Huéneja no se puede concretar que la masa presentara mal estado, ni que los descensos desde 1977 a 1996 se debieran relacionar exclusivamente con la mina.

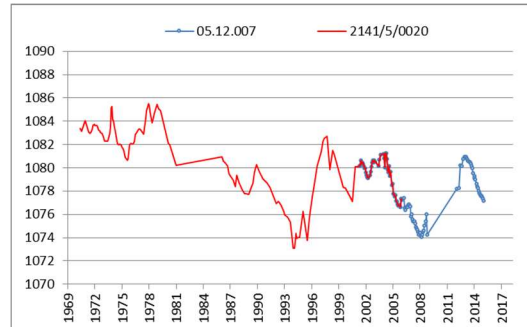
Por otra parte, tomando como partida el informe realizado por el IGME (mayo 2014) “Informe hidrogeológico realizado sobre el Estudio de la modelización del drenaje de las minas del Marquesado realizado por Minas de Alquife (2014), solicitado por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y con respecto a otros puntos, considerados como indicadores del mal estado cuantitativo de la masa (Fuente Matara y La Reja), se detecta claramente una afección directa durante la anterior fase de explotación de la mina, a consecuencia de la cual se construyeron diferentes sondeos que imposibilitan cualquier recuperación posterior a causa de los bombeos, estando estas secas en la actualidad desde 1998. No obstante, deben considerarse como no representativas del estado de la masa los drenajes de estos dos puntos, pues ambos captan el aluvial del río Verde, y están influenciados por bombeos próximos, además de que existe un grado de alteración física del territorio muy notable en todo este sector.

La masa Guadix con un volumen de bombeos de 8,32 hm³/año, aportadas por la CHG con motivo de la revisión del Plan Hidrológico y un volumen de recursos disponibles de 33,64 hm³/año, tiene un Índice de Explotación (respecto al recurso disponible) del 24,7 %, por lo que la masa se considera en buen estado cuantitativo.

El estado cuantitativo viene avalado por la evolución piezométrica. Los datos de la red de piezometría (9 puntos de control) se consideran suficientes; si bien se recomienda una distribución diferente de los puntos de control a estudiar. A continuación se muestra la evolución de 3 de los puntos de la red de control, los que disponen de un período de medida importante. Se aprecia un ascenso de los niveles en los dos primeros, localizados en la Rambla del Berral, sobre todo desde la finalización de la explotación minera, a finales de los noventa.



Evoluciones piezométricas de los sondeos "ITGE II" y "Piezómetro nº 9"

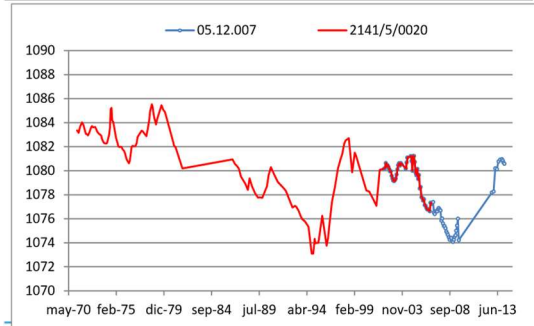
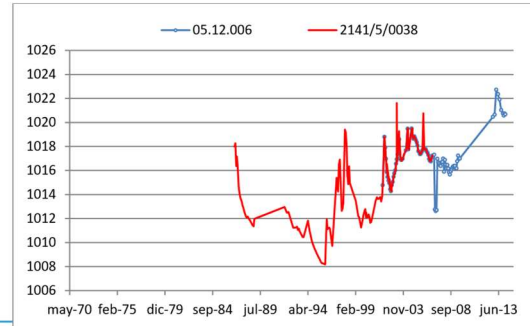
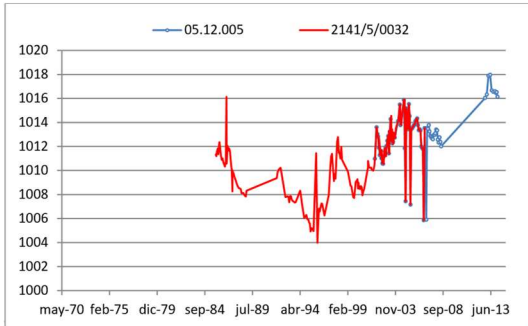


Evolución piezométrica del sondeo "Albuñán I"

Las aguas, de forma natural sufren un incremento progresivo del residuo seco y del contenido en sulfatos de sur a norte. En el sector meridional la facies es bicarbonatada cálcica y mineralización media con contenidos salinos menores de 350 mg/l, en el sector central facies bicarbonatada clorurada cálcica y en el Norte bicarbonatadas cálcico-magnésicas para la zona oriental y bicarbonatadas cloruradas cálcicas para la zona occidental.

El estado químico se considera bueno, aunque los puntos de la red de control de calidad (3) se consideran insuficientes. Al menos se recomienda su ampliación hasta un total de 8 puntos.

~~El estado cuantitativo se considera bueno. Los datos de la red de piezometría (9 puntos de control) se consideran suficientes; si bien se recomienda una distribución diferente de los puntos de control a estudiar. A continuación se muestra la evolución de 3 de los puntos de la red de control, los que disponen de un período de medida importante. Se aprecia un ascenso de los niveles en los 2 primeros, localizados en la Rambla del Berral, sobre todo desde la finalización de la explotación minera, a finales de los 90'.~~



Los datos de la red hidrométrica (15 puntos) se consideran suficientes; si bien esta dispone de un período de datos muy reducido para poder identificar evoluciones y tendencias.

2.2 SOBRE LA MASA Nº ES050MSBT000051202 CORREDOR DE LA CALAHORRA-HUÉNEJA

La nueva delimitación se apoya en lo recogido en el apartado 2.3.1. b) de la Instrucción de Planificación Hidrológica en lo que se refiere a límites impermeables y presencia de cursos efluentes (Benéjar y Algaida) y en los apartados 2,3.1 c) y d), en lo que se refiere a la influencia de la actividad humana, con objeto de que la masa definida permita una apropiada descripción del estado de la masa así como concentrar la problemática de control y la aplicación de las medidas.

La MASb 51202 “Corredor de la Calahorra-Huéneja” se localiza entre Sierra Nevada y la Sierra de Baza y está situada al sureste de la anteriormente descrita MASb 51201 “Guadix”. Al igual que esta y puesto que no existe una discontinuidad orográfica significativa entre ambas, constituye una extensa altiplanicie a una altitud media de 1.100 m sobre el nivel del mar, dentro de la Comarca del Marquesado.

Engloba una superficie de unos 121 km², siendo esta prácticamente la superficie total de afloramientos permeables, de los cuales unos 4 km² corresponden a afloramientos carbonatados, otros 2 km² a esquistos y el resto a materiales pliocuaternarios.

Los límites de la poligonal envolvente se han definido según se detalla a continuación. Como límite occidental se ha señalado la rambla de Benéjar hasta las proximidades de Alcudia de Guadix; como límite norte la Rambla de Algaida; por el Sur los materiales impermeables del pie de Sierra Nevada y por el este el límite de Cuenca con la Demarcación Mediterránea Andaluza.

La formación acuífera está constituida esencialmente por el conjunto de materiales detríticos de origen fluvial denominado “Formación Guadix” (Plioceno y Cuaternario antiguo). La naturaleza del sustrato impermeable es variable, estando constituido por esquistos Nevado-Filábrides en la mitad sur del sector oriental y en todo el borde meridional de la masa. Es de notar la presencia de una fractura de dirección WNW-ESE al norte de la Rambla de Fiñana en sus proximidades que marca la presencia en profundidad bajo el relleno pliocuaternario de mármoles Alpujárrides y NevadoFilábrides. El espesor del acuífero presenta 80 m en la transversal de Dólar.

Los límites de la formación acuífera los constituyen, por el borde sur, los esquistos Nevado-Filábrides de la ladera norte de Sierra Nevada; por el borde suroriental se ha tomado como tal la divisoria de aguas entre las cuencas de los ríos Verde y Nacimiento, lo que supone el límite hidrográfico entre las

demarcaciones del Guadalquivir y de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. El límite por el nordeste lo forman las formaciones esquistosas y carbonatadas de la Sierra de Baza Occidental y, por el este, la rambla de Benéjar, hasta las proximidades de Alcudía de Guadix, y la Rambla de Algaida.

El acuífero se alimenta fundamentalmente de la escorrentía superficial que aporta la vertiente norte de Sierra Nevada y de las estribaciones de la Sierra de Baza. Este último tiene lugar fundamentalmente a través del Barranco de La Longuera. A este proceso de alimentación hay que sumar la infiltración directa del agua de lluvia caída directamente sobre los materiales permeables así como la transferencia lateral subterránea procedente de las formaciones carbonáticas de borde (Sierra de Baza Occidental), en contacto directo con los materiales detríticos permeables. El drenaje principal de manera natural se realiza al cauce del Río Verde, en su parte alta.

Esta MASb, con un volumen de bombeos de 1,10 hm³/año, dato aportado, al igual que en caso de la MASb anterior, por la CHG con motivo de la revisión del Plan Hidrológico, y un volumen de recursos disponibles de 5,94 hm³/año, tiene un Índice de Explotación (respecto al recurso disponible) del 18,5%, por lo que la masa, a priori, se podría considerar en buen estado cuantitativo.

La red de control de calidad cuenta con un solo punto y el estado químico de la masa, según la información disponible, es bueno. Sin embargo, los descensos continuados del nivel piezométrico en el único punto de observación y la existencia de otras masas de agua subterránea con las que el límite de la aquí referida no es de carácter impermeable, véase MASb 51.101 “Sierra de Baza Occidental” de la Demarcación del Guadalquivir y 060.010 de la Demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, hacen recomendable que la red de control se amplíe a un mínimo de 4 piezómetros y 2 de calidad.

Entre las medidas propuestas, se recoge la mejora del conocimiento del funcionamiento hidrogeológico de la masa de agua, determinación de su geometría (espesores del acuífero detrítico, presencia o no de carbonatos en profundidad), evaluación de entradas por aportaciones ocultas, infiltración de escorrentía superficial en régimen natural y en la situación actual influenciada, evaluación de bombeos, tanto de los incluidos en la nueva delimitación de la MASb como de las MASb vecinas referidas en el párrafo anterior, evaluación e incidencia de retornos de regadío y proyecto de utilización del acuífero como un embalse natural produciendo una introducción forzada de agua

excedente de invierno, que permita corregir la tendencia al descenso de los niveles piezométricos en la MASb apreciada en los trabajos llevados a cabo en el presente proyecto.

La MASb Corredor de La Calahorra-Huéneja, comprende los tramos de conglomerados y arenas adyacentes a la vertiente septentrional de Sierra Nevada, más los depósitos aluviales recientes.

La formación detrítica primera “**Formación Guadix**”, se corresponde con facies proximales de un sistema de abanicos aluviales coalescentes cuyo origen está en Sierra Nevada. La naturaleza del sustrato impermeable es variable, estando constituido por esquistos Nevado – Filábrides en la mitad Sur del sector oriental y en todo el borde meridional de la masa. Es de notar la presencia de una fractura de dirección WNW-ESE al norte de la rambla de Fiñana en sus proximidades que marca la presencia en profundidad bajo el relleno pliocuaternario de mármoles, Alpujárrides y NevadoFilábrides. En ocasiones, como ocurre en las inmediaciones de La Calahorra, entre los esquistos y los sedimentos detríticos se localizan afloramientos de mármoles o dolomías, existiendo conexión hidráulica entre estos y el acuífero detrítico.

La delimitación de la masa es coherente con el mapa piezométrico del año 1975 elaborado por Francisco Medina en su tesis de Licenciatura donde señala una divisoria de aguas subterráneas con un eje aproximado en la rambla de Benéjar así como en los diferentes mapas piezométricos, de la década de los años setenta y ochenta del periodo FAO donde, se proponía una inflexión de las isopiezas señalando un tubo de drenaje de dirección E-W desde la divisoria de Cuenca.

El espesor del acuífero presenta 80 m en la transversal de Dólar, presentando el sustrato una divisoria de aguas a la altura de Huéneja, coincidente con la divisoria de aguas superficiales con la cuenca del Río Andarax (Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas). En conjunto, el acuífero se puede considerar como monocapa y libre, si bien en detalle puede establecerse un sistema multicapa cuando se superponen los niveles acuíferos constituidos por los mármoles y/o dolomías, el detrítico “Formación Guadix”, y el aluvial reciente

Parámetros hidrogeológicos

Existe abundante información sobre los parámetros hidráulicos del acuífero, así como de su distribución espacial.

La distribución espacial de la permeabilidad del acuífero, presenta valores máximos en el centro de la cuenca (Llanos del Marquesado), oscilando entre 30 m/d y 5,6 m/d. Alrededor de esta zona, se define un sector de transición caracterizado por valores intermedios comprendidos entre 2 a 5,6 m/d. Las

zonas de borde oriental de la masa presentan valores de permeabilidad que oscilan entre 0,1 y 6 m/d, con un intervalo de mayor frecuencia comprendido entre 0,75 y 1,5 m/d.

Las diferencias granulométricas y el espesor de los materiales acuíferos condicionan la distribución espacial de la transmisividad en el acuífero. Este parámetro, en la mayor parte del acuífero, está comprendido entre 100 y 900 m²/d.

El coeficiente de almacenamiento se encuentra comprendido entre el 5 y el 10 %, con valores máximos del 13 % en la zona central del Llano del Marquesado.

Funcionamiento hidrogeológico

El acuífero se alimenta fundamentalmente de la escorrentía superficial que aporta la vertiente norte de Sierra Nevada, y su drenaje principal se realiza al cauce del Río Verde. El aporte superficial también procede de las estribaciones de la Sierra de Baza, que tiene lugar fundamentalmente a través del Barranco de La Longuera.

A este proceso de alimentación hay que sumar la Infiltración directa del agua de lluvia caída directamente sobre los materiales permeables de la “Formación Guadix”; así como la transferencia lateral subterránea procedente de las formaciones carbonáticas de borde (Sierra de Baza), en contacto directo con los materiales detríticos permeables.

Las descargas (en gran parte fuera de la masa, en la vecina masa de Guadix se producen fundamentalmente a través de galerías excavadas en los aluviales, a través de manantiales y por descarga directa a los cauces de los ríos. También son significativas las extracciones por bombeo. Destaca el eje de drenaje de dirección E-O en la zona central de los Llanos del Marquesado, que empalma con el Río Verde a la altura de Alcudia de Guadix. Este eje viene definido por las isopiezas de 1.125 1.025 ms.n.m.

Entradas	Volumen (hm ³)
Infiltración de agua de lluvia (1)	4
Transferencia subterránea desde la MAS Sierra de Baza Occidental (3)	1,5
Infiltración directa de cauces (2) (5)	0,81
Pérdidas de acequias y retornos de riego (2) (5)	1,12
TOTAL ENTRADAS	7,43
Salidas	Volumen (hm ³)
Salidas por Bombeos (4)	1,10
Salidas subterráneas a la vecina masa de Guadix	6,28
Salidas subterráneas a manantiales	0,05
TOTAL SALIDAS	7,43

Tabla 2: Balance hidrogeológico MASb 51.202 Corredor de La Calahorra-Huéneja

- (1) Se ha utilizado la lluvia útil y la delimitación de los polígonos de Thiessen recogidos en el informe (IGME-Junta de Andalucía, 2000).
- (2) Estimado, tomando como partida los grandes cambios sufridos en el sistema de riego sobre la masa de agua. Se ha modernizado, tanto la red de acequias, impermeabilizándola, que recorre gran parte de la masa de agua, como la modernización del riego por goteo que disminuye notablemente los retornos de riego: Además señalar la notable reducción de caudales procedentes de los diferentes cauces.
- (3) estimado en base al informe (IGME-CHG, 2001).
- (4) Datos facilitados por la CHG. Se estima que los bombeos deben de ser mucho mayores, lo que iría en detrimento de las salidas subterráneas a la vecina masa de Guadix. Por ello se recomienda urgentemente una reducción de las concesiones y extracciones reales.
- (5) Con anterioridad la infiltración directa de cauces se evaluó en 3,25 hm³/año y la pérdida de acequias y retorno de riego en 4,5 hm³/año. La estimación actual para ambas entradas se ha considerado en un 25%. La estimación previa se hizo en base a la superficie de la masa de agua, tomando como partida, el modelo matemático realizado (ITGE-CHG, 1997) y la Norma (IGME-CHG, 2001).

3 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN

A la hora de tener en cuenta la influencia de la precipitación y su variación en el tiempo se ha procedido al completado y análisis preliminar de los datos de las estaciones meteorológicas localizadas en la zona de trabajo.

La estación seleccionada como representativa de la zona de trabajo es la 5108 “Aldeire”. En los datos correspondientes se ha completado el 33,7 % de los huecos, desde octubre de 1970 hasta febrero de 2015. El completado se ha realizado mediante la técnica de regresión lineal y se han utilizado 4 estaciones que se encuentran en la misma zona de estudio. De estas estaciones se dispone de un coeficiente de correlación de más del 0.8, siendo el mínimo de 0.812 y el máximo de 0.964. Las estaciones seleccionadas para el completado de la estación 5108 se muestran en la tabla 3 y su localización se puede observar en el mapa de la figura 3.

EST. COMPLETADA	ESTACIÓN BASE	COEF. DE CORRELACIÓN	ECUACIÓN
5108	5109E	0.875	$y = 0.9407x + 3.0258$
5108	5112B	0.812	$y = 1.0064x + 9.4063$
5108	5108A	0.964	$y = 0.971 + 1.7337$
5108	RIA1806	0.929	$y = 1.0776 - 0.4894$

Tabla 3: Estaciones base utilizadas para el completado, coeficiente de correlación y ecuación utilizada para el completado de huecos en la estación 5108.

La precipitación media mensual para el periodo seleccionado (octubre 1970 - febrero 2015) corresponde a 29 mm/mes.

Se ha procedido al cálculo de la precipitación media mensual a lo largo de los meses del año para la estación seleccionada, y su distribución por meses se representa en el siguiente gráfico, del que podemos observar que los meses en los cuales se produce el grueso de las precipitaciones corresponde a los meses comprendidos entre octubre y mayo, con una precipitación media de en torno a 37 mm/mes (figura 4).

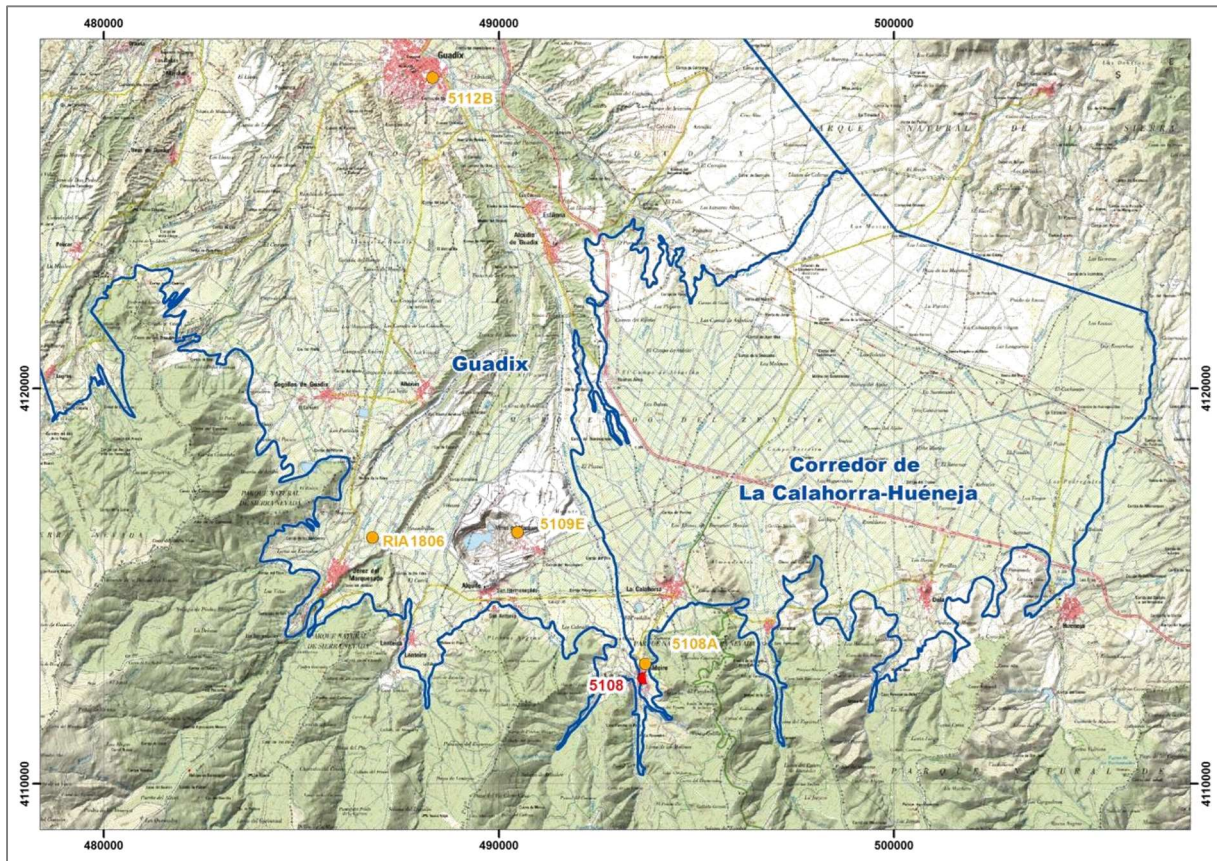


Figura 3: Localización de la estación 5108 seleccionada y de las estaciones utilizadas para su completado.

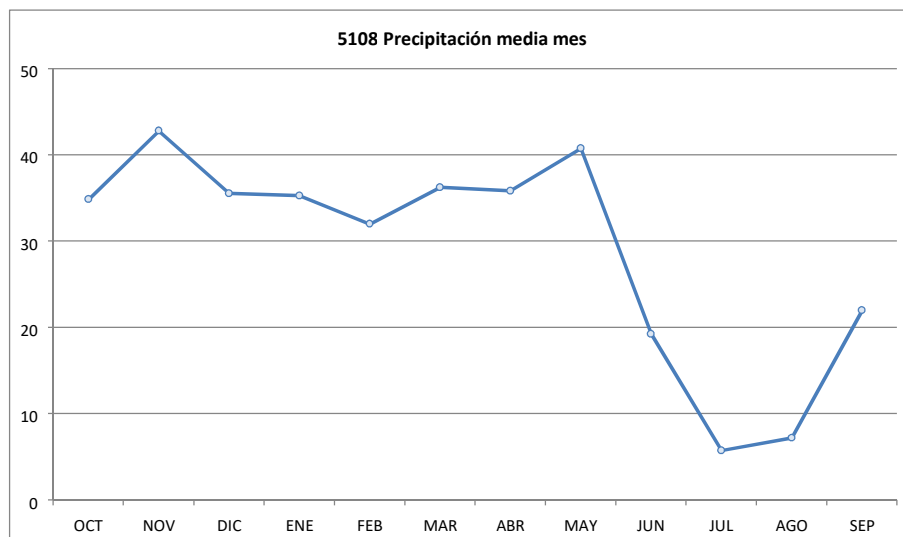


Figura 4: Precipitación media mensual a lo largo del año para el periodo (1970-2015) en la estación 5108.

Se ha realizado el estudio de las desviaciones acumuladas respecto a la media, que se calcula restando, a cada valor anual de precipitación, la media de dicha estación, y este valor se va sumando con el siguiente obtenido del mes siguiente. Una vez calculados los mencionados valores se representan. En

la representación, las pendientes negativas indican períodos secos y las pendientes positivas períodos húmedos. Con el análisis de estos valores obtenidos de la precipitación, podemos comparar los ascensos y descensos de los niveles piezométricos a estudiar con los períodos secos y húmedos de lluvia (figura 5).

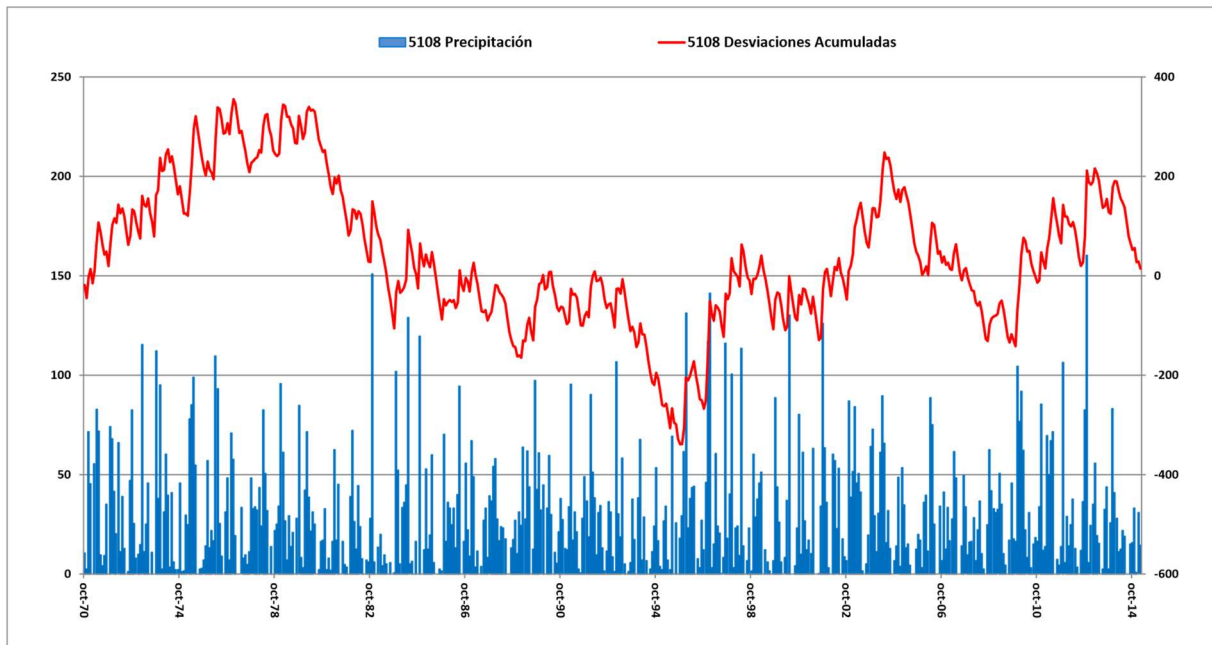


Figura 5: Representación de la precipitación media mensual y de las desviaciones acumuladas respecto a la media de la estación 5108 para el periodo 1970-2015.

4 RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO E HIDROMÉTRICO

4.1 RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO

La red de control piezométrico que se ha establecido para el estudio de la zona de trabajo está compuesta por 35 puntos. De estos, 13 puntos pertenecen a la Red Nacional y los 22 puntos restantes se han añadido al estar localizados en las zonas de mayor interés hidrogeológico (tabla 4) y anexo.

En la figura 6 se puede observar la distribución de dicha red y como ésta tiene mayor peso en la nueva MASb Corredor de La Calahorra-Huéneja, así como en las inmediaciones de la mina de Alquife y de la Rambla del Berral, zonas de gran interés tras la intención de volver a poner en funcionamiento la explotación minera, por lo que se manifiesta un alto interés en conocer la evolución piezométrica.

Otra de las zonas en las cuales se ha prestado especial interés es en las cercanías del punto piezométrico 2141/6/003 "Calahorra I", punto de control piezométrico de la Red Nacional que sufre descensos desde la década de los años '70, y que en los últimos años en época de estiaje se queda sin

nivel piezométrico medible, por lo que hay que poder controlar sondeos en las inmediaciones para poder seguir dicha evolución piezométrica, así como en la zona Este de la MASb, hacia el límite con las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.

Algunas de estos puntos tienen un control mediante medidas manuales bimestrales y otros piezómetros disponen de dispositivos de control de medida continua tipo Diver de la empresa Schulumberger.

Ord	COD IGME	COD CHG	TOPONIMIA	RED NACIONAL	DIVER	ACTIVA
P 1	2041/8/0006		Cantera de Cerro Sillado	NO	NO	SI
P 2	2141/1/0225	05.12.003	Alcantarilla Baja - Rambla del Patrón	SI	SI	SI
P 3	2141/2/0041		El Cerrajón	NO	NO	NO
P 4	2141/2/0043		El Perro	NO	NO	SI
P 5	2141/2/0044	05.11.106	Ladihonda	SI	SI	SI
P 6	2141/3/0021	05.11.006	Valle del Zalabí	SI	NO	SI
P 7	2141/5/0019		Sondeo FAO	NO	NO	SI
P 8	2141/5/0020	05.12.007	Albuñan I	SI	NO	SI
P 9	2141/5/0027		Piezómetro nº 2	NO	NO	SI
P 10	2141/5/0027/2		Piezómetro nº 2 (II)	NO	NO	NO
P 11	2141/5/0030		Piezómetro nº 5	NO	SI	SI
P 12	2141/5/0030/2		Piezómetro nº 5 (II)	NO	NO	SI
P 13	2141/5/0032	05.12.005	ITGE II	SI	NO	SI
P 14	2141/5/0035		Piezómetro nº 6	NO	SI	SI
P 15	2141/5/0036		Piezómetro nº 7	NO	SI	SI
P 16	2141/5/0037		Piezómetro nº 8	NO	NO	SI
P 17	2141/5/0038	05.12.006	Piezómetro nº 9	SI	NO	SI
P 18	2141/5/0265	05.12.901	Mina 3054 (P-1 Alquife)	SI	SI	SI
P 19	2141/6/0003	05.12.009	Calahorra I	SI	NO	NO
P 20	2141/6/0030		Cjo. Administrador (La Calahorra)	NO	SI*	NO
P 21	2141/6/0024		Alemanes	NO	NO	SI
P 22	2141/6/0025		Melocotoneros	NO	NO	SI
P 23	2141/6/0031	05.12.011	Piezómetro de Alquife	SI	NO	SI
P 24	2141/6/0051		Las Malenas-Junto a Andasol 3	NO	SI	SI

P 25	2141/7/0015		La Molineta - Venta Bigote	NO	SI	SI
P 26	2141/7/0027		Las Longueras	NO	NO	SI
P 27	2141/7/0028		Sondeo Las Escarchas	NO	NO	NO
P 28	2141/7/0029		Aljibe Blanco	NO	SI	SI
P 29	2141/7/0030		Los Atochares-Venta Ferreira	NO	SI	SI
P 30	2141/7/0031		Las Particiones	NO	NO	NO
P 31	2141/7/0032		Venta Ferreira	NO	NO	SI
P 32	2141/5/0267	05.12.902	P-2 (Aluvial+Caliza)	SI	NO	SI
P 33	2141/5/0266	05.12.904	P-4 (Alquife)	SI	NO	SI
P 34	2141/5/0107	05.12.905	P-5 (Alquife)	SI	NO	SI
P 35	2141/8/	06.10.001	Fondon	SI	NO	SI
P36	2141/5/0100		Nº 49 Mina	NO	NO	SI
P37	2141/6/0053		Pistachos	NO	NO	SI
P38	2141/7/0034		Secanos	NO	NO	SI
P39	2141/7/0033		Colmenar de Arriba	NO	NO	SI
P40	2141/6/0052		Campo de Aviación II	NO	NO	SI
P41	2141/6/0054		Sociedad Mineros (embotelladora)	NO	NO	SI

Tabla 4: Red de control piezométrico utilizada en el estudio.

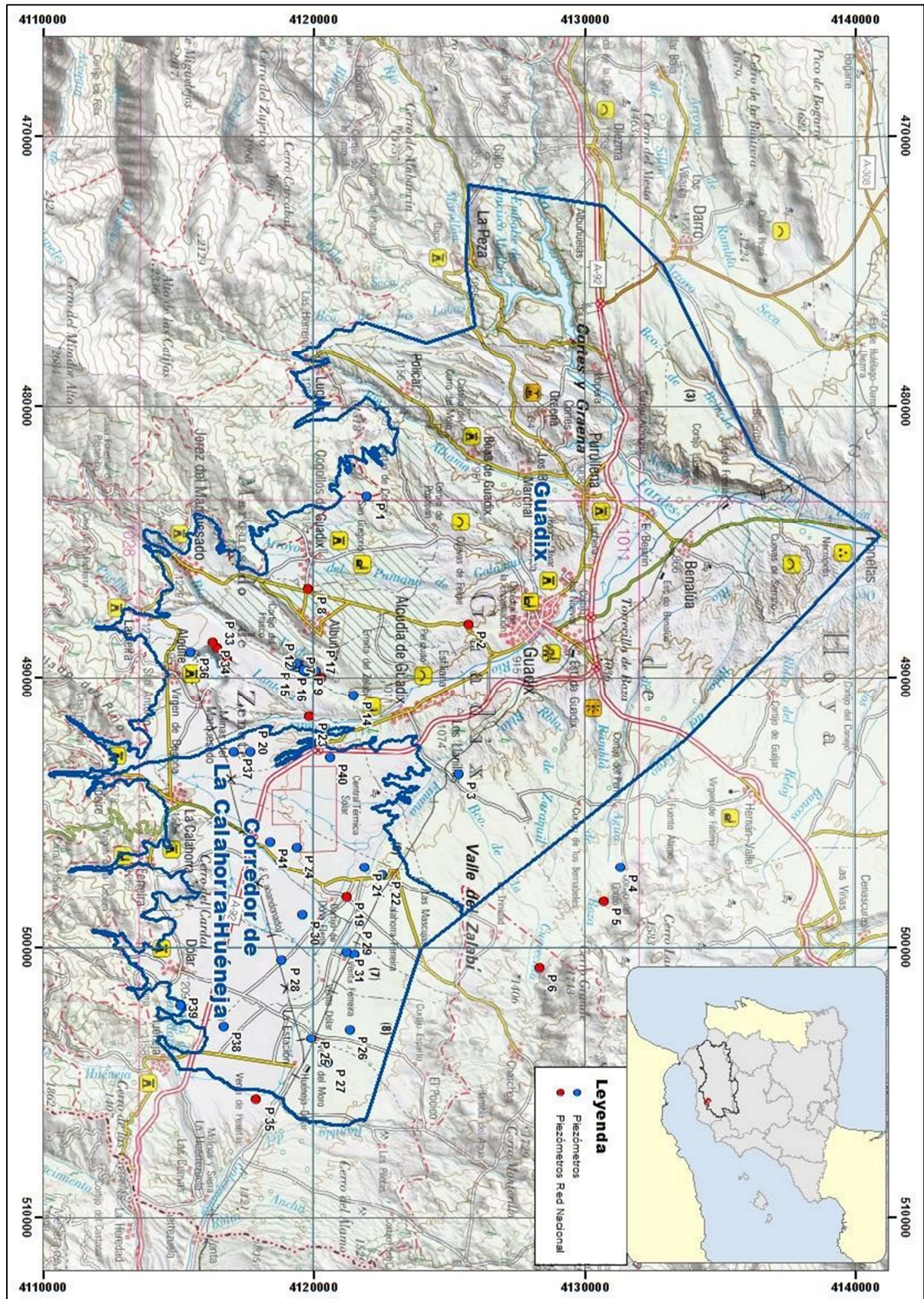


Figura 6: Localización de las MASb Guadix y Corredor de La Calahorra-Huéneja, y red piezométrica compuesta de puntos de la Red Nacional (rojo) y puntos específicos para el estudio de la zona de trabajo (azul).

En el anexo 1 se muestran las imágenes de los 41 puntos de control piezométrico que han conformado la red para el estudio de la zona de trabajo, así como diferentes aspectos del estado de los sondeos (fotos 42 a 53).

Para la puesta en marcha de la red de control piezométrico utilizada para el estudio de la zona de trabajo ha sido necesario acondicionar una serie de sondeos, tanto para instalar sensores de control piezométrico continuo, como para poder realizar medidas puntuales con sonda piezométrica. A continuación se muestran las obras de acondicionamiento ejecutadas:

- Sondeo Las Escarchas (2141/7/0028): Ha sido necesario acondicionar este sondeo para poder realizar medidas manuales y medir la profundidad libre de sondeo. Se ha eliminado la tapadera soldada e instalado una tapadera para poder cerrarla con candado, así como acondicionado para posibles instalaciones de Diver (fotos 42 y 43).
- Piezómetro nº 2 y piezómetro nº 2 (II) (2141/5/0027): Estos sondeos se encontraban enterrados tras varios eventos de avenidas en el barranco de las inmediaciones de los sondeos, los cuales fueron totalmente sepultado por sedimento. Fue necesaria la búsqueda de los sondeos en las inmediaciones de las balsas donde se indicaba en la bibliografía, por no existir indicio alguno de ellos en superficie. Tras su localización se desenterraron en parte y se suplementó la tubería de los sondeos, con la suficiente altura como para que no vuelva a desaparecer bajo los sedimentos si se produjesen futuras avenidas. Estos sondeos están localizados uno junto al otro, bajo la misma tubería de revestimiento, son perforaciones que captan dos acuíferos a distinta profundidad. A su vez ha sido acondicionado para una posible instalación de datalogger de medida continua, así como con la correspondiente tapadera y candado (fotos 44 y 45).
- Piezómetro nº 7 (2141/5/0036): En este piezómetro sucedió lo mismo que con el anterior punto, fue sepultado años atrás por los sedimentos de uno de los barrancos que se localiza en las inmediaciones y de igual manera no existían indicios de su localización. Tras su localización se pasó a desenterrar en parte y suplementar una tubería para que no volviese a pasar lo mismo. Al igual que en los anteriores puntos se ha acondicionado para la instalación de un datalogger y de la correspondiente tapadera con candado (fotos 46 y 47).

- Mina 3054 (2141/5/0265): Este punto pertenece a la Red Nacional, pero por encontrarse en condiciones muy deficitarias el IGME procedió a su restauración con el objeto de instalar un Diver de registro continuo del que lleva su control y seguimiento. Se ha procedido a reparar la arqueta y la instalación de una cruceta para poder instalar dicho Diver (fotos 48 y 49).
- La Molineta-Venta Bigote (2141/7/0015): Este este sondeo se ha procedido a acondicionar para la instalación de un Diver y adaptar una tapadera con candado para la protección del datalogger (foto 50).
- Aljibe Blanco (2141/7/0029): Este sondeo se encontraba sellado, por lo que se ha procedido a su apertura y acondicionamiento para la instalación de un Diver y la colocación de la correspondiente tapa con candado (foto 51).
- Los Atochares-Venta Ferreira (2141/7/0030): Este sondeo se encontraba enterrado bajo un montículo de piedras y sellado con tapadera soldada, por lo que se procedió a su liberación y apertura. Posteriormente se ha acondicionado para la instalación de un Diver y la correspondiente tapa y candado (fotos 52 y 53).

4.2 HIDROMETRÍA

La importancia en el balance hídrico de los principales acuíferos estudiados del factor correspondiente a la infiltración de aguas superficiales procedentes de la vertiente norte de Sierra Nevada hace que se deba hacer especial hincapié en su correcta determinación.

La red de aforos establecida en este trabajo está formada por 11 puntos (figura 7 y tabla 5), de los cuales 10 corresponden a cauces en ríos y uno de ellos a una captación de derivación para abastecimiento.

Todos los puntos de aforo seleccionados se localizan aguas arriba de cualquier toma, tanto para abastecimiento como para regadío, a excepción del aforo realizado en el punto 2142/2/GBE “Área Recreativa La Rosandr a”, la cual se localiza en el Río Benéjar y aguas arriba del punto de aforo se encuentra la toma para abastecimiento a las poblaciones de Aldeire y de La Calahorra. Esta captación toma una cantidad de agua prácticamente constante y corresponde con un caudal de 12 l/s.

ORD	COD IGME	TOPONIMIA	X	Y	Z	OBSERVACIONES
A-01	2042/4/GAL	Río Alhorí-Estación de aforo	482335	4111547	1532	Estación de aforo
A-02	2142/1/GAS	Bco Sabinar-Área Recreativa La Tizná	483567	4110299	1511	Bco de la derecha en el Área recreativa La Tizná
A-03	2142/1/GCI	Bco Ciruelillos-Área Recreativa La Tizná	483551	4110286	1509	Bco de la izquierda en el Área recreativa La Tizná
A-04	2142/1/GPU	Río del Pueblo-Lanteira	486093	4110074	1554	Aforo aguas arriba del puente
A-05	2142/1/GBA	Río del Barrio-Estación de aforo	488083	4109468	1617	Estación de aforo
A-06	2142/2/GGA	Río del Gallego	491941	4111454	1359	
A-07	2142/2/GBE	Área Recreativa La Rosandrá	493446	4111126	1351	Aguas arriba del área recreativa al cruzar el camino
A-08	2142/2	Depósito de Aldeire	493871	4112412	1331	Aforar el tubo con molinete y sumar al caudal de 2142/2/GBE
A-09	2142/2/GCH	Arroyo Chico-Ferreira	496921	4111645	1383	Aforo por encima de la toma para regadío
A-10	2142/3/GCA	Rambla de los Castaños-Dólar	499249	4111590	1403	Aforar por encima de la toma para regadío
A-11	2142/3/GVI	Arroyo de las Viñas	501218	4112400	1359	Aforar por encima del muro de la toma

Tabla 5: Localización de los puntos de control de aforos en cauce en la vertiente norte de Sierra Nevada.

Se ha procedido a aforar el caudal de los cauces durante un periodo de 2 años, comprendido entre octubre de 2013 y septiembre de 2015. Se han realizado 11 medidas de caudal con una periodicidad de medida bimestral.

De oeste a este los caudales aforados corresponden con los ríos (figura 7):

- Río Alhorí y Barranco de Alcázar que convergen y crean el Arroyo de Jerez (A-01, A-02, A-03).
- Río del Pueblo (A-04).
- Río del Barrio (A-05).
- Arroyo del Gallego, que se une al Río Benéjar (A-06, A-07).
- Arroyo Chicho (A-09).
- Rambla de Los Castaños (A-10).
- Arroyo de las Viñas (A-11).

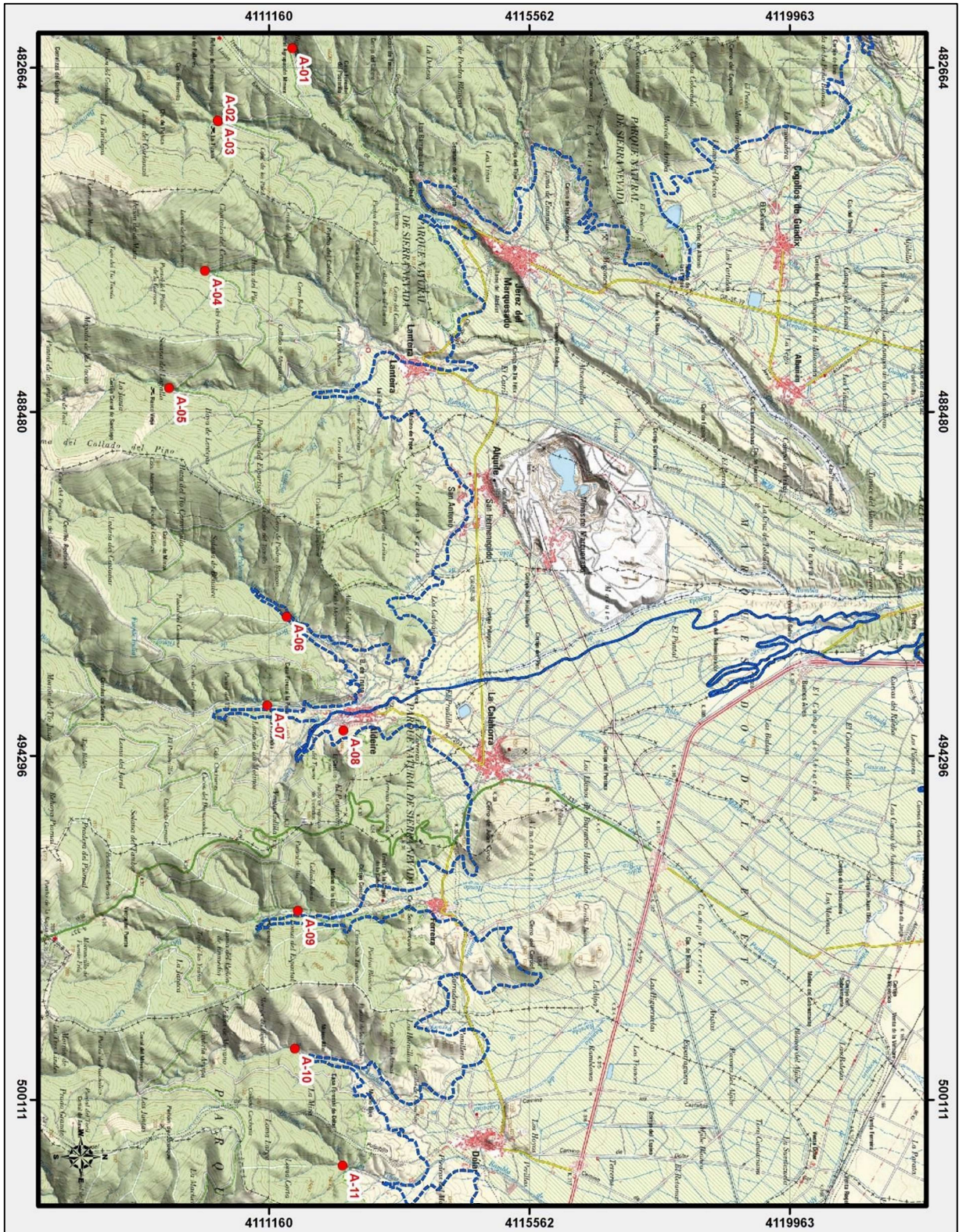


Figura 7: Localización de los puntos de aforo seleccionados.

En el anexo 2 se muestran las imágenes de los puntos de aforo seleccionados (fotos 54 a 63):

Los aforos bimestrales efectuados se han realizado con un equipo de medición de caudal de aguas superficiales compuesto de un micromolinete de hélice C-2 de marca OTT de sistema mecánico y un contador OTT Z400 para molinetes hidrométricos que junto con el molinete hidrométrico determinan la velocidad del agua (figura 8).



Figura 8: Micromolinete de hélice OTT C-2 y contador OTT Z400.

En los siguientes gráficos (figuras 9 y 10) se muestra la representación de los caudales aforados en los cauces descritos anteriormente. Los mayores caudales se producen principalmente en los meses de mayo, debido a que son cauces que tienen un comportamiento pluvio-nival.

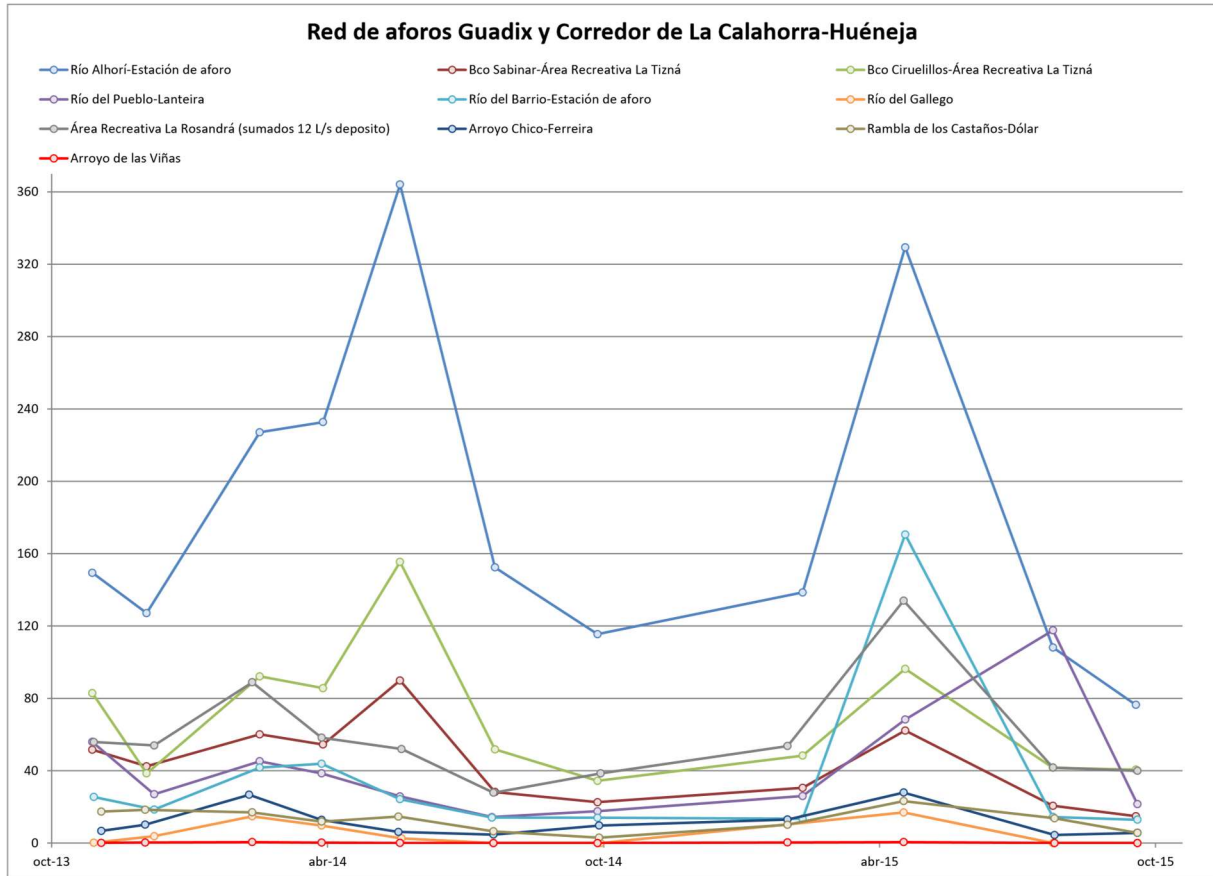
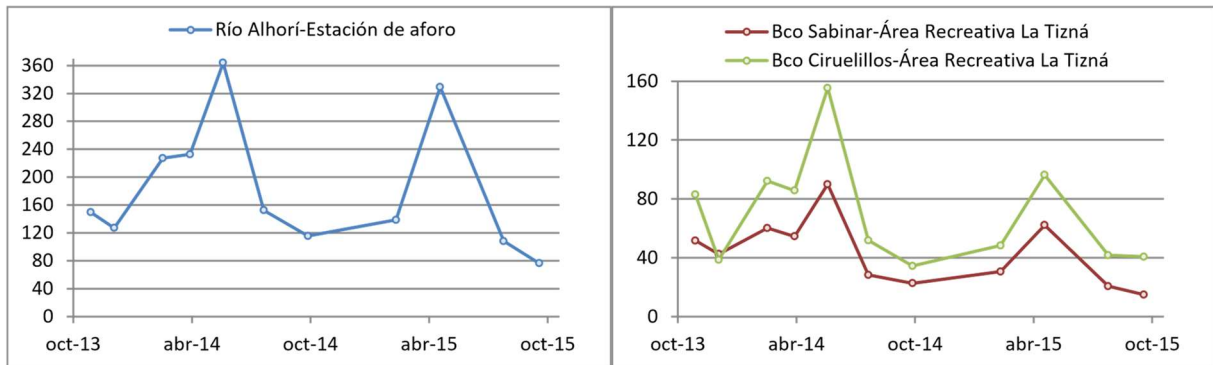


Figura 9: Representación gráfica de los aforos realizados para el periodo octubre 2013 a septiembre 2015.

Los cinco cauces que aportan mayor caudal (de mayor a menor) son los correspondientes al Río Alhorí, Barranco de Alcázar (Área Recreativa La Tizná), Río Benéjar (Área Recreativa La Rosandrá), Río del Barrio y Río del Pueblo. De los cauces aforados los que disponen de menor caudal (de mayor a menor) son los correspondientes a Arroyo Chico, Rambla de Los Castaños, Río gallego y Rambla de Las Viñas.



