

62453



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España



JUNTA DE ANDALUCÍA  
Consejería de Obras Públicas y Transportes

CONVENIO DE COLABORACIÓN CON LA  
CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES  
PARA EL DESARROLLO DEL PROGRAMA DE  
ASISTENCIA EN  
AGUAS SUBTERRÁNEAS  
PARA ABASTECIMIENTOS

1996-2000

**ACTIVIDAD Nº 16** PLAN DE INTEGRACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO DE ANDALUCÍA. SECTOR DE ACUÍFEROS EN RELACIÓN CON EL ABASTECIMIENTO DE LAS COMARCAS DE BAZA Y GUADIX.

**Documento 16.1.-** Actualización del conocimiento de las Unidades hidrogeológicas de Baza (05.11), Guadix-Marquesado (05.12) y Baza-Caniles (05.09). Comarca de Guadix-Baza. Tomo I. Memoria.



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España



JUNTA DE ANDALUCÍA  
Consejería de Obras Públicas y Transportes

**ACTIVIDAD Nº 16 PLAN DE INTEGRACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO DE ANDALUCÍA. SECTOR DE ACUÍFEROS EN RELACIÓN CON EL ABASTECIMIENTO DE LAS COMARCAS DE BAZA Y GUADIX.**

**Documento 16.1.-** Actualización del conocimiento de las Unidades hidrogeológicas de Baza (05.11), Guadix-Marquesado (05.12) y Baza-Caniles (05.09). Comarca de Guadix-Baza. Tomo I. Memoria.

## ÍNDICE

	<u>Pág</u>
<b>TOMO I.- MEMORIA</b>	
1.- <u>ÁMBITO DEL ESTUDIO Y UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS TRATADAS . . .</u>	1
2.- <u>CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS . . . . .</u>	6
2.1.- INTRODUCCIÓN	7
2.2.- METODOLOGÍA UTILIZADA	8
2.3.- CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES	9
2.4.- CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS Y TERMOMÉTRICAS	15
2.5.- ETP, ETR y LLUVIA ÚTIL	23
2.6.- DETERMINACIÓN DE LA RESERVA ÚTIL Y PORCENTAJES DE INFILTRACIÓN A CONSIDERAR PARA LOS DISTINTOS MATERIALES AFLORANTES	31
2.7.- CONSIDERACIONES PREVIAS PARA LA ESTIMACIÓN DE RECARGA POR INFILTRACIÓN	37
3.- <u>CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS . . . . .</u>	41
3.1.- U.H. SIERRA DE BAZA	43
3.1.1.- <u>Encuadre hidrogeológico</u>	43
3.1.2.- <u>Cartografía hidrogeológica</u>	46
3.1.3.- <u>Estructura</u>	48
3.1.4.- <u>Inventario de puntos de Agua</u>	50
3.1.5.- <u>Hidrometría</u>	50
3.1.6.- <u>Sectores diferenciados</u>	63
3.1.6.1.- Sector occidental	64
3.1.6.2.- Sector oriental	65
3.1.7.- <u>Parámetros hidráulicos</u>	69
3.1.8.- <u>Funcionamiento hidráulico. Balance</u>	69
3.1.8.1.- Recarga	70
3.1.8.2.- Descarga	73
3.1.8.3.- Balance	77
3.1.9.- <u>Calidad de las aguas</u>	78

	<u>Pág</u>
3.2.- UNIDAD DE JABALCÓN	79
3.2.1.- <u>Encuadre hidrogeológico</u>	79
3.2.2.- <u>Principales puntos de agua</u>	80
3.2.3.- <u>Piezometría</u>	81
3.2.4.- <u>Funcionamiento hidráulico. Balance</u>	81
3.2.4.1.- Recarga	82
3.2.4.2.- Descarga	83
3.2.5.- <u>Calidad de las aguas</u>	83
3.3.- U.H. DE BAZA-CANILES	84
3.3.1.- <u>Delimitación y encuadre hidrogeológico</u>	84
3.3.1.1.- Acuífero Pliocuaternalio de Baza-Caniles	84
3.3.1.2.- Acuífero Cuaternario de Baza-Caniles	86
3.3.2.- <u>Relaciones entre formaciones terciarias, cuaternarias y el substrato impermeable</u>	87
3.3.2.1.- Substrato	88
3.3.2.2.- Depósitos Neógenos	90
3.3.2.3.- Depósitos Cuaternarios	92
3.3.3.- <u>Cartografía hidrogeológica</u>	93
3.3.4.- <u>Puntos de Agua</u>	93
3.3.5.- <u>Piezometría</u>	97
3.3.6.- <u>Parámetros hidráulicos</u>	99
3.3.7.- <u>Sectores y relaciones bombeo-distancia/radio de influencia</u>	99
3.3.8.- <u>Funcionamiento hidráulico. Balance</u>	109
3.3.8.1.- Recarga	109
3.3.8.2.- Descarga	112
3.3.8.3.- Balance	115
3.3.9.- <u>Calidad de las aguas</u>	116
3.3.10.- <u>Trabajos previos para el diseño de operaciones de recarga artificial con excedentes de esorrentía</u>	116
3.4.- U.H. GUADIX-MARQUESADO	122
3.4.1.- <u>Encuadre hidrogeológico</u>	122
3.4.2.- <u>Relaciones entre formaciones pliocuaternalias del sector septentrional de la U.H. de Guadix-Marquesado</u>	124

	<u>Pág</u>
3.4.3.- <u>Cartografía hidrogeológica</u>	126
3.4.4.- <u>Puntos de agua</u>	127
3.4.5.- <u>Piezometría</u>	127
3.4.6.- <u>Apoyo a la evaluación de descargas en el sector occidental de la U.H. de Guadix-Marquesado</u>	129
3.4.7.- <u>Parámetros hidráulicos</u>	129
3.4.8.- <u>Funcionamiento hidráulico. Balance</u>	130
3.4.8.1.- Evaluación de aportaciones superficiales al acuífero de Guadix	130
3.4.8.2.- Recarga	131
3.4.8.3.- Descarga	133
3.4.9.- <u>Calidad de las aguas</u>	134
3.5.- CUATERNARIO INDIFERENCIADO	134
4.- <u>RELACIONES ENTRE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS Y ACUÍFEROS DE LA COMARCA BAZA-GUADIX</u> .....	136
4.1.- INTRODUCCIÓN	137
4.2.- FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO	138
4.3.- CONSIDERACIONES Y BALANCE CONJUNTO DEL SECTOR ORIENTAL DE LA U.H. SIERRA DE BAZA Y ACUÍFERO PLIOCUATERNARIO DE BAZA-CANILES	140
4.3.1.- <u>Consideraciones previas</u>	140
4.4.- RELACIONES HÍDRICAS	144
4.4.1.- <u>Manantial de Baños de Zújar</u>	144
4.4.2.- <u>Origen de las aguas del manantial de Baños de Zújar</u>	146
4.5.- CONSIDERACIONES SOBRE LAS POSIBILIDADES DE EXPLOTACIÓN DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	147
5.- <u>NIVELACIÓN DE PUNTOS DE AGUA</u> .....	152
5.1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	153
5.2.- INCIDENCIAS	156
5.3.- ANÁLISIS DE LA RED GEODÉSICA EXISTENTE	156

	<u>Pág</u>
5.4.- DISEÑO DE LA RED DE NIVELACIÓN GPS	160
5.5.- PROBLEMÁTICA OCURRIDA	160
5.6.- SEÑALIZACIÓN	163
5.7.- METODOLOGÍA	163
5.7.1.- <u>Descripción del Sistema G.P.S.</u>	164
5.7.2.- <u>Método operativo en campo</u>	166
5.7.3.- <u>Cálculo</u>	
5.7.4.- <u>Aplicación de MM.CC. al ajuste de redes</u>	171
5.7.5.- <u>Programas utilizados</u>	178
5.7.5.1.- GPPS	178
5.7.5.2.- GPSRED	178
5.8.- RESULTADOS OBTENIDOS	182
6.- <u>ENCUESTAS DE CUANTIFICACIÓN DE VOLÚMENES DE BOMBEO . . . . .</u>	185
6.1.- INTRODUCCIÓN	186
6.2.- ESQUEMA METODOLÓGICO	187
6.3.- DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS	188
6.3.1.- <u>Caudal de explotación</u>	188
6.3.2.- <u>Altura manométrica</u>	189
6.3.3.- <u>Potencia activa</u>	191
6.3.4.- <u>Consumo energético</u>	191
6.4.- RESULTADOS A OBTENER	192
6.4.1.- <u>Rendimiento</u>	192
6.4.2.- <u>Relación "E"</u>	193
6.4.3.- <u>Volumen de bombeo</u>	193
6.5.- ENCUESTAS Y RESULTADOS	193
7.- <u>BIBLIOGRAFÍA . . . . .</u>	199

## FIGURAS

- Figura 1.- Esquema de situación de las unidades hidrogeológicas de la comarca Baza-Guadix
- Figura 2.- Situación de las estaciones meteorológicas
- Figura 3.- Isoyetas e isotermas medias
- Figura 4.- Isoyetas del año-tipo húmedo

- Figura 5.- Isoyetas del año-tipo seco
- Figura 6.- Delimitación del área, según los polígonos de Thiessen
- Figura 7.- Esquema conceptual de la infiltración sobre las unidades hidrogeológicas de la Comarca de Baza-Guadix
- Figura 8.- Esquema de Funcionamiento hidráulico en la comarca Baza-Guadix
- Figura 9.- Corte esquemático aproximado de la disposición de mantos (información procedente de estudios previos)
- Figura 10.- Esquema de situación de afloros
- Figura 11.- Esquema de situación de afloros
- Figura 12.- Esquema de situación de afloros
- Figura 13.- Esquema de situación de afloros
- Figura 14.- Cortes esquemáticos de los distintos materiales relacionados con la Unidad Hidrogeológica de Baza-Caniles
- Figura 15.- Distancia mínima entre sondeos
- Figura 16.- Distancia mínima entre sondeos
- Figura 17.- Distancia mínima entre sondeos
- Figura 18.- Distancia mínima entre sondeos
- Figura 19.- Distancia mínima entre sondeos
- Figura 20.- Distancia mínima entre sondeos
- Figura 21.- Distancia mínima entre sondeos
- Figura 22.- Distancia mínima entre sondeos
- Figura 23.- Situación de las alternativas de recarga artificial en los arroyos de Morax y Uclías
- Figura 24.- Situación de las alternativas de recarga artificial en la Rambla de Valcabra
- Figura 25.- Esquema de funcionamiento hidráulico de las U.H. de la Comarca Baza-Guadix

- Figura 26.- Esquema de flujo en el sector oriental de la Comarca Guadix-Baza
- Figura 27.- Relación entre unidades hidrogeológicas
- Figura 28.- Corte hidrogeológico N-S y dispositivo de explotación-regulación en el sector oriental de la Comarca Baza-Guadix
- Figura 29.- Corte hidrogeológico E-O y dispositivo de explotación-regulación en el sector oriental de la Comarca Baza-Guadix

### CUADROS

- CUADRO 1.- Características de las estaciones meteorológicas
- CUADRO 2.- Precipitaciones del año-tipo medio (período 1942/43-94/95)
- CUADRO 3.- Precipitaciones del año-tipo húmedo (período 1942/43-94/95)
- CUADRO 4.- Precipitaciones del año-tipo seco (período 1942/43-94/95)
- CUADRO 5.- ETPs medias mensuales (Período 1942/43-94/95)
- CUADRO 6.- LLuvia Útil anual (mm). año medio
- CUADRO 7.- LLuvia Útil anual (mm). año-tipo húmedo
- CUADRO 8.- LLuvia Útil anual (mm). año-tipo seco
- CUADRO 9.- Balance hídrico del afloramiento calcáreo drenado por el Nacimiento del río Gor (Nº 58)
- CUADRO 10.- Principales puntos de agua relacionados con la U.H.
- CUADRO 11.- Caudales aforados y caudal medio adoptado
- CUADRO 12.- Alimentación del sector occidental de la U.H. Sierra de Baza
- CUADRO 13.- Alimentación del sector oriental de la U. H. Sierra de Baza
- CUADRO 14.- Volumen anual de las descargas visibles del Sector occidental de la U.H. Sierra de Baza
- CUADRO 15.- Caudal y volumen anual de extracción del Sector oriental de la Sierra de Baza
- CUADRO 16.- Balance hídrico de la U.H. Sierra de Baza
- CUADRO 17.- Puntos de agua relacionados con la unidad de Jabalcón
- CUADRO 18.- Alimentación de la Unidad de Jabalcón
- CUADRO 19.- Características de los puntos de agua más significativos de la U.H. de Baza-Caniles
- CUADRO 20.- Recarga por infiltración de la precipitación y de la escorrentía en la U.H. Baza-Caniles



- CUADRO 21.- Balance hídrico en la U.H. Baza-Caniles
- CUADRO 22.- Puntos de agua de las redes de control hidrométrico y piezométrico
- CUADRO 23.- Escorrentía en la cuencas de Sierra Nevada vertientes a la U. H. Guadix-Marquesado
- CUADRO 24.- Puntos a nivelar propuestos
- CUADRO 25.- Triángulos y errores de cierre
- CUADRO 26.- Resultados de la nivelación
- CUADRO 27.- Resumen de las encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo

#### **TOMO II.- PLANOS**

- Plano 1.- Mapa hidrogeológico de la Comarca Guadix-Baza (escala 1:100.000).
- Plano 2A.- Mapa hidrogeológico de las U.H. Sierra de Baza, Baza-Caniles y Jabalcón (escala 1:50.000).
- Plano 2B.- Piezometría y direcciones de flujo actualmente en revisión y reinterpretación (escala 1:50.000).
- Plano 3.- Panel de cortes hidrogeológicos de la U.H. Sierra de Baza.
- Plano 4.- Mapa hidrogeológico de la U.H. Guadix-Marquesado (escala 1:50.000).
- Plano 5.- Cartografía geológica en la U.H. de Baza-Caniles (escala 1:25.000).
- Plano 6.- Cartografía geológica en la U.H. Guadix-Marquesado (escala 1:25.000).
- Plano 7.- Mapa de situación de los puntos nivelados (escala 1:100.000).

#### **TOMO III.- ANEXO 1**

- A1.- Datos climáticos

#### **TOMO IV.- ANEXOS 2 al 5**

- A2.- Fichas de inventario de puntos de agua
- A3.- Información foronómica de la red de control del ITGE en el sector oriental de la comarca Baza-Guadix.
- A4.- Fichas de los aforos realizados en las unidades hidrogeológicas Sierra de Baza y Baza-Caniles.
- A5.- Datos piezométricos y fichas de aforos en el sector occidental de la U.H. Guadix-Marquesado

**TOMO V.- ANEXOS 6 al 7**

A6.- Fichas de nivelación

A7.- Encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo.

**1.- ÁMBITO DEL ESTUDIO Y UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS TRATADAS**

## **1.- ÁMBITO DEL ESTUDIO Y UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS TRATADAS**

La comarca de Baza-Guadix, se sitúa en la zona nororiental de la provincia de Granada; comprende dos áreas de escaso relieve, una oriental que corresponde a la Vega de Guadix y Llanos del Marquesado, con altitudes entre 900 y 1.000 m, y otra oriental que abarca las vegas de Baza y de Caniles, con altitudes algo menores, entre 800 y 900 m. Ambas se encuentran en continuidad hacia el norte constituyendo la conocida Depresión de Baza-Guadix.

En la zona nororiental, al pie de la cola del embalse del Negratín, se sitúa el monte Jabalcón, que con una altitud de 1.490 constituye una atalaya en el entorno de escaso relieve que le rodea.

En la zona central y meridional de la comarca, las depresiones de Guadix y Baza-Caniles se encuentran separadas por la Sierra de Baza, que constituye un importante relieve positivo, con cotas superiores a 1.200 m, que culminan en el pico de Santa Bárbara, situado a 2.275 m de altitud.

La comarca pertenece a la cuenca hidrográfica del Guadiana Menor y se encuentra situada íntegramente en la margen izquierda del citado río.

La red fluvial está constituida por varios afluentes del Guadiana Menor: río Fardes y sus correspondientes tributarios por su margen derecha (ríos Alhama, Verde y Gor fundamentalmente), arroyo de Baúl y río de Baza; este último alimentado por los ríos Gallego, Golopón y Valcabra.

El eje de drenaje de la cuenca, constituido por el Guadiana Menor, se sitúa en el extremo septentrional de la comarca, donde se encuentra regulado por el embalse del Negratín.

La red de drenaje presenta básicamente una orientación sur-norte, que canaliza la escorrentía procedente de Sierra Nevada y Sierra de Baza, hacia el río Guadiana Menor.

En la comarca y como objeto del presente proyecto se encuentran diferenciadas las siguientes unidades hidrogeológicas: U.H. Sierra de Baza (5.11), U.H. de Jabalcón (5.10), U.H. de Guadix-Marquesado (5.12) y U.H. de Baza-Caniles (5.9).

La unidad hidrogeológica de Sierra de Baza está constituida por los niveles carbonatados de los mantos alpujárrides apilados que conforman la Sierra de Baza.

La unidad de Jabalcón se sitúa en el extremo nororiental de la comarca, al pie de la cola del embalse del Negratín. Está constituido por materiales calcáreos jurásicos pertenecientes, según unos autores, a las zonas externas de las cordilleras Béticas, o a la Dorsal Bética, según otros. Pese a la escasa superficie que ocupa la unidad, en su ladera norte se localiza, hoy cubierto bajo las aguas del Embalse del Negratín, el manantial termal de Baños de Zújar, con un caudal muy constante de 180 l/s.

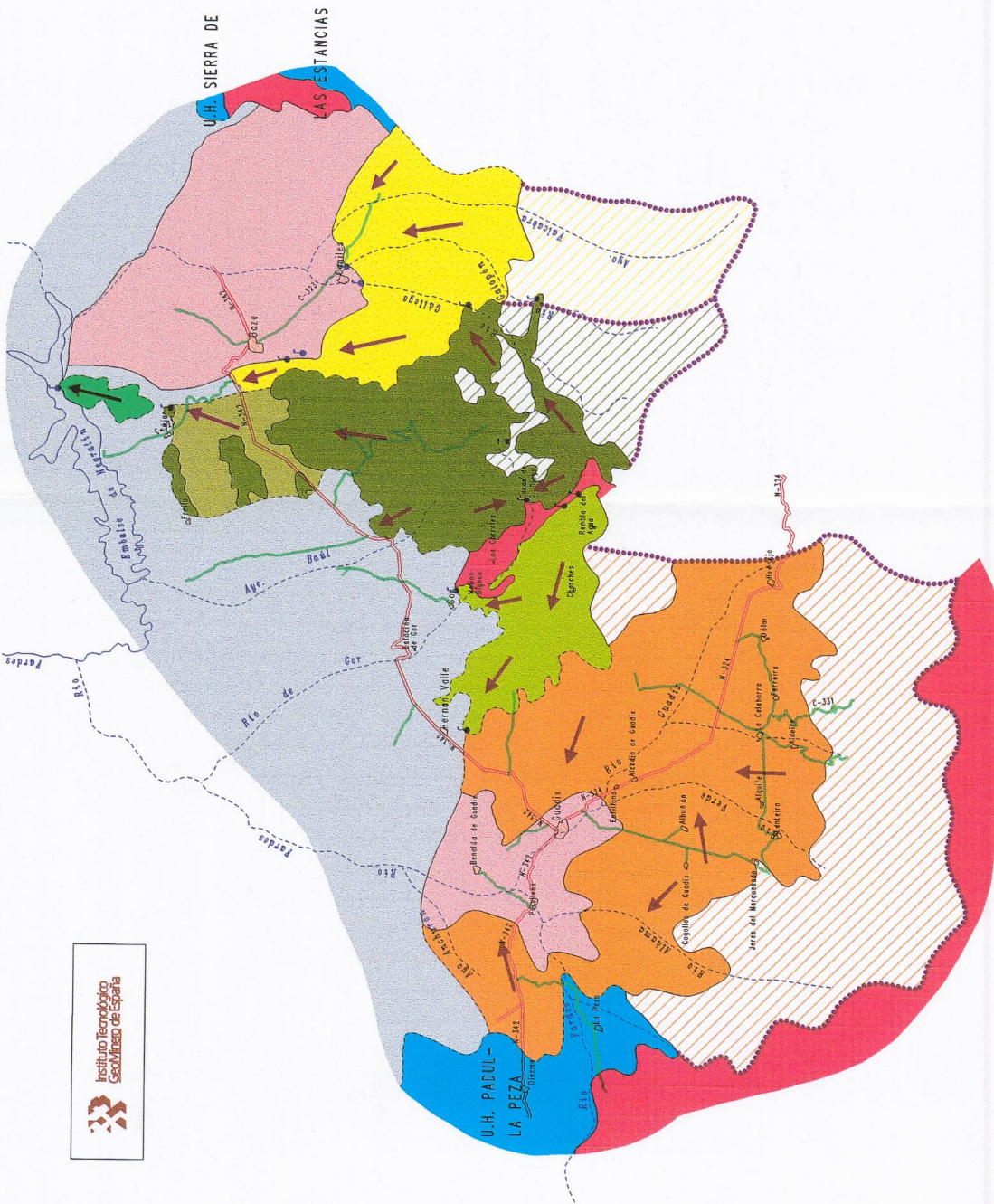
Las unidades hidrogeológicas de Guadix-Marquesado y Baza-Caniles están constituidas por materiales detríticos pliocuaternarios, conglomerados y arenas fundamentalmente.

Al noreste de la U.H. de Guadix-Marquesado, norte de la U.H. Sierra de Baza y noroeste de la U.H. Baza-Caniles, extendiéndose al oeste del Jabalcón, hasta el embalse del Negrátin, se sitúan materiales pliocuaternarios permeables, no incluidos en ninguna unidad hidrogeológica definida. Estos materiales que se encuentran en conexión hidráulica con los sectores septentrionales de las Unidades Hidrogeológicas de Guadix-Marquesado, Sierra de Baza y Baza-Caniles, se encuentran captados por sondeos con caudales significativos que en muchos casos llegan a ser surgentes. Como referencia, a estos materiales acuíferos se les ha denominado, en el presente informe, "pliocuaternario indiferenciado".

La conexión de este Pliocuaternario indiferenciado con el resto de las unidades hidrogeológicas pliocuaternarias, permitiría considerar como una macrounidad, al conjunto de materiales pliocuaternarios de la margen izquierda del Guadiana Menor, comprendidos entre las cuencas de los ríos Fardes y Baza.

En la Figura 1 se muestra un esquema de situación de las unidades hidrogeológicas existentes en la comarca de Baza-Guadix.

En dicha figura se observa que en los extremos oriental y occidental de la comarca existen representados materiales carbonatados pertenecientes al acuífero de la Sierra de Las Estancias y a la U.H de Padul-La Peza, respectivamente. Estas unidades no se trataran en el presente informe.



LEYENDA

UNIDAD DE JABALCÓN



U.H. DE SIERRA DE BAZA

Sector oriental



c: Materiales calcáreos  
b: Pliocuatrario superpuesto



Cuenca impermeable verticaliente a la U.H.



Sector occidental



Materiales calcáreos



U.H. DE BAZA-CANILES



Materiales detríticos permeables



Cuenca impermeable verticaliente a la U.H.



U.H. DE GUADIX-MARQUESADO



Materiales detríticos permeables



Cuenca impermeable verticaliente a la U.H.



OTROS MATERIALES



Calizas de las U.H. Sierra de las Estancias y Padul-La Peza



Pliocuatrario indiferenciado



Materiales pliocuatrarios impermeables



Materiales irásicos impermeables



SIEMBLA

Manantial



Dirección del flujo subterráneo



Límite abierto



Límite cerrado



Límite de cuenca impermeable verticaliente a U.H.



Figura 1. Esquema de las U.H. de la Comarca de Guadix-Baza

**2.- CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS**



## **2.- CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS**

### **2.1.- INTRODUCCIÓN**

El clima en la comarca de Baza-Guadix, tiene un carácter marcadamente estacional; los meses de verano son secos y calurosos, concentrándose las lluvias en los meses de invierno y una parte importante en otoño y primavera.

El estudio climático realizado tiene por objetivo servir de base para la estimación de las entradas por infiltración, tanto de la precipitación como de la escorrentía generada en las cuencas vertientes a las unidades hidrogeológicas de la comarca de Baza-Guadix. Además servirá de base para analizar los excedentes de agua de escorrentía que pudieran ser aprovechados para posibles operaciones de recarga artificial.

Puesto que el objetivo del presente proyecto es el estudio de las U.H. de Guadix-Marquesado, Sierra de Baza y Baza-Caniles, se ha seleccionado un ámbito de estudio amplio que permita definir de forma óptima sus características climáticas.

El ámbito de estudio elegido tiene una extensión de 5400 km<sup>2</sup> (90 x 60 km) y está comprendido entre los meridianos 460.000 y 550.000, y los paralelos 4.110.000 y 4.170.000. En él, se encuentran ubicadas un total de 66 estaciones meteorológicas.

## **2.2.- METODOLOGÍA UTILIZADA**

El estudio, se ha basado en las series de precipitación, temperatura y ETP, rellenadas en el período de 1942/43-94/95, por Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, en el marco del "Estudio de actualización de series hidrológicas y recursos regulados en la Cuenca del Guadalquivir en los años 88/89 a 94/95" CHS,1998.

En el citado estudio existen definidas, en zonas de escasa información, 18 estaciones climáticas ficticias, en las que se han generado series de precipitación, temperatura y ETP, en base a correlaciones con otras estaciones, teniendo en cuenta su posición geográfica y altitud.

A partir de esta información se han seleccionado los años medios, secos y húmedos, determinando la pluviometría mensual de los correspondientes años-tipo.

Para todas las estaciones con series rellenadas de precipitación se han calculado los valores de ETR, Lluvia Útil y Déficit Hídrico, para reservas útiles del suelo de 25, 50, 75 y 100 mm.

En las estaciones más representativas del área, se han calculado adicionalmente los mismos parámetros para reservas útiles del suelo de 5, 10, 15 y 20 mm.

Los porcentajes de infiltración y reserva útil del suelo, aplicables a los materiales calcáreos de la Sierra de Baza, se han obtenido por balance de un sector acuífero bien delimitado drenado por el nacimiento del río Gor, cuyas descargas han sido medidas periódicamente en el presente proyecto.

Los porcentajes de infiltración y reservas útiles del suelo, del resto de los materiales presentes en el área se han estimado en base a datos bibliográficos.

### **2.3.- CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES**

En el Cuadro 1, se presentan las características principales de las estaciones climáticas: Código, Nombre, coordenadas (UTM), Cota, Tipo (PT: termopluviométrica y P: pluviométrica), período de medida de datos pluviométricos, número de años completos con medida de precipitación, precipitación media anual para las series que han sido rellenadas, período de medida de datos termométricos, número de años completos con medida de temperatura, temperatura y ETP medias de las series que han sido rellenadas e indicación sobre el funcionamiento actual de las estaciones meteorológicas.

De las 66 estaciones meteorológicas existentes, 13 son termopluviométricas y el resto únicamente controlan precipitaciones. Actualmente, únicamente 47 de estas estaciones se encuentran en funcionamiento.

Además, se incluyen otras 13 estaciones ficticias, en tres de ellas se han conseguido las series de precipitación rellenadas y en las otras 10, sus series de ETP.

La situación de todas estas estaciones se presenta en la Figura 2.

CUADRO 1.- CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS													
Código	Nombre	X UTM	Y UTM	Cota (m)	Tipo	Período de medida (P)	Años completos (P)	Precip media (mm)	Período de medida (T <sup>a</sup> )	Años completos (T <sup>a</sup> )	T <sup>a</sup> media (°C)	ETP media (mm)	Funcionam Actual
5043E	Baza "El Tesorero"	524580	4124713	1540	P	83-94	5	473,5					NO
5043I	Baza "Arredondo"	517182	4129564	1530	P	82-90	1						NO
5044	Caniles	524526	4143357	911	P	42-94	40	317,3					SI
5044E	Caniles "Cortijo Frailes"	525299	4131341	1260	PT	63-94	14	382,5	73-94	16			SI
5046	Baza "Narváez"	512732	4141636	1380	P	54-94	23	537,7					NO
5047	Baza "I.N.M."	519892	4149201	860	PT	89-94	4	352,4	89-94	4			NO
5047A	Baza "El Cerrico"	519965	4149201	848	P	66-94	27	380,2					SI
5047B	Baza "Instituto Técnico"	520357	4149355	848	PT	70-82	10	362,2	70-82	9			NO
5048	Baza "La Verónica"	518266	4151200	920	P	44-79	33	351,0					NO
5075	Benamaurel	526799	4162472	727	P	55-89	9	334,4					NO
5076	Benamaurel "Los Atochares"	526553	4162471	727	P	50-94	20	321,7					SI
5078	Cúllar-Baza "Pulpite"	541552	4158988	940	P	55-87	23	301,3					SI
5079	Cúllar-Baza	537501	4159739	891	P	42-87	38	318,5					SI
5083	Cortes de Baza	520166	4167538	701	P	44-94	22	345,5					SI
5084	Zújar "las Juntas"	515032	4161056	620	P	43-89	28	290,9					SI
5091I	Baza "El Control"	509067	4143634	1180	P	71-85	13	383,8					SI
5092E	Zújar "Casilla del río"	513443	4158433	700	P	42-94	48	282,1					SI
5094	Gor "Venta Vicario"	506957	4140181	1260	P	50-87	17	457,1					NO
5094E	Gor "Los Charcones"	504376	4139779	1280	PT	89-94	4	340,4	94-94	1			NO
5095	Guadix "Montes Guadix"	504521	4143168	1155	P	55-73	12						NO

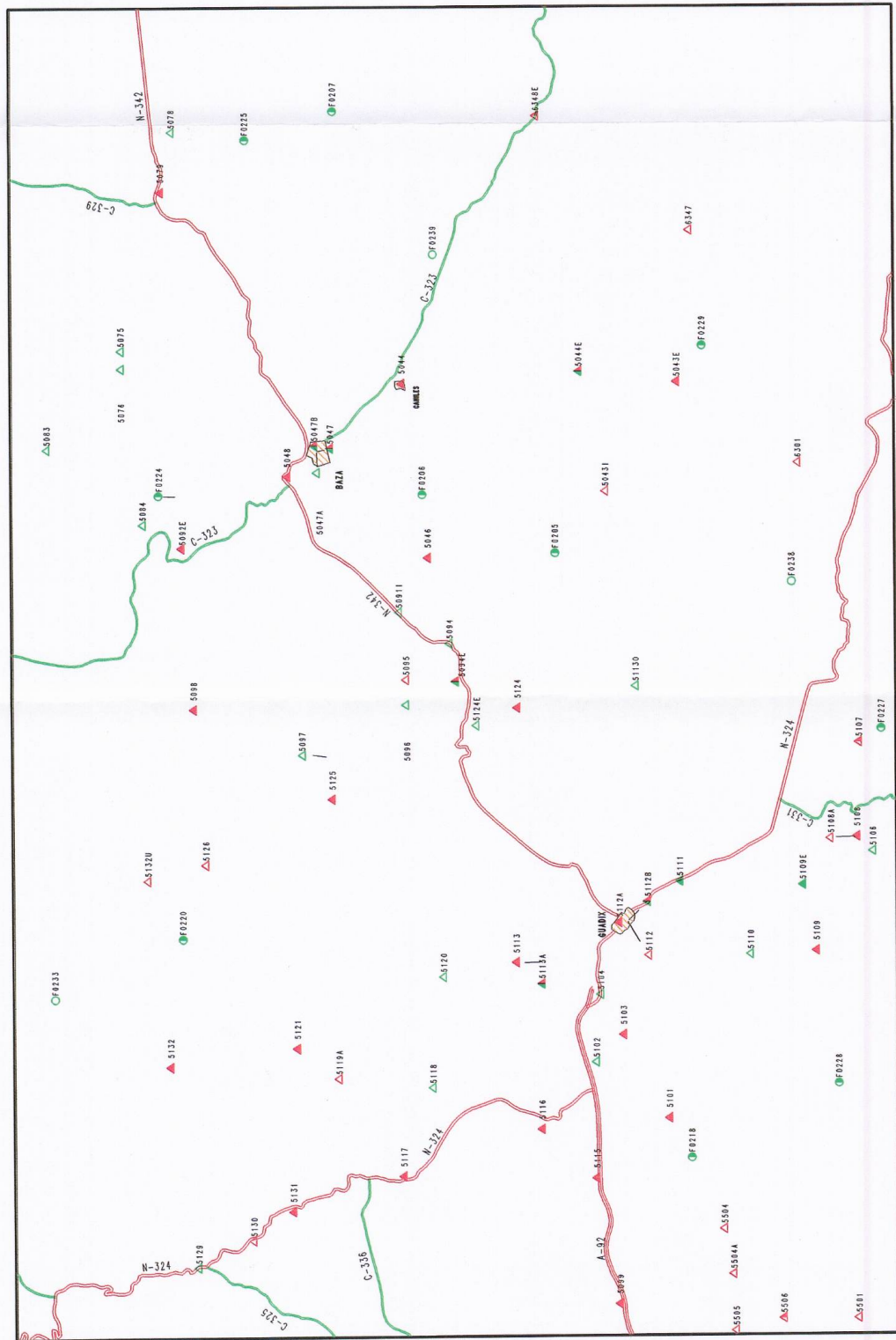
CUADRO 1.- CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Código	Nombre	X UTM	Y UTM	Cota (m)	Tipo	Periodo de medida (P)	Años completos (P)	Precep media (mm)	Periodo de medida (T <sup>a</sup> )	Años completos (T <sup>a</sup> )	T <sup>a</sup> media (°C)	ETP media (mm)	Funcionam Actual
5096	Gor "El Pocico"	504497	4143169	1155	P	67-94	17	355,1					SI
5097	Guadix "Los Olivares"	499361	4148714	817	P	67-87	11	291,9					SI
5098	Freila "Negratín"	502527	4157652	650	PT	42-94	40	269,1	91-94				SI
5099	Huétor-Santillán "El Molinillo"	462163	4128923	1200	P	55-94	28	737,6					SI
5101	La Peza	474708	4125485	1085	P	45-94	46	435,8					SI
5102	Cortes y Graena "Lopera"	478538	4130406	930	P	68-94	15	339,8					SI
5103	Cortes y Graena "Graena"	480379	4128552	971	P	44-90	43	312,5					SI
5104	Purullena	483114	4130086	908	P	42-87	41	272,3					SI
5106	Aldeire "Peña Forestal"	492674	4111583	1450	P	55-89	12	429,7					SI
5107	Dólar "Casa Forestal"	500098	4112504	1550	PT	49-87	12		70-76	2			NO
5108	Aldeire	493661	4112661	1277	P	42-94	40	350,7					NO
5108A	Aldeire "INM"	493538	4112907	1270	P	90-94	3						SI
5109	Jerez del Marquesado	486020	4115443	1223	P	42-94	43	372,9					NO
5109E	Alquife "Minas del Marquesado"	490459	4116362	1150	PT	75-87	4	340,4	75-85	4			SI
5110	Cogollos de Guadix	485781	4119912	1135	P	55-94	30	393,2					SI
5111	Valle del Zalabí "Esfiliana"	490739	4124681	993	PT	42-82	30	287,2	42-63	15	15,3	787,0	SI
5112	Guadix "C de A"	488010	4128229	915	P	42-94	42						SI
5112A	Guadix "Instituto Técnico"	487962	4128815	905	PT	42-94	44	305,9	49-94	13	14,4	750,4	SI
5112B	Guadix "CAN-IBICE"	488084	4128168	930	PT	88-94	6	255,0	88-94	5			NO
5113	Benalúa de Guadix	485313	4134089	865	P	42-87	42	283,4					SI

**CUADRO 1.- CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS**

Código	Nombre	X UTM	Y UTM	Cota (m)	Tipo	Periodo de medida (P)	Años completos (P)	Precip media (mm)	Periodo de medida (T)	Años completos (T)	Tª media (°C)	ETP media (mm)	Funcionam Actual
5113A	Benalúa de Guadix "Zayete"	484648	4134090	840	PT	88-94	6	295,9	88-94	5			NO
5113O	Valle del Zalabi "Charches"	504013	4127605	1426	P	79-94	5	368,2					SI
5115	Diezma	470661	4130429	1233	P	42-94	48	497,4					SI
5116	Darro	473996	4134117	1120	P	44-94	43	462,4					SI
5117	Morelabor "Moreda"	470854	4143526	1091	P	53-85	29	517,3					SI
5118	Huélogo	476845	4141504	913	P	50-94	21	358,7					SI
5119A	Gobernador "Delgadillo"	477502	4147913	1010	P	93-94	2						SI
5120	Foneías	484341	4140717	789	P	50-94	17	304,3					SI
5121	Pedro-Martínez	479572	4150743	1042	P	55-94	23	441,6					SI
5124	Gor	502534	4135617	1238	P	55-94	22	423,6					SI
5124E	Gor "Estación de Gorafe"	501327	4138390	1160	P	68-84	14	333,4					SI
5125	Gorafe	496390	4148253	855	P	52-94	17	305,3					SI
5126	Villanueva de las Torres	491977	4156885	630	P	92-94	1						NO
5129	Guadahortuna	464770	4157572	969	P	50-78	7	515,5					NO
5130	Guadahortuna "Medialengua"	466570	4153805	1100	P	54-64	2						NO
5131	Torre-Cardela	468524	4151085	1217	P	50-94	22	546,5					SI
5132	Alamedilla	478367	4159375	863	P	50-94	15	365,5					SI
5132U	Dehesas de Guadix "Ayto"	490951	4160831	655	P	93-94	1						SI
5501	Guéjar-Sierra	461103	4112748	1084	P	42-94	38						SI
5504	Quéntar-Tocón	467182	4121813	1200	P	55-94	13						SI

CUADRO 1.- CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS													
Código	Nombre	X UTM	Y UTM	Cota (m)	Tipo	Período de medida (P)	Años completos (P)	Precip. media (mm)	Período de medida (T <sup>a</sup> )	Años completos (T <sup>a</sup> )	T° media (°C)	ETP media (mm)	Funcionamiento Actual
5504A	Quéntar "Aguas Blancas"	464124	4121209	1180	P	65-82	8						NO
5505	Beas de Granada "Puerto Blanco"	460304	4121072	1320	P	54-74	7						NO
5506	Pantano de Quéntar	461127	4117833	975	PT	43-94	28		92-94	1			SI
6301	Abrucena de los Jarales	519057	4116532	1100	P	66-94	13						SI
6347	Los Santos de Alcontar	534806	4123825	1600	P	60-94	26						SI
6348E	Serón "Estación"	542635	4134185	800	PT	69-94	13		69-91	14			SI
F0205		513000	4133000	1700	FIC							588,7	
F0206		517000	4142000	1300	FIC							680,0	
F0207		543000	4148000	1470	FIC							640,6	
F0218		472000	4124000	1330	FIC							672,9	
F0220		487000	4158500	950	FIC							761,3	
F0224		517000	4159000	1100	FIC							727,2	
F0225		541000	4154000	1400	FIC							656,9	
F0227		501000	4111000	1800	FIC							565,1	
F0228		477000	4114000	1800	FIC							565,1	
F0229		527000	4123000	1800	FIC							584,7	
F0233		483000	4167200	810	FIC			500,2					
F0238		511000	4117000	1000	FIC			613,0					
F0239		533200	4141200	900	FIC			876,0					



**LEYENDA**

▲	Pluviométrico (con serie pluviométrica rellenada)
△	Pluviométrico (sin serie pluviométrica rellenada)
▲	Termopluviométrico (sin series pluviométrica y termométrica rellenada)
▲	Termopluviométrico (con serie pluviométrica y sin serie termométrico rellenada)
▲	Termopluviométrico (con serie pluviométrica y termométrica rellenada)
○	Ficticia (con serie pluviométrico)
○	Ficticia (con serie ETP)



FIGURA 2.- Situación de las estaciones meteorológicas

ESCALA 1:250.000



## **2.4.- CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS Y TERMOMÉTRICAS**

Para el presente proyecto se ha contado con las series de precipitaciones mensuales, rellenas en el período 1942/43-94/95, de las siguientes 52 estaciones meteorológicas (las tres últimas son estaciones ficticias): 5043E, 5044, 5044E, 5046, 5047, 5047A, 5047B, 5048, 5075, 5076, 5078, 5079, 5083, 5084, 5091I, 5092E, 50984, 5094E, 5096, 5097, 5098, 5099, 5101, 5102, 5103, 5104, 5106, 5108, 5109, 5109E, 5110, 5111, 5112A, 5112B, 5113, 5113A, 5113O, 5115, 5116, 5117, 5118, 5120, 5121, 5124, 5124E, 5125, 5129, 5131, 5132, F0233, F0238 Y F0239.

Estas series se adjuntan en el Anexo A1.

Considerando el valor medio de las precipitaciones anuales medias de todas las estaciones (388,7 mm); se han seleccionado los años secos de la serie, aquellos en los que su precipitación anual es inferior al 85 % de la media de las precipitaciones de todas las estaciones (330,4 mm).

Como años húmedos, se han considerado aquellos cuya precipitación anual supere el 115 % de dicho valor medio (447 mm).

Según lo anteriormente expuesto, se consideran años secos, los siguientes: 42/43, 44/45, 49/50, 52/53, 56/57, 64/65, 80/81, 81/82, 82/83, 84/85, 86/87, 90/91, 92/93, 93/94 y 94/95.

Igualmente, los años húmedos de la serie, corresponden a los años: 43/44, 46/47, 47/48, 50/51, 51/52, 58/59, 59/60, 61/62, 62/63, 68/69, 73/74, 77/78, 78/79, 83/84 y 89/90.

Se ha definido como año-tipo seco, aquél cuyas precipitaciones mensuales corresponden a la media de los años secos; como año-tipo húmedo, aquél cuyas precipitaciones mensuales corresponden a la media de los años húmedos, y como año-tipo medio, aquél cuyas precipitaciones mensuales corresponden a la media de toda la serie.

En los Cuadros 2, 3 y 4 se muestran las precipitaciones medias mensuales (en mm) de las estaciones meteorológicas consideradas, para los años-tipo medio, húmedo y seco, respectivamente.

La pluviometría de la mayor parte del área es escasa, con valores mínimos en el sector de la Hoya de Guadix y su prolongación al Embalse del Negratín, donde las precipitaciones no superan los 300 mm. La pluviometría incrementa su valor hacia el suroeste, en zonas más elevadas, correspondientes a las estribaciones de Sierra Nevada, donde las precipitaciones superan los 700 mm.

También se producen precipitaciones ligeramente más abundantes en la Sierra de Baza, donde se registran valores comprendidos entre 500-600 mm.

Las precipitaciones máximas se registran en la estación meteorológica 5099 "Huétor-Santillán. El Molinillo", con 738 mm, y las mínimas en la estación 5104 "Purullena" (272 mm).

Para el año-tipo seco, se observa una mayor amplitud de las zonas de menor precipitación, con valores inferiores a 300 mm, que se superan únicamente en las zonas más elevadas, estribaciones de Sierra-Nevada (donde se superan los 500 mm) y Sierra de Baza (precipitaciones entre 300 y 400 mm).

Para este año-tipo, las precipitaciones mínimas se producen en la estación 5104 "Purullena" (183 mm) y las máximas en la estación 5099, (557 mm).

Para el año-tipo húmedo las precipitaciones máximas se producen en la estación 5099. "Huétor-Santillán. El Molinillo", donde alcanzan un valor de 948 mm. Los valores en la zona central de la Hoya de Guadix y embalse del Negratín, no superan los 400 mm, con un valor mínimo de 338 mm, que corresponde a la estación 5098 "Freila. Negratín".