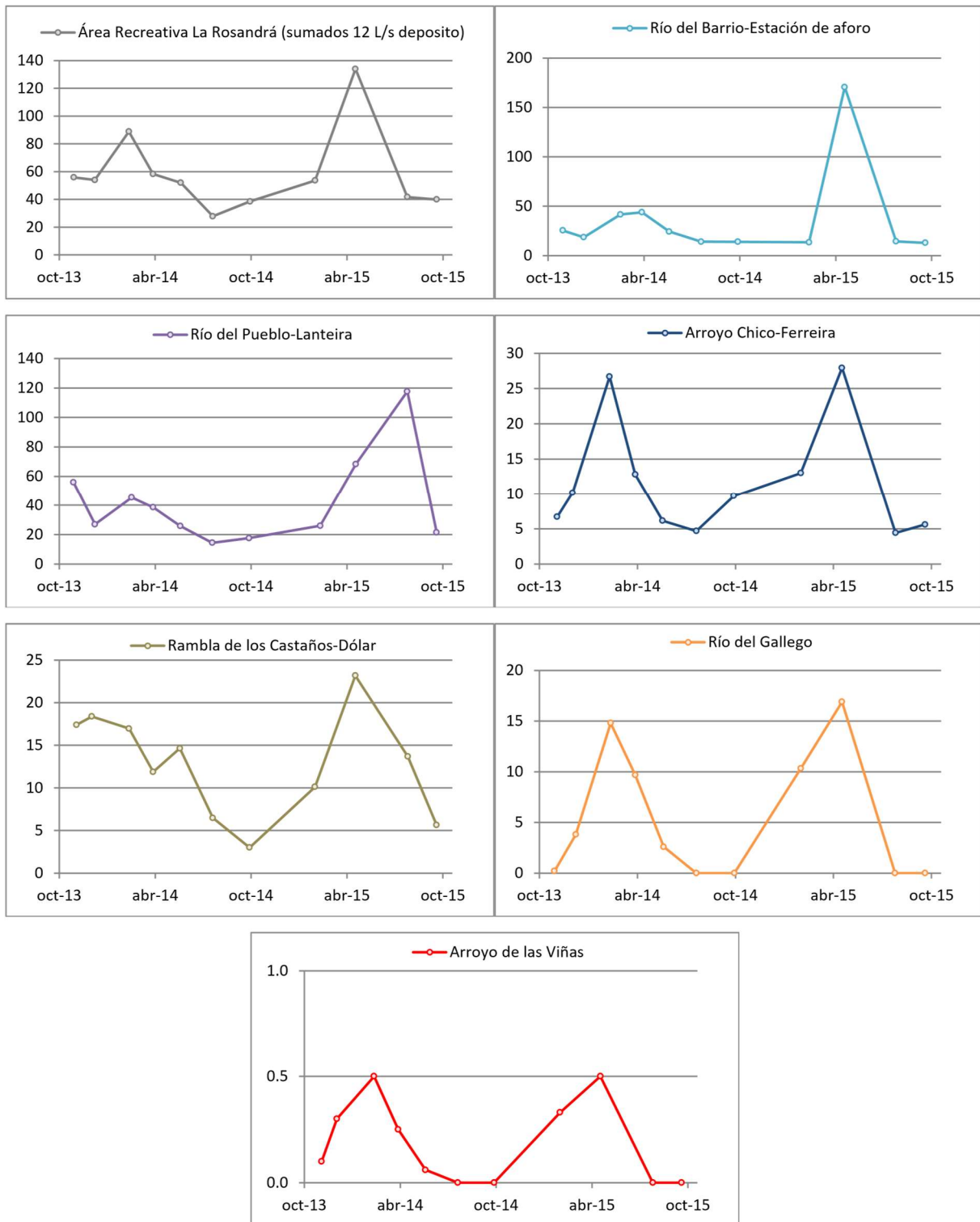


Figura 10: Representaciones gráficas de los aforos realizados para el periodo octubre 2013 a septiembre 2015, individuales para cada uno de los cauces aforados.

El caudal medio correspondiente a los aforos realizados durante el periodo de medida, comprendido entre octubre de 2013 y septiembre de 2015, es de 462.79 l/s, que se traduce en un aporte medio anual de unos 14.6 hm³/año, para todos los cauces aforados (tabla 6).

ORD	COD IGME	TOPONIMIA	QMED(L/S)
A-01	2042/4/GAL	Río Alhorí-Estación de aforo	183.69
A-02	2142/1/GAS	Bco Sabinar-Área Recreativa La Tizná	43.41
A-03	2142/1/GCI	Bco Ciruelillos-Área Recreativa La Tizná	69.78
A-04	2142/1/GPU	Río del Pueblo-Lanteira	41.61
A-05	2142/1/GBA	Río del Barrio-Estación de aforo	35.74
A-06	2142/2/GGA	Río del Gallego	5.30
A-07	2142/2/GBE	Área Recreativa La Rosandrá (incl 12 L/S)	58.60
A-09	2142/2/GCH	Arroyo Chico-Ferreira	11.63
A-10	2142/3/GCA	Rambla de los Castaños-Dólar	12.85
A-11	2142/3/GVI	Arroyo de las Viñas	0.19
TOTAL Q (L/S)			462.79
TOTAL (Hm³/año)			14.61

Tabla 6: Caudal medio de los aforos realizados en la zona de trabajo.

En la zona de estudio se encuentran 2 puntos de la red de aforos de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

La primera de ellas, con código 5051 Jerez del Marquesado, localizada en el Río Alhorí, tiene instalada una escala y un sensor de medida continua de diferenciación angular, tipo limnógrafo. La sección dispone de vertedero y canal para aguas bajas, como podemos observar en el croquis que se muestra a continuación, correspondiente a la ficha oficial de Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (figura 11).

En la figura 12, se han representado los valores de caudales de agua en la estación 5051 (l/s), frente a la precipitación media mensual de la estación meteorológica 5108, localizada en la zona de estudio.

En la figura 13, se han representado los caudales (l/s) de la estación 5051, frente al cálculo de las desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación de la estación meteorológica 5108 y la representación de las desviaciones acumuladas de la precipitación respecto a la media, en las que se pueden observar los periodos secos y húmedos que se producen a lo largo del periodo de estudio.

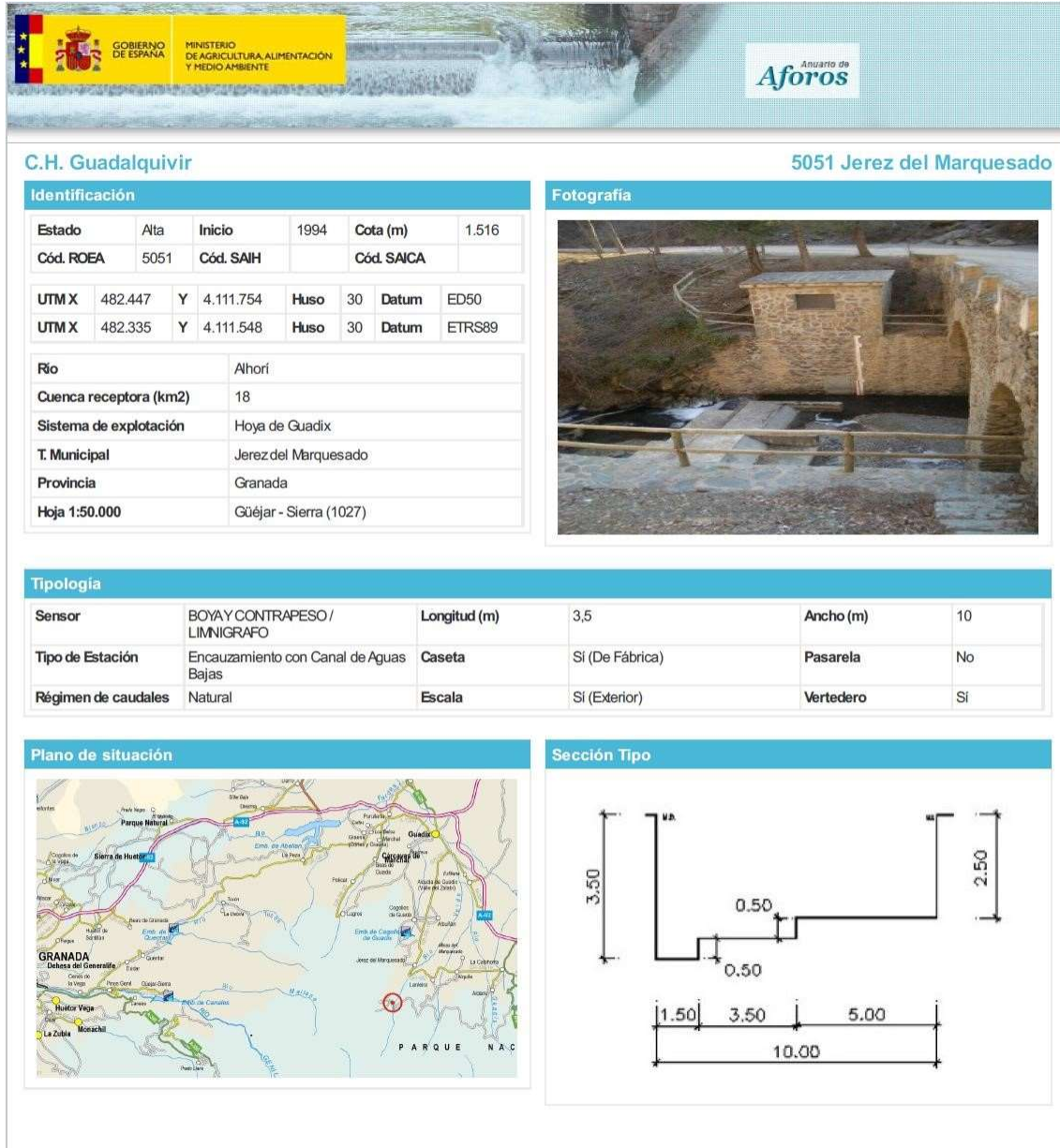


Figura 11: Ficha descriptiva de la estación de aforo 5051 Jerez del Marquesado.

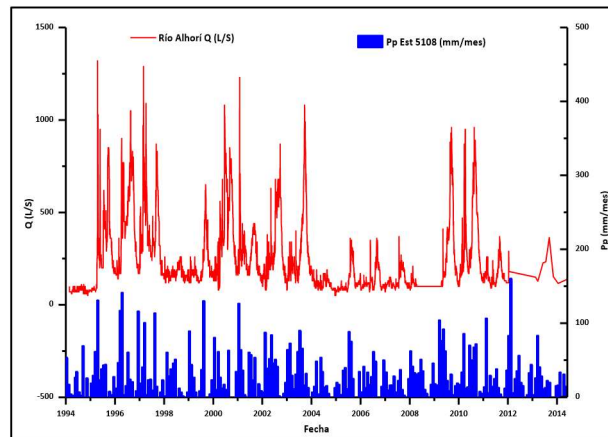


Figura 12: Representación de los caudales de la estación de aforo 5051 y de la precipitación media mensual de la estación meteorológica 5108.

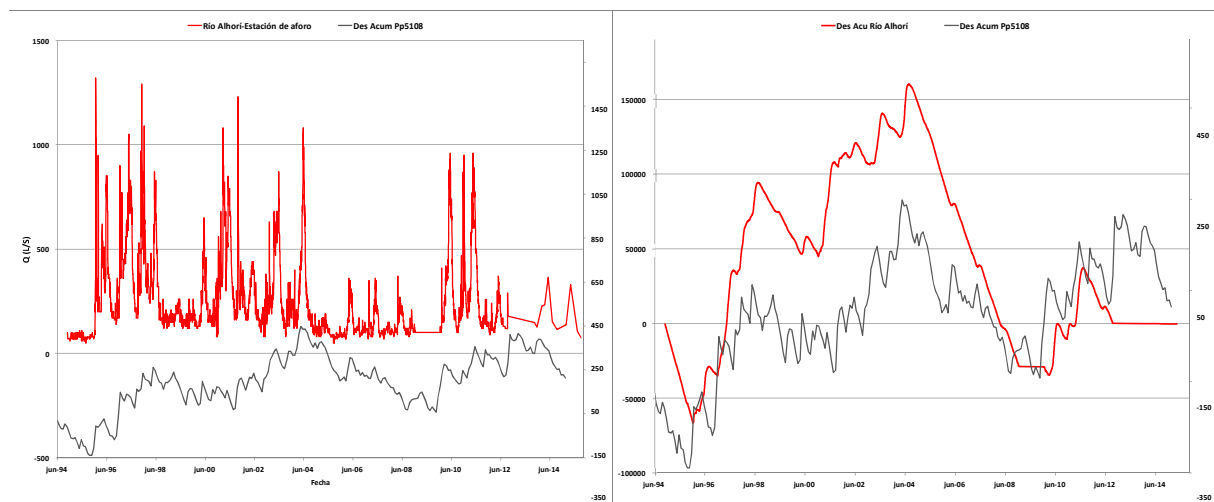


Figura 13: (1) Representación de los caudales de la estación de aforo 5051 y de las desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación media mensual de la estación meteorológica 5108. (2) Representación de las desviaciones medias acumuladas de los caudales de la estación de aforo 5051 y de las desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación media mensual de la estación meteorológica 5108.

La segunda de las estaciones de aforo localizadas en la zona de trabajo, corresponde con la estación con código 5052 Lanteira, localizada en el Río Barrio, tiene instalada una escala y un sensor de medida continua de diferenciación angular, tipo limnógrafo. La sección dispone de vertedero y canal para aguas bajas, como podemos observar en el croquis que se muestra a continuación, correspondiente a la ficha oficial de Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (figura 14).

En la figura 15, se han representado los valores de caudales de agua en la estación 5052 (l/s), frente a la precipitación media mensual de la estación meteorológica 5108, localizada en la zona de estudio. En la figura 16, se han representado los caudales (l/s) de la estación 5052, frente al cálculo de las desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación de la estación meteorológica 5108 y

la representación de las desviaciones acumuladas de la precipitación respecto a la media, en las que se pueden observar los periodos secos y húmedos que se producen a lo largo del periodo de estudio.

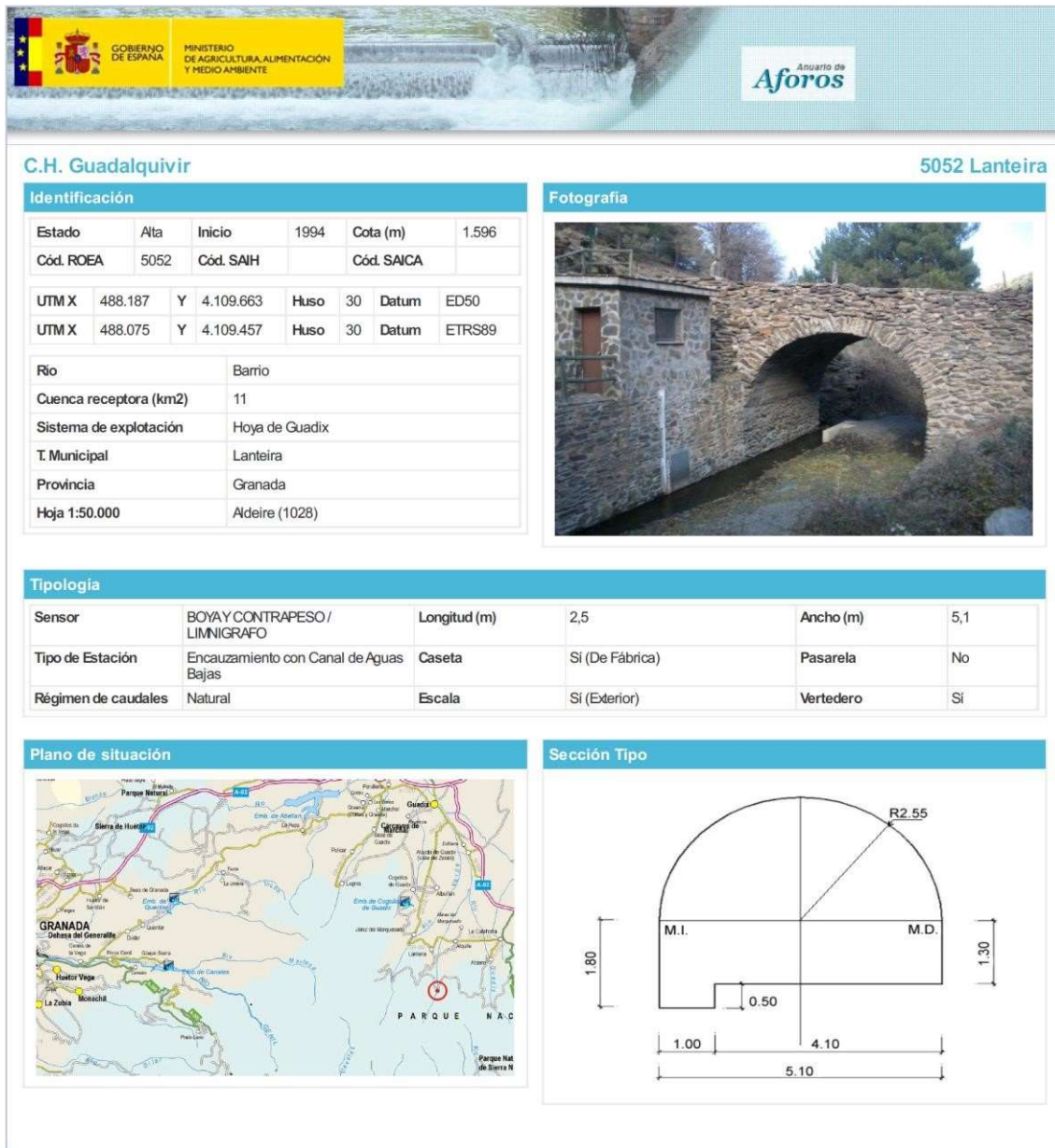


Figura 14: Ficha descriptiva de la estación de aforo 5052 Lanteira.

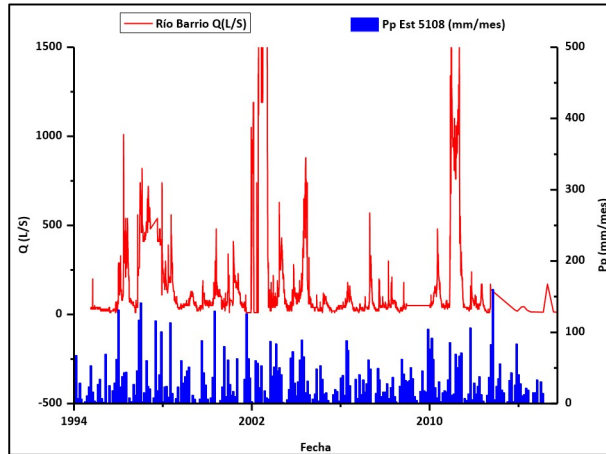


Figura 15: Representación de los caudales de la estación de aforo 5052 y de la precipitación media mensual de la estación meteorológica 5108.

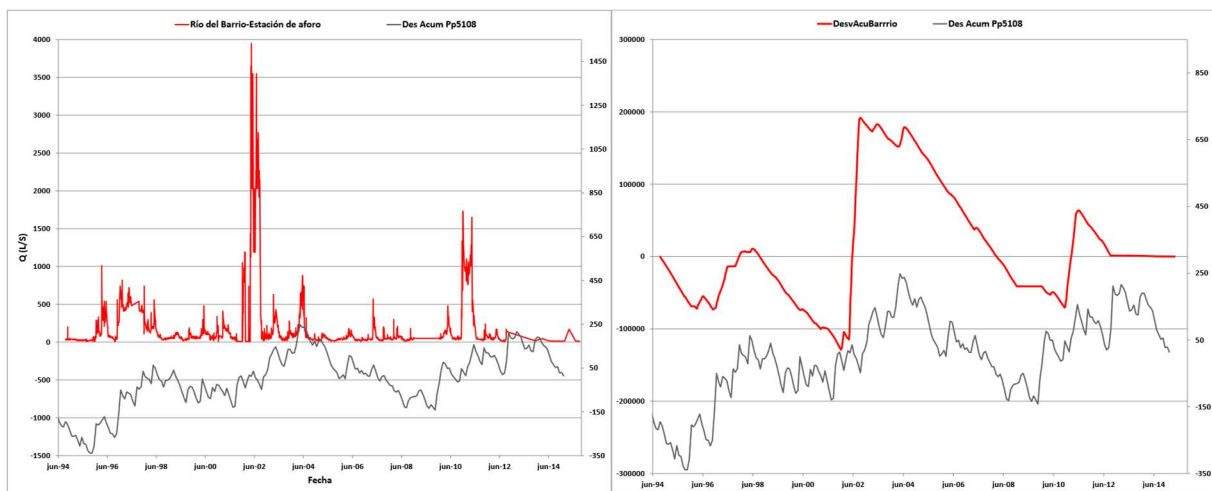


Figura 16: (1) Representación de los caudales de la estación de aforo 5052 y de las desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación media mensual de la estación meteorológica 5108. (2) Representación de las desviaciones medias acumuladas de los caudales de la estación de aforo 5052 y de las desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación media mensual de la estación meteorológica 5108.

Para las 2 estaciones de la red de aforos de Confederación Hidrográfica del Guadalquivir con una serie de datos histórica importante, se ha realizado el cálculo de los caudales medios para los periodos húmedos y secos detectados en ambas series mediante la representación de las desviaciones acumuladas respecto a la media de los caudales y de la precipitación media.

De la observación de los datos obtenidos podemos afirmar que los caudales aforados durante el periodo 2013-2015 se encuentran por debajo de la media histórica, considerando esta desde el año 1994 hasta la actualidad, por lo que esto mismo se puede trasladar al resto de aforos realizados en la zona. Es por ello que sería conveniente volver a aforar los mismos puntos en años con diferente

pluviometría para tener unos valores medios más representativos y no específicos de una época de sequía, para el cálculo de entradas superficiales al acuífero (tabla 7).

A-01		A-05	
2042/4/GAL		2142/1/GBA	
Río Alhorí-Estación de aforo		Río del Barrio-Estación de aforo	
FECHA	CAUDAL (L/S)	FECHA	CAUDAL (L/S)
Qmed(95-98)	366.6	Qmed(95-98)	232.9
Qmed(98-99)	171.2	Qmed(98-99)	57.2
Qmed(99-04)	294.0	Qmed(99-04)	302.4
Qmed(04-08)	126.9	Qmed(04-08)	51.8
Qmed(08-12)	256.4	Qmed(08-12)	214.2
Qmed(13-15)	183.7	Qmed(13-15)	35.7
Qmed(total)	245.0	Qmed(total)	187.3

Tabla 7: Caudales medios de dos de las estaciones representativas

5 INSTRUMENTACIÓN DE SONDEOS

En aquellos puntos de observación considerados, a priori, en las zonas de mayor interés se han instalado datalogger de medida continua de control piezométrico. Se ha procedido a la instalación de dispositivos Divers® de Schlumberger Water Services (SWS) (Figura 17).

El Diver es un registrador de datos diseñado para medir la presión y temperatura del agua en el que las mediciones se almacenan en la memoria interna del Diver.



Figura 17: Datalogger de medida continua tipo Divers® de Schlumberger Water Services.

Los Divers establecen la altura de una columna de agua por encima del sensor, midiendo la presión del agua con el sensor de presión integrado. El Diver consiste de un sensor de presión diseñado para medir la presión absoluta del agua, esto significa que el sensor de presión no sólo mide la presión del agua, sino también la presión de aire de empuje sobre la superficie del agua. Si la presión del aire varía, la presión del agua medida por lo tanto también varía, sin tener que variar el nivel de agua. El Diver determina el nivel de las aguas subterráneas midiendo la presión de la columna de agua encima del sensor de presión con una precisión del 0,05% FS (Escala Completa).

Para determinar el nivel de las aguas subterráneas, la presión de aire reinante debe compensarse por medio del BaroDiver (figura 18). Los datos de medición barométricos del BaroDiver pueden compensarse por medio del asistente de compensación de LDM. El BaroDiver, cuyo aspecto es similar al del Mini-Diver, debe quedar suspendido en alguno de los sondeos instrumentados por encima del rango de oscilación del nivel freático, para registrar las variaciones barométricas y compensar así las medidas de nivel de agua en el resto de los Diver mediante post-proceso. La descarga de los datos del BaroDiver se efectúa de idéntica manera que en los Diver.



Figura 18: Datalogger de medida continua tipo BaroDiver de Schlumberger Water Services para medir presión atmosférica.

Para medir estas variaciones en la presión atmosférica, se instala un Baro-Diver para cada zona de trabajo que está midiendo. La compensación barométrica, para estas variaciones en la presión atmosférica, se debe hacer uso de software de SWS (como Diver-Office) (figura 19). Los valores compensados se pueden relacionar con un punto de referencia, como la parte superior del pozo de monitoreo, o con un nivel de referencia vertical.

El dispositivo Diver también dispone de un sensor de temperatura para medir la temperatura del agua subterránea. Esto puede, por ejemplo, proporcionar información sobre flujos de aguas subterráneas. También permite determinar la difusión de agua (contaminada). La temperatura se mide utilizando un sensor semiconductor. Este sensor no sólo mide la temperatura, sino que también utiliza el valor de la temperatura para, al mismo tiempo, compensar el sensor de presión y el material electrónico (incluido el reloj de cristal) con los efectos de la temperatura.

El dispositivo Diver incluye una memoria para almacenar las mediciones y una batería. Este dispositivo se encuentra completamente sellado.

El dispositivo es un registrador de datos autónomo que puede ser programado por el usuario, y la comunicación entre los Divers y los ordenadores portátiles y/o equipos de campo está basada en comunicación óptica. Para la programación del Diver y para compensar y leer los datos de medición, SWS ofrece los paquetes de software Logger Data Manager (LDM) y Pocket-Diver para PC o portátil y PDA, respectivamente.

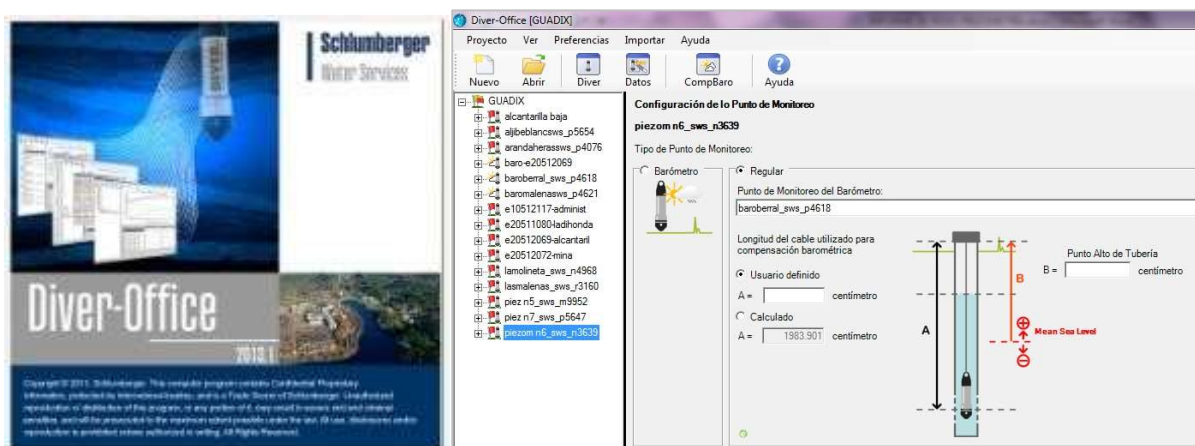


Figura 19: Imágenes correspondientes al software Diver-Office.

Las instalaciones de los Divers en los sondeos monitorizados se han realizado mediante cables de acero o cables de nylon, y con los correspondientes anclajes para que los dispositivos se suspendan de modo seguro, incluso con la colocación de un segundo punto de anclaje que sirva de seguridad a la hora de extraer el dispositivo para proceder a la descarga de los datos en superficie (figura 20).



Figura 20: En la primera imagen se muestra el ejemplo de instalación facilitado por la empresa suministradora de Diver y Baro Diver. En el resto de imágenes se observan ejemplos de las instalaciones en la zona de trabajo.

Del total de los 41 puntos de la red piezométrica, 11 se encuentran instalados con un datalogger de medida continua de control piezométrico por diferencia de presión, tipo Diver, de la empresa Schlumberger, el cual necesita de la instalación del dispositivo Baro para compensar las diferencias de presión atmosférica para su posterior compensación. De los 11 piezómetros instalados con sensor de control piezométrico continuo, 3 de ellos se encuentran en piezómetros de la red nacional (figura 21 y tabla 8).

El punto piezométrico P20 (2141/6/0018) Cortijo Administrador (La Calahorra) ha tenido instalado un dispositivo Diver hasta el 30/07/2014 fecha en la cual tuvo que ser retirado debido a que el propietario procedió a la instalación del sondeo para su explotación para uso de regadío de cultivo de almendros.

Ord	COD IGME	COD CHG	TOPONIMIA	MASb	X	Y	Z	PRO F (m)	RED NACIONAL	DIVER
P 2	2141/1/0225	05.12.003	Alcantarilla Baja - Rambla del Patrón	05.12	488076	4125711	1023	180	SI	SI
P 5	2141/2/0044	05.11.106	Ladihonda	05.11	498313	4130698	1292	140	SI	SI
P 11	2141/5/0030		Piezómetro nº 5	05.12	489735	4119617	1038	35	NO	SI
P 14	2141/5/0035		Piezometro nº 6	05.12	490690	4121470	1015	50	NO	SI
P 15	2141/5/0036		Piezómetro nº 7	05.12	489562	4119165	1060	50	NO	SI
P 18	2141/5/0265	05.12.901	Mina 3054 (P-1 Alquife)	05.12	489347	4116791	1150	160	SI	SI
P 20	2141/6/0018		Cjo. Administrador (La Calahorra)	05.12	492795	4117642	1120	240	NO	SI*
P 24	2141/6/0051		Las Malenas-Junto a Andasol 3	05.12	496318	4119368	1090	100	NO	SI
P 25	2141/7/0015		La Molineta - Venta Bigote	05.12	503374	4119909	1128	78.2	NO	SI
P 28	2141/7/0029		Aljibe Blanco	05.12	500497	4118807	1107	77.4	NO	SI
P 29	2141/7/0030		Los Atochares-Venta Ferreira	05.12	500293	4121498	1124	82.2	NO	SI

Tabla 8: Red de control con sondeos instrumentalizados para control piezométrico continuo.

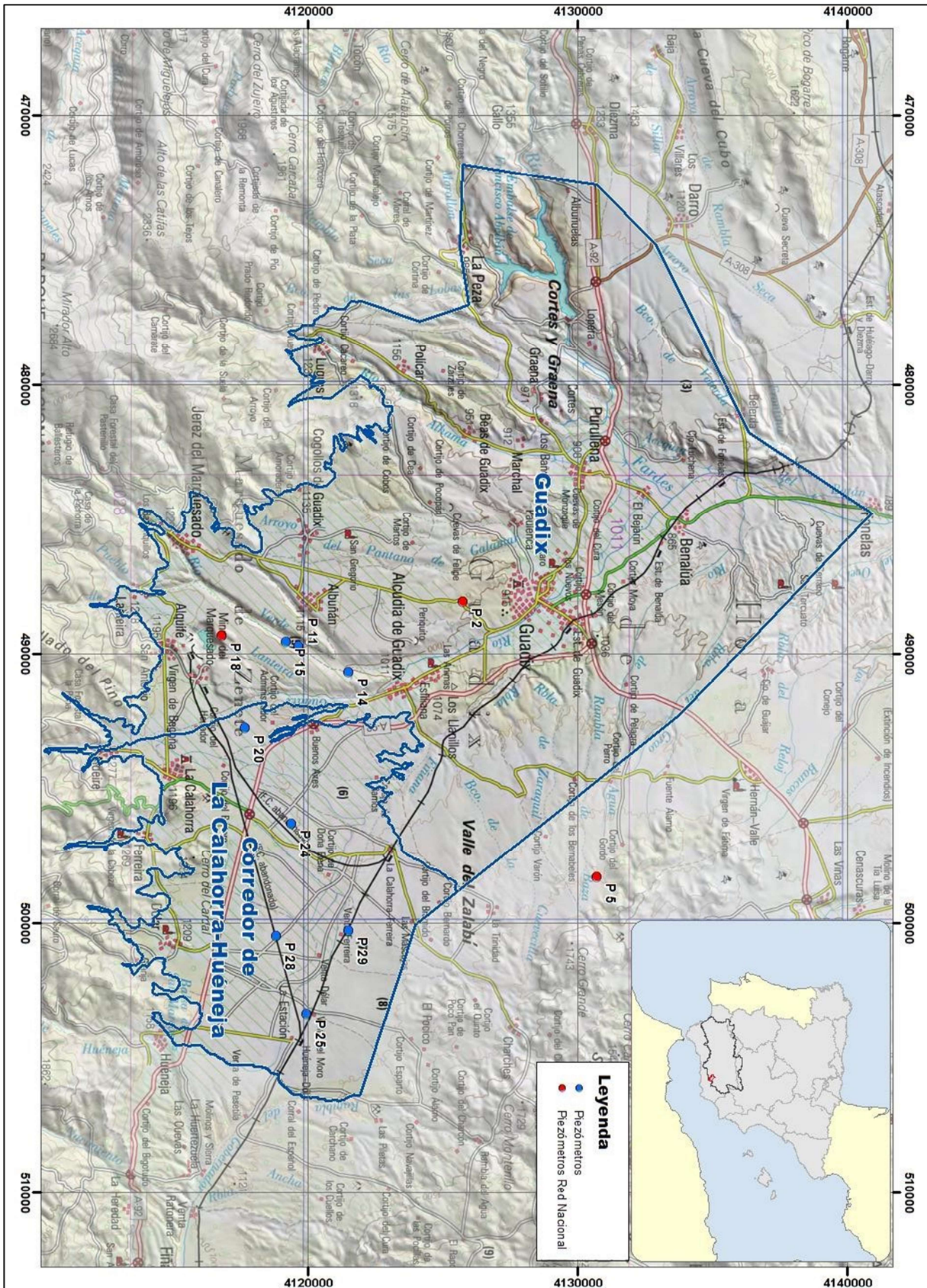


Figura 21: Localización de las MASb Guadix y Corredor de La Calahorra-Huéneja y red de control piezométrica de registro continuo (Diver) compuesta de puntos de la Red Nacional (rojo) y puntos específicos para el estudio (azul).

6 ANÁLISIS ESPACIAL DE LA PIEZOMETRÍA

De la revisión de los trabajos ejecutados con anterioridad en la zona de estudio, se han recopilado mapas de isopiezas en distintos años, desde 1971 hasta 2014. Aunque la zona para la cual se ha realizado la distribución espacial de las cotas piezométricas no coincide estrictamente en los distintos mapas, sí que se ha podido realizar una primera interpretación y evolución piezométrica espacial a lo largo del tiempo y pudiendo localizar distintos eventos de explotación de agua subterránea de la zona de trabajo.

Los diferentes mapas de isopiezas muestran, grosso modo, como el acuífero se alimenta fundamentalmente, por el Sur, de la escorrentía superficial que aporta la vertiente Norte de Sierra Nevada, así como por el aporte superficial también procede de las estribaciones de la Sierra de Baza, que tiene lugar fundamentalmente a través del Barranco de La Longuera, al Noreste. A este proceso de alimentación hay que sumar la infiltración directa del agua de lluvia caída directamente sobre los materiales permeables de la "Formación Guadix"; así como la transferencia lateral subterránea procedente de las formaciones carbonáticas de borde (Sierra de Baza Occidental), en contacto directo con los materiales detríticos permeables. Las líneas de flujo principales van, desde el Norte (Sierra de Baza) y el Sur (Sierra Nevada), hacia el acuífero detrítico y desde este hacia el Noroeste, al cauce del Río Verde.

A continuación se describen las características de interés y diferencias entre los distintos mapas de isovalores de isopiezas:

1) En la figura 22 se representa el Mapa de isovalores de isopiezas (1971). (Modelo analógico R-C de la formación acuífera de Guadix (Granada) (IGME, 1971)), si lo comparamos con el siguiente en fecha, el correspondiente al mapa elaborado por Francisco Medina en 1975 con motivo de su tesina (figura 23), sólo podemos relacionarlo con la zona de la mina y aguas abajo de esta en el río Verde, debido a que el mapa de isovalores de la figura 23 no utiliza datos del Llano ni de la Sierra de Baza (zonas Este y Noreste) por lo que en estas zonas no es representativo.

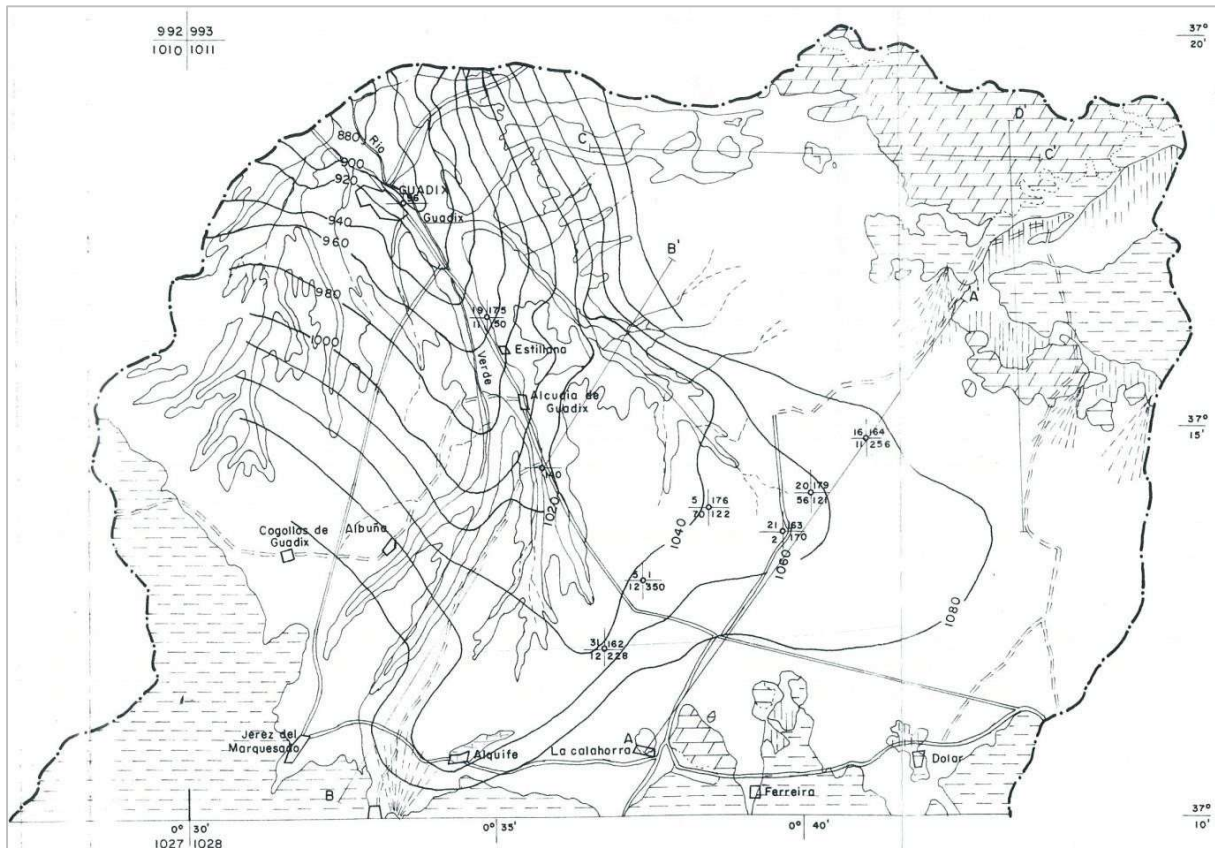


Figura 22: Mapa de isovalores (1971). (Modelo analógico R-C de la formación acuífera de Guadix (Granada) (1971)).

2) En la figura 22 se representa el mapa de isovalores. (Modelo analógico R-C de la formación acuífera de Guadix (Granada) (IGME, 1971)). Si lo comparamos con el mapa correspondiente a la figura 24 procedente del “Informe sobre la evolución piezométrica y estado de explotación del sistema acuífero de Guadix. Zona nº 7 de explotación controlada (IGME, 1981)”, realizado con datos de marzo de 1979, se puede observar que los datos de los que se parte para realizar el mapa de isopiezas y su distribución en el espacio son casi iguales. la distribución de las isopiezas es la misma a excepción de las inmediaciones de la mina, en la que se añaden valores piezométricos nuevos de esta zona y se modifican sus isopiezas, pero exclusivamente en las inmediaciones de la mina.

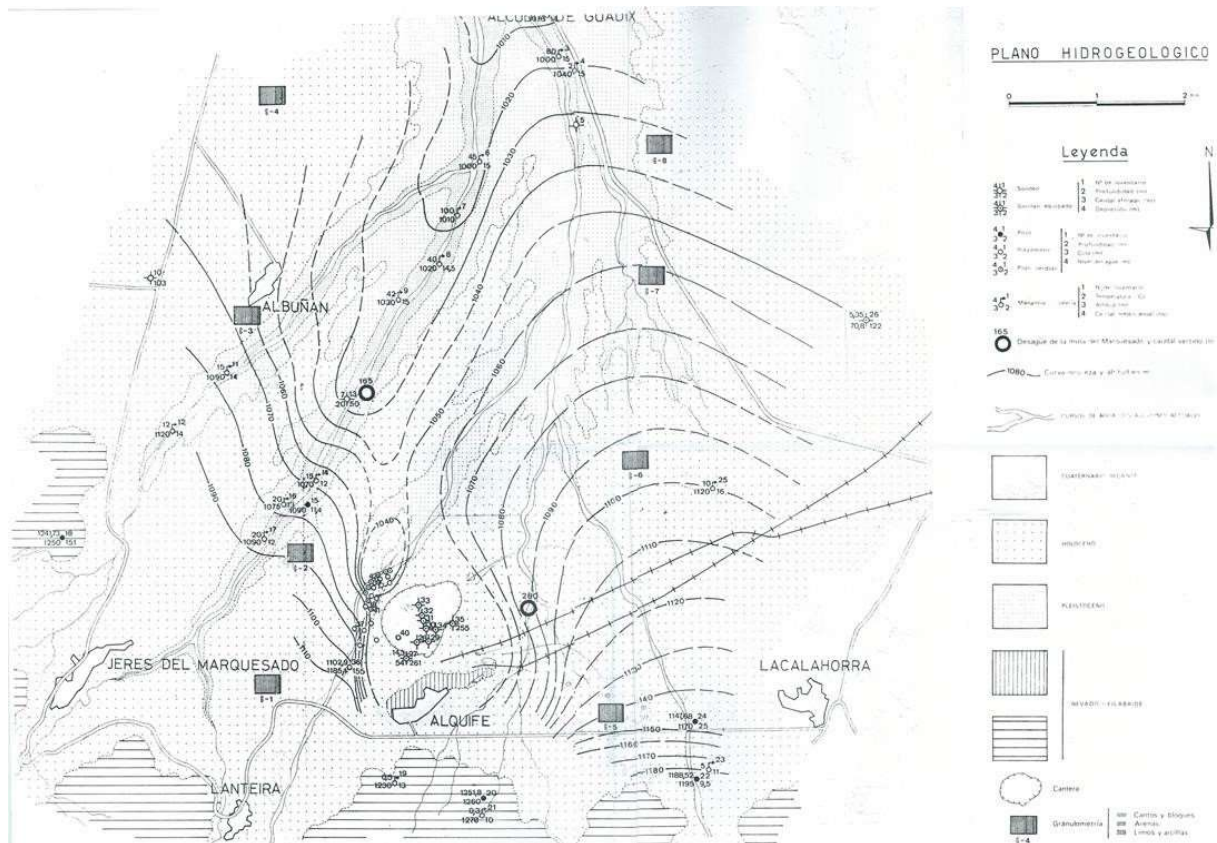


Figura 23: Mapa isovalores Francisco Medina 1975

3) En las figuras 25 y 26 se representan mapas de isopiezas en régimen permanente y transitorio con datos de 1984, con el bombeo de la mina en pleno funcionamiento. (Informe sobre modelización matemática del acuífero de Guadix. Modelo matemático de flujo de la Unidad Hidrogeológica 05.12 “Guadix - Marquesado” (Granada) (IGME, 1997)). De la comparativa entre mapas podemos observar como en las inmediaciones del piezómetro Calahorra I en el mapa de la figura 22 le correspondería una isolínea de 1060 m s.n.m., mientras que en la figura 25 sería de 1040 m s.n.m.; en general en toda la zona de los Llanos del Marquesado se aprecia la bajada de cota piezométrica del agua subterránea y se observa también la influencia de los bombeos realizados para el drenaje del acuífero en las inmediaciones de la mina.

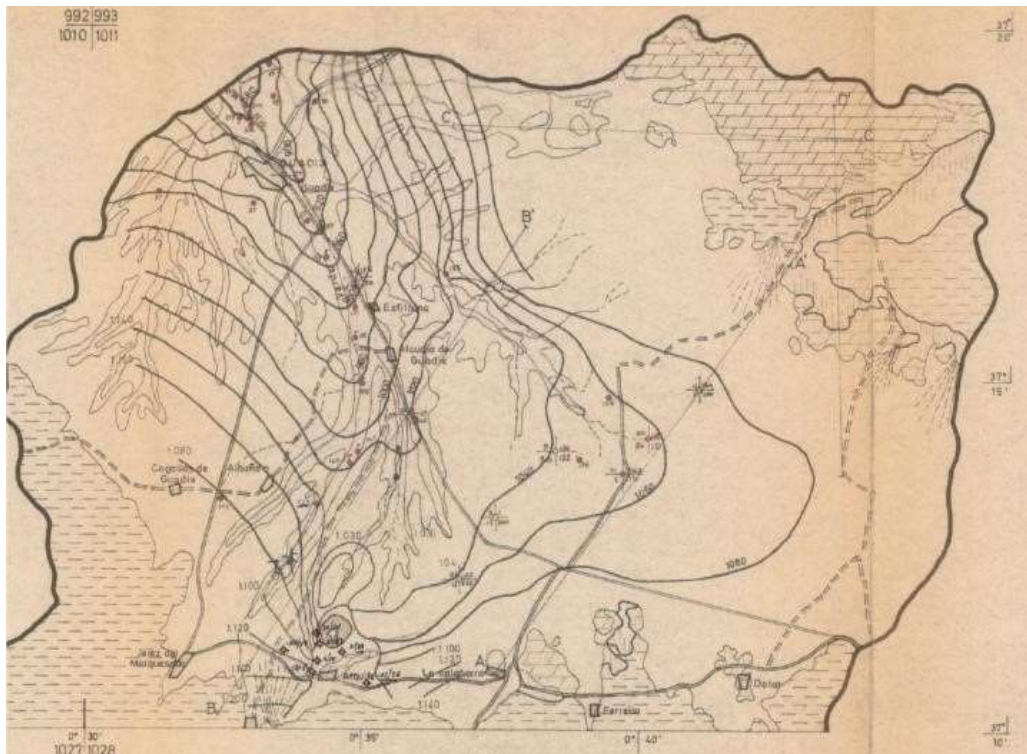


Figura 24: Mapa de isopiezías obtenido a partir de datos de marzo de 1979 (Informe sobre la evolución piezométrica y estado de explotación del sistema acuífero de Guadix. Zona nº 7 de explotación controlada (noviembre de 1981)).

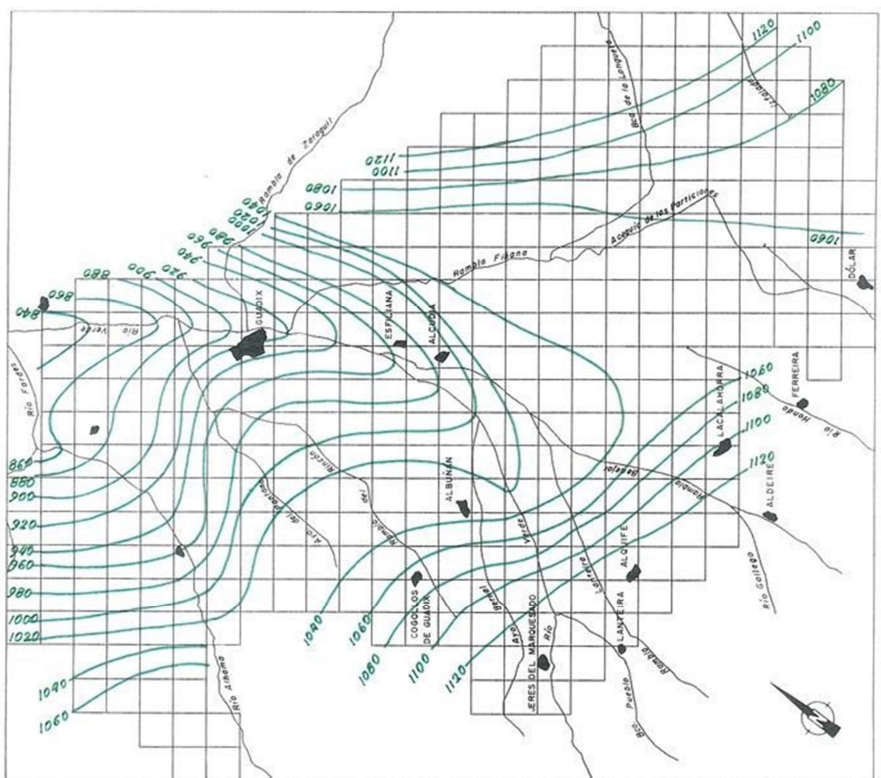


Figura 25: Mapa de isovalores obtenido a partir de datos de septiembre de 1984 en régimen permanente (Informe sobre modelización matemática del acuífero de Guadix. Modelo matemático de flujo de la Unidad Hidrogeológica 05.12 "Guadix - Marquesado" (Granada) (IGME, 1997)).

4) En los mapas de isopiezas correspondientes a los años 1985 y 1990 (figuras 27 y 28), se aprecia cómo se encuentran muy influenciados por los bombeos de drenaje del acuífero en las inmediaciones de la mina, con mayores descensos en 1985 que en 1990, y en comparación con los datos de 1971 se aprecia cómo se han registrado grandes descensos en los Llanos del Marquesado.