CUADRO 2.- PRECIPITACIONES DEL AÑO-TIPO MEDIO (periodo 1942/43-94/95)													
ESTAC	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5043E	41,9	45,0	47,2	47,5	47,5	57,8	39,5	49,4	35,5	12,3	12,3	37,5	473,5
5044	35,8	30,5	35,0	35,4	34,6	31,3	30,1	31,7	13,6	6,3	8,9	24,1	317,3
5044E	39,6	40,9	32,4	35,0	39,7	49,1	35,8	37,2	23,5	11,4	9,6	28,2	382,5
5046	56,0	55,2	62,8	55,0	55,4	58,2	58,1	57,7	29,9	10,3	14,8	24,2	537,7
5047	36,0	34,2	33,6	38,0	42,8	36,4	35,2	38,2	25,8	4,7	10,4	16,9	352,4
5047A	38,9	36,7	36,2	40,3	39,6	38,8	35,9	41,9	26,9	5,6	13,1	26,5	380,2
5047B	47,5	30,7	35,0	34,7	34,1	35,3	40,5	37,9	24,4	8,7	17,0	20,5	362,2
5048	38,1	35,6	40,0	35,9	35,3	31,2	45,6	31,3	16,1	5,9	11,4	24,6	351,0
5075	31,7	34,7	39,4	30,9	30,1	34,9	31,9	32,3	23,7	11,8	5,3	27,9	334,4
5076	35,7	26,4	35,6	31,4	35,1	28,1	41,0	27,0	22,3	6,2	7,2	25,8	321,7
5078	43,6	27,4	35,7	26,6	26,5	30,3	37,0	38,7	8,4	2,5	3,3	21,4	301,3
5079	42,1	25,9	32,7	32,2	28,9	32,4	42,3	36,1	14,7	6,3	7,2	17,7	318,5
5083	39,5	35,9	39,9	33,5	42,3	33,5	39,3	29,9	16,9	6,6	6,7	21,5	345,5
5084	30,5	32,9	36,4	32,7	29,8	29,6	30,8	26,1	14,6	5,0	5,6	16,8	290,9
5091I	49,8	50,5	45,3	41,1	35,1	32,7	38,8	38,4	21,9	3,0	9,5	17,7	383,8
5092E	27,9	33,6	35,8	30,1	27,2	27,7	32,9	27,3	12,1	3,2	5,6	18,8	282,1
5094	50,5	39,2	56,1	45,8	42,6	49,6	53,2	44,7	26,7	8,7	13,5	26,5	457,1
5094E	39,5	47,9	29,8	24,8	37,4	37,0	33,0	28,8	30,8	4,6	1,1	25,6	340,4
5096	43,8	39,1	39,5	31,9	33,5	37,1	43,3	32,1	21,0	5,5	8,9	19,5	355,1
5097	33,7	30,1	23,4	28,1	27,8	31,2	37,1	33,5	19,4	7,1	6,7	13,9	291,9
5098	31,7	25,2	32,1	26,7	22,5	25,5	33,6	27,2	15,2	5,1	7,1	17,1	269,1
5099	69,3	82,2	99,3	88,2	101,0	90,0	78,0	58,6	28,8	6,4	4,2	31,6	737,6
50101	43,0	48,1	58,8	60,8	55,9	51,5	44,2	29,0	19,0	3,0	6,0	16,5	435,8
5102	31,7	39,0	40,3	40,6	38,1	34,4	38,3	30,7	23,3	3,0	7,7	12,7	339,8
5103	32,2	32,1	40,0	34,3	32,5	33,9	33,1	28,5	19,8	3,4	7,4	15,3	312,5

CUADRO 2.- PRECIPITACIONES DEL AÑO-TIPO MEDIO (período 1942/43-94/95)

ESTAC	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5104	28,1	27,4	34,8	26,9	27,2	26,3	31,0	26,2	16,9	3,5	7,5	16,5	272,3
5106	53,3	43,2	56,6	37,6	34,9	36,4	46,0	51,6	22,6	9,2	8,7	29,6	429,7
5108	35,8	41,2	46,7	31,8	30,0	31,7	43,9	36,8	19,1	6,1	9,3	18,4	350,7
5109	35,3	35,8	49,8	39,2	38,0	38,0	47,7	34,3	19,6	5,6	9,1	20,6	372,9
5109E	37,0	36,1	44,4	29,4	34,3	30,6	41,9	36,0	30,7	7,3	4,0	8,6	340,4
5110	39,7	36,7	42,7	41,9	44,2	38,6	42,9	40,2	28,7	3,8	9,3	24,6	393,2
5111	31,9	30,2	35,8	26,1	28,1	29,8	38,7	30,1	14,4	1,3	3,4	17,4	287,2
5112A	32,4	29,5	35,0	28,2	27,3	30,6	36,3	30,3	22,9	5,2	9,1	19,0	305,9
5112B	54,9	28,7	7,9	24,1	20,7	22,3	30,2	20,7	17,7	0,3	1,4	26,1	255,0
5113	31,5	31,0	31,6	26,6	27,1	27,8	31,8	27,0	20,5	2,5	7,0	19,0	283,4
5113A	30,6	22,2	38,3	22,9	26,0	25,5	29,4	24,4	28,9	18,8	5,6	23,2	295,9
5113O	32,1	37,6	37,8	27,0	36,8	35,0	32,1	33,3	28,2	4,6	17,8	46,0	368,2
5115	45,0	57,6	68,3	61,4	65,9	58,3	54,4	36,8	19,6	3,2	6,2	20,7	497,4
5116	43,0	48,5	68,5	52,8	65,4	47,7	45,8	39,9	18,2	3,9	5,2	23,5	462,4
5117	47,2	58,7	68,5	58,7	66,4	66,1	53,7	48,9	17,7	2,7	7,5	21,2	517,3
5118	36,3	40,8	42,9	28,6	43,0	41,5	39,2	32,4	27,9	3,7	7,6	14,8	358,7
5120	30,1	34,1	33,5	26,3	30,3	35,8	33,7	34,6	18,4	4,5	5,0	18,0	304,3
5121	39,2	47,1	52,6	52,1	48,6	47,3	43,4	36,2	35,0	5,5	8,9	25,7	441,6
5124	43,7	39,8	41,0	37,5	39,0	48,5	46,8	52,0	33,6	6,5	9,4	25,8	423,6
5124E	37,9	31,1	23,2	41,3	32,9	37,5	36,1	50,0	24,5	6,7	2,0	10,1	333,4
5125	29,9	30,7	31,6	27,5	32,8	32,3	35,5	30,5	23,8	5,4	8,1	17,1	305,3
5129	49,2	57,1	69,1	61,7	62,2	59,2	52,0	39,1	27,7	4,3	9,5	24,3	515,5
5131	54,7	67,1	72,6	62,6	64,5	62,5	56,5	42,1	28,6	4,5	8,6	22,5	546,5
5132	32,5	33,7	39,9	40,4	42,4	39,9	39,0	34,2	29,0	4,8	8,3	21,3	365,5

CUADRO 3. PRECIPITACIONES DEL AÑO TIPO HÚMEDO (período 1942/43-94/95)

ESTAC	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5043E	45,5	58,8	61,7	48,4	48,4	58,0	53,5	57,2	26,6	12,2	13,8	44,8	528,8
5044	34,5	38,7	60,2	36,2	38,3	39,8	44,0	40,3	9,4	8,2	10,1	27,1	387,0
5044E	45,5	48,1	43,1	34,0	42,5	43,0	49,8	43,0	19,2	10,3	11,8	34,4	424,6
5046	59,7	65,0	97,4	54,8	60,8	57,1	75,6	66,4	26,5	13,7	18,6	38,8	634,3
5047	36,3	39,8	56,4	41,3	47,5	38,9	46,4	48,4	18,6	7,3	9,5	18,2	408,5
5047A	40,3	45,1	50,1	46,2	48,3	42,4	44,7	61,4	20,7	4,9	13,4	27,7	445,2
5047B	47,5	30,7	35,0	34,7	34,1	35,3	40,5	37,9	24,4	8,7	17,0	20,5	438,7
5048	38,9	44,4	53,1	41,9	44,9	38,5	58,7	47,1	13,6	7,4	13,3	30,2	432,0
5075	31,5	42,8	55,8	39,5	32,9	41,1	41,7	47,9	19,4	11,9	3,8	28,2	396,3
5076	34,4	35,6	54,8	39,4	38,1	37,9	51,2	44,4	14,5	7,8	6,6	28,7	393,6
5078	45,2	29,8	49,8	34,7	34,5	40,5	49,4	68,3	8,6	4,7	3,5	30,9	400,0
5079	47,5	27,5	43,4	40,3	35,9	39,0	53,7	60,4	13,8	7,7	10,3	24,0	403,7
5083	47,7	45,5	60,1	40,1	48,2	42,5	52,9	48,5	9,7	10,0	4,2	26,7	436,1
5084	25,9	40,8	58,2	37,2	37,3	35,6	39,7	43,4	11,3	3,9	4,8	21,3	359,4
5091I	60,1	68,5	64,4	48,5	46,4	32,3	49,5	47,4	18,7	4,4	15,1	25,9	481,2
5092E	23,3	40,2	58,8	36,1	34,6	36,5	36,6	46,3	8,3	2,9	6,7	22,2	352,6
5094	64,1	41,6	89,3	45,7	54,9	51,5	70,8	53,6	23,8	9,3	20,8	31,7	557,1
5094E	42,8	57,8	37,5	30,3	38,7	41,4	34,4	30,4	28,1	2,5	0,9	28,6	373,4
5096	51,7	48,8	63,3	37,5	43,2	33,3	59,0	43,7	15,8	7,6	13,9	20,6	438,5
5097	33,3	43,0	37,9	41,9	29,0	40,8	47,8	51,7	17,1	5,2	10,3	18,9	376,8
5098	36,1	28,0	55,2	31,2	29,5	28,5	37,6	42,1	6,1	5,5	11,0	26,7	337,5
5099	62,2	96,4	162,2	106,7	145,3	110,0	88,1	87,7	24,3	12,1	2,7	50,6	948,3
5101	40,3	67,5	89,4	81,5	84,4	72,6	49,9	47,8	10,3	1,4	5,8	21,9	572,8
5102	31,8	65,4	62,0	49,3	46,4	40,8	45,9	53,1	15,7	3,1	6,9	19,4	439,6
5103	31,3	44,8	71,4	44,2	44,5	39,1	39,9	48,0	10,2	3,9	6,2	23,4	406,8

CUADRO 3.- PRECIPITACIONES DEL AÑO-TIPO HÚMEDO (período 1942/43-94/95)

ESTAC	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5104	33,3	40,7	56,5	36,7	41,6	32,6	38,3	44,3	10,4	2,9	7,9	22,3	367,5
5106	51,6	66,2	79,5	51,9	51,4	37,8	53,5	85,4	16,7	14,3	6,9	42,9	558,0
5108	42,6	51,1	84,2	40,2	35,8	36,1	57,8	70,7	18,0	4,9	11,3	22,7	475,4
5109	40,6	54,7	87,2	52,9	56,5	45,6	58,1	54,6	14,1	9,1	10,4	27,8	511,6
5109E	54,5	54,2	80,0	39,0	48,9	31,3	53,2	63,4	27,8	7,0	3,1	11,6	474,0
5110	46,1	56,9	86,4	58,5	69,0	48,8	55,4	68,9	24,1	5,9	6,0	31,7	557,5
5111	36,6	44,7	57,2	36,1	35,6	36,6	48,5	55,4	11,7	1,0	1,4	23,6	388,6
5112A	39,1	43,0	67,5	32,0	33,0	35,7	43,5	52,3	21,5	12,1	9,6	33,1	422,6
5112B	55,7	28,7	9,8	31,2	20,9	25,5	31,0	30,7	14,0	0,3	0,8	45,7	294,2
5113	32,1	50,5	49,5	35,4	36,6	33,8	36,8	42,5	12,3	3,7	9,1	28,4	370,8
5113A	30,5	29,2	59,5	28,2	28,3	30,4	32,7	31,7	29,5	22,3	5,6	35,0	362,9
5113O	36,9	42,3	55,9	21,8	42,9	34,5	39,7	41,6	26,6	8,8	14,8	61,3	427,2
5115	41,9	69,5	114,0	76,4	95,7	76,0	60,3	59,0	17,5	2,1	8,1	26,4	497,4
5116	37,3	67,3	112,2	69,4	95,8	61,5	59,5	61,6	16,8	5,9	7,9	36,1	631,3
5117	51,6	71,7	109,3	67,8	96,7	90,0	64,4	79,5	14,0	2,8	9,9	31,9	689,6
5118	38,8	62,6	67,3	36,1	56,1	51,6	49,8	52,4	20,7	7,0	8,8	19,8	471,0
5120	35,1	55,3	54,7	36,9	39,4	47,9	50,3	53,7	17,6	6,2	5,8	32,0	435,1
5121	43,2	70,2	87,6	79,4	68,3	69,2	50,9	56,8	26,1	5,8	15,1	47,1	619,8
5124	48,1	45,6	57,2	38,9	46,5	48,6	57,7	67,5	31,6	10,5	10,3	44,2	506,6
5124E	34,9	35,1	23,2	51,8	34,4	45,0	38,7	60,6	26,3	8,5	2,6	8,5	369,6
5125	23,0	47,9	48,8	36,7	31,3	40,5	41,9	43,2	22,9	7,4	14,1	27,1	384,8
5129	60,1	68,5	106,9	76,5	89,3	79,5	62,6	53,7	23,4	5,1	12,5	34,0	672,1
5131	55,9	87,2	116,2	79,7	95,2	89,3	65,3	61,5	25,3	5,5	12,3	35,4	728,8
5132	37,5	41,6	68,1	59,7	55,2	56,6	45,2	58,2	16,3	10,1	10,1	40,3	499,1

CUADRO 4.- PRECIPITACIONES DEL AÑO-TIPO SECO (período 1942/43-94/95)													
ESTAC	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5043E	33,2	35,7	39,0	37,3	37,3	37,0	19,5	38,7	28,8	7,0	12,3	35,6	361,4
5044	33,4	24,8	22,8	31,9	27,2	17,8	15,6	23,5	13,4	2,5	11,9	30,0	254,9
5044E	27,5	33,6	27,8	28,6	43,6	31,7	18,0	26,0	23,8	10,7	12,2	27,9	311,3
5046	48,0	53,0	45,4	46,4	56,1	44,5	34,8	48,6	22,8	4,4	14,0	22,3	440,5
5047	38,4	30,5	25,1	33,9	38,0	28,2	21,1	30,2	29,5	0,6	12,9	20,8	309,1
5047A	34,9	27,4	29,5	36,3	34,8	20,3	24,0	30,1	26,7	2,1	15,7	32,9	314,8
5047B	47,5	30,7	35,0	34,7	34,1	35,3	40,5	37,9	24,4	8,7	17,0	20,5	282,7
5048	29,9	35,3	29,7	34,0	37,6	19,2	25,5	20,8	13,5	2,6	14,2	37,7	300,1
5075	16,6	34,1	30,7	20,2	21,9	24,4	17,6	21,6	17,6	8,4	7,0	27,6	247,7
5076	24,2	24,8	28,5	22,3	26,7	14,1	22,9	13,7	19,3	2,8	9,0	26,5	234,7
5078	37,7	28,0	32,7	21,1	11,1	17,3	20,0	18,1	5,3	0,8	2,9	21,2	216,1
5079	38,4	24,3	30,9	26,1	20,3	26,0	27,5	16,6	13,7	2,9	6,8	18,4	252,0
5083	27,6	35,6	30,3	26,6	28,5	18,5	16,7	14,5	15,5	3,4	11,0	13,9	241,9
5084	26,7	34,1	21,1	28,1	24,7	17,2	16,3	13,5	13,0	8,8	7,9	15,6	227,1
5091I	40,3	49,4	40,6	29,6	32,8	20,9	26,7	33,3	15,4	0,3	6,3	17,1	312,8
5092E	22,0	28,6	22,3	24,2	20,5	16,0	15,2	11,7	11,8	4,1	7,1	22,0	205,4
5094	32,4	41,1	35,2	39,0	37,6	35,3	38,1	34,6	20,1	10,3	9,6	27,6	360,9
5094E	39,4	45,6	21,9	16,5	40,6	30,3	33,0	26,3	14,5	0,0	0,3	13,7	282,2
5096	31,8	42,4	25,7	25,2	29,7	28,6	29,3	22,8	13,3	1,2	5,5	21,5	276,8
5097	32,1	25,6	11,0	15,3	24,4	17,5	18,8	23,6	23,1	4,8	5,3	10,7	212,2
5098	26,0	26,9	18,1	19,3	19,8	14,0	17,5	13,5	14,5	6,6	9,8	11,6	197,5
5099	50,3	81,8	70,2	68,7	59,1	73,0	59,9	40,6	23,0	2,0	6,1	22,8	557,4
5101	34,2	39,6	40,4	53,8	37,2	28,9	27,4	14,5	19,7	3,5	8,2	13,6	321,0
5102	23,9	26,2	22,8	30,3	30,9	22,5	21,7	12,4	23,0	1,3	9,4	9,8	234,3
5103	25,6	28,0	19,3	25,2	25,3	21,7	20,9	15,8	15,7	1,0	15,0	10,4	223,9

CUADRO 4.- PRECIPITACIONES DEL AÑO-TIPO SECO (período 1942/43-94/95)

ESTAC	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5104	17,8	22,1	16,4	19,5	18,7	17,4	16,5	13,5	13,2	2,3	12,2	13,7	183,4
5106	25,8	32,9	40,0	23,8	25,8	30,5	36,1	30,4	16,7	7,9	12,2	16,6	298,7
5108	25,0	37,8	19,3	24,3	22,5	25,0	23,1	16,8	14,7	4,7	9,7	15,0	237,9
5109	23,8	25,1	26,0	26,6	31,3	25,2	29,9	20,9	18,7	3,2	13,4	15,2	259,4
5109E	22,8	25,8	21,8	21,2	25,0	24,6	25,4	16,9	35,0	4,8	4,7	7,8	235,8
5110	30,5	28,0	20,5	34,9	35,9	25,6	26,3	26,3	21,2	1,3	13,7	28,7	292,9
5111	23,2	25,1	20,7	15,1	23,4	19,2	24,5	12,9	14,8	2,2	5,2	17,0	203,2
5112A	28,1	27,8	16,1	20,1	21,4	22,5	21,8	13,4	21,6	1,1	15,8	12,0	221,9
5112B	45,1	28,5	2,7	17,4	19,0	17,9	26,0	12,6	20,3	0,3	1,0	11,7	202,7
5113	26,0	24,1	19,2	18,4	25,2	18,5	18,4	13,0	14,9	1,5	9,3	17,7	206,2
5113A	33,8	18,2	22,5	17,0	25,3	18,1	23,1	16,0	31,2	12,9	4,2	21,2	243,5
5113O	26,7	44,9	20,4	25,2	35,4	27,1	23,4	23,4	21,1	1,4	19,6	47,2	315,6
5115	38,7	51,8	41,4	43,6	37,2	36,6	33,3	19,4	17,0	2,9	8,9	18,3	349,1
5116	32,5	40,6	38,1	35,0	47,5	31,3	29,5	25,9	8,6	0,0	8,2	15,0	312,1
5117	37,0	55,9	38,3	50,1	39,5	46,1	40,7	30,5	14,4	1,8	9,1	18,1	381,6
5118	33,1	32,6	20,7	18,6	35,9	28,4	28,1	15,5	20,9	0,9	11,7	9,3	255,6
5120	27,4	31,5	18,7	17,1	22,1	24,2	22,1	20,6	14,0	1,1	7,4	13,6	219,9
5121	31,4	41,0	30,4	33,3	34,2	28,6	28,5	15,2	41,4	1,9	8,3	17,0	311,1
5124	31,6	45,5	22,8	28,4	40,7	34,5	30,1	46,3	24,4	6,1	10,4	21,6	342,4
5124E	39,1	40,3	22,4	34,9	37,7	26,2	35,3	42,2	19,7	2,5	2,0	9,5	311,8
5125	29,9	25,4	14,2	16,6	29,1	24,1	24,1	21,8	20,7	1,8	5,1	14,6	227,5
5129	28,5	50,8	39,0	45,6	42,0	42,1	37,1	31,1	21,6	3,3	8,7	18,6	368,5
5131	42,6	56,4	39,0	44,8	39,7	35,8	40,1	28,0	25,7	4,0	9,1	16,7	382,0
5132	25,6	25,9	17,0	24,9	31,6	29,6	27,7	16,4	32,7	1,6	5,8	9,1	247,9



En la Figura 3 se presentan las isoyetas e isotermas medias, a escala 1:250.000; en las Figuras 4 y 5 se presentan, a escala 1:250.000, las isoyetas correspondientes a los años-tipo húmedo y seco, respectivamente.

En el ámbito del estudio, existe una escasa y deficiente información termométrica, únicamente se han obtenido las series de temperatura rellenada en el período 1942/43-94/95, en las estaciones 5111 "Valle del Zalabí. Esfiliana" y 5112A "Guadix. Instituto Técnico", que se adjuntan en el Anexo A1.

Las temperaturas en la zona, tal y como se desprende de las isotermas realizadas y presentes en la Figura 3, varían espacialmente desde menos de 11 °C en las zonas elevadas, correspondientes a las estribaciones de Sierra Nevada, a valores ligeramente superiores a 14 °C, en la zona central de la Hoya de Guadix y Embalse del Negratín.

## **2.5.- ETP, ETR y LLUVIA ÚTIL**

Únicamente se ha podido contar con las series de ETP en las estaciones 5111 y 5112A, y de las estaciones ficticias F0205, F0206, F0207, F0218, F0220, F0224, F0225, F0227, F0228 y F0229, que se adjuntan en el Anexo A1.

En el Cuadro 5 se presentan los valores medios mensuales de dichas estaciones.

Los valores anuales de ETP varían entre 546 mm, calculados en la estación ficticia F0207 y 787 mm (estación 5111 "Valle del Zalabí.Esfiliana").

El cálculo de ETR se ha realizado en todas aquellas estaciones que presentan la serie pluviométrica rellenada, asignándole los datos de ETP de la estación más cercana, según la siguiente relación:



**LEYENDA**

- Pluviométrica (con serie pluviométrica rellenada)
- Pluviométrica (sin serie pluviométrica rellenada)
- Termoplumiométrica (sin series pluviométrica y termométrica rellenada)
- Termoplumiométrica (con serie pluviométrica y sin serie termométrica rellenada)
- Termoplumiométrica (con serie pluviométrica y termométrica rellenada)
- Ficticia (con serie pluviométrica)
- Ficticia (con serie ETP)
- Isoyeta media (mm)
- Isoterma media (grados C)

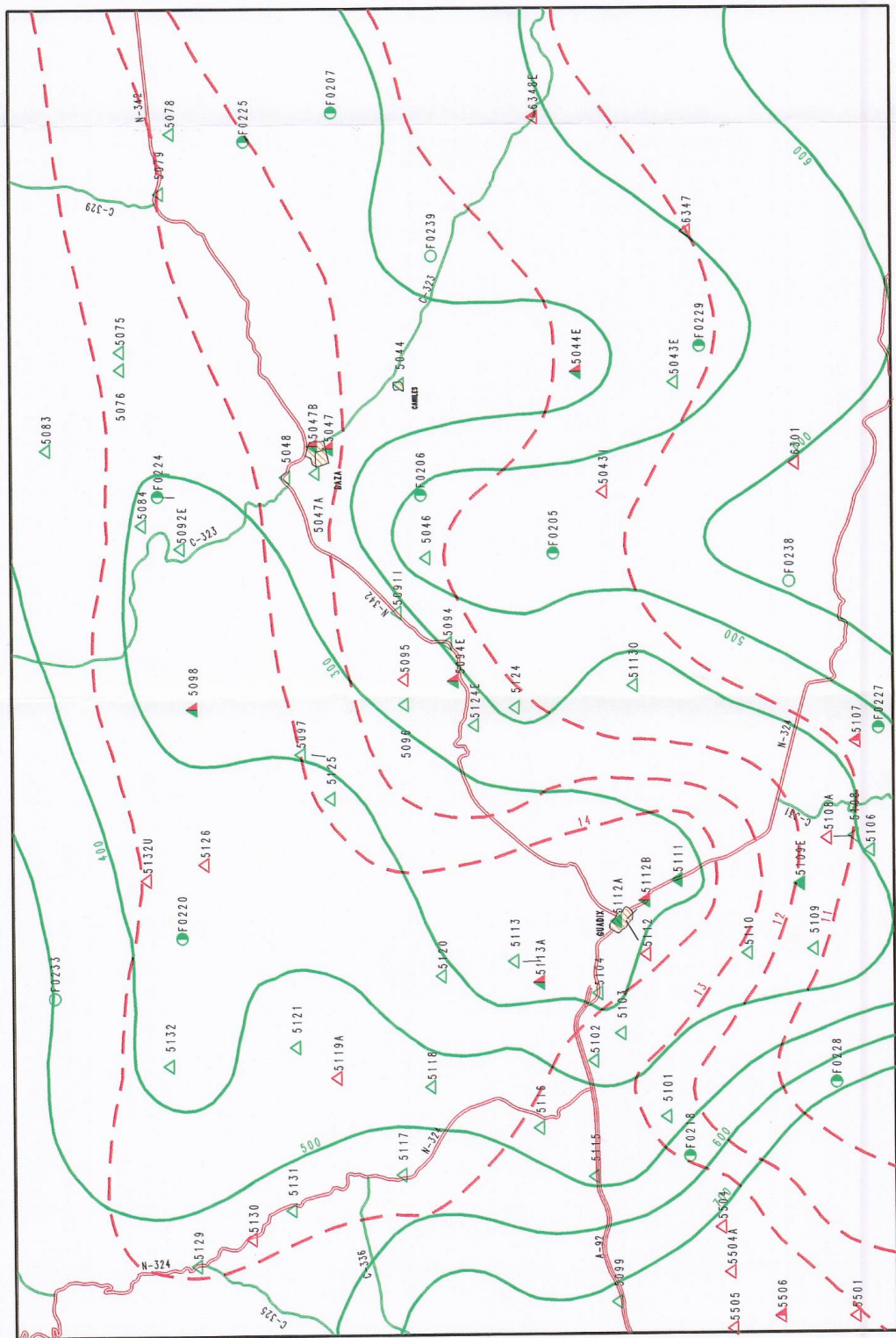


Figura 3.- Isoyetas e Isotermas medias

ESCALA 1:250.000



**LEYENDA**

- Pluviométrico (con serie pluviométrica rellenada)
- Pluviométrico (sin serie pluviométrica rellenada)
- Termopluviométrico (sin series pluviométrica y termométrica rellenada)
- Termopluviométrico (con serie pluviométrica y sin serie termométrica rellenada)
- Termopluviométrico (con serie pluviométrica y termométrica rellenada)
- Fielicita (con serie pluviométrica)
- Fielicita (con serie ETP)
- Isoyeta año-tipo húmedo (mm)

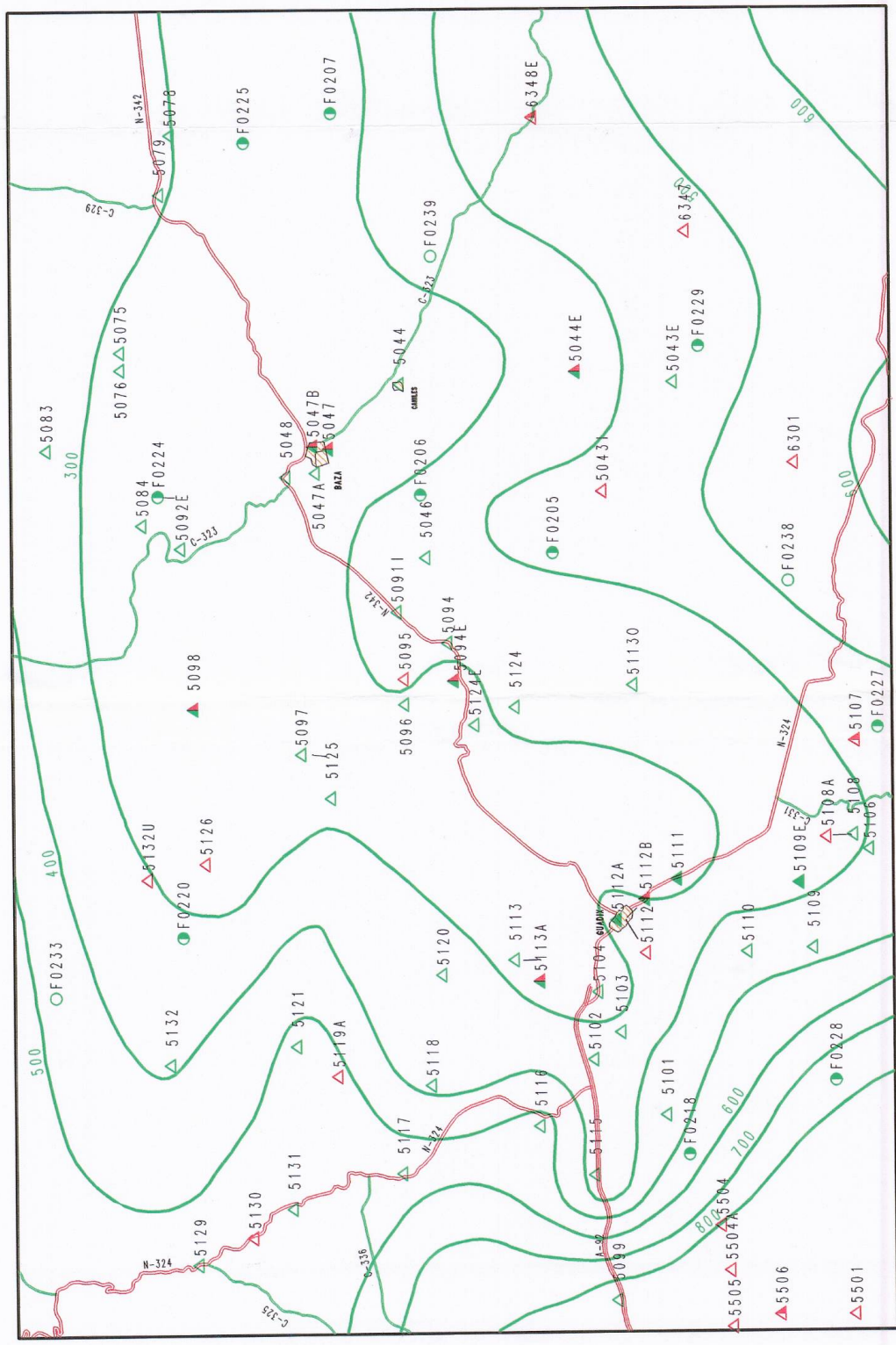
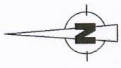


Figura 4.- Isoyetas del año-tipo húmedo

ESCALA 1:250.000



**L E Y E N D A**

- △ Pluviométrica (con serie pluviométrica rellenada)
- △ Pluviométrica (sin serie pluviométrica rellenada)
- ▲ Termopluviométrica (sin series pluviométrica y termométrica rellenada)
- ▲ Termopluviométrica (con serie pluviométrica y sin serie termométrica rellenada)
- Termopluviométrica (con serie pluviométrica y termométrica rellenada)
- Ficticia (con serie pluviométrica)
- Ficticia (con serie ETP)
- Isoyeta año-tipo seco (mm)

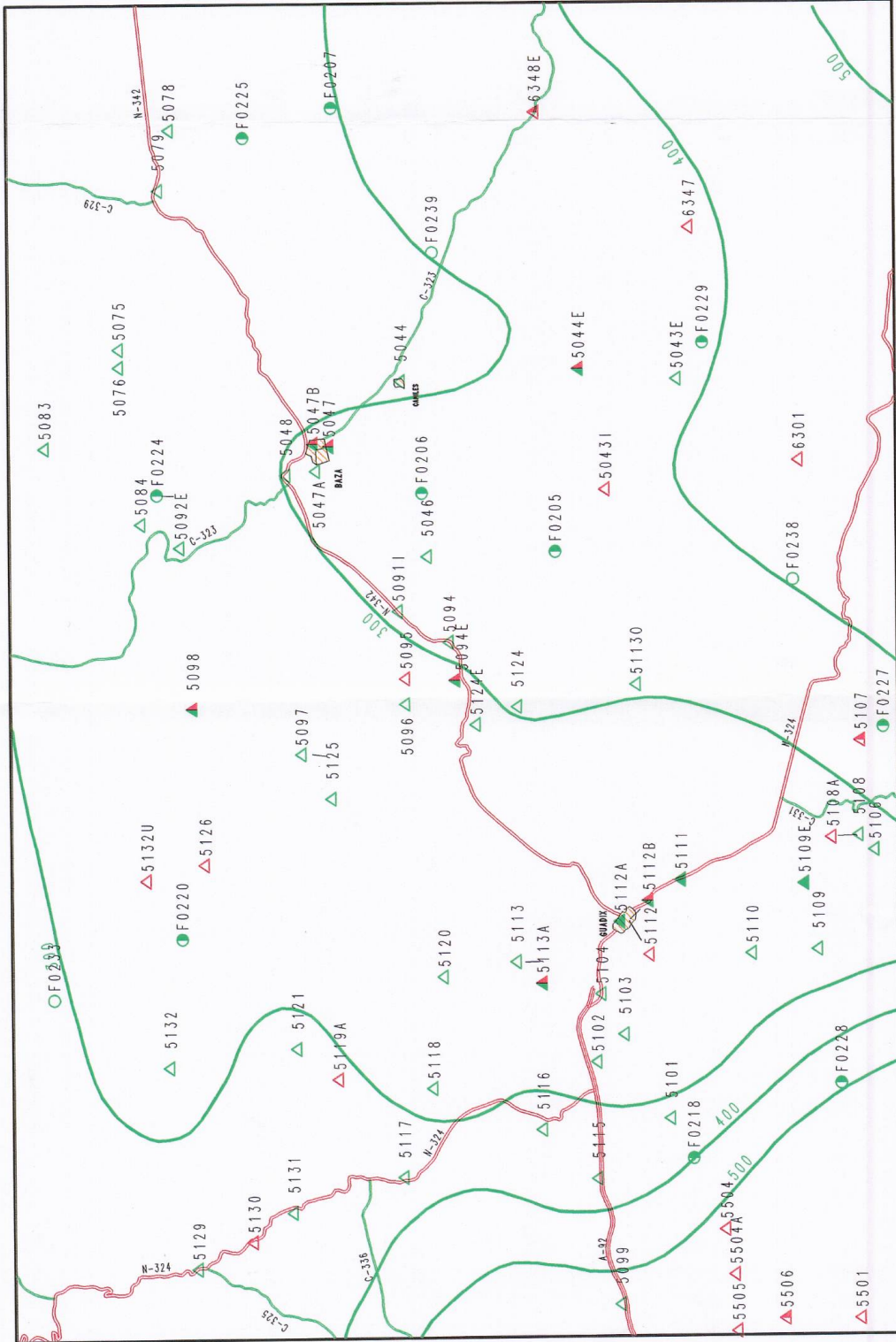


Figura 5.- Isoyetas del año-tipo seco

ESCALA 1:250.000

CUADRO 5.- ETP MEDIAS MENSUALES (Período 1942/43-94/95)

AÑO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5111	59,7	33,4	21,7	12,3	17,7	31,3	14,9	74,6	116,3	153,6	146,7	104,9	787,0
5112A	56,9	24,6	14,5	12,5	17,1	33,1	16,3	77,5	115,0	147,3	140,6	95,0	750,4
F0205	44,6	25,0	16,2	9,2	13,2	23,4	11,2	55,8	87,0	114,9	109,7	78,4	588,7
F0206	51,5	28,8	18,8	10,6	15,3	27,1	12,9	64,5	100,5	132,7	126,7	90,6	680,0
F0207	48,6	27,2	17,7	10,0	14,4	25,5	12,2	60,7	94,7	125,0	119,4	85,4	640,6
F0218	51,0	28,5	18,6	10,5	15,1	26,8	12,8	63,8	99,4	131,3	125,4	89,7	672,9
F0220	53,9	27,0	15,0	13,8	17,4	31,1	32,8	75,8	112,7	148,9	136,7	96,2	761,3
F0224	51,6	24,2	14,8	13,0	14,6	28,2	35,5	71,2	103,8	151,3	132,7	86,3	727,2
F0225	46,7	21,9	13,3	11,7	13,2	25,5	32,1	64,4	93,7	136,6	119,9	77,9	656,9
F0227	42,8	24,0	15,6	8,8	12,7	22,5	10,7	53,6	83,5	110,3	105,3	75,3	565,1
F0228	42,8	24,0	15,6	8,8	12,7	22,5	10,7	53,6	83,5	110,3	105,3	75,3	565,1
F0229	44,3	24,8	16,1	9,1	13,1	23,3	11,1	55,4	86,4	114,1	109,0	77,9	584,7

- ETP de la estación 5111 se ha asignado a las siguientes estaciones:  
5111, 109E y 5110.
- ETP de la estación 5112A se ha asignado a las siguientes estaciones:  
5104, 5112A, 5112B, 5113 y 5113A.
- ETP de la estación F0205 se ha asignado a la estación 5113O.
- ETP de la estación F0206 se ha asignado a las siguientes estaciones:  
5044, 5046, 5047, 5047A y 5047B.
- ETP de la estación F0207 se ha asignado a las estaciones 5078 y 5079.
- ETP de la estación F0218 se ha asignado a las siguientes estaciones:  
5099, 5101, 5102, 5105, 5115, 5116, 5117 y 5118.
- ETP de la estación F0220 se ha asignado a las siguientes estaciones:  
5120, 5121, 5129, 5131 y 5132.
- ETP de la estación F0224 se ha asignado a las siguientes estaciones:  
5048, 5075, 5076, 5083, 5084, 5092E y 5098.
- ETP de la estación F0225 se ha asignado a las siguientes estaciones:  
5091I, 5094, 5094E, 5096, 5097, 5124, 5124E y 5125.
- ETP de la estación F0227 se ha asignado a las estaciones 5106 y 5108.
- ETP de la estación F0228 se ha asignado a la estacione 5109.
- ETP de la estación F0229 se ha asignado a las estaciones 5043E y  
5044E.

Se han calculado por el método de Thorntwaite los valores de ETR y Lluvia Útil mensuales para el año medio y los años-tipo húmedo y seco, teniendo en cuenta para ello, valores de R.U del suelo de 25, 50, 75 y 100 mm.

Dado el gran número de estaciones existente, se ha creído conveniente seleccionar las más representativas del área y en base a ellas realizar los cálculos de infiltración.

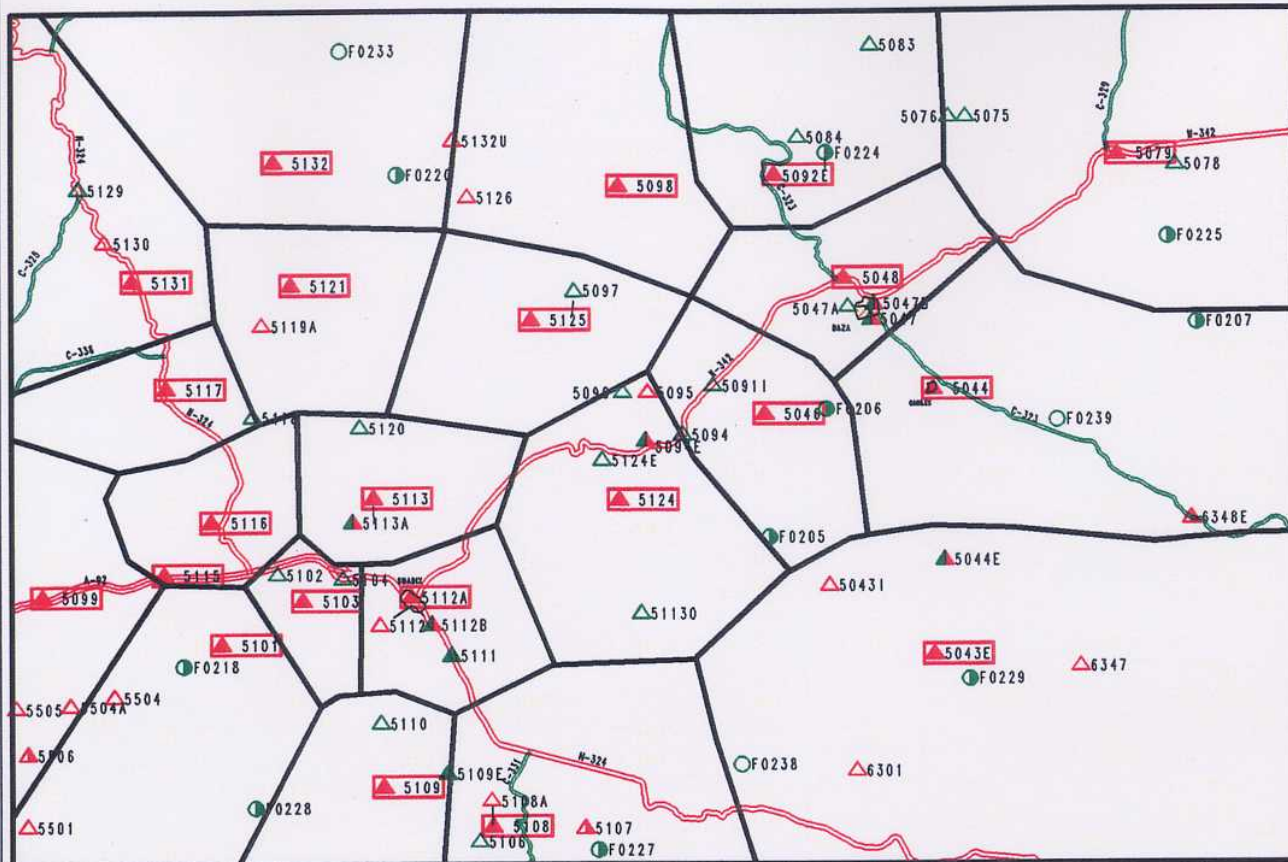
Se han seleccionado un total de 21 estaciones, asignándole a cada una de ellas un área de influencia, mediante la elaboración de polígonos de Thiesen, de tal forma que estos, cubren la totalidad del ámbito de estudio.

Las estaciones seleccionadas, a tal efecto, son las siguientes: 5043E, 5044, 5046, 5048, 5079, 5092E, 5098, 5099, 5101, 5103, 5108, 5109, 5112A, 5113, 5116, 5117, 5121, 5124, 5125, 5131 y 5132.

La situación de las estaciones y la delimitación del área según los polígonos de Thiesen se presenta en la Figura 6.

Hay que tener en cuenta que, tal y como expone "GOLLONET et al, 1986", que para un cálculo correcto de la ETR en climas áridos y semiáridos similares al estudiado, hay que considerar valores de reserva útil muy por debajo de los usuales, debido a la irregular distribución temporal de las precipitaciones, que se produce unos pocos días al año. El cálculo de ETR, mediante balances mensuales lleva implícitos, por tanto, errores por exceso, que se tratan de compensar en cierta medida disminuyendo el valor de la reserva útil.

Por ello, se ha realizado, en las 21 estaciones seleccionadas, un cálculo adicional de ETR, Lluvia Útil y Déficit Hídrico, para el año medio y los años-tipo húmedo y seco, considerando reservas útiles del suelo de 5, 10, 15 y 20 mm.



### LEYENDA

- △ Pluviométrica (con serie pluviométrica rellena)
- △ Pluviométrica (sin serie pluviométrica rellena)
- ▲ Termopluviométrica (sin series pluviométrica y termométrica rellena)
- ▲ Termopluviométrica (con serie pluviométrica y sin serie termométrica rellena)
- ▲ Termopluviométrica (con serie pluviométrica y termométrica rellena)
- Ficticia (con serie pluviométrica)
- Ficticia (con serie ETP)
- Límite de Polígonos Thiessen
- ▲ 5131 Estación climática seleccionada

FIGURA 6.- Polígonos Thiessen de las estaciones climáticas más representativas

ESCALA 1:500.000



En los Cuadros 6, 7 y 8 se muestran, para las estaciones más representativas, los diferentes valores de Lluvia Útil, para reservas útiles del suelo de 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75 y 100 mm, para el año medio y los años-tipo húmedo y seco, respectivamente.

## **2.6.- DETERMINACIÓN DE LA RESERVA ÚTIL Y PORCENTAJES DE INFILTRACIÓN A CONSIDERAR PARA LOS DISTINTOS MATERIALES AFLORANTES**

Para el cálculo de la recarga por infiltración de lluvia y escorrentía en los acuíferos de la comarca de Baza-Guadix, se han considerado las siguientes simplificaciones:

- Se han diferenciado, en la comarca de Baza-Guadix, cuatro tipos de materiales:
  - . Pliocuaternario permeable de las unidades Guadix-Marquesado y Baza-Caniles.
  - . Pliocuaternario indiferenciado y pliocuaternario suprayacente a la Unidad de Sierra de Baza.
  - . Pliocuaternario de baja permeabilidad de las unidades de Guadix-Marquesado y Baza-Caniles.
  - . Materiales metapelíticos de baja permeabilidad de los mantos alpujárrides.
  - . Materiales Carbonatados de los mantos alpujárrides.
  
- La naturaleza, espesor, recubrimiento vegetal y pendiente son en general homogéneas en cada tipo, por lo que se les puede asignar, con excepciones, como media los mismos valores de R.U. y tasa de infiltración (respecto de Lluvia Útil).

CUADRO 6.- LLUVIA ÚTIL ANUAL (mm). AÑO MEDIO									
ESTACIÓN	RU: 5 mm	RU: 10 mm	RU: 15 mm	RU: 20 mm	RU: 25 mm	RU: 50 mm	RU: 75 mm	RU: 100 mm	
5043E	181,9	176,9	171,9	166,9	161,9	136,9	111,9	86,9	
5044	78,5	73,5	68,5	63,5	58,5	33,5	8,5	0,0	
5046	230,8	225,8	220,8	215,8	210,8	185,8	160,8	135,8	
5048	88,3	83,3	78,3	73,3	68,3	43,3	18,3	0,0	
5079	83,8	78,8	73,8	68,8	63,8	38,8	13,8	0,0	
5092E	55,0	50,0	45,0	40,0	35,0	10,0	0,0	0,0	
5098	34,9	29,9	24,9	19,9	14,9	0,0	0,0	0,0	
5099	439,8	434,8	429,8	424,8	419,8	394,8	369,8	344,8	
5101	202,1	197,1	192,1	187,1	182,1	157,1	132,1	107,1	
5103	88,6	83,6	78,6	73,6	68,6	43,6	18,6	0,0	
5108	126,0	121,0	116,0	111,0	106,0	81,0	56,0	31,0	
5109	149,2	144,2	139,2	134,2	129,2	104,2	79,2	54,2	
5112A	63,7	58,7	53,7	48,7	43,7	18,7	0,0	0,0	
5113	53,0	47,7	42,7	37,7	32,7	7,7	0,0	0,0	
5116	211,4	206,4	201,4	196,4	191,4	166,4	141,4	116,4	
5117	254,9	249,9	244,9	239,9	234,9	209,9	184,9	159,9	
5121	149,0	144,0	139,0	134,0	129,0	104,0	79,0	54,0	
5124	129,8	124,8	119,8	114,8	109,8	84,8	59,8	34,8	
5125	67,6	62,6	57,6	52,6	47,6	22,6	0,0	0,0	
5131	244,4	239,4	234,4	229,4	224,4	199,4	174,4	149,4	
5132	93,2	88,2	83,2	78,2	73,2	48,2	23,2	0,0	

CUADRO 7.- LLUVIA ÚTIL ANUAL (mm). ANO-TIPO HÚMEDO									
ESTACIÓN	RU: 5 mm	RU: 10 mm	RU: 15 mm	RU: 20 mm	RU: 25 mm	RU: 50 mm	RU: 75 mm	RU: 100 mm	
5043E	229,1	224,1	219,1	214,1	209,1	184,1	159,1	134,1	
5044	138,8	133,8	128,8	123,8	118,8	93,8	68,8	43,8	
5046	302,3	297,3	292,3	287,3	282,3	257,3	232,3	207,3	
5048	146,1	141,1	136,1	131,1	126,1	101,1	76,1	51,1	
5079	128,0	123,0	118,0	113,0	108,0	83,0	58,0	33,0	
5092E	107,5	102,5	97,5	92,5	87,5	62,5	37,5	12,5	
5098	74,7	69,7	64,7	59,7	54,7	29,7	4,7	0,0	
5099	626,5	621,5	616,5	611,5	606,5	581,5	556,5	531,5	
5101	328,0	323,0	318,0	313,0	308,0	283,0	258,0	233,0	
5103	166,7	161,7	156,7	151,7	146,7	121,7	96,7	71,7	
5108	233,1	218,1	213,1	208,1	203,1	178,1	153,1	128,1	
5109	256,7	251,7	246,7	241,7	236,7	211,7	186,7	161,7	
5112A	131,6	126,6	121,6	116,6	111,6	86,6	61,6	36,6	
5113	119,5	114,5	109,5	104,5	99,5	74,5	49,5	24,5	
5116	348,4	343,4	338,4	333,4	328,4	303,4	278,4	253,4	
5117	398,9	393,9	388,9	383,9	378,9	353,9	328,9	303,9	
5121	283,5	278,5	273,5	268,5	263,5	238,5	213,5	188,5	
5124	176,2	171,2	166,2	161,2	156,2	131,2	106,2	81,2	
5125	124,3	119,3	114,3	109,3	104,3	79,3	54,3	29,3	
5131	392,8	387,8	382,8	377,8	372,8	347,8	322,8	297,8	
5132	184,4	179,4	174,4	169,4	164,4	139,4	114,4	89,4	

CUADRO 8.- LLUVIA ÚTIL ANUAL (mm). AÑO-TIPO SECO										
ESTACIÓN	RU: 5 mm	RU: 10 mm	RU: 15 mm	RU: 20 mm	RU: 25 mm	RU: 50 mm	RU: 75 mm	RU: 100 mm		
5043E	103,3	98,3	93,3	88,3	83,3	58,3	33,3	8,3		
5044	32,3	27,3	22,3	17,3	12,3	0,0	0,0	0,0		
5046	161,8	156,8	151,8	146,8	141,8	116,8	91,8	66,8		
5048	65,0	60,0	55,0	50,0	45,0	20,0	0,0	0,0		
5079	46,0	41,0	36,0	31,0	26,0	1,0	0,0	0,0		
5092E	24,0	19,0	14,0	9,0	4,0	0,0	0,0	0,0		
5098	12,6	7,6	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
5099	295,4	290,4	285,4	280,4	275,4	250,4	225,4	200,4		
5101	110,0	105,0	100,0	95,0	90,0	65,0	40,0	15,0		
5103	23,7	18,6	13,6	8,6	3,6	0,0	0,0	0,0		
5108	52,8	47,8	42,8	37,8	32,8	7,8	0,0	0,0		
5109	64,9	59,9	54,9	49,9	44,9	19,9	0,0	0,0		
5112A	12,2	6,6	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
5113	13,6	8,6	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
5116	104,7	99,7	94,7	89,7	84,7	59,7	34,7	9,7		
5117	153,4	148,4	143,4	138,4	133,4	108,4	83,4	58,4		
5121	60,6	55,6	50,6	45,6	40,6	15,6	0,0	0,0		
5124	81,3	76,3	71,3	66,3	61,3	36,3	11,3	0,0		
5125	20,1	15,1	10,1	5,1	0,1	0,0	0,0	0,0		
5131	113,8	108,8	103,8	98,8	93,8	68,8	43,8	18,8		
5132	22,2	17,2	12,2	7,2	2,2	0,0	0,0	0,0		

Los materiales pliocuaternarios de la comarca de Baza-Guadix, se sitúan en áreas de baja pendiente y sobre ellos se desarrollan fluvisoles calcáreos. Para todos ellos se ha considerado una R.U. de 50 mm, ligeramente superior al deducido en el "Informe sobre modelización matemática del acuífero de Guadix" (45 mm) e inferior al estimado en el "Estudio hidrogeológico sobre las posibilidades de recarga para riegos en el acuífero de Caniles" (60 mm).

En los pliocuaternarios que tapizan la zona septentrional del sector oriental de la Sierra de Baza, los suelos se encuentran muy desarrollados, por lo que se ha creído conveniente aplicar una reserva útil de 100 mm.

La mayor parte de los estudios de las unidades hidrogeológicas de Guadix-Marquesado y Baza-Caniles, consideran que en los materiales permeables pliocuaternarios se produce la infiltración total de la Lluvia Útil.

La infiltración total de la Lluvia Útil, puede ser asumida a efectos de calcular el balance hídrico, pero hay que tener en cuenta que dado el régimen torrencial de lluvias de la zona, eventualmente se producen escorrentías que escapan de la infiltración.

Se puede considerar, a efectos de calcular el balance, que la infiltración que se produce en los materiales pliocuaternarios de baja permeabilidad, es despreciable.

Sobre los materiales esquistosos nevado filábrides, cabe distinguir: por un lado, los que conforman las cuencas vertientes a las unidades de Baza-Caniles y Guadix-Marquesado, y por otro, los englobados dentro de la U.H. de Sierra de Baza.

En los materiales nevadofilábrides de la vertiente sur de Sierra Nevada, que vierten a las unidades de Baza-Caniles y Guadix-Marquesado, los suelos están poco desarrollados, con un espesor medio de apenas 10 cm, que corresponden a cambisoles eutricos; su pendiente es superior al 3% y presentan escasa vegetación. Para este tipo de suelos, se ha considerado una reserva útil de 25 mm.

Los materiales esquistosos que afloran fundamentalmente dentro del sector oriental de la U.H. Sierra de Baza, presentan un suelo bastante arcilloso y bien desarrollado, con espesores superiores a 50 cm y abundante vegetación. Para estos afloramientos se ha considerado una reserva útil de 100 mm.

Se considera que la infiltración en los materiales esquistosos es despreciable respecto a la escorrentía. No obstante, existen algunas galerías mineras con caudales muy apreciables (5-10 l/s); si en ellas, se considera la longitud de su red de galerías, su superficie y el volumen de roca suprayacente, se deduce que la infiltración es muy baja. En estudios hidrogeológicos realizados sobre materiales de baja permeabilidad, se han deducido, para materiales de similar naturaleza, tasas de infiltración inferiores al uno por mil de la precipitación.

En los materiales calcáreos de la Sierra de Baza y acuífero de Jabalcón, el suelo se encuentra diseminado entre afloramientos rocosos, se trata de litosoles y regosoles poco desarrollados; la pendiente media es superior al 3% y la vegetación es escasa. Se ha considerado para estos materiales una reserva útil de 10 mm, muy similar a la considerada en el "Estudio hidrogeológico sobre las posibilidades de recarga artificial para la mejora de riegos en el acuífero de Caniles".

En el balance realizado para el afloramiento calcáreo que da lugar al nacimiento del río Gor, el valor de reserva útil de 10 mm, permite un buen ajuste entre la recarga y las descargas a través del manantial, tal y como puede observarse en el Cuadro 9.

Por lo que el valor de 10 mm para la R.U, parece apropiado para los cálculos de la Lluvia Útil en los materiales calcáreos.

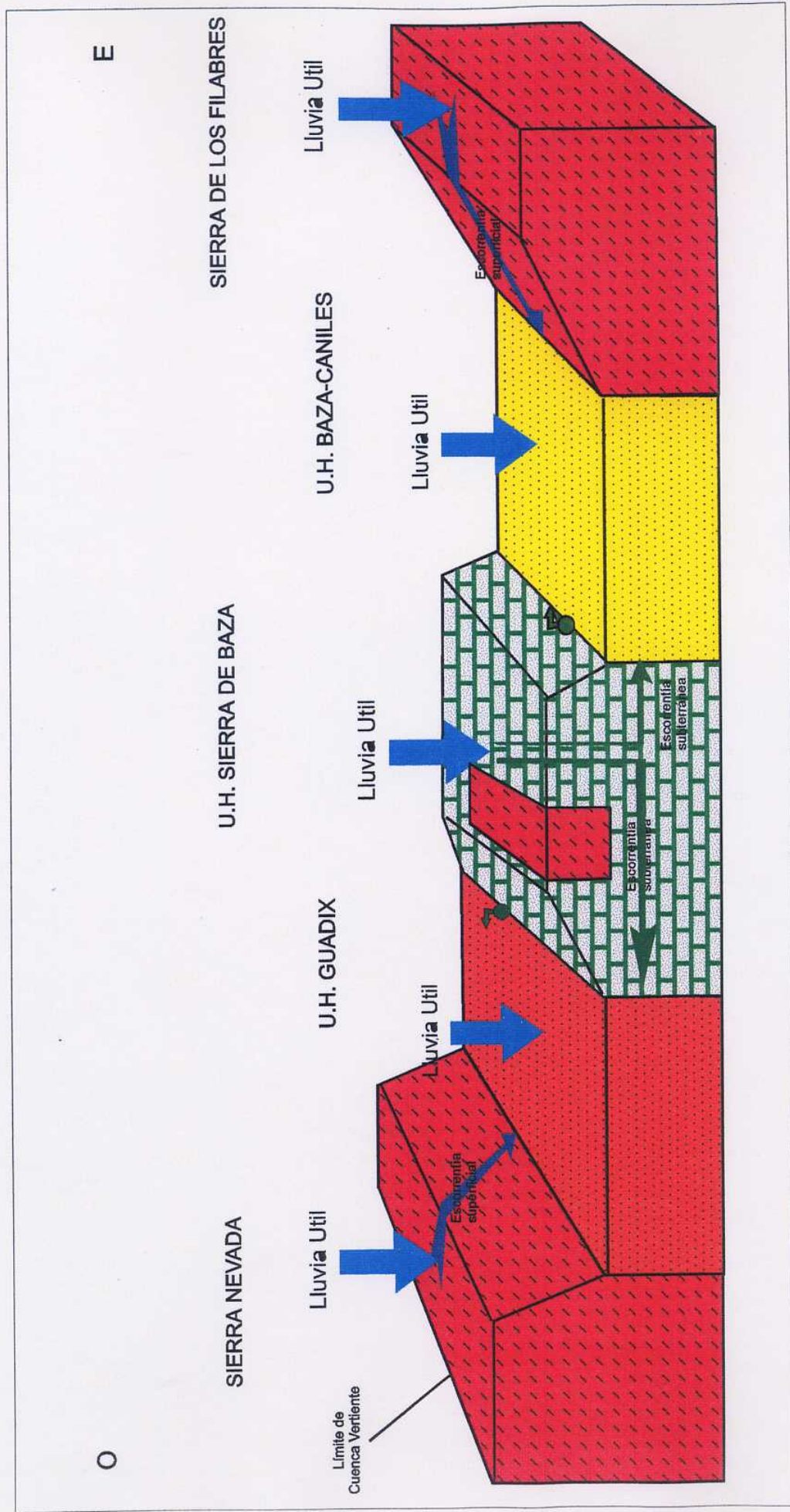


Figura 7.- Esquema conceptual de la infiltración sobre las unidades hidrogeológicas de la Comarca de Guadix-Baza

**CUADRO 9.- Balance hídrico del afloramiento calcáreo drenado por el Nacimiento del río Gor (Nº 58)**

Polígono de Thiessen	LITOLÓGÍA	Superficie (km <sup>2</sup> )	Lluvia Útil (R.U:10 mm)	Recursos	
				hm <sup>3</sup> /año	Q l/s
5046	Materiales calcáreos	4,5	225,8	1,01	
5124	Materiales calcáreos	1,3	124,8	0,16	
5043E	Materiales calcáreos	0,5	176,9	0,08	
<b>TOTAL</b>				<b>1,25</b>	<b>40(*)</b>

\*: Caudal medio calculado en base a los aforos realizados en el presente proyecto (ver Cuadro 11, epígrafe 4.1.5)

## 2.7.- CONSIDERACIONES PREVIAS PARA LA ESTIMACIÓN DE RECARGA POR INFILTRACIÓN

La estimación de la recarga por infiltración en la comarca de Baza-Guadix responde al esquema conceptual que se muestra en la Figura 7.

En las unidades hidrogeológicas de la comarca de Baza-Guadix, es necesario considerar, además de la infiltración directa por agua de lluvia (tratada en el anterior apartado), la infiltración de la escorrentía que les llega procedentes de sus respectivas cuencas vertientes.

Únicamente se produce escorrentía en materiales "impermeables" nevadofilábrides, ya que en el resto de materiales se produce una infiltración total de la Lluvia Útil.

Casos especiales, lo constituyen la Unidad hidrogeológica Sierra de Baza y el acuífero de Jabalcón, cuyas delimitaciones incluyen afloramientos "impermeables". Se ha considerado que la escorrentía que se produce en dichos afloramientos, se infiltra íntegramente en los materiales calcáreos de la unidad.



En las unidades hidrogeológicas de Baza-Caniles y Guadix-Marquesado, es muy difícil determinar que porcentaje de la escorrentía, llega a infiltrarse en el acuífero.

Hay que tener en cuenta que el régimen torrencial de las precipitaciones en la zona, condiciona que los volúmenes mayores de escorrentía se produzcan en las tormentas y que gran parte de esa escorrentía no se infiltre en el acuífero, sobre todo en la U.H. de Baza-Caniles, donde la granulometría de los aluviales indica la existencia periódica del paso de grandes volúmenes puntuales de escorrentía.

Además hay que tener en cuenta que parte de la escorrentía es derivada mediante acequias, y que de ella, sólo una parte es consumida en los riegos, infiltrándose el resto, desde las propias conducciones o como excedentes de riego.

En algunos de los informes consultados se estima que, en los acuíferos pliocuaternarios se produce una infiltración total de la escorrentía. Esto implicaría que las avenidas de deshielo y las resultantes de fuertes tormentas se infiltraran en su totalidad, extremo que es indudablemente falso. Parece más razonable considerar porcentajes de infiltración sensiblemente inferiores, que a priori son difíciles de evaluar.

Las aportaciones superficiales que llegan al acuífero de Guadix, procedentes de Sierra Nevada, se han evaluado en el presente informe en 44,5 hm<sup>3</sup> (ver epígrafe 3.4.8.1).

En la U.H. de Guadix, la recarga por infiltración de las aguas de escorrentía que llegan a la unidad, considerando como tales la infiltración en cauces, las pérdidas en acequias y los retornos de regadíos a partir de aguas superficiales, se evaluó, en el " Modelo matemático de flujo de la unidad hidrogeológica 05.12 Guadix-Marquesado (Granada). ITGE-CHG, 1997" en 25,56 hm<sup>3</sup>/año, que suponen aproximadamente un 54 % de la escorrentía media que accede a la unidad (47,2 hm<sup>3</sup>/año).

En el acuífero pliocuaternario de Baza-Caniles se puede estimar que el porcentaje de infiltración de la escorrentía debe ser similar o ligeramente inferior, debido a un menor recorrido de la escorrentía sobre sus afloramientos. Parece razonable utilizar en este acuífero un porcentaje de infiltración del 50% de la escorrentía.

**3.- CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS**

### **3.- CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS**

En la comarca de Baza-Guadix, afloran materiales acuíferos correspondientes a las unidades hidrogeológicas y acuíferos, denominados:

- U.H. Sierra de Baza
- U.H. de Jabalcón.
- U.H. de Baza-Caniles
- U.H. Guadix-Marquesado
- U.H. Padul-La Peza
- Sector meridional de la U.H. Sierra de Las Estancias

De los que únicamente los cuatro primeros son objeto de actuación en el presente estudio.

Conviene recordar aquí, la posición y relaciones geográficas entre ellos (ver Figuras 1 y 7).

El esquema de funcionamiento hidráulico global en la comarca de Baza-Guadix, se presenta en la Figura 8.

A continuación se resumen las principales características de las unidades hidrogeológicas y acuíferos objeto del presente estudio, ampliándose aquellos aspectos que han sido objeto de actuaciones.

### **3.1.- U.H. SIERRA DE BAZA**

#### **3.1.1.- Encuadre hidrogeológico**

La unidad hidrogeológica de la Sierra de Baza, conceptualmente corresponde al acuífero o acuíferos conformados por los tramos calcáreos de los mantos alpujárrides que se encuentran apilados en la denominada Sierra de Baza.

En el presente estudio se ha considerado como límite de la unidad la envolvente de todos los afloramientos calcáreos alpujárrides existentes. De esta forma se englobarían dentro de la unidad, los afloramientos permeables pliocuaternarios que en la zona septentrional se encuentran intercalados entre afloramientos calcáreos, indicando de esta forma la posible relación entre unos y otros.

Así, la Unidad hidrogeológica de Sierra de Baza, ocupa una extensión de unos 358 km<sup>2</sup>, de los cuales 293 km<sup>2</sup> están constituidos por calizas, dolomías y mármoles alpujárrides, 18 km<sup>2</sup> por materiales "impermeables" alpujárrides y 47 km<sup>2</sup> por materiales pliocuaternarios permeables.

Respecto a la red hidrográfica existente, hay que mencionar que en la Unidad nace el río Gor tributario del río Fardes y el arroyo de Baúl, que desagua en el Embalse del Negratín. En el extremo suroriental, los ríos Gallego y Golopón atraviesan materiales calcáreos de esta unidad.

# ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO EN EL SECTOR DE GUADIX-BAZA

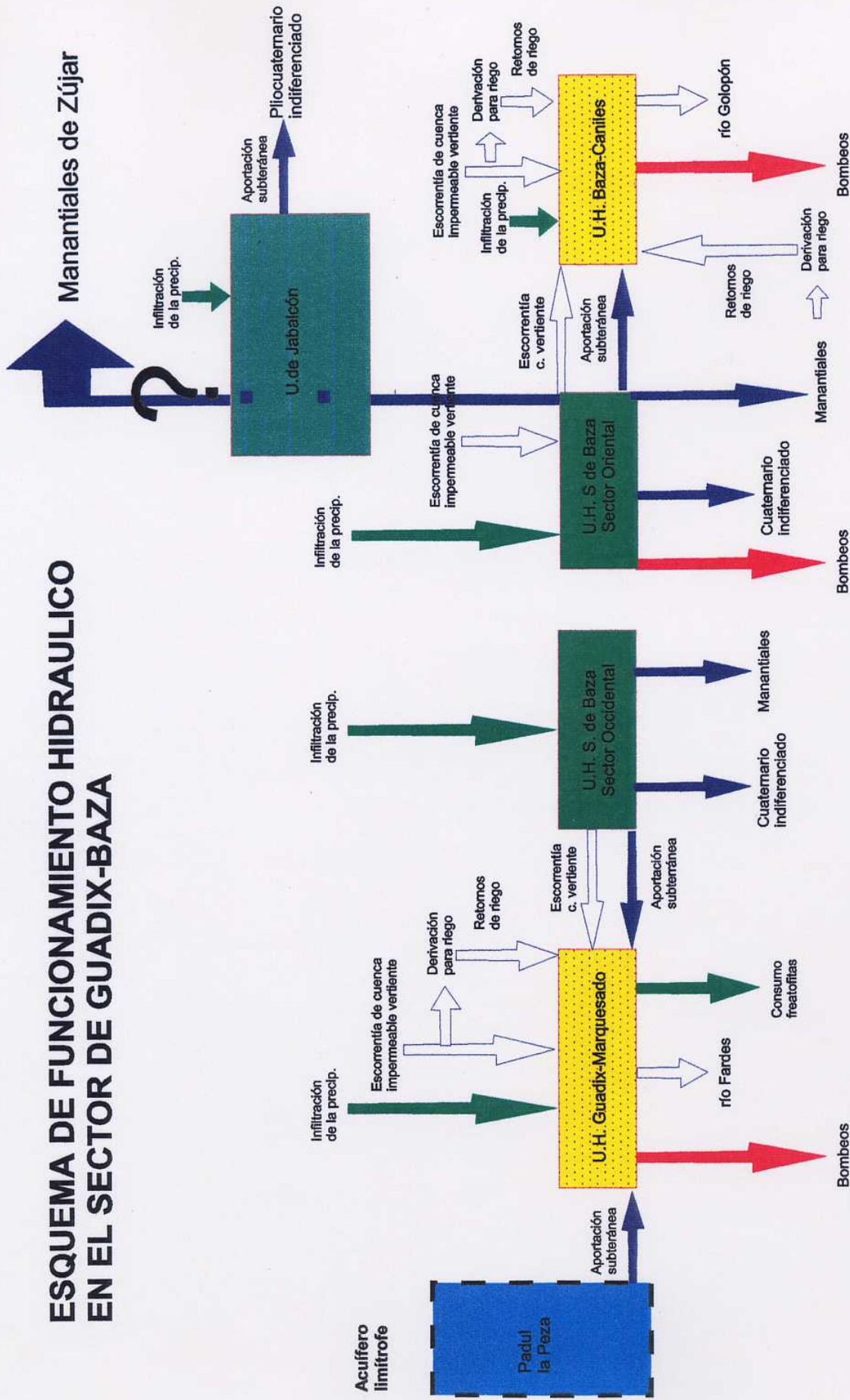


Figura 8.- Esquema de funcionamiento hidráulico global en la Comarca Guadix-Baza

Tanto la cuenca del río Gallego, como la del río Golopón, aguas arriba de la unidad, están íntegramente ubicadas en micaesquistos del manto Nevado-Filábride. Los dos ríos atraviesan una estrecha banda de afloramientos marmóreos nevadofilábrides, donde reciben aportaciones, fundamentalmente a través de manantiales situados en el cauce.

El río Golopón, aguas abajo de estos afloramientos, conduce las aguas hacia la U.H. de Baza-Caniles, en donde se infiltra parte de su escorrentía.

El río Gallego, atraviesa posteriormente materiales calcáreos del manto de Blanquizares, donde se infiltran parcialmente las aguas de escorrentía, que retornan al cauce aguas abajo del afloramiento, para posteriormente infiltrarse en los materiales pliocuaternarios de la U.H. de Baza-Caniles (excepto en las épocas de grandes avenidas, en las que buena parte de la escorrentía escapa a la infiltración).

El límite sur de la unidad corresponde al contacto de los afloramientos calcáreos con los micaesquistos nevadofilábrides.

Los restantes límites son abiertos: el oriental, con los materiales pliocuaternarios de la U.H. de Baza-Caniles; el occidental, con los materiales pliocuaternarios de la U.H. de Guadix-Marquesado, el límite septentrional, con los materiales pliocuaternarios indiferenciados y el extremo nororiental, con los materiales béticos del Jabalcón.

El substrato impermeable general esta constituido por los micaesquistos del manto Nevado-Filábride, no obstante los tramos esquistosos de los restantes mantos constituyen niveles impermeables que individualizan numerosos sectores acuíferos.

### **3.1.2.- Cartografía hidrogeológica**

En el presente estudio se han cartografiado a escala 1:50.000 las zonas oriental y nororiental de la unidad, incluyendo el acuífero de Jabalcón, cubriendo una superficie aproximada de 200 km<sup>2</sup>.

A partir de esta cartografía y de la existente en el "Informe sobre las investigaciones hidrogeológicas puntuales en la cabecera del río Gor y adyacentes (U. de Sierra de Baza) para la integración de sus recursos hídricos en los abastecimientos urbanos (sectores occidental y oriental)"(ITGE,1997), se ha elaborado el mapa hidrogeológico de la Unidad hidrogeológica de Sierra de Baza, que incluye el acuífero de Jabalcón y la U.H. de Baza-Caniles.

En él, se han distinguido los siguientes términos hidrogeológicos:

- Cuaternario aluvial: Corresponde a los materiales aluviales más desarrollados, asociados a los ríos Gallego, Golopón y Valcabra, incluyendo la amplia terraza aluvial del río Baza.
- Margas, limos y yesos pliocuaternarios: Estos materiales constituyen los límites impermeables septentrionales de las unidades hidrogeológicas limítrofes, Guadix-Marquesado y Baza-Caniles.
- Gravas y arenas pliocuaternarias: Este término engloba y hace referencia a los materiales acuíferos detríticos de las unidades hidrogeológicas de Baza-Caniles (límite oriental de la unidad) y Guadix-Marquesado (límite occidental de la unidad).

Estos depósitos presentan un gran desarrollo en la zona, en la mayor parte de su extensión superan ampliamente el centenar de metros de espesor, llegando a alcanzar los 500 m en el sector de Caniles.



La permeabilidad de estos materiales es muy variable, pero en general se pueden considerar valores medios y altos.

- Pliocuaternalio indiferenciado: Este término hace referencia a los materiales miopliocuaternalios situados al norte de la Unidad Hidrogeológica Sierra de Baza y oeste de la unidad hidrogeológica de Jabalcón que se extienden hasta el embalse del Negratín; incluye además los materiales coluviales y brechas limítrofes asociados a esta última unidad.

Estos materiales en conjunto presentan una permeabilidad media, localmente alta.

- Margas y limos miocenos: Estos materiales, constituyen la mayor parte del substrato impermeable de la U.H. de Baza-Caniles y llegan a aflorar en varios puntos de la zona meridional de dicha unidad.

- Calizas y dolomías de Jabalcón: Corresponden fundamentalmente a calizas y dolomías masivas del Lías, pertenecientes, según unos autores, a las zonas externas de las cordilleras béticas, o a la Dorsal bética, según otros. Afloran al noreste de la Sierra de Baza y cuyo espesor es del orden de 500 m.

Aunque no llegan a aflorar, se intuye la existencia en profundidad de materiales triásicos que deben ser los responsables del quimismo de las surgencias termales de la ladera norte del Jabalcón.

Se puede considerar que la permeabilidad global de este término es alta.

Se han distinguido 4 términos constituidos por calizas y dolomías alpujárrides, que corresponden a los tramos calcáreos triásicos de cada uno de los mantos presentes en Sierra de Baza, que de inferior a superior disposición son los siguientes:

- Calizas y dolomías del manto de Santa Bárbara
- Calizas y dolomías del manto de Quintana
- Calizas y dolomías del manto de Blanquizaes
- Calizas y dolomías del manto de Hernán Valle

Se ha distinguido también el tramo marmoreo del manto Nevado Filábride infrayacente:

- Mármoles nevadofilábrides

La permeabilidad de todos los términos carbonatados se considera alta.

Obviamente, se han distinguido además los tramos filíticos impermeables de cada uno de los mantos existentes:

- Micaesquistos nevado filábrides
- Filitas del manto de Santa Bárbara
- Filitas del manto de Quintana
- Filitas del manto de Blanquizaes
- Micaesquistos del manto de Hernán Valle

En la cartografía se han incluido todos los puntos de agua relacionados con la unidad y el acuífero de Jabalcón.

### **3.1.3.- Estructura**

La estructura de la unidad hidrogeológica de Sierra de Baza, está constituida por la apilación de 4 mantos alpujárrides sobre un manto nevadofilábride, que de inferior a superior disposición son: Santa Bárbara, Quintana, Blanquizaes y Hernán Valle.

Los materiales acuíferos, por supuesto están constituidos por los tramos carbonatados de dichos mantos. Aunque el substrato impermeable general corresponde a los micaesquistos nevadofilábrides, existen otros niveles impermeables intercalados, constituidos por los tramos basales filíticos de los restantes mantos, que individualizan sectores acuíferos de entidad y confinan otros.

No existe ninguna información que permita deducir, en cada zona, la extensión real de los mantos subyacentes. En algunos sectores, pueden haber desaparecido total o parcialmente alguno de los mantos, poniéndose en contacto tramos permeables de diferentes mantos.

Los materiales pliocuaternarios que bordean la unidad, se disponen sobre los materiales permeables calcáreos, impidiendo conocer con precisión la extensión de los mantos. Los datos geofísicos y sondeos existentes indican que los límites oriental y occidental de la unidad parecen encontrarse muy verticalizados, por lo que podrían marcar la extensión máxima de los tramos permeables. No ocurre igual en la zona septentrional, donde los límites son muy tendidos, apareciendo afloramientos calcáreos aislados en el pliocuaternario, que indudablemente están conectados con los afloramientos meridionales de la unidad.

Pese a estas grandes incertidumbres, para conocer la estructura de la unidad, se ha optado por realizar 4 cortes hidrogeológicos a escala 1:50.000, con diferentes orientaciones, que se adjuntan en el Panel de Cortes.

En estos cortes se ha tratado de interpretar la disposición profunda de los mantos, que justifique la información geológica e hidrogeológica disponible, integrando en su realización, datos cartográficos, geofísicos e hidroquímicos, junto con la información aportada por columnas de sondeos.

La disposición de los mantos, parece corresponder a un apilamiento de mantos muy horizontalizado, hundido hacia el norte y con una suave abombamiento anticlinal en el entorno del cauce del río Gor, de dirección NNO-SSE, que

individualizaría dos grandes sectores acuíferos: un sector oriental con el flujo en sentido este y norte, y un sector occidental con flujos en sentido oeste y norte.

En la Figura 9 se muestra un corte esquemático de la disposición de mantos, en el que se puede observar claramente la divisoria de flujos existente entre los sectores oriental y occidental de la unidad.

#### **3.1.4.- Inventario de puntos de Agua**

En el presente proyecto se ha realizado un inventario de nuevos puntos de agua en la zona de la Sierra de Baza, con la incorporación de un total de 43 nuevos puntos, que corresponden a 28 manantiales, 14 sondeos y un pozo.

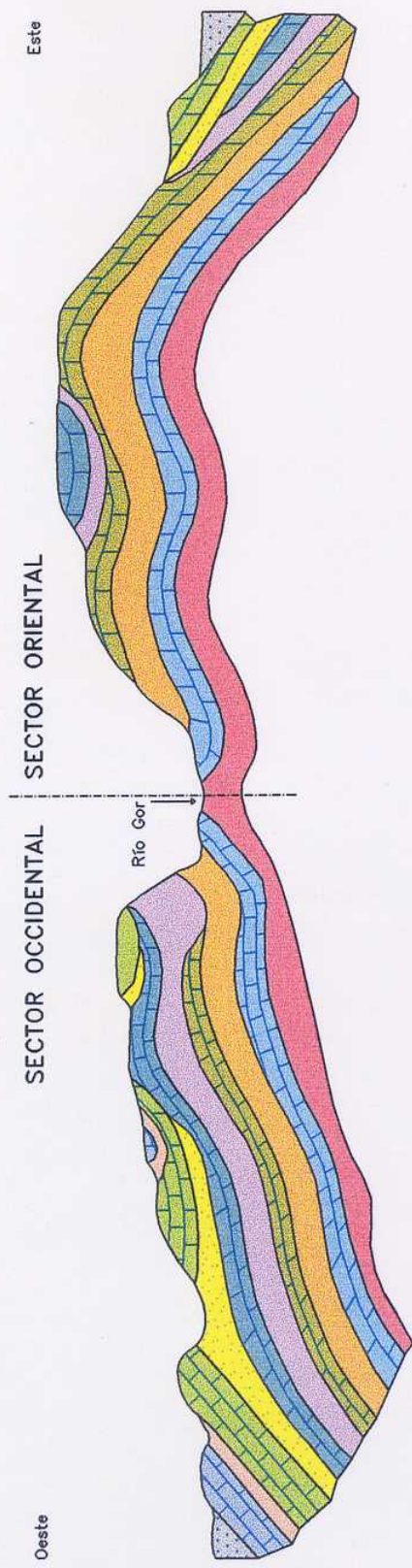
Las fichas de inventario confeccionadas para los citados puntos se adjuntan en el Anexo A2.

Aunque en el plano hidrogeológico realizado se han incluido todos los puntos relacionados con la unidad de la Sierra de Baza (83).

Las principales características de los puntos de agua de la U.H. Sierra de Baza se presentan en el Cuadro 10.

#### **3.1.5.- Hidrometría**

Existe muy poca información sobre las descargas visibles de la U.H. de la Sierra de Baza, donde tan solo se controlan periódicamente por el ITGE, los manantiales 134 "Fuente Grande", 135 "Fuente Alcanacia" y 136 "Tresfuentes" y las descargas de la U.H. Sierra de Baza al río Gallego.



L E Y E N D A

MANTO DE HERNAN VALLE	Dolomías marmóreas. Micaesquistos, filitas y cuarcitas.	MANTO DE STA. BARBARA	Calizas y dolomías. Filitas y cuarcitas.
MANTO DE BLANQUIZARES	Calizas, dolomías marmóreas y kársticas Filitas.	MANTO NEVADO-FILABRIDE	Mármoles. Micaesquistos.
MANTO DE QUINTANA	Calizas y dolomías. Filitas y cuarcitas.		Pliocuatrnario de la depresión de Guadix-Baza

Fig. 9.- Corte esquemático aproximado de la disposición de mantos

**CUADRO 10.- Principales puntos de agua relacionados con la U.H. de Sierra de Baza**

Nº de orden	Nº inventario	Nombre	Nat	Cota (m s.n.m.)	Prof (m)	Cota (m s.n.m.)	Cota Nivel (m s.n.m.)	Caudal (l/s)	Cond (µS/cm)	Temp (°C)	Litología	Uso	Volumen anual de <sup>3</sup>	Acuífero
3	214040002	Cjo. de la Molinera	M	1300	0	0	1300	3,00			Calizas y dolomías	Doméstico		S.Baza
4	214040003	Fte. del Romeral	M	1400	0	0	1400	5,00			Calizas y dolomías	Agrícola		S.Baza
5	214040004	Fte. del Vicario	M	1180	0	0	1180	10,00			Calizas y dolomías	Agrícola		S.Baza
6	214040005	Las Peñas	S	1240							Calizas y dolomías	Sin Uso		S.Baza
7	214040006	Las Peñas	S	1255		108	1147				Calizas y dolomías	Agrícola		S.Baza
9	214060001	Antiguo sondeo Herán.Valle	S	1148		9	1139	0,00			Calizas y dolomías	Sin Uso		S.Baza
10	214060006	Manant. de Herán Valle	M	1140	0	0	1140	20,00			Calizas y dolomías	Agrícola		S.Baza
11	214060008	Fte. de San Torcuato	M	1160	0	0	1160	4,00			Calizas y dolomías	Agrícola		S.Baza
12	214060015	Fte. del Alamillo	M	1160	0	0	1160	3,00			Calizas y dolomías	Agrícola		S.Baza
15	214060024	Cjo. San Germán	S	1175				2,00			Calizas y dolomías			S.Baza
16	214060025	Cerro de la Garita	S	1180				4,00			Calizas y dolomías	Agrícola		S.Baza
18	214070008	Fte. Agüilla de González	M	1220	0	0	1220	1,00	430		Calizas y dolomías			S.Baza
19	214070012		M	1200	0	0	1200	2,00	558		Calizas y dolomías			S.Baza
20	214070018	Cjo. Baldaquía	M	1237	0	0	1237	1,00	600		Conglomerados y arenas			Pliocuaterno
22	214070026	Los Marchales	M	1400	0	0	1400	4,00			Calizas y dolomías	Abto		S.Baza
27	214080006	Cerro Negro	GM	1550	0	0	1550	30,00			Calizas y dolomías			S.Baza
28	214080007	El Cascajal	M	1780	0	0	1780	4,00	222		Calizas y dolomías			S.Baza
29	214080008	Fte. de la Carrasca	M	1420	0	0	1420	20,00			Calizas y dolomías			S.Baza
30	214080009		S	1290		60	1230	2,00			Calizas y dolomías			S.Baza
36	214080016	Fte Cjo Morcillo	M	1500	0	0	1500	2,00	212		Calizas y dolomías	Agrícola		S.Baza
41	214130009	Pazo 2 de Charches	S	1460		80	1380	4,00			Calizas y dolomías	Abto		S.Baza

**CUADRO 10.- Principales puntos de agua relacionados con la U.H. de Sierra de Baza**

Nº de orden	Nº Inventario	Nombre	Nat	Cota (m s.n.m.)	Prof (m)	Cota (m s.n.m.)	Cota Nivel (m s.n.m.)	Caudal (l/s)	Cond (µS/cm)	Temp (°C)	Litología	Uso	Volumen anual (m³)	Acuifero
43	214130012	Sondeo Nuevo	S	1440							Calizas y dolomías			S. Baza
50	214140008	Fte de la Cuesta La Ramba	M	1650	0	0	1650	2,00	320		Calizas y dolomías			S. Baza
52	214140010	Los Chartales	GM	1650	0	0	1650	4,00			Calizas y dolomías			S. Baza
53	214140011	La Perehuela	GM	1600	0	0	1600	4,00	360		Calizas y dolomías			S. Baza
54	214140012	Fte. Grande	GM	1590	0	0	1590	4,00			Calizas y dolomías			S. Baza
58	224050001	Nto. del río Gor	M	1800	0	0	1800	50,00	180		Calizas y dolomías			S. Baza
64	224110003	Fte del Pinarillo	M	1560	0	0	1560	8,00	440		Calizas y dolomías			S. Baza
89	224060005	Fte. de Castellón	M	1230	0	0	1230	40,00			Mármoles		1892	S. Baza
90	224060035	Bodurria	M	1220	0	0	1220	2,00	1730	13.7	Mármoles	Abto		S. Baza
93	224060004	Fte. Cjo. La Carriza	M	1085	0	0	1085	15,00	896	15	Calizas y dolomías		378	S. Baza
96	224060022	La Cerrá	M	1065	0	0	1065	2,00			Calizas y dolomías	Agrícola	47	S. Baza
97	224060023	Fte. Miliqui	M	1050	0	0	1050	4,00			Calizas y dolomías	Agrícola	63	S. Baza
98	224060031	Cjo. La Cerrá-La Presa	S	1040	170	24,5	1016				Calizas y dolomías		0	S. Baza
100	224060003	Fte. de La Cerrá	M	1020	0	0	1020	4,00			Calizas y dolomías	Agrícola		S. Baza
102	224060016	Cjo. La Aguja	S	1005	30	14	991				Conglomerados y arenas	Piezómetro	0	Baza-Caniles
104	224060002	Bodurria	M	998	0	0	998	4,00			Conglomerados y arenas	Agrícola		Baza-Caniles
105	224060026		S								Conglomerados y arenas			Baza-Caniles
107	224020271	Tablón del Lunes	M	880	0	0	880	32,00			Conglomerados y arenas	Agrícola	945	Baza-Caniles
109	224020039	Sondeo Baza II	S	958,66	180	20	938				Conglomerados y arenas	Abastec	108	Baza-Caniles
110	224020022	Aguaero del Lunchar	M	950	0	0	950	13,00			Conglomerados y arenas	Agrícola		Baza-Caniles
111	224020024	Fte. del Lunchar	M	910	0	0	910	14,00			Conglomerados y arenas	Agrícola		Baza-Caniles

**CUADRO 10.- Principales puntos de agua relacionados con la U.H. de Sierra de Baza**

Nº de orden	Nº Inventario	Nombre	Net	Cota (m s.n.m.)	Prof (m)	Cota (m s.n.m.)	Cota Nivel (m s.n.m.)	Caudal (l/s)	Cond (µS/cm)	Temp (°C)	Litología	Uso	Volumen anual (ca³)	Acuífero
117	224020021	Rbla. del Chopo	M	940	0	0	940	7,00			Conglomerados y arenas	Agrícola		Baza-Caniles
118	224020038	Sondeo Baza 1	S	960,69	187	24,3	936				Conglomerados y arenas			Baza-Caniles
120	224010002	Siete Fuentes	M	910	0	0	910	212,30	416	13,4	Conglomerados y arenas	Abto	5159	Baza-Caniles
121	223950038	Poledeportivo I	SS	820	90	0	820	1,50	550	17	Conglomerados y arenas	Abto		Pliocuaternario
122	223950042	El Cortijillo	S	900	93	12,4	888	20,00	538	18	Conglomerados y arenas	Agrícola	111,5	Pliocuaternario
123	223950046	Cueva del Guarda	S	860		64,9	795				Conglomerados y arenas		0	Pliocuaternario
124	224010001	Fte. de San Juan	M	910	0	0	910	79,70	663	14,7	Conglomerados y arenas	Abto	1700	Baza-Caniles
125	224010019	Cercado Pavón	S	872	90	28	844				Calizas y dolomías	Agrícola	7	Baza-Caniles
126	224010033	Los Blanquiazares	S	1140	170						Calizas y dolomías	Industria		S.Baza
127	224010020	Llanos del Cuquillo	S	1035	170	130	905				Calizas y dolomías		0	S.Baza
128	223950002	Sondeo Zújar III	S	990	160	91,5	898	90,00			Calizas y dolomías			S.Baza
129	223950055	Llanos de Sabrosa	S	990							Conglomerados			??????
130	223950043	Los Tramosos	S	880	123	12,5	867				Conglomerados y arenas	Sin uso	0	Pliocuaternario
131	223950040	Ctera de la Estación	SS	860	113	0	860	0,15	1168	15,2	Conglomerados y arenas	Sin uso	0	Pliocuaternario
132	223950051	Terrenales	SS	825	110	0	825	5,00	563	18	Conglomerados y arenas	Agrícola	157,7	????
133	223950041	La Heredada	S	940	120	10,1	930	95,00	545	17	Conglomerados y arenas	Agrícola	738,7	???
134	223950008	Fte. Grande	M	880	0	0	880	42,00	800	15,2	Calizas y dolomías	Agrícola		S.Baza
135	223950007	Fte. Alcanacia	M	860	0	0	860	10,00	540	16	Calizas y dolomías	Abto y riego		S.Baza
136	223950006	Fte. Tresfuentes	M	840	0	0	840	15,00	556	16	Calizas y dolomías	Agrícola		S.Baza
137	223950019	Sondeo Alcanacia 2	S	871	103	17,1	854				Calizas y dolomías	Agrícola		S.Baza
138	223950018	Sondeo Fte. Grande 1	S	875	102	16	859				Calizas y dolomías	Agrícola		S.Baza



**CUADRO 10.- Principales puntos de agua relacionados con la U.H. de Sierra de Baza**

Nº de orden	Nº Inventario	Nombre	Mat	Cota (m s.n.m.)	Prof (m)	Cota (m s.n.m.)	Cota Nivel (m s.n.m.)	Caudal (l/s)	Cond (µS/cm)	Temp (°C)	Litología	Uso	Volumen anual da	Acuífero
139	223950010	Juan Caliente	M	710	0	0	710	20,00	750	10	Conglomerados y arenas	Sin uso		???
141	223910007	Manant. La Granja	M	660	0	0	660	2,00	1325	25	Calizas	Agrícola		Jabalcón
143	223910002	Baños de Zújar	M	620	0	0	620	180,00		37	Calizas y dolomías	Bajo Emb		Jabalcón
144	223910009	Baños de Zújar (II)	S	700	87	43	657				Calizas y dolomías	Sin uso	0	Jabalcón
146	223950053	Baños de Zújar (III)	S	800		37	763				Calizas y dolomías	Sin uso		Jabalcón
147	223950054	Baños de Zújar (IV)	S	800							Calizas y dolomías	Sin uso		Jabalcón
148	213980017	Los Morrones	S	973	100	75*	898*				Calizas y dolomías	Agrícola		S.Baza
149	213980016		S	983	135	100*	883*	16,00			Calizas y dolomías	Agrícola		S.Baza
150	214040009	Freila 2	S	860	150	30,1	824	60,00	642		Calizas y dolomías	Agrícola	524	S.Baza
152	213980019	Corrales de Rasmal (II)	S	850	151	2,65	847	15,00			Conglomerados y arenas	Abto	206,84	Pliocuaternario
153	213980018	Corrales de Rasmal	S	830	120	45	785	7,00			Calizas y dolomías	Agrícola	14,3	S.Baza
154	213980003	Rasmal	M	860	0	0	860	4,00	1163	13,4	Conglomerados y arenas	Agrícola		Pliocuaternario
156	214040008	Cjo. El Manes	S	1060	230			10,00			Calizas y dolomías	Agrícola		S.Baza
157	214040007	Fte. de la Salud	M	1460	0	0	1460	2,00	508	8,4	Calizas y dolomías	Sin uso		S.Baza
158	224050007	Fte. del Tornazo	M	1280	0	0	1280	30,00	542	11,3	Mármoles	Sin uso		S.Baza
159	224010035	Atalaya III	S	1030	226	139	891	30,00	700		Calizas y dolomías	Abto		S.Baza
160	223950050	Cjo. La Tejera	SS	880	110	0	880		718	15	Conglomerados y arenas		10	Pliocuaternario
161	223950052	Fte. Travalez	SS	805	50	0	805	1,00	480	18	Conglomerados y arenas		3	Pliocuaternario
162	224010022	Camino de los Palos	S	1040	170	120	920	40			Calizas y dolomías		319	S.Baza
163	224010006	Fuente Zalema	M	880	0	0	880	38,60					1010	Baza-Cariles

También han sido controlados por el ITGE, tres manantiales situados en la U.H. Baza-Caniles, pero íntimamente relacionados con la U.H.Sierra de Baza, de donde proceden sus recursos drenados; se trata de los manantiales 120 "Siete Fuentes", 124 "Fuente San Juan" y 163 "Fuente Zalema". también se afora el sondeo surgente de Zújar II (223950001) y las acequias Cortijos Nuevos (2240-70012) y Castillos (224070006).