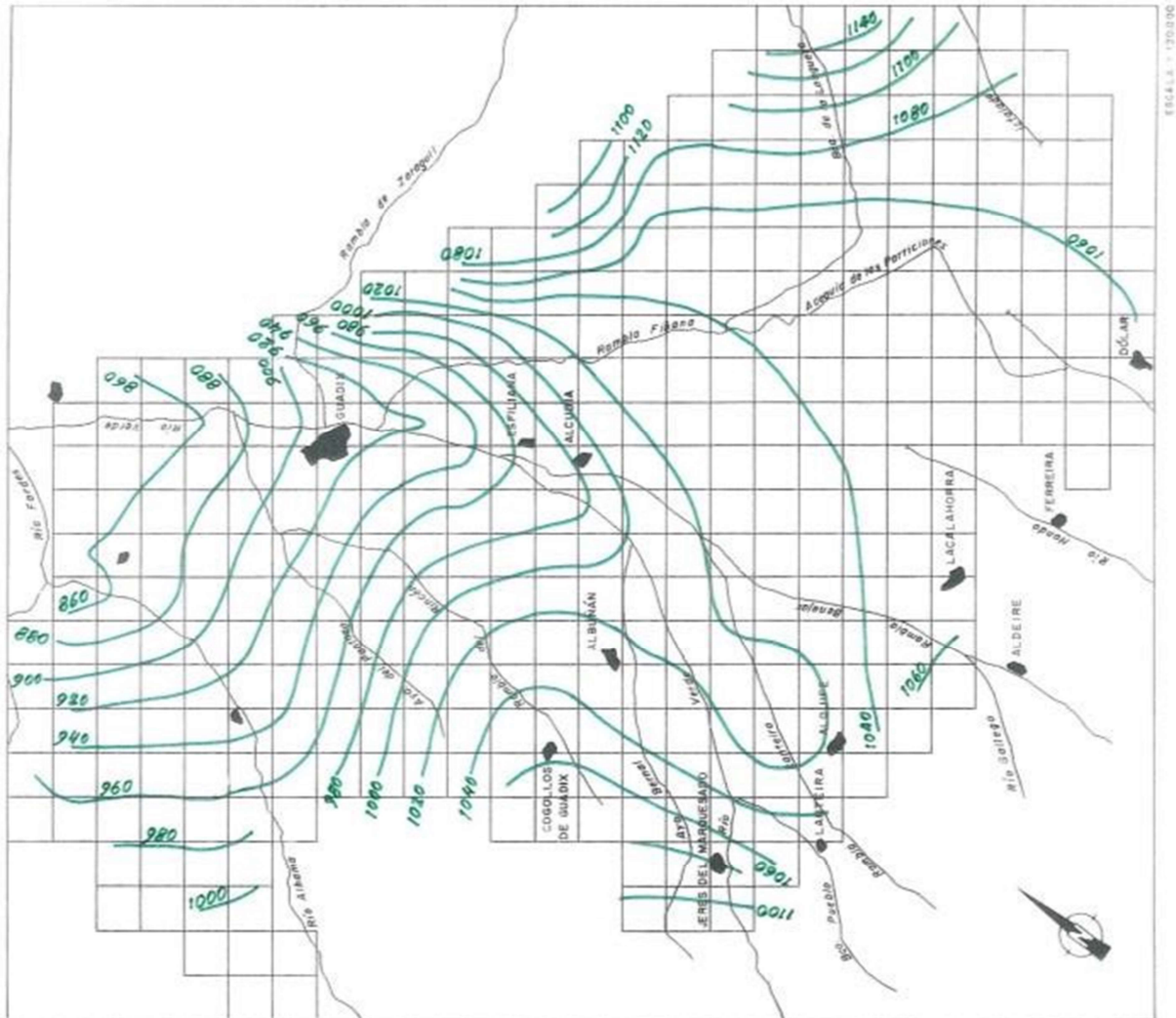


Figura 26: Mapa de isovalores obtenido a partir de datos de 1984 en régimen transitorio influenciado por el bombeo de la mina. (Informe sobre modelización matemática del acuífero de Guadix. Modelo matemático de flujo de la Unidad Hidrogeológica 05.12 "Guadix - Marquesado" (Granada) (IGME, 1997))

5) Los mapas de isovalores de 2010 y 2014 (figuras 29 y 30) nos muestran como la piezometría continúa descendiendo en los Llanos del Marquesado.

En la figura 30 se puede observar la distribución espacial de las cotas piezométricas y los sentidos de flujo del agua en la masa ES050MSBT000051202 Corredor de La Calahorra-Huéneja y sus inmediaciones, tomando los valores de cotas piezométricas correspondientes al año 2014 se ha

realizado el mapa de isovalores de cotas piezométricas que determina la distribución piezométrica espacial.

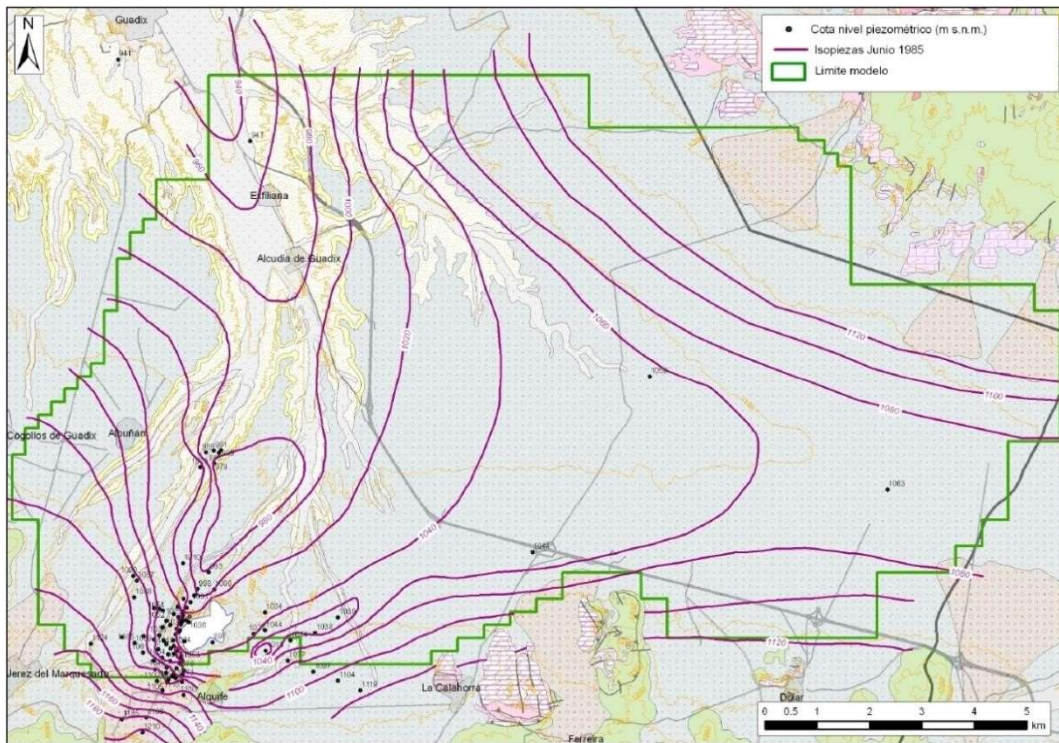


Figura 27: Mapa de isovalores correspondiente a datos de 1985) (Junta de Andalucía-Eptisa. Informe interno).

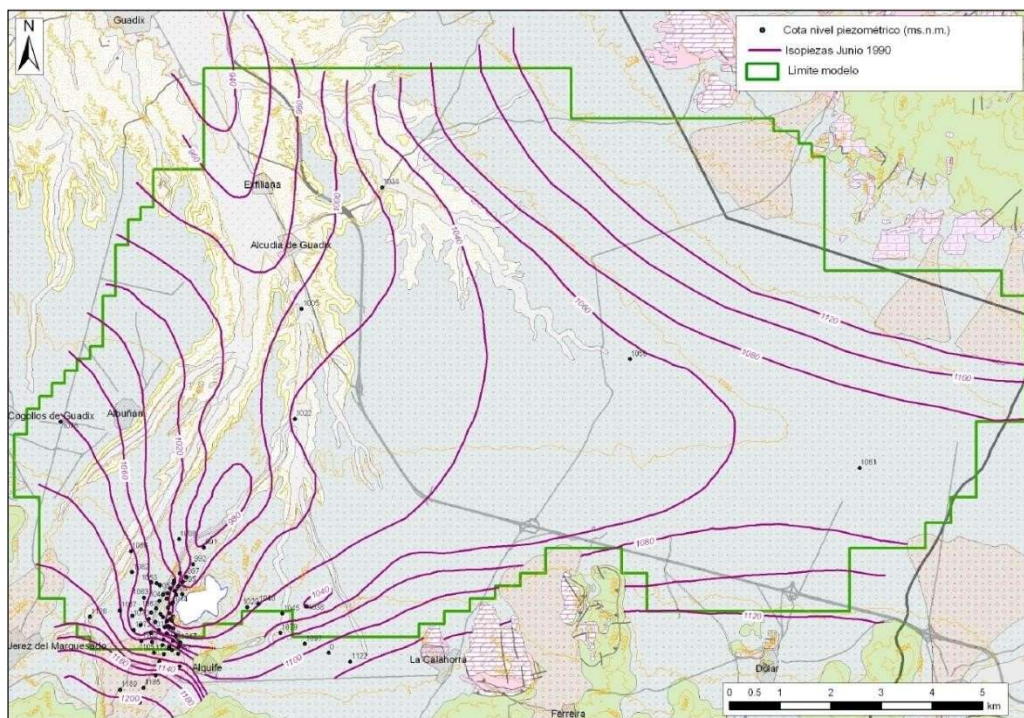


Figura 28: Mapa de isovalores correspondiente a datos de 1990) (Junta de Andalucía-Eptisa. Informe interno).

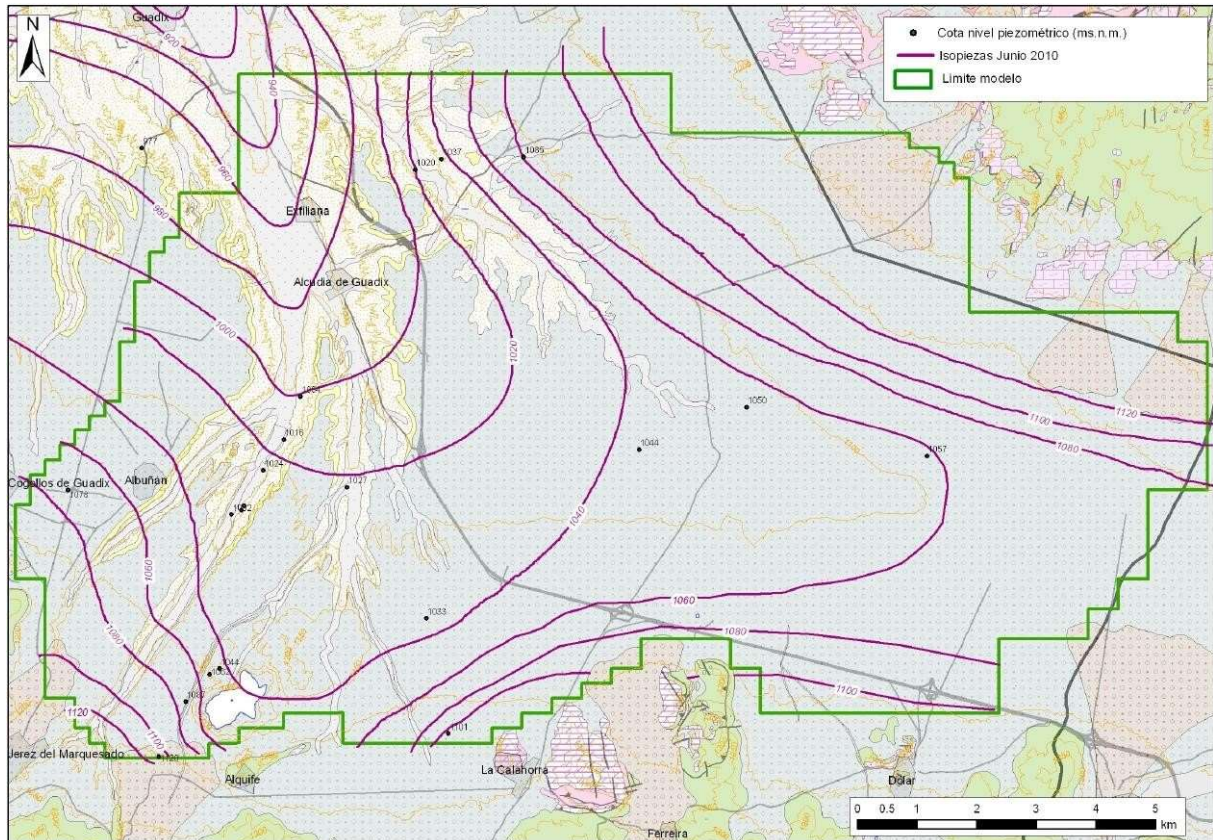


Figura 29: Mapa de isovalores correspondiente a datos de 2010 (Junta de Andalucía).

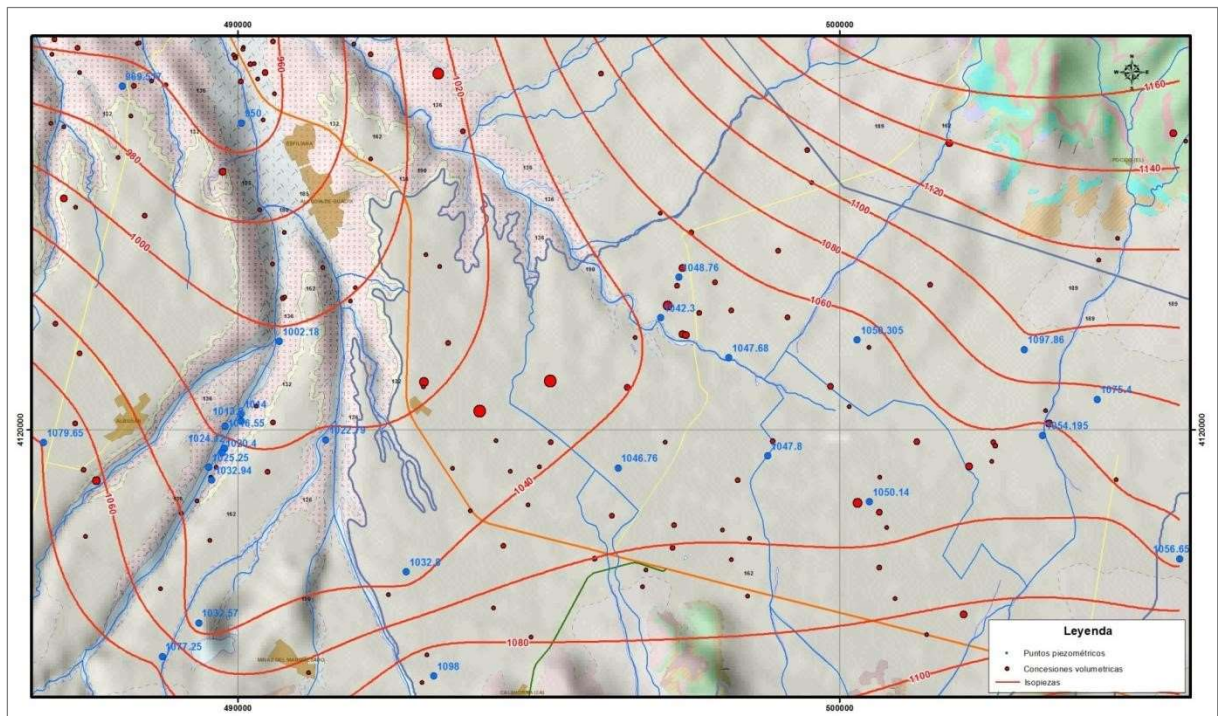


Figura 30: Mapa de isolíneas piezométricas y concesiones volumétricas de explotaciones de agua con base de mapa geológico (GEODE), realizado con valores piezométricos del año 2014.

Tras un análisis de mayor detalle se advierte que en la zona central de la figura 30, en las inmediaciones de la Rambla de Fiñana se producen unas deformaciones de las líneas de isovalores hacia una menor cota piezométrica, la cual se extiende hacia el ESE, hasta el límite SE de la masa que a su vez es límite de cuenca hidrológica (Cuencas Mediterráneas Andaluzas). Podemos apreciar en la figura 31 como esta zona descrita corresponde con la zona de menor espesor de acuífero, así como una notable explotación del acuífero, como se puede observar con las concesiones volumétricas mostradas con puntos rojos.

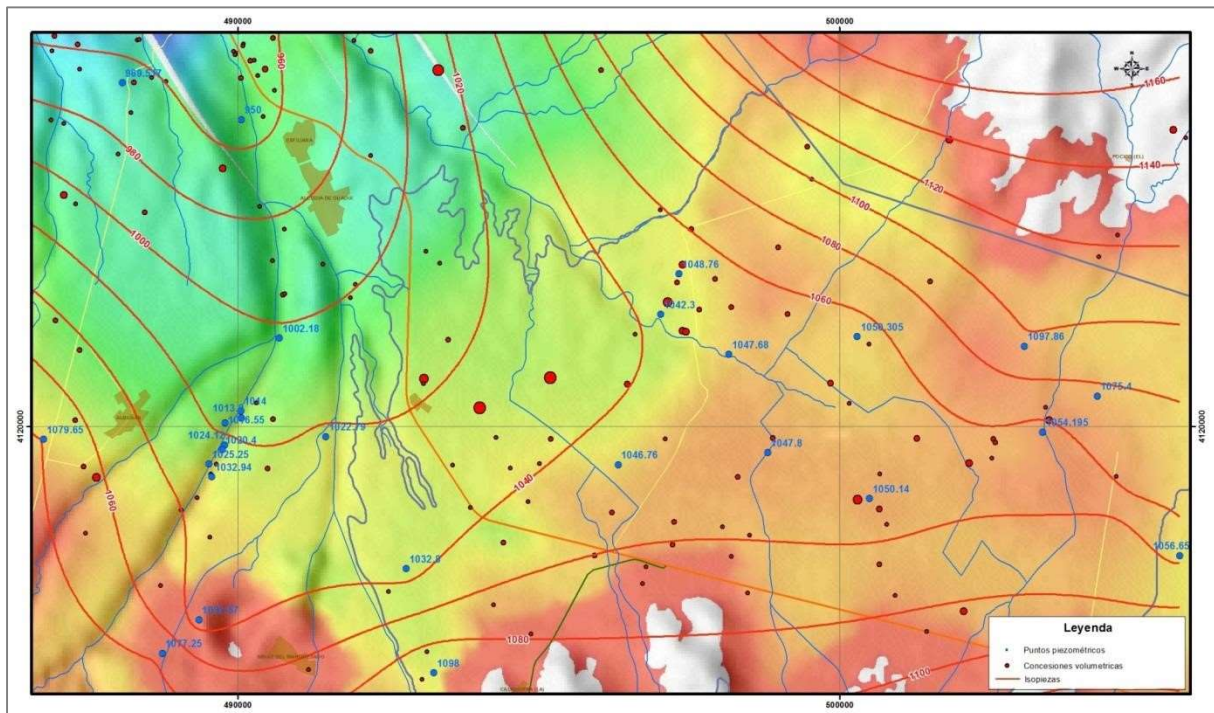


Figura 31: Mapa de isocotas piezométricas y concesiones volumétricas de explotaciones de agua con base de modelo geológico de espesor de materiales detríticos sobre el sustrato.

7 ANÁLISIS TEMPORAL DE LA PIEZOMETRÍA

Para el análisis temporal de la piezometría se han utilizado las estaciones de control piezométrico con una serie de datos significativamente importante en el tiempo, para analizar la evolución de los niveles piezométricos a lo largo del periodo tratado en distintos sectores dentro de la zona de estudio.

De los 35 puntos de control piezométrico tan sólo 15 de ellos disponen de una serie de datos más o menos constante durante un periodo de tiempo representativo.

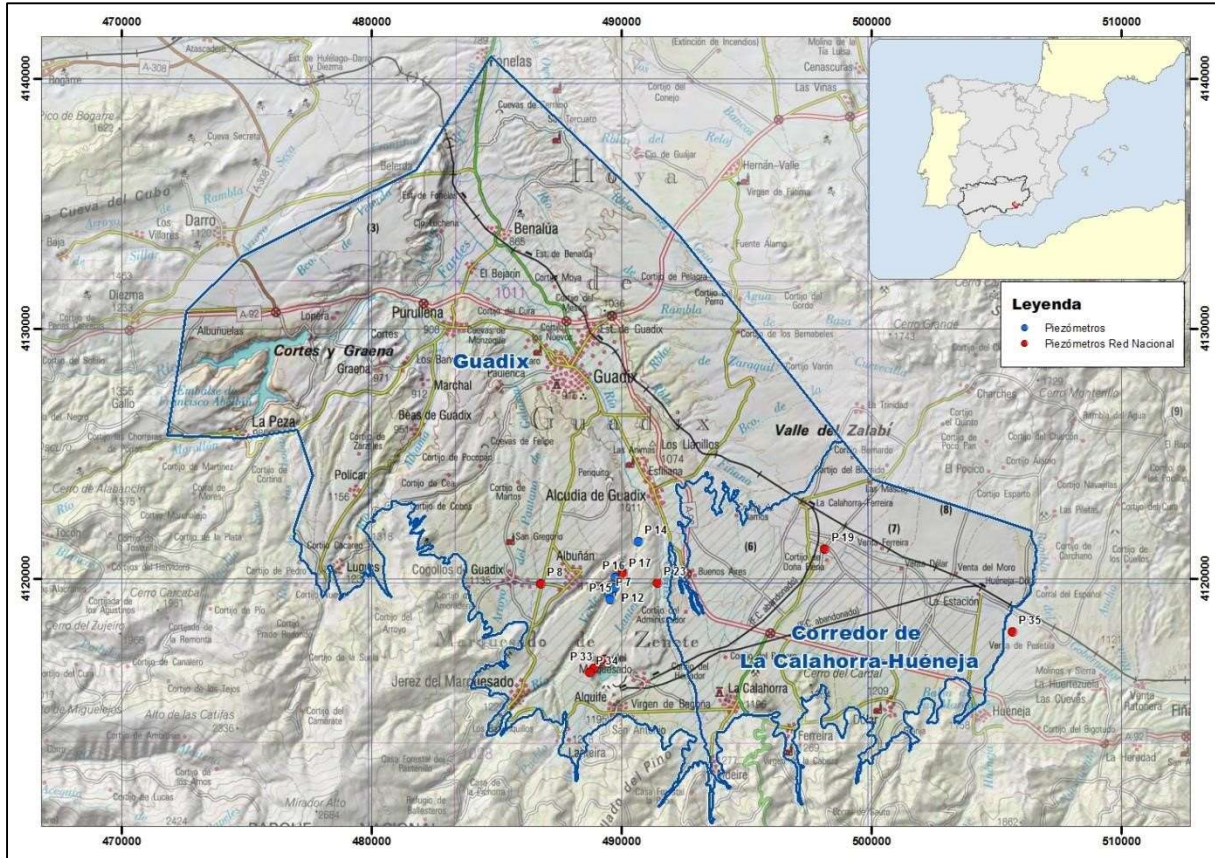


Figura 32: Red de control piezométrico con una serie de datos histórica importante en el tiempo compuesta de puntos de la Red Nacional (rojo) y puntos específicos para el estudio de la zona de trabajo (azul).

En la tabla 9 se muestran los 15 puntos de control piezométrico con una serie de datos considerablemente extensa en el tiempo.

Ord	COD IGME	COD CHG	TOPONIMIA	MASb	X	Y	Z	PROF (m)	RED NACIONAL	DIVER
P 7	2141/5/0019		Sondeo FAO	05.12	489513	4119380	1040	50	NO	NO
P 8	2141/5/0020	05.12.007	Albuñan I	05.12	486769	4119790	1132	103	SI	NO
P 11	2141/5/0030		Piezómetro nº 5	05.12	489735	4119617	1038	35	NO	SI
P 12	2141/5/0030/2		Piezómetro nº 5 (II)	05.12	489735	4119617	1038		NO	NO
P 13	2141/5/0032	05.12.005	ITGE II	05.12	490049	4120260	1020	180	SI	NO
P 14	2141/5/0035		Piezometro nº 6	05.12	490690	4121470	1015	50	NO	SI
P 15	2141/5/0036		Piezómetro nº 7	05.12	489562	4119165	1060	50	NO	SI
P 16	2141/5/0037		Piezómetro nº 8	05.12	489780	4120062	1026	50	NO	NO
P 17	2141/5/0038	05.12.006	Piezómetro nº 9	05.12	490057	4120146	1021	50	SI	NO
P 19	2141/6/0003	05.12.009	Calahorra I	05.12	498158	4121200	1092	121	SI	NO

P 23	2141/6/0031	05.12.011	Piezómetro de Alquife	05.12	491456	4119837	1057		SI	NO
P 32		05.12.902	P-2 (Aluvial+Caliza)	05.12	489145	4116689	1151		SI	NO
P 33		05.12.904	P-4 (Alquife)	05.12	488906	4116418	1162		SI	NO
P 34		05.12.905	P-5 (Alquife)	05.12	488739	4116236	1166		SI	NO
P 35		06.10.001	Fondon	06.10	505659	4117857	1117	140	SI	NO

Tabla 9: Puntos de control piezométrico con una serie de datos histórica importante.

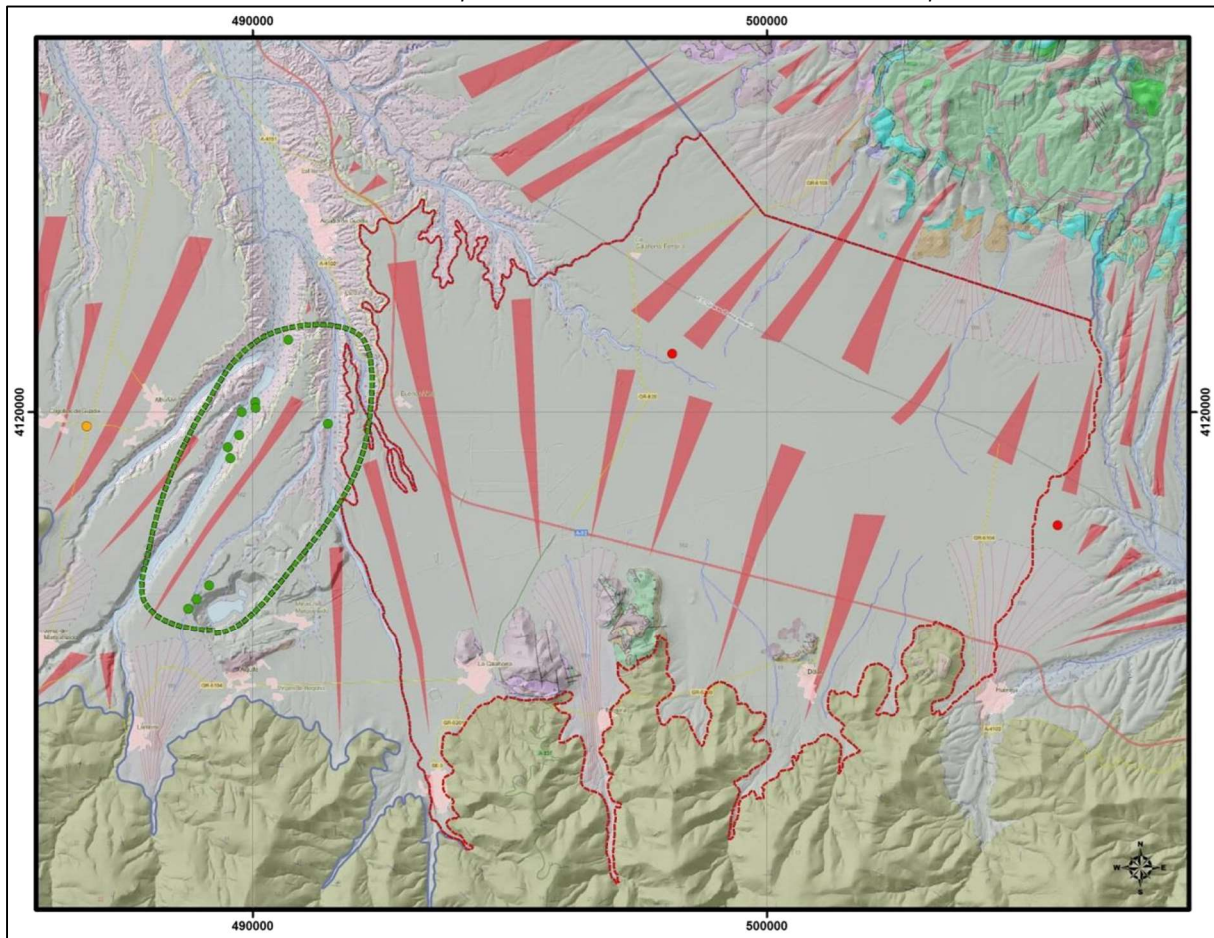


Figura 33: Localización de los piezómetros con un periodo de medida temporal importante y que se ajustan a 3 tipos de comportamientos diferentes (Naranja tipo 1, Verde tipo 2 y Rojo tipo 3).

En la figura 33 podemos observar la distribución de los 15 piezómetros en la zona de trabajo, en los que se pueden identificar 3 tipos de comportamientos de las series de datos piezométricos:

1) El primero de ellos (tipo 1, naranja) (figura 33) correspondería con la evolución del piezómetro con código IGME 2141/5/0020 "Albuñan I", en el cual podemos observar que la evolución de la cota piezométrica es prácticamente paralela a la correspondiente a la precipitación media de la zona, en

concreto a las desviaciones acumuladas respecto a la media de los valores de precipitación mensuales correspondientes a la estación meteorológica con código 5108 (figura 34).

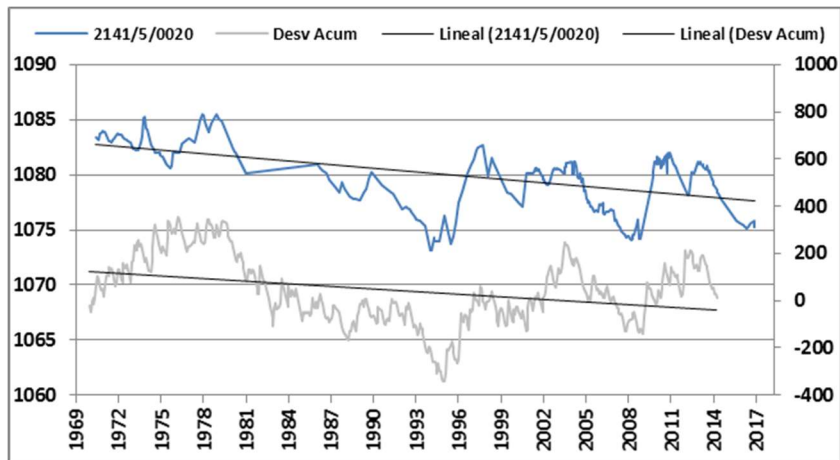


Figura 34: Representación de los datos piezométricos correspondientes al piezómetro 2141/5/0020 y las desviaciones acumuladas respecto a la media de los valores mensuales de precipitación correspondientes a la estación meteorológica 5108, así como las líneas de tendencia de cada una de las representaciones, para el período 1970 - 2015.

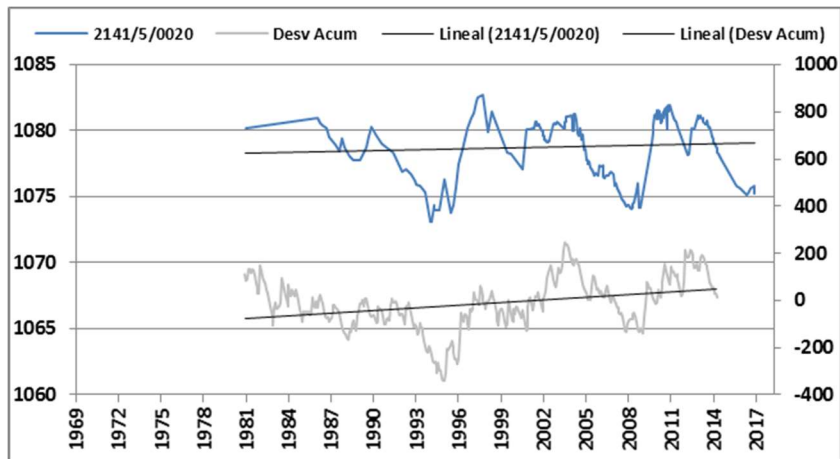


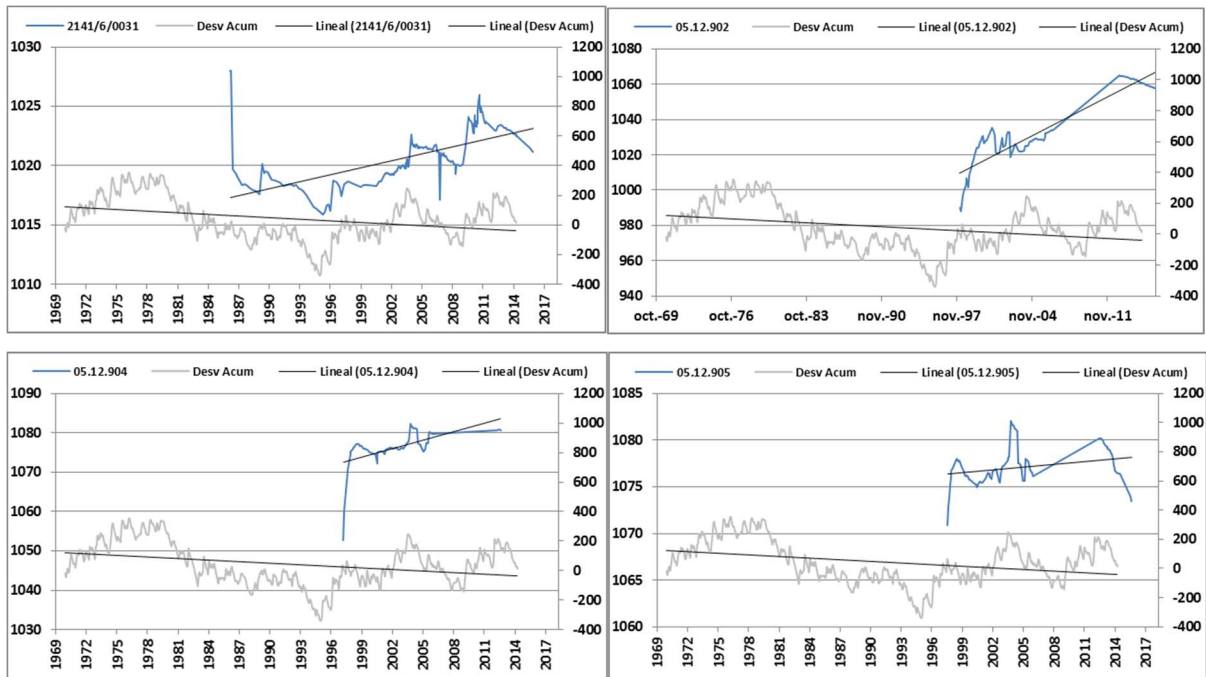
Figura 35: Representación de los datos piezométricos correspondientes al piezómetro 2141/5/0020 y las desviaciones acumuladas respecto a la media de los valores mensuales de precipitación correspondientes a la estación meteorológica 5108, así como las líneas de tendencia de cada una de las representaciones, para el período 1980 - 2015.

De la representación de la cota piezométrica y de las desviaciones acumuladas respecto a la media de datos de precipitación de la estación meteorológica seleccionada (5108), podemos deducir como en ambas se muestra una línea de tendencia descendente para el periodo representado, desde 1970 hasta 2015. Como podemos observar, en la década de los '70 se produce un periodo húmedo de precipitaciones, por lo que si eliminamos dicho intervalo de tiempo el resultado es totalmente diferente y la tendencia tanto de la precipitación como de la cota piezométrica del piezómetro son ascendentes (Figura 35).

Tanto para el análisis de la precipitación como de evolución piezométrica correspondiente al punto 2441/5/0020 es necesario realizar un estudio más detallado en el que investigar evoluciones, tendencias generales, tendencias por periodos,...

2) El segundo tipo de comportamiento corresponde (tipo 2, verde) (figura 33) con los piezómetros localizados en las inmediaciones de la explotación minera Minas de Alquife y a los piezómetros localizados en la Rambla del Berral.

El nivel piezométrico en estos puntos se encuentra en continuo ascenso desde el fin de la extracción de aguas subterráneas para la explotación de las Minas de Alquife que queda notablemente marcado en los gráficos que se muestran a continuación (figura 36).



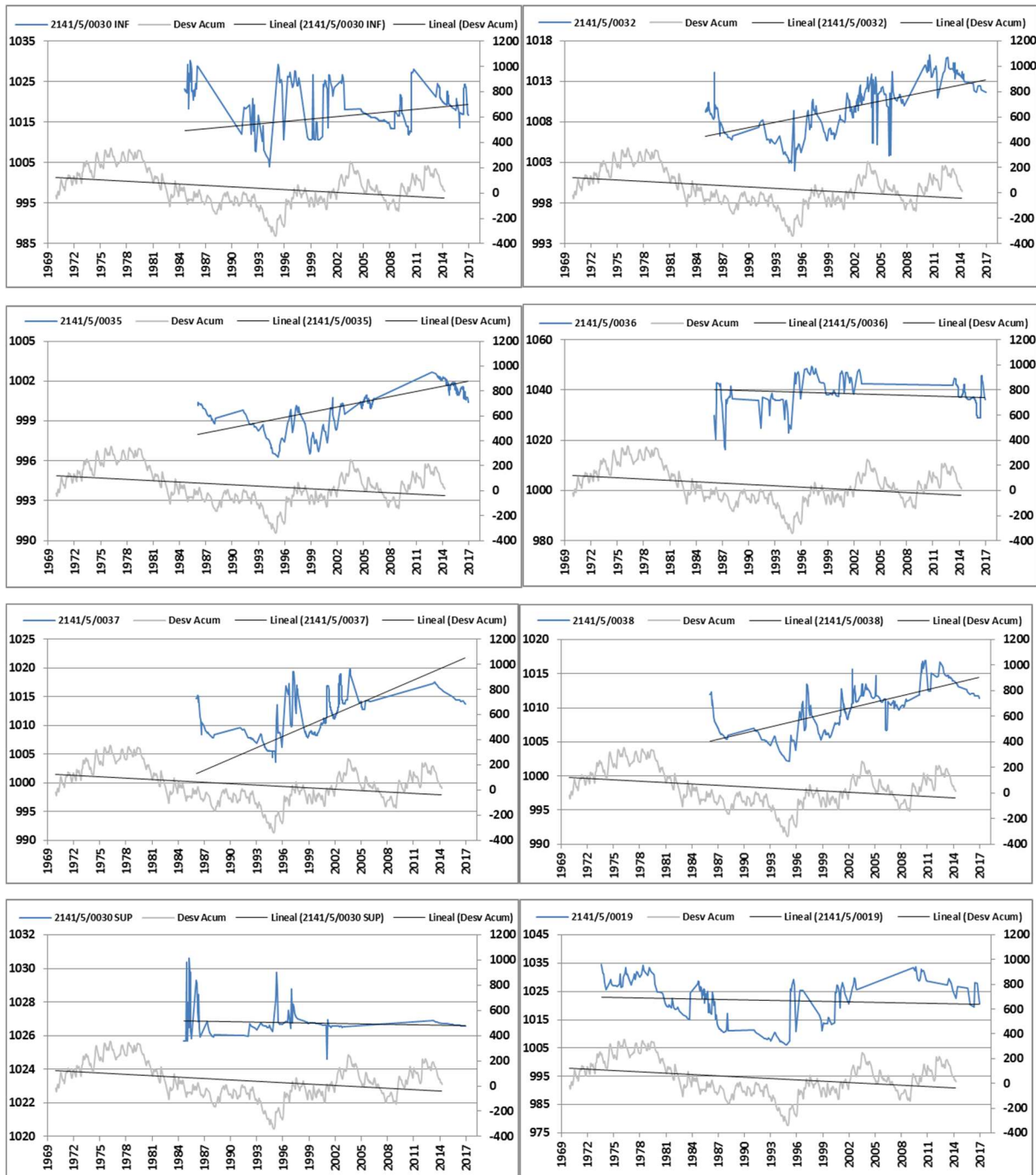


Figura 36: Representación de los datos piezométricos correspondientes a los piezómetros 2141/6/0031, 05.12.902, 05.12.904, 05.12.905, 2141/5/0030INF, 2141/5/0032, 2141/5/0035, 2141/5/0036, 2141/5/0037, 2141/5/0038, 2141/5/0030SUP y 2141/5/0019, y las desviaciones acumuladas respecto a la media de los valores mensuales de precipitación correspondientes a la estación meteorológica 5108, así como las líneas de tendencia de cada una de las representaciones.

En un primer análisis más grosero se puede observar como en los piezómetros localizados en las zonas de mayor cota, aguas arriba, las respuestas piezométricas son más acentuadas, tanto de ascensos como para los descensos por la proximidad al borde de Sierra Nevada. Principalmente se ve reflejado en los piezómetros P15, P7 y P11, y como en los demás piezómetros, de forma progresiva se van

amortiguando las respuestas de ascenso y descenso de niveles al alejarnos de la zona de recarga del acuífero que se localiza aguas arriba en la mencionada rambla del Berral.

El único piezómetro de esta zona que dispone de datos de piezometría antes del año 1985 es el piezómetro P7, que dispone de datos desde 1974. Este piezómetro P7 es uno de los piezómetros que presenta una respuesta más acentuada de las subidas y bajadas de nivel. Desde el comienzo de la obtención de datos en 1974 hasta las inmediaciones de 1979, cuando comienza el bombeo del acuífero Pliocuaternal por parte de la mina, el nivel se encuentra prácticamente estable, aunque a partir del comienzo de la extracción de agua subterránea de este acuífero, el nivel piezométrico sufre una tendencia descendente hasta 1984, cuando se realiza la recarga artificial en el Arroyo del Berral.

A partir de 1985 el nivel piezométrico en este punto (P7) desciende hasta 1996 con el cese de la explotación minera. Desde esta fecha hasta la actualidad su tendencia general es ascendente, con un ascenso absoluto de unos 20 metros. Para el resto de piezómetros cabe mencionar que la tendencia es descendente para el periodo comprendido entre su ejecución hasta el cese de la explotación minera, y desde esta fecha (1996) hasta la actualidad la tendencia general es ascendente con subidas de nivel de varios metros en todos los casos.

Un caso excepcional es el piezómetro P12, que corresponde con un sondeo más superficial que tan sólo capta una capa acuífera más somera. Este acuífero más somero es perdedor en favor del acuífero inferior.

La evolución piezométrica de los puntos 2141/5/0019 y 2141/5/0030 SUP no muestra una tendencia marcadamente ascendente y esto es debido a:

- El piezómetro 2141/5/0030 SUP es un piezómetro de menor profundidad que tan sólo capta una capa superior, en la que la cota piezométrica normalmente se encuentra a una cota superior a la cota piezométrica de la capa acuífera inferior, a excepción de cuando se producen rápidos ascensos en la capa inferior, captada por el piezómetro 2141/5/0030 INF, y entonces la capa inferior parece que produce recarga de la capa superior (figura 37).

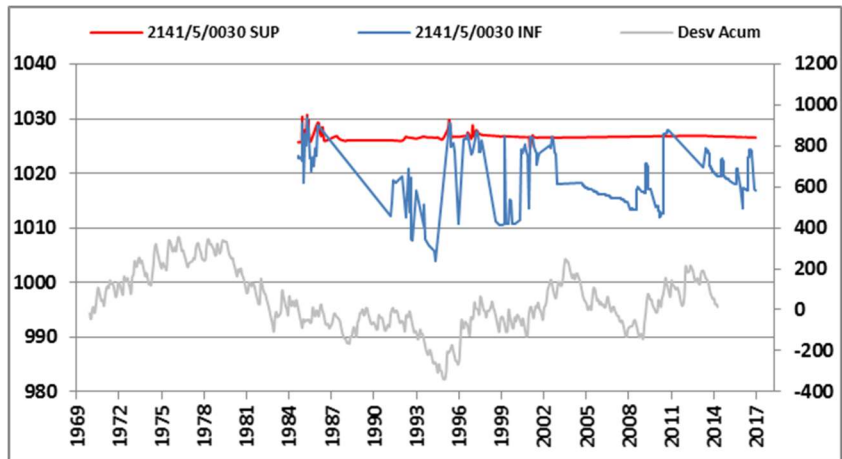


Figura 37: Representación de los datos piezométricos correspondientes a los piezómetros 2141/5/0030INF y 2141/5/0030SUP, y las desviaciones acumuladas respecto a la media de los valores mensuales de precipitación correspondientes a la estación meteorológica 5108.

- El otro piezómetro de la zona que a priori no presenta una tendencia marcadamente ascendente es el correspondiente a punto 2141/5/0019 “Sondeo FAO”, el cual presenta datos desde el año 1974, época marcadamente húmeda, como se puede observar en los gráficos, por lo que si para el cálculo de la tendencia temporal eliminamos la época de los años ´70, (coincidiendo en este caso con el período en el que disponemos de datos piezométricos del resto de piezómetros, excepcionalmente húmeda, podemos observar como el comportamiento piezométrico muestra una tendencia similar al del resto de piezómetros de la zona (figura 38).

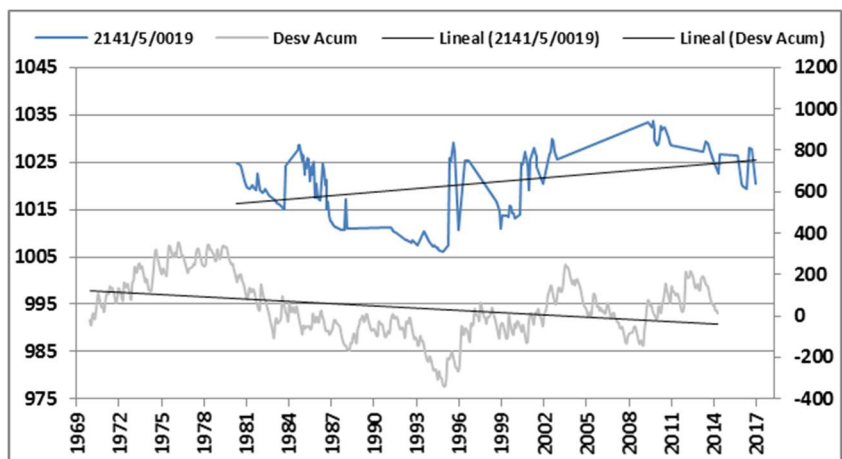


Figura 38: Representación de los datos piezométricos correspondientes al piezómetro 2141/5/0019, y las desviaciones acumuladas respecto a la media de los valores mensuales de precipitación correspondientes a la estación meteorológica 5108, así como las líneas de tendencia de cada una de las representaciones.

3) El tercero de los comportamientos corresponde a los piezómetros P19 (2141/6/0003 - La Calahorra I) que se localiza en el Llano del Marquesado en la MASb ES050MSBT000051202 Corredor de La Calahorra-Huéneja, y el piezómetro localizado en la MASb 06.10 Cuenca del Río Nacimiento

(Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 06.10.001 “Fondón”P35 (06.10.001 - Fondón), localizado fuera de la MASb estudiada, aunque en el límite Este de esta. En estos sondeos se está produciendo un continuo descenso de niveles desde su ejecución hasta la actualidad (figura 39).

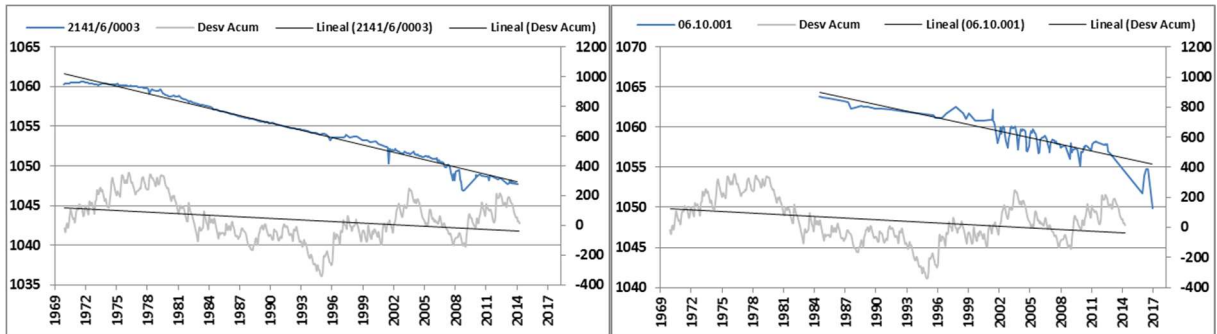


Figura 39: Representación de los datos piezométricos correspondientes a los piezómetros 2141/6/0003 y 06.10.001, y las desviaciones acumuladas respecto a la media de los valores mensuales de precipitación correspondientes a la estación meteorológica 5108, así como las líneas de tendencia de cada una de las representaciones.

Para este tercer tipo de comportamiento (tipo 3, rojo) (figura 33), se han localizado diferentes hitos temporales de explotación de agua del acuífero con el fin de analizar si las diferentes actuaciones han afectado manifiestamente al nivel piezométrico del acuífero en los distintos puntos de control y a su tendencia.

En la figura 39 se han representado los piezómetros 2141/6/0003 (P19) y 06.10.001 (P35), localizados al E de la zona de estudio. A la estación P35 situada en la Demarcación de la Cuenca Mediterránea se le han eliminado los valores extremos de descensos, debido a que son valores de nivel dinámico por encontrarse muy cercano a un sondeo de explotación, lo que le hace provocar descensos muy importantes en su nivel. La evolución y respuestas piezométricas ante los distintos hitos de explotación del acuífero son muy semejantes.

En la figura 40 se ha representado los valores piezométricos de los piezómetros P19 y P35 y de los diferentes hitos de extracción de agua subterránea del acuífero:

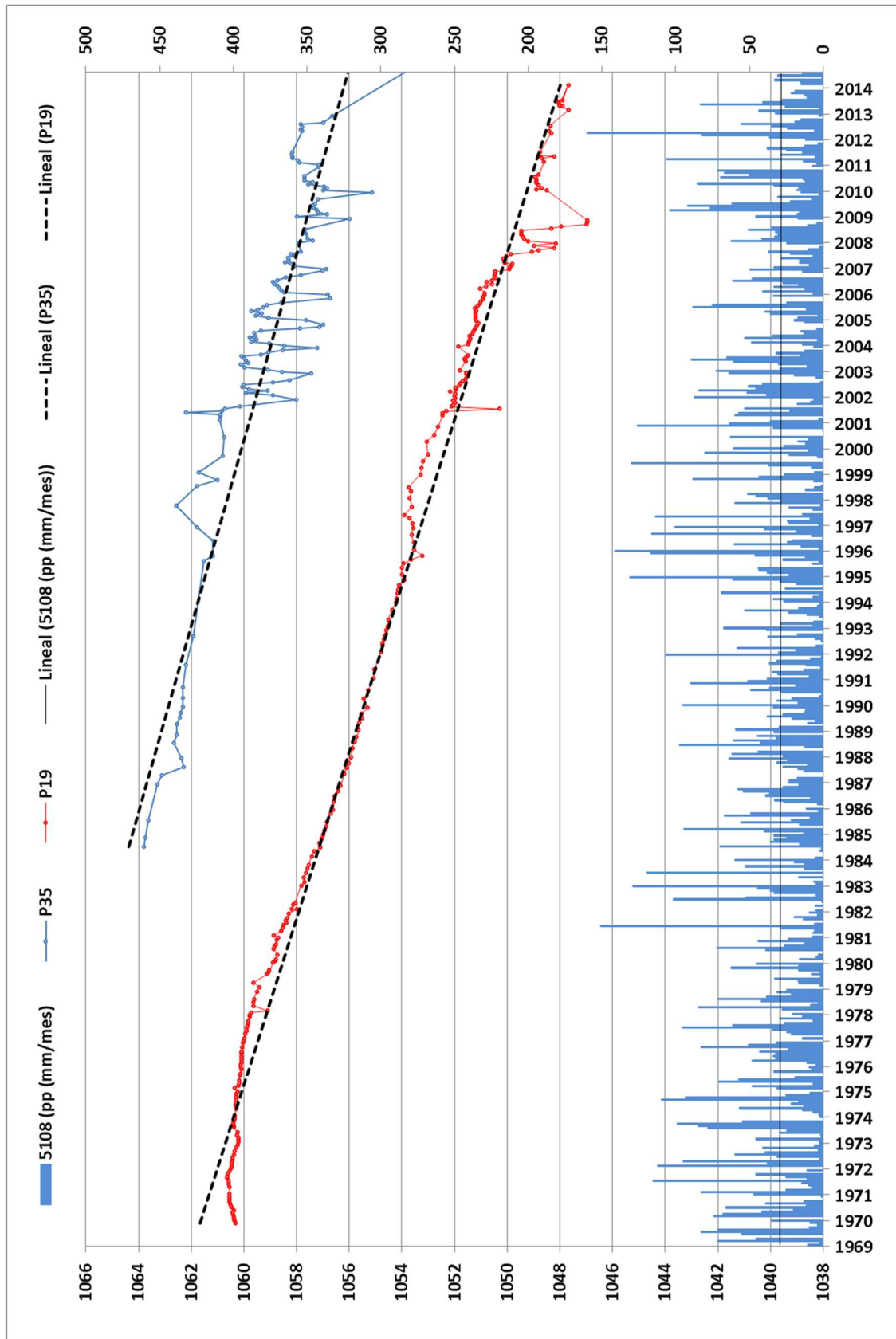


Figura 40: Representación gráfica de las estaciones de control piezométrico localizadas en los Llanos del Marquesado (P19 y P35) junto con las desviaciones acumuladas de la precipitación media mensual y los diferentes hitos temporales de extracción de aguas subterráneas de la zona.