La información foronómica existente se adjunta en el Anexo A3.

Los caudales medios de estos manantiales son:

- 120 "Siete Fuentes": 203 l/s.
- 124 "Fuente San Juan": 70 l/s.
- 134 "Fuente Grande": 49 l/s.
- 135 "Fuente Alcanacia": 20 l/s
- 136 "Tres Fuentes": 17 l/s.
- 163 "Fte. Zalema":39 l/s.
- Río Gallego: 41 l/s.

Del resto de los manantiales se conocen tan solo los datos de caudal contenidos en su ficha de inventario, datos de caudal estimativos y cronológicamente muy dispares.

Para ampliar el conocimiento de las descargas visibles de la Sierra de Baza, en el presente proyecto se han realizado un total de 54 aforos que han permitido aportar información sobre el caudal de los siguientes manantiales:

- Nº 5 "Fte. del Cjo del Vicario"
- Nº 10. Manantial de Hernán Valle (Marzo-98)
- Nº 27. Manantial de Cerro Negro (Marzo-98)
- Nº 28 "Fuente del Cascajal"
- Nº 29 "Fte. de la Carrasca"

Nº 58 Nacimiento del río Gor (Marzo-98)

Nº 89. Fuente de Castellón (Marzo-98)

Nº 90 "Fuente del Cjo. de la Bastida"

Nº 93 "Fuente del Cjo de La Carriza"

Nº 97 "Fuente de La Cerrá"

Nº 135 "Fuente de la Alcanacia"

Nº 139 "Juan Caliente"

Nº 158 "Fuente del Tornazo"

Así mismo se ha evaluado la descarga del afloramiento permeable del manto de Blanquizares hacia el cauce del río Gallego, que incluye los manantiales 93 "Fuente del Cjo. de la Carriza", 96 "La Cerrá", 97 "Fte.Miliqui" y la descarga difusa al arroyo.

A principios de Marzo de 1998, se realizó una primera campaña de aforos para determinar el caudal de 5 manantiales, cuyos resultados fueron los siguientes:

Nº 158. "Fuente del Tornazo" . . . . .	2,62 l/s
Nº 93 "Fuente del Cjo de La Carriza" . . . . .	19,62 l/s
Nº 97. Fuente de La Cerrá . . . . .	3,75 l/s
Nº 90. Fuente del Cjo. de la Bastida . . . . .	0,5 l/s
Nº 28. Fuente del Cascajal . . . . .	0,45 l/s

El caudal de la Fte. del Cortijo de La Carriza, se obtuvo mediante dos aforos diferenciales en el Arroyo de Bodurria.

Posteriormente, de acuerdo con la dirección del proyecto se diseñaron 3 campañas de 16 aforos cada una (Marzo, Julio y Noviembre de 1998), mediante las que se controlaron 7 manantiales:

- Nº 58 "Nacimiento del río Gor"
- Nº 27 "Manantial de Cerro Negro"

- Nº 10 "Manantial de Hernán Valle"
- Nº 89 "Fte. de Castellón"
- Nº 135 "Fte. de La Alcanacia"
- Nº 139 " Juan Caliente"
- Nº 5 "Fte. del Cjo del Vicario"

y las descargas del Manto de Blanquizaes hacia el río Gallego, que se producen a través de los manantiales 93 "Fte. del Cjo de la Carriza", 96 "La Cerrá", 97 "Fte. Miliqui" y por descarga difusa al arroyo.

En la campaña de Noviembre se aforó también la Fte. de la Carrasca (Nº 29), que da origen al arroyo de Baúl.

En las figuras 10 a 13 se muestran esquemáticamente la situación de las secciones de aforo medidas para el control de los caudales planteados.

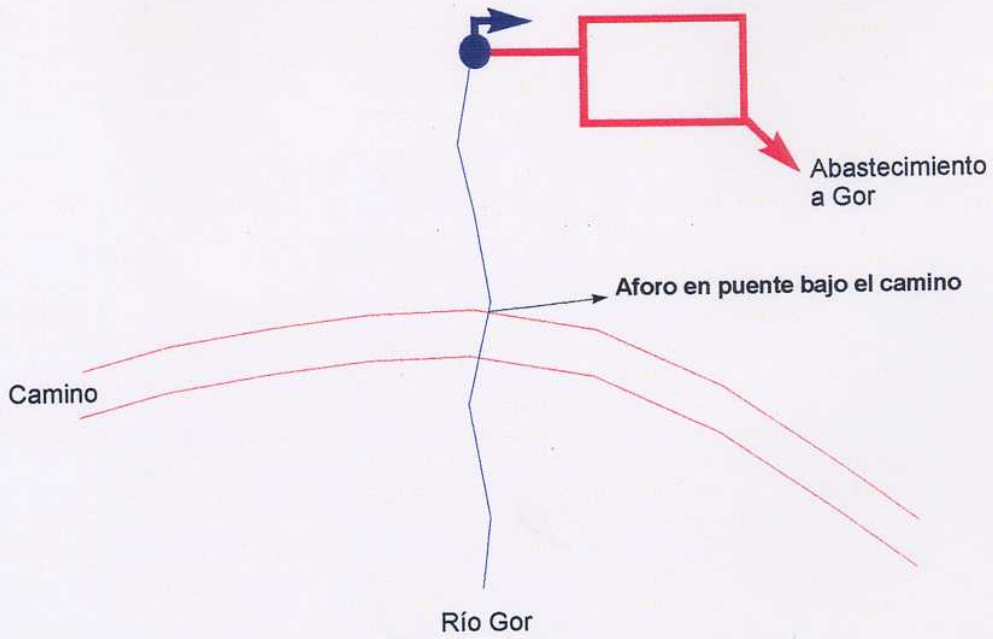
Los resultados de los caudales de las campañas y el caudal medio de los manantiales se presentan en el Cuadro 11.

Las fichas de los aforos realizados se adjuntan en el Anexo A4.

Los aforos realizados, a la vista de los resultados obtenidos, son insuficientes para determinar de forma objetiva el caudal medio de los manantiales controlados y, por supuesto, el volumen anual drenado; aunque pueden orientar sobre su orden de magnitud.

Para evaluar sus descargas anuales, ha sido necesario adoptar un caudal medio, cuyo valor puede distar mucho del real. El caudal medio adoptado se ha fijado teniendo en cuenta: los aforos realizados, los datos anteriores existentes y sobre todo, la información oral suministrada por los lugareños.

N° 58 "Nacimiento del Río Gor"



N° 27 "Cerro Negro" (I)

Tubería de abastecimiento a Gor

Aforo

Aforo

Arqueta

Tubería de abastecimiento a Gor

N° 27 "Cerro Negro" (II)

Aforo

Aforo

Acequia

Río Gor

Figura 10.- Croquis de las secciones de aforo (N° 58 "Nto. del Río Gor y 27 "Manantial de Cerro Negro")

Nº 5 "Fte. del Cortijo del Vicario"



Nº 10 "Manantial de Hernán Valle"

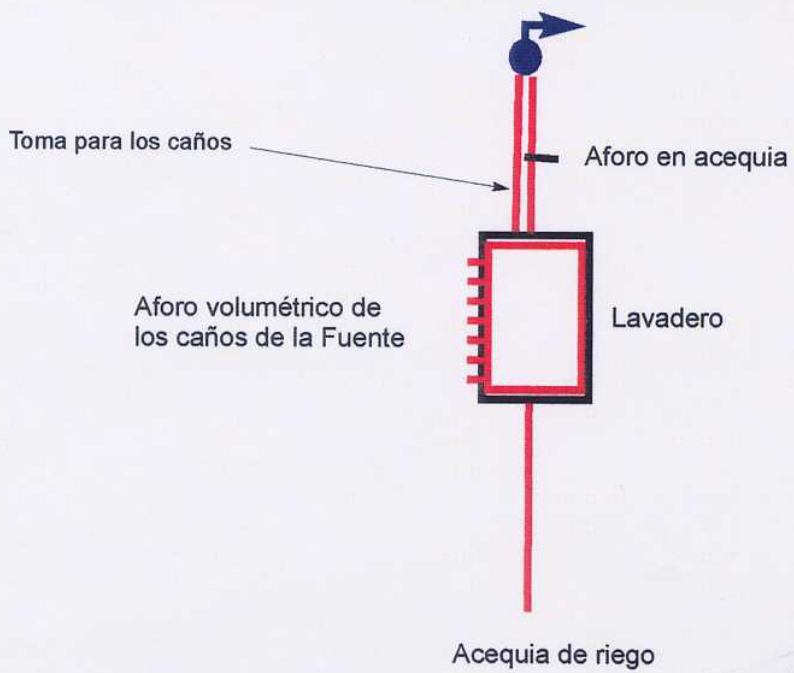
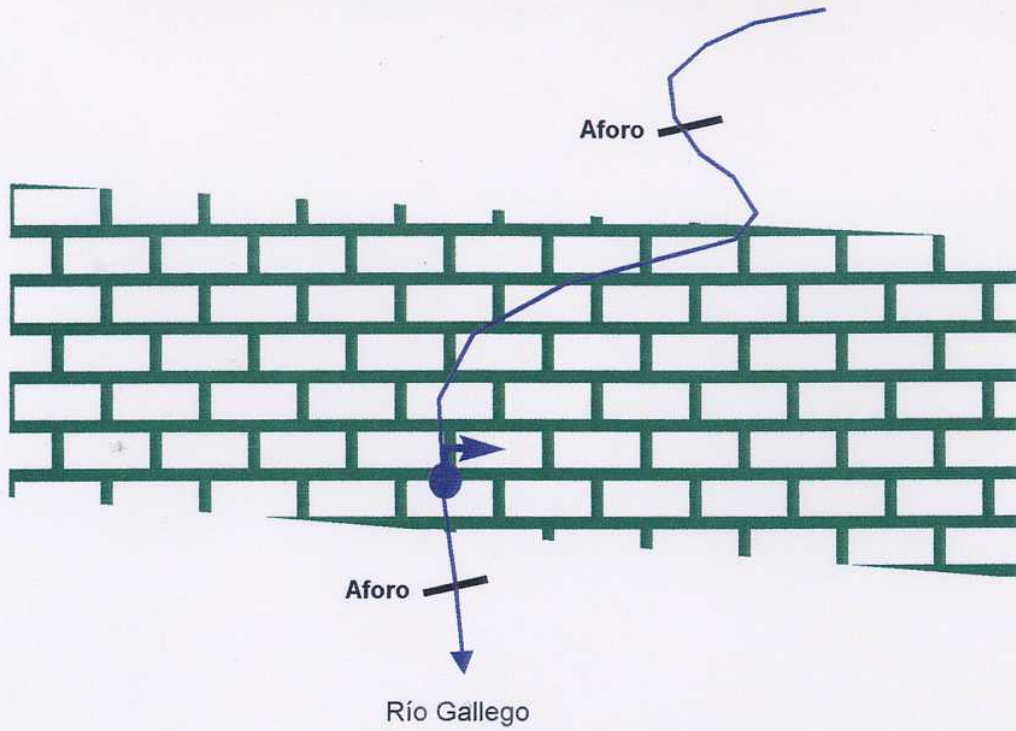
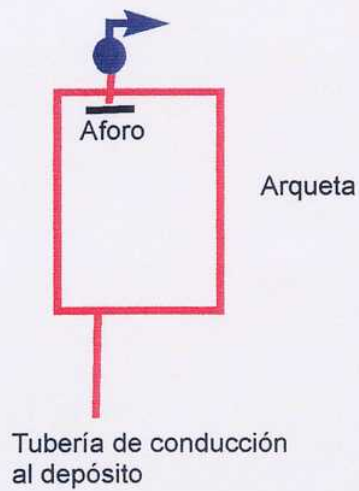


Figura 11.- Croquis de las secciones de aforo (Nº 5 "Fte. del Cjo. del Vicario" y Nº 10 "Fte. de Hernán Valle")

Nº 89 "Manantial del Castellón"



Nº 135 "Fte. de La Alcanacia"



Nº 139 "Juan Caliente"

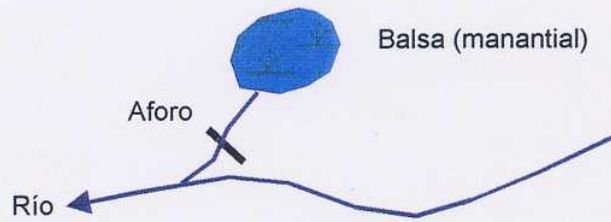


Figura 12.- Croquis de las secciones de aforo (Nº 89 "Fte. del Castellón", 135 "Fte de La Alcanacia" y 139 "Juan Caliente")

### Río Gallego aguas arriba de los afloramientos del manto de Blanquizares



### Río Gallego, aguas abajo de los afloramientos del manto de Blanquizares



Figura 13.- Croquis de las secciones de aforo  
(Descarga del Manto de Blanquizares al río Gallego)



**CUADRO 11.- Caudales aforados y caudal medio adoptado**

Nº de Orden	Nombre	Caudales obtenidos en las campañas de aforo (l/s)				Caudal medio adoptado (l/s)
		Previa	3/98	7/98	11/98	
5	Fte. del Cjo. del Vicario		10,91	8,99	2,59	10
10	Manantial de Hernán Valle		19,22	20,23	16,43	20
27	Cerro Negro		40,82	11,79	6,57	30
28	El Cascajal	0,45				
29	Fte. de la Carrasca				11,5	20
58	Nto. del Río Gor		36,75	49,94	29,67	40
89	Fte. de Castellón		53,59	29,98	17,81	40
90	Bodurria	0,5				
93	Fte. del Cjo de la Carriza	19,62				
97	Fte. Miliquí	3,75				
135	Fte. Alcanacia		9,68	9,72	7,78	
139	Juan Caliente		11,28	8,08	11,32	10
158	Fte. del Tornazo	2,62	42,91	5,23	5,5	30
Descarga del manto de Blanquizaes hacia el río Gallego			33,53	- 4,53 (*)	8,50	30

\*: En esta fecha el río Gallego se infiltraba parcialmente en los materiales permeables del manto de blanquizaes.

### 3.1.6.- Sectores diferenciados

Como se indicó con anterioridad, en la unidad hidrogeológica de Sierra de Baza existen dos sectores claramente diferenciados: oriental y occidental separados por el núcleo de un anticlinorio en el que afloran materiales esquistosos nevado-filábrides; dicha estructura presenta una dirección NNO-SSE que coincide con el cauce del río Gor y su prolongación hacia el sur, según el cauce del arroyo de las Casas de D.Diego.

El sector occidental presenta un flujo en dirección oeste y el oriental, en dirección este.

### **3.1.6.1.- Sector occidental**

El nivel de descarga principal del sector occidental se sitúa a una cota aproximada de 1150 m s.n.m., que viene impuesta por sus principales manantiales: 10 "Hernán Valle", 11 "San Torcuato" y 12 "Fte. del Alamillo", que presentan unos caudales de 20, 4 y 3 l/s, respectivamente.

Deben existir además descargas subterráneas hacia la U.H. de Guadix-Marquesado, que se evaluaron en 2 hm<sup>3</sup>/año en el Informe sobre modelización matemática del acuífero de Guadix, y hacia el pliocuaternario indiferenciado septentrional.

En el interior del sector no existen puntos de agua significativos, por lo que se debe producir una descarga subterránea de los mantos superiores, sobre los situados a menor cota. Esta transferencia de agua no debe implicar necesariamente una íntima conexión hídrica, pudiendo existir diferentes sectores con sus respectivos niveles situados a cotas diferentes, con trasvases hídricos subterráneos en cascada.

Existen algunas áreas claramente independizadas: extremo suroriental y sur de la localidad de Gor.

El extremo suroriental del sector occidental, constituido por afloramientos permeables de los mantos de Quintana y Santa Bárbara, drena hacia el arroyo de las Casas de D.Diego, a través de varios manantiales (52, 53 y 54, principalmente). De ellos, el manantial 52 "Los Chartales", situado a una cota de 1650 m s.n.m. y con un caudal medio de 4 l/s, drena afloramientos permeables del manto de Santa Bárbara, mientras que los manantiales 53 "La Perehuela" y 54 "Fuente Grande", se sitúan a una cota de 1.600 m s.n.m. y con un caudal medio conjunto de 8 l/s, drenan materiales permeables del manto de Quintana.

Al sur de la localidad de Gor, un pequeño sector del manto de Quintana drena hacia el norte, a través del manantial 22 "Los Marchales" que situado a una cota de 1.400 m s.n.m. presenta un caudal medio de 4 l/s.

### 3.1.6.2.- Sector oriental

En el sector oriental de la Unidad de la Sierra de Baza, se pueden distinguir las siguientes zonas:

- Zona meridional: Hace referencia a los afloramientos de mármoles nevado filábrides.
- Zona septentrional: mayormente constituida por los materiales permeables del manto de Blanquizares.
- Afloramientos permeables del manto de Quintana.
- Zona centroccidental: Hace referencia a los materiales del manto de Santa Bárbara, situados al oeste de la alineación de afloramientos del manto de Quintana.
- Zona centroriental: Hace referencia a los materiales del manto de Santa Bárbara, situados al este de la alineación de afloramientos del manto de Quintana.
- Zona suroriental: Constituida por los afloramientos del manto de Blanquizares situados en el entorno del río Gallego.

La Zona meridional, constituida por una banda de mármoles nevadofilábrides, de dirección SO-NE, drena hacia los ríos Gallego y Golopón.

Hacia el Gallego lo hace principalmente a través del manantial 158 "Fte. del Tornazo", que con un caudal medio de 30 l/s, se sitúa a una cota de 1.280 m s.n.m.

La descarga principal se produce hacia el río Golopón, a través de la Fte. del Castellón (89), situada a una cota de 1.230 m s.n.m. y con un caudal medio de 40 l/s.

La escorrentía de las cuencas de los ríos Gallego y Golopón, situadas sobre materiales nevadofilábrides impermeables, atraviesan los mármoles acuíferos, donde reciben aportaciones principalmente de los manantiales del Tornazo (158) y del Castellón con caudales medios de 30 y 40 l/s, respectivamente.

Las cuencas de los ríos Gallego y Golopón no aportan recursos a la U.H. de Sierra de Baza; únicamente el río Gallego, en las épocas de máximo estiaje, tiene ligeras pérdidas de caudal al atravesar los materiales calcáreos del manto de Blanquizaes; el flujo infiltrado en dichos materiales calcáreos debe transferirse de forma rápida hacia la U.H. de Baza-Caniles.

La Zona septentrional: corresponde a los afloramientos calcáreos septentrionales del manto de Blanquizaes y que aunque en gran parte soterrados bajo los materiales miopliocenos se extienden hasta las proximidades del Jabalcón donde en un pequeño afloramiento calcáreo se concentran varias surgencias de elevado caudal.

En esta zona hay una íntima relación hídrica entre las calizas y los materiales detríticos. Los flujos hídricos se dirigen hacia el norte y este, siendo sus principales descargas:

Por el norte: 134 "Fuente Grande", 135 "La Alcanacia" y 136 "Tres Fuentes", situadas a cotas de 840-860 m s.n.m. El caudal medio conjunto de estas surgencias es de 80-90 l/s.

Por el este: 120 "Siete Fuentes", 124 "Fte. San Juan" y 163 "Fte. Zalema". Los dos primeros se sitúan a una cota de 910 m s.n.m., mientras que el tercero surge a una cota inferior (880 m s.n.m.). Sus caudales medios son de 203, 70 y 45 l/s, respectivamente.

Aunque estos puntos constituyen las principales descargas visibles de la U.H. Baza-Caniles, sus recursos deben proceder en parte de esta zona de la U.H. Sierra de Baza.

El nivel piezométrico se sitúa por lo general entre 910 m s.n.m (manantiales 120 y 124) y 898 m s.n.m. (sondeos 128 y 149). En los materiales detríticos aparecen dos ejes de drenaje en dirección S-N, uno más marcado, en el paralelo de Zújar, con niveles piezométricos desde 867 m (nº 130) a 825 m s.n.m. (nº 132); y otro en el Arroyo de Rasmal con niveles piezométricos en torno a 820-850 m s.n.m (sondeos 150 a 153).

El hecho de que existan sondeos, entre el pequeño afloramiento calcáreo La Atalaya y los manantiales 135 "Fte.Grande, 136 "Tres Fuentes" y 137 "La Alcanacia", con el nivel piezométrico situado a menor cota que estos últimos manantiales, podría indicar que estos manantiales constituyen descargas de un manto inferior, pudiendo corresponder, en ese caso, al manto de Santa Bárbara (con recargas en la zona centrooriental).

Además la cota de estos manantiales es inferior a la de los manantiales de Siete Fuentes y Fuente San Juan e inferior al nivel de los sondeos existentes en Jabalcón.

Los afloramientos permeables del manto de Quintana, corresponden a 4 grandes afloramientos orientados en dirección N-S y que se sitúan a cotas muy elevadas.

El afloramiento meridional, con una extensión de 6,3 km<sup>2</sup>, drena exclusivamente a través del nacimiento del río Gor, situado a una cota de 1.800 m s.n.m, cuyo caudal medio es de 40 l/s.

El afloramiento septentrional se encuentra en contacto con el manto de Blanquizares, sobre el que debe descargar parte de sus recursos. Tan sólo existe una surgencia visible, el manantial 29 "Fte de La Carrasca", situado a una cota de 1.420 m s.n.m. y que con un caudal medio de 20 l/s drenaría un sector del afloramiento.

Los dos afloramientos situados entre los anteriores, carecen de surgencias significativas y se encuentran en contacto con afloramientos permeables del manto de Santa Bárbara, a los que deben alimentar de forma subterránea; el más septentrional alimentaría a la denominada "zona centrooriental" y el más meridional, a la "zona centroccidental".

La Zona centroccidental, corresponde a los materiales acuíferos del manto de Santa Bárbara, situados al oeste de la alineación de afloramientos del manto de Quintana.

La mayor parte de esta zona descarga a través del manantial nº 27 Cerro Negro que, con un caudal medio de 30 l/s, se sitúa a una cota de 1.550 m s.n.m. y en menor medida hacia los manantiales nº 36 y 37 que con un caudal conjunto de 3 l/s, se sitúan a una cota similar.

El sector más septentrional de esta zona, con el nivel a 1.230 m s.n.m (sondeo nº 30) debe drenar hacia los materiales pliocuaternarios indiferenciados septentrionales. La divisoria debe situarse 1 o 1,5 kilómetros al sur del trazado E-O de la Rambla de Baúl.

La Zona centrooriental: Hace referencia a los materiales del manto de Santa Bárbara, situados al oeste de la alineación de afloramientos del manto de Quintana. No existe ninguna descarga visible relacionada con esta zona, por lo que sus recursos deben descargar de forma subterránea al acuífero de Baza-Caniles o hacia la zona septentrional (manto de Blanquizaes).

Zona suroriental: Constituida por los afloramientos del manto de Blanquizaes situados en el entorno del río Gallego.

Esta zona está íntimamente ligada al río Gallego. En las campañas de aforos realizadas se ha observado como en la 1ª y 3ª campaña (Marzo y Noviembre de 1998), la zona aportaba al río un caudal de 34 y 9 l/s respectivamente; por el contrario,

en la campaña de Julio, existía una infiltración casi total (4,5 l/s) de las aguas del río, que procedían en su totalidad de la Fte. del Tornazo (Nº 158).

Con la información existente es algo aventurado determinar el volumen de descarga de esta zona. Se ha considerado un caudal medio de 30 l/s para evaluar esta descarga, que constituiría un volumen anual del orden de 1 hm<sup>3</sup>.

### **3.1.7.- Parámetros hidráulicos**

Existe poca información sobre los parámetros hidráulicos del acuífero y únicamente de la zona septentrional.

En los sondeos que atraviesan materiales calcáreos del manto de Blanquizaes se han obtenido valores de transmisividad comprendidos entre 1.000 y 2.000 m<sup>2</sup>/día (sondeo Nº 159 "Atalaya III" y sondeo Nº 150 "Freila II" con 1227 m<sup>2</sup>/día)

En los sondeos situados en los alrededores del afloramiento calcáreo situado al este de Zújar, se han registrado transmisividades de 54 m<sup>2</sup>/día (sondeo 138 "Fuente Grande I) y 422 m<sup>2</sup>/día (sondeo 137 "Alcanacia II) y un valor extraordinariamente elevado, de 19.000 m<sup>2</sup>/día en el sondeo 133 "La Heredada".

En los pliocuaternarios situados en la zona septentrional, el sondeo 130 "Los Tramposos" presenta una transmisividad mucho menor, entre 1 y 15 m<sup>2</sup>/día, por el contrario los que se sitúan sobre los pliocuaternarios orientales adosados a la Sierra de Baza presentan valores de transmisividad más significativos, 130-260 m<sup>2</sup>/día en el sondeo 109 "Baza II" y 200-500 m<sup>2</sup>/día en el sondeo 118 Baza I.

### **3.1.8.- Funcionamiento hidráulico. Balance**

La alimentación de la U.H. Sierra de Baza se produce por infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos permeables y por infiltración de la escorrentía generada sobre las pequeñas cuencas impermeables vertientes a dichos afloramientos.

La descarga de la unidad se produce fundamentalmente a través de manantiales y mediante descarga subterránea hacia los materiales pliocuaternarios que la rodean (unidades hidrogeológicas de Baza-Caniles y Guadix-Marquesado, y pliocuaternario indiferenciado).

También existen extracciones por bombeo, pero son de escasa entidad; las más significativas se concentran en la zona septentrional del sector oriental de la unidad.

#### **3.1.8.1.- Recarga**

La recarga de la U.H. Sierra de Baza, se produce por infiltración directa del agua de lluvia sobre sus afloramientos permeables y por infiltración de la escorrentía generada sobre los pequeños afloramientos impermeables alpujárrides incluidos en su interior.

Respecto a la infiltración de la escorrentía se pueden considerar los siguientes aspectos:

El río Golopón, al atravesar los afloramientos marmóreos nevadofilábrides, recibe aportaciones subterráneas de la U.H. Sierra de Baza, durante todo el año. Por lo que se considera que la unidad no recibe recursos procedentes de la escorrentía generada en la cuenca de dicho río.

El río Gallego tiene una relación estacional con los afloramientos del manto de Blanquizares, pero puede considerarse que la totalidad de dicha infiltración, tras un corto recorrido subterráneo en el acuífero carbonatado, alimenta a la U.H. de Baza-Caniles, al igual que la escorrentía no infiltrada. Por ello a nivel global, se podría inferir, a efectos de balance, que la escorrentía de la cuenca del río Gallego, no tiene incidencia en la alimentación de la U.H. de Sierra de Baza y si notablemente en la U.H. Baza-Caniles.



La estimación de la alimentación se ha realizado en base a los polígonos de Thiessen y a la planimetría de los diferentes materiales existentes en ellos, asignándoles a estos últimos, los valores de Lluvia Útil considerados en el apartado 3.6.

En el cuadro 12 se muestran los resultados obtenidos para la alimentación del Sector occidental de la U.H. de Sierra de Baza.

**CUADRO 12.- Alimentación del sector occidental de la U.H. Sierra de Baza**

<b>AÑO MEDIO</b>						
<b>Polígono de Thiessen</b>	<b>LITOLÓGIA</b>	<b>Superf (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Lluvia Útil (mm)</b>	<b>Volumen Útil (hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Recarga hm<sup>3</sup>/año</b>	<b>TOTAL</b>
5043E	Materiales calcáreos	0,8	176,9	0,15	0,15	<b>10,9 hm<sup>3</sup>/año</b>
5124	Materiales calcáreos	85,9	124,8	10,72	10,72	
<b>AÑO SECO</b>						
5043E	Materiales calcáreos	0,8	98,3	0,08	0,08	<b>6,6 hm<sup>3</sup>/año</b>
5124	Materiales calcáreos	85,9	76,3	6,56	6,56	
<b>AÑO HÚMEDO</b>						
5043E	Materiales calcáreos	0,8	224,1	0,19	0,19	<b>14,9 hm<sup>3</sup>/año</b>
5124	Materiales calcáreos	85,9	171,2	14,71	14,71	

La alimentación de este sector presenta un valor de 10,9 hm<sup>3</sup>/año para el año medio y de 14,9 (137%) y 6,6 (61%) hm<sup>3</sup>/año para los años-tipo húmedo y seco, respectivamente.

La alimentación del sector oriental de la U.H. Sierra de Baza, se ha estimado con los mismos criterios (Cuadro 13), siendo de 38,8 hm<sup>3</sup>/año para el año medio y de 25,2 (65%) y 55,0 (142%) hm<sup>3</sup>/año para los años-tipo seco y húmedo, respectivamente.

**CUADRO 13.- Alimentación del sector oriental de la U. H. Sierra de Baza**

Materiales	Polígono	Superficie (km <sup>2</sup> )	Lluvia Útil (mm)			Recarga (mm/año)		
			Año medio	Año-tipo seco	Año-tipo húmedo	Año medio	Año-tipo seco	Año-tipo húmedo
Calizas	5098	1,2	29,9	7,6	69,7	0,04	0,01	0,09
Calizas	5092E	1,7	50	19	102,5	0,09	0,03	0,18
Calizas	5048	21,1	83,3	60	141,1	1,76	1,26	2,97
Calizas	5046	111,8	225,8	156,8	297,3	25,24	17,53	33,23
Calizas	5044	9,0	73,5	27,3	133,8	0,66	0,25	1,20
Calizas	5124	35,1	124,8	76,3	171,2	4,39	2,68	6,02
Calizas	5043E	26,1	176,9	98,3	224,1	4,62	2,57	5,85
<b>Total Calizas</b>		<b>206,0</b>				<b>36,8</b>	<b>24,3</b>	<b>49,5</b>
Esquistos	5046	7,8	135,8	66,8	207,3	1,05	0,52	1,61
Esquistos	5044	6,1	0	0	43,8	0,00	0,00	0,27
Esquistos	5124	4,0	34,8	0	81,2	0,14	0,00	0,32
<b>Total Esquistos</b>		<b>17,9</b>				<b>1,2</b>	<b>0,5</b>	<b>2,2</b>
Pliocuaternario	5098	0,9	0	0	0	0,00	0,00	0,00
Pliocuaternario	5092E	0,2	0	0	12,5	0,00	0,00	0,00
Pliocuaternario	5048	40,1	0	0	51,1	0,00	0,00	2,05
Pliocuaternario	5046	5,9	135,8	66,8	207,3	0,80	0,39	1,22
<b>Total Pliocuaternario</b>		<b>47,1</b>				<b>0,8</b>	<b>0,4</b>	<b>3,3</b>
<b>Total sector</b>		<b>271,0</b>				<b>38,8</b>	<b>25,2</b>	<b>55,0</b>
						100%	65%	142%

Por consiguiente la recarga de la U.H. Sierra de Baza, se puede estimar del orden de los 49,7 hm<sup>3</sup>/año en épocas de pluviometrías medias, y de 31,8 y 69,9 hm<sup>3</sup>/año para los años-tipo seco y húmedo, respectivamente.

Estos valores son sensiblemente superiores a los recogidos en otros informes previos, pero es necesario tener en cuenta que se han englobado en la unidad parte de los afloramientos pliocuaternarios de la zona septentrional y que se han utilizado los datos climáticos más novedosos de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

Es necesario resaltar la gran variación interanual de la recarga de estas unidades y la incertidumbre que conlleva, la adopción de unas cifras fijas para la cuantificación de recursos.

#### **3.1.8.2.- Descarga**

Con la información actualmente existente, es muy difícil precisar la descarga de la U.H. Sierra de Baza, debido a:

- Escasa información foronómica de sus principales manantiales.
- Existencia de una gran longitud de límites abiertos por los que debe existir una descarga subterránea.

La estimación de las descargas visibles de la unidad se ha realizado en base a los "caudales medios" de sus manantiales y sondeos más significativos.

Para estimar a "grosso modo" las descargas visibles de la unidad, se han seleccionado sus principales manantiales y sondeos, considerando para ellos el caudal medio de drenaje o el volumen medio de extracción.

Los volúmenes de extracción se han calculado del siguiente modo:

- Para manantiales de la red foronómica, se ha calculado su caudal medio, a partir del cual se ha obtenido el volumen anual medio de descarga.
- Para manantiales y sondeos con encuestas de cuantificación: se han considerado los volúmenes medios de extracción de dichas encuestas.
- Para los manantiales controlados en el presente proyecto, los caudales medios se han deducido de los aforos realizados (Marzo, Julio y Noviembre de 1998).
- Para el resto de los manantiales, se ha considerado como caudal medio, el dato de caudal más moderno, presente en su ficha de inventario.

En función de los puntos principales del acuífero, considerando como tales los recogidos en el Cuadro 14, la descarga visible del sector occidental de la U.H. Sierra de Baza se estima en 1,7 hm<sup>3</sup>/año.

La descarga subterránea de este sector occidental, se estima en 9,2 hm<sup>3</sup>/año que se produciría hacia el acuífero de Guadix y hacia el pliocuaternario indiferenciado septentrional.

Es difícil discriminar que porcentaje de flujo se dirige hacia la U.H. de Guadix-Marquesado y cual, hacia el pliocuaternario indiferenciado.

Si consideramos que la sección útil de contacto, con el pliocuaternario indiferenciado es de 10 km y con la U.H. de Guadix es de 5 km<sup>2</sup> (se considera que solo en la zona septentrional de ese contacto se debe producir la descarga); considerando un gradiente hidráulico del 1%, se obtiene una transmisividad media del orden de 175 m<sup>2</sup>/día aproximadamente. Con estos datos deducidos se puede inferir que la descarga subterránea hacia la U.H. de Guadix-Marquesado sería de 2,3 hm<sup>3</sup>/año y que la descarga hacia el pliocuaternario indiferenciado sería de 6,9 hm<sup>3</sup>/año.

**CUADRO 14.- Volumen anual de las descargas visibles del Sector occidental de la U.H. Sierra de Baza**

Nº de orden	Nº Inventario	Nombre	Nat	Caudal l/s	Volumen anual da <sup>3</sup>
9	214060001	Antiguo sondeo Hernán Valle	S	0,00	0
10	214060006	Manant. de Hernán Valle	M	20,00	631
11	214060008	Fte. de San Torcuato	M	4,00	126
12	214060015	Fte. del Alamillo	M	3,00	95
15	214060024	Cjo. San Germán	S	2,00	63
16	214060025	Cerro de la Garita	S	4,00	126
18	214070008	Fte. Agüilla de González	M	1,00	32
19	214070012		M	2,00	63
20	214070018	Cjo. Baldaiquia	M	1,00	32
22	214070026	Los Marchales	M	4,00	126
50	214140008	Fte de la Cuesta La Rambla	M	2,00	63
52	214140010	Los Chartales	GM	4,00	126
53	214140011	La Pehuela	GM	4,00	126
54	214140012	Fte. Grande	GM	4,00	126
<b>TOTAL</b>				<b>55,00</b>	<b>1,734 hm<sup>3</sup></b>

En función de los puntos principales del acuífero, considerando como tales los recogidos en el Cuadro 15, la descarga visible del sector oriental de la U.H. Sierra de Baza se estima en 13,2 hm<sup>3</sup>/año, que ascendería a 18,9 hm<sup>3</sup>/año, si se consideran las descargas termales de Zújar.

Por diferencia, las descargas ocultas del sector oriental de la Sierra de Baza, serían de 19,9 hm<sup>3</sup>/año (considerando como conocidas las descargas a través de los manantiales de Zújar).

Estas descargas ocultas deben producirse hacia el norte (pliocuaternario indiferenciado y hacia el este (acuífero pliocuaternario de la U.H. de Baza-Caniles).

**CUADRO 15.- Caudal y volumen anual de extracción del Sector oriental de la Sierra de Baza**

<b>Nº de orden</b>	<b>Nombre</b>	<b>Nat</b>	<b>Caudal l/s</b>	<b>Volumen anual da</b>
3	Cjo. de la Molinera	M	3,00	95
4	Fte del Romeral	M	5,00	158
5	Fte. del Vicario	M	10,00	315
20	Cjo. Baldaiquía	M	1,00	32
27	Cerro Negro	GM	30,00	946
28	El Cascajal	M	4,00	126
29	Fte. de la Carrasca	M	20,00	631
30		S	2,00	63
36	Fte Cjo Morcillo	M	2,00	63
58	Nto. del río Gor	M	50,00	1577
64	Fte del Pinarillo	M	6,00	189
89	Fte. de Castellón	M	40,00	1892
104	Bodurria	M	10,00	315
121	Polideportivo I	SS	1,50	47
122	El Cortijillo	S	20,00	112
125	Cercado Pavón	S		7
132	Terrenales	SS	5,00	157,7
133	La Heredada	S	95,00	738,7
134	Fte. Grande	M	49,00	1545
135	Fte. Alcanacia	M	19,50	615
136	Fte. Tresfuentes	M	17,00	536
139	Juan Caliente	M	10,00	315
149		S	16,00	505
150	Freila 2	S	60,00	524
152	Corrales de Rasmal (II)	S	15,00	206,84
153	Corrales de Rasmal	S	7,00	14,3
154	Rasmal	M	4,00	126
157	Fte. de la Salud	M	2,00	63
159	Atalaya III	S	30,00	0
160	Cjo. La Tejera	SS		10
161	Fte. Travalez	SS	1,00	3
162	Camino de los Palos	S	40,00	319
	Descargas hacia el río Gallego de la zona suroriental		30,00	946
<b>TOTAL</b>				<b>13,2 hm<sup>3</sup></b>
141	Manantial de la Granja	M	2,00	63
143	Baños de Zújar	M	180,00	5676
<b>TOTAL con descargas termales de Zújar</b>				<b>18,9 hm<sup>3</sup></b>

Como el sector oriental de la U.H. de Sierra de Baza está en íntima conexión hídrica con el acuífero pliocuaternario de la U.H. de Baza-Caniles, para precisar hacia donde se producen estas descargas ocultas ha sido necesario considerarlos conjuntamente. En el apartado 5.3, "Consideraciones y balance conjunto del sector oriental de la U.H. Sierra de Baza y acuífero pliocuaternario de la U.H. de Baza-Caniles", se justifican y evalúan estas descargas ocultas, considerando que 10,2 hm<sup>3</sup>/año alimentan el pliocuaternario indiferenciado septentrional y que 9,7 hm<sup>3</sup>/año se dirigen al acuífero pliocuaternario de la U.H. de Baza-Caniles.

### 3.1.8.3.- Balance

Tanto las estimaciones de la recarga como las de la descarga se han realizado de modo independiente con el fin de no estar influenciadas unas en otras. Sus resultados se pueden contrastar entre sí, en el Cuadro 16.

**CUADRO 16.- Balance hídrico de la U.H. Sierra de Baza**

Sector occidental	Recarga hm <sup>3</sup> /año	Descargas visibles hm <sup>3</sup> /año		Descargas subterráneas hm <sup>3</sup> /año	
	10,9	1,7		9,2	
Sector oriental	Recarga hm <sup>3</sup> /año	sin manantiales de Zújar	con manantiale s de Zújar	sin manantiales de Zújar	con manantiales de Zújar
	38,8	13,2	18,9	25,6	19,9

Ya se ha comentado con anterioridad las dificultades inherentes a la cuantificación de recargas y descargas, debidas a:

- Las grandes variaciones pluviométricas interanuales.

- La falta de información foronómica de los manantiales significativos y de extracciones en los sondeos de explotación.

- La existencia de límites abiertos y dificultad de determinar la descarga subterránea hacia los materiales pliocuaternarios.

Las descargas subterráneas deducidas del balance serían:

- Sector occidental: 9,2 hm<sup>3</sup>/año para el año medio que deben dirigirse tanto hacia la U.H. Guadix-Marquesado, como hacia los materiales pliocuaternarios situados al norte del sector. Se ha estimado "a grosso modo" que 2,3 hm<sup>3</sup>/año se dirigen hacia la U.H. de Guadix-Marquesado y 6,9 hm<sup>3</sup>/año, hacia el pliocuaternario indiferenciado.

- Sector oriental: 19,9 hm<sup>3</sup>/año para el año medio. Se estima que hacia la U.H. de Baza-Caniles se producen unos aportes subterráneos de 9,7 hm<sup>3</sup>/año y que la descarga hacia el pliocuaternario indiferenciado sería de 10,2 hm<sup>3</sup>/año (ver apartado 5.3, "Consideraciones y balance conjunto del sector oriental de la U.H. Sierra de Baza y acuífero pliocuaternario de la U.H. de Baza-Caniles", donde se justifican y evalúan estas descargas ocultas).

### **3.1.9.- Calidad de las aguas**

Las aguas de la U.H. Sierra de Baza, corresponden a aguas de mineralización muy variable, con valores de conductividad entre 200 y 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los valores más bajos se producen en surgencias correspondientes a flujos con tiempos de residencia bajo (Nto. del río Gor, Cerro Negro y las asociadas al pliocuaternario de Baza-Caniles: Siete Fuentes y Fte. San Juan); los valores más elevados, caso de La Alcanacia, Fte. Grande, Tres Fuentes, Manantial de Hernán Valle, etc, sugieren flujos más complejos, con un mayor recorrido subterráneo. Un caso excepcional lo constituye el manantial termal de Baños de Zújar, cuyo termalismo y conductividad (45.400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )



sugieren flujos más complejos y tiempos de residencia superiores. En la tesis de Hidalgo Estevez (1993), se indica que el flujo ha alcanzado en profundidad valores de 80° C, lo que sugiere profundidades del orden de 2.000 m.

Las facies hidroquímicas son fundamentalmente bicarbonatadas cálcico-magnésicas o magnésico-cálcicas, aunque en los sectores más orientales aparecen facies bicarbonatadas sulfatadas (La Alcanacia, Fte. Grande y Tres Fuentes) en relación con los límites pliocuaternarios del acuífero, de naturaleza margoyesífera (Hidalgo Estevez, 1993).

La facies de Baños de Zújar es clorurada sulfatada sódico cálcica que parece indicar una relación en profundidad con materiales del triás en facies germánica (Hidalgo Estevez, 1993).

## **3.2.- UNIDAD DE JABALCÓN**

### **3.2.1.- Encuadre hidrogeológico**

En la zona nororiental, al pie de la cola del embalse del Negratín, se sitúa la unidad de Jabalcón, que corresponde a una zona elevada que destaca nítidamente sobre la Depresión de Baza-Guadix.

Esta unidad con una extensión de unos 11 km<sup>2</sup>, está constituida fundamentalmente por materiales calcáreos jurásicos pertenecientes a las zonas externas de las cordilleras Béticas y por materiales de piedemonte que lo recubren. Se trata de calizas y dolomías masivas del Lías con una potencia del orden de 500 m.

El mapa hidrogeológico de la U.H. de Sierra de Baza, realizado a escala 1:50.000, incluye la cartografía hidrogeológica de la unidad de Jabalcón.

La unidad se encuentra muy tectonizada y en ella existen incluidos piedemontes permeables.

### 3.2.2.- Principales puntos de agua

Pese a la escasa superficie que ocupa la unidad, unos 11 km<sup>2</sup>, en su ladera norte se sitúa, hoy cubierto bajo las aguas del Embalse del Negratín, un manantial termal muy caudaloso: Baños de Zújar, con un caudal muy regular de 180 l/s.

La elevada salinidad de este manantial y su facies clorurada-sulfatada sódico-cálcica parecen indicar la existencia, en profundidad, de materiales triásicos en facies germano-andaluza (Hidalgo M.C, 1993).

El manantial a nivel regional se encuentra alineado con otros manantiales termales Baños de Alicún, Alhama etc y se encuentran asociados a una fractura cortical de gran magnitud.

Al suroeste de Jabalcón se encuentran las surgencias de Fte. Grande, La Alcanacia y Tres Fuentes, relacionadas con la U.H. de Sierra de Baza, y sin ninguna relación evidente con el acuífero de Jabalcón.

Los puntos relacionados con el acuífero son los que se incluyen en el Cuadro 17.

**CUADRO 17.- Puntos de agua relacionados con la unidad de Jabalcón**

Nº de orden	Nombre	Nat	Cota m s.n.m	Prof m	Prof nivel (m)	Cota nivel m s.n.m.	Caudal l/s	Cond µS/cm	Temp °C
141	Manant. La Granja	M	660	---	0	660	2,00	1325	25
142	Baños de Zújar (I)	S	650	143				4390	31,1
143	Baños de Zújar	M	620	---	0	620	180,00		37
144	Baños de Zújar (II)	S	700	87	43	657			
145	Cjo. El Cortijillo	S	840	120			0,5		
146	Baños de Zújar (III)	S	800		37	763			
147	Baños de Zújar (IV)	S	800						

El acuífero del Jabalcón limita por el oeste y sur con materiales pliocuaternarios indiferenciados, entre los que predominan conglomerados permeables, por ello, podría existir alguna descarga subterránea hacia dichos materiales.

Puesto que la unidad limita al norte con el embalse del Negratín, que corresponde al nivel de base regional, las descargas subterráneas principales deben dirigirse hacia dicho embalse en dirección norte.

### **3.2.3.- Piezometría**

Aunque el manantial principal, Baños de Zújar se encuentra situado a una cota de 620 m s.n.m., los niveles en diversos sondeos existentes se sitúan a cotas superiores, 640-660 m s.n.m.

### **3.2.4.- Funcionamiento hidráulico. Balance**

La alimentación de la unidad de Jabalcón se produce exclusivamente por infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos permeables y por entradas ocultas desde otras unidades.

Los únicos manantiales situados en las proximidades del Jabalcón corresponden a surgencias termales, cuyas aguas parecen proceder de la U.H. Sierra de Baza. No se descarta que los recursos del Jabalcón drenen, en parte, a través de dichos manantiales, constituyendo en una pequeña proporción parte de sus caudales de descarga.

En la actualidad dichos manantiales se sitúan bajo el nivel del embalse del Negratín, por lo que las descargas del Jabalcón, puesto que no existen extracciones significativas por bombeo, deben producirse a través de estos manantiales. Los diversos

autores que han estudiado los contenidos isotópicos de las aguas de estos manantiales termales, consideran que los flujos hídricos proceden de la U.H Sierra de Baza (Cruz San Julián et al, 1990).

### 3.2.4.1.- Recarga

La estimación de la alimentación de la unidad de Jabalcón, se ha realizado en base a los polígonos de Thiessen, aunque se ha considerado que los materiales de pie de monte se comportan a efectos de infiltración de forma similar a los materiales calcáreos, por lo que se les puede asignar la misma Lluvia Útil considerada en el apartado 3.6.

En el Cuadro 18 se muestran los resultados obtenidos para la alimentación de la Unidad de Jabalcón.

**CUADRO 18.- Alimentación de la Unidad de Jabalcón**

<b>AÑO MEDIO</b>				
<b>Polígono de Thiessen</b>	<b>Superf (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Lluvia Útil (mm)</b>	<b>Recarga hm<sup>3</sup>/año</b>	<b>TOTAL</b>
5043E	10,6	50	0,53	<b>0,53 hm<sup>3</sup>/año</b>
<b>AÑO SECO</b>				
5043E	10,6	19	0,2	<b>0,2 hm<sup>3</sup>/año</b>
<b>AÑO HÚMEDO</b>				
5043E	10,6	102,5	1,1	<b>1,1 hm<sup>3</sup>/año</b>

La alimentación de esta unidad presenta un valor de 0,5 hm<sup>3</sup>/año para el año medio, de 1,1 hm<sup>3</sup>/año para el año-tipo húmedo y de 0,2 hm<sup>3</sup>/año para el año-tipo seco.

Es necesario resaltar la gran variación interanual de la recarga de esta unidad y la incertidumbre que conlleva la adopción de unas cifras fijas para la cuantificación de sus recursos.

Se podrían contabilizar como recursos de la unidad los flujos que drenan a través de los manantiales de Zújar procedentes de la U.H. Sierra de Baza (5,7 hm<sup>3</sup>/año)

#### **3.2.4.2.- Descarga**

La principal descarga de la unidad corresponde al manantial termal de Baños de Zújar (caudal de 180 l/s) que supone un volumen anual de 5,7 hm<sup>3</sup>, que es muy superior a la recarga media del Jabalcón (0,5 hm<sup>3</sup>/año). Aunque todos los recursos del Jabalcón drenarán por este manantial, supondrían tan solo el 19% de su descarga.

Como la unidad limita por el norte y oeste con materiales permeables del pliocuaternario indiferenciado, debe existir un flujo hacia dichas zonas, que dada su longitud, fácilmente podría canalizar toda la alimentación que recibe por infiltración del agua de lluvia.

Hecha esta consideración, se podría concluir que la alimentación de la unidad se estima en 6,2 hm<sup>3</sup>/año (5,7 hm<sup>3</sup>/año procedentes de la U.H. Sierra de Baza y 0,5 hm<sup>3</sup>/año procedentes de la infiltración del agua de lluvia) y que la descarga se estima en 6,2 hm<sup>3</sup>/año y se produce a través del manantial termal de Zújar (5,7 hm<sup>3</sup>/año) y de forma oculta hacia el pliocuaternario indiferenciado situado al oeste y norte de la unidad (0,5 hm<sup>3</sup>/año).

#### **3.2.5.- Calidad de las aguas**

En relación con las características del acuífero, deben ser aguas de mineralización media y facies bicarbonatada cálcica o cálcico-magnésica, que distan

mucho de las aguas de los Baños de Zújar, de elevada salinidad y facies clorurada sódico-cálcica.

### **3.3.- U.H. DE BAZA-CANILES**

#### **3.3.1.- Delimitación y encuadre hidrogeológico**

La unidad hidrogeológica de Baza-Caniles está constituida por los materiales pliocuaternarios permeables de la depresión de Baza-Caniles, situados en las subcuencas de los ríos Gallego, Golopón y Rambla de Valcabra. En ella se consideran dos acuíferos, un acuífero pliocuaternario de gran entidad, objeto del presente estudio y un acuífero cuaternario somero que se extiende al norte del anterior y del cual fundamentalmente se alimenta.

##### **3.3.1.1.- Acuífero Pliocuaternario de Baza-Caniles**

Situado al oeste de la alineación Baza-Caniles y al sur del paralelo de esta localidad, está constituido por la formación "Conglomerados y arenas de Caniles".

Sus únicos límites bien definidos son el occidental y el meridional:

El primero, corresponde al contacto con los materiales permeables alpujárrides de la Unidad Sierra de Baza; se trata de un límite abierto muy verticalizado que pone en contacto materiales permeables de ambas unidades y a través del cual la unidad recibe parte de su alimentación.

El límite meridional corresponde al contacto del acuífero con los materiales impermeables nevado-filábrides. Se trata de un límite más tendido, a través del cual no existen flujos hídricos subterráneos.

Los límites septentrional y oriental corresponden a un cambio lateral a facies margosas y margoevaporíticas. Se trata de un cambio de facies gradual de difícil definición geométrica.

En el extremo noroccidental de la Unidad de Baza-Caniles, los materiales pliocuaternarios permeables forman una estrecha banda, que tiene continuidad hacia el norte y oeste con los denominados materiales pliocuaternarios indiferenciados. Se ha convenido definir artificiosamente, como límite de la unidad en este sector, la carretera nacional de Baza-Guadix.

En la zona suroriental, el límite de la unidad viene definido por el límite hidrológico con la cuenca del río Almanzora. Puesto que existe una continuidad de los materiales conglomeráticos hacia la Depresión del mencionado río, se considera que aunque no deben existir flujos hídricos que atraviesen dicho límite, su posición podría desplazarse en función de la evolución de las extracciones a ambos lados del mismo.

La unidad así delimitada presenta una superficie aproximada de 155 km<sup>2</sup> (sin considerar la superficie del acuífero Cuaternario de Baza-Caniles).

Los cambios de facies, existentes tanto en la horizontal como en la vertical, condicionan la existencia de sectores con carácter confinado, donde existen sondeos surgentes.

El substrato impermeable de la unidad está constituido fundamentalmente por materiales margosos miocenos, aunque en los extremos meridional y occidental pueden existir también materiales esquistosos triásicos nevadofilábrides y/o alpujárrides.

El espesor acuífero presenta variaciones significativas de unos sectores a otros, desde 100-150 metros en los alrededores de Baza, a más de 500 metros en el entorno de Caniles, tal y como se deduce de los perfiles geoelectrónicos realizados en diversos estudios anteriores.

Hay que considerar además que al sur de la unidad, existen dos cuencas situadas sobre materiales impermeables nevadofilábrides, que vierten íntegramente a la unidad y se ha considerado, que el 50% de su escorrentía se infiltra en el acuífero detrítico. Se trata de las cuencas nevadofilábrides de los ríos Gallego, Golopón y Rambla de Valcabra que tienen una extensión conjunta de 186.5 km<sup>2</sup>, aproximadamente.

### **3.3.1.2.- Acuífero Cuaternario de Baza-Caniles**

Al norte del acuífero pliocuaternario, se extiende el acuífero cuaternario de Baza-Caniles, situado aproximadamente al noreste de la ciudad de Caniles. Está constituido por los materiales cuaternarios aluviales del río de Baza y afluentes y por la amplia terraza aluvial de la margen izquierda de dicho río.

Se trata de un acuífero libre constituido por gravas con matriz lutítica y arenas limosas, de permeabilidad media-baja y con un espesor medio de 20 metros. Únicamente en el entorno de los cauces de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra, se aprecian permeabilidades elevadas, sobre todo en la zona meridional donde estos aluviales se superponen al acuífero pliocuaternario.

El substrato impermeable del acuífero, así como sus límites está constituido por materiales margosos pliocuaternarios. Aunque como se ha dicho anteriormente, los aluviales recientes de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra, en su zona meridional se sitúan sobre los materiales acuíferos pliocuaternarios de Baza-Caniles.

El acuífero cuaternario se alimenta fundamentalmente de las descargas subterráneas del acuífero pliocuaternario a través de los aluviales de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra y de la infiltración de las aguas de dichos ríos en épocas de aguas altas.



Las salidas del acuífero se producen de forma subterránea a través del aluvial del río de Baza hacia el Embalse del Negratín, por descargas hacia el cauce de dicho río en el extremo nororiental del acuífero y fundamentalmente por las extracciones de los numerosos pozos y cimbras, que captan el acuífero.

Muchas de las cimbras situadas sobre el aluvial del arroyo de Valcabra se han secado, probablemente por la construcción de pozos en el aluvial que ha provocado un descenso de los niveles en esos sectores.

### **3.3.2.- Relaciones entre formaciones terciarias, cuaternarias y el substrato impermeable**

Para analizar las relaciones entre las distintas formaciones mio-pliocuaternarias de la Unidad Hidrogeológica de Baza, y de estas con el substrato impermeable, se ha realizado una cartografía geológica a escala 1:25.000 de su borde occidental y un análisis sedimentológico de detalle de sus formaciones integrantes.

La cartografía se ha realizado mediante el reconocimiento de campo, con apoyo de fotografía aérea a escala 1:20.000, teniendo en cuenta la siguiente documentación:

- Resumen del Proyecto de Asesoramiento a las Administraciones Públicas en materia de aguas subterráneas en la Cuenca Alta del Guadalquivir (1ª fase) durante el año 1990. Especialmente analizado ha sido el mapa geomorfológico del sector suroriental de la Depresión de Baza-Guadix (Goy et al. 1989).
- Tesis doctoral de D. Antonio Guerra Merchán (1992) titulada "Origen y relleno sedimentario de la Cuenca Neógena del Corredor del Almanzora y áreas limítrofes (Cordillera Bética)". De esta tesis se ha tomado la parte que corresponde al sur del área a cartografiar.

- Tesis doctoral de D. Cesar Viseras Alarcón (1991) titulada "Estratigrafía y sedimentología del relleno aluvial de la Cuenca de Guadix (Cordilleras Béticas)".
- Tesis doctoral de Dña. María del Carmen Hidalgo Estévez (1993) titulada "Estudio hidroquímico del acuífero de Baza-Caniles (provincia de Granada)".
- Estudio Hidrogeológico para la mejora de los riegos de la Hoya de Baza (ITGE, 1988). Además se ha utilizado la información de las columnas litológicas atravesadas por los sondeos recomendados en este estudio.

En los siguientes subapartados se describen las características de los materiales y sus relaciones espaciales.

En la Figura 14 se muestra esquemáticamente las relaciones entre los distintos materiales relacionados con la U.H. de Baza-Caniles en su borde occidental.

#### **3.3.2.1.- Substrato**

Los materiales que componen el substrato pertenecen a los Complejos Nevado-Filábride y Alpujárride. Los primeros afloran al sur del área estudiada y están constituidos por micaesquistos de diferentes tipos y micacitas grafitosas con intercalaciones de cuarcitas micáceas. Los materiales del Complejo Alpujárride están representados en esta zona por el apilamiento de varios mantos alpujárrides (fundamentalmente Blanquizaes, y Santa Bárbara) constituidos cada uno de ellos por dos tramos uno superior de calizas y dolomías y otro inferior de filitas con intercalaciones de cuarcitas.

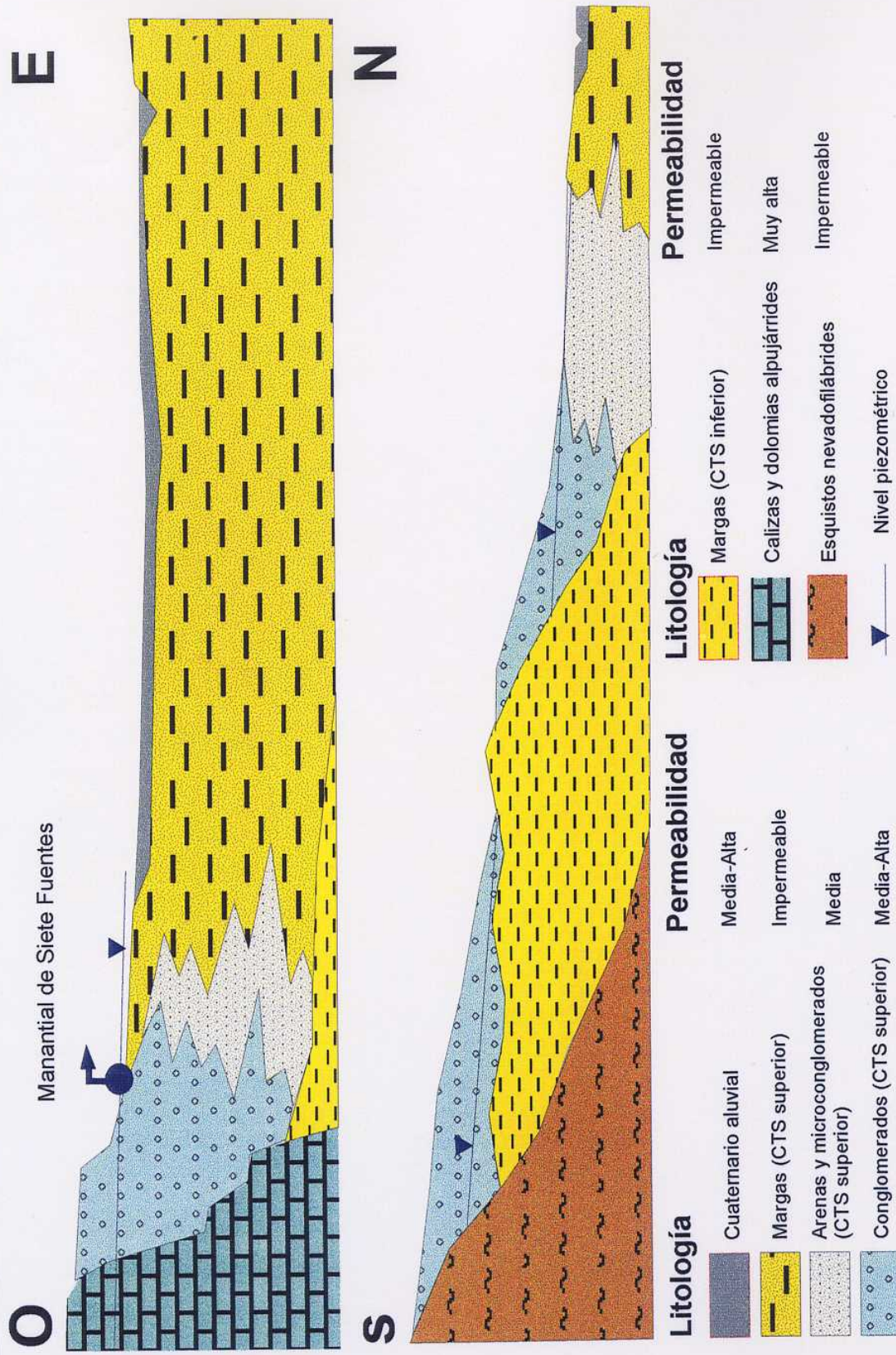


Figura 14.- Cortes hidrogeológicos esquemáticos de la U.H. Baza-Cañiles

### **3.3.2.2.- Depósitos Neógenos**

Existen representados en el área dos ciclos tectosedimentarios bien definidos.

El ciclo inferior, de edad Mioceno, está formado por depósitos marinos que se disponen discordantemente sobre el substrato (constituido en esta zona por materiales triásicos alpujárrides y/o nevadofilábrides). Se han observado dos afloramientos en el área de estudio, el del arroyo de Bodurria y el del arroyo de Valcabra.

a) El afloramiento de Bodurria está constituido, a la base, por brechas rojas; su espesor es de 3 a 4 metros, con cantos calizo-dolomíticos de tamaño variable (5-30 cm), angulosos y soportados por matriz arenoso-arcillosa roja.

Sobre ellos aparecen de 5 a 10 metros de conglomerados con cantos algo redondeados con abundante matriz arenosa sin fracción fina y fauna de ostreidos. Encima hay dos grandes construcciones arrecifales.

Sobre estos y sobre el substrato alpujárride se disponen 100 metros de potencia de conglomerados y arenas con estratificación cruzada a gran escala con intercalaciones de areniscas bioclásticas que lateralmente pasan a arenas y margas amarillentas.

Su permeabilidad en conjunto se estima elevada.

b) El afloramiento de Valcabra, comienza con un paquete de 5-10 metros de margas amarillas arenosas sobre las que se disponen 20-30 m de conglomerados y arenas grises. Los conglomerados presentan gran heterometría de cantos, secuencias negativas y, localmente, imbricaciones de cantos. Esporádicamente aparecen niveles de grava subredondeadas con restos de fauna masiva.

Por encima se dispone un nuevo paquete de margas amarillas (25-30 m) que a techo se hacen arenosas. Al final, 20 metros de arenas grises, masivas o con laminación ondulada o cruzada de bajo ángulo.

La permeabilidad de este afloramiento, se puede estimar en conjunto, media-alta.

El ciclo tectosedimentario superior, de edad Pliocuaternario, se dispone sobre el anterior mediante una discordancia a nivel de toda la cuenca y tiene un carácter continental. En el área de estudio aparecen dos formaciones: la Formación Guadix y la Formación Baza.

a) La Formación Guadix esta formada por conglomerados con diferencias en cuanto a composición y disposición según sectores.

Así en el sector sur y este, los cantos son muy heterométricos y angulosos, principalmente de esquistos, se encuentran poco o nada cementados y con matriz arenoso-arcillosa. La permeabilidad en este sector es muy elevada.

En el área de Rejano, se disponen sobre mármoles, brechas calcáreas y carnioles con cantos de hasta 50 cm de diámetro. Existe algo de imbricación y el tamaño de los cantos aumenta hacia el techo.

Hacia el norte, a partir de la Rambla de Las Lomas, el porcentaje de finos aumenta y dan un aspecto más rojizo. Pasan gradualmente, hacia el norte, a margas grises, disminuyendo sensiblemente la permeabilidad.

En el Sector de Bodurria, los conglomerados están formados por cantos esquistosos redondeados con intercalaciones de aproximadamente 1 metro de arenas con abundante matriz lutítica, formando paquetes bien estratificados. En esta zona se produce la coalescencia con los conglomerados del sector de Baza. Pasan, hacia el norte y noroeste, a cantos redondeados y carbonatados que, a su vez, pasan a facies finas en Caniles.

En el sector de Baza, los conglomerados, constituidos por cantos carbonatados, se encuentran muy cementados y presentan, al sur de Baza, un dispositivo progradante hacia el NE, pasando a facies margosas de la Formación Baza. La permeabilidad se estima media-alta, disminuyendo rápidamente hacia el este y noreste.

b) La Formación Baza esta constituida (Guerra 1992) por tres miembros de baja permeabilidad: uno calizo margoso, otro margoso-limoso y otro margoso-arenoso. El primero de ellos es el que se interdigita con los conglomerados de la Formación Guadix en el sector de Baza y el tercero es el que se observa, igualmente, en el área de Los Gallardos.

#### **3.3.2.3.- Depósitos Cuaternarios**

Dentro de los depósitos cuaternarios podemos distinguir por una parte los glaciares (niveles de colmatación) y los depósitos cuaternarios recientes.

Los glaciares están constituidos fundamentalmente por conglomerados más o menos cementados que hacia techo suelen presentar caliches. Su origen corresponde a medios aluviales aunque localmente presenta facies lacustres. En el conjunto de la cuenca tienen potencias entre 2 y 5 m, aunque hay grandes variaciones, que van desde espesores inferiores a 0,5 m en el centro de la cuenca, a valores de 20-30 m en sectores marginales.

Sobre el nivel de colmatación se desarrolla una costra calcárea ligada a un glaciar antiguo que permite la preservación de dicho nivel en amplios sectores de la cuenca.

Autores recientes consultados asignan a este conjunto (nivel de colmatación-glaciar) al denominado "antiguo" de los dos definidos en la cuenca.

El término Depósitos recientes, hace referencia a los desarrollados en la última etapa y relacionados con el encajamiento de la red fluvial actual. Se puede diferenciar la amplia terraza aluvial existente entre Baza y Caniles, compuesta fundamentalmente por gravas sueltas y arenas y, en menos proporción, limos y arcillas, de los aluviales actuales de las principales corrientes fluviales de una composición similar y que se disponen en discordancia erosiva sobre los materiales anteriores.

Los aluviales de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra están bien desarrollados, constituidos fundamentalmente por gravas y arenas y dotados de una elevada permeabilidad.

### **3.3.3.- Cartografía hidrogeológica**

En base a las cartografías hidrogeológicas previas y a la realizada a escala 1:25.000 durante el presente estudio en el sector occidental de la unidad, se ha realizado el Mapa Hidrogeológico de la U.H. de Baza-Caniles, a escala 1:50.000.

En él se han distinguido dos términos hidrogeológicos pliocuaternarios: los materiales pliocuaternarios permeables, constituidos por conglomerados, gravas y arenas, fundamentalmente y los materiales pliocuaternarios margosos de carácter impermeable.

Además se contemplan los materiales pliocuaternarios indiferenciados, situados al noroeste de la unidad y que presentan una permeabilidad, en conjunto media-alta, y los materiales alpujárrides y nevadofilábrides, distinguiéndose entre materiales calcáreos permeables y materiales esquistosos impermeables.

### **3.3.4.- Puntos de Agua**

Se han seleccionado los puntos de agua más significativos de la U.H. Baza-Caniles, atendiendo para ello a los siguientes criterios:

- manantiales más caudalosos que drenan la unidad.
- sondeos de mayores extracciones.
- sondeos que aportan información piezométrica o sobre parámetros hidráulicos.
- Sondeos de carácter surgente.
- Galerías o cimbras de caudal elevado.
- Galerías o cimbras secas que anteriormente drenaban un caudal significativo.

Las características principales de los puntos de agua seleccionados se presentan en el Cuadro 19.

Las principales descargas corresponden a los manantiales: 120 "Siete Fuentes" (203 l/s), 124 "Fuente S.Juan" (70 l/s), 163 "Fuente Zalema" (45 l/s), 107 "Tablón del Lunes" (32 l/s), 181 "Siembra de los Castillos" (21 l/s), 111 "Lunchar" (14 l/s), 110 "Aguadero del Lunchar" (13 l/s), 117 "Rambla del Chopo" (7 l/s) y 104 "Bodurria" (4-10 l/s).

Hay que tener en cuenta también que en el límite septentrional de la unidad, se producen descargas difusas hacia los cauces de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra, sobre todo al primero.

Además se producen descargas subterráneas a través de los aluviales de dichos ríos y posiblemente también, en el extremo noroccidental, hacia el pliocuaternario indiferenciado.



**CUADRO 19.- Características de los puntos de agua más significativos de los U.H. de Baza-Caniles**

Nº de orden	Nº Inventario	Nombre	Nat	Cota m. s. n. m.	Prof m	Prof nivel (m)	Cota nivel m s. n. m.	Caudal l/s	Cond $\mu\text{S/cm}$	Temp $^{\circ}\text{C}$	Litología	uso	T $\text{m}^2/\text{s}$	S
101	224060027	Florentos	S	1020	155	14	1008				Conglomerados y arenas			
102	224060018	Cjo. La Aguja	S	1005	30	14	991				Conglomerados y arenas	Piezómetro		
103	224060016	Cjo. del Viernes	S	995	50	26	969				Conglomerados y arenas	Sin uso		
104	224060002	Bodurria	M	998	---	0	998	4 10			Conglomerados y arenas	Agrícola		
105	224060026		S								Conglomerados y arenas			
106	224060001	Las Molineras	S	915	100	12	903	15,00			Conglomerados y arenas	Agrícola	$2.7 \times 10^3$	$1-2 \times 10^{-2}$
107	224020271	Tablón del Lunes	M	880	---	0	880	32,00			arenas	Agrícola		
108	224020209	Lunes Tortán	S	900	40	30	870				Conglomerados y arenas	Agrícola		
109	224020039	Sondeo Baza II	S	958,66	180	20	938				Conglomerados y arenas	Abastec	$3-4 \times 10^3$	$10^3$
110	224020022	Aguaero del Lunchar	M	950	---	0	950	13,00			Conglomerados y arenas	Agrícola		
111	224020024	Fte. del Lunchar	M	910	---	0	910	14,00			Conglomerados y arenas	Agrícola		
112	224020279	Cjo. Tío Román	S	895	80	20,45	875	3,00			Conglomerados y arenas	Sin uso		
113	224020280	Cueva Los Mancebos	S	935	60	30	905				Conglomerados y arenas	Sin uso		
117	224020021	Fbla. del Chopo	M	940	---	0	940	7,00			Conglomerados y arenas	Agrícola		
118	224020038	Sondeo Baza 1	S	960,69	187	24,28	936				Conglomerados y arenas		$5.7-7 \times 10^3$	$10^3$
119	224020211	Acequia Zoalme	S	885	40	17	868				Aluvial	Agrícola		
120	224010002	Siete Fuentes	M	910	---	0	910	203,00	416	13,4	Conglomerados y arenas	Abto		
124	224010001	Fte. de San Juan	M	910	---	0	910	70,00	663	14,7	Conglomerados y arenas	Abto		
125	224010019	Cercado Pavón	S	872	90	28	844				Margas	Agrícola		
163	224010006	Fuente Zalema	M	880	0	0	880	44,97			Conglomerados y arenas	Agrícola		
164	223960072	Cjo. Morcillo	S	785	60	15,62	769	30,00			Aluvial	Agrícola		
165	223960075	Cjo. Cuesta Grande	S	780	84	19,3	761	11,00			Aluvial	Agrícola		

**CUADRO 19.- Características de los puntos de agua más significativos de los U.H. de Baza-Caniles**

Nº de orden	Nº inventario	Nombre	Nat	Cota m s.n.m	Prof m	Prof nivel (m)	Cota nivel m s.n.m.	Caudal l/s	Cond $\mu\text{S/cm}$	Temp $^{\circ}\text{C}$	Litología	uso	T $\text{m}^3/\text{s}$	S
166	224020001	Caniles I	S	910	40	7	903				Conglomerados y arenas	Agrícola	$1-2 \times 10^2$	$1-5 \times 10^3$
167	224020028	Fte. Los Vidales	GA	805	---	---	805	20,00			Aluvial	Agrícola		
168	224020031	Aguacia Baja	M	860	---	---	860	8,64			Aluvial	Agrícola		
169	224020034	El Guaquí	GA	865	---	---	---	0,00			Aluvial	Seca		
170	224020036	Tortán	GA	900	---	---	---	0,00			Aluvial	Seca		
171	224020241	Cordovilla	S	915	70	14,62	900	33,60			Conglomerados y arenas	Agrícola		
172	224020243	La Carriza	S	905	73	5,89	899	44,00			Conglomerados y arenas	Abto		
173	224020268	Tortán	SS	900	100	0	900	18,00			Conglomerados y arenas	Agrícola		
174	224020023	Aguadero	GA	919	0	0	---	0,00			Aluvial	Seca		
175	224020045	Aguacia Alta	M	861	0	0	861	12,23			Aluvial	Agrícola		
176	224020033	Ibiza	GA	873	0	0	---	0,00			Aluvial	Seca		
177	224020040	Priego	M	840	0	0	840	10,88			Aluvial	Agrícola		
178	224020042	Cimbra del Tío Luis	GA	891	0	0	---	0,00			Aluvial	Seca		
179	224020043	Cimbra Molina	GA	881	0	0	---	0,00			Aluvial	Seca		
180	224020044	Cimbra de Berrea	GA	880	0	0	---	0,00			Aluvial	Seca		
181	224070006	Siembra Los castillos	M	1020	0	0	1020	20,94			Conglomerados y arenas	Agrícola		
182	224070012	Cjo. Nuevo	GA	993	0	0	993	13,26			Arenas	Agrícola		
183	224020032	Soltania	M	885	0	0	---	0,00			Aluvial	Seca		

### **3.3.5.- Piezometría**

La piezometría de la unidad está condicionada por las principales descargas de la unidad que se producen a una cota aproximada de 910 m s.n.m.

Las descargas principales de la unidad, a excepción de la más septentrional (124 "Fuente S.Juan), se sitúan en los arroyos que de norte a sur jalonan la unidad: Arroyo de Siete Fuentes, Rambla del Chopo, Arroyo del Lunchar, río Gallego, río Golopón y Rambla de Valcabra.

En el Arroyo de Siete Fuentes, la surgencia principal, nº 120 "Siete Fuentes" con un caudal de 203 l/s, se sitúa a una cota de 910 m s.n.m. Aguas abajo, se encuentran dos surgencias: 163 "Fte. Zalema" y 177 "Priego", situadas a una cota de 880 y 840 m s.n.m. y con un caudal de 45 y 11 l/s, respectivamente.

En la Rambla del Chopo, existe una surgencia (117) situada a 940 m s.n.m. y un sondeo cuyo nivel se encuentra a cota similar.

En el arroyo del Lunchar, existen dos manantiales, el 110 "Aguero del Lunchar" situado a una cota de 950 m s.n.m. que descargaría un nivel conglomerático colgado y el manantial 111 "Fte. del Lunchar", situado a una cota de 910 m s.n.m.

En el río Gallego existe un sondeo surgente situado a una cota de 900 m, y la única descarga visible corresponde al manantial 107 "Tablón del Lunes", situado en el aluvial a una cota de 800 m. Existen otros dos sondeos (171 "Cordovilla" y 172 "La Carriza") con el nivel situado sobre los 900 m.

En el río Golopón, las surgencias se encuentran asociadas al aluvial (168 "Aguacía Baja" y 175 "Aguacía alta") a una cota de 860 m. Existe un sondeo (106 "Las Molineras") cuyo nivel se encuentra a una cota de 903 m.

En el arroyo Valcabra, la surgencia principal (181) se sitúa a 1020 m y está asociada al afloramiento del substrato margoso; existe una surgencia aguas abajo (182 "Cjo. Nuevo") situada a una cota de 993 m s.n.m.

Existe poca información para acometer una piezometría precisa, la piezometría oficialmente admitida (Junio-Septiembre de 1988) es la presente en el mapa 2A "Mapa hidrogeológico de las U.H. Sierra de Baza, Baza-Caniles y Jabalcón".

Con los datos adquiridos en el presente proyecto y gracias a la consideración conjunta del sector oriental de la U.H. Sierra de Baza y el acuífero pliocuaternario de la U.H. Baza-Caniles, se está investigando una nueva interpretación piezométrica que apunta hacia un funcionamiento hídrico sensiblemente diferente más coherente al actualmente admitido y que podría ser más razonable. Esta nueva interpretación se refleja en el mapa 2B "Piezometría y direcciones de flujo actualmente en revisión y reinterpretación".

Esta nueva interpretación supone la existencia de una divisoria hidrogeológica en la margen izquierda del río Gallego que entroncaría hacia el sur con los afloramientos del substrato mioplioceno margoso, condicionando la existencia de dos sectores, uno suroriental y otro noroccidental.

El sector nororiental presentaría unas líneas piezométricas generales orientadas en dirección E-O, con flujo regional en sentido norte; existiría una inflexión en las proximidades de los manantiales de Siete Fuentes y Fuente San Juan condicionada por un flujo local hacia dichos manantiales.

La recarga de este sector procede fundamentalmente de aportes subterráneos de la U.H. Sierra de Baza, unidad con la que está en continuidad hidráulica. Su nivel piezométrico se encuentra comprendido entre los 910 y 940 m s.n.m.

Las isopiezas del sector suroriental tendrían también orientación general E-O; aunque hacia el norte, debieran notarse unas inflexiones que marcarían la descarga a través de los aluviales de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra.

La recarga de este sector procede fundamentalmente de la escorrentía de la cuenca impermeable vertiente. Su nivel piezométrico se encuentra algo más elevado, entre 960 y 1006 m s.n.m.

### **3.3.6.- Parámetros hidráulicos**

La información procede de cuatro pruebas de bombeo realizadas en el Proyecto Guadalquivir (FAO) en 1969, en los sondeos 22406001, 22402039, 224020038 y 22402001 y en una prueba de bombeo realizada por Comisaría de Aguas del Guadalquivir en 1991 en el sondeo 22402397.

En el sondeo 22406001 se obtuvo una transmisividad entre 850 y 1700 m<sup>2</sup>/día, en el 22402039 entre 250 y 350 m<sup>2</sup>/día, en el 22402038 entre 430 y 520 m<sup>2</sup>/día, en el 22402001 del mismo orden que en el 22406001 y en el 22402397 de 43 m<sup>2</sup>/día.

En cuanto al coeficiente de almacenamiento, se citan valores comprendidos entre 10<sup>-2</sup> y 10<sup>-3</sup>, obtenidos en las pruebas de bombeo realizadas en el proyecto Guadalquivir (FAO).

### **3.3.7.- Sectores y relaciones bombeo-distancia/radio de influencia**

Se pueden distinguir dos tipos de acuíferos captados, en función de los materiales que lo constituyen: uno formado por los conglomerados de la Formación Guadix y otro, de menor permeabilidad, representado por microconglomerados y arenas de la misma formación.

En cada una de esos tipos se podría considerar dos sectores, uno amplio, con carácter libre y otro ligado a su borde oriental, donde el acuífero tiene comportamiento confinado o semiconfinado, que afectaría a aquellos sondeos que situados sobre facies margosas, captan materiales conglomeráticos o microconglomeráticos y arenosos.

Teniendo en cuenta los valores de transmisividad que pueden esperarse en estos acuíferos: entre 100 y 700 m<sup>2</sup>/día para los materiales conglomeráticos y entre 20 y 80 m<sup>2</sup>/día los arenosos; y considerando un coeficiente de almacenamiento del 5% para los sectores libres y del 0,1 % para los confinados, se pueden elaborar unos gráficos que permitan conocer el radio de influencia para distintos caudales y tiempos de bombeo.

En este caso se ha creído conveniente no considerar el radio de influencia, sino la distancia a la que las afecciones sobre el nivel son superiores a un metro. Con estos criterios se han elaborado los gráficos para tiempos de bombeo continuo de 30 y 100 días. Dichos gráficos se adjuntan en las Figuras 15 a 22.

A partir de estos gráficos se podrá conocer la distancia a la que se puede ubicar un sondeo, en un tipo de acuífero o con un carácter, para que las afecciones al sondeo de referencia sean menores a un metro, estimando un caudal de explotación y considerando un bombeo continuado de 30 o 100 días. Igualmente se podrá considerar el caudal de explotación máximo de un sondeo para que su afección a otro situado a una determinada distancia, sea inferior a un metro.