- En el año 1971 debido a la extracción de agua del acuífero para deprimir el nivel piezométrico en las inmediaciones de la mina para la extracción de mineral se indica que en esta fecha se ocasionó la separación de los niveles piezométricos del acuífero Pliocuaternalio y de los niveles piezométricos de los mármoles, lo cual es visible en la representación de datos piezométricos para el punto P19. En la década de los '70 aunque la mina se encuentra extrayendo agua subterránea para deprimir el nivel en las inmediaciones de la corta de la explotación minera, el nivel desciende poco, lo que puede ser debido a la época húmeda que se da en ese periodo.
- Durante el año 1978 comienza la construcción de sondeos de bombeo y un aumento paulatino de los bombeos en el acuífero Pliocuaternalio, hasta 1991 que termina la construcción de sondeos y se produce un gradual descenso en los caudales de extracción de este acuífero. Ambos hitos se pueden apreciar en ambos piezómetros, P19 y P35.
- En 1996 se produce el cese de la explotación minera y por tanto de la extracción de agua subterránea para deprimir los niveles. En los piezómetros P19 y P35 se detecta un importante cambio en la tendencia del nivel piezométrico.
- En 1999 se origina la puesta en marcha de cultivos intensivos de regadío en los Llanos del Marquesado, y en ambos piezómetros se muestra como se modifica la tendencia piezométrica sufrida tras el cese de la explotación minera.
- En el año 2007 se ocasiona la puesta en marcha de las termosolares en los Llanos del Marquesado a unos 2,5 km del piezómetro P19, en el que se escenifica un descenso y cambio de tendencia descendente desde esta fecha, el cual queda muy marcado por coincidir con un periodo pluviométrico muy seco.
- En los periodos de estiaje correspondientes a los últimos años, para el período P19, se queda el nivel piezométrico por debajo de la zona obstruida en torno al metro 45.

El piezómetro P19 (2141/6/0003 - La Calahorra I), piezómetro correspondiente a la Red Nacional de control piezométrico, su construcción se realizó con una profundidad de 121 m (figura 41), aunque actualmente se encuentra obturado en torno al metro 45, como se puede observar en el registro por cámara del sondeo realizado por la empresa TRAGSATEC en el año 2010 (Figura 42), que se muestra a

continuación. Es de vital importancia que se elimine la obstrucción en este piezómetro pues se dispone de un registro histórico desde la época de los años '70, aunque en las épocas de estiaje de los últimos años el nivel piezométrico queda por debajo de la obstrucción de este y por lo tanto imposibilita su seguimiento. Como se ha podido analizar en la representación piezométrica anterior, es un punto piezométrico representativo de la MASb ES050MSBT000051202 Corredor de La Calahorra-Huéneja y es de crucial importancia para el estudio del estado cuantitativo de la citada MASb y de su evolución en el tiempo.

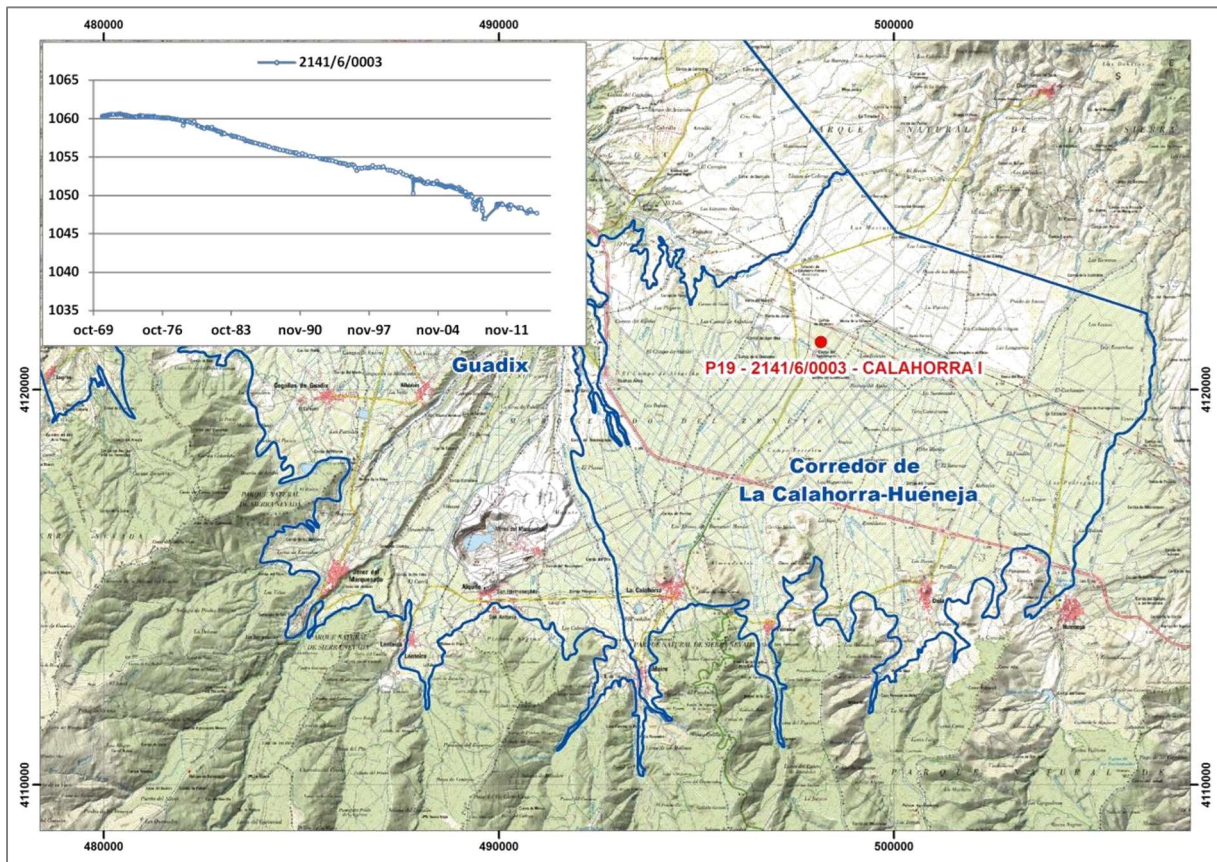


Figura 41: Localización del piezómetro P19 (2141/6/0003 - Calahorra I) y evolución piezométrica del acuífero en este punto.

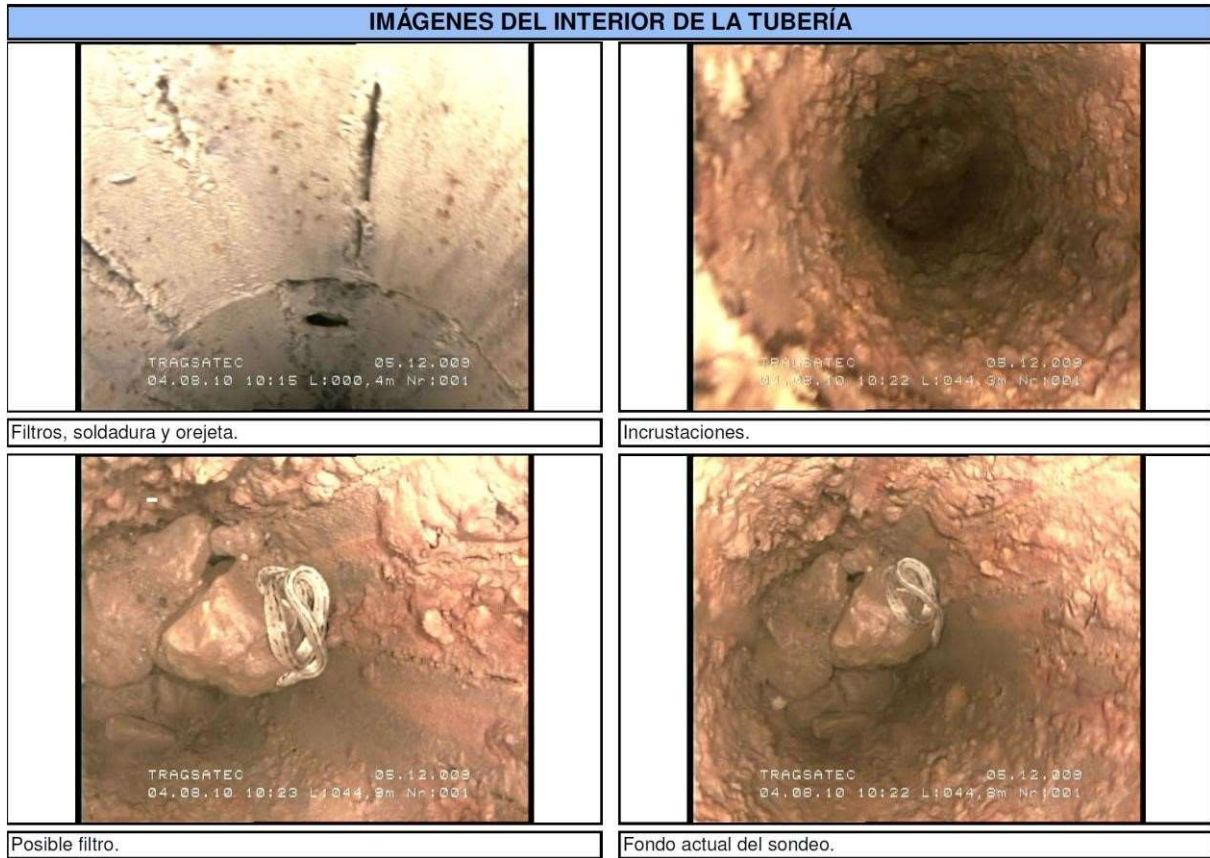


Figura 42: Imágenes del registro por cámara del sondeo realizado por le empresa TRAGSATEC.

8 CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTO DE SONDEOS EN LA MASB CORREDOR DE LA CALAHORRAHUÉNEJA Y GUADIX MEDIANTE DIGRAFÍAS CON LA UNIDAD MÓVIL DEL IGME DE GRANADA.

8.1 INTRODUCCIÓN

Para la realización de las actividades incluidas en este informe se ha utilizado el equipamiento de la Unidad móvil para estudios hidrogeológicos y medioambientales disponible en la Unidad Territorial del IGME en Granada cofinanciada con Fondos Feder (referencia proyecto IGME 10-1E-1284).

Como parte de la Unidad Móvil de estudios hidrogeológicos y medioambientales existente en la Unidad Territorial del IGME de Granada, se dispone de un equipo de testificación geofísica de sondeos compuesta por un vehículo ligero con cabina sencilla con caja carrozada de dimensiones suficientes para el transporte del material a utilizar y con altura apta para permitir el trabajo en su interior. El equipo de testificación geofísica incluido en la Unidad Móvil permite medir las propiedades físicas de formaciones profundas a través de sondeos.

La implementación de los nuevos datos derivados de las sondas de testificación geofísica permitirá obtener una imagen más precisa de la estructura geológica, la distribución de las principales unidades litoestratigráficas, y mejorar interpretaciones previas de los cortes geológicos bidimensionales. Además permite determinar el flujo del agua en los sondeos a reconocer, la radiación gamma de los materiales perforados, la elaboración de perfiles de conductividad, temperatura del agua, resistividad y testificación óptica y acústica.

El equipo de testificación geofísica consta de las siguientes sondas y elementos:

- Winch portacable monitorizado con 1000 m con conductor simple de 0.125'' con cabezal de cable GO4, para conectar las distintas sondas e introducirlas en los sondeos.
- Sonda de inspección preliminar, que nos permite reconocer la medida de la profundidad de los sondeos y el reconocimiento de la no obstrucción de estos para su testificación posterior con el resto de sondas.
- Sonda de medición de flujo (Flowmeter) QL40-SFM con hélices de 50, 75 y 100 mm, que mide el flujo de agua dentro del sondeo.
- Sonda de medición de radiación Gamma Natural QL40-GRA con sensor de cristal de NaI, que mide la radiación natural de las rocas.

- Sonda de conductividad y temperatura del fluido QL40-FTC con un rango de medida de la temperatura de -20 a 80 °C y rango de medida de conductividad de 5 a 2.5 x 105µS/cm.
- Sonda de imagen acústica en sondeo QL40 ABI, con la que se puede obtener una imagen acústica orientada 360° (amplitud & tiempo de tránsito), azimuth e inclinación del sondeo, la orientación relativa y el campo magnético.
- Sonda de imagen óptica en sondeos QL40 OBI, con la que se puede obtener una imagen óptica RGB orientada de 360°, azimuth e inclinación del sondeo, la orientación relativa y el campo magnético.
- Sonda de resistividad normal y de polarización inducida QL40 ELOG/IP, con la que se puede obtener la cargabilidad Ma en [ms] con electrodos a 16" y 64", un registro de la onda completa, Normal 8", 16", 32" y 64", Resistividad en [Ohm-m], SP en [mV] y SPR en [Ohm]. Con cable aislante QL4 IS 4.
- Sistema de adquisición matricial con accesorios para conexión del Winch portable y el software en el portátil.
- Licencia del software WellCAD para el procesamiento de los resultados obtenidos con las diferentes sondas y módulo de procesado de imágenes.

8.2 METODOLOGÍA

Las testificaciones propuestas para el reconocimiento de los sondeos seleccionados para su reconocimiento está compuesta por:

1.- Medida de la profundidad de los sondeos y reconocimiento de la no obstrucción de estos para su testificación, mediante sonda de inspección preliminar. Esta sonda es introducida en primer lugar con el objeto de disponer de la información de la profundidad de sondeo disponible y de la no obstrucción de este, con el objeto de preservar el resto de sondas de testificación (figura 43).



Figura 43: Sonda de inspección preliminar, para la medida de profundidad de sondeos y reconocimiento de la no obstrucción de estos.

2.- Testificación de los sondeos con la sonda de conductividad y temperatura del fluido QL40-FTC (figura 44), con un rango de medida de la temperatura de -20 a 80 °C y rango de medida de

conductividad de 5 a $2.5 \times 10^5 \mu\text{S/cm}$. Estos dos parámetros pueden ser registrados por intervalos de tiempo o de espacio. Esta sonda recoge los valores de temperatura y conductividad eléctrica del agua, por lo que la toma de información se realiza en el tramo de sondeo que se encuentra saturado. Para este tipo de testificación tan sólo es necesario realizar un solo registro. Con estos registros se pueden identificar aportes de agua procedentes de diferentes capas acuíferas, mezclas de aguas,... Tras la toma de datos en campo se realiza el filtrado y tratamiento de los datos en el programa WellCAD (WellCAD, 2012) (figura 47).

3.- Testificación de la radiación natural de las rocas en las inmediaciones de los sondeos con la sonda de medición de radiación Gamma Natural QL40-GRA con sensor de cristal de NaI (figura 45). Estos registros se pueden realizar en sondeos secos o con agua, e incluso entubados. Con esta sonda se mide la radiactividad natural de las rocas, y más concretamente la emisión de rayos gamma en el que la fuente de suministro natural de radiación es principalmente el ^{40}K , el cual se encuentra fundamentalmente en las arcillas y en la materia orgánica, por lo que en general lo que permite es diferenciar los materiales más arcillosos del resto.



Figura 44: Sonda de conductividad y temperatura del fluido QL40-FTC.

La unidad de radioactividad utilizada para los registros de rayos gamma naturales se basa en un bloque concreto artificial de la Universidad de Houston, en Texas, EUA, que se define con una radioactividad de 200 unidades API (Instituto Americano del Petróleo).

Tras la toma de datos en campo se realiza el filtrado y tratamiento de los datos en el programa WellCAD (WellCAD, 2012) (figura 47).



Figura 45: Sonda de medición de radiación Gamma Natural QL40-GRA

4.- Medida del flujo vertical del agua dentro del sondeo mediante la sonda de medición de flujo (Flowmeter) QL40-SFM (figura 46). La sonda medidora de flujo registra los flujos verticales que existen dentro del sondeo. Estos flujos verticales son originados por la existencia de diferentes potenciales hidráulicos a lo largo de la columna del sondeo. En medios consolidados, el registro de flujos verticales se ha usado como indicador de fracturas transmisivas (Straub, 1998; Molz *et al*, 1994). La entrada de agua al sondeo por un punto provoca un flujo divergente desde ese punto, mientras que la salida del agua por un punto provoca flujos convergentes hacia ese sumidero (Paillet y Duncanson, 1994). Así, las fracturas con una elevada carga hidráulica se localizan en los puntos en los que se detectan flujos divergentes, mientras que las que tienen una carga hidráulica pequeña (menor que las adyacentes) presentan flujos convergentes.



Figura 46: Sonda de medición de flujo (Flowmeter) QL40-SFM.

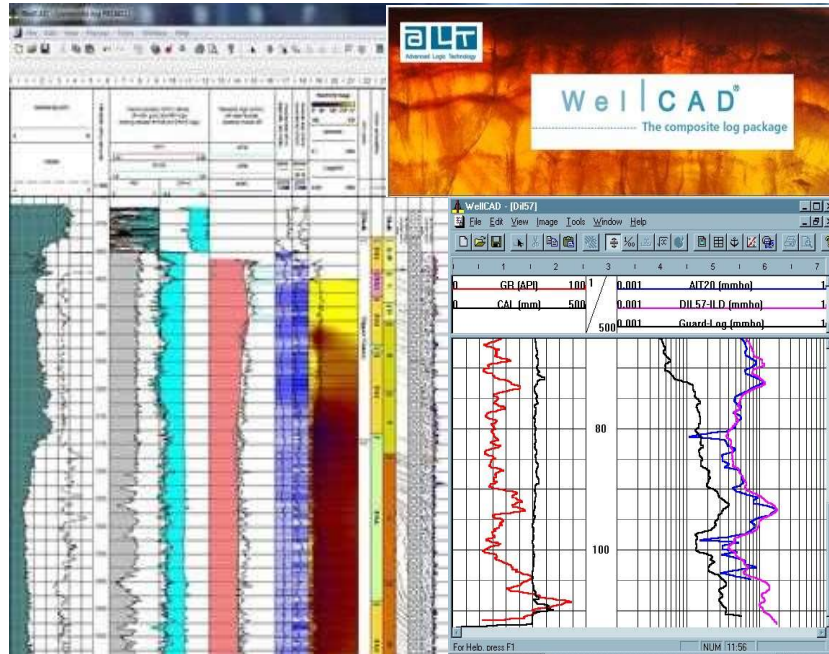


Figura 47: Imágenes del programa WellCAD.

Para la observación del flujo vertical dentro de sondeos se realiza una testificación del sondeo con el medidor de flujo de molinete bidireccional (Flowmeter QL40-SFM), que mide la velocidad del flujo en ciclos por segundo (cps). Se realizan tres registros flowmeter, con diferentes velocidades de descenso y ascenso. Una vez realizada la toma de datos en campo se procede al tratamiento de los datos mediante el programa *WellCAD* (*WellCAD, 2012*) (figura 47). En una primera fase del tratamiento, se procede a la eliminación de los picos extremos provocados por errores de medida, como por ejemplo la paralización momentánea de la hélice por obstrucción provocada por diferentes partículas dentro del sondeo, o el aumento/descenso en la velocidad de bajada/subida de la sonda. Tras este filtrado de datos, se ejecuta la detección/cálculo del cero de la sonda, que corresponde al cálculo de los cps que transmite la hélice de la sonda en el sondeo a estudiar para cada una de las velocidades de descenso y ascenso, en ausencia de flujo. La diferencia del valor en el caso de ausencia de flujo y el calculado para cada tramo a analizar es el que muestra la diferencia de velocidades (cps) de flujo, y por tanto el caudal que circula por dicho tramo, subordinado al diámetro del sondeo. El signo del valor indica el sentido del flujo dentro del sondeo, siendo el signo negativo identificativo de un flujo ascendente y el positivo de uno descendente.

8.3 SELECCIÓN PREVIA DE SONDEOS DONDE EFECTUAR UN RECONOCIMIENTO PRELIMINAR

En relación a la distribución piezométrica identificada en el apartado correspondiente (ver análisis temporal de la piezometría), se han seleccionado una serie de piezómetros situados entre las zonas con comportamiento piezométrico en ascenso y las de comportamiento piezométrico en declive. Estas zonas se localizan entre la Mina de Alquife y la franja más cercana a esta en la cual los niveles piezométricos sufren un comportamiento descendente, situada en las inmediaciones de las plantas termosolares.

En la figura 48 y en la tabla 10 se presenta un mapa de localización en el que se incluyen los sondeos en los cuales se ha realizado finalmente la testificación, tras una primera preselección de sondeos a analizar. Dos de los puntos en los cuales se ha realizado una testificación geofísica (FRUSANSA y FRUSANSA 1C), corresponden con testificaciones realizadas con el objeto de la solicitud de un expediente en la zona en cuestión, por lo que por encontrarse en la zona de estudio, sus datos han sido incorporados. El número de sondeos testificados ha sido menor al planteado inicialmente, debido a la necesidad de cumplir con los requisitos necesarios para poder realizar dichos trabajos en los sondeos, tales como el acceso al sondeo, las condiciones constructivas de los pozos, así como la no existencia de obstáculos en el interior de estos.

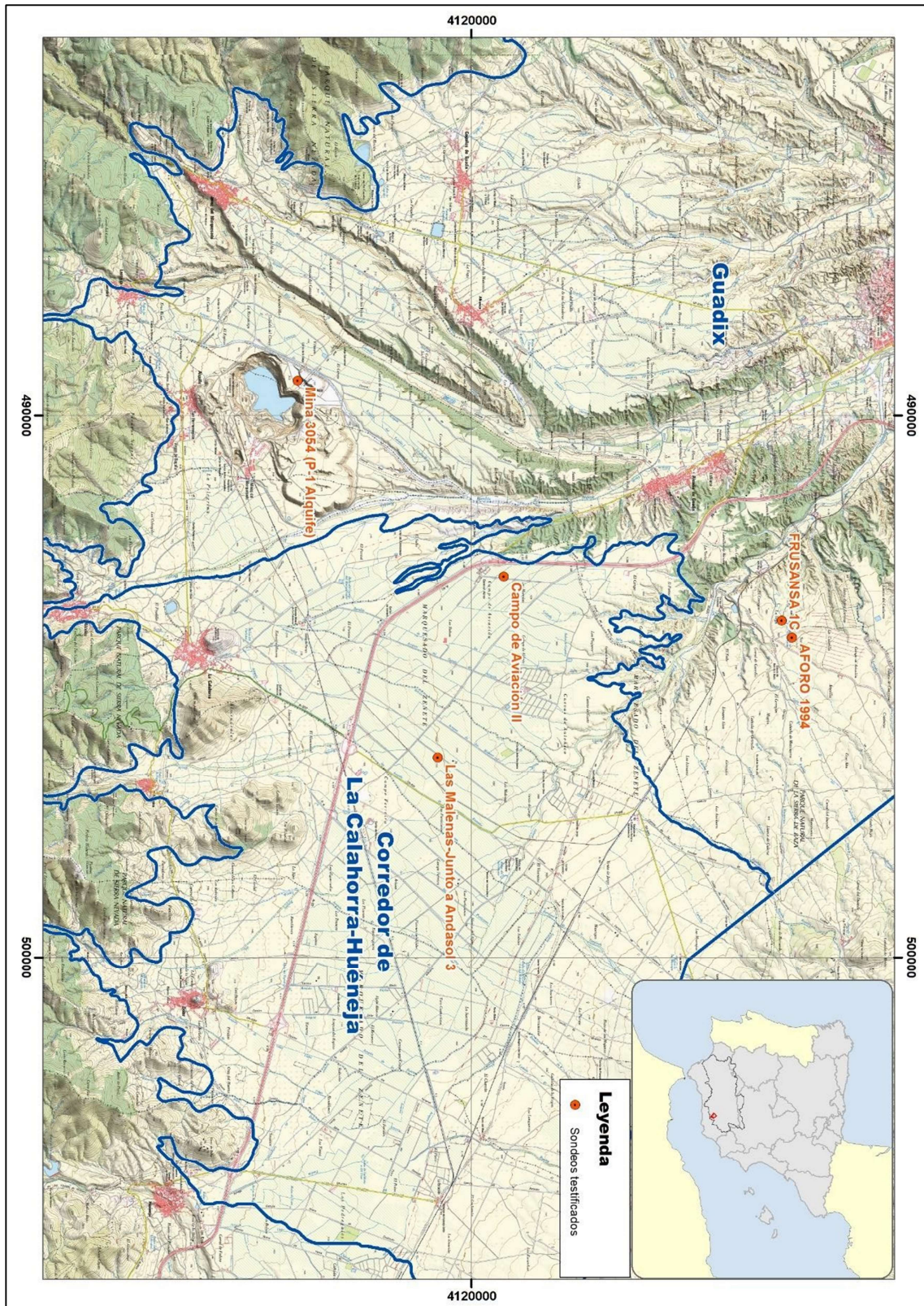


Figura 48: Localización de los 5 sondeos sobre los que se ha realizado testificación, sobre la base de un mapa topográfico 1:25.000 (IGN).

COD IGME	TOPONIMIA	X	Y	Z	PROFUNDIDAD MEDIDA	PROFUNDIDAD TESTIFICADA
2141/5/0265	Mina 3054 (P-1 Alquife)	489347	4116791	1150	158	157
2141/6/0051	Las Malenas-Junto a Andasol 3	496318	4119368	1090	86	85
2141/6/0052	Campo de Aviación II	492977	4120592	1092	107	106
	FRUSANSA	494114	4125898	1096	53	47,5
	FRUSANSA 1C	493799	4125716	1086	86	84

Tabla 10: Coordenadas y características principales de los sondeos testificados y coordenadas en el sistema de proyección ETRS89.

8.4 TESTIFICACIONES REALIZADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

Tras la primera selección de sondeos a testificar mencionada en el apartado anterior, se procede a describir los datos obtenidos en cada uno de los sondeos estudiados:

Mina 3054 (figura 50)

La información previa disponible del sondeo denominado “Mina 3054” indica que el sondeo dispone de 226 metros perforados, aunque tras el reconocimiento con la sonda de inspección preliminar, esta no ha logrado superar los 158 metros de profundidad, por lo que la profundidad testificada con el resto de sondas ha sido hasta los 157 metros, con el objeto de preservar la integridad del equipo.

La litología que se prevería encontrar en esta zona es de materiales detríticos en los primeros metros (Formación Guadix), y en profundidad formaciones carbonáticas Alpujárrides y/o Nevado Filábrides.

En relación a la testificación de la radiación natural de las rocas en las inmediaciones de los sondeos con la sonda de medición de radiación Gamma Natural QL40-GRA con sensor de cristal de NaI, se ha realizado la testificación en el tramo de sondeo correspondiente entre los metros 0 y 157. En la figura 49 se encuentran representados los datos de la testificación correspondientes al sondeo Mina 3054, en color verde podemos distinguir los valores obtenidos con la sonda de medición de radiación Gamma Natural QL40-GRA. En la siguiente tabla (tabla 11), se muestran los diferentes tramos diferenciados a lo largo de la testificación, en los que se puede observar como las variaciones de valores son modestas, debido a que todo el tramo testificado se localiza en los materiales detríticos de la Formación Guadix,

y las variaciones de valores nos indican paquetes con diferentes proporciones de arcilla. Cabe destacar los tramos comprendido entre 48 – 83 y los metros 92 – 102 en los cuales se muestra valores más altos, con mayor porcentaje de arcillas, y en el sentido contrario el último tramo definido (137 – 157) que indica un menor porcentaje de arcilla.

Tramo (m)	Gamma media (API)
0 – 48	157.53
48 – 83	198.61
83 – 92	158.41
92 – 99	192.61
99 – 102	228.6
102 – 110	150.01
110 – 120	170.93
120 – 125	155.17
125 – 137	171.51
137 – 157	131.37

Tabla 11: Valores de medición de radiación Gamma Natural medios y definición de tramos con valores similares.

La testificación mediante la sonda QL40-FTC de conductividad y temperatura se ha realizado en la sección del sondeo que se encuentra saturada de agua, entre los metros 116.40 y 157 de finalización de la testificación. En la figura 49 se puede discernir que la temperatura (línea roja) se mantiene prácticamente constante a lo largo de todo el tramos de sondeo analizado, con valores de 13.5 °C, lo que indica una mezcla de aguas de distintas profundidades que homogenizan la temperatura del agua a lo largo de la columna de esta en el sondeo. La medición de la conductividad eléctrica en el agua a lo largo del sondeo presenta valores entre 100 y 108 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que se puede considerar constante. En una observación rigurosa de la figura Y podemos observar como la conductividad (línea azul) presenta una ligera tendencia descendente en los valores de conductividad hasta el metro 137, y tras este se incrementa ligeramente para permanecer constante hasta el final de la testificación.

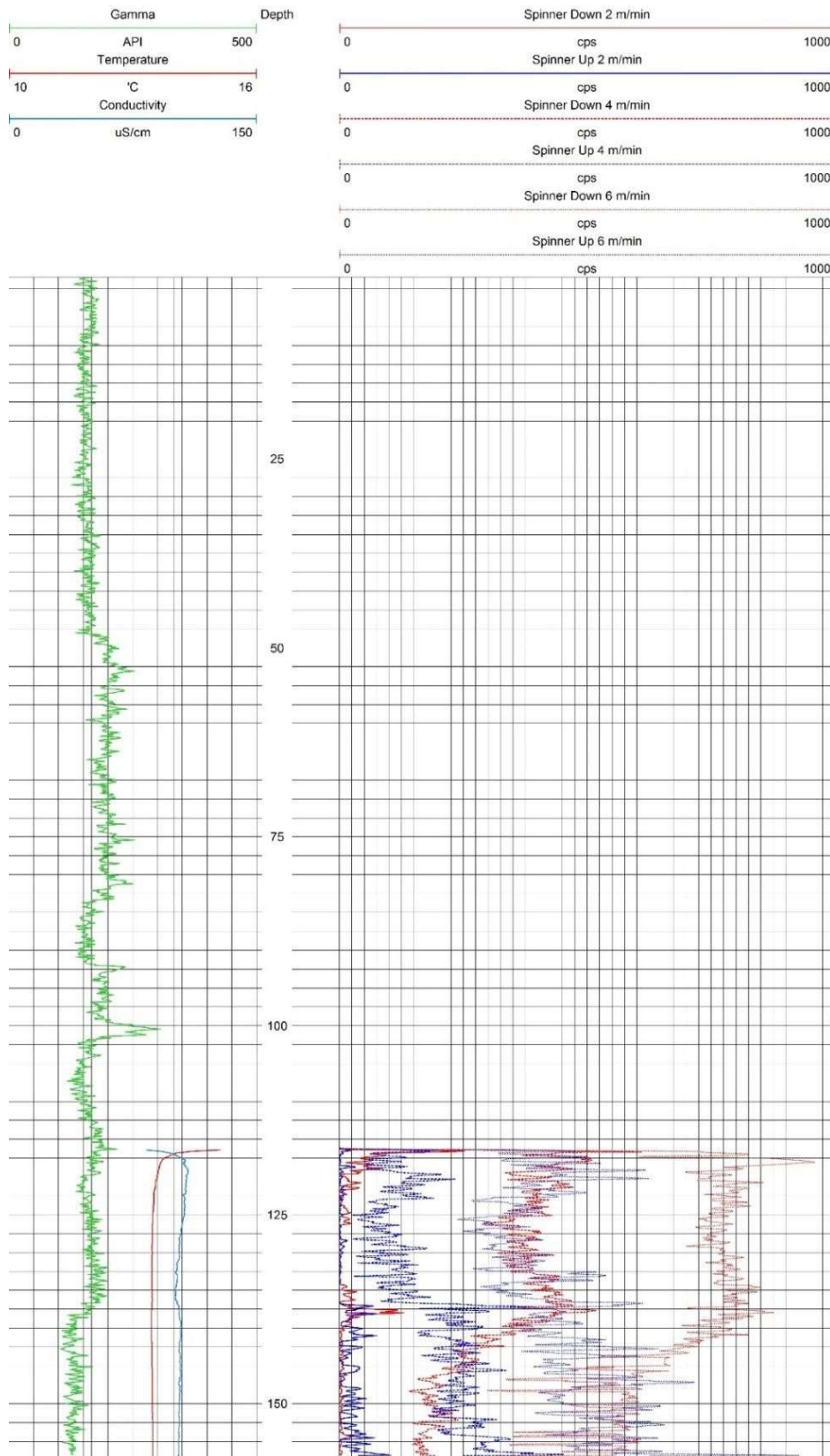


Figura 49: Datos de las testificación del sondeo Mina 3054 de radiación natural de las rocas (verde), temperatura (rojo), conductividad (azul claro) y flujo del agua en el interior del sondeo (azul y rojo).

Para la observación del flujo vertical dentro de sondeos se realiza una testificación del sondeo con el medidor de flujo de molinete bidireccional (Flowmeter QL40-SFM), que mide la velocidad del flujo en ciclos por segundo (cps). Se han realizado tres registros flowmeter, con velocidades de descenso y ascenso de 2, 4 y 6 m/min. Tras el primer tratamiento de filtrado de datos y la detección/cálculo del cero de la sonda, se ha procedido a calcular el flujo para cada metro de testificación analizado (figura 51). Para ello se procede al cálculo de los cps medios por metro, para cada una de las velocidades de subida y bajada, y se unifican los diferentes tramos de flujo con similar comportamiento. Finalmente, se realiza una clasificación de flujos en el sondeo por tramos. Como se puede observar en la figura 9, el flujo es descendente en todos los tramos, aunque sí que se puede diferenciar entre 2 tramos principales, el primero correspondería entre el metro 119 y el 137 en el que presenta un flujo descendente, aunque con valores bajos de caudal (0,2 – 0,3 l/s). El otro tramo es el correspondiente desde el metro 137 hasta el final de la testificación (157), en el que se observa un flujo descendente pero con caudales de mayor relevancia, entre 0,5 y 1,0 l/s (figura 51).



Figura 50: Imágenes de la testificación en el sondeo Mina 3054.

Tras el análisis de la información del conjunto de la testificación se puede concretar, que el sondeo perfora materiales detríticos de la formación Guadix en los que se pueden diferenciar tramos con diferentes cantidades de arcilla, en el que el tramo correspondiente localizado entre los metros 137 y 157 presenta menor cantidad de arcilla y podría producir una mayor transmisión de caudal. La información que nos suministra la sonda de conductividad y temperatura, tan sólo nos indica que existe una mezcla de agua, y a partir de este metro 137 la conductividad del agua se mantiene constante hasta el final de la testificación, quedando todo esto corroborado con el estudio del flujo vertical del agua en el sondeo, en el que se manifiesta el mayor aporte de caudal entre los metros 137 y 157.

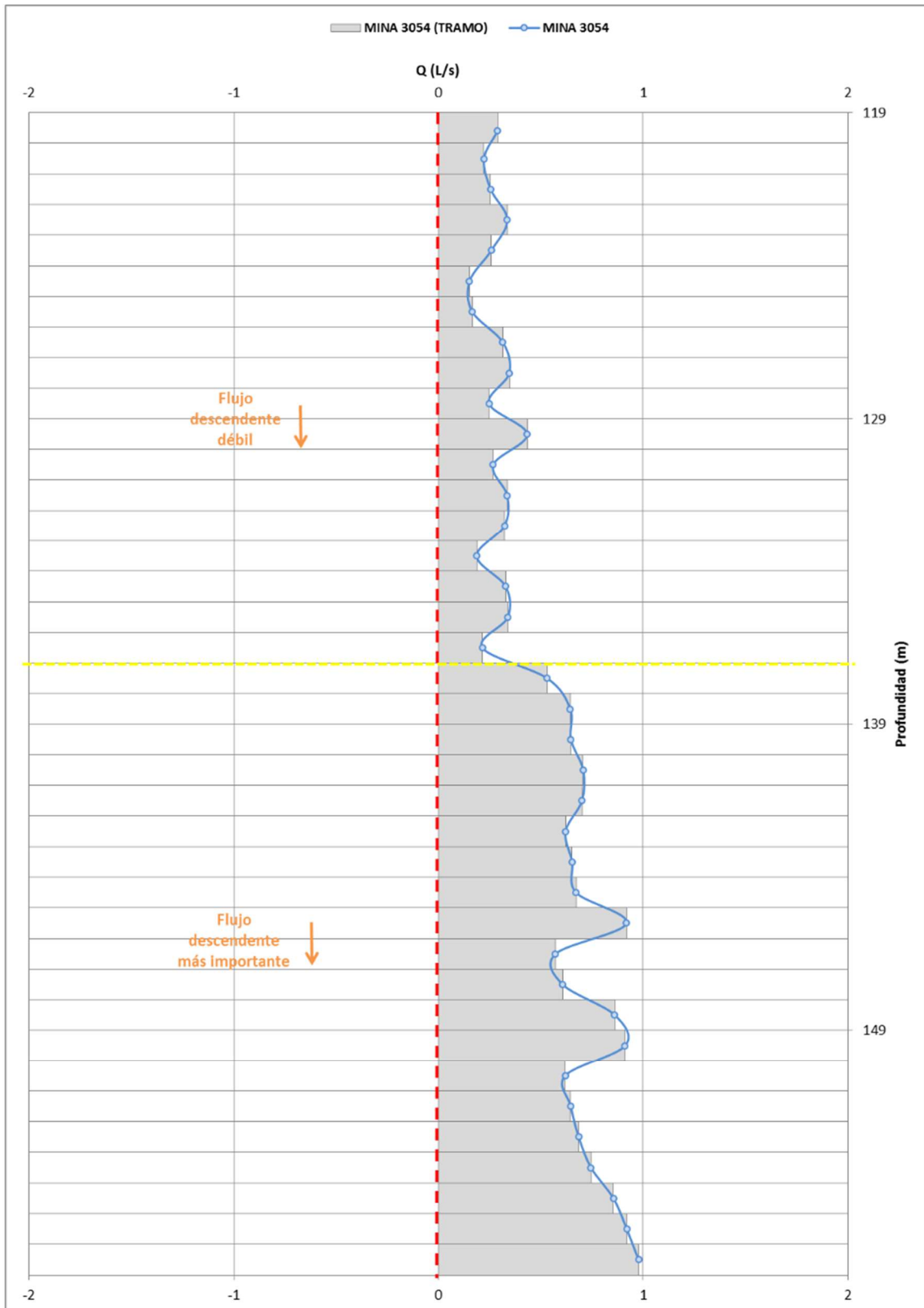


Figura 51: Clasificación y cálculo de flujos de agua verticales y clasificación por tramos en el sondeo Mina 3054.

Las Malenas (figura 54)

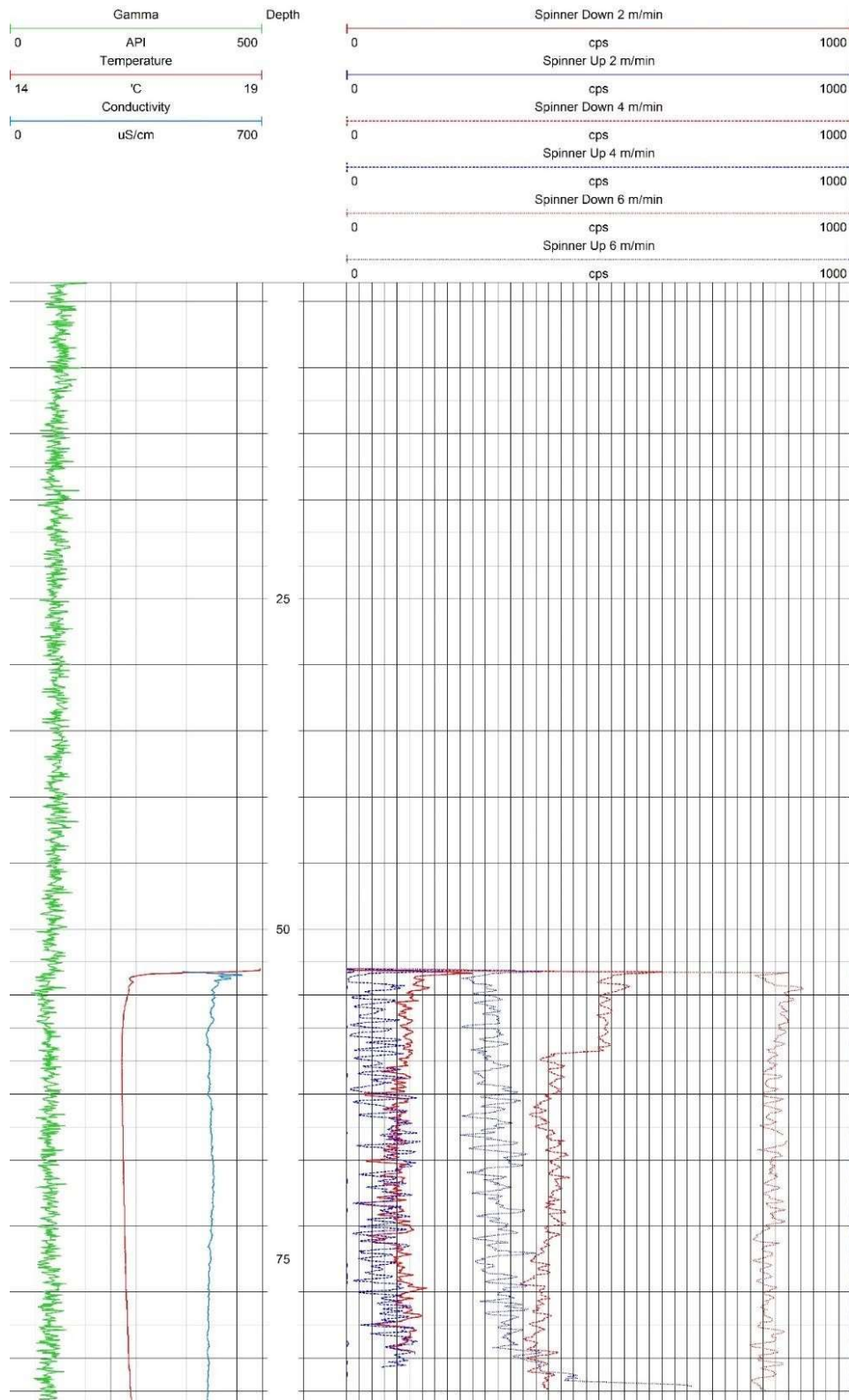


Figura 52: Datos de las testificación del sondeo Las Malenas de radiación natural de las rocas (verde), temperatura (rojo), conductividad (azul claro) y flujo del agua en el interior del sondeo (azul y rojo).

La información previa disponible del sondeo denominado “Las Malenas” indica que el sondeo dispone de 100 metros perforados, aunque tras el reconocimiento con la sonda de inspección preliminar, esta

no ha logrado superar los 86 metros de profundidad, por lo que la profundidad testificada con el resto de sondas ha sido hasta los 85 metros, con el objeto de preservar la integridad del equipo.

La litología que se prevería encontrar en esta zona es de materiales detríticos en los primeros metros (Formación Guadix), y en profundidad formaciones carbonáticas Alpujárrides y/o Nevado Filábrides.

En relación a la testificación de la radiación natural de las rocas en las inmediaciones de los sondeos con la sonda de medición de radiación Gamma Natural QL40-GRA con sensor de cristal de NaI, se ha realizado la testificación en el tramo de sondeo correspondiente entre los metros 0 y 85. En la figura 52 se encuentran representados los datos de la testificación correspondientes al sondeo Las Malenas, en color verde podemos distinguir los valores obtenidos con la sonda de medición de radiación Gamma Natural QL40-GRA, de los que podemos observar que no existe una diferenciación a lo largo de toda la testificación, y que el valor medio de API se sitúa en 87, lo que nos indica que todo el tramo testificado se localiza en los materiales detríticos de la Formación Guadix, y que todo el tramo testificado es bastante homogéneo en relación a la proporción de arcilla que contiene.

La testificación mediante la sonda QL40-FTC de conductividad y temperatura se ha realizado en la sección del sondeo que se encuentra saturada de agua, entre los metros 53,5 y 85 de finalización de la testificación. En la figura 10 se puede observar que la temperatura (línea roja) se mantiene prácticamente constante a lo largo de todo el tramo de sondeo analizado, con un valor medio de valores de 16,3 °C. Además se puede advertir que la temperatura sufre de un ligero incremento en profundidad que va desde los 16,2 °C, al inicio de la columna de agua, a los 16,4 °C al final de la testificación. Este incremento de la temperatura en profundidad indica que existe poca mezcla de aguas de distintas profundidades, por lo que no se homogeniza la temperatura del agua a lo largo de la columna de esta en el sondeo. La medición de la conductividad eléctrica en el agua a lo largo del sondeo presenta valores entre 544 y 579 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor medio de 556 $\mu\text{S}/\text{cm}$ por lo que se puede considerar constante. En una observación rigurosa de la figura 52 podemos observar como la conductividad (línea azul) presenta una ligera tendencia descendente en su mitad inferior respecto a los valores de conductividad hasta el metro 85.

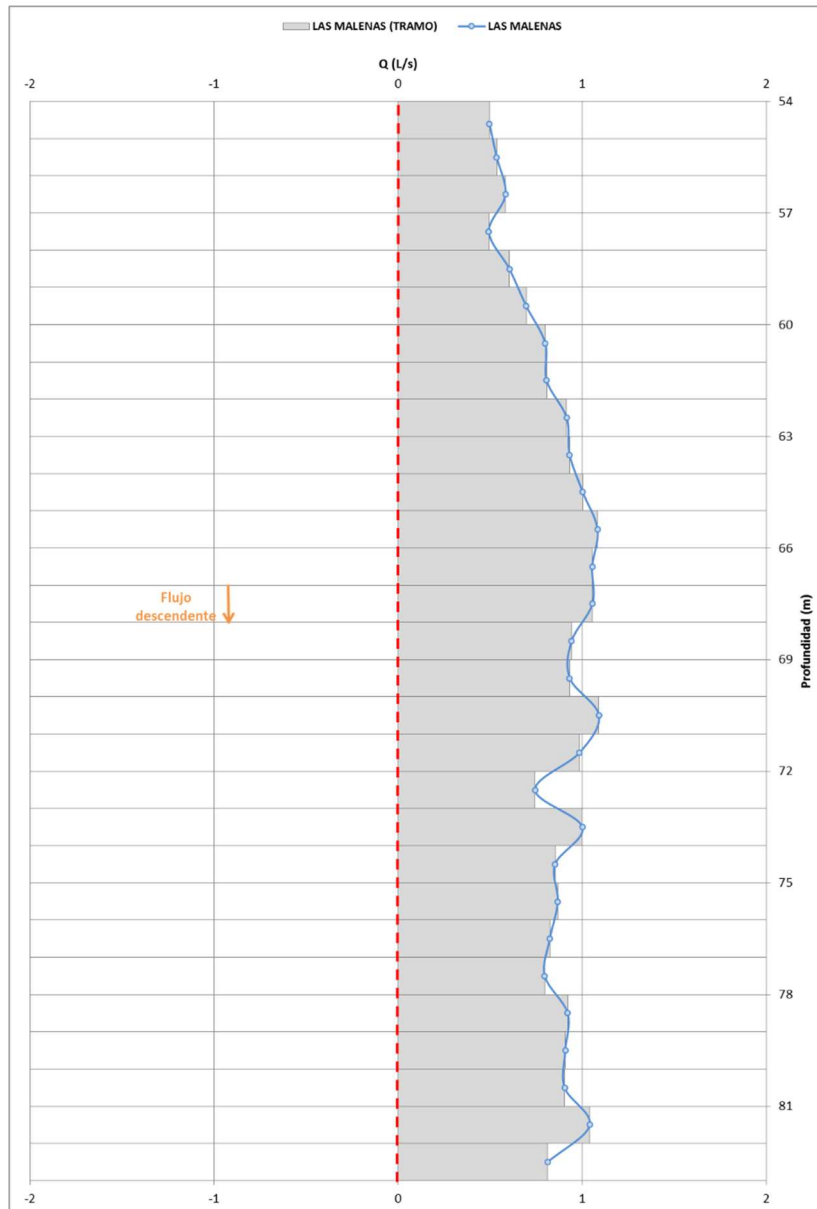


Figura 53: Clasificación y cálculo de flujos de agua verticales y clasificación por tramos en el sondeo Las Malenas.

Para la observación del flujo vertical dentro de sondeos se realiza una testificación del sondeo con el medidor de flujo de molinete bidireccional (Flowmeter QL40-SFM), que mide la velocidad del flujo en ciclos por segundo (cps). Se han realizado tres registros flowmeter, con velocidades de descenso y ascenso de 2, 4 y 6 m/min. Tras el primer tratamiento de filtrado de datos y la detección/cálculo del cero de la sonda, se ha procedido a calcular el flujo para cada metro de testificación analizado (figura 53). Para ello se procede al cálculo de los cps medios por metro, para cada una de las velocidades de subida y bajada, y se unifican los diferentes tramos de flujo con similar comportamiento. Finalmente, se realiza una clasificación de flujos en el sondeo por tramos.

Como se puede observar en la figura 53, el flujo es descendente en todos los tramos y con un valor prácticamente constante en el en torno a 1 l/s para cada tramo de 1 metro.



Figura 54: Imágenes del sondeo testificado Las Malenas.

Tras el análisis de la información del conjunto de la testificación se puede concretar que el sondeo perfora materiales detríticos de la formación Guadix en una sección bastante homogénea en relación a la cantidad de arcilla presente en el tramo perforado. Esta homogeneidad en la litología es también manifestada en la homogeneidad de los valores en el resto de parámetros estudiados (temperatura, conductividad eléctrica y flujo vertical del agua).

Campo de Aviación II (figura 55 y 56)

Para el sondeo “Campo de Aviación II” no se dispone de información previa. Tras el reconocimiento con la sonda de inspección preliminar, esta no ha logrado superar los 107 metros de profundidad, por lo que la profundidad testificada con el resto de sondas ha sido hasta los 106 metros, con el objeto de preservar la integridad del equipo.