**Acuífero conglomerático libre  
Bombeo continuo de 30 días**

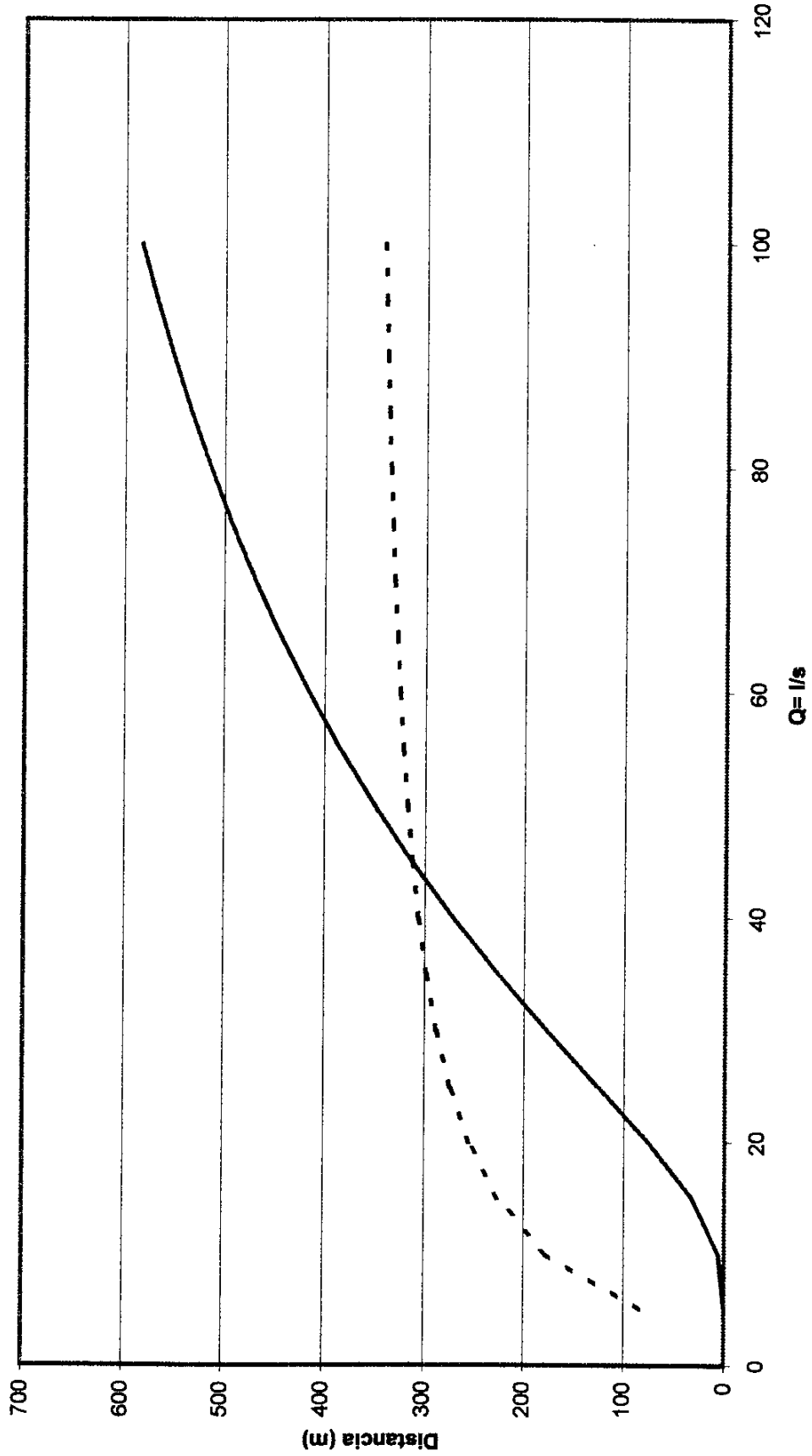


Figura 15.- Distancia mínima entre sondeos

**Acuífero conglomerático confinado  
Bombeo continuo de 30 días**

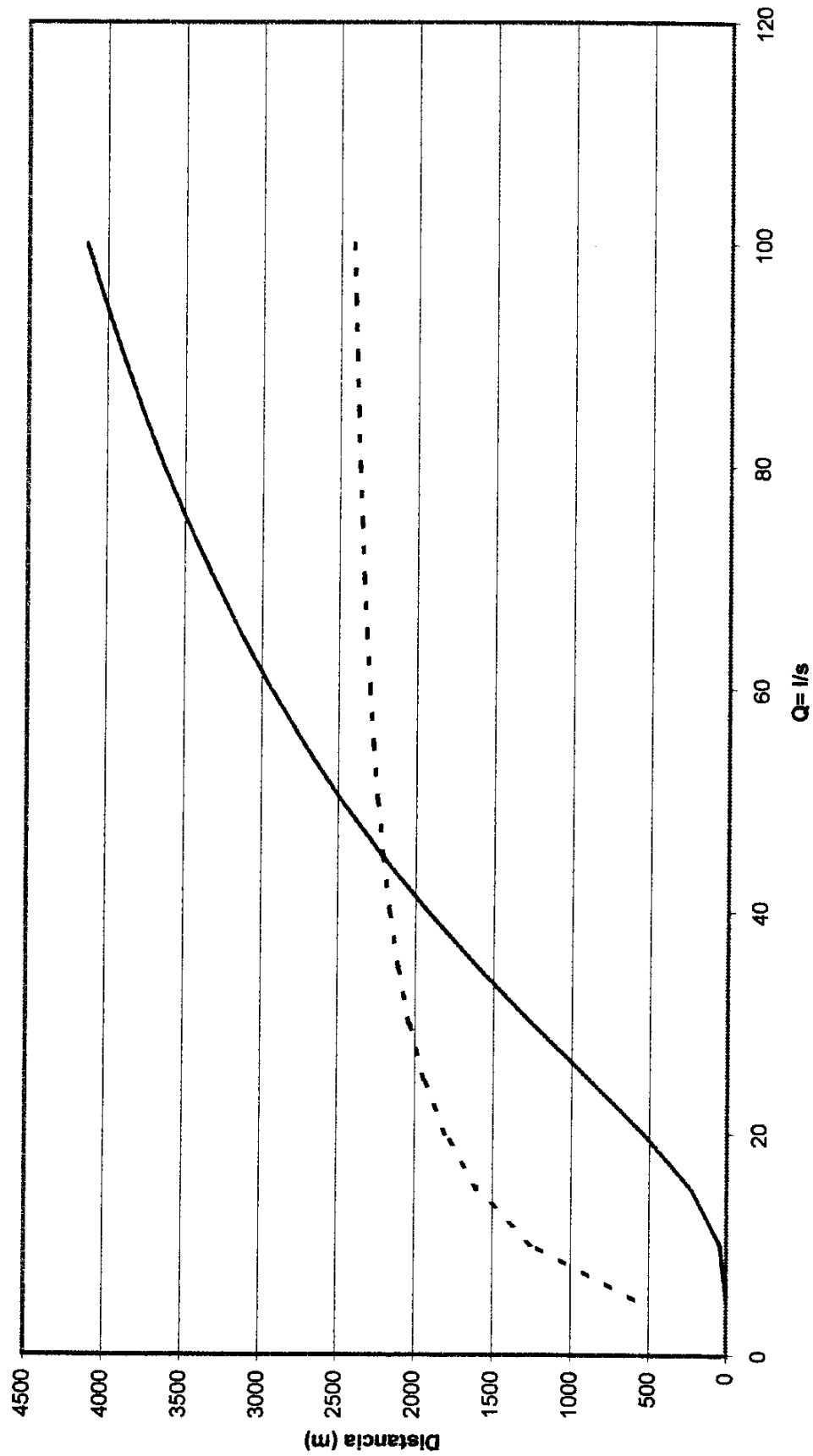


Figura 16.- Distancia mínima entre sondeos



**Acuífero arenoso libre  
Bombeo continuo de 30 días**

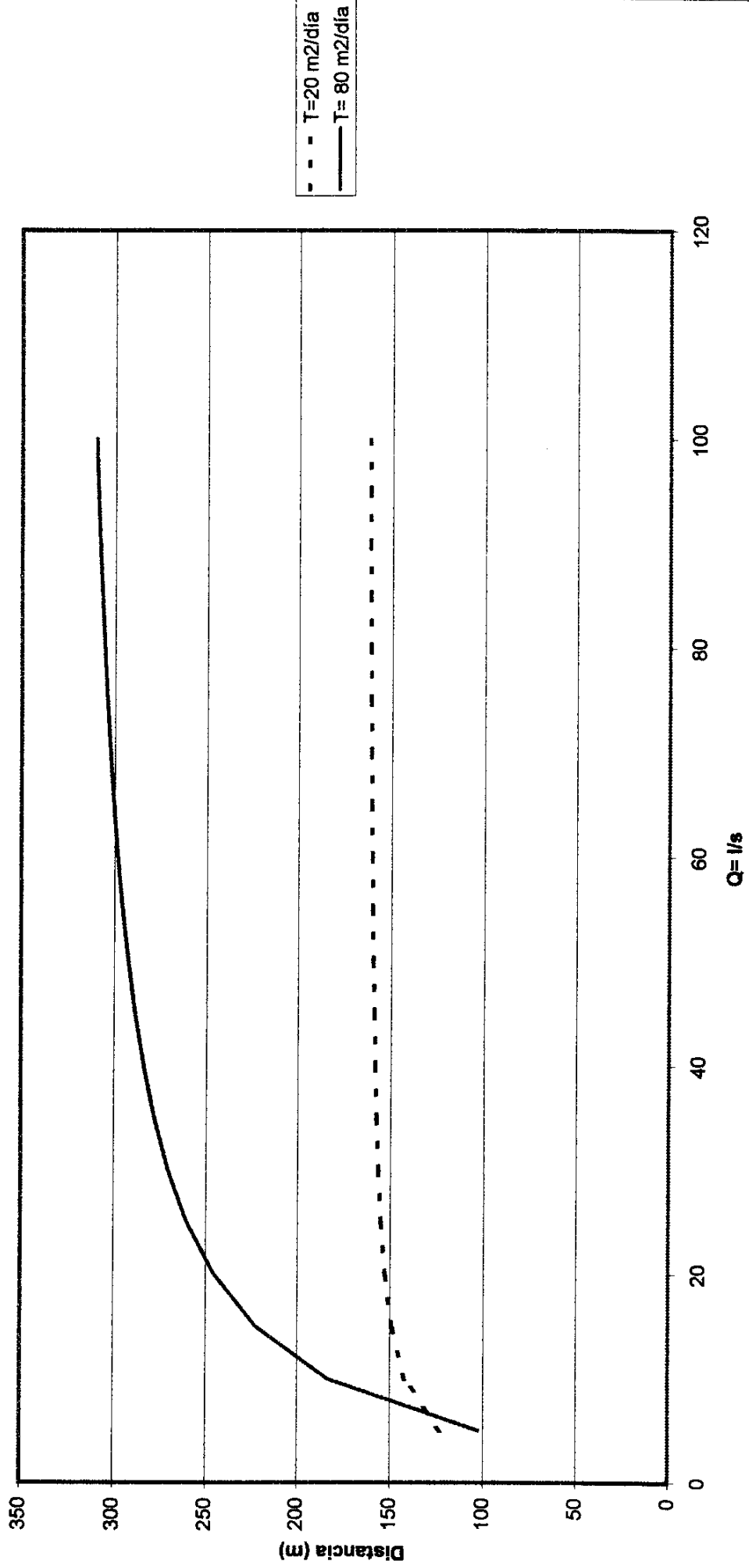


Figura 17.- Distancia mínima entre sondeos

Acuífero arenoso confinado  
Bombeo continuo de 30 días

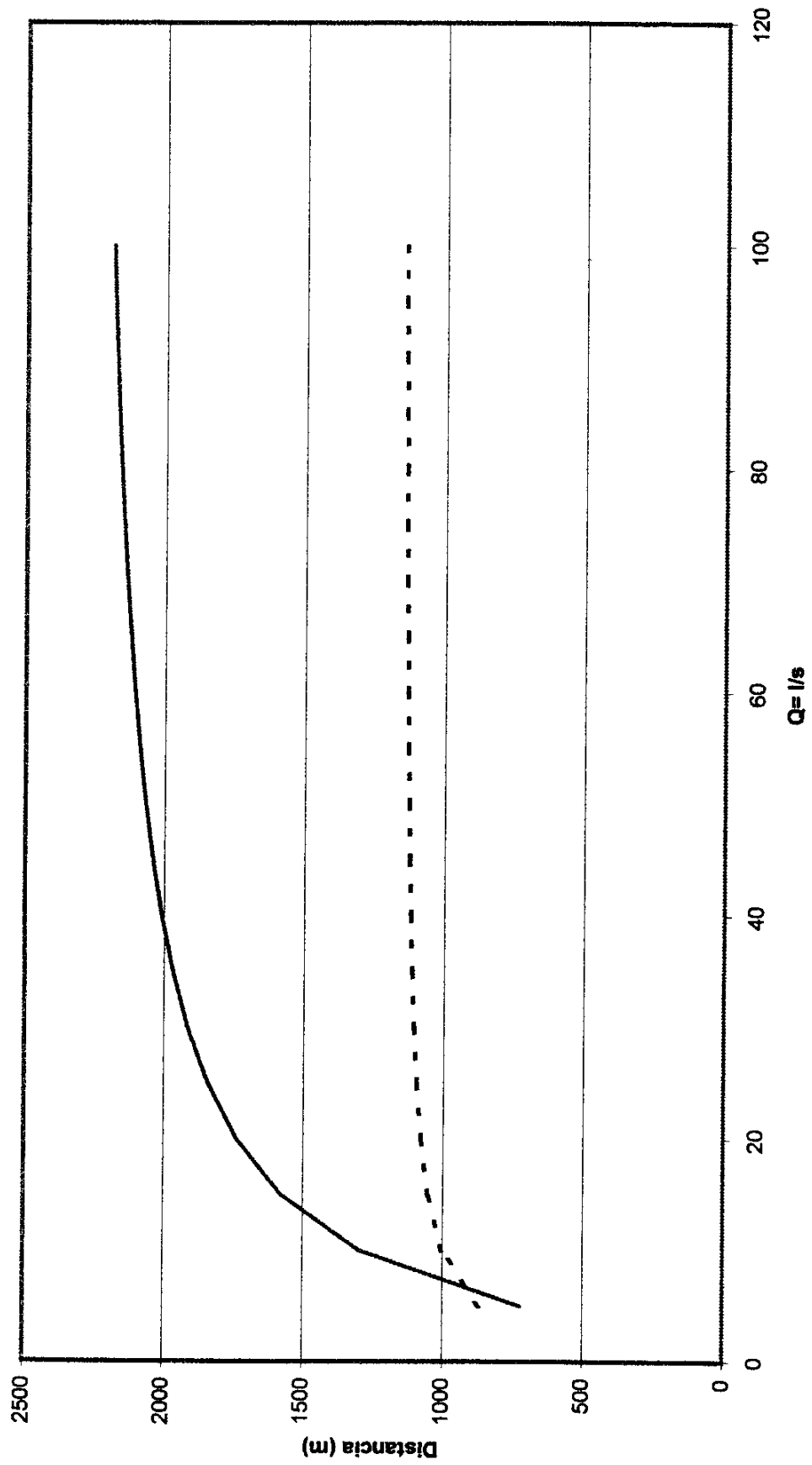
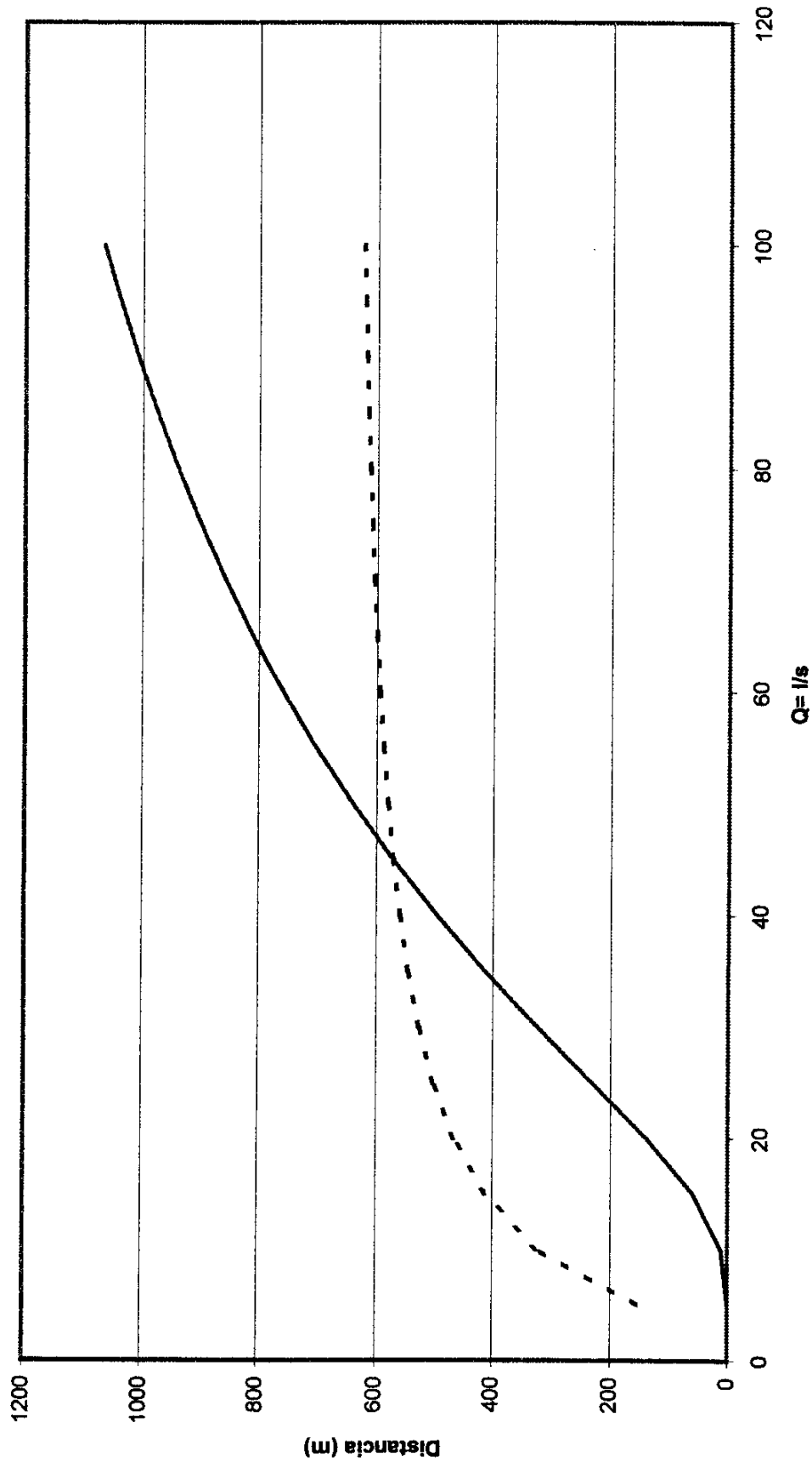


Figura 18.- Distancia mínima entre sondeos

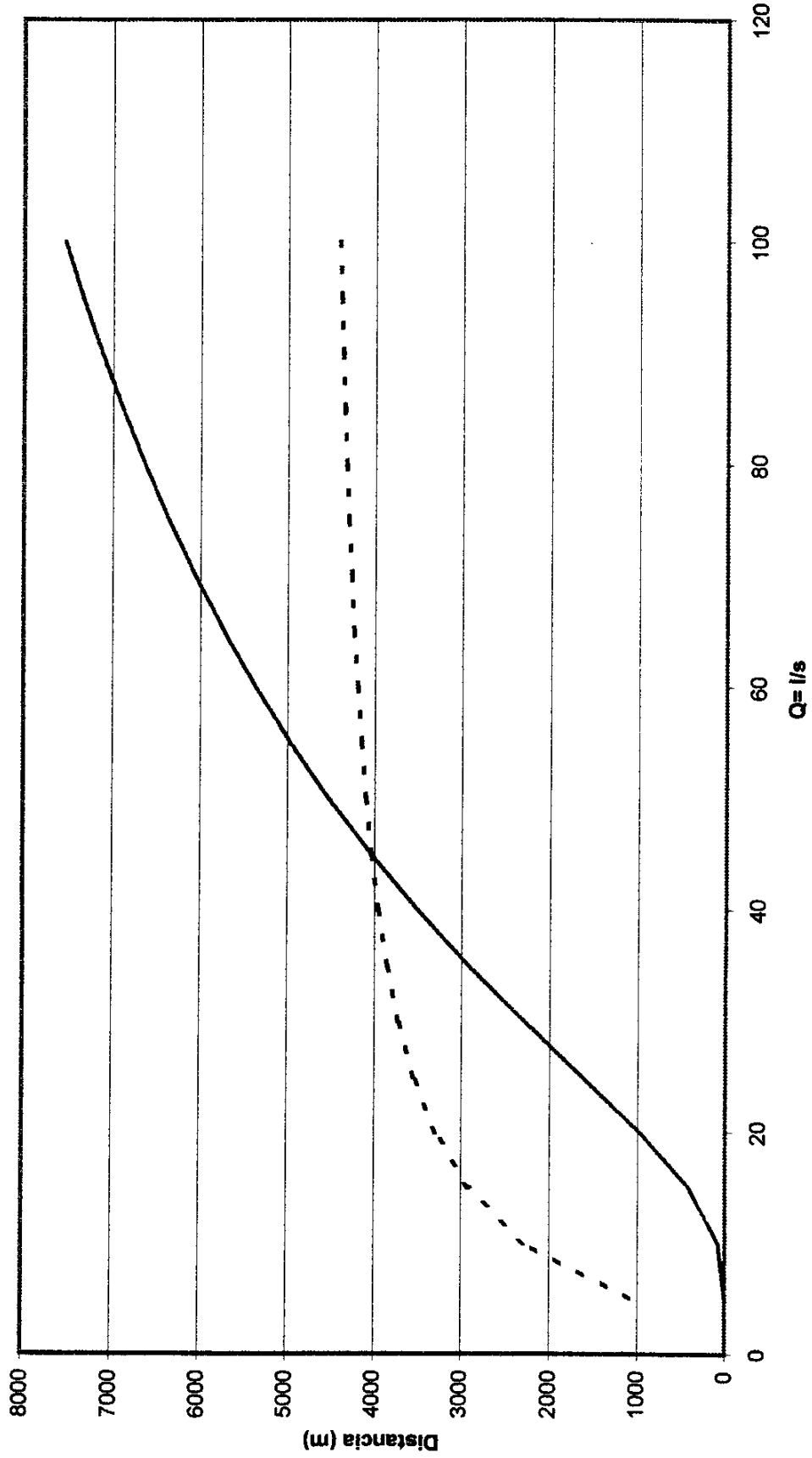
**Acuífero conglomerático libre  
Bombeo continuo de 100 días**



- - - T= 100 m<sup>2</sup>/día  
———— T= 700 m<sup>2</sup>/día

Figura 19.- Distancia mínima entre sondeos

**Acuífero conglomerático confinado  
Bombeo continuo de 100 días**



- - - T= 100 m<sup>2</sup>/día  
— T= 700 m<sup>2</sup>/día

Figura 20.- Distancia mínima entre sondeos

**Acuífero arenoso libre  
Bombeo continuo de 100 días**

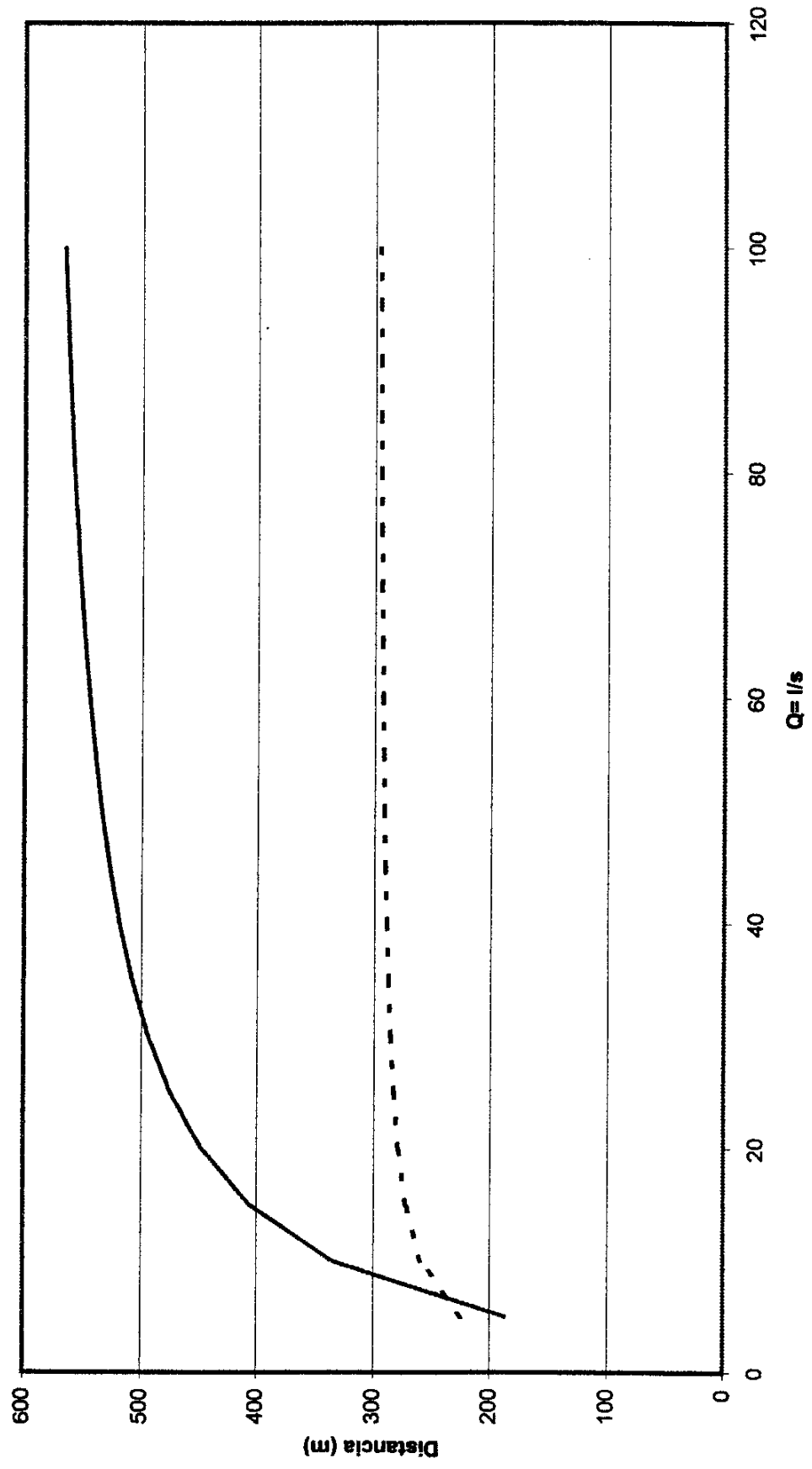
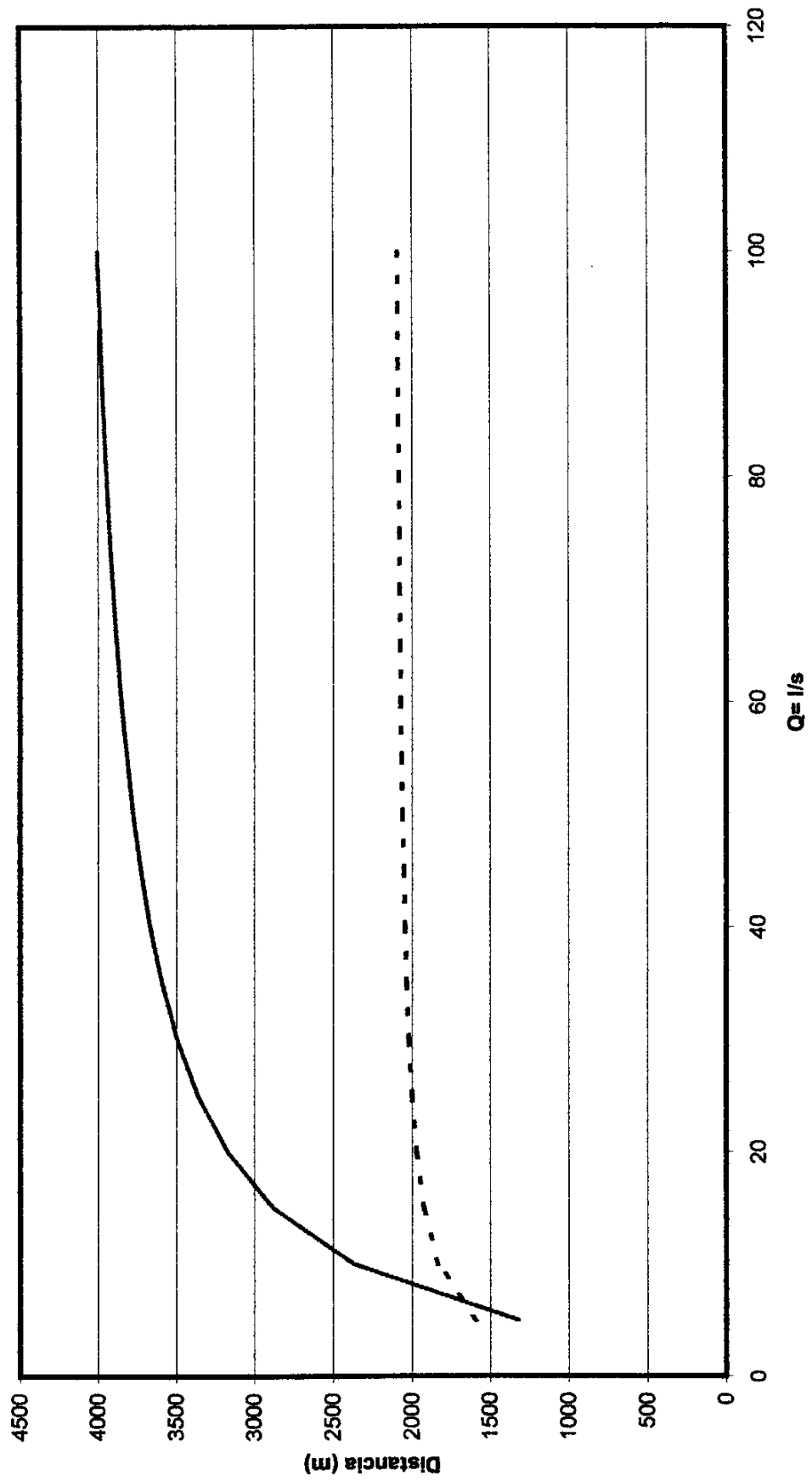


Figura 21.- Distancia mínima entre sondeos

**Acuífero arenoso confinado  
Bombeo continuo de 100 días**



- - - T= 20 m²/día  
— T= 80 m²/día

Figura 22.- Distancia mínima entre sondeos

### **3.3.8.- Funcionamiento hidráulico. Balance**

La alimentación de la U.H. Baza-Caniles se produce por infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos permeables, por infiltración de la escorrentía generada sobre las cuencas impermeables vertientes a dichos afloramientos y por aporte subterráneo desde el sector oriental de la U.H. Sierra de Baza.

La descarga de la unidad se produce:

- A través de manantiales y mediante extracciones por bombeo.
- Por descarga subterránea hacia el acuífero Cuaternario de Baza-Caniles, a través del aluvial de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra.
- Por descarga subterránea hacia el pliocuaternario indiferenciado del sector noroccidental.

#### **3.3.8.1.- Recarga**

La recarga de la U.H. Baza-Caniles se produce por:

- Infiltración directa del agua de lluvia sobre sus afloramientos permeables.
- Infiltración de la escorrentía generada en las cuencas nevadofilábrides de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra, considerando que el 50 % de dicha escorrentía se infiltra en el acuífero.
- Infiltración del 50 % de las descargas, a través de manantiales, del sector suroriental de la U.H. Sierra de Baza (Nº 89 Fte. del Castellón, Nº 90 Bodurria, Nº 93 Fte. del Cjo. de la Carriza, Nº 96 La Cerrá, Nº 97 Fte. Miliqui, Nº 100 Fte. de la Cerrá y Nº 158 Fte. del Tornazo), cuyo caudal medio conjunto se estima

en 100 l/s (3,2 hm<sup>3</sup>/año). Este concepto contabilizaría una alimentación adicional de 1,6 hm<sup>3</sup>/año.

- Aportes subterráneos del sector oriental de la U.H. Sierra de Baza, estimados en 9,7 hm<sup>3</sup>/año (ver apartado 5.3, "Consideraciones y balance conjunto del sector oriental de la U.H. Sierra de Baza y acuífero pliocuaternario de la U.H. de Baza-Caniles").

La estimación de la alimentación por infiltración de la precipitación y de la escorrentía de las cuencas de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra, se ha realizado en base a los polígonos de Thiesen y a la planimetría de los diferentes materiales existentes en ellos, asignándoles a estos últimos, los valores de Lluvia Útil considerados en el apartado 3.6.

En el cuadro 20 se muestran los resultados obtenidos para la alimentación por estos conceptos.

Los aportes subterráneos que proceden del sector oriental de la U.H. Sierra de Baza son muy difíciles de evaluar, su estimación en 9,7 hm<sup>3</sup>/año se ha realizado en base al análisis conjunto con el sector oriental de Sierra de Baza, que se detalla en el apartado 5.3, "Consideraciones y balance conjunto del sector oriental de la U.H. Sierra de Baza y acuífero pliocuaternario de la U.H. de Baza-Caniles".

Por consiguiente la recarga de la U.H. Baza-Caniles se estima en 33,9 hm<sup>3</sup>/año, correspondiendo:

- 7,5 hm<sup>3</sup>/año, a infiltración de la precipitación.

- 15,1 hm<sup>3</sup>/año, a infiltración de la escorrentía de las cuencas de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra.



**CUADRO 20.- Recarga por infiltración de la precipitación y de la escorrentía en la U.H. Baza-Caniles**

Materiales	Polígono	Superficie (km <sup>2</sup> )	Lluvia Útil (mm)			Recarga (mm/año)		
			Año medio	Año-tipo seco	Año-tipo húmedo	Año medio	Año-tipo seco	Año-tipo húmedo
Pliocuaternario	5048	7,3	43,3	20	101,1	0,32	0,15	0,74
Pliocuaternario	5046	4,1	185,8	116,8	257,3	0,76	0,47	1,05
Pliocuaternario	5044	127,2	33,5	0	93,8	4,26	0,00	11,93
Pliocuaternario	5043E	15,9	136,9	58,3	184,1	2,17	0,92	2,92
<b>Total Pliocuaternario</b>		<b>154,4</b>				<b>7,5</b>	<b>1,5</b>	<b>16,6</b>
Cuenca impermeable vertiente	5043E	186,5	161,9	83,3	209,1	15,1	7,8	19,5
<b>Total U.H.</b>		<b>343,0</b>				<b>22,6</b>	<b>9,3</b>	<b>36,1</b>
						100%	41%	160%

- 9,7 hm<sup>3</sup>/año, a aportes subterráneos del sector oriental de la U.H. Sierra de Baza.

- 1,6 hm<sup>3</sup>/año, a infiltración de las descargas de los manantiales del sector suroriental de la U.H. Sierra de Baza.

Este valor es parecido al obtenido en el Estudio hidrogeológico para la mejora de los riegos de la Hoya de Baza" ITGE(1988) (35 hm<sup>3</sup>/año) y ligeramente inferior al apuntado en la Tesis de Hidalgo Estevez(1993) (36 hm<sup>3</sup>/año). La diferencia más notoria corresponde al valor de los aportes subterráneos procedentes de la U.H. Sierra de Baza, que en el presente estudio (9,7 hm<sup>3</sup>/año) son inferiores a los considerados en el Estudio hidrogeológico para la mejora de los riegos de la Hoya de Baza (15 hm<sup>3</sup>/año) y muy inferiores a los apuntados en la Tesis de Hidalgo Estevez (21,9 hm<sup>3</sup>/año).

Es necesario resaltar la gran variación interanual de la recarga de esta unidad y la incertidumbre que conlleva, la adopción de unas cifras fijas para la cuantificación de recursos.

### **3.3.8.2.- Descarga**

Con la información actualmente existente, es muy difícil evaluar la descarga de la U.H. Baza-Caniles, debido fundamentalmente a la imprecisión de las descargas subterráneas hacia el pliocuaternario indiferenciado del sector noroccidental de la unidad y hacia el acuífero cuaternario a través de los aluviales de los ríos Golopón, Gallego y Valcabra.

Las descargas visibles de la unidad se pueden cuantificar en 24,3 hm<sup>3</sup>/año, que puede desglosarse en:

a) Las descargas a través de los manantiales y galerías existentes, que se evalúan en 14,8 hm<sup>3</sup>/año, considerando los siguientes manantiales:

Nº de orden	Nº Inventario	Nombre	Nat	Caudal (l/s)
107	224020271	Tablón del Lunes	M	32
110	224020022	Aguaero del Lunchar	M	13
111	224020024	Fte. del Lunchar	M	14
117	224020021	Rbla. del Chopo	M	7
120	224010002	Siete Fuentes	M	203
124	224010001	Fte. de San Juan	M	70
163	224010006	Fuente Zalema	M	44,97
167	224020028	Fte. Los Vidales	GA	20
168	224020031	Aguacia Baja	M	8,64
169	224020034	El Guaquí	GA	0
170	224020036	Tortán	GA	0
174	224020023	Aguadero	GA	0
175	224020045	Aguacia Alta	M	12,23
176	224020033	Ibiza	GA	0
177	224020040	Priego	M	10,88
178	224020042	Cimbra del Tío Luis	GA	0
179	224020043	Cimbra Molina	GA	0
180	224020044	Cimbra de Berrea	GA	0
181	224070006	Siembra Los castillos	M	20,94
182	224070012	Cjo. Nuevo	GA	13,26
183	224020032	Soltanía	M	0
TOTAL				470 l/s
				14,8 hm <sup>3</sup> /año

b) Los bombeos para abastecimiento, 2,8 hm<sup>3</sup>/año (cifra obtenida de las encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo realizadas en el presente proyecto).

c) Los bombeos utilizados para riego, 4,7 hm<sup>3</sup>/año (cifra aportada por Hidalgo, 1993).

d) Derivaciones para riego de la Acequia de Mórax, 2 hm<sup>3</sup>/año (cifra aportada por Hidalgo, 1993).

El valor total de las descargas visibles es similar obviamente al aportado por Hidalgo (1993) en su tesis doctoral (24,5 hm<sup>3</sup>/año), aunque es significativamente superior al evaluado anteriormente en el "Estudio Hidrogeológico de la Hoya de Baza" (20 hm<sup>3</sup>/año) y en el Estudio de la FAO (19-22 hm<sup>3</sup>/año).

Las descargas subterráneas a través de los aluviales de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra fueron estimadas por Hidalgo Estevez (1993) en 6,2 hm<sup>3</sup>/año; para ello consideró que la anchura de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra, a la salida del acuífero es de 500 metros, un gradiente del 1% y una transmisividad de 3.400 m<sup>2</sup>/día.

En la cartografía realizada en el presente proyecto se observa que la anchura total de los aluviales supera los 700 metros, por lo que la descarga a través de los aluviales se puede estimar en 8,7 hm<sup>3</sup>/año.

Las descargas del acuífero hacia el pliocuaternario indiferenciado de la zona septentrional se estiman en 0,9 hm<sup>3</sup>/año (ver apartado 4.3, "Consideraciones y balance conjunto del sector oriental de la U.H. Sierra de Baza y acuífero pliocuaternario de la U.H. de Baza-Caniles").

Por tanto, las salidas de la unidad (33,9 hm<sup>3</sup>/año) corresponden a:

- 24,3 hm<sup>3</sup>/año, a manantiales, galerías y extracciones en sondeos.
- 8,7 hm<sup>3</sup>/año, a descargas subterráneas a través de los aluviales de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra.
- 0,9 hm<sup>3</sup>/año, a descargas subterráneas hacia el pliocuaternario indiferenciado de la zona noroccidental.

### 3.3.8.3.- Balance

Los resultados del balance se pueden contrastar entre sí, en el Cuadro 21.

**CUADRO 21.- Balance hídrico en la U.H. Baza-Caniles**

AÑO MEDIO					
Recarga (hm <sup>3</sup> /año)			Descarga (hm <sup>3</sup> /año)		
Infiltración de la precipitación directa	7,5	33,9	Manantiales, galerías y sondeos	24,3	33,9
Infiltración escorrentía ríos Gallego, Golopón y Valcabra	15,1				
Infiltración agua de manantiales del sector SE de Sierra de Baza	1,6				
Aportación subterránea de Sierra de Baza	9,7				
			Underflow aluviales	8,7	
			Subterránea pliocuaternario indiferenciado	0,9	

Ya se ha comentado con anterioridad las dificultades inherentes a la cuantificación de recargas y descargas, debidas a:

- Las grandes variaciones pluviométricas interanuales.
- La falta de información foronómica de los manantiales significativos y de extracciones en los sondeos de explotación.
- La existencia de límites abiertos y dificultad de determinar la descarga subterránea hacia los materiales pliocuaternarios y cuaternarios
- La dificultad de cuantificar la alimentación subterránea procedente del sector oriental de la U.H. Sierra de Baza.

### **3.3.9.- Calidad de las aguas**

Las aguas subterráneas de la U.H. Baza-Caniles son de mineralización media a alta, con valores de conductividad comprendidos entre 500 y 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , aunque en las zonas situadas al oeste de Caniles se pueden encontrar valores de conductividad inferiores.

En cuanto a su facies, predominan las aguas de facies bicarbonatada cálcica y cálcico-magnésicas, sobre todo al oeste del río Gallego. Estas facies están en relación con los materiales calcáreos de donde proceden sus aportes (U.H. Sierra de Baza). En los sectores situados al este del río Gallego, se encuentran facies mixtas bicarbonatadas-sulfatadas e incluso facies sulfatadas, con una clara influencia de las aguas de escorrentía a través de materiales filíticos y esquistosos.

En el acuífero cuaternario, las aguas se encuentran más mineralizadas peor calidad, más sulfatadas y de mayor concentración salina.

### **3.3.10.- Trabajos previos para el diseño de operaciones de recarga artificial con excedentes de escorrentía**

Durante el mes de Enero de 1998, se realizó un reconocimiento de las principales acequias existentes en el acuífero mioplioceno, con el fin de determinar su estado y características. Paralelamente se realizó una encuesta a las Comunidades de Regantes de las mismas, con el fin de determinar si en alguna época del año, existe circulación por las acequias, aguas abajo de la unidad. Esto determinaría la posibilidad de aprovecharlas previamente para recarga del acuífero.

Del mismo modo, mediante reconocimiento y encuestado, se recogió información sobre la circulación hídrica de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra, aguas abajo de la unidad.

En esa misma fecha se realizó un reconocimiento de las zonas de cabecera del acuífero con el fin de seleccionar algunas áreas donde pudieran realizarse experiencias de recarga, mediante balsas de infiltración.

El río Gallego, a la salida de la unidad, lleva circulación de agua durante todo el año, en gran parte del año superior a unos 30 l/s (en Enero de 1998 se estimó un caudal de 30 l/s. En las épocas de fuertes lluvias, los caudales se incrementan significativamente. Ello indica que existe un excedente de agua susceptible de ser utilizado para recarga artificial del acuífero.

La acequia de La Carriza, ligada al río Gallego, se encuentra canalizada desde el azud de La Cerrá hasta el Cortijo del Tullido, presentando una sección aproximada de 0,4 x 0,4 m. Aguas abajo la acequia se encuentra sin revestir y tiene una anchura del orden de 1 m. Generalmente esta acequia, lleva agua durante todo el año, con caudales medios de 10-20 l/s (en Enero de 1998, el caudal circulante era de unos 15 l/s).

El río Golopón, a la salida del acuífero mioplioceno lleva agua únicamente en épocas de lluvia, de Octubre a Mayo, generalmente (en Enero de 1998, llevaba un caudal de unos 15 l/s). En las épocas de grandes lluvias se desaguan a través del cauce caudales muy superiores, ello indica que también en este río existen aguas de escorrentía que en determinadas épocas pudieran utilizarse para la recarga artificial del acuífero.

La acequia de Morax, ligada al río Golopón, presenta circulación hídrica únicamente durante los meses de Diciembre a Febrero, con caudales medios de unos 5-15 l/s; en años excepcionales el período puede incluir además los meses de Marzo a Junio. Estas aguas son aprovechadas aguas abajo por la comunidad de regantes de la acequia del Mincal, por lo que se puede considerar que apenas se producen excedentes.

La rambla de Valcabra, a la salida de la unidad únicamente presenta circulación hídrica durante las avenidas que se generan tras lluvias intensas (en Enero de 1998, su caudal era de unos 10 l/s), permaneciendo seco en gran parte del año.

La acequia de Balax, ligada al arroyo Valcabra, se encuentra cementada hasta unos dos kilómetros antes de la carretera nacional 323, presentando una sección de 1 x 0,5 m. La circulación hídrica, a la salida de la unidad, se produce únicamente durante los meses de Octubre a Junio, con caudales aproximados de unos 10 l/s.

El sector oriental de la Unidad hidrogeológica Sierra de Baza y la Unidad Hidrogeológica de Baza-Caniles se encuentran hidráulicamente interconectadas, debido a que, en su mayor parte, el contacto entre sus formaciones litológicas es muy permeable. Además esta relación se traduce en la alimentación subterránea del acuífero detrítico, desde el acuífero carbonatado.

La Unidad Hidrogeológica de Baza-Caniles presenta una morfología peculiar que le permite almacenar una gran cantidad de reservas. Sus descargas se producen a través de varios caudalosos manantiales y drenajes visibles perennes hacia los ríos Gallego y Golopón. También se producen descargas visibles al menos en el período de Octubre a Abril, hacia el río Valcabra.

Es de destacar que las cimbras enclavadas en los aluviales de los ríos Golopón y Valcabra, han disminuido notablemente su caudal, incluso muchas de ellas se han secado por completo. Esto es consecuencia del descenso de niveles provocado por el incremento de la explotación subterránea en el acuífero mioplioceno y sobre todo en el acuífero cuaternario.

Para el aprovechamiento óptimo de la Unidad Hidrogeológica de Baza-Caniles, es necesario contemplar junto con los recursos renovables y las grandes reservas existentes, las posibilidades de efectuar una recarga artificial con los excedentes de escorrentía circulantes en épocas de aguas altas por los ríos Gallego, Golopón, Valcabra y acequias derivadas.



Es evidente que actualmente se produce una eficaz recarga a través de la red de acequias existente, la mayor parte de las cuales se encuentra sin revestir.

Existen tres posibilidades para incrementar artificialmente la recarga del acuífero:

a) Construcción de pequeñas represas de laminación de avenidas, a lo largo del cauce de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra y arroyos principales, en aquellos tramos circulantes sobre materiales acuíferos.

b) Construcción de nuevas acequias, fundamentalmente en zonas de cabecera, que aprovechen los excedentes de aguas altas.

c) Construcción de balsas de infiltración alimentadas mediante acequias por las aguas de escorrentía de las épocas de aguas altas.

Los reconocimientos de campo efectuados han ido encaminados sobre todo hacia este último tipo de actuación. Sus posibilidades en la zona septentrional de la unidad son muy bajas debido al fuerte encajamiento de los cauces y a los usos agrícolas del terreno. En la zona meridional, cabecera del acuífero, la posible recarga tendría una mayor efectividad, al situarse el nivel a mayor profundidad y favorecerse la regulación.