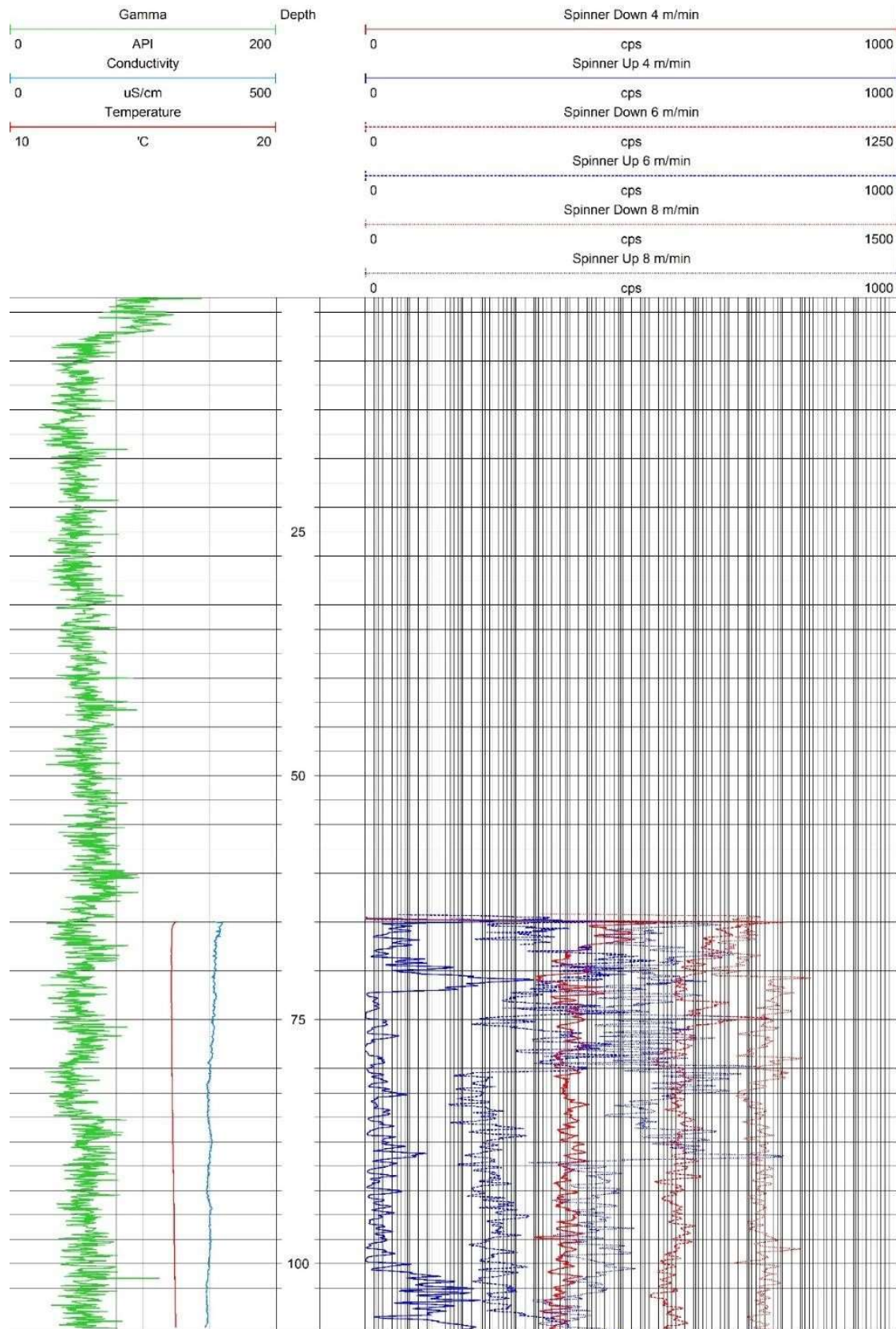


Figura 55: Datos de las testificación del sondeo Campo de Aviación II de radiación natural de las rocas (verde), temperatura (rojo), conductividad (azul claro) y flujo del agua en el interior del sondeo (azul y rojo).

La litología que se prevería encontrar en esta zona es de materiales detríticos en los primeros metros (Formación Guadix), y en profundidad formaciones carbonáticas Alpujárrides y/o Nevado Filábrides.

En relación a la testificación de la radiación natural de las rocas en las inmediaciones de los sondeos con la sonda de medición de radiación Gamma Natural QL40-GRA con sensor de cristal de NaI, se ha realizado la testificación en el tramo de sondeo correspondiente entre los metros 0 y 107. En la figura 55 se encuentran representados los datos de la testificación correspondientes al sondeo Campo de Aviación II, en color verde podemos distinguir los valores obtenidos con la sonda de medición de radiación Gamma Natural QL40-GRA, los cuales se presentan bastante homogéneos, con valores comprendidos entre 22 y 143 API, y un valor medio de 57. Tras un estudio más detallado, se han diferenciado varios sectores, los cuales se muestran en la siguiente tabla (tabla 12), en los que se puede observar como las variaciones de valores son modestas, debido a que todo el tramo testificado se localiza en los materiales detríticos de la Formación Guadix, y las variaciones de valores nos indican paquetes con diferentes proporciones de arcilla. Cabe destacar los tramos comprendido entre 0 – 5 y los metros 51 – 63 en los cuales se muestra valores más altos, con mayor porcentaje de arcillas, y en el sentido contrario los tramos 13 – 16 y 79 – 85, que indican un menor porcentaje de arcilla.

Tramo (m)	Gamma media (API)
0 – 5	94.75
5 – 13	52.51
13 – 16	43
16 – 30	49.71
30 – 34	56.03
34 – 37	50.66
37 – 45	59.35
45 – 51	57.48
51 – 63	65.28
63 – 70	55.43
70 – 73	48.98
73 – 79	55.33
79 – 85	46.53
85 – 107	58.09

Tabla 12: Valores de medición de radiación Gamma Natural medios y definición de tramos con valores similares.

La testificación mediante la sonda QL40-FTC de conductividad y temperatura se ha realizado en la sección del sondeo que se encuentra saturada de agua, entre los metros 64,6 y 107 de finalización de la testificación. En la figura 55 se puede apreciar que la temperatura (línea roja) se mantiene prácticamente constante a lo largo de todo el tramo de sondeo analizado, con valores de 16,13 °C.

Además se puede advertir que la temperatura sufre de un ligero incremento en profundidad que va desde los 16,07 °C, al inicio de la columna de agua, a los 16,24 °C al final de la testificación. Este incremento de la temperatura en profundidad indica que existe poca mezcla de aguas de distintas profundidades, por lo que no se homogeniza la temperatura del agua a lo largo de la columna de esta en el sondeo. La medición de la conductividad eléctrica en el agua a lo largo del sondeo presenta valores entre 366 y 399 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor medio de 377 $\mu\text{S}/\text{cm}$ por lo que se puede considerar constante. En una observación rigurosa de la figura 55 podemos observar como la conductividad (línea azul) presenta una ligera tendencia descendente respecto a los valores de conductividad, desde los 399 a los 366 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el final de la testificación.



Figura 56: Imágenes de la testificación en el sondeo Campo de Aviación II.

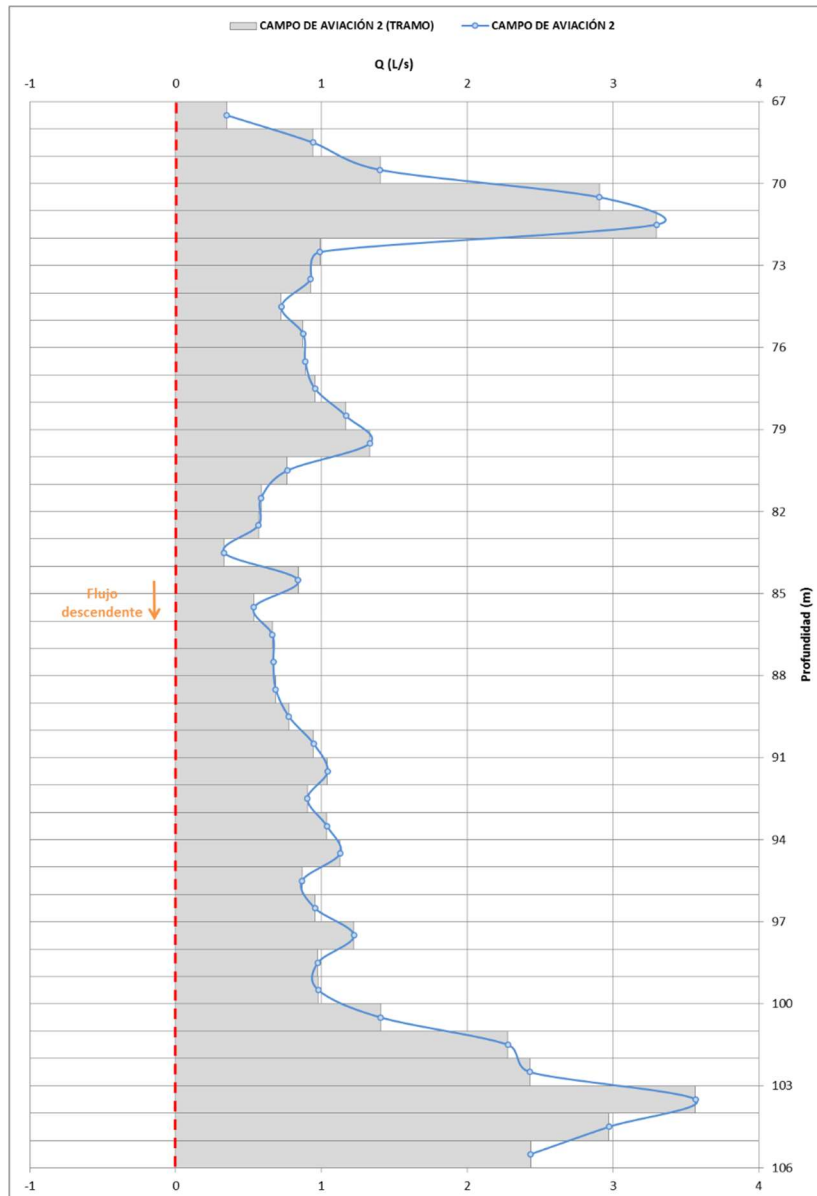


Figura 57: Clasificación y cálculo de flujos de agua verticales y clasificación por tramos en el sondeo Campo de Aviación II.

Para la observación del flujo vertical dentro de sondeos se realiza una testificación del sondeo con el medidor de flujo de molinete bidireccional (Flowmeter QL40-SFM), que mide la velocidad del flujo en ciclos por segundo (cps). Se han realizado tres registros flowmeter, con velocidades de descenso y ascenso de 4, 6 y 8 m/min (no han podido realizarse a velocidades menores por la presencia de partículas en el interior del sondeo y obstruir estas el movimiento de la hélice). Tras el primer tratamiento de filtrado de datos y la detección/cálculo del cero de la sonda, se ha procedido a calcular el flujo para cada metro de testificación analizado (figura 57). Para ello se procede al cálculo de los cps medios por metro, para cada una de las velocidades de subida y bajada, y se unifican los diferentes tramos de flujo con similar comportamiento. Finalmente, se realiza una clasificación de flujos en el

sondeo por tramos. Como se puede observar en la figura 57, el flujo es descendente en todos los tramos, aunque sí que se puede diferenciar entre 2 tramos principales, el primero correspondería entre el metro 69 y el 72 en el que presenta un flujo descendente con valores notables de caudal (1,5 – 3,3 l/s), el otro tramo de aporte destacable es el correspondiente entre los metros 100 y 106 de profundidad de sondeo, presentando unos valores de caudal entre 1,5 y 3,6 l/s.

Tras el análisis de la información del conjunto de la testificación se puede concretar que el sondeo perfora materiales detríticos de la formación Guadix en los que se pueden diferenciar tramos con modestas variaciones en los valores API, y por tanto en la cantidad de arcilla. En relación a la temperatura y la conductividad del agua, en ambos parámetros se presentan valores prácticamente constantes, aunque se puede apreciar una leve tendencia en profundidad, ascendente para la temperatura y descendente para la conductividad eléctrica. Es relevante mencionar que los aportes principales de caudal se producen en la parte alta del sondeo (69 – 72 m) y en el fondo de este (100 – 106).

FRUSANSA (figura 58 y 59)

Para el sondeo “FRUSANSA” no se dispone de información previa. Tras el reconocimiento con la sonda de inspección preliminar, esta no ha logrado superar los 53 metros de profundidad, por lo que la profundidad testificada con el resto de sondas ha sido hasta los 47,5 metros, con el objeto de preservar la integridad del equipo.

La litología que se prevería encontrar en esta zona es de materiales detríticos en los primeros metros (Formación Guadix), y en profundidad formaciones carbonáticas Alpujárrides y/o Nevado Filábrides.

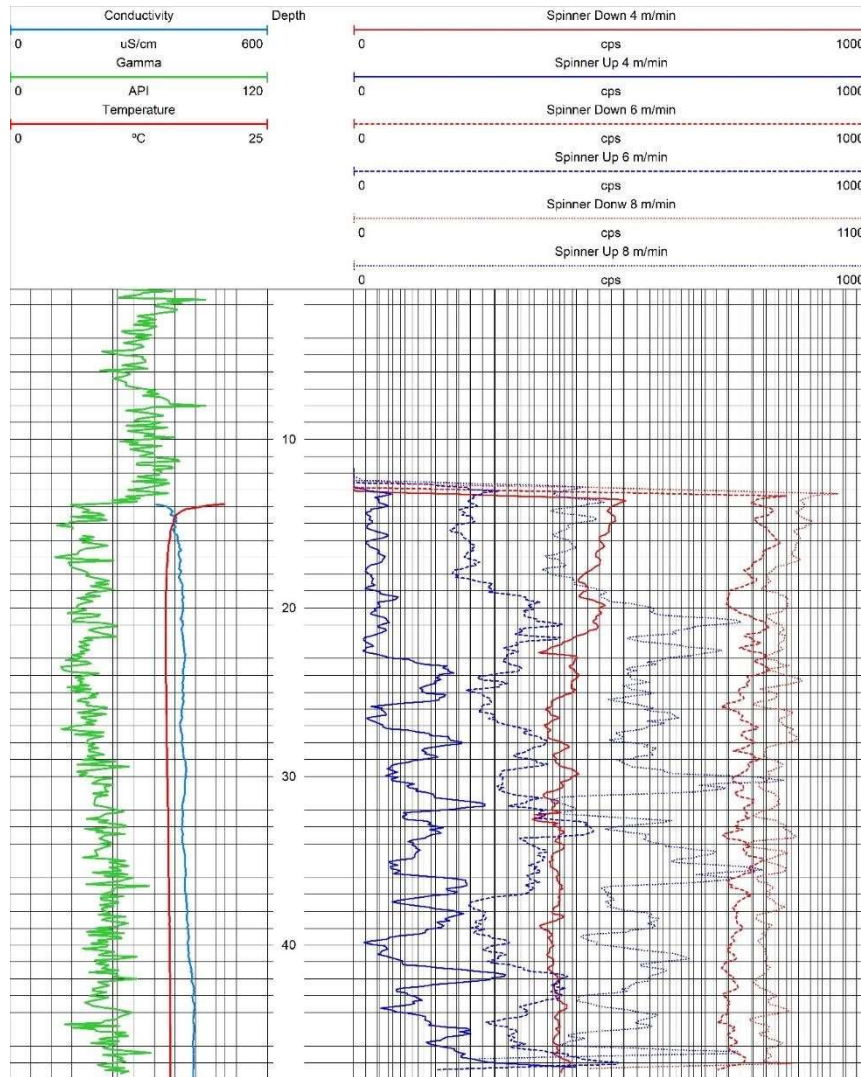


Figura 58: Datos de la testificación del sondeo FRUSANSA de radiación natural de las rocas (verde), temperatura (rojo), conductividad (azul claro) y flujo del agua en el interior del sondeo (azul y rojo).

En relación a la testificación de la radiación natural de las rocas en las inmediaciones de los sondeos con la sonda de medición de radiación Gamma Natural QL40-GRA con sensor de cristal de NaI, se ha realizado la testificación en el tramo de sondeo correspondiente entre los metros 0 y 48. En la figura 58 se encuentran representados los datos de la testificación correspondientes al sondeo FRUSANSA, en color verde podemos distinguir los valores obtenidos con la sonda de medición de radiación Gamma Natural QL40-GRA, los cuales se presentan bastante homogéneos, con valores comprendidos entre 21 y 91 API, y un valor medio de 21. Tras un estudio más detallado, se han diferenciado varios sectores. El primero de ellos que va desde el inicio al metro 14 en el que presenta los mayores valores, en torno a 63. A continuación se presenta una zona general uniforme aunque ligeramente más arcillosa en los

últimos 20 metros. Como se puede observar, las variaciones de valores son modestas, debido a que todo el tramo testificado se localiza en los materiales detríticos de la Formación Guadix, y las variaciones de valores nos indican paquetes con diferentes proporciones de arcilla.

La testificación mediante la sonda QL40-FTC de conductividad y temperatura se ha realizado en la sección del sondeo que se encuentra saturada de agua, entre los metros 14 y 57,5 de finalización de la testificación. En la figura 58 se puede apreciar que la temperatura (línea roja) se mantiene prácticamente constante a lo largo de todo el tramo de sondeo analizado, con valores de 15,4 °C. Además se puede advertir que la temperatura sufre de un ligero incremento en profundidad que va desde los 15,09°C, al inicio de la columna de agua, a los 15,79 °C al final de la testificación. La medición de la conductividad eléctrica en el agua a lo largo del sondeo presenta valores entre 429,9 y 378,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor medio de 408,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ por lo que se puede considerar constante. En una observación rigurosa de la figura 58 podemos observar como la conductividad (línea azul) presenta una ligera tendencia ascendente y se estabiliza a partir del metro 42.

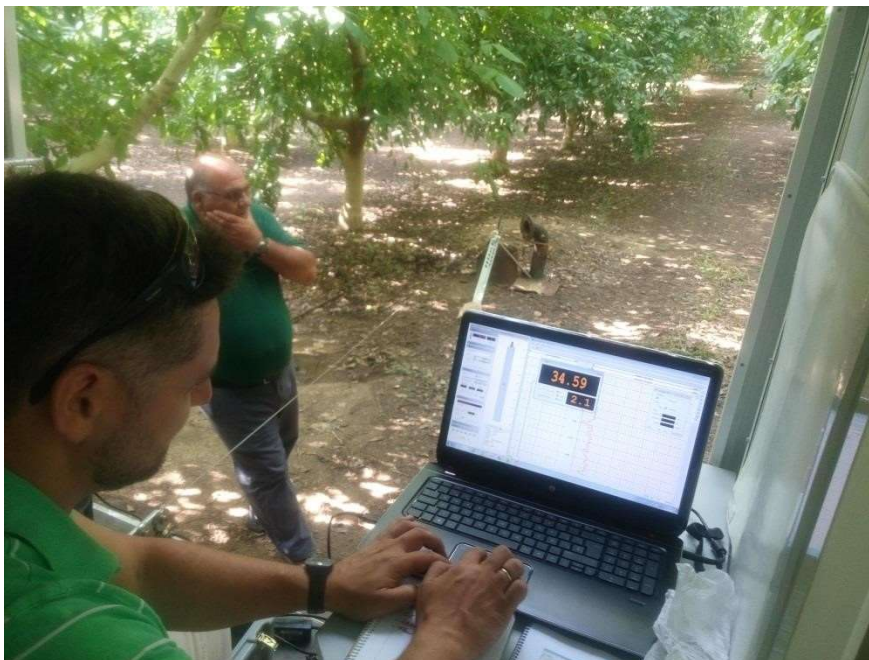


Figura 59: Imágenes de la testificación en el sondeo Frujansa.

Para la observación del flujo vertical dentro de sondeos se realiza una testificación del sondeo con el medidor de flujo de molinete bidireccional (Flowmeter QL40-SFM), que mide la velocidad del flujo en ciclos por segundo (cps). Se han realizado tres registros flowmeter, con velocidades de descenso y ascenso de 4, 6 y 8 m/min (no han podido realizarse a velocidades menores por la presencia de partículas en el interior del sondeo y obstruir estas el movimiento de la hélice). Tras el primer

tratamiento de filtrado de datos y la detección/cálculo del cero de la sonda, se ha procedido a calcular el flujo para cada metro de testificación analizado (figura 60). Para ello se procede al cálculo de los cps medios por metro, para cada una de las velocidades de subida y bajada, y se unifican los diferentes tramos de flujo con similar comportamiento.

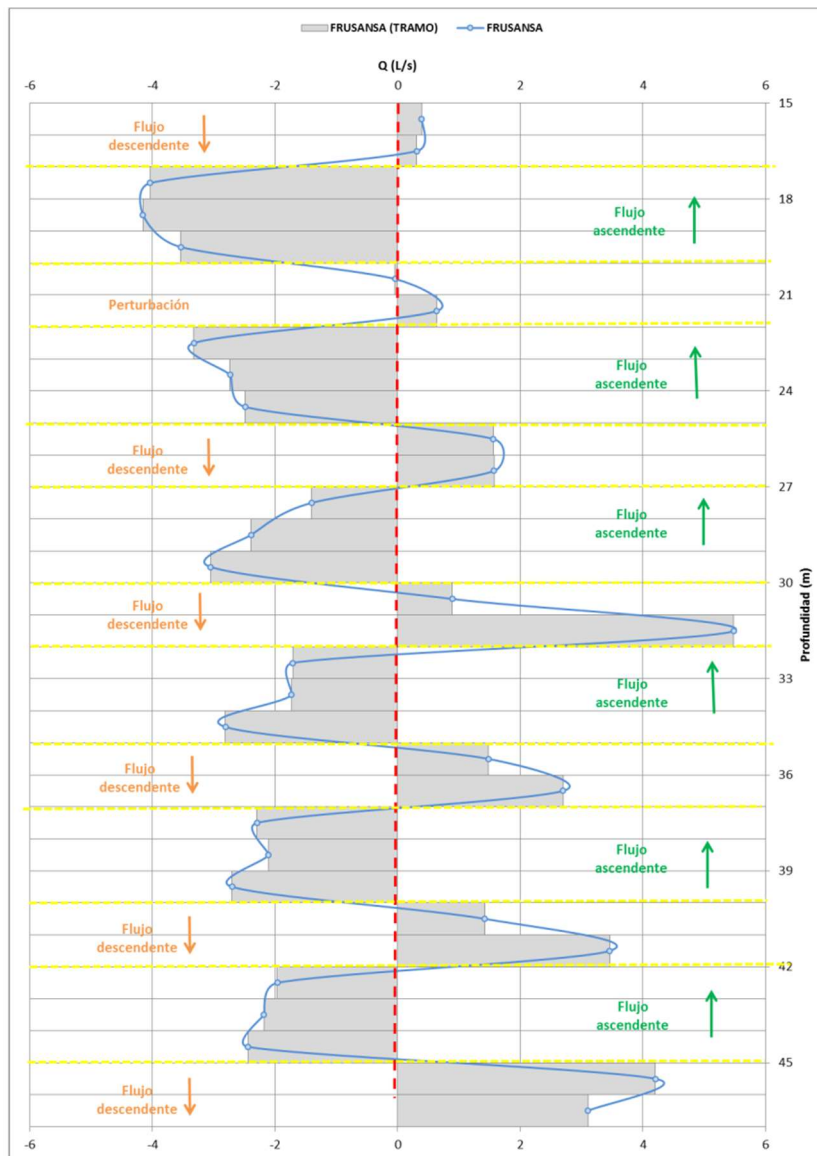


Figura 60: Clasificación y cálculo de flujos de agua verticales y clasificación por tramos en el sondeo FRUSANSA.

El registro obtenido por la sonda flowmeter muestra variaciones cíclicas con la profundidad, lo que puede estar relacionado con una alternancia de tubería ranurada y ciega. Se desconoce el diseño de la entubación, lo que dificulta la interpretación de la diagrafía. En general parece existir en todo el tramo un pequeño flujo ascendente que unifica las características físico-químicas del agua. No se observan tramos litológicos que diferencien flujos entre distintas zonas de la formación acuífera en su zona

saturada. Si bien, el tramo entre 0 y 14 m se diferencia por un mayor contenido en arcillas y, por tanto, una menor permeabilidad. El agua contenida en este tramo, cuando el nivel desciende como consecuencia de los bombeos, puede quedar parcialmente colgada por su menor permeabilidad, y alimentar más lentamente a los niveles inferiores más permeables. Esto podría explicar los efectos de recarga diferida que se observan en esta zona del acuífero. Los caudales resultantes son principalmente descendentes y con valores de gran consideración que superan los 4 l/s por metro.

FRUSANSA 1C

Para el sondeo “FRUSANSA 1C” no se dispone de información previa. Tras el reconocimiento con la sonda de inspección preliminar, esta no ha logrado superar los 86 metros de profundidad, por lo que la profundidad testificada con el resto de sondas ha sido hasta los 84 metros, con el objeto de preservar la integridad del equipo.

La litología que se prevería encontrar en esta zona es de materiales detríticos en los primeros metros (Formación Guadix), y en profundidad formaciones carbonáticas Alpujárrides y/o Nevado Filábrides.

En relación a la testificación de la radiación natural de las rocas en las inmediaciones de los sondeos con la sonda de medición de radiación Gamma Natural QL40-GRA con sensor de cristal de NaI, se ha realizado la testificación en el tramo de sondeo correspondiente entre los metros 0 y 84. En la figura 61 se encuentran representados los datos de la testificación correspondientes al sondeo FRUSANSA 1C, en color verde podemos distinguir los valores obtenidos con la sonda de medición de radiación Gamma Natural QL40-GRA, los cuales se presentan bastante homogéneos, con valores comprendidos entre 27 y 92 API, y un valor medio de 52. El registro muestra variaciones muy sutiles con valores algo más elevados en torno a los 10 m y a los 90, lo que se interpreta como una presencia de niveles algo más arcillosos, sin embargo, en general la curva es muy uniforme y refleja un bajo contenido en arcillas.

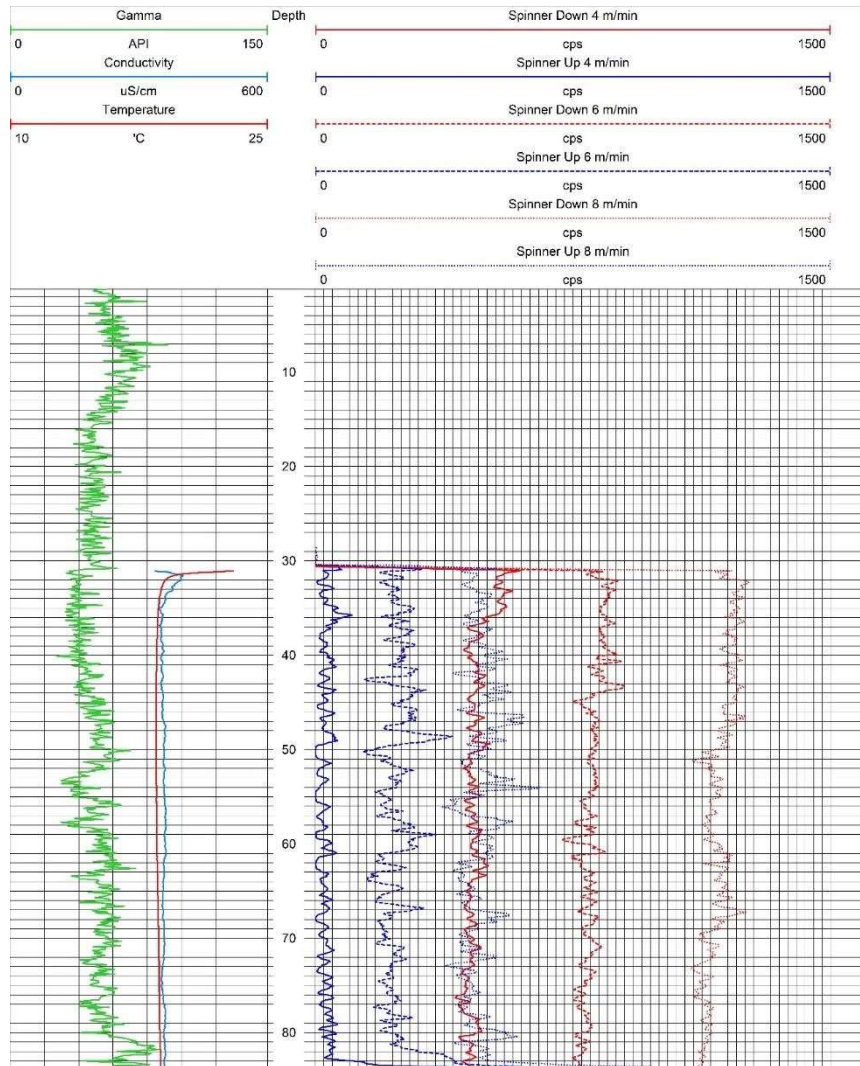


Figura 61: Datos de las testificación del sondeo FRUSANSA 1C de radiación natural de las rocas (verde), temperatura (rojo), conductividad (azul claro) y flujo del agua en el interior del sondeo (azul y rojo).

La testificación mediante la sonda QL40-FTC de conductividad y temperatura se ha realizado en la sección del sondeo que se encuentra saturada de agua, entre los metros 31 y 84 de finalización de la testificación. En la figura 61 se puede apreciar que la temperatura (línea roja) se mantiene prácticamente constante a lo largo de todo el tramo de sondeo analizado, con valores de 18,6 °C. Además se puede advertir que la temperatura sufre de un ligero incremento en profundidad que va desde los 18,52°C, al inicio de la columna de agua, a los 18,77 °C al final de la testificación. La medición de la conductividad eléctrica en el agua a lo largo del sondeo presenta valores entre 363,4 y 347,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor medio de 357,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no presenta apenas variaciones en profundidad, por lo que se puede considerar constante, por lo que no se detectan entradas de aguas de diferente naturaleza. En general, los registros de conductividad eléctrica y temperatura no presentan variaciones

importantes, esto suele ocurrir cuando hay circulación de agua por el interior del sondeo lo que provoca un proceso de mezcla, es decir, cuando el sondeo corta materiales permeables.

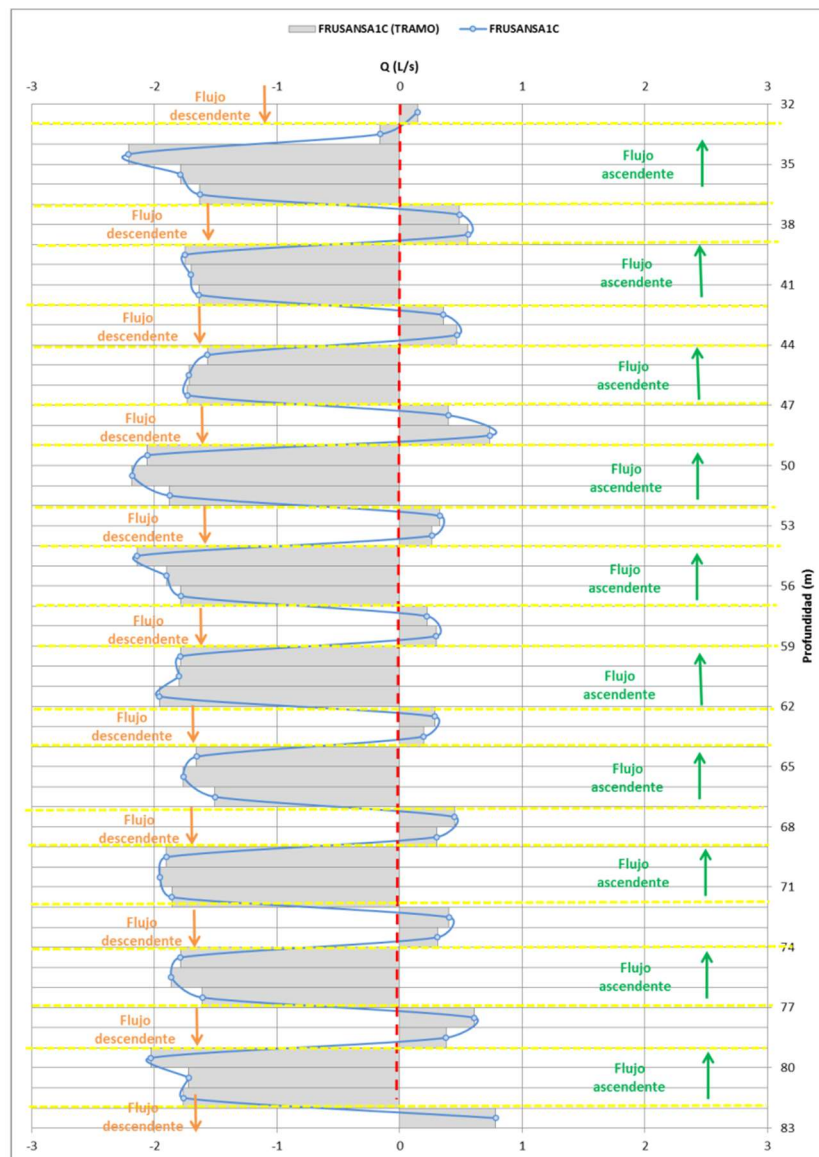


Figura 62: Clasificación y cálculo de flujos de agua verticales y clasificación por tramos en el sondeo FRUSANSA 1C.

Para la observación del flujo vertical dentro de sondeos se realiza una testificación del sondeo con el medidor de flujo de molinete bidireccional (Flowmeter QL40-SFM), que mide la velocidad del flujo, en ciclos por segundo (cps). Se han realizado tres registros flowmeter, con velocidades de descenso y ascenso de 4, 6 y 8 m/min (no han podido realizarse a velocidades menores por la presencia de partículas en el interior del sondeo y obstruir estas el movimiento de la hélice). Tras el primer tratamiento de filtrado de datos y la detección/cálculo del cero de la sonda, se ha procedido a calcular el flujo para cada metro de testificación analizado (figura 62). Para ello se procede al cálculo de los cps

medios por metro, para cada una de las velocidades de subida y bajada, y se unifican los diferentes tramos de flujo con similar comportamiento.

El registro obtenido por la sonda flowmeter muestra variaciones cíclicas con la profundidad, lo que puede estar relacionado con una alternancia de tubería ranurada y ciega. Se desconoce el diseño de la entubación, lo que dificulta la interpretación de la diagráfia. En general parece existir en todo el tramo un pequeño flujo ascendente que unifica las características físico-químicas del agua. No se observan tramos litológicos que diferencien flujos entre distintas zonas de la formación acuífera en su zona saturada. Los caudales resultantes son principalmente ascendentes y con valores de consideración que superan los 2 l/s por metro.

9 IMPACTO EN EL ACUÍFERO TRAS EL CESE DE LA EXPLOTACIÓN DE LA MINA EN 1996

La explotación de las Minas de Alquife se llevó a cabo hasta 1996 y se estuvo bombeando agua subterránea para producir la depresión del nivel piezométrico que permitiese la extracción del mineral, que se localizaba por debajo del nivel piezométrico. Este descenso de niveles por el continuo bombeo se puede apreciar en los distintos mapas de isopiezas, mostrados en las figuras 22 a 31, en los que, desde el año 1971, aparece una depresión en las inmediaciones de la mina. Inclusive se plantea la idea de que todavía persista el desequilibrio piezométrico producido por el bombeo de la mina. Sin embargo, puesto que esta extracción no es la única a la que ha sido sometido el acuífero, el análisis de la información piezométrica debe llevarse a cabo teniendo en cuenta todos los factores, es decir, pluviometría, nuevos usos de las aguas subterráneas, etc.

El tiempo mínimo de recuperación de un acuífero tras una perturbación provocada por la extracción intensiva de aguas subterráneas, a nivel teórico, se puede calcular mediante la siguiente ecuación (Custodio and Llamas 1976, 1983; Freeze and Cherry 1979; Rorabaugh 1960).

$$t = \alpha * \beta$$

t: Tiempo para que los descensos en el acuífero se estabilicen después de un cambio brusco en las condiciones. α : Parámetro comprendido entre 0,5 y 2,5.

β : Relación entre la inversa de la difusividad y la longitud del acuífero, que se obtiene según la expresión:

$$\beta = L^2 \frac{S}{T}$$

L: Longitud del acuífero.

S: Coeficiente de almacenamiento.

T: Transmisividad.

S/T: Nótese que este cociente es la inversa de la difusividad hidráulica del acuífero ($D = T/S$).

En el caso del acuífero que nos ocupa, los valores para el cálculo del tiempo en el cual el nivel piezométrico se estabilizaría después del cese de la explotación de la mina serían los siguientes:

α: Se ha tomado el valor medio: **1,5**

L: La longitud media del acuífero se ha estimado en torno a **20 km**.

S: De los valores recopilados de toda la bibliografía consultada, el valor medio de coeficiente de almacenamiento correspondería en torno a **0,05**.

T: de los valores recopilados de toda la bibliografía consultada, el valor medio de transmisividad se estima en torno a **2000 m²/día**.

Por lo tanto:

$$t = \alpha * \beta = \alpha * L^2 * \frac{S}{T} = 1,5 * (20000 \text{ m})^2 * \frac{0,05}{2000 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{día}}\right)} = 15000 \text{ días} = 41,1 \text{ años}$$

Por lo que esta primera aproximación nos muestra que el tiempo para que el acuífero se estabilice, caso de que esta fuera la única afección, estaría en torno a los **40 años**.

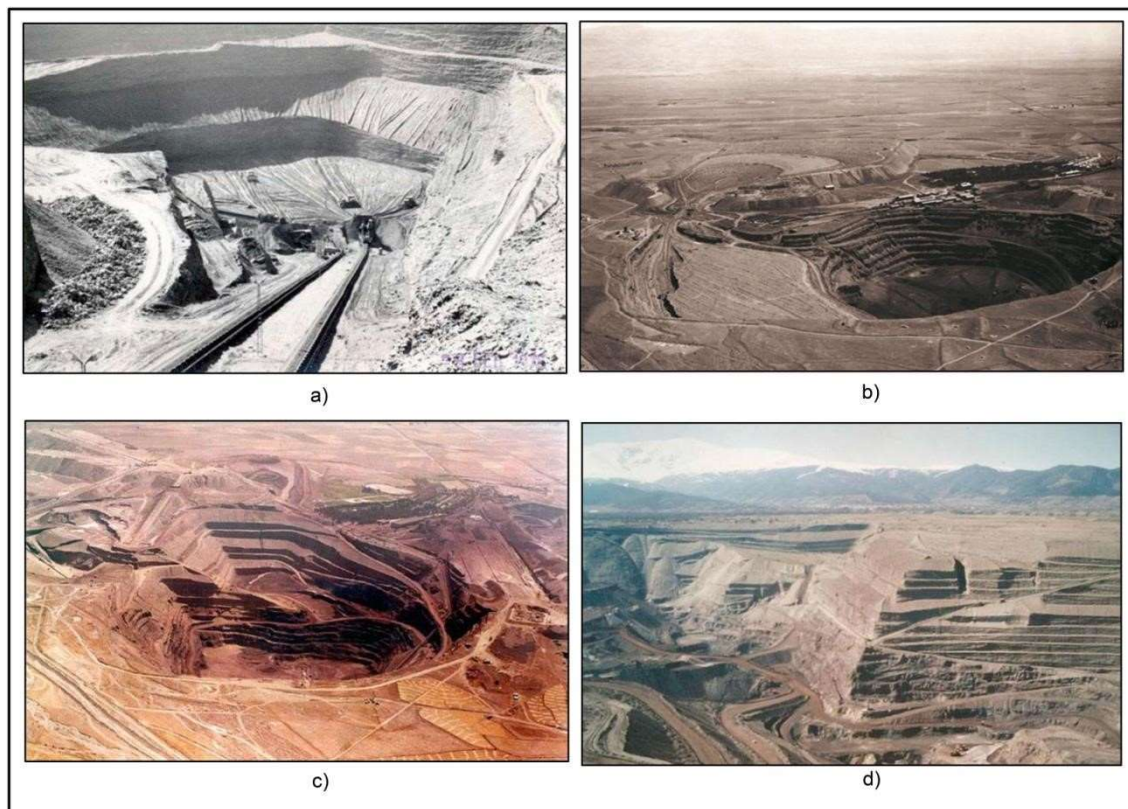


Figura 63. Fotografías que muestran el avance en la profundización en la cantera. a) Año 1965, b) Año 1975, c) Año 1983, d) Año 1988. Archivo Fundación Minas del Marquesado

Recientemente se ha elaborado un trabajo, fin de máster, que recoge el “Análisis histórico sobre la evolución del desagüe y la evolución de niveles piezométricos en las minas del Marquesado.

AlquifeGranada” (Calle Quito, 2013), donde se hacen numerosas aportaciones sobre la historia del desagüe. Como aspectos relevantes, cabe destacar los siguientes:

- Se reconstruye el bombeo desde el año 1932 a 1996 con un pico de bombeo entre 1985 y 1986, con un promedio de 500 l/s que permite niveles en la cantera de 897 m s.n.m (fig. 64).

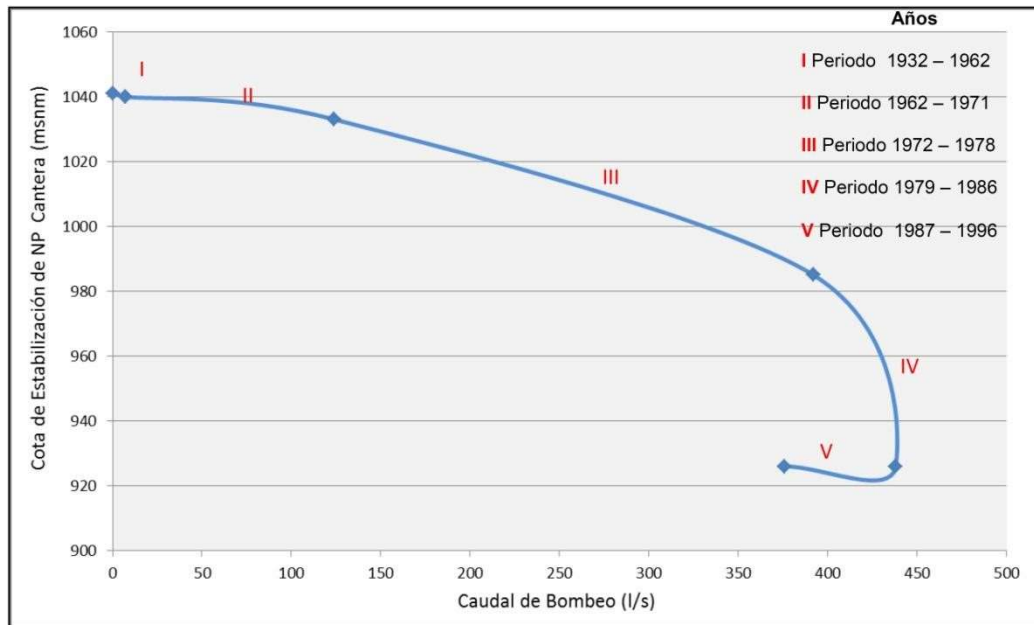


Figura 64. Curva de caudales de bombeo vs niveles de estabilización por periodos de tiempo

- Las variaciones pluviométricas tienen escasa influencia sobre los caudales de bombeo en el acuífero calizo.
- El flujo subterráneo que llega a la mina por el oeste, procede principalmente de infiltraciones de la rambla de Lanteira.
- El descenso en la caliza solo afecta de forma localizada al nivel en los aluviones (ligero retroceso en el límite de aluviones saturados).
- Los piezómetros de la margen oeste de la cantera presentan una fuerte variación de niveles piezométricos respecto a las fluctuaciones del bombeo en los acuíferos calizo y aluvial, niveles afectados también por las infiltraciones de escorrentía de la rambla de Lanteira.
- Los piezómetros ubicados al este de la cantera no presentan variaciones respecto al bombeo a la corta, pero sí frente a las fluctuaciones pluviométricas.
- Al oeste y suroeste a la corta existe una mejor conexión hidráulica entre aluviones y calizas.

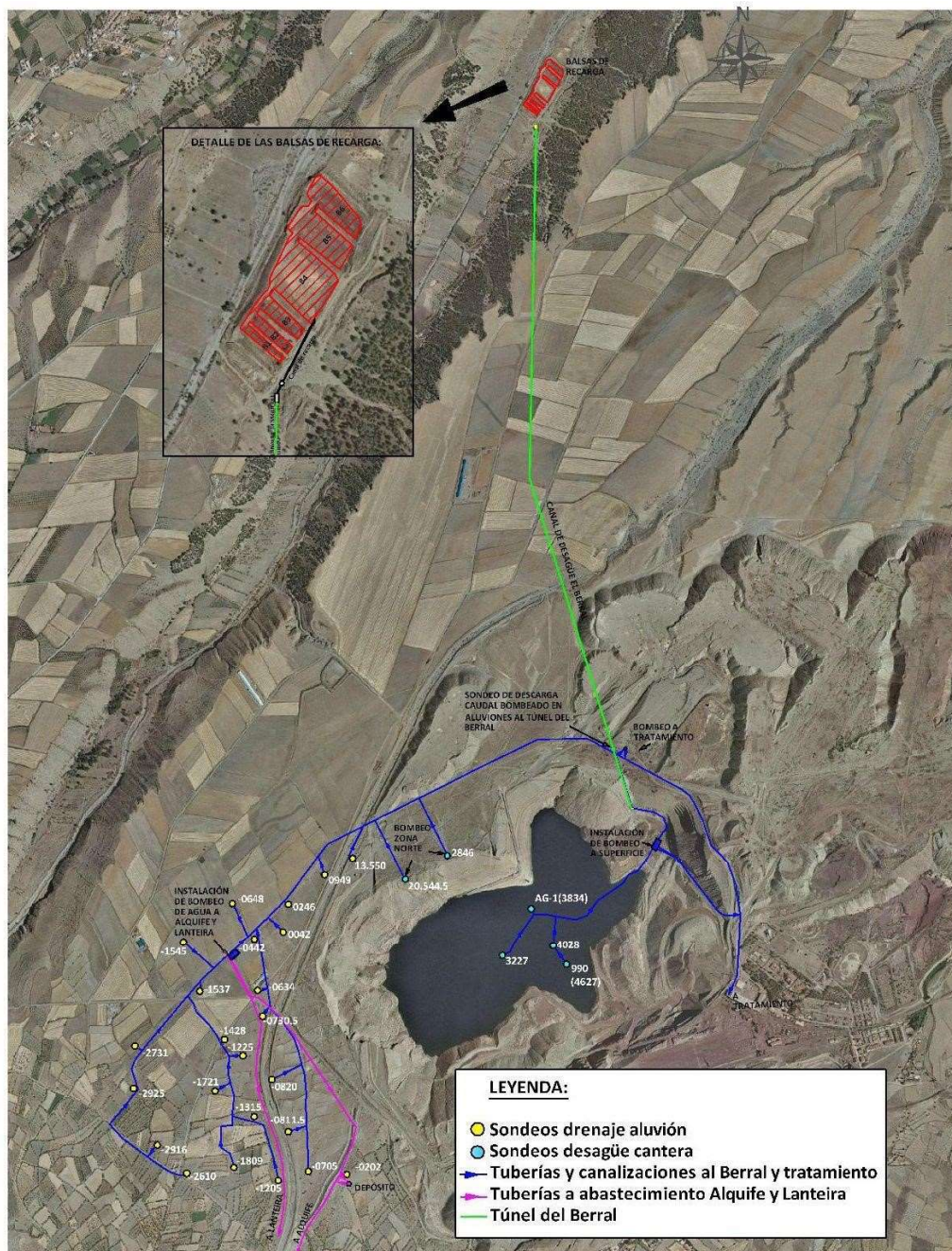


Figura 65. Sistema general de drenaje en 1996, (Informe interno Minas de Alquife, 2012)

- Hasta el año 1957 las labores mineras se detenían al alcanzar el nivel del agua, a unos 100 m de profundidad (cota 1050).
- El bombeo continuo de agua en los acuíferos calizo y aluvial, alcanza 350 hm³ durante los 65 años de operación de mina (13 hm³/año entre 1973 a 1996), con un descenso hasta la cota 900, unos 160 m de bajada de nivel respecto al nivel inicial. En las operaciones de bombeo, primero se comienza con el desagüe de las calizas, con objeto de profundizar la corta y luego con el desagüe de los aluviones en el sector oeste a partir de 1979.

- Los estudios recientes señalan una cubicación de unos 135 millones de toneladas de mineral de hierro, con una vida de unos 20 años para la mina, a un ritmo de producción de 4 millones de toneladas/año.
- En el periodo 1987-1996, el bombeo no es permanente; si bien tiene un promedio de unas 376 l/s (273 l/s en calizas y 103 l/s en aluvión) y el nivel piezométrico se mantiene en la corta entre 942 y 908 m s.n.m. con un promedio de 11,6 hm³/año.





Figura 66. Estado actual de la mina y galería en el aluvión.

10 SOBRE LAS POSIBILIDADES DE RECARGA ARTIFICIAL PARA RESTITUCIÓN DE NIVELES EN LA MASA ES050MSBT000051202 CORREDOR DE LA CALAHORRA-HUÉNEJA.

10.1 INTRODUCCIÓN Y CONSIDERACIONES PREVIAS SOBRE LA POSIBLE RECARGA EN LA MASA DE AGUA DE LA CALAHORRA-HUÉNEJA.

Para la realización de las actividades incluidas en este informe se ha utilizado el equipamiento de la Unidad móvil para estudios hidrogeológicos y medioambientales disponible en la Unidad Territorial del IGME en Granada, cofinanciada con Fondos Feder (referencia proyecto IGME 10-1E-1284). Conceptualmente la recarga artificial es la introducción forzada (no natural) de agua en un acuífero para aumentar la disponibilidad y/o mejorar la calidad del agua subterránea.

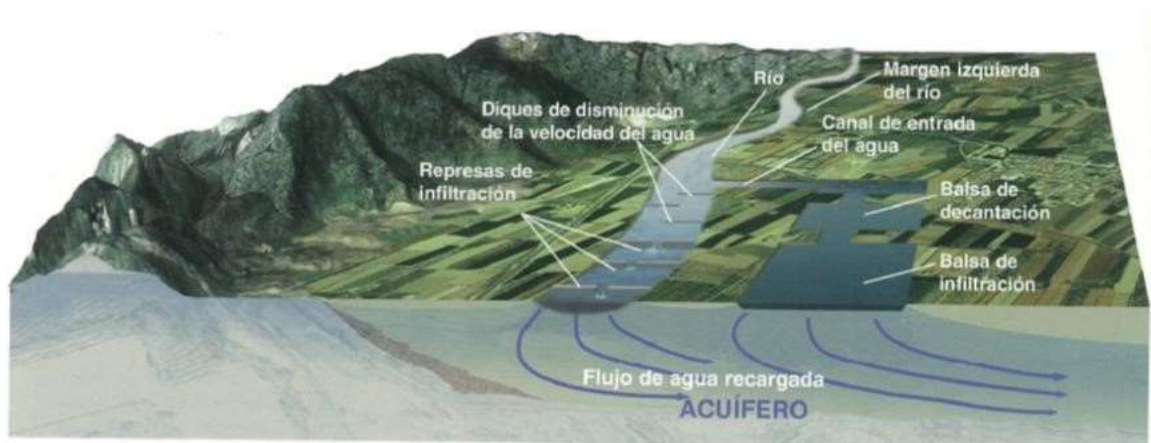


Figura 67: Recarga artificial de un acuífero utilizando dos sistemas diferentes: el primero, favoreciendo la infiltración del agua circulante por el río mediante la construcción en su lecho de represas de infiltración; y el segundo, por balsas construidas en el margen izquierdo del río

La recarga artificial posibilita la restitución de niveles, caudales y la mejora de la calidad a la vez que permite la restitución al buen estado cuantitativo y cualitativo de las masas de agua y un incremento en la regulación.

La utilización de las aportaciones hídricas para recarga artificial, IGME-DGA (MIMAM, 2010) en su concepto básico aconseja, en un país como España, donde la irregularidad climática es grande, con alternancias de periodos secos y húmedos, una adaptación de las disponibilidades del agua a la demanda, a través de procesos de regulación como el uso de la recarga artificial. En multitud de países más desarrollados la utilización de la recarga artificial es pieza básica en la gestión y corrección de situaciones indeseables en los acuíferos. La recarga puede realizarse utilizando balsas de infiltración o sondeos.

A destacar la gran implantación que presenta en Estados Unidos, Alemania e Israel, con una gran experiencia desde la década de los años sesenta.

Definición de recarga artificial. Aspectos Jurídicos.

La UNESCO define la recarga artificial como el aumento de la alimentación natural de agua subterránea a los acuíferos o embalses de agua subterránea suministrando agua a través de pozos, inundando o cambiando las condiciones naturales.

El **IGME** considera la recarga como la introducción forzada (no natural) de agua en un acuífero para aumentar la disponibilidad y/o mejorar la calidad del agua subterránea.

Como **objetivos de la recarga artificial** señalar los siguientes:

- El almacenamiento subterráneo temporal de escorrentías superficiales no aprovechadas o de vertidos desde los embalses en épocas de aguas altas y la posibilidad de eliminar aguas de tormenta.
- La posible restitución de la masa de agua al buen estado cuantitativo y cualitativo.
- La mejora de la regulación en sectores acuíferos donde la escorrentía superficial presenta excedentes “invernales” y la recarga podría mejorar la regulación general (aguas abajo no hay embalses de regulación).
- La mejora de la calidad del agua disponible en cabecera de subcuencas o cuencas hidrográficas principales, donde la calidad del agua empeora por diferentes escenarios (incremento de sulfatos, sales en general, nitratos, pesticidas, etc.). Es especialmente significativo en el caso del agua para abastecimiento urbano.
- Mejora de la calidad química del agua con el aporte de agua de mejor calidad que la existente en un acuífero concreto por acción antrópica y contaminación.
- Reducción de los descensos de niveles piezométricos que se producen de la extracción del agua, corrigiendo tendencias en la bajada de niveles con el objeto de cumplir objetivos medioambientales y alcanzar el buen estado cuantitativo.
- Favorecer el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas.
- El mantenimiento de enclaves de elevado interés medioambiental (mejora del recurso disponible).
- El aprovechamiento del suelo y zona no saturada para el tratamiento del agua (retención de contaminantes y degradación de la materia orgánica).
- Lucha contra la intrusión marina y frenado del avance de la cuña salada.

La **Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE)**, señala:

- Artículo 11. Programa de medidas. Apartado 3. f): Medidas de control, con inclusión de un requisito de autorización previa, de la recarga artificial o el aumento de masas de agua subterránea. El agua que se utilice podrá obtenerse de cualquier agua superficial o subterránea, siempre que el uso de la fuente no comprometa la consecución de los objetivos medioambientales establecidos para la fuente o la masa de agua recargada o aumentada.

El **RD 849/86. Reglamento de Dominio Público Hidráulico**, señala en el artículo 257. Apartado 5: Quedan sometidas a autorización las recargas artificiales de acuíferos, que sólo podrán otorgarse cuando con ellas no se provoque la contaminación de las aguas subterráneas.

El **RD 907/2007. Reglamento de Planificación Hidrológica**, señala en el artículo 53. Directrices para la recarga de acuíferos:

1. El plan hidrológico recogerá, cuando existan, las áreas de recarga artificial de masas de agua subterránea, para las que se detallarán el objetivo de la recarga, así como la procedencia, cuantía y calidad de los recursos aplicados, incluyendo la autorización que permite la recarga.
2. Los recursos aplicados para la recarga artificial podrán obtenerse de cualquier agua superficial, subterránea, regenerada o desalada, siempre que el uso de la fuente no comprometa la consecución de los objetivos medioambientales establecidos para la fuente o la masa de agua recargada ni pueda generar situaciones de riesgo para la salud pública.

La **OMR 2656/2008. Instrucción técnica de planificación hidrológica**, señala:

- Apartado 3.2.3.4. Recarga artificial.
 1. Se identificarán las siguientes recargas artificiales:
 - a) Vertidos a las aguas subterráneas para recarga artificial de los acuíferos.
 - b) Retornos de agua subterránea a la masa de agua de la cual fue extraída (por ejemplo, para lavado de áridos).
 - c) Recarga con aguas de achique de minas.
 - d) Otras recargas significativas.
- Apartado 8.2.1.1.1. Otras medidas básicas.
 - k) Directrices para la recarga artificial.

La **Instrucción de Planificación Hidrológica (art. 3.2.3.4.)**, recoge que para cada recarga se señalará su situación indicando las coordenadas y se indicarán, cuando sea posible, los recursos de agua

disponibles para la recarga artificial, indicando su origen, su régimen temporal de caudales y su calidad físico-química y bacteriológica, las tasas de recarga en dichos puntos y la composición química de las aguas introducidas, los indicadores del comportamiento hidrogeológico del acuífero a recargar, con objeto de evaluar la aptitud y la respuesta del acuífero frente a las operaciones de recarga, los procedimientos y dispositivos necesarios para efectuar la recarga, ya sean superficiales (balsas, zanjas y actuaciones en cauces) o subterráneos (pozos de inyección, galerías, drenes) y la vida útil de las instalaciones de recarga.

Finalmente, se determinará el número de puntos de recarga artificial y la evolución temporal de los volúmenes de recarga para cada masa de agua subterránea.

Los métodos de recarga artificial recomendados son:

- Métodos de superficie (balsas, acequias, canales de derivación, etc.).
- Recarga inducida desde masas de agua superficiales (naturales o artificiales), a través de bombeos en los márgenes de cauces o aguas embalsadas.
- Recarga en pozos y sondeos (vertido o inyección).
- ASR: Técnicas de almacenamiento subterráneo y recuperación.

Sastre Beceiro, en 2009, señala como puntos de relevancia (Aspectos jurídicos de la recarga artificial de acuíferos: regulación actual y retos):

- La necesidad de una regulación jurídica unificada de la recarga artificial de acuíferos.
- El necesario fomento de la financiación pública y privada.
- La recarga artificial de acuíferos como medio para aumentar la garantía de suministro y como instrumento para mejorar la calidad del agua.
- Los efectos ambientales positivos de la recarga artificial de acuíferos.

Objetivo prioritario

La Directiva Marco del Agua, Directiva 2000/601 CE, señala que los Estados miembro habrán de proteger, mejorar y regenerar todas las masas de aguas subterráneas y garantizarán un equilibrio entre la extracción y la alimentación de dichas aguas con el objeto de alcanzar un buen estado de las aguas subterráneas.

Los criterios de calidad para la reutilización vienen señalados en el anexo 1 del Real Decreto 1620/2007 en el apartado 5 de usos ambientales marcando valores máximos admisibles (sólidos en suspensión,

nemátodos intestinales, *Escherichia coli* y otros criterios), dependiendo de la recarga de acuíferos por percolación en el terreno o recarga por inyección directa.

10.2 LA RECARGA EN EL PLAN HIDROLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR

En el inventario de recursos (Anejo 1 del Plan Hidrológico) y en relación a la recarga artificial esta se plantea con el objetivo de:

- Aumentar la garantía de suministro en el abastecimiento urbano.
- Paliar problemas ligados a la explotación intensiva de aguas subterráneas derivadas de regadío.
- Solucionar problemas en situaciones de sequía.
- Favorecer el mantenimiento de ecosistemas y zonas húmedas de especial interés hídrico.

En el Plan se propone el análisis detallado de 4 actuaciones prioritarias.

- Recarga desde el río o embalse Agrio y desde el Guadimar sobre el Mioceno de Base.
- Corredor de La Calahorra-Huéneja.
- Loma de Úbeda (Carbonatado Jurásico).
- Calcarenitas de Sevilla-Carmona.

Además se hace mención a las 17 actuaciones propuestas en las diferentes masas de agua de la Demarcación.

Existe una gran experiencia previa en la Cuenca Alta del Guadalquivir y en particular en su aplicación sobre los sedimentos detríticos de las depresiones internas intramontañosas de las cordilleras Béticas (Guadix):

- La recarga realizada en el detrítico de Guadix, en las proximidades del túnel del Berral como restitución de niveles y drenaje de galerías, aguas arriba de las comunidades de regantes del valle del río Verde.
- La recarga del acuífero de Gracia-Morenita en Jaén para incremento de la disponibilidad para abastecimiento de la comarca de Martos con excedentes del río Víboras (unos 4 hm³/año) de aguas de excelente calidad. Capacidad de admisión de 19 l/s, con una recarga de 70642 m³ en

43 días de operación, con ascensos en el sondeo de inyección de hasta 23,6 metros y a 270 metros de 10 cm.

- La recarga del acuífero de Los Llanos en Alcalá La Real (Jaén) en las calcarenitas miocenas, a partir de la infiltración en sondeos, con ascensos de hasta 16 cm en el acuífero.
- La recarga del acuífero de Mancha Real-Pegalajar (Jaén) en el denominado Mioceno intermedio. La recarga se realizó a partir de la inyección en sondeos. En un solo sondeo se llegó a admitir caudales entre 34 y 67 l/s. En 1999, durante 29 días se llegaron a inyectar 20900 m³. En los ensayos de 1999 se inyectaron 720 m³/día con un ascenso total de 2,61 m.

10.3 PROPUESTA DE RECARGA ARTIFICIAL EN EL CORREDOR DE LA CALAHORRA-HUÉNEJA COMO RESTITUCIÓN DE LA MASA DE AGUA AL BUEN ESTADO CUANTITATIVO

10.3.1 Objeto de la recarga

La MASA Corredor de La Calahorra-Huéneja, presenta una tendencia descendente del nivel piezométrico, al menos en su sector oriental, como se puede observar tanto en el gráfico que se muestra a continuación (figura 68), como en el mapa de localización (figura 65). Los 2 puntos que disponen de una serie histórica con un cierto periodo de datos son los correspondientes al sondeo piezométrico P19 y el P35 (figura 2), este último localizado ya en la Cuenca Mediterránea, justo en el límite con la Cuenca del Guadalquivir. Así, tanto la masa del corredor de La Calahorra-Huéneja como el sector occidental de la vecina masa de la Cuenca del río Nacimiento se encuentran en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales para la primera y con problemas de descensos la segunda.

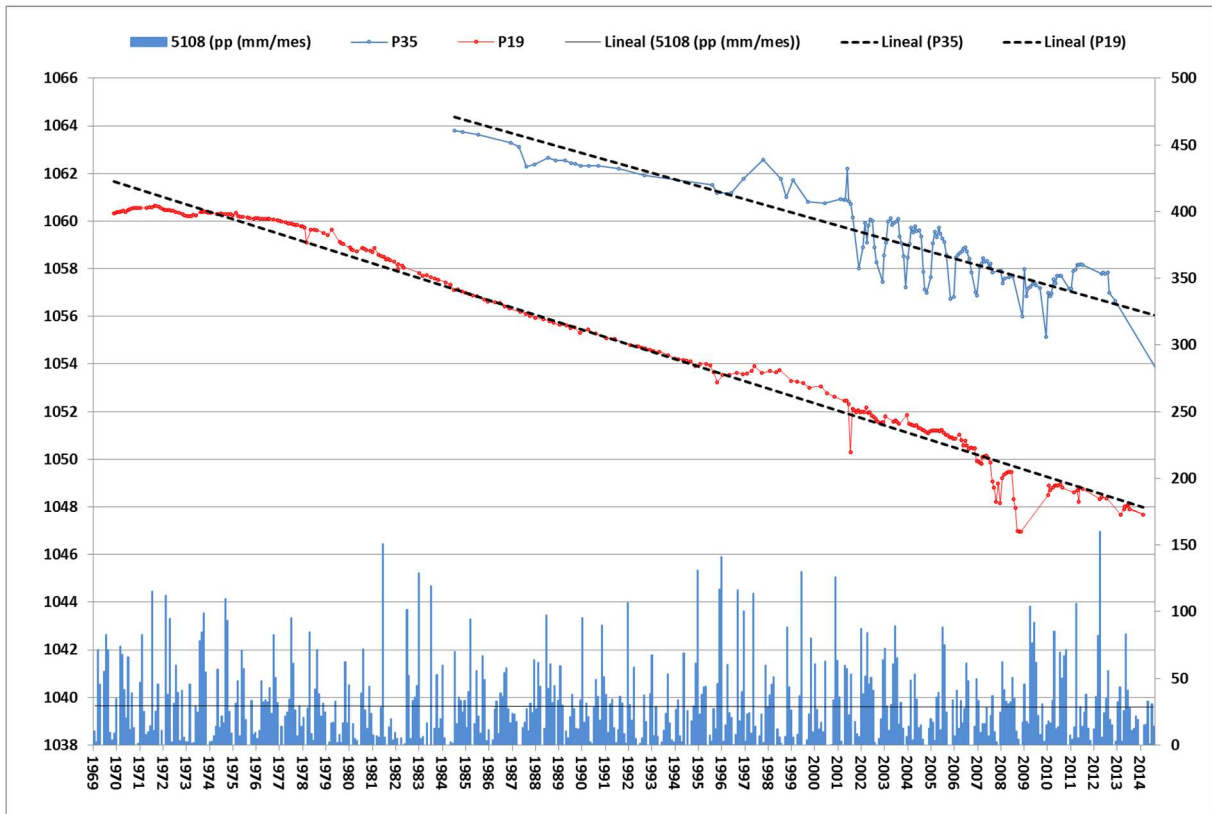


Figura 68: Evoluciones piezométricas de los sondeos P19 y P35, así como precipitación media mensual de la estación meteorológica 5108.

Con el objeto de corregir la citada tendencia en los niveles piezométricos del acuífero y poder mantener el buen estado de la masa de agua, se propone la ejecución de una recarga artificial en la MASA Corredor de La Calahorra-Huéneja. Para ello, a continuación, se proponen varias posibilidades. Esta actuación ya está propuesta en el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir entre las 4 actuaciones prioritarias de recarga artificial.

10.3.2 Metodología para la propuesta de recarga artificial en las diferentes subcuencas

En el documento "Recarga artificial de acuíferos. Síntesis metodológica. Estudios y actuaciones realizadas en la provincia de Alicante" (IGME, 1999), se muestran diferentes factores a analizar ante una propuesta de recarga artificial:

- Análisis de las diferentes alternativas posibles de instalaciones de infiltración.
- Necesidad y tipo de instalaciones auxiliares □ Métodos y equipos de control y seguimiento.
- Instalaciones de transporte del agua de recarga.

Los procedimientos ideados para poder llevar a la práctica esta técnica son múltiples y variados, aunque resulta muy clásico el establecimiento de dos grandes grupos de métodos (tabla 13) en función de que la recarga se efectúe bien por infiltración a través de la superficie del terreno, o bien por introducción directa del agua hasta el acuífero mediante una perforación que lo atraviese.

Los métodos de recarga en superficie, consisten en extender el agua buscando una gran superficie de contacto agua-terreno. Se emplean fundamentalmente en acuíferos libres, que no presentan niveles de baja permeabilidad en las proximidades de la superficie del terreno, lo que permite la llegada del agua al acuífero.

MÉTODOS Y DISPOSITIVOS DE RECARGA ARTIFICIAL			
SUPERFICIALES	EN CAUCES	SERPENTEOS Y REPRESAS	Se fundamenta en aumentar el tiempo y la superficie de contacto entre el agua y el terreno, bien mediante la construcción de diques o bien de muros de tierra en forma de L.
		ESCARIFICACIÓN	Consiste en escarificar el lecho del río eliminando finos y mejorando la infiltración.
		VASOS PERMEABLES	Son embalses de superficie cuya cerrada no es totalmente impermeable.
	FUERA DE CAUCES	BALSAS	Son dispositivos alargados, poco profundos, y de gran superficie. La infiltración se produce predominantemente por el fondo.
		FOSAS	Son semejantes a las balsas, pero la superficie lateral es importante. Domina la infiltración por los flancos.
		CANALES	Son dispositivos poco profundos que siguen la topografía del terreno. La infiltración se produce tanto por el fondo como por los flancos.
	CAMPOS DE EXTENSIÓN	Se basan en extender agua por la superficie del terreno, normalmente mediante riego con grandes dotaciones.	
EN PROFUNDIDAD		SONDEOS DE INYECCIÓN	Mediante la construcción de sondeos profundos se inyecta el agua en el acuífero.
		SIMAS Y DOLINAS	Consiste en aprovechar las simas y dolinas de los terrenos calcáreos para introducir agua en el acuífero.
		DRENES Y GALERÍAS	Consiste en realizar en el fondo de un pozo, por el que se introduce el agua, drenes y galerías.
		ZANJAS Y SONDEOS	Este dispositivo consiste en una gran zanja de infiltración, de escasa profundidad, rellena de grava calibrada, dentro de la cual se ubican sondeos de recarga.

Tabla 13: Recarga artificial de acuíferos. Estudios y actuaciones realizadas en la provincia de Alicante (IGME, 1999).

Los métodos de recarga en profundidad, consisten en la introducción de agua en el acuífero, generalmente mediante pozos, sondeos, etc. Se emplean de una forma generalizada en terrenos formados por una alternancia de niveles permeables e impermeables. La comparación entre las

diversas modalidades de recarga artificial solamente se puede realizar de una forma orientativa, puesto que cada experiencia presenta unas características y un entorno diferente. Algunos criterios, más o menos generalizados, sobre diversos factores o aspectos que pueden intervenir en la elección de uno u otro método, se presentan en la tabla 14.

Ambos métodos, tanto los métodos superficiales como los métodos en profundidad presentan ventajas e inconvenientes, y estos se muestran a continuación en la siguiente tabla 14:

VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS DISTINTOS SISTEMAS DE RECARGA ARTIFICIAL		
MÉTODOS FACTOR	SUPERFICIALES	EN PROFUNDIDAD
Precio y disponibilidad del terreno.	Puede ser muy difícil o imposible establecerlos en una zona poblada o muy cultivada por no disponer de espacio o por ser los terrenos muy caros. Precisa en general terrenos baratos, así como de grandes superficies si se quieren infiltrar importantes volúmenes de agua.	Pequeño. Precisan poco espacio.
Factores estéticos y ambientales.	Pueden presentar problemas de proliferación de insectos y roedores. Requieren cercados y vallas para proteger a personas y animales.	Escasos.
Permeabilidad del acuífero.	Media a grande. Permeabilidades bajas exigen grandes extensiones de terreno para poder recargar volúmenes apreciables de agua.	Variable. Se emplean de una forma generalizada en terrenos formados por una alternancia de niveles permeables e impermeables, o cuando existen niveles poco permeables entre la superficie del suelo y el acuífero.
Construcción de instalaciones.	Pueden requerir acondicionamientos previos del terreno para nivelarlo, retirar coberturas poco permeables o arcillosas, retirar vegetación, obtener diques resistentes, construir estructuras para la conducción del agua, etc. La construcción de algunas instalaciones, como por ejemplo aquellas que llevan aparejadas un embalse de vaso permeable, puede resultar muy compleja.	No tienen porqué resultar excesivamente complicados.
Caudal recargable.	Puede llegar a ser muy grande.	Notablemente inferior si se compara con el medio de las instalaciones superficiales.
Pérdidas por evaporación.	En determinados casos pueden ser importantes. Dependen del tamaño de las instalaciones. Los valores de evaporación no superan, en general, los 0'005 m/día.	Nulas.
Requisitos de calidad del agua.	Pequeños, ya que se puede aprovechar el poder autodepurador de la zona no saturada.	Grandes, ya que el agua se introduce directamente en el acuífero. A veces implica un coste de pretratamiento importante.
Colmatación.	Los problemas derivados de la colmatación pueden ser importantes. El agua introducida debe presentar un bajo contenido de sólidos en suspensión.	Presentan una gran susceptibilidad a la colmatación.
Grado de depuración del agua en el terreno.	Grande. El paso del agua por el medio no saturado es decisivo para conseguir una buena eliminación de contaminantes.	Pequeño o nulo.

Tabla 14: Recarga artificial de acuíferos. Estudios y actuaciones realizadas en la provincia de Alicante (IGME, 1999).

10.3.3 Recarga artificial mediante el agua superficial inercial de la vertiente Norte de Sierra Nevada (Barranco de Benéjar).

Una de las medidas propuestas en el Plan Hidrológico de la Demarcación, para corregir esta tendencia, es la recarga mediante el agua procedente de las subcuencas de la vertiente Norte de Sierra Nevada que fluyen a los Llanos del Marquesado, a las zonas con descensos piezométricos más acentuados.

Dentro del acuerdo de Encomienda de Gestión, entre la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y el Instituto Geológico y Minero de España en 2010, se elaboró el informe sobre la actividad 8 que recogía la selección e identificación de masas de agua donde se precisaba plantear estudios y actuaciones de recarga artificial.

Para la Hoya de Guadix y en lo que se refiere a la disponibilidad hídrica se señalaban unos posibles recursos disponibles para derivar de 5,6 hm³/año para el río Benéjar, con datos del periodo 1969-1981; si bien para un aprovechamiento de 4 meses (noviembre a febrero), el volumen posible total a almacenar, alcanzaría 3,2 hm³/año (con caudales medios de 313 l/s), que podría elevarse a 4-5 hm³/año de considerar las operaciones de recarga más meses.

En una primera etapa, se ha procedido a aforar los principales cauces que vierten a la mencionada zona de descensos continuados. De los cauces de la zona de estudio que disponen de un caudal medio anual de cierta importancia y que se ubican en el sector donde se localizan los descensos en el Llano de La Calahorra-Huéneja, la Cuenca que cumple con estas condiciones es la correspondiente al **Río Benéjar**.

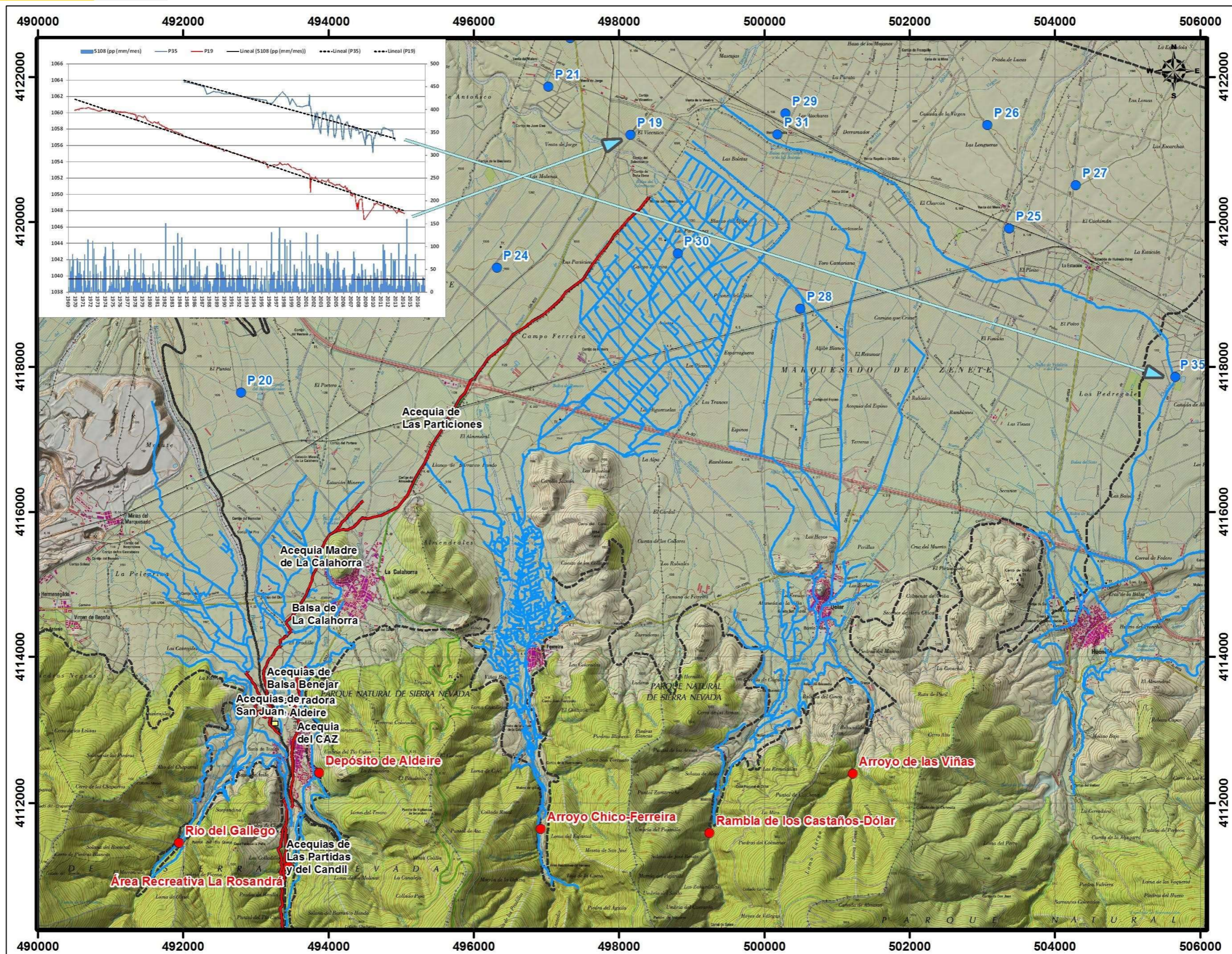


Figura 69: Distribución de acequias de la vertiente norte de Sierra Nevada, desde Huéneja al río Gallego (situación en la cabecera del río Benéjar), red piezométrica y evolución de niveles piezométricos P35 y P19.

En la figura 3 se muestran las acequias de riego existentes, que se distribuyen atravesando el Llano del Marquesado. En dirección al punto piezométrico P19, como puede observarse, se muestra en rojo la acequia alimentada gracias al agua del río Benéjar.

Este cauce ha sido aforado durante 2 años, entre octubre/2013 y septiembre/2015, resultando un caudal medio anual de 58,6 L/s, caudal extraordinariamente bajo debido al periodo en el cual ha sido aforado, periodo notablemente seco en lo referente a precipitaciones (figura 70).

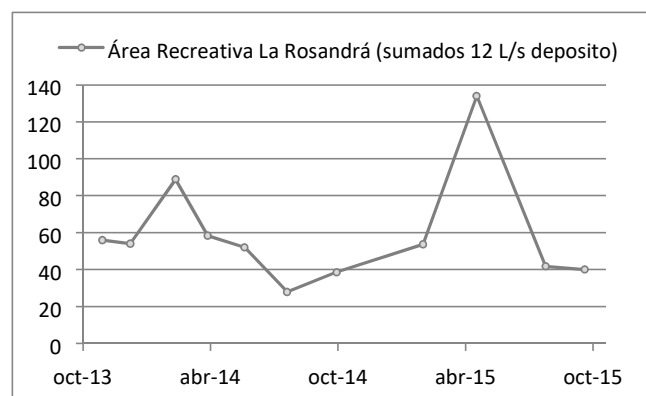
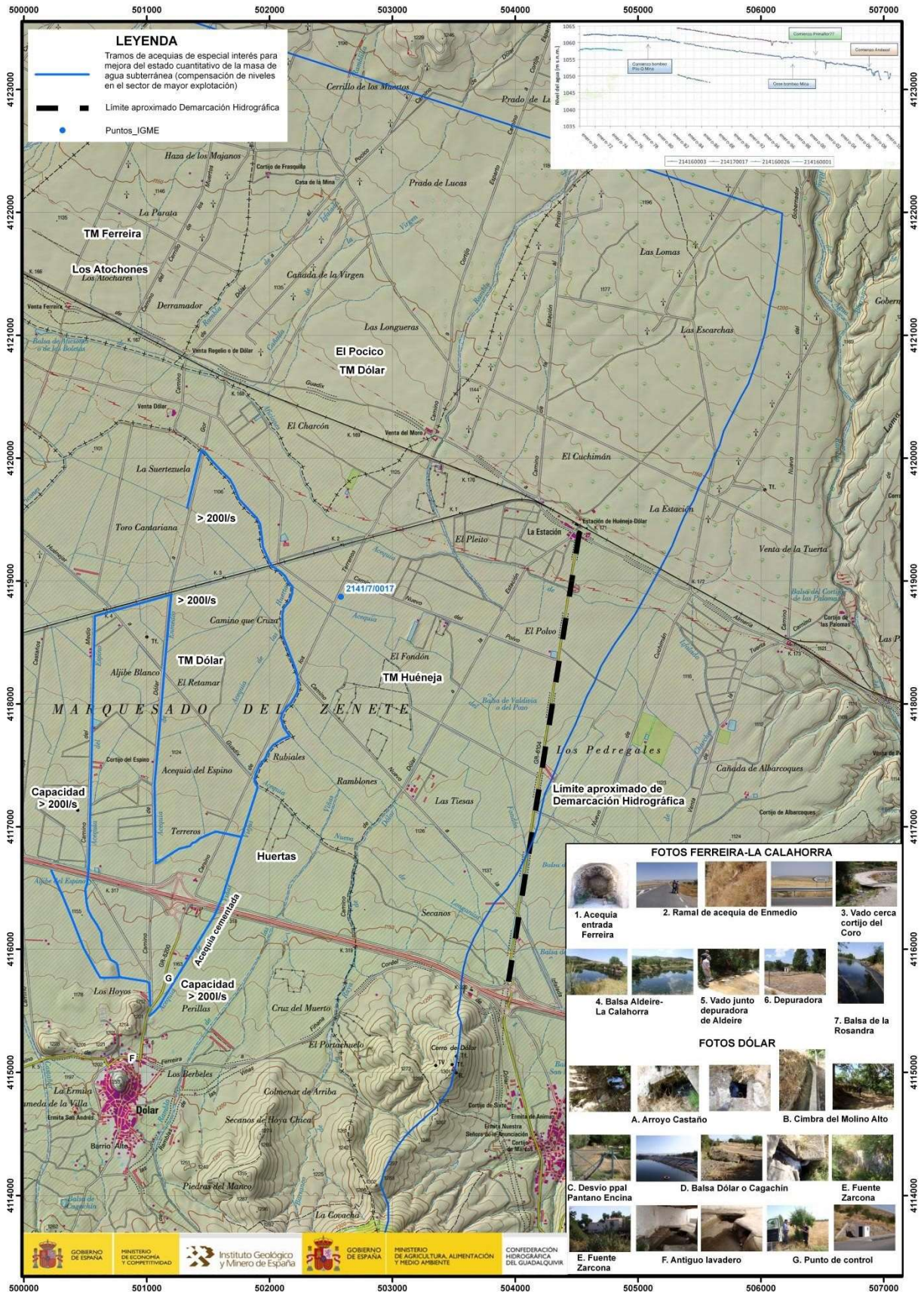


Figura 70: Hidrograma del caudal del cauce del río Gallego, afluente del Benéjar, en el Área Recreativa La Rosandra, para el periodo octubre/13-septiembre/15

Es de gran importancia mencionar que parte del agua procedente de esta cuenca está destinada al abastecimiento urbano de Aldeire y de La Calahorra, con un caudal medio de 12 l/s.

En el periodo 1974-1978 se dispone de aforos en el cauce del Río Benéjar, aunque no en el mismo punto de aforo, pues no se dispone de información correspondiente al tramo de cauce donde se realiza el aforo, y se desconoce si se tuvieron en cuenta posibles derivaciones aguas arriba del punto de aforo. Para este periodo de medida (1974-1978) se aforó un caudal medio de unos 170 l/s (figura 71).



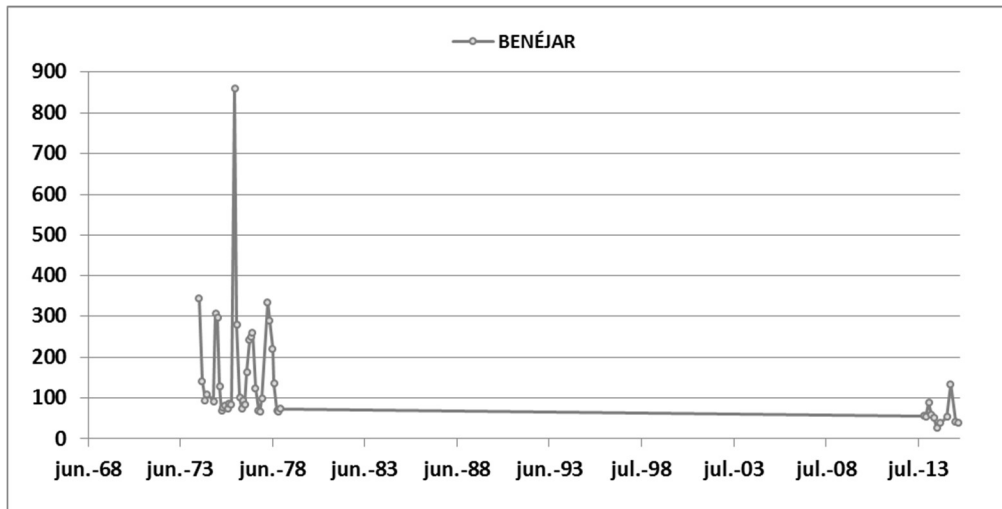


Figura 71: Hidrograma del río Benéjar para los periodos 1974-1978 y 2013-2015

Para la estimación del caudal medio que circula por este cauce se ha procedido a comparar con las series históricas de aforo disponibles en las inmediaciones. Las dos series de aforos de las que se dispone de una serie de datos importante, son las correspondientes a 5051 Jeres del Marquesado (Río Alhorí) y 5052 Lanteira (Río del Barrio). Tras la comparación del caudal con estas 2 estaciones de aforo, para el periodo de aforos comprendido entre octubre/2013 y septiembre/2015, se han obtenido unos coeficientes de correlación de 0,63 y 0,92 respectivamente, por lo que procederemos a realizar la estimación del caudal medio disponible para el Río Benéjar en relación con los caudales históricos del Río del Barrio. El río del Barrio dispone de una caudal medio, para el periodo 1994-2015 de 187,3 l/s y para el periodo 2013-2015 de 35,7 l/s, por lo que este último corresponde con el 20% del caudal medio histórico (1994-2015). Si esta proporción la trasladamos al Río Benéjar resultaría un caudal medio en torno a los 245 l/s.

La Cuenca del río Benéjar es una Cuenca con comportamiento pluvio-nival, siendo la componente nival de gran magnitud, por lo que los caudales más importantes se dan en el periodo comprendido entre los meses de marzo a junio, como podemos observar en los siguientes gráficos (figura 72), tanto para el periodo de 1974-1978 como de 2013-2015. Así, los caudales a tener en cuenta para la propuesta de recarga artificial en invierno son menores a la media.

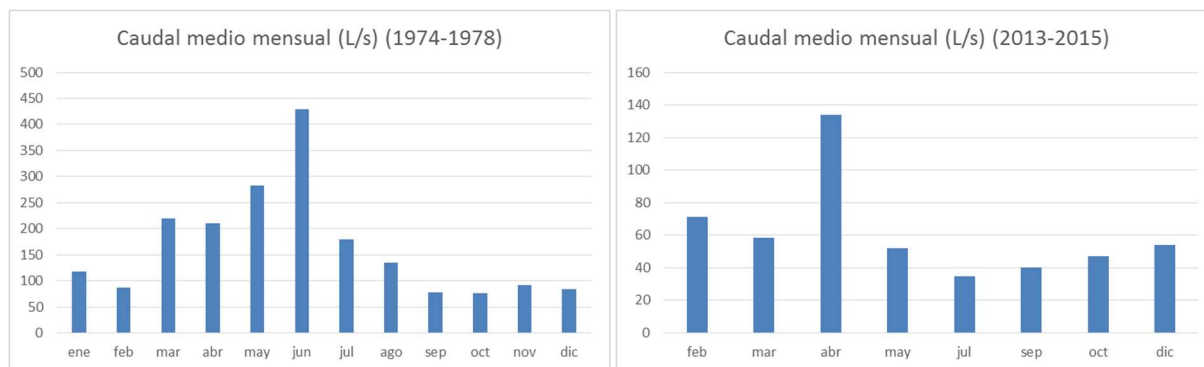


Figura 72: Caudales medios mensuales del río Benéjar para los periodos 1974-1978 y 2013-2015

A continuación se muestran los 3 tipos de caudales con los que a priori podríamos trabajar.

1974-1978		2013-2015		2013-2015 X FACTOR CORRECTOR	
ene	118.5	feb	71.3	feb	356.4
feb	87.1	mar	58.3	mar	291.4
mar	219.4	abr	134.0	abr	670.0
abr	210.0	may	52.0	may	259.8
may	283.3	jul	34.8	jul	173.9
jun	429.4	sep	39.9	sep	199.7
jul	178.9	oct	47.2	oct	235.9
ago	135.2	dic	54.0	dic	269.9
sep	77.3				
oct	75.5				
nov	91.0				
dic	83.2				

Tabla 15: Caudales medios mensuales del río Benéjar para los periodos 1974-1978, 2013-2015 y 2013-2015, con el factor corrector

El primero de ellos es el correspondiente a los caudales aforados para el periodo 1974-1978, en el que se obtiene un caudal medio, para los meses comprendidos entre noviembre y febrero, de 95 l/s. Para el caso de los caudales aforados en el periodo 2013-2015, el caudal medio para los meses comprendidos entre noviembre y febrero correspondería a 63 l/s. Y por último, el caso en el cual los caudales han sido multiplicados por el factor obtenido de la cuenca limítrofe del Río del Barrio, en el que el caudal medio para los meses de noviembre a febrero correspondería a 313 l/s (3,2 hm³/año) en los 4 meses de referencia.

Así, la propuesta de recarga artificial en el Llano del Marquesado desde el Río Benéjar implicaría la derivación del agua sobrante de invierno del río hasta un sector situado a la mayor cota posible, como mínimo en las inmediaciones del sondeo piezométrico 2141/6/0003 “La Calahorra” o P19 en el plano, punto que sufre descensos desde la década de los años setenta.

10.3.4 Sobre la calidad del agua procedente del barranco de Benéjar para su utilización en recarga artificial.

En el Área Recreativa La Rosandrá, en el vado del camino por el río, que coincide con el punto en el cual se ha aforado el cauce (figura 73), se ha tomado una muestra de agua para su análisis y evaluación de la calidad del agua disponible para una posible recarga desde el río Benéjar, aguas arriba de la depuradora de Aldeire.

Se ha tomado una muestra de agua de la cual se desprenden unos valores de: pH: 8,47; T : 5 C; CE: 44,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El análisis posterior de la muestra señala una conductividad de 44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y contenido en mg/l de 7 en SO_4 y 6,7 en SiO_2 .

En la fecha de la visita 8/3/17, circula un caudal importante por el cauce, caudal que procede en gran medida del deshielo de la nieve en cotas altas, como lo confirma la temperatura del agua y su baja conductividad.



Figura 73: Punto de aforo y toma de muestras de calidad en el área recreativa La Rosandrá.

A continuación se hacen diversas consideraciones con objeto de eliminar el aporte contaminante de la depuradora de Aldeire y poder utilizar el agua excedente para recarga artificial.

En los siguientes mapas (figuras 74 y 75) y tabla (tabla 16), se muestra la localización de los diferentes puntos de interés, en relación a la propuesta de recarga artificial con agua superficial procedente de la Rambla de Benéjar.

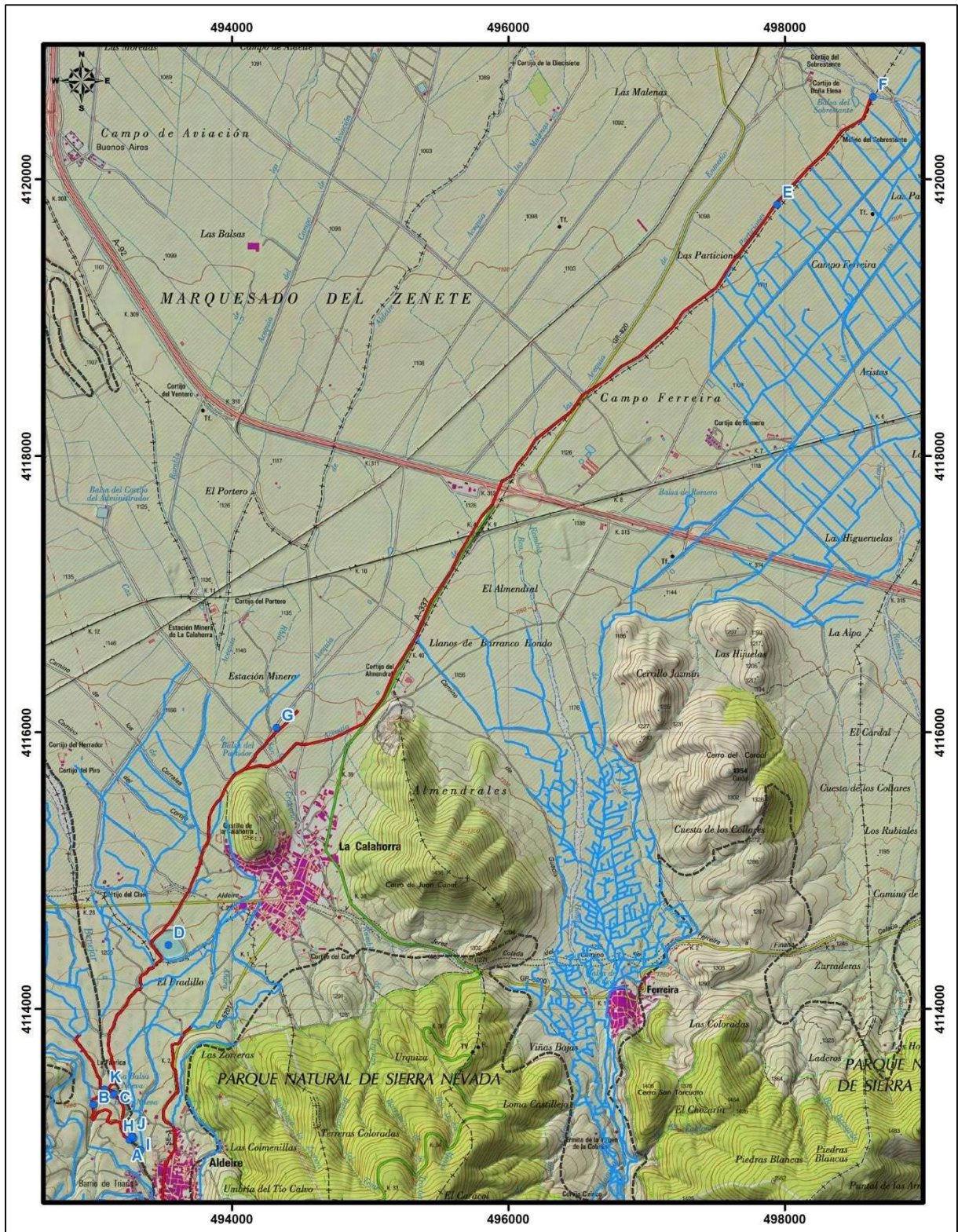


Figura 74: Localización de puntos de interés en relación a la toma del Barranco de Benéjar para el llenado de La Balsa Nueva.

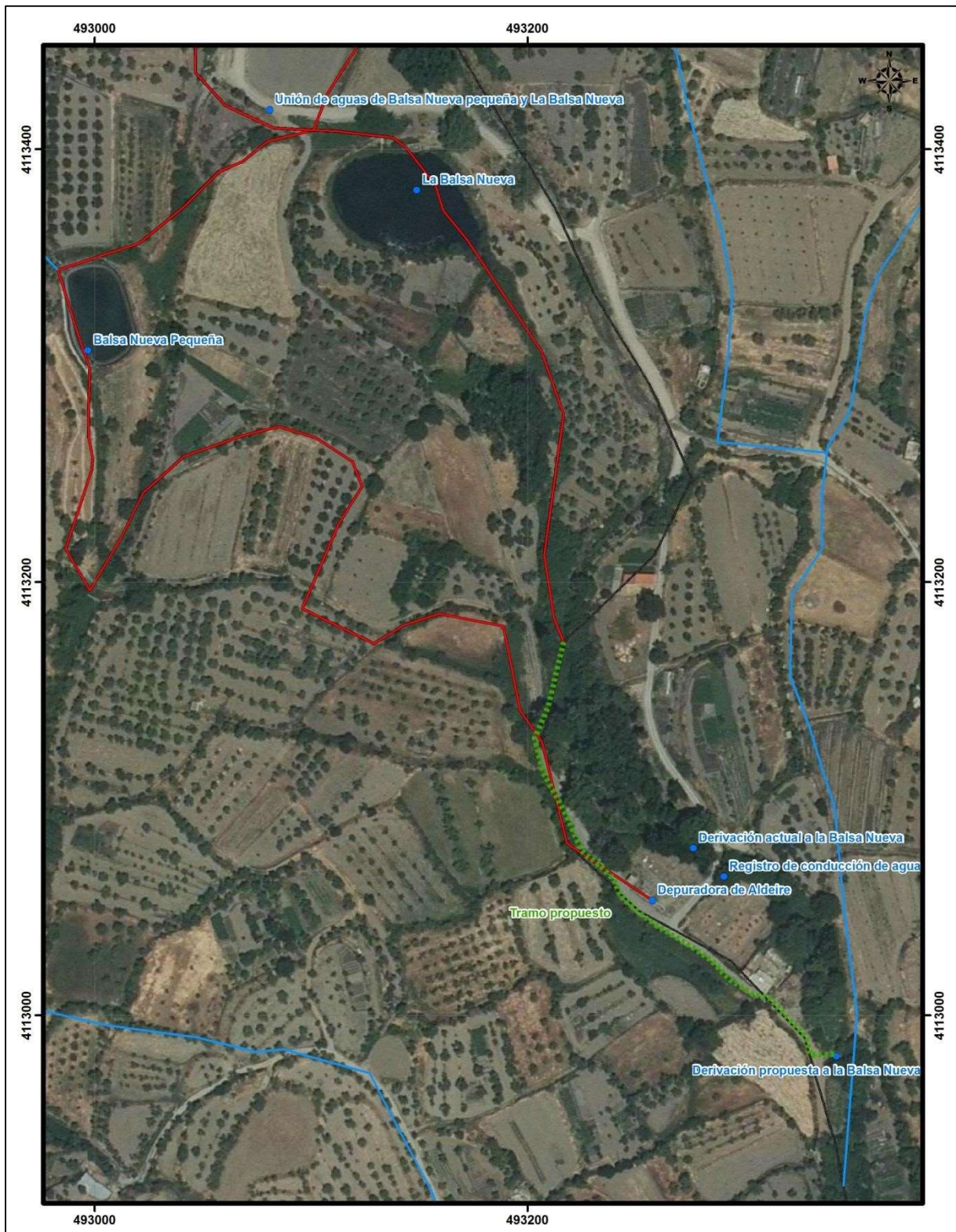


Figura 75: Detalle de la localización de la depuradora de Aldeire, así como de los diferentes puntos de interés en sus inmediaciones.

Código	Toponimia	Tipo	XETRS89	YETRS89
A	Depuradora de Aldeire	Depuradora	493258	4113053
B	Balsa Nueva Pequeña	Balsa	492997	4113307
C	La Balsa Nueva	Balsa	493149	4113381
D	Balsa La Calahorra	Balsa	493542	4114460
E	Final acequia cementada	Acequia	497949	4119817
F	Final acequia	Acequia	498641	4120596
G	Depuradora de La Calahorra	Depuradora	494323	4116033
H	Registro de conducción de aguas residuales	Conducción	493291	4113064
I	Derivación propuesta a la Balsa Nueva	Derivación	493343	4112981
J	Derivación actual a la Balsa Nueva	Derivación	493277	4113077
K	Unión de aguas de Balsa Nueva pequeña y La Balsa Nueva	Acequia	493081	4113418

Tabla 16: Localización y descripción de puntos de interés.

Desde la salida de la Balsa de La Calahorra, la acequia de mayor interés para la propuesta de recarga artificial en los Llanos de La Calahorra es la denominada acequia de las Particiones, acequia que se encuentra cementada (E) (tabla 16) hasta el punto que indican las coordenadas del punto a cota 979 m s.n.m. Aunque esta acequia continua sin cementar hasta el punto localizado en las coordenadas: X: 498431; Y: 4120346; Z: 977.



Figuras 76 y 77: Punto donde llega cementada la acequia de Las Particiones

En la figura 75 se muestra, en detalle, la localización de la depuradora de Aldeire (A), las derivaciones de agua del río para riego, así como la propuesta de toma y derivación de agua limpia del barranco (trazado en color verde), con el objeto de evitar, de forma permanente, el riesgo potencial de mezcla de aguas, tanto desde la depuradora, en el caso de tener una avería, como desde la zona de las conducciones de aguas residuales. Esta derivación se considera imprescindible para evitar la posible contaminación del acuífero.

De forma introductoria, se pasa a enumerar el funcionamiento general del sistema de tomas y derivaciones de agua en el Barranco de Benéjar en la zona de interés:

- En la Rambla de Benéjar, a la misma altura de la depuradora de Aldeire, se localiza la toma actual de derivación del cauce (J) para el llenado de la Balsa Nueva (C).
- Desde La Balsa Nueva (C) hay 2 derivaciones, una para el riego de las parcelas de La Calahorra y otra para el riego de parcelas de Aldeire.
- En las inmediaciones de la toma descrita anteriormente se localiza la depuradora de Aldeire (A). El agua procedente de esta depuradora es vertida hacia la denominada Balsa Nueva Pequeña (B).
- En las inmediaciones de La Balsa Nueva (C) se unen en una misma acequia el agua procedente de la Balsa Nueva Pequeña (B) y el agua correspondiente a Aldeire desde la Balsa Nueva (C).

Una descripción más detallada del funcionamiento de las diferentes balsas y acequias se muestra a continuación:

En relación a la depuradora de Aldeire (A) (Figura 78), el agua procedente de la depuradora va a la Balsa Nueva Pequeña (B) (figuras 79, 80 y 81). Con el agua de esta balsa (depuradora), tan sólo pueden ser regadas parcelas localizadas en los pagos del municipio de Aldeire, por lo que el agua de la depuradora de Aldeire, en teoría, no debería ponerse en contacto, en ningún caso, ni con la “Balsa Nueva” (C) de Aldeire ni con la Balsa de La Calahorra (D) (figura 82).

A las acequias de riego de los pagos de Aldeire se les puede unir agua procedente de la Balsa Nueva (C), unión de acequias que se produce en las inmediaciones de la Balsa Nueva (C) (figura 83).



Figuras 78 y 79: Depuradora de Aldeire (A) y Balsa Nueva Pequeña (B)



Figuras 80 y 81: Entrada de agua procedente de la depuradora de Aldeire a la balsa (B).



Figuras 82 y 83: Balsa de la Calahorra y unión del agua desde la "Balsa Nueva" y la Balsa Nueva Pequeña con agua de la depuradora de Aldeire.

El trazado de la conducción de las aguas residuales del núcleo de Aldeire va desde la vía de entrada a la localidad de Aldeire, a la altura de la farmacia, y desde aquí a la depuradora (A), que se localiza junto al cauce del río. En el camino que cruza la Rambla de Benéjar, que se dirige hacia la depuradora, se localiza un registro de la conducción de aguas residuales (H) (Figuras 84 y 85). En este punto se puede observar cómo se producen atranques en las conducciones y, como consecuencia de estos, vertidos del agua residual al cauce, sin pasar por la depuradora. Este punto se sitúa aguas arriba de la toma actual de agua del cauce para llenado de La Balsa Nueva (C), con la potencial contaminación por vertidos de aguas residuales cuando se producen estos atranques. En las figuras 86 y 87 se pueden observar las imágenes de La Balsa Nueva, en la que se aprecia contaminación en la superficie del agua.

Como se ha descrito anteriormente, el agua procedente de La Balsa Nueva (C), puede ser derivada tanto para el riego de pagos de Aldeire y de La Calahorra. Referente al riego de la zona localizada en el municipio de La Calahorra, este agua va directamente a la Balsa de La Calahorra (D), por derivaciones antes de llegar a esta Balsa.



Figuras 84 y 85: Punto de registro de aguas residuales, junto al cauce, con evidencias de contaminación y vertidos de aguas residuales (fotografía 08/03/2017).



Figuras 86 y 87: "Balsa Nueva" desde la que se distribuye el agua para Aldeire y La Calahorra (C).

Estas pérdidas son una cuestión imprescindible a resolver, pues está provocando la introducción de aguas residuales al cauce y por extensión a las balsas de riego "Balsa Nueva" y a la Balsa de La Calahorra, poniendo en peligro la calidad del agua en la cabecera del acuífero detrítico y trasladando hasta el final de la acequia de las Particiones la potencial contaminación.