Tras el reconocimiento de campo, se ha comprobado que el fuerte encajamiento del río Gallego, dificulta notablemente las posibilidades de actuación, puesto que sería necesario construir acequias de excesiva longitud para instalar balsas en zonas apropiadas.

En el río Golopón se han seleccionado dos posibilidades para efectuar este tipo de obras de recarga, una a partir del arroyo de Morax y la otra a partir del arroyo de Uclías; la situación de estas alternativas se muestra en la Figura 23.

En la rambla de Valcabra se ha seleccionado una posibilidad para efectuar este tipo de obra de recarga, cuya situación se presenta en la Figura 24.

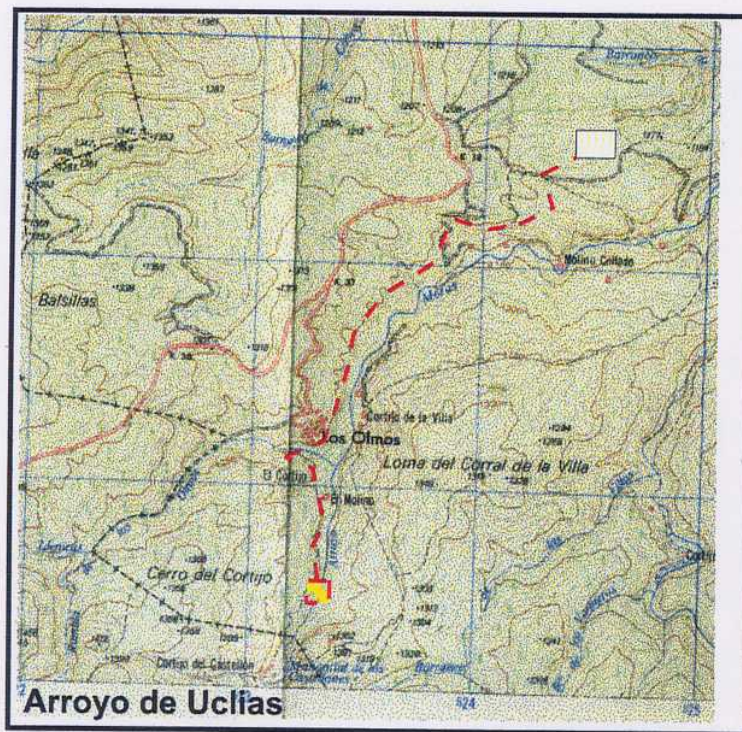
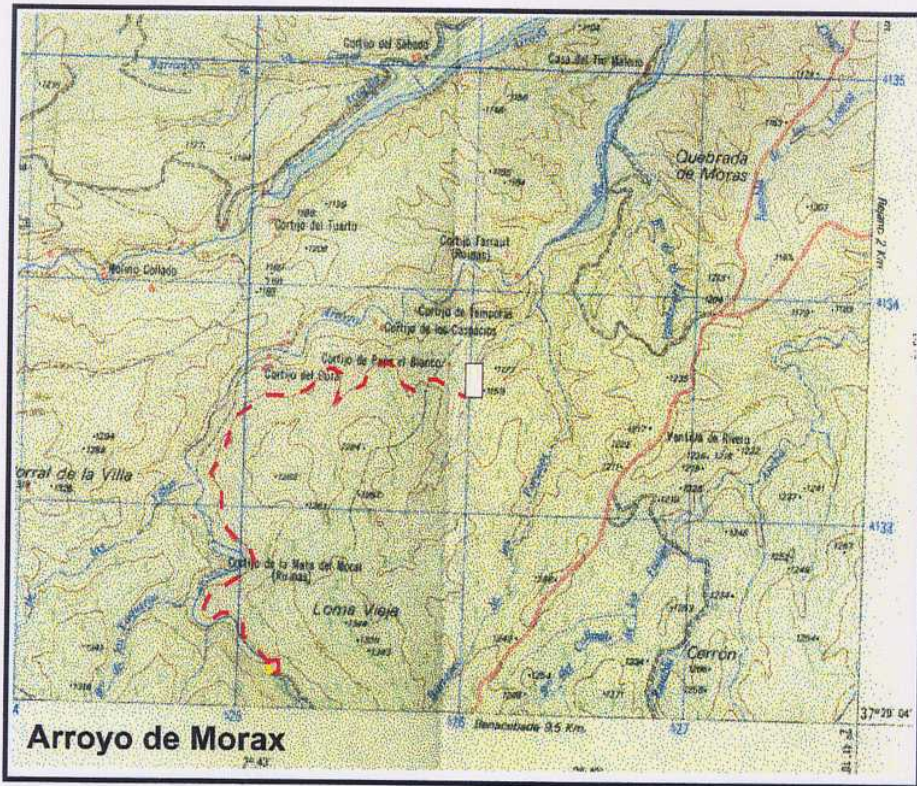


Figura 23.- Actuaciones de recarga seleccionadas en el río Galopón

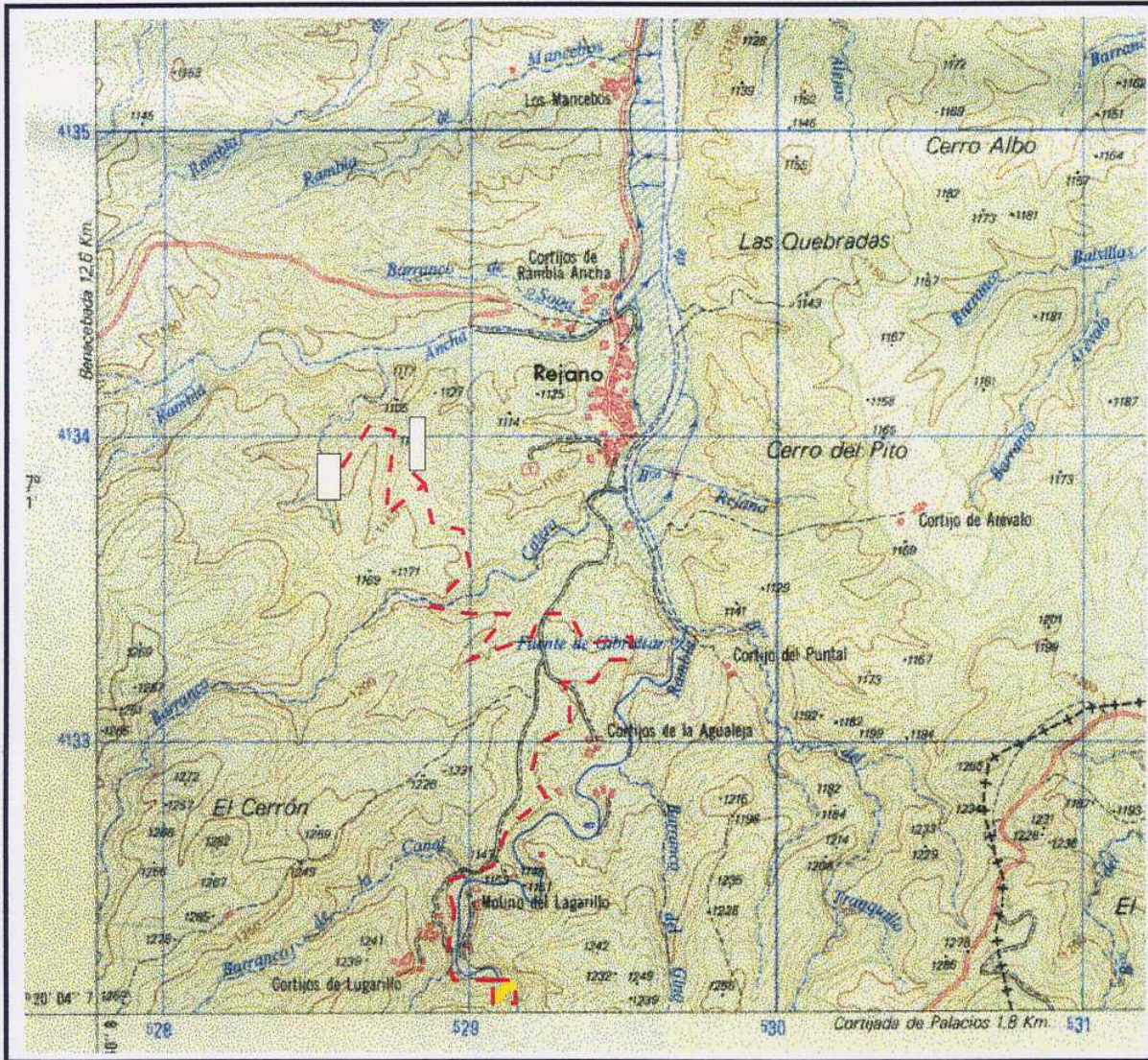


Figura 24.- Actuación de recarga seleccionada en la rambla de Valcabra

En todos los casos sería necesario la construcción de una pequeña represa y una longitud de acequia de 2 a 4 kilómetros. En la represa se desviaría el agua a partir de una cierta altura de lámina, asegurando que correspondiera a aguas no aprovechadas aguas abajo.

El dimensionamiento de las represas, acequias y balsas, requiere la realización de un control periódico de los caudales circulantes (preferiblemente mediante la instalación de limnigrafos o control de escalas por personal del lugar) y un estudio de las tasas de infiltración por longitud, para las secciones de acequia más habituales.

### **3.4.- U.H. GUADIX-MARQUESADO**

#### **3.4.1.- Encuadre hidrogeológico**

La Unidad Hidrogeológica de Guadix-Marquesado, se sitúa en la zona nororiental de la provincia de Granada, ocupando gran parte de la denominada Vega de Guadix y los Llanos del Marquesado.

A grosso modo, el acuífero está constituido por materiales permeables pliocuaternarios de la Formación Guadix, conglomerados y arenas fundamentalmente, cuyo espesor varía desde 80 metros en el área de Huéneja, hasta unos 300 metros en el entorno de Alcudia de Guadix, en su zona central. Localmente, aparecen intercalados niveles lutíticos arenosos de baja permeabilidad, sobre todo en la zona septentrional del acuífero.

La unidad limita al sur con los esquistos nevadofilábrides y localmente con algunos afloramientos nevado filábrides, de escasa extensión.

El límite oriental está constituido por los afloramientos alpujárrides de la Sierra de Baza, excepto en su zona meridional, donde el límite coincide con la divisoria hidrológica del río Nacimiento, hacia cuya cuenca tienen continuidad los depósitos pliocuaternarios. El contacto con los materiales calcáreos de la U.H. Sierra de Baza, corresponde a un límite abierto que permite el aporte subterráneo desde dicha unidad.

El límite occidental corresponde a materiales margosos miocenos y materiales calcáreos de la U.H. Padul-La Peza, el contacto con estos últimos materiales permeables, permite el aporte subterráneo desde la mencionada unidad.

El límite septentrional corresponde a un cambio lateral de facies hacia limos arenosos y margas de carácter impermeable.

Si se incluye dentro del límite noroccidental del acuífero, la cuenca del Arroyo Anchurón, afluente del río Fardes y se cierra el límite septentrional por el paralelo de Hernán Valle, la extensión del acuífero se cifra en 478 km<sup>2</sup>.

En la Unidad se pueden distinguir dos sectores un sector occidental correspondiente a la cuenca del río Alhama y el sector oriental correspondiente a la cuenca del río Verde, separados por una divisoria hidrogeológica, de dirección N-S y aproximadamente coincidente con los límites hidrológicos entre ambas cuencas.

Hay que tener en cuenta que existe una gran cuenca impermeable (ladera norte de Sierra Nevada) vertiente hacia el acuífero, que tiene una extensión de 350 km<sup>2</sup>; existe además un pequeño sector impermeable de la Sierra de Baza, con una extensión de 25 km<sup>2</sup>, que vierte sobre este acuífero pliocuaternario.

El substrato del acuífero presenta también gran variabilidad; en los Llanos del Marquesado es de naturaleza esquistosa, aunque localmente existen niveles carbonatados como en el entorno de Alquife, la estación de La Calahorra, Charches; La Peza, etc. Al noroeste y oeste de Guadix, el substrato tiene carácter margoso.

Recientemente, en 1997, el ITGE ha elaborado el Modelo matemático de flujo de esta unidad, obteniendo unos resultados globales muy aceptables.

### **3.4.2.- Relaciones entre formaciones pliocuaternarias del sector septentrional de la U.H. de Guadix-Marquesado**

Para analizar las relaciones entre las distintas formaciones pliocuaternarias del sector septentrional de la unidad, se ha realizado una cartografía geológica detallada, a escala 1:25.000, y una descripción litológica de sus formaciones integrantes.

Se ha cartografiado el sector septentrional del acuífero con el fin de identificar la posición de las diferentes litologías aflorantes en el área y el límite de los materiales acuíferos en esta zona.

La mencionada cartografía se ha realizado sobre fotografía aérea a escala 1:20.000 y como base documental se han utilizado, las tesis doctorales de D. J.A. Peña (resumen) y de D. Cesar Viseras. La segunda de ellas, más reciente, aporta un análisis sedimentológico de la cuenca y solo se ha tomado de ella la idea general en cuanto a la disposición de los materiales, enfocándose la cartografía desde un punto de vista hidrogeológico.

Se han distinguido, de más antiguo a más moderno, los siguientes términos cartográficos:

Calizas alpujárrides: Estos materiales aparecen en los bordes occidental y oriental de la unidad, correspondiendo a materiales de la U.H. de Padul-La Peza y Sierra de Baza, respectivamente. Se trata de calizas, dolomías y mármoles de elevada permeabilidad.

Calcarenitas tortonienses: Se trata de una secuencia de conglomerados de cemento calizo, areniscas calcáreas bioclásticas y limos con abundantes restos orgánicos en dos paquetes de características similares y que alcanzan, según bibliografía, un espesor en torno a 350 metros. Todo el conjunto mioceno se dispone discordante sobre el sustrato alpujárride. Su permeabilidad se considera alta.

Limos y arenas tortonienses: Situado sobre el anterior, está compuesto por un conjunto de margas blancas con intercalaciones de areniscas y una potente sucesión de margas y limos amarillos. La potencia total es de varios centenares de metros. Este término presenta un carácter impermeable.

Conglomerados pliocuaternarios: Se trata de conglomerados con matriz arenosa e intercalaciones de arcilla que, en el caso del sector oeste son heterométricos y con los cantos de composición mayoritariamente alpujárride y, en el sector sur y este, algo más homométricos y con cantos de origen nevado-filábride. Su permeabilidad se considera Media-Alta

Pertencen a la Formación Guadix que se dispone discordante sobre el sustrato de la cuenca, corresponden a abanicos aluviales que, en los sectores este y oeste, progradan hacia el centro de la cuenca y en el sector sur el cambio es gradual hacia facies más finas.

Estos conglomerados cambian de facies con las arcillas areno-limosas que se describen a continuación.

Arcillas areno-limosas: Se trata de arcillas con limos y arenas que al igual que en el caso anterior, pertenecen a la Formación Guadix. Su permeabilidad es baja.

Limos y arcillas: Se trata de limos y arcillas con cantos carbonatados que se superponen a los conglomerados en algunas áreas de la cuenca representando los episodios finales de relleno. Se pueden considerar impermeables a efectos prácticos.

Glacis: Conforman el techo de la Formación Guadix y esta compuesto por capas de gravas y lutitas rojas con costras calizas. Su permeabilidad se considera media.

Depósitos aluviales: Se engloban aquí los depósitos correspondientes a la red fluvial actual, presentan una gran variedad de litologías, desde conglomerados y gravas hasta arcillas. Su permeabilidad en general se considera alta.

### **3.4.3.- Cartografía hidrogeológica**

En base a cartografías previas y a la realizada en el presente proyecto se ha elaborado la cartografía hidrogeológica a escala 1:50.000 de la Unidad Hidrogeológica Guadix-Marquesado.

En ella, dentro de los materiales pliocuaternarios, se han distinguido los siguientes términos:

- Cuaternario aluvial y coluviales de entidad, considerados de permeabilidad alta.
- Conglomerados de la formación Guadix, considerados de permeabilidad media-alta.
- Limos, arenas y arcillas, consideradas impermeables a efectos prácticos.

Se han considerado como un término independiente los materiales margosos miocenos, de carácter impermeable.

Entre los materiales alpujárrides se han distinguido los términos calcáreos de elevada permeabilidad y los términos esquistosos impermeables.

En dicho mapa se han incluido los puntos de agua pertenecientes a la red de control del ITGE y las isopiezas confeccionadas en Mayo de 1995.



#### **3.4.4.- Puntos de agua**

En las cartografías hidrogeológicas realizadas se han representado los puntos pertenecientes a las redes de control hidrométrico y piezométrico del ITGE (Cuadro 22).

#### **3.4.5.- Piezometría**

La piezometría del acuífero, muestra la existencia de dos divisorias hidrogeológicas dentro de la unidad, que coinciden aproximadamente con las divisorias hidrológicas entre las cuencas del río Verde y del río Alhama, y entre esta última cuenca y la del río Fardes.

La piezometría del sector oriental (cuenca del río Verde) muestra un eje principal de drenaje de dirección N-S, aproximadamente coincidente con el cauce del río Verde, definido entre las isopiezas 1075 y 875 m s.n.m.

En el área de la mina de Alquífe se observa un cono de bombeo de unos 50 m de depresión provocado por los bombeos de drenaje de la mina.

Existe un eje de drenaje secundario de dirección E-O en la zona central de los Llanos del Marquesado, que empalma con el del río Verde a la altura de Alcudia de Guadix. Este eje viene definido entre las isopiezas de 1125 y 1025 m s.n.m.

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

**CUADRO 22.- Puntos de agua de las redes de control hidrométrico y  
piezométrico**

Nº Orden	Nº Inventario	Coor X (UTM)	Coor Y (UTM)	Cota (m s.n.m.)	Nat	Nombre
194	214110009	490103	4125228	952	GA	Fuente de la Ciudad
195	214110033	486467	4130379		S	Pozo Cjo. Del Cura
196	214110035	484771	4131368		S	Pozo Cjo. S. Pedro
197	214110036	489466	4126800	926	GA	Peñuelas
198	214110039	487549	4129514	890	GA	
199	214110051	487968	4130315		S	Pozo Cjo. Del Mesón
200	214110054	487872	4131455		S	Pozo Cjo. Del Peñón
201	214110059	489445	4130067		S	Pozo Rambla de Baza
202	214110083	490717	4123440	976,68	GA	Matara
203	214110084	490471	4124179	963	GA	
204	214110085	490349	4124734	960,19	GA	Balzón de Vilches
205	214110086	490372	4123655	979	GA	Mondragón
206	214110087	489637	4126183	941,23		La Reja
207	214110088	489638	4126831	935	GA	
208	214110120	487813	4129347	890	GA	Acequia Sobrina
209	214110121	486517	4131458	862	GA	Acequia Benalúa
210	214110122	487967	4129298	908	GA	Acequia La Torre
211	214110124	487133	4131056	872	M	Acequia Talabarte
212	214110125	487549	4122915	888	M	Acequia Jurel
213	214110211	486109	4128710	930	GA	
214	214120033	493266	4124686	1039,77	S	Piezómetro Alcudia I
215	214150018	490642	4122576	990	GA	Chiriville
216	214150019	489382	4119497		S	Sondeo FAO
217	214150020	486918	4119994		S	Piezómetro Albuñán I
218	214150026	489848	4119584		S	Piezómetro I (Recarga Guadix)
219	214150027	489940	4119784		S	Piezómetro II (Recarga Guadix)
220	214150028	489970	4119833		S	Piezómetro III (Recarga Guadix)
221	214150029	489690	4119786		S	Piezómetro IV (Recarga Guadix)
222	214150030	489889	4119684		S	Piezómetro V (Recarga Guadix)
223	214150032	490497	4120839		S	Sondeo ITGE II
224	214150035	489773	4121504		S	Piezómetro VI (Recarga Guadix)
225	214150036	489485	4119137		S	Piezómetro VII (Recarga Guadix)
226	214150037	489974	4120343		S	Piezómetro VIII (Recarga Guadix)
227	214150038	490203	4120291	1039,99	S	Piezómetro IX (Recarga Guadix)
228	214160003	498154	4121247		S	Sondeo Calahorra I
229	214160005	491677	4122237		S	Sondeo IRYDA (Alcudia)
230	214160029	491512	4122771	1000	GA	
231	214160031	491541	4120051		S	Piezómetro Alquife I
232	214170017	502629	4119016	1107,46	S	Sondeo El Fondón
233	214180017	505871	4118062	1117,82	S	Sondeo La Acequia

### **3.4.6.- Apoyo a la evaluación de descargas en el sector occidental de la U.H. de Guadix-Marquesado**

Como apoyo para evaluar las descargas de la U.H. de Padul-La Peza, en el sector occidental de la U.H. de Guadix-Baza, se han realizado 5 campañas mensuales de control hidrométrico y piezométrico, en el período comprendido entre Noviembre de 1998 y Marzo de 1999.

Los aforos se han realizado en 3 secciones, mediante las cuales se controlan los manantiales 184 "204140009, Fte. Alameda" y 185 "214140010 Nacimiento"; así como el conjunto de manantiales del entorno de Fuente Potrera 235 "21414-0022 al 21414-0029", que descargan a la acequia Umbría.

Los resultados son los siguientes:

Surgencia	10/98	12/98	01/99	02/99	03/99
Fte.Alameda	13,72	19,62	16,09	13,41	14,05
El Nacimiento y Peñas Prietas	3,47	2,95	3,11	2,99	3,69
Acequia Umbría	2,17	1,68	1,54	1,19	1,18

Las fichas de aforo se adjuntan en el Anexo A5.

Las medidas piezométricas se han realizado en los sondeos 186 "204140021", 187 "204140054", 188 "204140071", 189 "204140082", 190 "204140088", 191 "204140091", 192 "204140093", 193 "204140096" y en el pozo 234 "204140095".

Los resultados piezométricos se adjuntan en el Anexo A5.

### **3.4.7.- Parámetros hidráulicos**

La transmisividad, en la mayor parte del acuífero, está comprendida entre  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s, excepto en el entorno de Guadix y extremo suroccidental de la unidad,

donde los valores son significativamente menores (inferiores a  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s); y en la zona central del Llano del Marquesado donde la transmisividad alcanza valores entre  $10^{-1}$  y  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s.

En los materiales aluviales del río Verde la transmisividad alcanza valores superiores a  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s.

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.

#### **3.4.8.- Funcionamiento hidráulico. Balance**

La alimentación de la unidad se produce por la infiltración de la escorrentía procedente de la vertiente meridional de Sierra Nevada, por la infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos permeables, por los retornos de riego y por aportaciones subterráneas procedentes principalmente del sector occidental de la U.H. Sierra de Baza, y en menor medida de la U.H. Padul-La Peza.

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. Las extracciones por bombeo son también muy significativas.

##### **3.4.8.1.- Evaluación de aportaciones superficiales al acuífero de Guadix**

En el presente proyecto, se ha estimado únicamente la escorrentía que llega a la unidad procedente de la vertiente norte de Sierra Nevada; el cálculo se ha realizado en base a la planimetría de la superficie de la cuenca impermeable perteneciente a cada uno de los polígonos de Thiesen definidos, aplicando los valores de Lluvia Útil considerados en el apartado 3.6.

En el cuadro 23 se muestran los resultados obtenidos.

La escorrentía, tal y como puede comprobarse en la tabla mencionada, presenta un valor aproximado de 44 hm<sup>3</sup>/año para el año medio y de 16 (36 %) y 82 (186 %) hm<sup>3</sup>/año para los años-tipo seco y húmedo, respectivamente.

Estos valores son sensiblemente inferiores a los recogidos en el informe de la F.A.O., pero es necesario tener en cuenta que en aquel proyecto se consideró toda la superficie vertiente al acuífero, incluyendo sectores más occidentales.

También son sensiblemente inferiores a los considerados en el Modelo matemático de flujo de la Unidad hidrogeológica 05.12 "Guadix-Marquesado" (67,5 hm<sup>3</sup>/año), pero es necesario tener en cuenta que en él, se han considerado las superficies vertientes a la zona modelizada, superiores a las vertientes a la unidad.

En el presente proyecto se delimitó la cuenca en el límite oriental de la U.H. Padul-La Peza, utilizándose para el cálculo de escorrentía los datos climáticos más novedosos de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

Es necesario resaltar además la gran variación interanual de la precipitación y la incertidumbre que conlleva, la adopción de unas cifras fijas para la estimación de las aportaciones superficiales.

#### **3.4.8.2.- Recarga**

En el proyecto F.A.O. (1972) los recursos de la unidad se estimaron en 50,3 hm<sup>3</sup>/año, correspondiendo: 13,2 hm<sup>3</sup>/año, a infiltración de la precipitación; 25,5 hm<sup>3</sup>/año, a infiltración en cauces y 11,6 hm<sup>3</sup>, a retornos de riego. No se cuantificaron las entradas subterráneas procedentes de la U.H. Sierra de Baza.

**CUADRO 23.- Escorrentía en la cuencas de Sierra Nevada vertientes a la U. H. Guadix-Marquesado**

Litología	Poligono	Superficie (km <sup>2</sup> )	Lluvia Útil (mm)			Escorrentía (hm <sup>3</sup> /año)		
			Año Medio	Año-tipo seco	Año-tipo húmedo	Año Medio	Año-tipo seco	Año-tipo húmedo
Esquistos vertientes	5101	49,5	182,1	90	308	9,01	4,45	15,24
Esquistos vertientes	5109	158,5	129,2	44,9	236,7	20,48	7,12	37,52
Esquistos vertientes	5108	142,1	106	32,8	203,1	15,06	4,66	28,85
		350,0				44,5	16,2	81,6

En el informe sobre modelización matemática del acuífero de Guadix se consideraron, para el período 1984-1994, las siguientes entradas a la unidad:

Infiltración de lluvia	16,02 hm <sup>3</sup> /año.
Transferencia subterránea de la U.H. Sierra de Baza	2,00 hm <sup>3</sup> /año.
Transferencia subterránea desde la U.H. Padul-La Peza	0,10 hm <sup>3</sup> /año.
Infiltración directa en cauces	12,85 hm <sup>3</sup> /año.
Pérdidas en acequias	4,59 hm <sup>3</sup> /año.
Retornos de regadíos con aguas superficiales	8,12 hm <sup>3</sup> /año.
Retornos de regadíos con aguas subterráneas	4,61 hm <sup>3</sup> /año.
Infiltración en cauces por bombeos en la mina del Marquesado	2,04 hm <sup>3</sup> /año.
Recarga artificial	0,15 hm <sup>3</sup> /año.
<b>Total</b>	<b>50,48 hm<sup>3</sup>/año.</b>

La recarga por infiltración de las aguas de escorrentía que llegan a la unidad, considerando como tales la infiltración en cauces, las pérdidas en acequias y los retornos de regadíos a partir de aguas superficiales, es de 25,56 hm<sup>3</sup>/año que supone aproximadamente un 57 % de la escorrentía que accede a la unidad (44,5 hm<sup>3</sup>/año).

Los resultados del balance hídrico efectuados en el sector occidental de la U.H. Sierra de Baza, ponen de manifiesto que los aportes subterráneos de esta unidad hacia el acuífero de Guadix, podrían ser ligeramente superiores (2,3 hm<sup>3</sup>/año) a los contemplados en el modelo matemático realizado en la U.H. de Guadix-Marquesado (2 hm<sup>3</sup>/año).

#### **3.4.8.3.- Descarga**

En el proyecto FAO, se cuantificaron unas descargas de 48,7 hm<sup>3</sup>/año, considerando el drenaje a través de manantiales (36,5 hm<sup>3</sup>/año), bombeos (6,9 hm<sup>3</sup>/año), salidas subterráneas "underflow" del río Verde (4,8 hm<sup>3</sup>/año) y consumo por freatofitas (0,5 hm<sup>3</sup>/año).

En el informe sobre modelización matemática del acuífero de Guadix se consideraron, para el período 1984-1994, las siguientes salidas de la unidad:

Bombeos . . . . .	26,47 hm <sup>3</sup> /año.
Manantiales y drenaje hacia los ríos Verde, Alhama y Fardes	23,64 hm <sup>3</sup> /año.
Consumo de freatofitas . . . . .	0,37 hm <sup>3</sup> /año.
<b>Total . . . . .</b>	<b>50,48 hm<sup>3</sup>/año.</b>

#### **3.4.9.- Calidad de las aguas**

Las aguas subterráneas del sector meridional de la U.H. Guadix-Marquesado suelen ser de facies bicarbonatada cálcica y mineralización media, con contenidos salinos inferiores a 350 mg/l.

En el sector central las aguas presentan facies bicarbonatada clorurada cálcica y contenidos salinos algo más elevados, que superan en general los 350 mg/l.

En el sector nororiental, las aguas presentan facies bicarbonatada cálcico-magnésica, con contenidos salinos medios, entre 250 y 400 mg/l; esta facies parece indicar una gran influencia de la alimentación subterránea procedente de la U.H. de Sierra de Baza.

En el sector noroccidental, las aguas presentan una gran variabilidad de facies, predominando las facies mixtas bicarbonatadas cloruradas cálcicas.

#### **3.5.- CUATERNARIO INDIFERENCIADO**

Con este calificativo se hace mención a los materiales pliocuaternarios situados al norte de la unidad hidrogeológica de Sierra de Baza, noreste de la U.H. Guadix- Marquesado y noroeste de la U.H. Baza-Caniles, que se extienden hacia el norte hasta el embalse del Negratín.



Se trata de una zona hidrogeológicamente no definida y de la que existe muy poca información. En ella hay diversos sondeos productivos, gran parte de los cuales presentan carácter surgente, lo que parece indicar que existen, al menos localmente, materiales de elevada permeabilidad que probablemente correspondan a gravas y arenas de la Formación Guadix.

La existencia de numerosos sondeos surgentes, parece indicar la presencia de unos niveles plicuatenarios superficiales de muy baja permeabilidad.

La zona mejor conocida corresponde a la situada al noroeste de la U.H. Sierra de Baza, adosada a la vertiente occidental del Jabalcón. En esta zona podría existir un flujo hídrico significativo de dirección norte, que canalizaría de forma subterránea, flujos hídricos procedentes de las unidades hidrogeológicas Sierra de Baza y Baza-Caniles, hacia el Embalse del Negratín.

En la zona situada al norte del sector occidental de la U.H. Sierra de Baza, podría ocurrir algo similar, puesto que parte de las descargas subterráneas de Sierra de Baza, deben dirigirse a esta zona.

**4.- RELACIONES ENTRE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS Y ACUÍFEROS  
DE LA COMARCA BAZA-GUADIX**

#### **4.- RELACIONES ENTRE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS Y ACUÍFEROS DE LA COMARCA BAZA-GUADIX**

##### **4.1.- INTRODUCCIÓN**

En la comarca Baza-Guadix se localizan las siguientes unidades hidrogeológicas:

- U.H. Padul-La Peza
- U.H. Guadix-Marquesado
- U.H. Sierra de Baza
- U.H. Baza-Caniles
- U.H. de Jabalcón

Además, es necesario considerar que, los materiales pliocuaternarios situados entre el río Guadiana Menor, en el que se sitúa el embalse del Negratín, y las unidades hidrogeológicas de Guadix-Marquesado, Sierra de Baza y el extremo nororiental de la U.H. Baza-Caniles, presentan una permeabilidad media, localmente

media-alta, que permite la existencia de captaciones con elevados rendimientos. Existen también sondeos surgentes, sobre todo en la zona oriental.

Todo ello obliga a considerar a estos materiales como un acuífero, al que en el presente proyecto se ha denominado "Pliocuaternario Indiferenciado".

#### **4.2.- FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO**

El funcionamiento hidráulico de las unidades hidrogeológicas y acuíferos existentes en la comarca Baza-Guadix, se esquematiza en la figura 25. En ella, se puede observar como, en la zona central de la comarca, existe una clara divisoria hidrogeológica que separa dos sectores claramente diferenciados:

El sector occidental, constituido por la U.H. Guadix-Marquesado y el sector occidental de la U.H. Sierra de Baza, al que habría que añadir los materiales pliocuaternarios indiferenciados situados entre estos acuíferos y el río Guadiana Menor.

En este sector, la U.H. Guadix-Marquesado es receptora de flujos subterráneos procedentes de la U.H. Padul-La Peza y del sector occidental de la U.H. Sierra de Baza. Existen además flujos subterráneos de esos acuíferos y de la propia U.H. Guadix-Marquesado, hacia el denominado "Pliocuaternario Indiferenciado".

El sector oriental está constituido por la U.H. de Baza-Caniles, el sector oriental de la U.H. Sierra de Baza y la U.H. de Jabalcón. A estos acuíferos es necesario añadir los materiales pliocuaternarios permeables situados al oeste de Jabalcón y comprendidos entre el sector oriental de la U.H. Sierra de Baza y el embalse del Negratín.

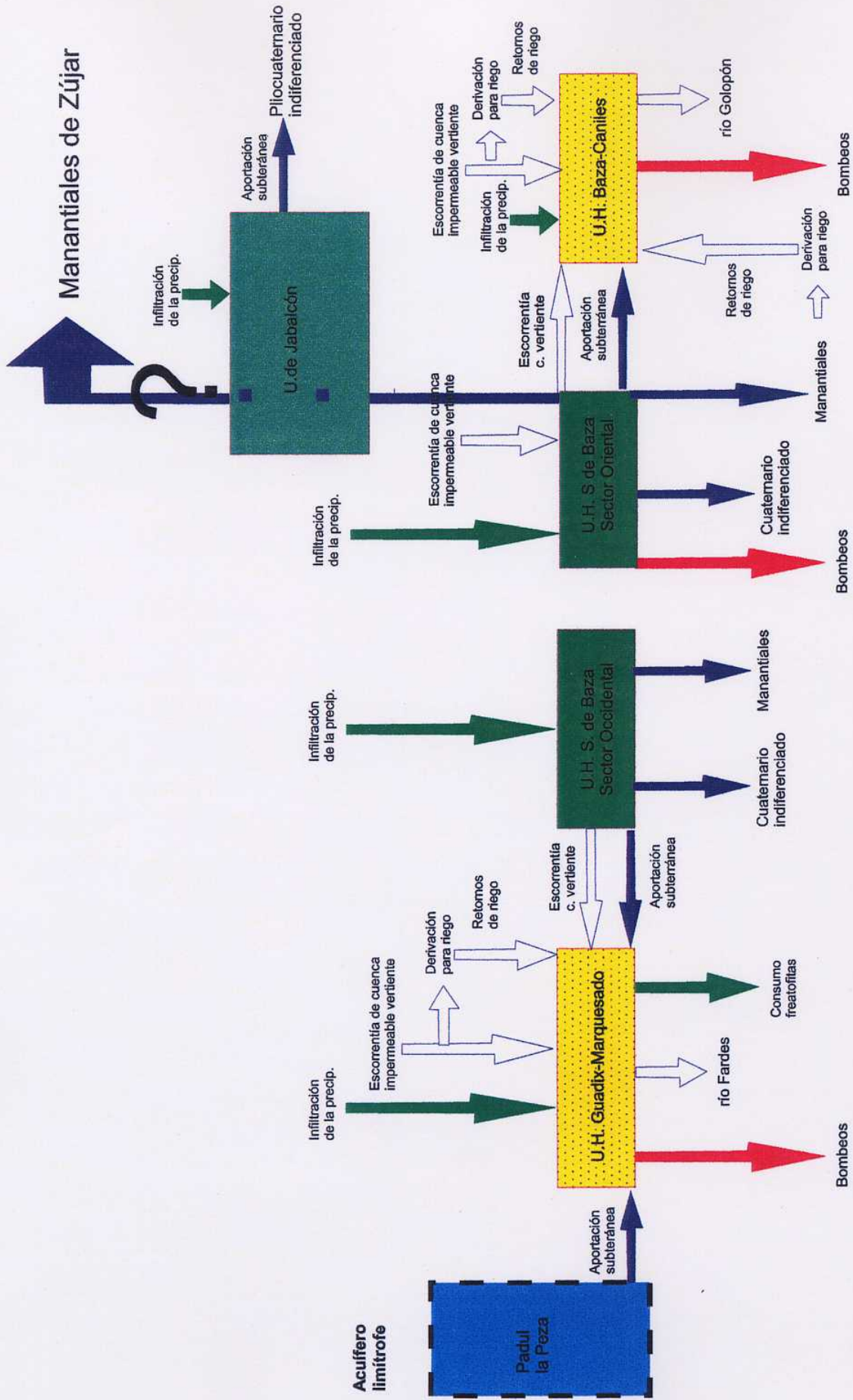


Figura 25.- Esquema de funcionamiento hidráulico de las U.H. de la Comarca Guadix-Baza

- Occidental: impermeable, constituido por el afloramiento de los materiales esquistosos triásicos.
- Meridional: impermeable, constituido por el afloramiento de los materiales esquistosos triásicos.
- Oriental: Divisoria hidrológica e hidrogeológica en la zona meridional e impermeable, constituido por margas y yesos en la zona septentrional.
- Septentrional: el contacto con los materiales pliocuaternarios indiferenciados septentrionales sería permeable, al igual que el contacto con los aluviales del acuífero cuaternario de la U.H. de Baza-Caniles.

El contacto con los materiales margosos pliocuaternarios evidentemente sería impermeable.

Se considera también la existencia de una cuenca impermeable vertiente, constituida por las cuencas de los ríos Gallego, Golopón y Valcabra.

#### **4.3.2.- Balance hídrico**

La alimentación se produce exclusivamente por infiltración de la precipitación sobre sus afloramientos y por infiltración de la escorrentía generada en la cuenca vertiente meridional y se estima en 61,4 hm<sup>3</sup>/año, englobando el total de la recarga del sector oriental de la U.H. Sierra de Baza (38,8 hm<sup>3</sup>/año), más la recarga por infiltración directa de la precipitación en el acuífero pliocuaternario de Baza-Caniles (7,5 hm<sup>3</sup>/año) y más la infiltración de la escorrentía de la cuencas impermeable vertiente (15,1 hm<sup>3</sup>/año).

Las salidas de la unidad corresponden a las descargas visibles a través de manantiales y extracciones por bombeo, los aportes subterráneos al acuífero

En este sector oriental, existe una relación unívoca de flujo entre el sector oriental de la U.H. Sierra de Baza y la U.H. Baza-Caniles, de tal forma que esta última es receptora de flujos subterráneos procedentes de Sierra de Baza.

Además, e igual que sucede en el sector occidental de la comarca, las unidades definidas y acuíferos aportan flujos subterráneos hacia el Pliocuaternario indiferenciado permeable, situado al norte.

#### **4.3.- CONSIDERACIONES Y BALANCE CONJUNTO DEL SECTOR ORIENTAL DE LA U.H. SIERRA DE BAZA Y ACUÍFERO PLIOCUATERNARIO DE BAZA-CANILES**

##### **4.3.1.- Consideraciones previas**

Los estudios hidrogeológicos realizados hasta la fecha en la comarca de Guadix-Baza, se han centrado en el estudio de unidades hidrogeológicas concretas, sin analizar en detalle las unidades del entorno. La realización de este proyecto ha permitido tener una visión mucho más general de la hidrogeología del área, que junto con los nuevos datos obtenidos ha permitido proponer en la zona oriental de la comarca un modelo de funcionamiento hidrogeológico mas coherente y lógico (ver mapa 2B.- Piezometría y direcciones de flujo actualmente en revisión y reinterpretación).

Puesto que los materiales calcáreos del sector oriental de la U.H. Sierra de Baza y los materiales detríticos del colindante acuífero pliocuaternario de la U.H. Baza-Caniles son muy permeables, es mas razonable tratarlos conjuntamente que por separado.

La unidad conjunta así considerada, tendría los siguientes límites:

cuaternario de la U.H. de Baza-Caniles, a través de los aluviales y los aportes subterráneos hacia el pliocuaternario indiferenciado septentrional.

Las descargas visibles se evalúan en 41,6 hm<sup>3</sup>/año, correspondiendo 17,3 hm<sup>3</sup>/año a la U.H. Sierra de Baza (descontados los 1,6 hm<sup>3</sup>/año que se infiltran posteriormente en el acuífero pliocuaternario) y 24,3 hm<sup>3</sup>/año al acuífero pliocuaternario de la U.H. de Baza-Caniles.

Las descargas al acuífero cuaternario de la U.H. de Baza-Caniles se han estimado en apartados anteriores en 8,7 hm<sup>3</sup>/año.

El resto de la alimentación, es decir, 11,1 hm<sup>3</sup>/año deben descargar fundamentalmente a través del contacto septentrional con el pliocuaternario indiferenciado, que tiene una longitud del orden de 13 km. Como valor medio se podría considerar una descarga unitaria del orden de 0,8 hm<sup>3</sup>/año por kilómetro de contacto, compatible con un gradiente del 2% y una transmisividad ligeramente superior a 100 m<sup>2</sup>/día.

De la longitud de este contacto, 12 km corresponden a materiales calcáreos y 1 km a materiales conglomeráticos, considerando una misma transmisividad para ellos, la descarga desde los materiales calcáreos sería de 10,2 hm<sup>3</sup>/año y de 0,9 hm<sup>3</sup>/año desde los conglomerados pliocuaternarios.

Considerando exclusivamente el sector oriental de la U.H. Sierra de Baza, los aportes de esta hacia el acuífero pliocuaternario de la U.H. de Baza-Caniles se pueden estimar en 9,7 hm<sup>3</sup>/año.

La alimentación del acuífero pliocuaternario de la U.H. de Baza-Caniles sería de 33,9 hm<sup>3</sup>/año que coinciden con la evaluación de sus descargas.

En la figura 26, se muestra un esquema de flujo en el sector oriental de la comarca Guadix-Baza.



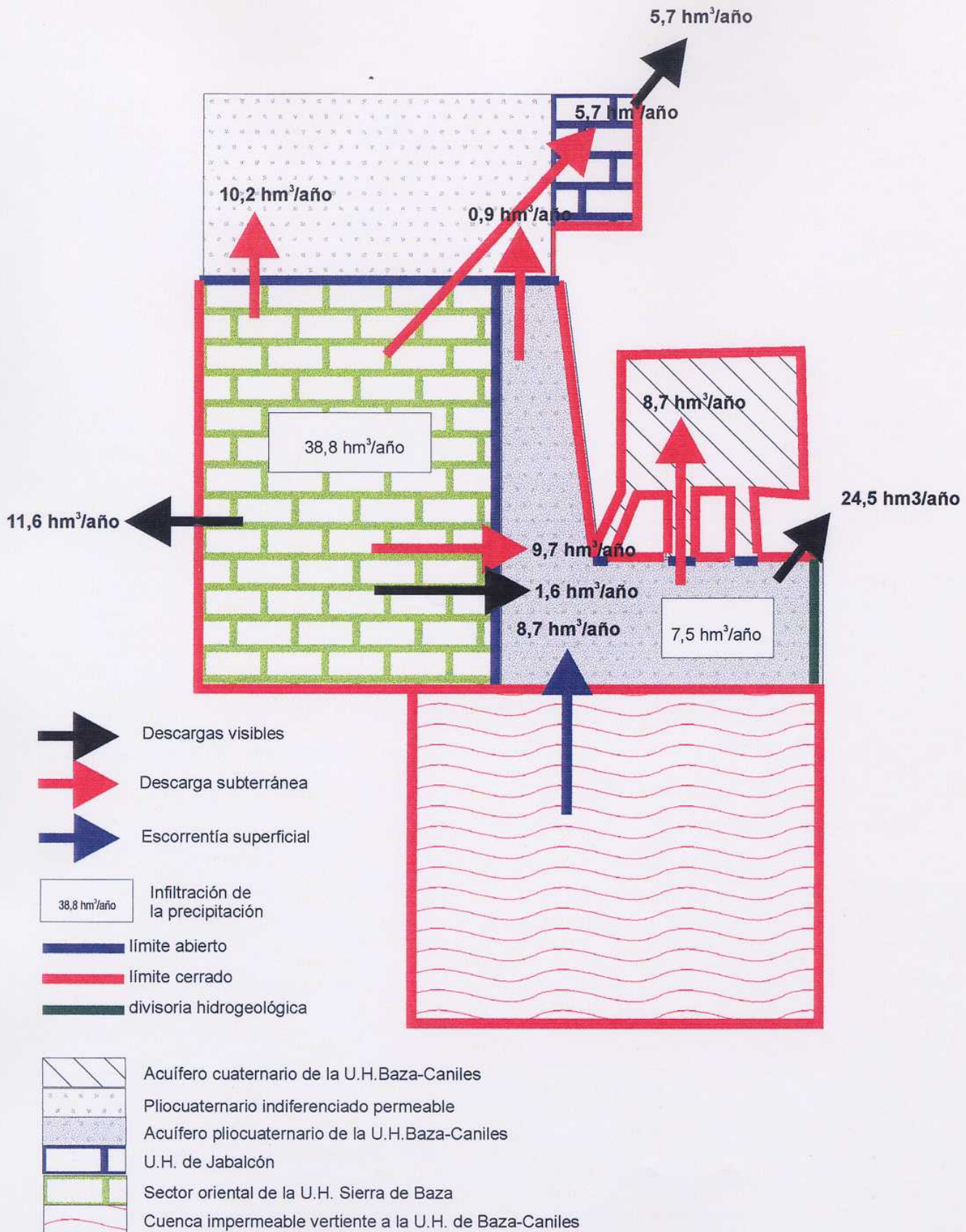


Figura 26.- Esquema de flujo en el sector oriental de la Comarca Guadix-Baza

#### **4.4.- RELACIONES HÍDRICAS**

Las relaciones hídricas entre los acuíferos y unidades hidrogeológicas de la Comarca Baza-Guadix, se presentan en la Figura 27. En ella se muestran y cuantifican los flujos hídricos resultantes de la relación entre unidades, así como todos los términos hidrogeológicos del balance hídrico: recarga por infiltración de la precipitación, de la escorrentía, descarga visible (surgencias y captaciones) y descargas subterráneas.