Existen cuatro razones fundamentales por las que es urgente la solución de estos vertidos:

- Parte del agua se infiltra en la franja aluvial directamente relacionada con el cauce de Benéjar, a su vez se producen infiltraciones en la cabecera del acuífero detrítico de la Formación Guadix, donde es preciso señalar la existencia de dos perímetros de protección incluidos en el Plan Hidrológico de los abastecimientos urbanos de La Calahorra y Aldeire señaladas en la figura, al Oeste del Cerro del Castillo, poniendo en peligro la calidad del agua en la cabecera del acuífero (figura 88).

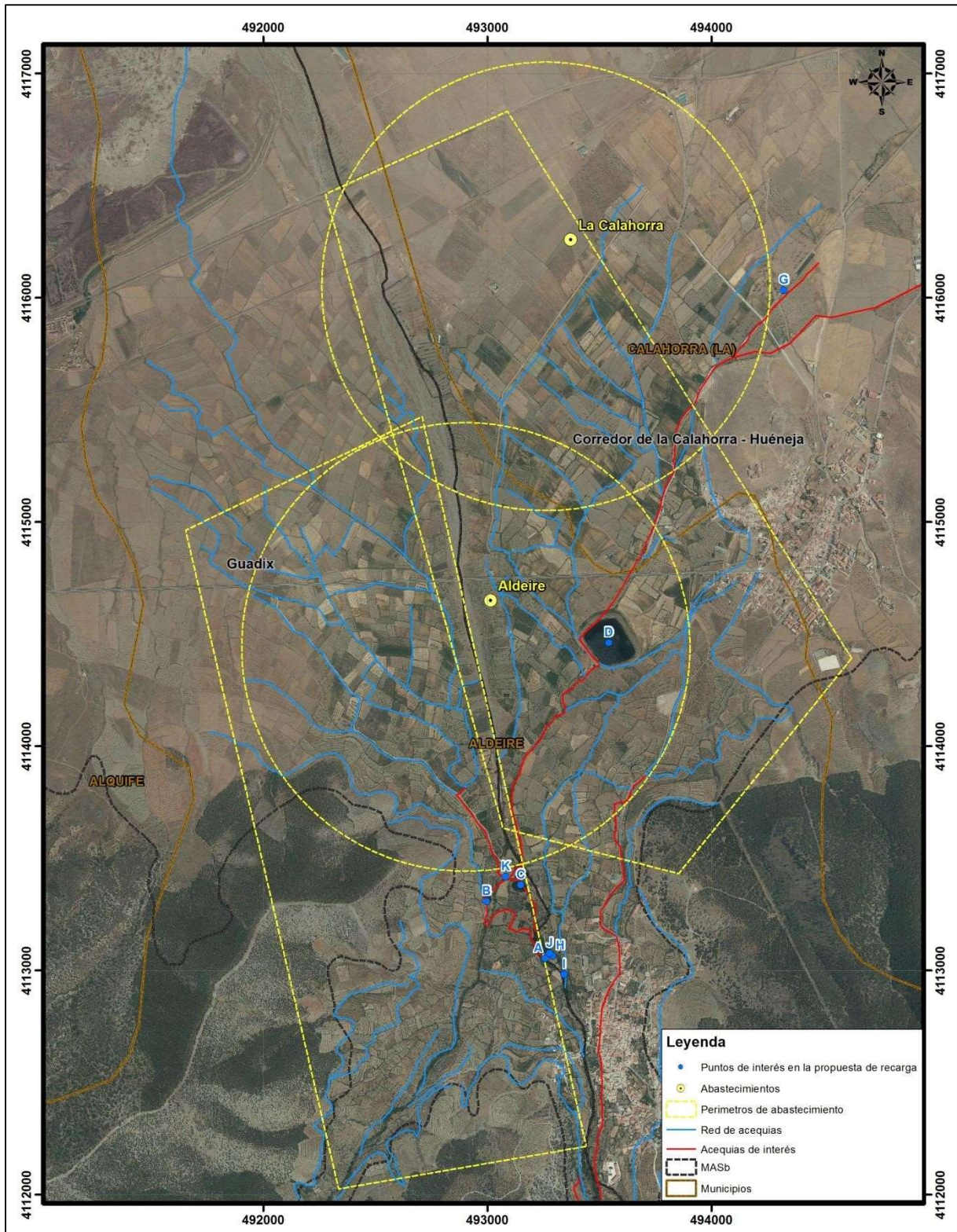


Figura 88: Perímetros de protección incluidos en el Plan Hidrológico de los abastecimientos urbanos de La Calahorra y Aldeire.

- En situación normal el agua entra a llenar el agua de la pantaneta de La Calahorra (D), que a su vez distribuye el agua para uso de riego en grandes sectores de La Masa de Agua del Corredor de La Calahorra-Huéneja, lo que podría facilitar la contaminación orgánica de grandes sectores de la masa de agua.
- En el Plan Hidrológico de la Demarcación del Guadalquivir se incluye, dentro de las operaciones seleccionadas de recarga artificial, y con objeto de mantener el buen estado cuantitativo la masa de agua de La Calahorra-Huéneja, la recarga artificial utilizando aportaciones invernales, mayoritariamente, desde el barranco de Benéjar, por lo que el agua debe estar en adecuadas condiciones para ser utilizada en las operaciones de recarga artificial del acuífero.
- Se produce una aportación al cauce de agua no depurada al Barranco de Benéjar catalogado como aguas salmonícolas.

De la toma de agua que existe en las inmediaciones de la depuradora de Aldeire el agua se deriva a la “Balsa Nueva” de Aldeire (C), balsa de la que se distribuye el agua de riego para las parcelas de Aldeire, al oeste de la Rambla de Benéjar, o para la Balsa de La Calahorra.

Como ya se ha comentado anteriormente en “La Balsa Nueva” (C) se observan restos de residuos, así como una pátina de contaminación en la superficie del agua (figuras 86 y 87), contaminación que debe proceder de los vertidos que se producen desde la conducción de las tuberías de saneamiento hacia la depuradora.

Con el objeto de eliminar la contaminación de las aguas residuales tras su paso por la depuradora, así como el descarte de cualquier riesgo en el futuro, de mezcla de aguas limpias con aguas sucias, en relación a las tomas de agua del río, se propone, de forma urgente, modificar la derivación de agua que existe en la actualidad.

Esta nueva derivación se localiza en las inmediaciones de la Presa de San Juan y Chapela, para lo que sería necesario realizar una derivación de unos 170 metros (figura 88) (figuras 89 y 90), utilizando un lateral del trazado del camino, cuyo coste, en principio sería asumido por los regantes.



Figuras 89 y 90: Punto propuesto para la derivación del agua para el llenado de la “Balsa Nueva”.

Desde “La Balsa Nueva” (C) el agua se distribuye para el riego de parcelas, tanto localizadas en el municipio de Aldeire, como en el municipio de La Calahorra. La distribución del agua se realiza de diferente forma en los meses de verano y en los meses de invierno. En los meses de verano la distribución es de 6 días para Aldeire y 4 días para La Calahorra. En invierno es de 8 días para cada uno de los municipios.

En relación a los pagos de La Calahorra, las conducciones parten desde La Balsa Nueva (C) hacia la Balsa de La Calahorra (D), aunque antes de llegar a esta existen varias derivaciones (figuras 91 y 92).



Figuras 91 y 92: Canal de entrada a la Balsa de La Calahorra y diferentes derivaciones antes de llegar a la balsa.

10.3.5 Recarga artificial desde la acequia de Huéneja

El Corredor de La Calahorra-Huéneja constituye una masa de agua cuyas formaciones geológicas/ acuíferos se extienden mayoritariamente dentro de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir; si

bien, engloba dentro de la Demarcación Mediterránea un sector más reducido que al menos debe extenderse por el Este hasta los cauces de la rambla de Gobernador y del río de Izfalada.

La presencia del piezómetro de la red de la Demarcación Mediterránea P35 (figura 69) cuya evolución de nivel es similar, a los representativos de la Demarcación del Guadalquivir en el área problemática de descensos P19 (figura 69), hace ver que también la Demarcación Mediterránea mantiene en este sector una evolución de niveles en descenso que cabría corregir.

Por otra parte, la acequia de Huéneja que introduce agua para regadío en el Llano de La Calahorra, en dirección noroeste, facilitaría la recarga de posibles excedentes invernales en el acuífero permitiendo la restitución de niveles (figura 93).

Es preciso resaltar el uso tradicional de proceder a la infiltración de agua de invierno en todo el sector (maniobra conocida como cargar el agua), por lo que es reconocida en toda la zona la bondad de llevar a la práctica este tipo de operaciones.

Además, la Comunidad de Regantes de Huéneja posee una concesión de agua con 4 sondeos en el Guadalquivir con destino a riego de 280 ha y un volumen anual de 677.082 m³/año (CHG-2005). La situación de las 4 captaciones (CR Huéneja 1 a 4) y de las balsas de almacenamiento y/o regulación (balsas 1, 2 y 3), se puede ver en la figura 93 y tabla 17.

La Comunidad de Regantes deriva el agua desde el Río Huéneja o Isfalada y tiene un volumen máximo anual a derivar de las tomas (sondeos en el Guadalquivir) y derivación del río de Huéneja, que no debe de superar 9091240 m³/año (unos 9 hm³/año).

CAPTACION	X (UTM ETRS 89)	Y (UTM ETRS 89)	BALSA	X (UTM ETRS 89)	Y (UTM ETRS 89)	CAPACIDAD UTIL (m ³)
CR_HUENEJA_1	503450	4111111	BALSA_1	504289	4118427	9299
CR_HUENEJA_2	503996	4111111	BALSA_2	504064	4119090	83765
CR_HUENEJA_3	503213	4111111	BALSA_3	503113	4118515	13710
CR_HUENEJA_4	502720	4111111				

Tabla 17: Sondeos y balsas de la Comunidad de Regantes de Huéneja

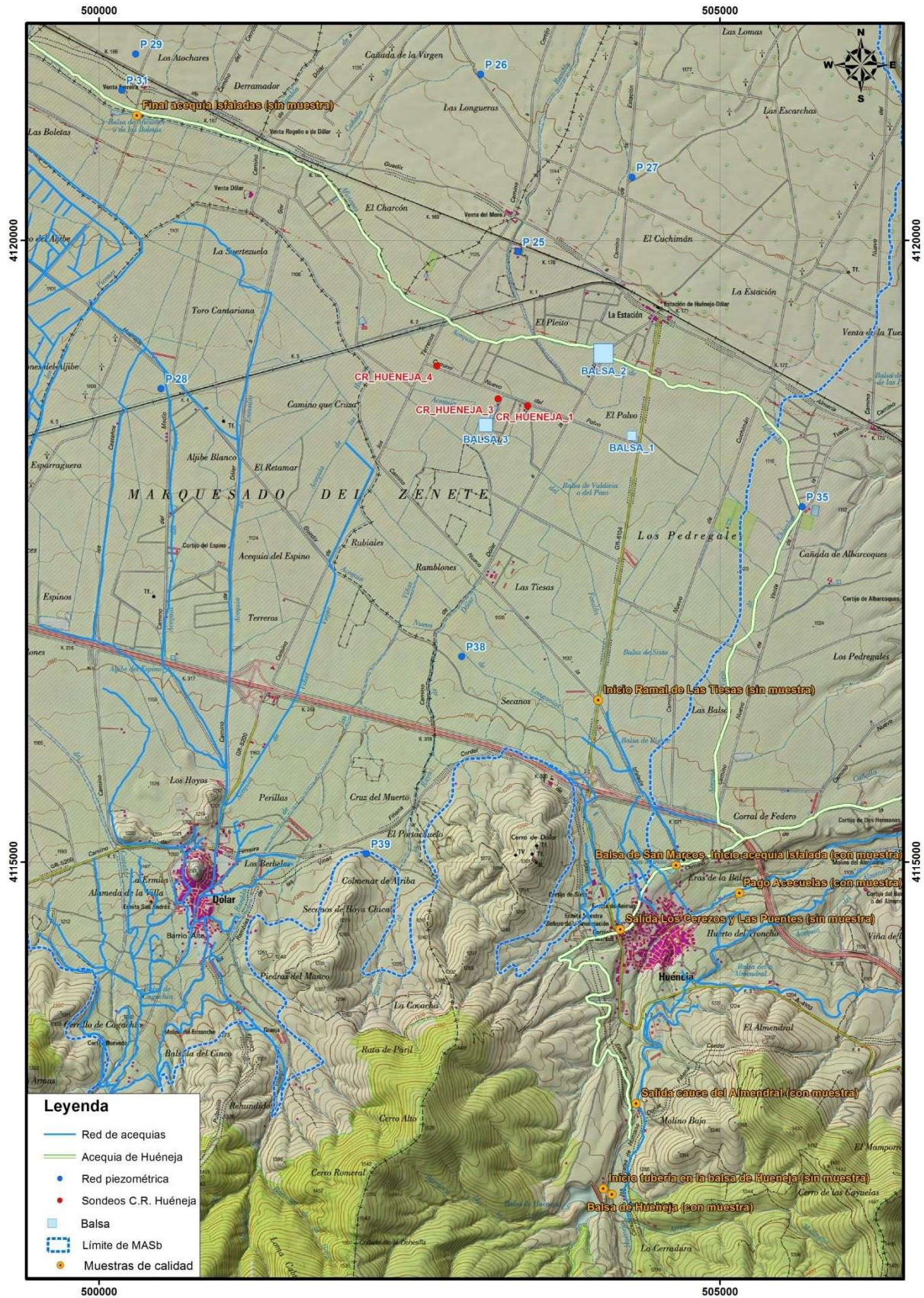


Figura 93: Trazado de la acequia de Huéneja y localización de los sondeos de la Comunidad de Regantes de Huéneja y la red piezométrica establecida para el presente estudio y puntos de toma de muestra de calidad.

En la inscripción de aprovechamiento de aguas en el T.M. de Huéneja (CHS-1983), figura que el caudal medio inscrito para abastecimiento a la población supone unos 6 l/s.

La distribución del riego queda recogida como sigue: 84000 m³ en enero; 233.100 m³ en febrero; 1.393.100 m³ en marzo; 1.555.200 m³ en abril; 1.607.020 m³ en mayo; 768.000 m³ en junio; 1.079.400 m³ en julio; 1.014.300 en agosto; 695.000 m³ en septiembre; 392.000 m³ en octubre; 231.000 m³ en noviembre y 39.900 m³ en diciembre.

Para evaluar la calidad del agua procedente del río Huéneja se han tomado muestras en diferentes puntos del trazado:

- Balsa de Huéneja.
- Salida del cauce del Almendral.
- Balsa de San Marcos (inicio de la acequia de Isfalada).
- Pago Acecuelas.

Los análisis químicos realizados muestran la calidad del agua, con bajísimos contenidos en los iones mayoritarios, ausencia de nitratos y contenido en cloruro, generalmente entre 3-4 mg/l, por lo que son aguas de excelente calidad.

Si tenemos en cuenta los m³ recogidos en la inscripción de aprovechamiento de la Comunidad de Regantes, en el periodo comprendido entre los meses de octubre-mitad de abril, se dispondría de 3.150.700 m³ (más de 3 hm³) para restituir niveles en la zona de descensos, incluyendo el área con descensos presente en la Demarcación Mediterránea (proximidades del piezómetro P35).

10.3.6 Recarga artificial mediante el agua de extracción de la Mina de Alquife

La tercera posibilidad, se relaciona con la prevista reapertura de la empresa minera Minas de Alquife, que tiene previsto comenzar de nuevo la explotación de las reservas de hierro disponibles en la zona, para lo que sería necesario deprimir los niveles piezométricos.

En este caso, parte del agua que se extraería, se podría derivar a los Llanos del Marquesado, para usos directo en regadío e industria y, de esta manera, los usuarios no tendrían que extraer agua de la

MASb Corredor de La Calahorra-Huéneja durante una época del año. Esta actuación se podría complementar con la realización de una recarga artificial, en la época invernal, en los sectores más deprimidos, con objeto de restituir con rapidez los niveles y para ello, podrían existir diferentes opciones. Algunas de estas se exponen en el siguiente mapa (figura 94).

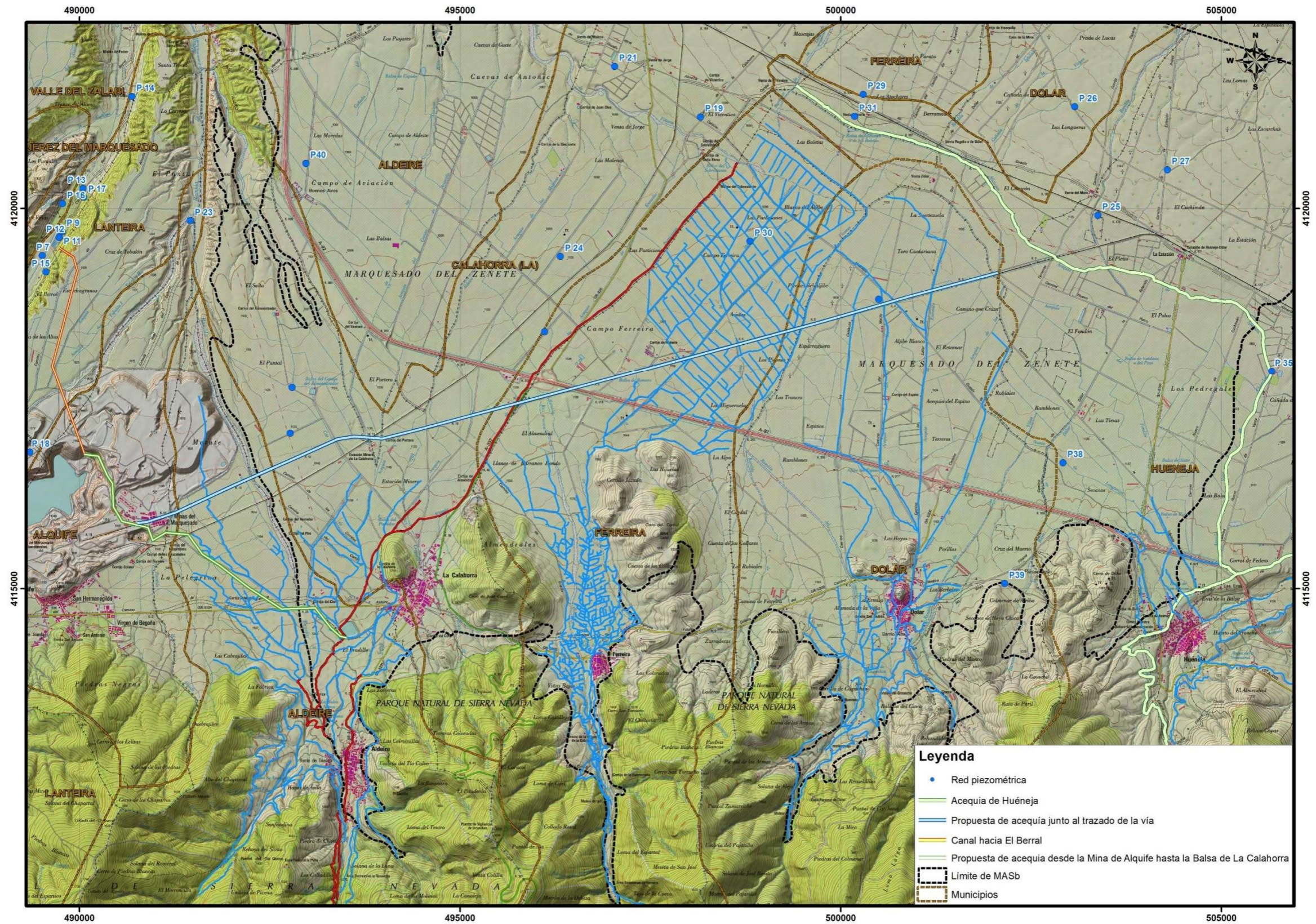


Figura 94: Distribución de acequias existentes y propuestas, con el objeto de recargar en la MASb Corredor de La Calahorra-Huéneja

En la anterior fase de explotación minera el agua extraída, alcanzaba caudales de hasta 400 l/s, para posibilitar la explotación minera. Esta era conducida a través de un canal subterráneo hasta la rambla denominada del Berral y se vertía a unas balsas con objeto de recargar y elevar la piezometría de la zona (trazado amarillo-rojo) y así introducir recursos en cabecera del área regable del río Verde (figura 95).



Figura 95: Balsas de recarga artificial en la cabecera del río Verde de Guadix 1984-1990.

En una primera fase, desde 1984, se procedió al acondicionamiento de tres balsas, logrando una superficie útil del fondo de las balsas de 5805 m² y una capacidad de 18400 m³. En una segunda fase se amplió la superficie de infiltración a 11550 m², con un volumen posible máximo almacenado de 35100 m³. A nivel experimental se comprobó que con 205 l/s durante 3 meses, se lograba generar un domo piezométrico elongado en la dirección del flujo general de más de 650 has de extensión y ascensos medios de 1,7 m de la superficie piezométrica.

Tras la experimentación, la recarga se utilizó más de 10 años, donde los regantes gestionaban la infiltración de todo el agua posible en la época invernal.

Así la mina pudo mantener su explotación hasta su cierre compensando con recarga artificial los descensos que se producían.

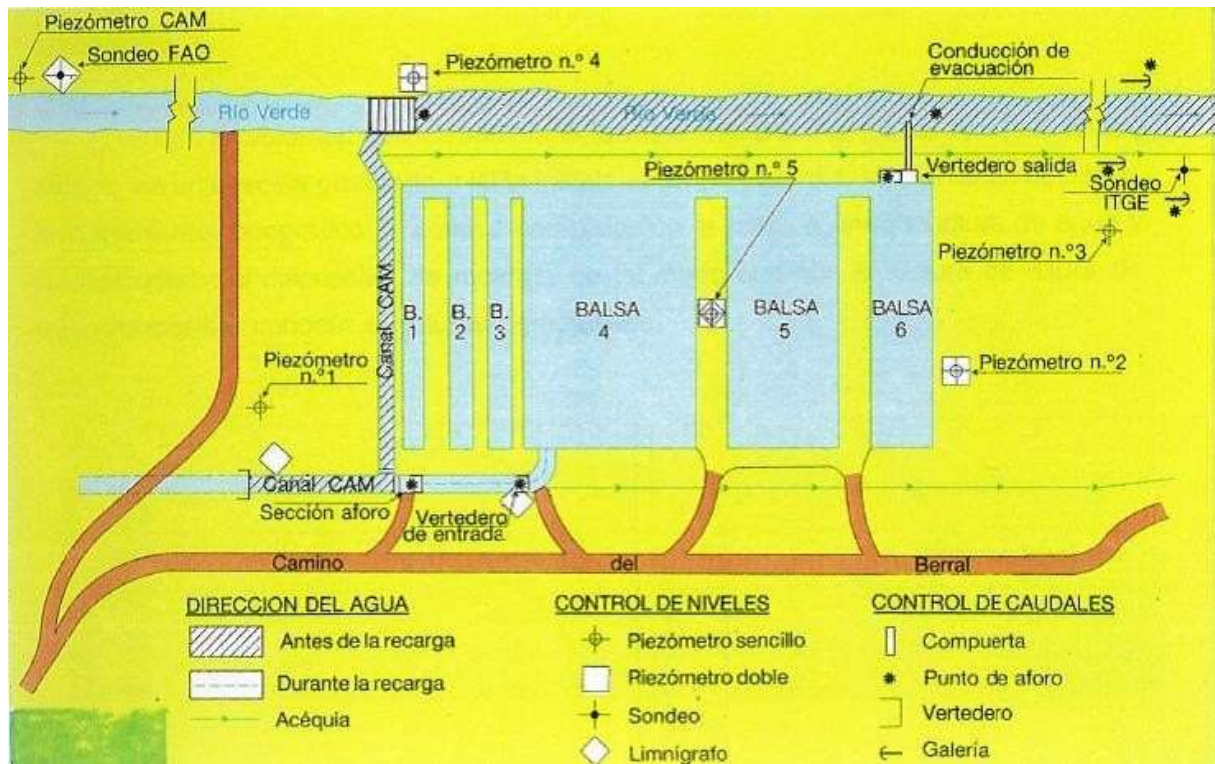


Figura 96: Esquema de funcionamiento de las balsas de recarga artificial del acuífero de Guadix, en la cabecera del río Verde.

En esta propuesta se utilizaría igualmente la balsa de regadío localizada en el municipio de La Calahorra, trazado blanco-verde de la figura 94. Parte del agua del bombeo de la mina pasaría a la balsa de regadío de La Calahorra, y desde esta, el agua circularía por el entramado de acequias (azul) que existe en la actualidad, utilizándose esta agua para riegos de los usuarios y para la recarga artificial del acuífero. El entramado de acequias se acerca hasta las inmediaciones del punto de control piezométrico P19 (rojo), piezómetro que como ya se ha mencionado presenta descensos de niveles desde la década de los setenta.

Otra posibilidad sería la construcción de un canal/acequia siguiendo el mismo trazado que la antigua vía del tren de extracción del mineral (trazado celeste-azul). El trazado de esta vía parte de una cota aproximada de 1145 m s.n.m. en las inmediaciones del pueblo minero y va disminuyendo su cota hasta los 1107 m s.n.m. a unos 2 km antes de llegar a la Estación ferroviaria de Huéneja-Dólar. Con este trazado se podría cubrir gran parte del área con problemas de la MASA de agua. Con ello se reestablecía el agua detraída al acuífero y se inyectaría en las zonas con descensos más acentuados, así como reducir el tiempo de recuperación del acuífero para alcanzar el buen estado.

10.4 CONSIDERACIONES FINALES SOBRE EL EMPLAZAMIENTO SELECCIONADO PARA LA POSIBLE RECARGA ARTIFICIAL

El área que se podría beneficiar por las operaciones de recarga artificial, beneficiaría tanto a la Demarcación del Guadalquivir (en la masa de agua del Corredor de La Calahorra-Huéneja, masa ES050MSBT000051202), como a la Demarcación Mediterránea, a la masa de agua subterránea de la Cuenca del río Nacimiento (masa de agua 060.010) en su sector occidental.

El Corredor de La Calahorra-Huéneja y el sector limítrofe de la Demarcación Mediterránea en la Cuenca del río Nacimiento, está constituido esencialmente por un conjunto de materiales detríticos de origen fluvial, denominados “Formación Guadix”, cuyo depósito tuvo lugar durante el Plioceno y Cuaternario antiguo, materiales detríticos que se encuentran rellenando una depresión intramontañosa de origen tectónico.

Dentro de los depósitos cuaternarios distinguimos, en la parte superior, el glacia de colmatación final de la Cuenca. Los glacia están formados por conglomerados más o menos cementados que presentan a techo caliches (gravas y lutitas rojas con costras calizas). Su espesor en la Cuenca alcanza potencias entre 2 y 5 m con grandes variaciones que llegan hasta 0,5 metros.

Los datos de transmisividad en la mayor parte del acuífero están comprendidos entre 10^{-3} y 10^{-4} m²/s (IGME, 1999).

10.5 SOBRE LA CALIDAD NATURAL DE LAS AGUAS DEL ACUÍFERO Y DEL AGUA DE RECARGA

Las aguas del acuífero en este sector, presentan facies bicarbonatada-cálcio-magnésica, con contenidos salinos entre 250-400 mg/l. Estas facies indica la influencia en la alimentación de agua subterránea procedente de la Sierra de Baza.

Para el posible aporte de agua para recarga desde la rambla de Benéjar, se ha tomado una muestra de calidad que se incluye en el anexo 1 (2142/2/GBE en el área de la Rosandra). El agua es de una calidad excelente con 44 µS/cm de conductividad. Señalar que esta conductividad tan baja, coincide con un aporte importante de agua del deshielo. En situación normal es algo superior.

Para el posible aporte desde el río de Huéneja, se han tomado 8 muestras, cuatro de ellas consideradas representativas. Los resultados se incluyen en el anexo (Balsa de Huéneja, Salida cauce del Almendral, Balsa de San Marcos y Pago Acecuelas) (tabla 18, figura 93 y anexo 2).

PUNTO	X	Y	Z
Balsa de Hueneja (con muestra)	504129	4112320	1266
Inicio tubería en la balsa de Hueneja (sin muestra)	504060	4112368	1225
Salida cauce del Almendral (con muestra)	504323	4113052	1198
Salida Los Cerezos y Las Puentes (sin muestra)	504197	4114451	1174
Balsa de San Marcos. Inicio acequia Isfalada (con muestra)	504646	4114972	1158
Inicio Ramal de Las Tiesas (sin muestra)	504018	4116300	1132
Final acequia Isfaladas (sin muestra)	500304	4121002	1104
Pago Acecuelas (con muestra)	505155	4114742	1182

Tabla 18: Localización de los puntos de muestreo con datos de calidad de aguas provenientes de la Cuenca del río Huéneja

Para la propuesta de la recarga con aguas de bombeo de la mina de Alquife, la calidad sería la propia del acuífero.

10.6 SOBRE EL MÉTODO DE RECARGA

En relación a la eventual recarga en la zona de los Llanos del Marquesado, la propuesta engloba 2 alternativas complementarias entre sí.

La primera de ellas correspondería con la construcción de balsas de infiltración, similares a las existentes y utilizados en su día en la Rambla del Berral (figuras 95, 96 y 97), balsas que podrían albergar tanto el agua invernal de las subcuencas de la vertiente Norte de Sierra Nevada procedentes del río Benejar como el agua procedente de la extracción del agua del acuífero en las inmediaciones de la corta minera o el agua desde el río Huéneja.

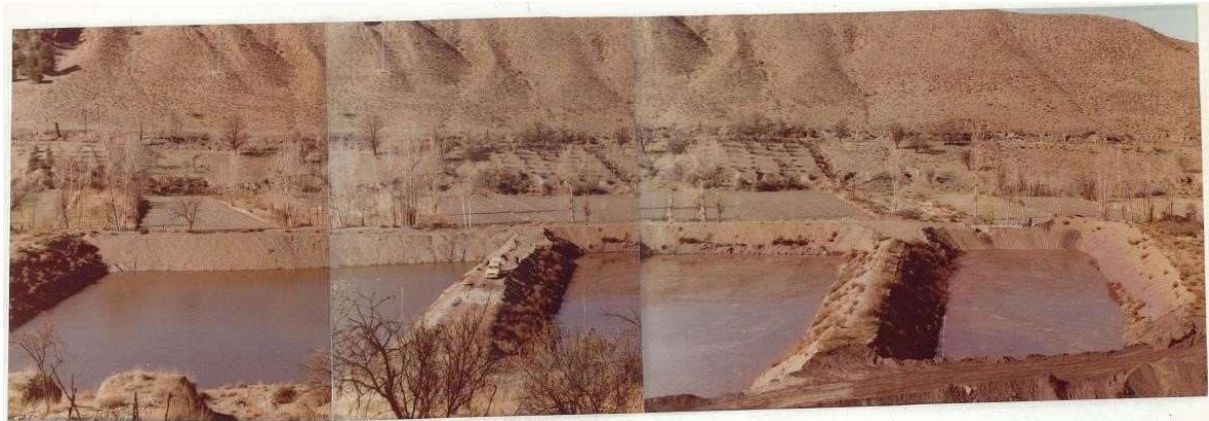


Figura 97: Vista panorámica de las balsas de recarga de Guadix realizada en su día

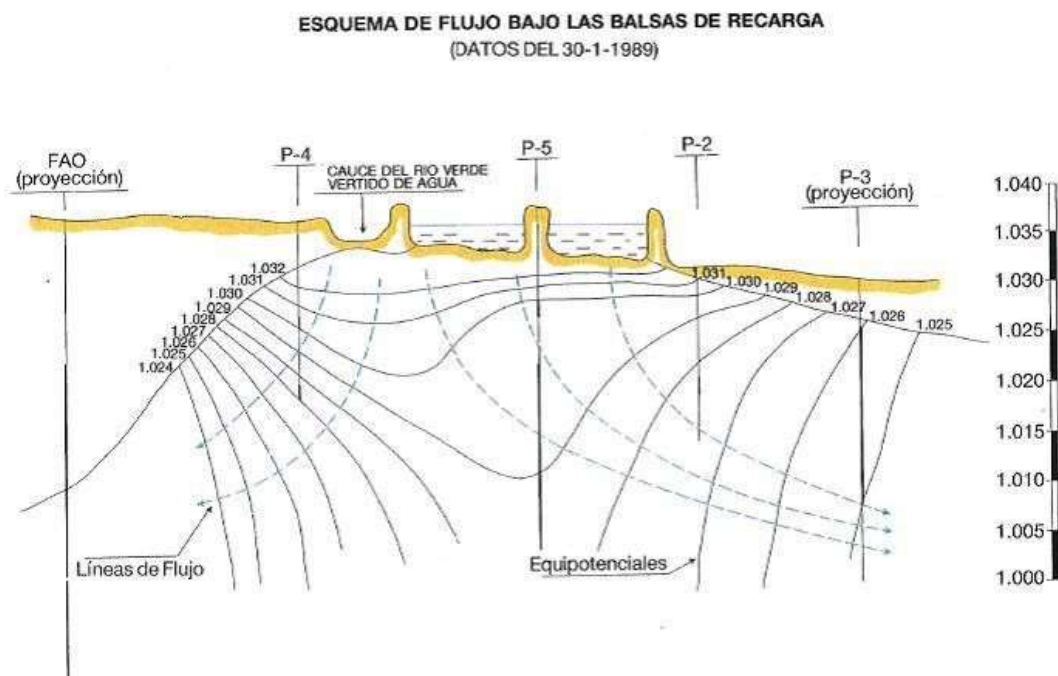


Figura 98: Esquema de flujo bajo las balsas de recarga

La otra opción propuesta sería mediante sondeos de inyección distribuidos a lo largo del trayecto de las conducciones, aunque con una mayor significación en los finales del trazado de estas conducciones, en las zonas localizadas más al Este, opción que sería necesario revisar.

Para la realización de la recarga sería necesario la toma del agua directamente del cauce, aguas arriba de la actual depuradora de Aldeire, que trata un caudal insignificante de agua (unos 6 l/s) que habría que desligar del aprovechamiento hídrico directo como recarga artificial pues condiciona y compromete la calidad del agua de recarga. Por ello habría que ejecutar un trazado, del orden de

170m, de tubería con capacidad para poder trasladar los 313 l/s durante la época invernal, cuyo coste, en principio, sería asumido por los regantes.

En el caso de la recarga mediante sondeos, es preciso que los pozos dispusieran de grupo electrobomba para permitir el bombeo periódico y la limpieza tras cada periodo de recarga con objeto de mantener en el tiempo una buena capacidad de admisión de agua, por lo que los sondeos deberían permitir el bombeo y la recarga.

Además, mediante un estudio de viabilidad previo al diseño de las operaciones de recarga, se deben estudiar las interacciones entre el agua de recarga y el agua del acuífero y la posible incidencia de la matriz sólida del acuífero: grado de mineralización, conductividades, subsaturación en minerales a temperatura del agua del acuífero, composición de la matriz del acuífero, etc.

11 SOBRE EL MODELO GEOLÓGICO 3D DEL SECTOR MERIDIONAL DE LA CUENCA DE GUADIX.

11.1 JUSTIFICACIÓN

En esta memoria se presenta el modelo 3D construido para el sector meridional de la cuenca de Guadix (MAS 05.12 Guadix-Marquesado). Su estudio está contemplado dentro del convenio de colaboración (2012-2015) entre el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) denominado: “Investigación hidrogeológica sobre masas de agua subterránea con problemas de explotación en la Cuenca del Guadalquivir. Propuesta de uso sostenible (Alto Guadalquivir)”.

La caracterización de la geometría de este acuífero, mediante la realización del modelo 3D, es de gran utilidad para evaluar de forma precisa las reservas hídricas. Así mismo, constituye el marco geométrico sobre el que realizar modelos matemáticos de flujo en el futuro.

11.2 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA

La zona de estudio (Fig. 99) se encuentra localizada en la parte más suroccidental de la Depresión de Guadix-Baza, una cuenca intramontaña localizada en el límite entre las Zonas Internas y las Zonas Externas del sector central de la Cordillera Bética.

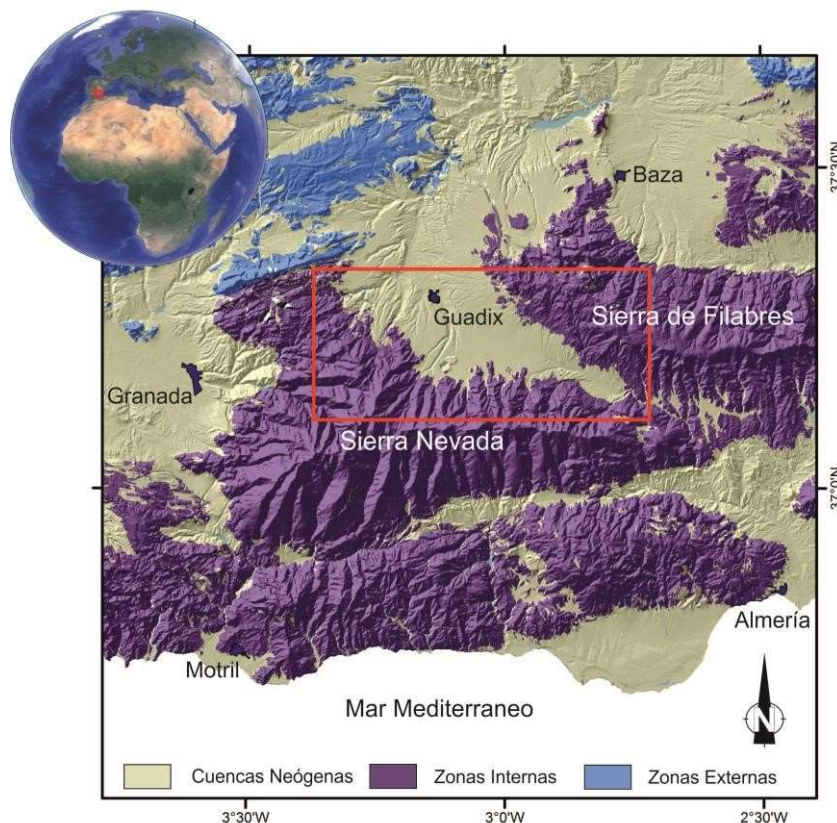


Figura 99: Localización de la zona de estudio en el contexto de la Cordillera Bética.

El sector meridional de la cuenca de Guadix está limitado por dos grandes antiformas (Sierra Nevada, al S-SO, y la Sierra de Baza, al noreste), que se han desarrollado como consecuencia de la convergencia

NO-SE a N-S de las placas Euroasiática y Africana desde el Serravaliense-Tortonense inferior. Dichas sierras están constituidas por rocas metamórficas pertenecientes a las Zonas Internas de la Cordillera Bética.

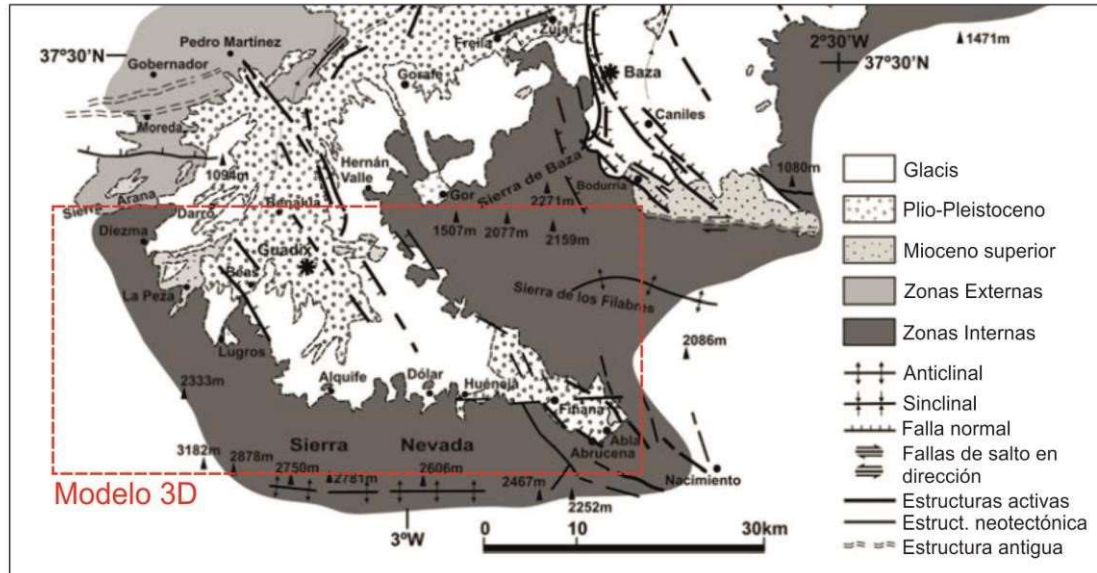


Figura 100: Mapa geológico de la cuenca de Guadix en el que se ha señalado la zona de estudio (modificado de Sanz de Galdeano et al., 2007).

Las unidades estratigráficas que afloran en la zona de estudio son, de muro a techo:

- Complejo Nevado-Filábride: constituido principalmente por micaesquistos y cuarcitas con algunos niveles de mármoles en la parte superior de la serie. Estos materiales comprenden edades principalmente paleozoicas.
- Complejo Alpujárride: de edad permo-triásica y dos litologías bien diferenciadas, una inferior constituida en su mayoría por filitas, pasadas cuarcíticas y en ocasiones niveles conglomeráticos, y una superior carbonatada (calizas dolomíticas y dolomías).
- Sobre ambos complejos, la sucesión estratigráfica de los materiales de relleno de la cuenca (Fig.100; Soria et al.1998) están formados por:
 - Una **unidad basal de edad Mioceno superior** constituida por margas blanquecinas en su mayoría, aunque también presenta localmente areniscas bioclásticas. Sus afloramientos son discontinuos y discordantes sobre los complejos Nevado-Filábride y Alpujárride.
 - Sobre ella se sitúa un paquete continuo de **rocas sedimentarias subhorizontales (PliocenoPleistoceno)** y discordantes sobre términos de diferentes edades. Pueden diferenciarse dos unidades litoestratigráficas: la primera se denomina “Formación Guadix” y es de carácter detrítico y de origen fluvial (sucesión rítmica de arenas conglomerados y lutitas), mientras que la segunda, denominada “Formación Baza”, se encuentra interdigitada con la anterior y está constituida fundamentalmente por calizas, margas, limos y arenas.

- El último tramo de relleno de la depresión (Plio-cuaternario) está constituido por un **conglomerado de cantos de caliza y roca metamórfica (Glacis)** englobados en una matriz arcillosa, a veces cementada por carbonatos. Su potencia es muy variable y aumenta considerablemente hacia los bordes de la cuenca. En esta unidad se engloban también los **depósitos cuaternarios** más recientes depositados en relación con la red hidrográfica actual.

La Formación Guadix constituye el acuífero principal de la masa de agua Guadix-Marquesado. Estos sedimentos están representados en toda la masa de agua aunque cubiertos, en su mayor parte, por los depósitos de glaciares con los que existe una conexión hidráulica directa. La parte más importante del acuífero se localiza al sur, al pie de Sierra Nevada, donde dominan los conglomerados y las arenas, frente a los sedimentos más finos que van tomando más importancia hacia el norte. El relleno sedimentario está deformado principalmente por fallas normales de dirección NO-SE (Sanz de Galdeano et al., 2012).

En la parte central de la cuenca se produce conexión directa de estos depósitos con los materiales permeables miocenos subyacentes (calcarenitas, fundamentalmente). Hacia los bordes sur y sureste, la formación Guadix está en conexión con las calizas alpujárrides y los mármoles del complejo Nevado-Filábride. El sustrato impermeable del acuífero pliocuaternario lo constituyen principalmente los materiales miocenos impermeables, los niveles de filitas y cuarcitas de los términos inferiores del Complejo Alpujárride, y los micaesquistos del complejo Nevado Filábride.

El carácter endorreico y la fase de relleno en la cuenca de Guadix-Baza finalizaron cuando la red hidrográfica atlántica (río Guadiana Menor y afluentes, tributarios del Guadalquivir) contactaron, por erosión remontante, con su borde norte. A partir de ese momento, comenzó la fase erosiva, debido al más bajo nivel de base impuesto. Posteriormente, la red hidrográfica mediterránea también contactó con la cuenca por sus extremos orientales (red del Almanzora en la cuenca de Baza y red del río Nacimiento en la de Guadix).

11.3 METODOLOGÍA

En la elaboración del modelo geológico 3D se han utilizado principalmente los programas *3D GeoModeller* y *Gocad*. Estos programas permiten integrar de manera fácil y gráfica todos los datos existentes en un determinado sector: información cartográfica y estructural de detalle, datos geofísicos (gravimetría; magnetometría; sísmica de reflexión; SEVs; TDEM; Tomografías eléctricas) e información litológica procedente de sondeos.

11.4 ELEMENTOS DEL MODELO. SUPERFICIES DE REFERENCIA Y FALLAS

En el proceso de construcción de un modelo geológico 3D es esencial la definición de las superficies de techo y muro de las unidades que se van a modelizar, así como de las principales fallas que cortan dichas unidades. En el sector meridional de la cuenca de Guadix se ha diferenciado la base del relleno sedimentario neógeno y un total de 9 fallas. Los datos utilizados para la elaboración del modelo 3D se detallan en la tabla 19 y están representados en la figura 101.

Tipo	Datos	Descripción	Fuente
------	-------	-------------	--------

Datos De Superficie	Cartografía geológica	Hojas MAGNA: 992, 993, 994, 1010, 1011, 1012, 1027, 1028, 1029. Trabajo de campo para este proyecto.	Cartografía Magna y Fotointerpretación Observaciones de campo
	Datos estructurales	Datos cinemáticos en fallas	Observaciones de campo
	MDT	MDT (5x5 m)	IGN
Datos De Subsuelo	Sondeos	319	IGME Informes Mina de Alquife
	SEVs	348	Informes IGME-FAO
	TDEMs	17	Informes Mina de Alquife
	Tomografías eléctricas	3 perfiles	Informes Mina de Alquife
	Gravimetría	714 estaciones de medida	Sanz de Galdeano et al., 2007

Tabla 19. Datos de superficie y subsuelo utilizados para la construcción del modelo geológico 3D del sector meridional de la cuenca de Guadix.

Conocer la distribución de estos datos nos da información acerca de la calidad y fiabilidad del modelo en los diferentes sectores. Zonas con una mayor densidad de datos indican una menor incertidumbre y un mejor ajuste del modelo 3D con la realidad.

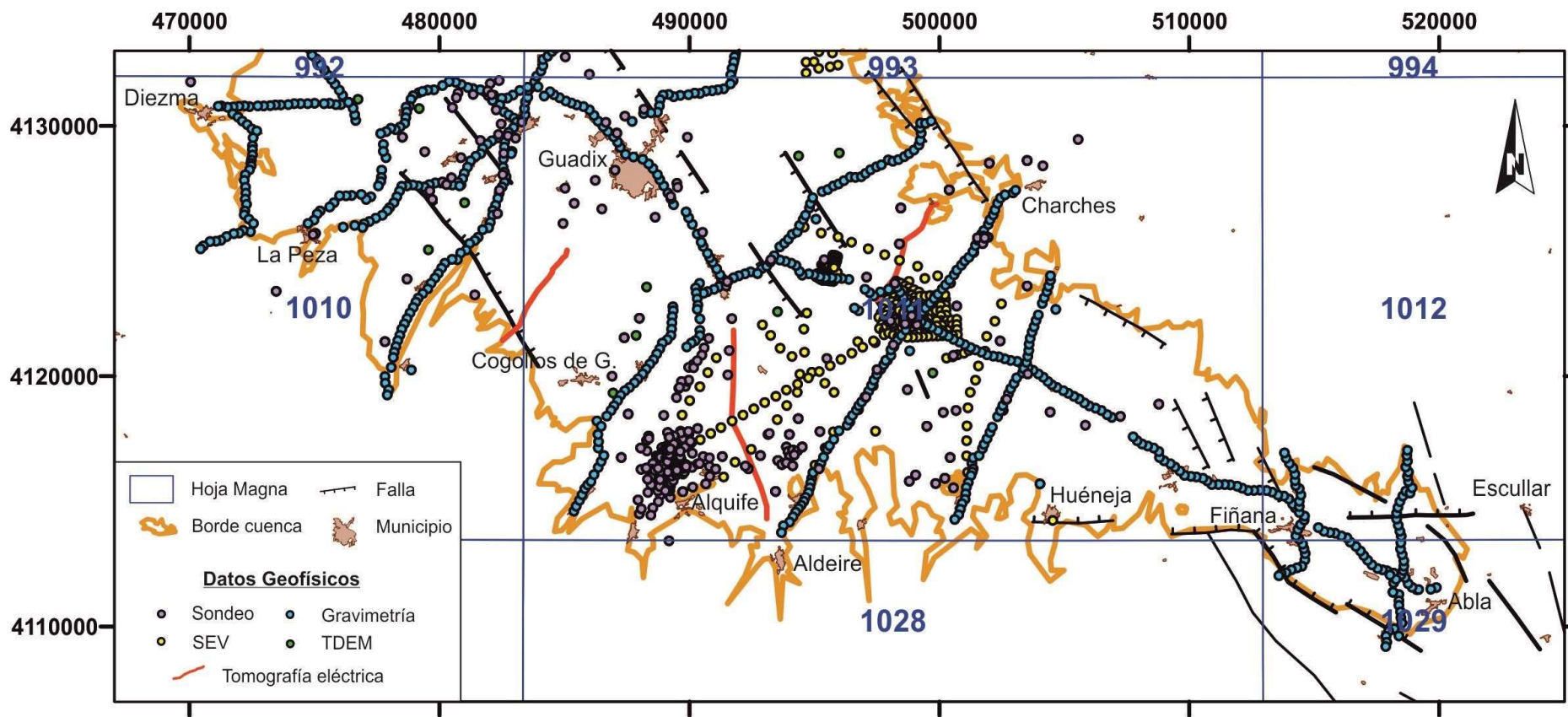


Figura 101. Distribución de datos de superficie y subsuelo utilizados para la construcción del modelo geológico 3D del sector meridional de la Cuenca de Guadix.

Los datos de superficie que se han utilizado para la elaboración del modelo 3D han sido principalmente los contactos litológicos entre el relleno neógeno y el basamento metamórfico, así como los contactos de falla. Estos datos provienen, en su mayor parte, de la cartográfica geológica previa del IGME y de observaciones directas en campo realizadas para este trabajo.

Se ha utilizado además, la información proporcionada por las columnas litológicas de 318 sondeos realizados para captación de aguas subterráneas o con fines mineros. La profundidad media de los sondeos es de unos 165 metros mientras que la profundidad máxima alcanzada es de 350 metros. Esta información ha sido analizada y recopilada por el IGME e incluye:

- Sondeos realizados por el Instituto Geológico y Minero de España IGME (1974) en el contexto de investigaciones relacionadas con el Plan Nacional de la Minería.
- Sondeos hidrogeológicos (columnas litológicas y constructivas de los piezómetros, pozos de gravedad y pozos de bombeo) de la base de datos del IGME.
- Sondeos mineros realizados por la Compañía Andaluza de Minas C.A.M., para la investigación del Permiso Esperanza (1984-1985).
- Sondeos mineros también realizados por la C.A.M., para la investigación del Permiso Ampliación a Esperanza (1984-1985).

También se han incorporado al modelo geológico 3D gran cantidad de datos geofísicos. Hay que señalar, principalmente, una campana gravimétrica realizada por Sanz de Galdeano et al. (2007) en la Cuenca de Guadix-Baza y recogida en la base de datos gravimétrica de Topolberia (Ayala, 2013). Se han seleccionado un total de 714 estaciones de medida. Con estos datos se ha realizado una inversión gravimétrica 3D que ha permitido ajustar mejor el modelo geológico en los sectores en los que existía menos información previa de la profundidad de basamento.

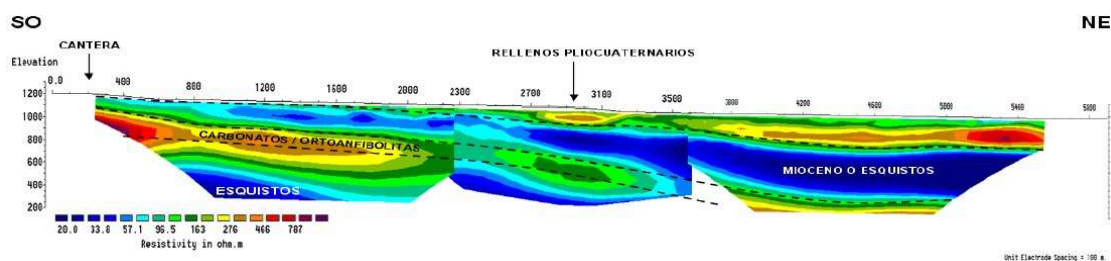


Figura 102. Perfil de tomografía eléctrica profunda TEP-G3.

Además se han integrado un total de 3 perfiles de tomografía eléctrica profunda (Fig.102) y 17 sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo (TDEMs; Fig. 103) realizados para el proyecto “Investigación del comportamiento y propuesta de aprovechamiento de las unidades hidrogeológicas de la comarca de Huescar-Baza”. Así mismo, se han interpretado un total de 348 sondeos eléctricos verticales (SEVS) distribuidos en 14 perfiles geoelectrónicos. Estos perfiles se realizaron en diferentes

campañas de prospección minera y se encuentran localizados principalmente en el sector central de la zona de estudio.

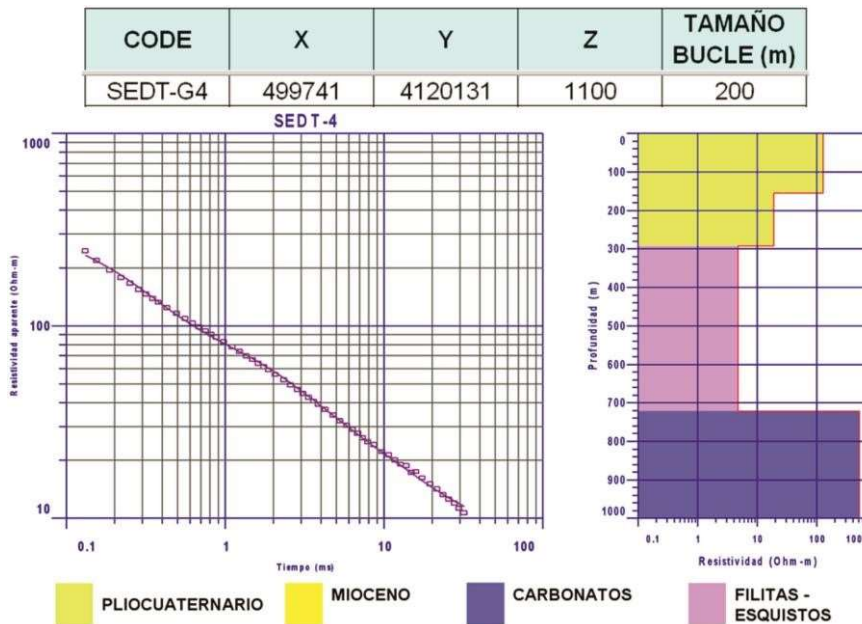


Figura 103. Sondeo electromagnético en el dominio del tiempo SEDT-G4. A la derecha se muestra la interpretación geológica: en amarillo el relleno de la cuenca; en rosa las filitas/ esquistos del basamento; en morado los mármoles del basamento. En el modelo no se ha hecho diferenciación entre estas dos últimas unidades pertenecientes a las Zona Internas.

11.5 SOFTWARE UTILIZADO EN LA MODELIZACIÓN 3D

En este apartado se hace una breve descripción de los principales programas utilizados para la construcción del modelo geológico 3D.

3D Geomodeller

Software que permite la construcción de modelos geológicos complejos en 3 dimensiones (fallas, pliegues, estratos invertidos, intrusiones, etc.). Para ello utiliza datos geológicos de superficie y subsuelo y luego aplica un algoritmo geoestadístico para obtener una solución satisfactoria (Fig. 104). Además, el programa impone al modelo condiciones geológicas (serie estratigráfica, relaciones de discordancia, relaciones de corte entre fallas, salto en las fallas, etc). 3D Geomodeller considera que la estratificación y las fallas corresponden a superficies en el espacio 3D análogas a las de los campos potenciales. Mientras que los contactos son isovalores del campo potencial, los buzamientos son gradientes de ese campo.

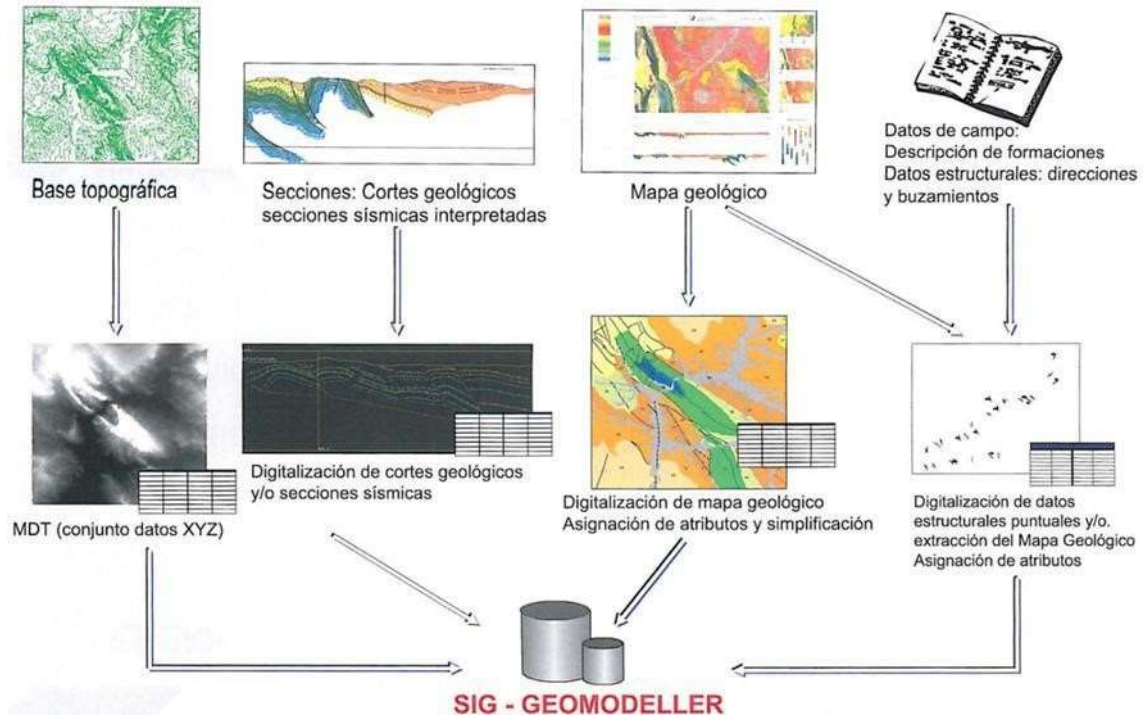


Figura 104. Elementos de entrada utilizados para realizar el modelo geológico 3D con el programa 3D Geomodeller.

El algoritmo de interpolación de este programa es el “*cokriging*”. El cokriging equipotencial (puntos de contacto de las unidades geológicas) y sus derivadas (datos de orientación) proporcionan una función espacial 3D de la superficie que se quiere modelizar. Este programa se ha utilizado, en una primera fase, para construir el modelo 3D preliminar y, en una segunda fase, para realizar la inversión gravimétrica 3D (Fig. 105) que ha permitido refinar el modelo en los sectores en los que había menos cantidad de información.

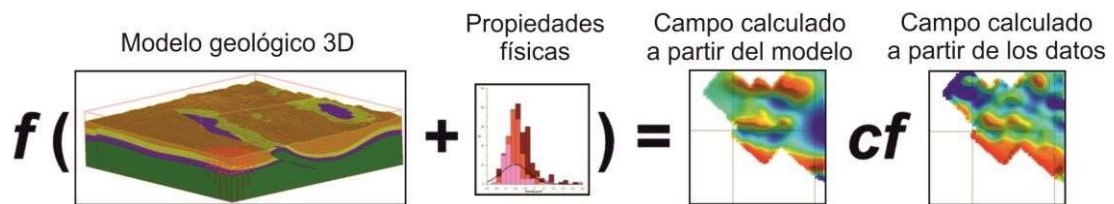


Fig. 105. Diagrama de flujo del software Geomodeller utilizado en la realización de la inversión gravimétrica 3D.

Gocad

Gocad (Geological Objects Computer Aided Design) es un programa de modelización geológica 3D que está formado por diversos módulos que permiten modelizar propiedades petrofísicas y facies litológicas. También es posible incorporar líneas sísmicas, sondeos y diagrfías. En este proyecto se ha utilizado principalmente para visualizar el modelo 3D generado en Geomodeller y realizar los mapas de profundidad de basamento y espesor del relleno sedimentario.

ArcGis

Sistema de información geográfica orientado a la gestión y explotación de la información espacial. En este proyecto se ha utilizado ArcGis para la gestión de la información geográfica (sondeos, cartografía geológica, posición de los datos geofísicos, etc.) y para la exportación de los contactos geológicos y buzamientos como datos de entrada al modelo en el programa *3D Geomodeller*.

11.6 RESULTADOS

El modelo geológico 3D del sector meridional de la Cuenca de Guadix (Fig. 106) se ha construido a partir de la integración de datos de superficie (cartografía y buzamientos) y de subsuelo (sondeos, gravimetría, SEVs, TDEMs y tomografía eléctrica). Esta metodología, aplicada con frecuencia en la prospección de hidrocarburos y de investigación minera, es novedosa en el estudio de la geometría de acuíferos y será de gran utilidad para evaluar de forma precisa sus reservas hídricas. También será el marco geométrico sobre el que se podrán realizar futuros modelos matemáticos de flujo.

El área incluida en el modelo geológico 3D cubre más de 1.500 km². Debido a la complejidad estructural del basamento se ha optado por modelizar el sector meridional, del que hay una mayor cantidad de datos geofísicos y en el que el basamento está constituido exclusivamente por las Zonas Internas. Además, para la elaboración del modelo, se ha considerado una única unidad dentro del relleno sedimentario de la cuenca de Guadix, ya que ni los datos de sondeos disponibles ni las propiedades geofísicas de los sedimentos permiten diferenciar más unidades. Además, se han definido 9 fallas principales.

La fiabilidad de cualquier modelo 3D tiene relación directa (entre otros factores) con el número de datos utilizados y con su distribución espacial. Por tanto, en aquellas regiones donde existan más datos, la semejanza del modelo con la realidad será mayor que en los sectores donde estos sean escasos y el modelo esté más condicionado por la interpretación del modelizador. En el sector estudiado, esta falta de información es relevante en el extremo SE de la cuenca (donde no existen columnas litológicas de sondeos) o en el sector central de ésta (donde los sondeos no llegan a cortar el basamento de las Zonas Internas). Para subsanar esta limitación, tras la obtención de un modelo geológico 3D preliminar con un grado de ajuste satisfactorio, se ha procedido a la realización de una inversión gravimétrica 3D.

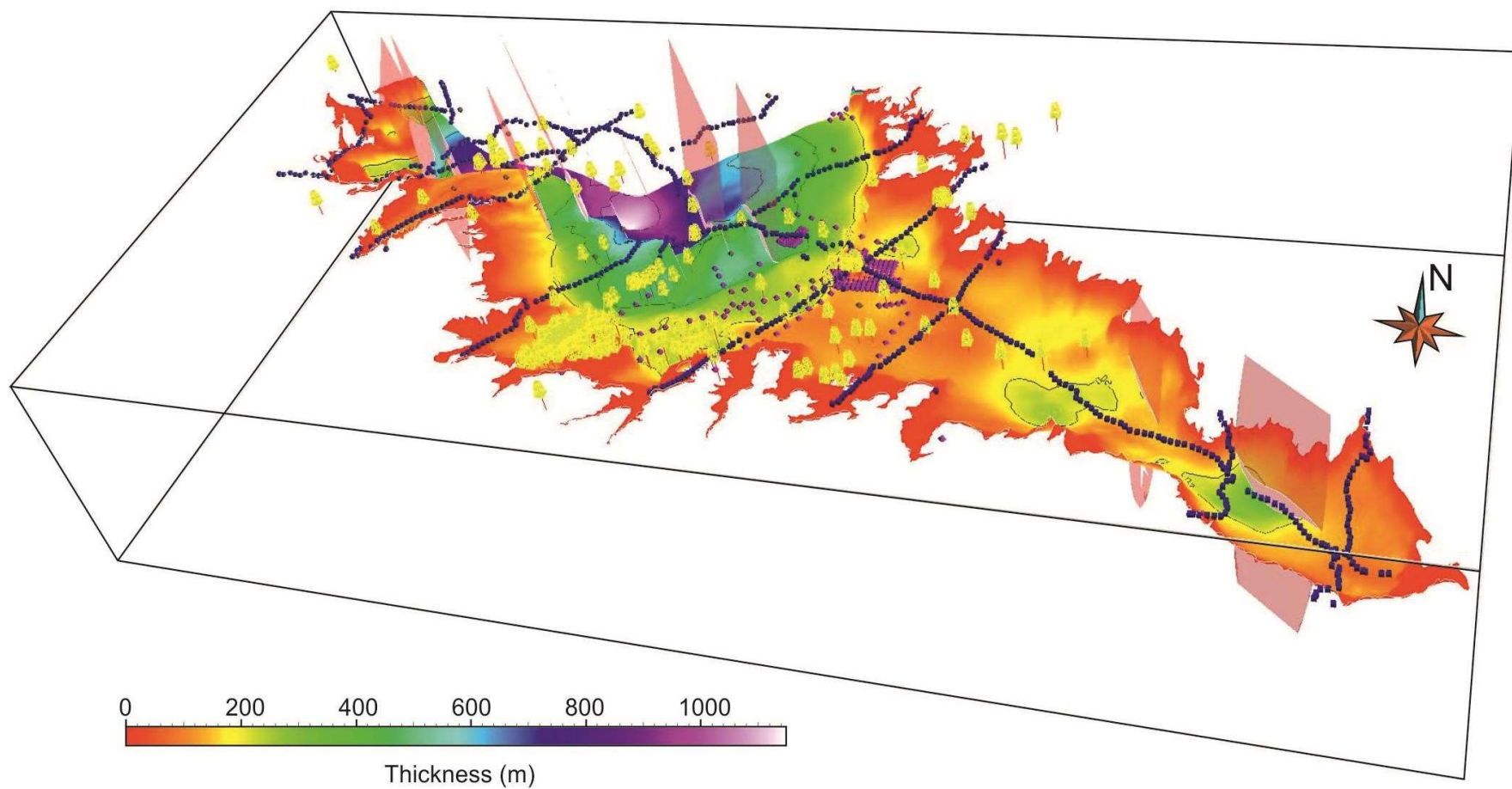


Figura 106. Vista 3D del modelo geológico del sector meridional de la cuenca de Guadix. Están representadas las fallas modelizadas (superficies rojas), los sondeos (en amarillo), estaciones gravimétricas (en azul oscuro), SEV (en rosa) y los TDEM (en marrón). La localización geográfica del bloque diagrama está señalada en la figura 2).

Se han procesado un total de 714 estaciones gravimétricas (Fig. 101), distribuidas en diversos perfiles que cubren la zona de estudio. Para la obtención de la anomalía de Bouguer se ha utilizado una densidad de reducción de 2.67 g/cm^3 y el Sistema Geodésico de Referencia GRS67. El cálculo de la anomalía regional se ha realizado mediante el ajuste de la anomalía de Bouguer a una superficie polinómica de segundo grado. La anomalía residual, obtenida tras restar la anomalía regional a la anomalía de Bouguer, ha sido modelizada y ha permitido establecer el espesor del relleno sedimentario. Para obtener el valor medio de densidad del relleno sedimentario de la cuenca se ha realizado una inversión gravimétrica 3D previa en un sector del modelo geológico en el que está bien establecida la geometría del relleno por la presencia de numerosos sondeos que cortan al basamento. El valor de densidad obtenido es de 2.30 g/cm^3 .

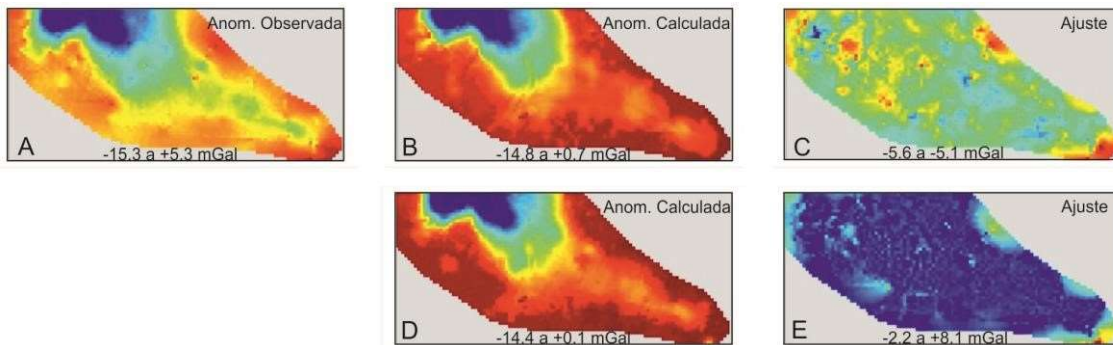


Figura 107. Resultados de las anomalías calculadas mediante Forward modelling 3D y la Inversión 3D. A) Anomalía residual observada a partir de las medidas de campo; B) Anomalía residual teórica calculada a partir del modelo geológico 3D inicial; C) Diferencia entre la anomalía A y B; D) Anomalía residual teórica obtenida a partir de la inversión 3D; E) Diferencia entre la anomalía A y D.

Una vez conocida la densidad del relleno sedimentario, se obtuvo la respuesta gravimétrica del modelo geológico 3D preliminar mediante modelización directa o “forward modelling”, con el objeto de comparar dicho resultado con los datos gravimétricos medidos en campo y ver los sectores en los que había un peor ajuste (Fig. 107A, B y C). Localizados dichos sectores, se realizaron cambios en el modelo de forma manual hasta que la anomalía calculada a partir del modelo geológico era similar a la gravedad observada (ensayo y error).

Una vez obtenido un modelo que se ajustaba grosso modo a la anomalía residual, los valores de anomalía se terminaron de ajustar de manera automática mediante un algoritmo de inversión gravimétrica 3D (Fig. 107A, D y E). Para ello, Geomodeller efectúa de manera automática ajustes en el modelo para minimizar la diferencia entre la anomalía observada y calculada. El programa utiliza un cálculo estadístico basado en el método de Monte Carlo, con lo que se obtiene un rango de modelos con su probabilidad correspondiente, eligiéndose el más consistente con las observaciones y datos geológicos y geofísicos disponibles. Se ha dejado libertad para que durante la inversión varíen tanto la densidad (dentro de los límites de la desviación típica especificada) como, por supuesto, el espesor del relleno sedimentario.

El resultado de la inversión gravimétrica 3D es un nuevo modelo geológico 3D cuya respuesta gravimétrica se ajusta a la observada en campo y es resultado de la integración de todos los datos señalados anteriormente. Este nuevo modelo tiene un formato de malla 3D (Fig. 108).

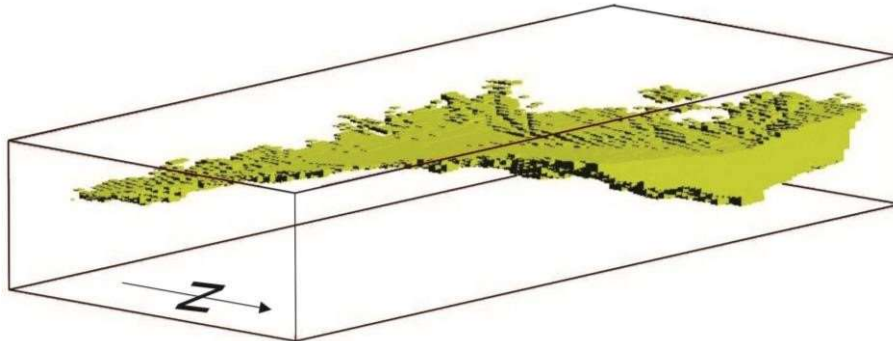


Figura 108. Modelo voxet de salida realizado a partir de la inversión gravimétrica 3D en Geomodeller.

Del modelo geológico realizado se deduce que el principal depocentro de la cuenca, o máxima acumulación de sedimentos, está situado en su sector central (Fig. 109), con un espesor máximo de sedimentos de 1100 metros. Su geometría está controlada por fallas normales de dirección NO-SE, mientras que hacia el sur la geometría de la base de la cuenca muestra una pendiente o buzamiento gradual. En el modelo 3D se observa que las fallas desplazan el techo del basamento centenares de metros, mientras que en superficie, usando los materiales cuaternarios como marcadores, lo que se observa es que el salto de las fallas se reduce a una decena de metros. Este hecho indica que las fallas se desarrollaron fundamentalmente durante la sedimentación de la cuenca, en el Mioceno superior-Plioceno, y que han sido activas hasta el cuaternario.

En el límite SE de la cuenca, sector de Abla-Fiñana, existe un segundo depocentro menos pronunciado (~300 metros), también relacionado con la existencia de fallas normales. Ambos depocentros están separados por un alto de basamento en el sector central del área estudiada, donde la cuenca alcanza un espesor de unos 150 metros.

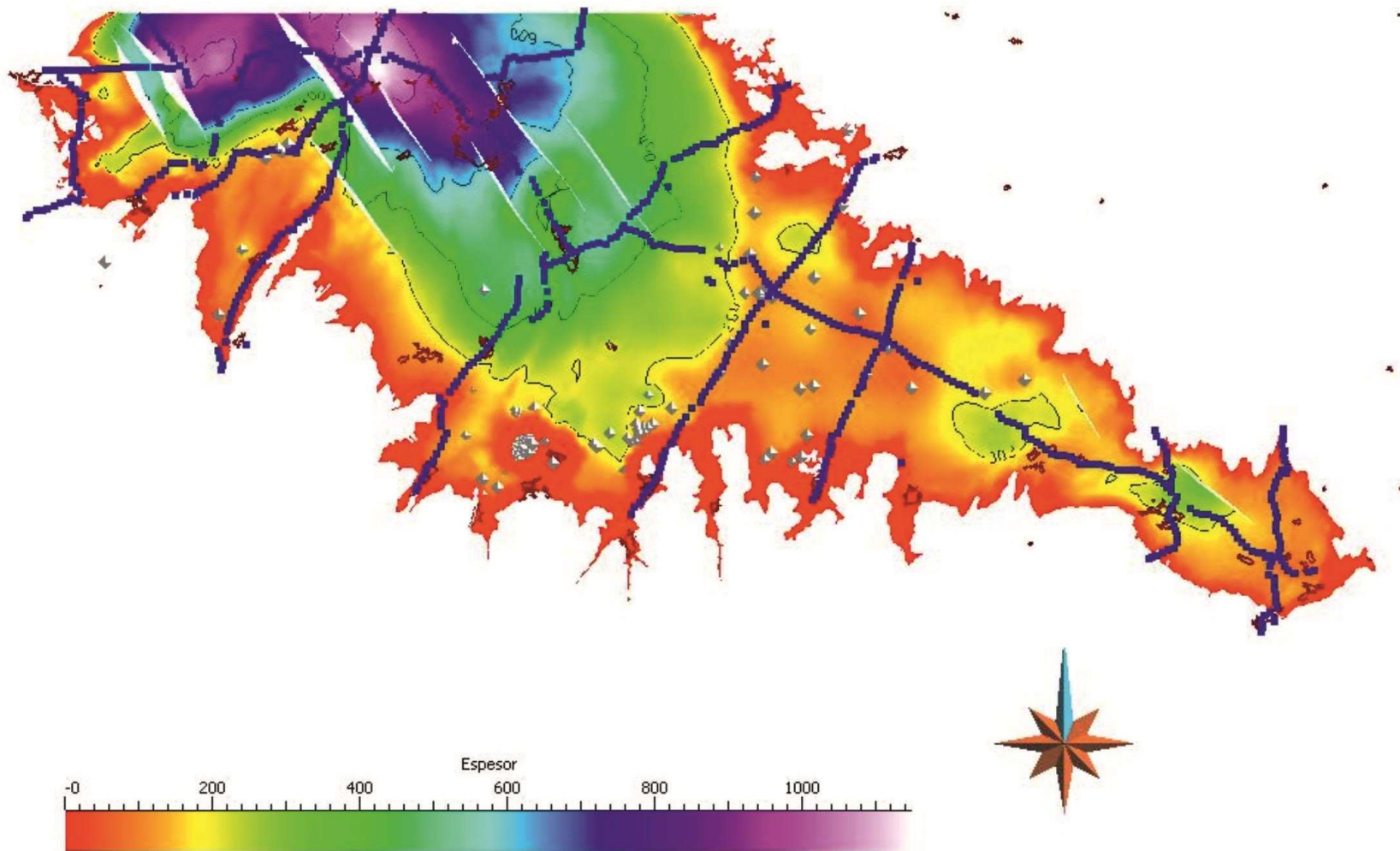


Figura 109. Mapa de isobatas sobre el nivel del mar del relleno sedimentario del sector meridional de la Cuenca de Guadix. Las estaciones gravimétricas (cubos azules), los sondeos (rombos blancos) y los principales pueblos (contornos marrones) están representados en la figura.

11.7 CONCLUSIONES

1. Se ha construido un modelo geológico 3D a partir del análisis de toda la información de superficie y de subsuelo disponible. La metodología aplicada permite visualizar e **integrar un gran volumen de datos** cartográficos (dirección y buzamiento de la estratificación, cartografía de contactos y cinemática de fallas), de sondeos y geofísicos (SEV, TDEM, tomografía eléctrica y gravimetría).
2. El **modelo geológico 3D** obtenido para el sector meridional de la Cuenca de Guadix presenta un buen ajuste con todos los datos disponibles, tanto de superficie como de subsuelo. Se ha modelizado la base del relleno sedimentario y 9 fallas principales, que deforman mayoritariamente el sector central de la cuenca. En esta zona está localizado el principal depocentro, con espesores de sedimentos de 1100 metros. Se observa otro depocentro secundario (300 m) en la terminación SE de la cuenca, separado del anterior por un alto de basamento (150 m de relleno sedimentario).
3. Las regiones con una mayor incertidumbre dentro del modelo geométrico 3D son la terminación SE y el sector central, debido a la falta de sondeos o a su poca profundidad. La inversión gravimétrica 3D ha permitido mejorar la geometría de estas zonas a partir del ajuste de la anomalía residual. Finalmente, se puede concluir que respecto a la **calidad del modelo 3D**, este es fiable y se ajusta bien a los datos disponibles.
4. A partir de la mejora que supone conocer la geometría 3D del acuífero, se pueden derivar **implicaciones en relación a su modelo de funcionamiento** y las relaciones laterales con otros acuíferos de la región. Teniendo como base el modelo 3D, es posible realizar mapas de isobatas y cortes geológicos en cualquier dirección del espacio. Así mismo, será de gran utilidad para evaluar de forma precisa las reservas hídricas del acuífero y como marco para realizar futuros modelos matemáticos de flujo.

12 RECOMENDACIONES PARA LA EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE DE LA MASA DE AGUA CORREDOR

DE LA CALAHORRA-HUÉNEJA

El balance de la antigua masa 05.12 Guadix-Marquesado fué actualizado tras la realización del informe sobre modelización matemática (ITGE-CHG, 1997) y el informe (IGME-JA, 2000) tanto en lo que se refiere al tratamiento climatológico e infiltración, como a las aportaciones procedentes de la escorrentía de la vertiente norte de Sierra Nevada y de la masa de agua subterránea limítrofe de la Sierra de Baza Occidental.

Existen dificultades inherentes a la cuantificación de recargas y descargas, debidas a las grandes variaciones pluviométricas interanuales, lo que conlleva cierta incertidumbre a la hora de adoptar una cifra única para la estimación de las aportaciones superficiales.

El balance que aquí se presenta, de la MASb Corredor de la Calahorra-Huéneja (tabla 20), parte de los datos reflejados en el balance recogido Normas (IGME-CHG, 2001), en el "Informe sobre modelización matemática del acuífero de Guadix (ITGE-CHG, 1997) y de los trabajos sobre la sostenibilidad del acuífero realizados en el marco del Convenio de Colaboración IGME-CHG (20122017); si bien las

extracciones por bombeo han sido actualizadas a partir de la nueva información facilitada por CHG. Para el cálculo de la infiltración por agua de lluvia se ha utilizado la delimitación de los polígonos de Thiessen recogidos en el informe (IGME-Junta de Andalucía, 2000).

Entradas	Volumen (hm³)
Infiltración de agua de lluvia (1)	4
Transferencia subterránea desde la MAS Sierra de Baza Occidental (3)	1,5
Infiltración directa de cauces (2) (5)	0,81
Pérdidas de acequias y retornos de riego (2) (5)	1,12
TOTAL ENTRADAS	7,43
Salidas	Volumen (hm³)
Salidas por Bombeos (4)	1,10
Salidas subterráneas a la vecina masa de Guadix	6,28
Salidas subterráneas a manantiales	0,05
TOTAL SALIDAS	7,43

Tabla 20. Balance hidrogeológico de la MASb 51.202 Corredor de la Calahorra-Huéneja

- (1) Se ha utilizado la lluvia útil y la delimitación de los polígonos de Thiessen recogidos en el informe (IGME-Junta de Andalucía, 2000).
- (2) Estimado, tomando como partida los grandes cambios sufridos en el sistema de riego sobre la masa de agua. Se ha modernizado, tanto la red de acequias, impermeabilizándola, que recorre gran parte de la masa de agua, como la modernización del riego por goteo que disminuye notablemente los retornos de riego. Además señalar la notable reducción de caudales procedentes de los diferentes cauces.
- (3) Estimado en base al informe (IGME-CHG, 2001).
- (4) Datos facilitados por la CHG. Se estima que los bombeos deben de ser mucho mayores, lo que iría en detrimento de las salidas subterráneas a la vecina masa de Guadix. Por ello se recomienda urgentemente una revisión de las concesiones y extracciones reales.
- (5) Con anterioridad la infiltración directa de cauces se evaluó en 3,25 hm³/año y la pérdida de acequias y retorno de riego en 4,5 hm³/año. La estimación actual para ambas entradas se ha considerado en un 25%. La estimación previa se hizo en base a la superficie de la masa de agua, tomando como partida, el modelo matemático realizado (ITGE-CHG, 1997) y la Norma (IGME-CHG, 2001).

La antigua MASb de origen 05.12 Guadix-Marquesado engloba la actual masa denominada “Corredor de La Calahorra-Huéneja” con un eje principal de drenaje E-O en la zona Central de los Llanos del Marquesado y el acuífero principal de Guadix con un eje principal de drenaje N-S (que aproximadamente coincide con el cauce del Río Verde y la Cuenca del Río Alhama). Las nuevas masas de agua diferenciadas presentan un comportamiento hidrogeológico y características diferenciadas en cuanto a la evolución piezométrica; espesor y entradas naturales.

Esta masa en régimen natural presenta unas entradas estimadas por infiltración del agua de escorrentía superficial procedente de Sierra Nevada (sector Dólar, Ferreira, Huéneja) muy escasas, a

lo que habría que sumar menores espesores del acuífero detrítico y un probable incremento paulatino de los bombeos desde la última treintena de años.

La masa Corredor de La Calahorra-Huéneja con un volumen de bombeos de 1,10 hm³/año, aportado por la CHG con motivo de la revisión del Plan Hidrológico y un volumen de recursos disponibles de 5,94 hm³/año, tiene un Índice de Explotación (respecto al recurso disponible) del 18,5%, por lo que la masa, a priori, se podría considerar en buen estado cuantitativo.

De la evolución del piezómetro La Calahorra I (código CHG 05.12.009, código IGME 2141/6/0003) , no se puede concretar que la masa a nivel global presente mal estado. En relación con la evolución piezométrica, el IGME ha emitido varios informes en los que se hacía un análisis de este parámetro y su evolución:

- En el primero de fecha 23-09-1981, titulado “Informe sobre la evolución piezométrica y estado de explotación del Sistema acuífero de Guadix, zona nº 7 de explotación controlada” y en relación al piezómetro, 05.12.009 La Calahorra I-(código IGME 2141/6/0003), se señalaba, en comparación con la evolución de piezómetros en otros dos acuíferos de la región, por entonces no afectados por bombeos (Orce y Huéscar-Puebla), que las variaciones estacionales de nivel eran prácticamente inexistentes en esta zona del Llano, donde se ponía de manifiesto la ineficacia de la infiltración directa por lluvia, señalándose la gran dificultad de entradas de agua de infiltración, a diferencia con el comportamiento de los piezómetros en otros sectores del acuífero de Guadix, más favorables a la infiltración por proximidad al borde de Sierra Nevada con oscilaciones que llegaban en este último caso hasta los 15 m. En este informe, se reconocía para el piezómetro, un ascenso desde 1968 a 1971 en relación con un significativo período húmedo, continuado de un descenso generalizado del nivel en relación con un período hidráulicamente deficitario.
- En el informe de fecha 09/10/2008 “Informe sobre la posible afección a las aguas subterráneas de la U.H 05.12 por las extracciones hídricas de suministro a la planta termosolar Andasol 2, en el término municipal de Aldeire (Granada)” se reconocía que el incremento de la explotación a la que se estaba sometiendo el sector sureste, unido al incremento de la explotación por la entrada en funcionamiento de las plantas termosolares, supondría un abatimiento de la superficie piezométrica con las consecuentes afecciones entre usuarios del sector, por lo que se consideraba necesario remitir, con una periodicidad mínima anual, un informe hidrogeológico en el que se analizara la incidencia de la explotación en el acuífero.
- En un posterior informe de 29/05/2009 “Informe sobre la posible afección que sobre las aguas subterráneas de la masa de agua (UH 05.12) podrá ocasionar la extracción hídrica de suministro a la planta termosolar Andasol-3 (Marquesado Solar, S.A), en el término municipal de Aldeire (Granada)” se señalaba, entre otros aspectos, que existía un piezómetro de control próximo (05.12.09 La Calahorra I) de la CHG, en el que se detectaba una tendencia descendente de la piezometría, que reflejaba la situación de una zona concreta que no correspondía con el comportamiento general del resto del acuífero y que podía deberse a la explotación de algunos sondeos de regadío próximos a ese piezómetro. Además se recomendaba el escarificado de ramblas, para favorecer la recarga de las aguas de escorrentía que se generan en los episodios de lluvias de alta intensidad.

Tras esta descripción de la problemática de la zona y a pesar de que los datos de explotación que se tienen dentro de la superficie de la masa no son elevados, si existen descensos históricos que se deben corregir. Así:

- En el documento (IGME-DGOH, 2010) “Selección e identificación de masas de agua donde es preciso plantear estudios y actuaciones de recarga artificial de acuíferos” se señala el notable incremento en la explotación del sector central del Llano de La Calahorra o sector sureste. En este documento se proponía favorecer la recarga artificial con aguas procedentes del borde norte de Sierra Nevada, con objeto de compensar la formación del cono de bombeo e impedir potenciales afecciones a las descargas que se producen al río Verde. A partir de las operaciones de recarga artificial previas realizadas en la vecina masa de Guadix por el IGME entre 1984 y 1990, utilizando las actuales balsas de recarga/infiltración, situadas junto al túnel del Berral, se concluyó que se podrían llegar a infiltrar unos 5,2 hm³/año para una superficie de unos 8000 m².
- Con anterioridad el acuífero próximo de Guadix, ha mantenido operaciones de recarga artificial, con motivo de la reinfiltración de agua procedente del bombeo de la mina en el sector de salida del túnel del Berral, con el objeto de incrementar la disponibilidad de recursos para el riego en la cabecera del valle del río Verde, a partir de una batería de sondeos que utilizaron los regantes durante años para bombeo en estiaje con el agua infiltrada en invierno.

En el programa de medidas del Plan Hidrológico, ya se recoge la posibilidad de corregir la presión que sufre la masa en el sector sureste (TM de Dólar, Ferreira y Aldeire-La Calahorra), utilizando excedentes invernales del borde de Sierra Nevada para infiltrar en el acuífero y de ponerse en funcionamiento la mina, inclusive con aguas de bombeo, con objeto de restituir los descensos de niveles que se producen en el sector.

En principio el agua, a derivar, correspondería a aportaciones, bien desde el río Benéjar (unos 3,2 hm³/año entre noviembre-febrero), bien desde la acequia de Huéneja, de la que se podría disponer de 3,1 hm³/año entre octubre y el 15 de abril, bien con recursos de bombeo desde la propia mina de Alquife de proceder de nuevo a su apertura, utilizando la propia red de acequias de las Comunidades de Regantes, trasladando agua para infiltrar en la época invernal (octubre a marzo), dependiendo del año.

La red de control de piezometría consta de un solo punto de control en toda la masa, este punto sufre descensos desde la década de los años setenta. Dada la problemática de descensos en el sector y la posible influencia de los bombeos de la Demarcación Mediterránea Andaluza, al menos se recomienda la presencia de 4 puntos de control piezométrico

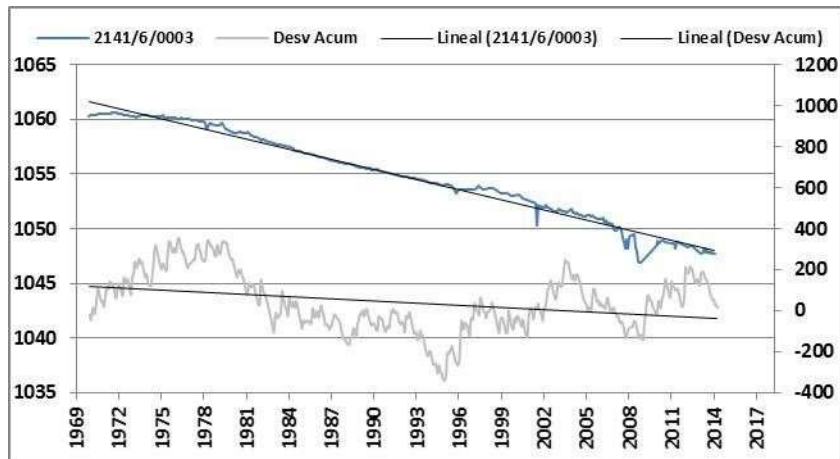


Figura 110. Evolución piezométrica del piezómetro 2141/6/0003 La Calahorra I (05.12.009), y desviaciones acumuladas de la precipitación recogida en la estación meteorológica 5108.

Las aguas de forma natural en la zona presentan facies bicarbonatada cálcica con contenidos salinos, menores de 350 mg/l cuyos contenidos se incrementan hacia el oeste.

La red de control de calidad cuenta con un solo punto. El estado químico de la masa es bueno, aunque debido a problemática de descensos en el sector y la posible influencia de los bombeos de la Demarcación Mediterránea Andaluza, al menos se recomienda la presencia de 2 puntos de calidad.

Entre las medidas propuestas, se recoge la mejora del conocimiento del funcionamiento hidrogeológico de la masa de agua, determinación de su geometría (espesores del acuífero detrítico, presencia o no de carbonatos en profundidad), evaluación de entradas por aportaciones ocultas, infiltración de escorrentía superficial en régimen natural y en la situación actual influenciada, evaluación de bombeos, inclusive de la posible incidencia de los bombeos en la Demarcación Mediterránea Andaluza sobre la Demarcación del Guadalquivir, evaluación e incidencia de retornos de regadío y proyecto de utilización del acuífero en la masa de agua como un embalse natural produciendo en el acuífero una introducción forzada de agua excedente de invierno, que permita corregir la tendencia al descenso de niveles en el sector.

13 BIBLIOGRAFÍA

Ayala, C. (2013). A new compilation of gravity data over the Iberian Peninsula and surrounding areas. Internal Report Topolberia project (Consolider-Ingenio). IGME, 20 pp., 3 figures.

CHG-IGME (1993). Normas de explotación de las Unidades Hidrogeológicas del Guadalquivir.

CHG-IGME (2017). Memorias de las masas de agua subterránea de la Demarcación del Guadalquivir. 1ª fase. Convenio para la actualización de diferentes masas de agua subterránea como apoyo a la Planificación Hidrológica. 2017-2018.

FAO-IGME (1970). Proyecto del Guadalquivir.

IGME (2014). Consideraciones sobre las nuevas masas de agua subterránea de la cuenca del Guadalquivir. Trabajos de revisión del Plan Hidrológico del primer ciclo (2009-2015). Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico del segundo ciclo de planificación (2016-2021). Informe interno.

IGME-CHG (2001). Revisión y actualización de las Normas de explotación de las Unidades Hidrogeológicas de las Cuencas del Guadalquivir y Guadalete-Barbate. Propuesta de normativa y definición de nuevas Unidades hidrogeológicas.

IGME-CHG (2017). Informe final sobre recomendaciones de explotación sostenible en los sectores acuíferos de Guadix-Marquesado (MASb de Guadix y MASb de La Calahorra-Huéneja). Convenio de colaboración CHG-IGME (2012-2017).

IGME-DGA (2009). Encomienda de Gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. ACTIVIDAD nº 4: Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.

IGME-Junta de Andalucía (2000). Plan de integración de los recursos hídricos subterráneos en los sistemas de abastecimiento público de Andalucía.

ITGE-CHG (1997). Informe sobre modelización matemática del acuífero de Guadix.

MOPU-IGME (1988). Catálogo de Unidades Hidrogeológicas del Territorio Peninsular e Islas Baleares.

Sanz de Galdeano, C., Delgado, J., Galindo Zaldívar, J., Marin, C., Alfaro, P. y García Tortosa, F.J., (2007). Principales rasgos geológicos deducidos a partir de los mapas gravimétricos de la cuenca de Guadix-Baza. En: La cuenca de Guadix-Baza. Estructura, tectónica activa, sismicidad, geomorfología y dataciones existentes. Eds. Sanz de Galdeano, C. y Peláez, J.A., Granada, 101-110.

Sanz de Galdeano C., García Tortosa F.J., Peláez J.A., Alfaro P., Azañón J.M., Galindo-Zaldívar J., López Casado C., López Garrido A.C., Rodríguez Fernández J., and Ruano P. (2012) - Main active faults in the Granada and Guadix-Baza Basins (Betic Cordillera). *Journal of Iberian Geology*, 38, 209-223.

Soria J.M., Viseras C., Fernández, J. (1998) - Late Miocene-Pleistocene tectono-sedimentary evolution and subsidence history of the central Betic Cordillera (Spain): a case study in the Guadix intramontane basin. *Geol Mag*, 135,565-574.

Anexo 1.- Fotografías de los 41 puntos de control piezométrico y de 42 a 53 (diferentes aspectos del estado de los sondeos)



Foto 1: P1 - Cantera Cerro Sillado - (2041/8/0006)



Foto 2: P2 - Alcantarilla Baja-Rambla del Patrón - (2141/1/0225)



Foto 3: P3 - El Cerrajón - (2141/2/0041)



Foto 4: P4 - El Perro - (2141/2/0043)



Foto 5: P5 - Ladihonda - (2141/2/0044)



Foto 6: P6 - Valle del Zalabí - (2141/3/0021)



Foto 7: P7 - Sondeo FAO - (2141/5/0019)



Foto 8: P8 - Albuñan I - (2141/5/0020)



Foto 9: P9 - Piezómetro nº 2 - (2141/5/0027)



Foto 10: P10 - Piezómetro nº 2 - (2141/5/0027/2)

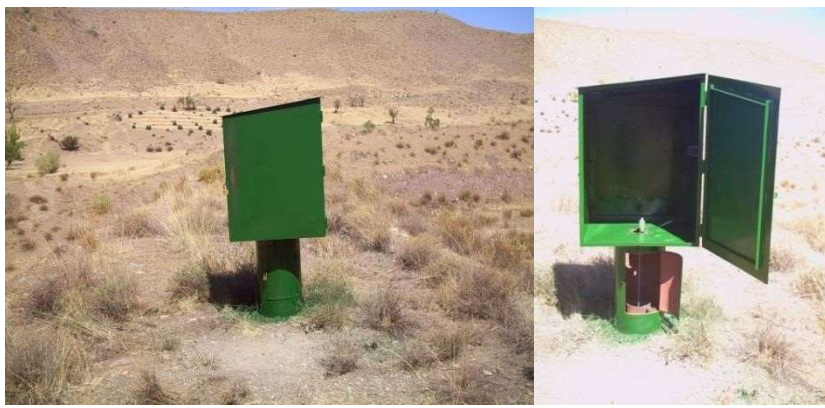


Foto 11: P11 - Piezómetro nº 5 - (2141/5/0030)

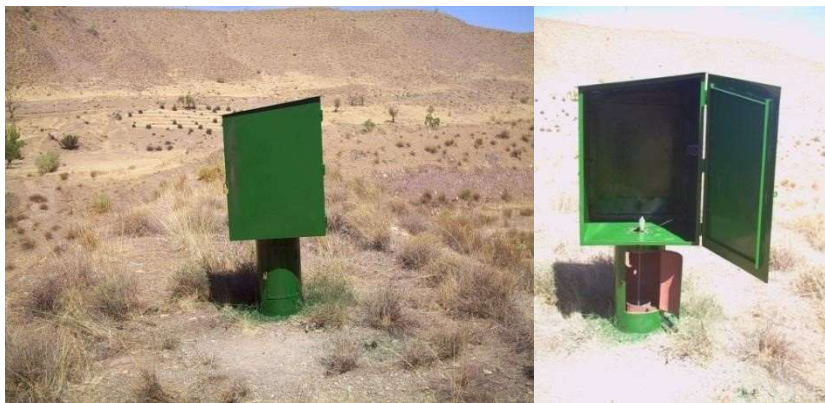


Foto 12: P12 - Piezómetro nº 2 - (2141/5/0030/2)



Foto 13: P13 - ITGE II - (2141/5/0032)



Foto 14: P14 - Piezómetro nº 6 - (2141/5/0035)



Foto 15: P15 - Piezómetro nº 7 - (2141/5/0036)



Foto 16: P16 - Piezómetro nº 8 - (2141/5/0037)



Foto 17: P17 - Piezómetro nº 9 - (2141/5/0038)



Foto 18: P18 - Mina 3054 (P-1 Alquife)



Foto 19: P19 - Calahorra I - (2141/6/0003)



Foto 20: P20 - Cortijo Administrador (La Calahorra) - (2141/6/0018)



Foto 21: P21 - Alemanes - (2141/6/0024)



Foto 22: P22 - Melocotoneros - (2141/6/0025)



Foto 23: P23 - Piezómetro de Alquife - (Alquife I-El Puntal) - (2141/6/0031)



Foto 24: P24 - Las Malenas (Junto a Andasol 3) - (2141/6/0051)



Foto 25: P25 - La Molineta (Venta Bigote) - (2141/7/0015)



Foto 26: P26 - Las Longueras - (2141/7/0027)



Foto 27: P27 - Sondeo Las Escarchas - (2141/7/0028)



Foto 28: P28 - Aljibe Blanco - (2141/7/0029)



Foto 29: P29 - Los Atochares (Venta Ferreira) - (2141/7/0030)



Foto 30: P30 - Las Particiones - (2141/7/0031)



Foto 31: P31 - Venta Ferreira - (2141/7/0032)



Foto 32: P32 - P-2 (Alivial + Caliza) - (2252 según mina) -



Foto 33: P33 - P4 (Alquife)



Foto 34: P34 - P5 (Alquife) (2141/5/0107)



Foto 35: P35 - Fondón



Foto 36: P36- Nº 49 Mina (2141/5/0100).



Foto 36: P36- Nº 49 Mina (2141/5/0100).



Foto 38: P38 – Secanos (2141/7/0034)



Foto 39: P39 – Colmenar de Arriba (2141/7/0033).



Foto 40: P40 – Campo de Aviación II (2141/6/0052).



Foto 41: P41 – Sociedad Mineros (Embotelladora) (2141/6/0054).



Foto 42: Estado del sondeo 2141/7/0028 antes del acondicionamiento.



Foto 43: Estado del sondeo 2141/7/0028 tras el acondicionamiento.



Foto 44: Estado del sondeo 2141/5/0027 antes del acondicionamiento.



Foto 45: Estado del sondeo 2141/5/0027 tras el acondicionamiento.



Foto 46: Estado del sondeo 2141/5/0036 antes del acondicionamiento.



Foto 47: Estado del sondeo 2141/5/0036 tras el acondicionamiento.



Foto 48: Estado del sondeo 2141/5/0265 antes del acondicionamiento.



Foto 49: Estado del sondeo 2141/5/0265 tras el acondicionamiento.



Foto 50: Estado del sondeo 2141/7/0015 tras el acondicionamiento.



Foto 51: Estado del sondeo 2141/7/0029 tras el acondicionamiento.



Foto 52: Estado del sondeo 2141/7/0030 antes del acondicionamiento.



Foto 53: Estado del sondeo 2141/7/0030 tras el acondicionamiento.

Anexo 2.- Puntos de aforo seleccionados



Foto 54: A-01 - Río Alhorí-Estación de Aforo - (2042/4/GAL)



Foto 55: A-02 - Barranco del Sabinar-Área Recreativa La Tizná - (2142/1/GAS)



Foto 56: A-03 - Barranco Ciruelillos-Área Recreativa La Tizná - (2142/1/GCI)



Foto 57: A-04 -Río del Pueblo-Lanteira - (2142/1/GPU)



Foto 58: A-05 - Río del Barrio-Estación de Aforo - (2142/1/GBA)



Foto 59: A-06 - Río del Gallego - (2142/2/GGA)

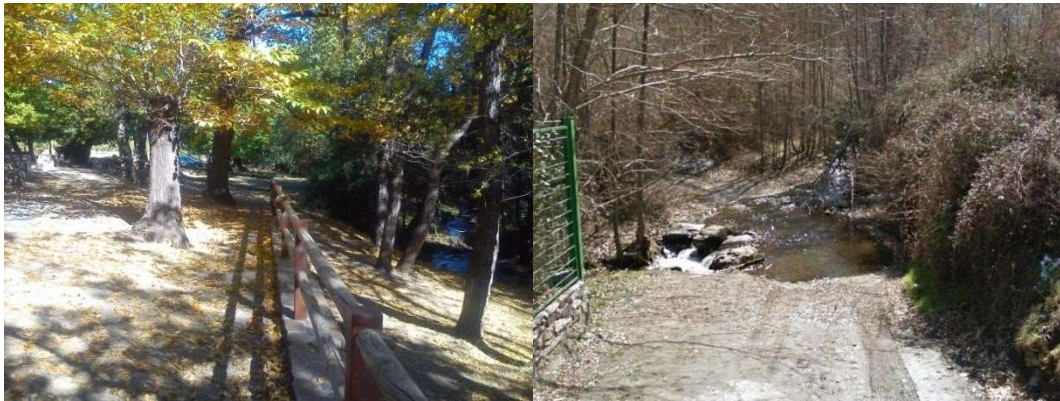


Foto 60: A-07 - Área Recreativa La Rosandrá - (2142/2/GBE)



Foto 61: A-09 - Arroyo Chico-Ferreira - (2142/2/GCH)



Foto 62: A-10 - Rambla de los Castaños-Dólar - (2142/3/GCA)



Foto 63: A-11 - Arroyo de las Viñas - (2142/3/GVI)