Es necesario destacar que el balance es muy difícil de precisar, debido a la difícil evaluación de las descargas subterráneas entre los acuíferos existentes y en menor medida a la inexistencia de datos objetivos sobre la escorrentía superficial media que circula a través del río de Baza.

Un caso especial corresponde a la relación existente en el manantial de Baños de Zújar, la U.H. de Jabalcón y de ambos con el sector oriental de la U.H. Sierra de Baza y con la U.H. Baza-Caniles, que se tratará de analizar en los siguientes subapartados.

##### **4.4.1.- Manantial de Baños de Zújar**

El manantial de Baños de Zújar se localiza en la ladera norte del Jabalcón, aunque desde la construcción del embalse del Negratín se encuentra bajo las aguas de dicho embalse.

Su localización está relacionada con la intersección del accidente de "Cádiz-Alicante", que con dirección N70E marcaría en esta zona el límite de los materiales béticos con los alpujárrides, y la falla de Tíscar, de dirección N70E (*Benavente y Sanz de Galdeano, 1985*).

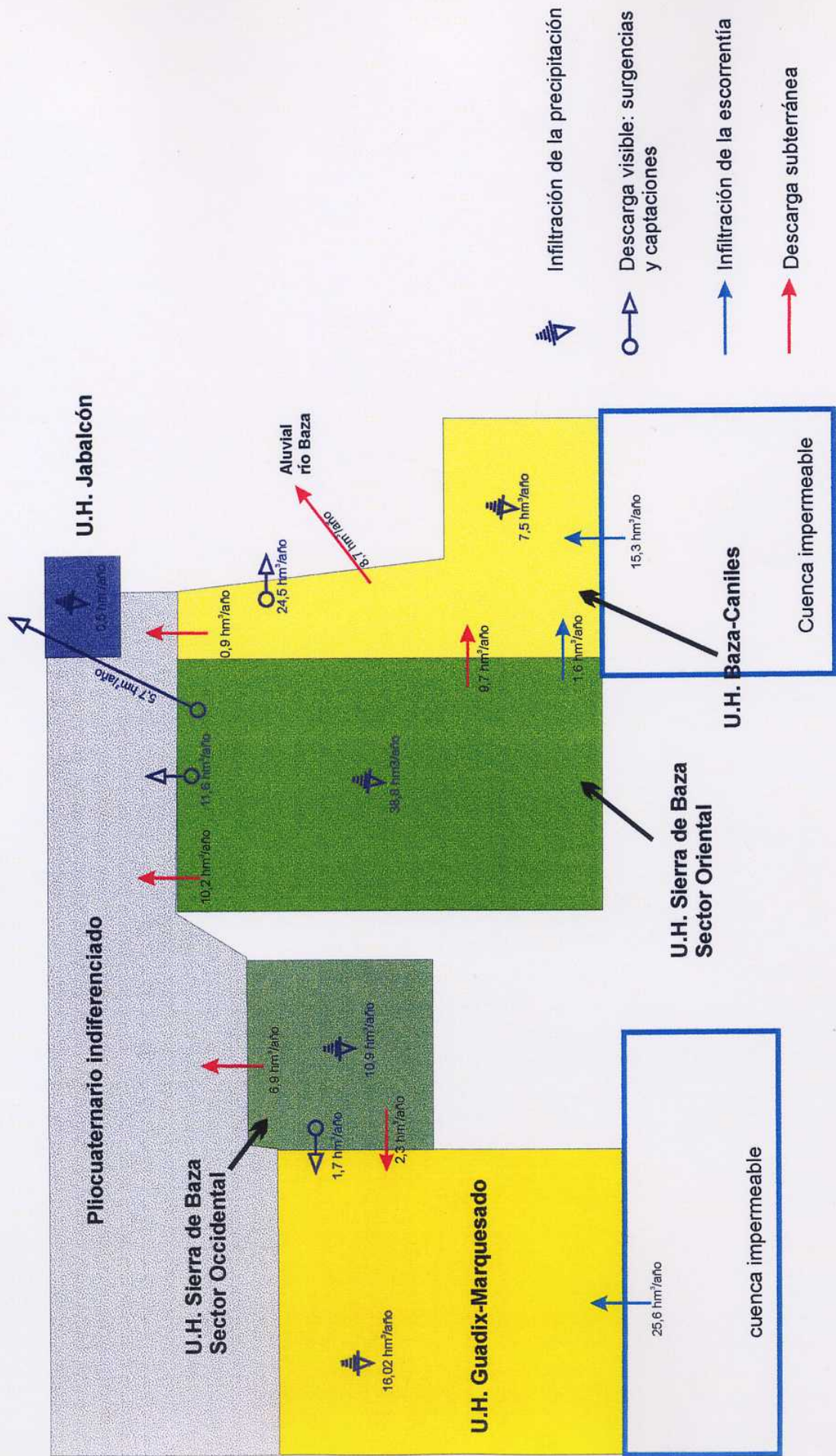


Figura 27.- Relación entre Unidades Hidrogeológicas

El manantial surge al pie de un afloramiento de calizas béticas del Jabalcón; desde la construcción del embalse del Negratín, se encuentra situado bajo las aguas del embalse.

Se trata de un manantial termal, cuyas aguas surgen a una temperatura de 38-40 °C, que indica la existencia de una circulación profunda. La temperatura de base del flujo sería de unos 80 °C, según Hidalgo Estevez (1993) deduce de estudios isotópicos realizados en aguas del sector. Valores parecidos obtuvo C.G.S. (1983) en una termometría gaseosa realizada en los Baños de Zújar (citado por Hidalgo Estevez, 1993).

Considerando la temperatura media ambiente de la región (11 °C), se deduce que el flujo ha alcanzado una profundidad máxima de unos 2.300 metros.

Sus aguas son muy mineralizadas, con un total de sólidos disueltos superior a 4 gr/l, lo que indicaría un alto tiempo de residencia o/y la relación con materiales de elevada solubilidad. Su facies química sulfatada-clorurada sódico-cálcica, parece indicar la relación de los flujos que los originan, con materiales salinos del Trías en facies germánica.

El caudal de las aguas de este manantial de unos 200 l/s, supone un volumen de recursos muy superior al del acuífero de Jabalcón. Además, el resto de las aguas subterráneas del acuífero son fisicoquímicamente muy diferentes, de mineralización media, facies bicarbonatada cálcica o cálcico-magnésica y ausencia de termalismo. Por todo ello, se infiere que el manantial de Baños de Zújar, apenas tiene relación con el acuífero de Jabalcón, y que su posición al pie de este acuífero obedece a cuestiones puramente estructurales.

#### **4.4.2.- Origen de las aguas del manantial de Baños de Zújar**

Partiendo de que los recursos que supone el caudal de este manantial, no se justifican con los del acuífero del Jabalcón, los orígenes de estos flujos por

proximidad, deben corresponder a la U.H. Sierra de Baza o/y a la U.H. Baza-Caniles, aunque puede aducirse a flujos lejanos circulantes en fracturas de gran entidad.

A partir de datos isotópicos ( $^{18}\text{O}$  y D), Hidalgo Estevez (1993) deduce, en su tesis doctoral, que el área de recarga de estas aguas se sitúa a una altitud de 1.700 metros y que corresponde al sector oriental de la U.H. Sierra de Baza.

Algunos autores consideran que parte de los flujos que dan lugar al manantial de los Baños de Zújar, deben proceder de acuíferos detríticos (*Cruz S.Julián et al., 1990*).

Hidalgo (op c.t.), basándose en datos isotópicos y conductividad de las aguas de la Hoya de Baza, deduce que las aguas del manantial de Baños de Zújar han intervenido de forma importante en procesos de disolución, y que probablemente estén en relación con materiales evaporíticos del Keuper, lo que además, justificaría la facies química de sus aguas.

El flujo hídrico desde la Sierra de Baza hasta el manantial de Baños de Zújar debe realizarse a través de fracturas de entidad, aunque no puede descartarse, dada la disposición de los mantos alpujárrides, que la circulación hídrica se realice a través de alguno de los niveles calcáreos de los mantos inferiores, no obstante la emergencia del flujo parece estar en relación con el accidente tectónico "Cádiz-Alicante", en el que se encuentran alineados otros manantiales termales significativos "Baños de Alicún", Baños de Alhama de Murcia, entre otros.

#### **4.5.- CONSIDERACIONES SOBRE LAS POSIBILIDADES DE EXPLOTACIÓN DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS**

En el sector occidental de la Comarca de Baza-Guadix, hay abundante información respecto a la U.H. de Guadix-Marquesado, de la que existe un reciente modelo matemático del acuífero, que puede ser utilizado para el estudio de la posible regulación de esta unidad.

El sector occidental de la U.H. Sierra de Baza, se encuentra apenas sin explotación, el único sondeo significativo es el que sirve de abastecimiento a Hernán Valle. Se desconoce la disposición de los mantos inferiores al de Hernán Valle y su continuidad bajo los materiales pliocuaternarios de la depresión de Guadix. Esta información sería de vital importancia para conocer las posibilidades de regulación del sector occidental de la Sierra de Baza. En principio, dada su escasa explotación y la aparente disposición, las posibilidades de explotación-regulación son aparentemente moderadas, si bien sería conveniente realizar una campaña de sondeos de investigación-preexplotación que pudieran ampliar el conocimiento hidrogeológico de este sector.

Se desconocen las posibilidades que ofrece el Pliocuaternario Indiferenciado situado al norte del sector occidental de la U.H. Sierra de Baza. La existencia de sondeos productivos indica que podría haber buenas posibilidades de explotación de este acuífero, pero será necesario realizar un estudio detallado que permita obtener información hidrogeológica del mismo.

En el sector oriental de la Comarca de Baza-Guadix, todo indica, que existen unas excelentes posibilidades de explotación-regulación del conjunto U.H. Baza-Caniles y sector oriental de la U.H. Sierra de Baza; por el contrario, las posibilidades que ofrece la U.H. de Jabalcón son muy escasas.

En el Pliocuaternario indiferenciado situado al norte de la U.H. Sierra de Baza y al oeste de la U.H. de Jabalcón, existen diversos manantiales y captaciones de aguas subterráneas con buenos rendimientos, que indican unas buenas posibilidades de extracción de aguas subterráneas en este acuífero, sobre todo en su zona oriental.

La disposición de materiales acuíferos de la U.H. Baza-Caniles y su íntima conexión hídrica con el sector oriental de la U.H. Sierra de Baza, parece ofrecer unas excelentes posibilidades de explotación-regulación de aguas subterráneas.

En la Figura 28, se muestra la disposición estructural del acuífero en un corte esquemático N-S, en el que se indica gráficamente de forma simplista el dispositivo de explotación-regulación que podría efectuarse.

En la Figura 29, se muestra el mismo dispositivo, en un corte esquemático de dirección E-O.

Podemos ver la similitud del sistema con la idealización de un embalse subterráneo, y las óptimas posibilidades de regulación que parece ofrecer.

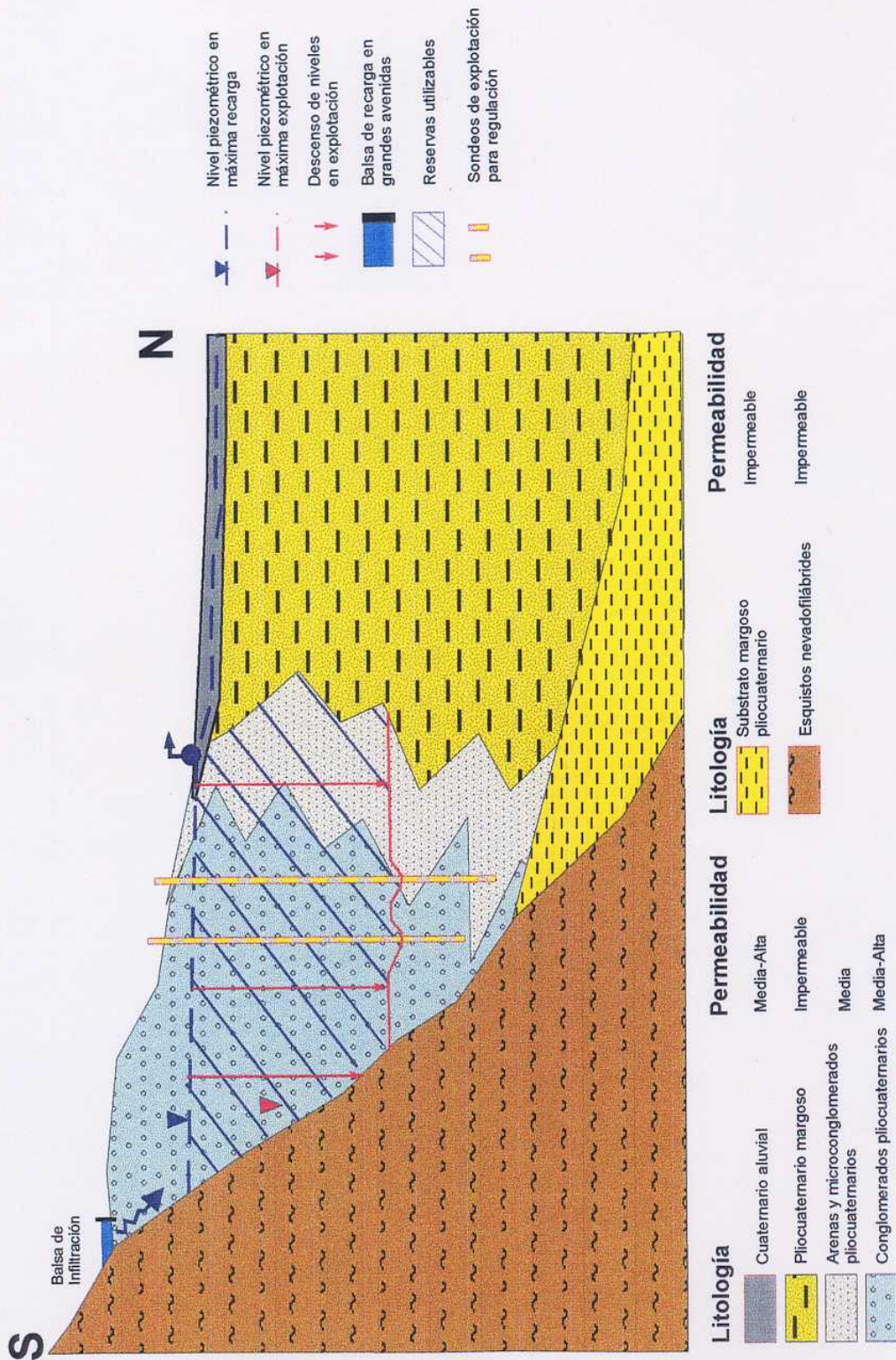


Figura 28.- Cortes hidrogeológicos esquemáticos de la U.H. Baza-Caniles



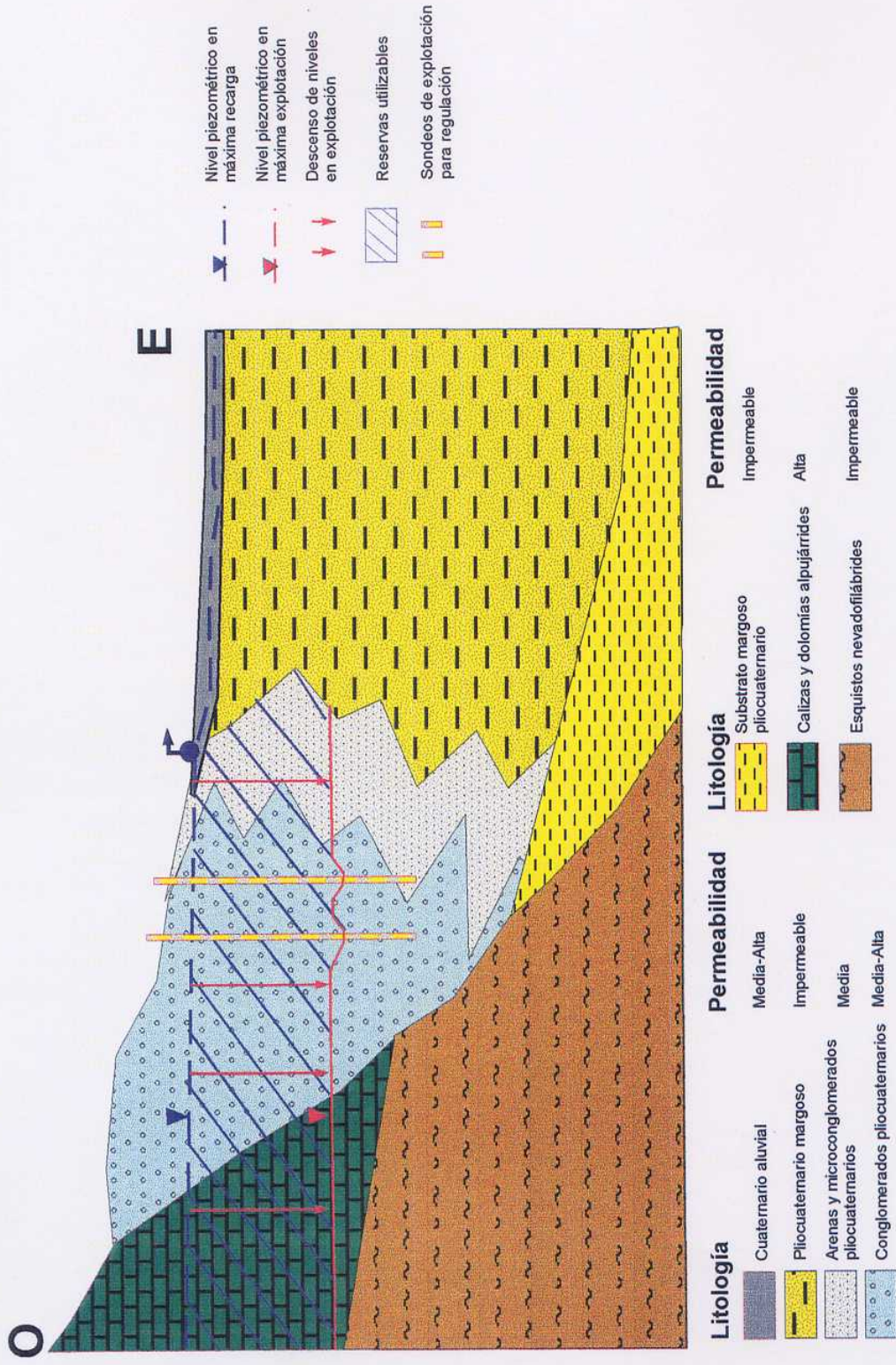


Figura 29.- Cortes hidrogeológicos esquemáticos de la U.H. Baza-Caniles

**5.- NIVELACIÓN DE PUNTOS DE AGUA**

## **5.- NIVELACIÓN DE PUNTOS DE AGUA**

### **5.1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

El Instituto Tecnológico Geominero, dentro del proyecto "Mejora del conocimiento hidrogeológico de los acuíferos de Almadén-Sistillo, Mancha Real-Pegalajar y Comarca de Baza-Guadix para la integración de sus recursos en los abastecimientos públicos. 1997-98-99" ha contemplado la obtención de una nivelación precisa de unos 90 puntos de agua (40 puntos en la U.H. Guadix-Marquesado, 30 puntos en la U.H. Baza-Caniles y 20 puntos en la U.H. Sierra de Baza).

Se acordó realizar una nivelación de precisión en cota, igual o menor a 3 cm, mediante la utilización de GPS, considerando como base de referencia el nivel medio del mar en Alicante (Cotas geopotenciales u ortométricas).

Se seleccionaron 102 puntos de agua del inventario existente, proporcionándose sus fichas de inventario. En el Cuadro 24, se recogen dichos puntos, junto con las incidencias ocurridas durante su nivelación.

**CUADRO 24.- Puntos a nivelar propuestos**

<b>NCAL</b>	<b>Nº Inventario</b>	<b>Hoja 50.000</b>	<b>T.M.</b>	<b>Observaciones</b>
2170	2240/2/0170	994	Caniles	Encontrado y calculado
2201	2240/2/0001	994	Caniles	Encontrado y calculado
2224	2240/2/0224	994	Baza	Encontrado y calculado
2238	2240/2/0038	994	Baza	Encontrado y calculado
2239	2240/2/0039	994	Caniles	Encontrado y calculado
2242	2240/2/0242	994	Caniles	Encontrado y calculado
2243	2240/2/0243	994	Caniles	Encontrado y calculado
2249	2240/2/0049	994	Caniles	Encontrado y calculado
2254	2240/2/0254	994	Caniles	Encontrado y calculado
2255	2240/2/0255	994	Caniles	Encontrado y calculado
2256	2240/2/0256	994	Caniles	Encontrado y calculado
2257	2240/2/0257	994	Caniles	Encontrado y calculado
2258	2240/2/0258	994	Caniles	Encontrado y calculado
2259	2240/2/0259	994	Caniles	Encontrado y calculado
2279	2240/2/0279	994	Caniles	Encontrado y calculado
2601	2240/6/0001	994	Caniles	Encontrado y calculado
2617	2240/6/0017	994	Caniles	Encontrado y calculado
2618	2240/6/0018	994	Caniles	Encontrado y calculado
2620	2240/6/0020	994	Caniles	Visitado. No localizado
2625	2240/6/0025	994	Caniles	Encontrado y calculado
2626	2240/6/0026	994	Caniles	Encontrado y calculado
2627	2240/6/0027	994	Caniles	Encontrado y calculado
2709	2240/7/0009	994	Caniles	Encontrado y calculado
2731	2240/7/0031	994	Caniles	Encontrado y calculado
2732	2240/7/0032	994	Caniles	Encontrado y calculado
2734	2240/7/0034	994	Caniles	Encontrado y calculado
2737	2240/7/0037	994	Caniles	Encontrado y calculado
3085	2141/1/0185	1011	Guadix	Encontrado y calculado
3125	2141/1/0025	1011		Visitado. No localizado
3126	2141/1/0126	1011		Imposible observación GPS
3132	2141/1/0232	1011	Guadix	Encontrado y calculado
3140	2141/1/0140	1011	Guadix	Encontrado y calculado
3145	2141/1/0145	1011		Visitado. No localizado
3146	2141/1/0146	1011	Guadix	Encontrado y calculado
3151	2141/1/0251	1011	Guadix	Encontrado y calculado
3152	2141/1/0252	1011	Valle del Zalabí	Encontrado y calculado
3164	2141/1/0164	1011		No visitado
3171	2141/1/0171	1011	Guadix	Encontrado y calculado
3183	2141/1/0083	1011	Alcudia	Encontrado y calculado
3185	2141/1/0085	1011	Esfiliana	Encontrado y calculado
3187	2141/1/0087	1011	Guadix	Encontrado y calculado
3233	2141/2/0033	1011	Alcudia	Encontrado y calculado
3236	2141/2/0036	1011	Alcudia	Encontrado y calculado
3239	2141/2/0039	1011	Valle del Zalabí	Encontrado y calculado
3423	2041/4/0023	1010		No visitado

**CUADRO 24.- Puntos a nivelar propuestos**

<b>NCAL</b>	<b>Nº Inventario</b>	<b>Hoja 50.000</b>	<b>T.M.</b>	<b>Observaciones</b>
3431	2041/4/0031	1010		Imposible observación GPS
3455	2041/4/0055	1010	Purullena	Encontrado y calculado
3457	2041/4/0057	1010	Purullena	Encontrado y calculado
3458	2041/4/0058	1010	El Marchal	Encontrado y calculado
3459	2041/4/0059	1010		Imposible observación GPS
3461	2041/4/0061	1010	Purullena	Encontrado y calculado
3465	2041/4/0065	1010		Imposible observación GPS
3471	2041/4/0071	1010	El Marchal	Encontrado y calculado
3474	2041/4/0074	1010	El Marchal	Encontrado y calculado
3477	2041/4/0077	1010	Cortes y Graena	Encontrado y calculado
3483	2041/4/0083	1010	Cortes y Graena	Encontrado y calculado
3488	2041/4/0088	1010	Beas de Guadix	Encontrado y calculado
3496	2041/4/0096	1010	Polícar	Encontrado y calculado
3522	2141/5/0022	1011	Albuñan	Encontrado y calculado
3523	2141/5/0023	1011	Cogollos Guadix	Encontrado y calculado
3531	2141/5/0031	1011	Valle de Zalabí	Encontrado y calculado
3532	2141/5/0032	1011		No visitado
3533	2141/5/0033	1011	Alquife	Encontrado y calculado
3534	2141/5/0034	1011	Albuñan	Encontrado y calculado
3535	2141/5/0035	1011		No visitado
3536	2141/5/0036	1011		Visitado. No localizado
3537	2141/5/0037	1011		No visitado
3538	2141/5/0038	1011	Valle de Zalabí	Encontrado y calculado
3622	2141/6/0022	1011	Ferreira	Encontrado y calculado
3627	2141/6/0027	1011	Aldeire	Encontrado y calculado
3628	2141/6/0028	1011		Imposible acceso
3631	2141/6/0031	1011		Imposible acceso
3634	2141/6/0034	1011	Alcudia	Encontrado y calculado
3635	2141/6/0035	1011		Visitado. No encontrado
3636	2141/6/0036	1011	Ferreira	Encontrado y calculado
3638	2141/6/0038	1011		Visitado. Destruído
3708	2141/6/0008	1011		Visitado. No encontrado
3714	2141/7/0014	1011	Huéneja	Encontrado y calculado
3716	2141/7/0016	1011	Dolar	Encontrado y calculado
3717	2141/7/0017	1011	Huéneja	Encontrado y calculado
3817	2141/8/0017	1011	Huéneja	Encontrado y calculado
1101	2240/1/0001	994	Baza	Encontrado y calculado
1102	2240/ /	994	Baza	Encontrado y calculado
1135	2240/1/0035	994	Baza	Encontrado y calculado
1238	2240/2/0038	994	Baza	Encontrado y calculado

#### CUADRO 24.- Puntos a nivelar propuestos

NCAL	Nº Inventario	Hoja 50.000	T.M.	Observaciones
1279	2240/2/0279	994	Caniles	Encontrado y calculado
1409	2140/4/0009	993	Freila	Encontrado y calculado
1502	2239/5/0002	972	Zújar	Encontrado y calculado
1510	2239/5/0010	972	Zújar	Imposible su acceso
1518	2239/5/0019	972	Zújar	Encontrado y calculado
1519	2239/5/0019	972	Zújar	Encontrado y calculado
1540	2239/5/0040	972	Zújar	Encontrado y calculado
1541	2239/5/0041	972	Zújar	Encontrado y calculado
1542	2239/5/0042	972	Zújar	En obras. Destruído
1543	2239/5/0043	972	Zújar	Encontrado y calculado
1546	2239/5/0046	972	Zújar	Visitado. No localizado
1553	2239/5/0053	972	Zújar	Encontrado y calculado
1605	2240/6/0005	994	Baza	Encontrado y calculado
1606	2140/6/0006	993	Guadix	Encontrado y calculado
1631	2240/6/0031	994	Caniles	Encontrado y calculado

#### 5.2.- INCIDENCIAS

De los puntos seleccionados, se discriminaron una serie de puntos con el fin de obtener la nivelación de los 90 previstos, elegidos de forma tal que englobarán la mayor parte de las cuencas.

Tras el comienzo de los trabajos, y debido a la no localización de muchos de los 90 puntos previstos, se revisaron algunos de los puntos desechados con el fin de completar el cupo de puntos observados. De esta forma, se visitaron un total de 97 puntos, de los cuales se localizaron únicamente 88, cuatro de los cuales no pudieron ser observados con GPS y de dos se constató su destrucción, así mismo a dos de los puntos no se consiguió el acceso por cuestiones de seguridad.

#### 5.3.- ANÁLISIS DE LA RED GEODÉSICA EXISTENTE

Como trabajo previo a la implantación de la Red de Nivelación GPS se verificó el estado y ubicación de la Red Geodésica existente (ROI) implantada por el

Instituto Geográfico Nacional en la zona de trabajo, así como la Red de Nivelación de Alta Precisión (NAP) existente en la zona, constatando la existencia en la zona de varias líneas de Nivelación en las proximidades de la zona de trabajo.

Debido a que la parte fundamental de este trabajo se encuentra en la obtención de una cota ortométrica de gran precisión, decidimos apoyarnos en la ROI para la obtención de coordenadas planimétricas y en la NAP para la obtención de la cota ortométrica. Para ello se eligieron una serie de vértices geodésicos que englobaban toda la zona de trabajo así como una serie de clavos de nivelación distribuidos homogéneamente por todo el trabajo.

Para ello se examinaron las reseñas de todos los clavos que componían estas líneas de nivelación, eligiéndose una colección de estas de manera tal que, según las características de los mismos, fuera probable la existencia en la actualidad de los mismos. Es bien sabido que la falta de mantenimiento de estas líneas de nivelación, unido a las características propias de la misma, que transcurrían por líneas férreas y carreteras, han producido que por mejoras y ensanches de las carreteras y por remodelación de estaciones férreas, se haya producido una destrucción masiva de estas señales de nivelación.

Una vez comenzados los trabajos de campo, se constató la pérdida de la casi totalidad de los clavos de nivelación previstos para el trabajo, esto nos obligó a replantear el mismo desde el principio, adecuando los trabajos ya realizados a las nuevas condiciones.

De esta forma se buscó una alternativa a los clavos de nivelación del Instituto Geográfico que nos permitiera dotar de coordenadas de precisión a nuestra red de nivelación, encontrándose como mejor alternativa la utilización de la RED IBERIA, que actualmente se encuentra en ejecución, formada por un vértice geodésico por hoja del MTN a escala 1/50.000, el cual posee una cota de precisión y adecuar nuestros trabajos a estos vértices. Aunque esta red no es oficial hasta su conclusión, prevista para dentro de unos años, la utilización de la misma puede realizarse en la actualidad gracias a que se realizan compensaciones previas por provincias, antes de realizar la compensación final de la red para toda España.

De esta forma, se decidió su utilización como única alternativa posible para la ejecución de este trabajo, garantizándose así las precisiones buscadas, sin embargo, estas coordenadas no han podido ser utilizadas ya que las características de la metodología de su cálculo aún no nos ofrece garantías de precisión suficiente. Si bien es cierto que se ha tratado de realizar todos los trabajos desde estos vértices con el fin de que, en un futuro no muy lejano, se pueda realizar una nueva compensación de este trabajo con las nuevas coordenadas facilitadas por el IGN a la conclusión de la campaña IBERIA y se puedan ofrecer nuevos resultados más ajustados y globales para este y para sucesivos trabajos que pudieran realizarse de estas características por el ITGE.

Así pues, los vértices geodésicos utilizados para este trabajo han sido los siguientes:

<b>Número</b>	<b>Nombre</b>	<b>Hoja MTN</b>
9980	Mazarra	972
9972	Carboneras	993
9950	Salto de la China	994
9970	Doñana	995
9985	Atalaya	1009
9973	Gallo	1010
9984	Los Llanillos	1011
9975	Cortijo Blanco	1026
9981	Cañadillas	1027
9986	Castillejo	1028
9975	Atalaya de Sopotújar	1042
9976	Cerro de Itrabo	1055
9942	Pingano	1057
9987	Baños	1058

Como ya se ha indicado con anterioridad, la utilización de estos vértices pertenecientes a la red IBERIA nos puede proporcionar un mayor margen de posibilidades en un futuro, nuestro trabajo se ha realizado con las coordenadas existentes de estos vértices, pertenecientes a la ROI, y por tanto con las limitaciones en cuanto a precisiones que nos marcan las mismas.



Así hemos tratado de realizar una compensación conjunta de todo el trabajo, si bien, los defectos en las coordenadas de la Red Geodésica han desaconsejado su realización, al distorsionar enormemente los resultados de nuestro trabajo y perder de esta forma la posibilidad de obtener las precisiones que requiere este trabajo.

Es por ello que, la realización de estos trabajos se ha dividido en bloques lo más homogéneos posibles de forma que la utilización de las coordenadas de la ROI no distorsionase la calidad de nuestros trabajos.

Para estas unidades se ha trabajado con los vértices:

<b>Número</b>	<b>Nombre</b>	<b>Hoja MTN</b>
9980	Mazarra	972
9972	Carboneras	993
9950	Salto de la China	994
9970	Doñana	995
9973	Gallo	1010
9984	Los Llanillos	1011
9981	Cañadillas	1027
9986	Castillejo	1028

Respecto a los clavos de nivelación encontrados y observados han sido los siguientes:

<b>Número</b>	<b>Nombre</b>	<b>Hoja MTN</b>
9001	NGM916	1055
9002	NGO26	1055
9003	NGO21	1055
9987	Baños	1058

Para la compensación de este bloque no se han podido utilizar ninguno de estos por encontrarse fuera de zona.

#### **5.4.- DISEÑO DE LA RED DE NIVELACIÓN GPS**

Una vez finalizada la fase previa de estudio de la red geodésica aplicable a nuestro trabajo, se pasa al diseño de todas las posibles combinaciones de visuales a observar con el fin de conseguir la perfecta geometría del mismo. Para tomar las decisiones correctas, a la hora del diseño de la observación de campo, se tomaron las siguientes premisas:

- **DISTANCIA MEDIA ENTRE SEÑALES Y GEOMETRÍA DEL DISEÑO.** La distancia media entre las visuales ha venido condicionada por la distancia entre los puntos a levantar unido todo ello a la utilización de la Red REGENTE que nos imposibilita el enlace geodésico con más de un vértice por hoja del MTN a escala 1/50.000.
- **DOMINIO DEL HORIZONTE.** La red debe cubrir todo el territorio, uniendo los horizontes visibles de cada señal. Para que se produzca una perfecta observación y por tanto que los resultados sean homogéneos y fiables, ha de ocurrir que los horizontes visibles de cada antena receptora sean homogéneos ya que se precisa la observación común a un mínimo de cuatro satélites para dos receptores GPS que se encuentren observando simultáneamente. Esta premisa condicionó enormemente la observación de campo, así como la colocación del clavo de señalización.

#### **5.5.- PROBLEMÁTICA OCURRIDA**

Una vez comenzados los trabajos de campo, y debido a los problemas existentes para la localización de los puntos de acuífero, nos vimos en la necesidad de

modificar el proyecto inicial previsto en un primer momento, según las nuevas circunstancias que nos marcaban la no localización de algunos puntos.

Estos problemas para la localización de los puntos de acuífero han venido producidos principalmente por la existencia de errores en la documentación de que disponíamos para su localización, y que consistió en una ficha de inventario del ITGE así como su teórica posición sobre una cartografía a escala 1/50.000. A continuación se exponen algunos de los problemas que se nos han planteado a la hora de localizar los puntos de acuífero.

#### FALTA DE HOMOGENEIDAD DEL SISTEMA DE REFERENCIA DE LAS FICHAS.

Podemos señalar como la falta de homogeneidad de criterios a la hora de elegir un sistema de coordenadas común para todas las fichas, generan en muchas ocasiones graves problemas a la hora de su localización sobre un plano a escala, ya que se denota un desconocimiento en la equivalencia entre unos sistemas y otros.

De esta forma se observa como se utilizan coordenadas Lambert cartesianas, Lambert en geográficas, UTM en cartesianas y UTM en geográficas. El posible efecto de este descontrol, unido a un desconocimiento de la materia, puede ser una de las causas por las que algunos de los puntos de acuífero se encuentran dibujados sobre la cartografía de forma errónea, llegándose a producir errores superiores a los 1000 metros, desde su posición real a su posición dibujada en el inventario.

Esto ha provocado que, en muchas ocasiones, no haya sido posible localizar algunos puntos sobre el terreno, sobre todo cuando se trata de sondeos en los que la única referencia para su localización sobre el terreno es una muy buena localización sobre la cartografía.

## ERRORES EN LA POSICIÓN GRÁFICA DE LOS PUNTOS.

Además de los errores anteriormente citados, creemos que la falta de conocimiento en la interpretación cartográfica provocan que se sitúen los puntos de forma errónea sobre la cartografía, lo cual imposibilita su localización en algunos casos extremos.

## FALTA DE INFORMACIÓN ADICIONAL DE LAS FICHAS DE INVENTARIO.

Analizando cualquiera de las fichas de Inventario, se observa la carencia de información que pueda ayudar a la localización de los puntos. Esta falta de información es crucial en lo referente al acceso, el cual debería venir explicado claramente mediante una reseña literal de acceso a los puntos.

## FALTA DE CONOCIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO BUSCADO.

En las fichas de inventario se observan deficiencias en la actualización de las mismas, ya que se han dado casos en los que se buscaba un sondeo sin caseta y sin utilización, y se ha localizado el mismo con caseta y de uso agrario.

Así mismo, el no tener conocimiento de otros datos de interés, como son las características del sondeo, es decir, diámetro, altura sobre el terreno, etc. producen que en aquellas ocasiones en las que se pretende localizar un sondeo en medio del campo, sea una labor casi imposible cuando existe vegetación o es una zona de poca visibilidad, unido todo ello al casi probable error en su posición sobre la cartografía.

Con todos estos condicionantes se ha tratado de realizar el trabajo lo mejor posible de forma que se disponía de una colección de fichas de inventario de reserva para su utilización en el caso de no encontrar algunos de estos puntos.

De esta forma, se han tratado de localizar un total de 97 puntos, de los cuales solo se han conseguido localizar un total de 88 puntos de acuífero.

## **5.6.- SEÑALIZACIÓN**

En la mayoría de los casos, se ha utilizado clavo de acero sobre obra de fábrica, siempre y cuando dicha obra ofreciese garantías en cuanto a su estabilidad. En todo momento se ha practicado un taladro en la misma y se ha introducido el clavo a presión.

El clavo tipo utilizado posee las siguientes características:

- |                          |               |
|--------------------------|---------------|
| - Diámetro de la Cabeza. | 1,5 cms.      |
| - Longitud del bástago.  | 3,7 cms.      |
| - Material.              | Acero dorado. |

En todo momento se ha tratado de colocar las señales de la mejor forma posible para que en ninguno de los casos pueda servir de obstáculo, lo cual podría precipitar la desaparición del mismo.

En los casos en los que no ha sido posible colocar el clavo (Sondeos sin base de hormigón) se ha tratado de referenciar la cota en la tapa o parte superior del mismo y lo más centrado posible de forma que se garantice la reposición de la posición obtenida con ciertas garantías métricas, para su posible utilización en trabajos posteriores.

## **5.7.- METODOLOGÍA**

La observación se ha realizado mediante la utilización del sistema de posicionamiento espacial G.P.S. de alta precisión.

Se han utilizado 3 receptores GPS bifrecuencia de la marca comercial ASHTECH para la observación.

ASHTECH Z-12 sin duda es el sistema fiable de cuantos existen en el mercado, mide todos los posibles datos de observación en ambas frecuencias, L1 y L2, es decir, códigos C/A, P1 y P2; Fases de Portadora ( Longitud de onda entera ) en L1 y L2 aún cuando el código P está cifrado ( Código Y ); y desviación Doppler de las dos portadoras.

Los receptores RZ incorporan el método Z-Tracking™ patentado por ASHTECH que les permite recibir el código P con mejor relación señal/ruido que ninguno de sus competidores.

#### **5.7.1.- Descripción del Sistema G.P.S.**

El GPS (Global Position System - Sistema Global de Posicionamiento) fue desarrollado por Estados Unidos para mejorar su anterior sistema militar de satélites de navegación TRANSIT (genéricamente denominado DOPPLER por ser éste su fundamento de observación), disponible para usuarios civiles desde 1967 y ampliamente usado en técnicas geodésicas en todo el mundo. Por exigencias militares era necesario poder hacer navegación en tiempo real más precisa y de forma continua en tierra, mar o aire, en toda condición meteorológica y en un sistema unificado de cobertura global.

El sistema no es oficialmente operacional, pero el GPS es algo más que un mero sistema de navegación; con él se pueden hacer diferentes tipos de posicionamiento.

Si el receptor se mueve, el posicionamiento se llama "cinemático" o "dinámico" y es el usado en navegación, por ejemplo.

Si el receptor no se mueve, el posicionamiento se llama "estático" y es el usado en geodesia, por ejemplo.

También puede hacerse una clasificación según respecto a que queramos referir la (o las) posiciones halladas:

- Las coordenadas pueden determinarse respecto a un sistema de coordenadas previamente definido. El posicionamiento así realizado se llama "absoluto".
- También pueden determinarse incrementos de coordenadas respecto a otro receptor. El posicionamiento así realizado se llama "relativo".

Nosotros hemos utilizado el método estático relativo, es decir, los receptores no se mueven y además determinaremos diferencias de coordenadas, no coordenadas absolutas.

El instrumental de observación de un equipo GPS viene acompañado de un software de planificación. El programa se llama MP.EXE, "GPS Multi-Site Mission Planning".

Es importante llevar a cabo una importante planificación de las observaciones. Hoy en día el problema del número de satélites es mucho menor que antes ya que la constelación está casi completa, aunque aún así hay momentos en los que la constelación no es viable, es decir, no hay "**ventana de observación**". En estas ventanas no sólo influye el número de satélites sino también la disposición de los mismos, de forma que los parámetros de dilución de precisión (principalmente para nuestras aplicaciones el PDOP) no alcancen los valores considerados como críticos. Podemos decir que dos son los parámetros a controlar, la existencia del número mínimo de satélites y su disposición geométrica.

Una vez conocido el período en el que la geometría de la constelación es la adecuada, la observación se puede llevar a cabo. Bastará realizar la toma de

datos con un receptor en cada uno de los extremos del vector del cual queremos obtener incrementos de coordenadas.

La duración de la observación es función, entre otras cosas, de la precisión buscada. Para la realización de este proyecto, el período de observación estuvo por término medio cercano a los 30 minutos, tiempo suficiente para la determinación de las ambigüedades con la precisión exigida en la Red Topográfica Básica.

#### **5.7.2.- Método operativo en campo**

La estrategia seguida para la observación de nuestra red de nivelación por GPS fue la siguiente:

Tomando como referencia los vértices de la Red Iberia, se ha realizado una observación de forma tal que nos permitiera en cada momento observar con tiempo en común entre los tres receptores GPS utilizados, moviéndose en cada puesta un receptor de un punto de acuífero a otro, mientras que otros dos permanecen fijo, es decir, esta operativa nos permite conseguir con tres aparatos una redundancia de observaciones suficiente para afrontar con perfectas garantías el cumplimiento de las precisiones requeridas, al estar consiguiéndose que casi todos los puntos (cuando esto ha sido posible) se encuentren enlazados a otros 3 vértices de la red.

Mediante este método se han conseguido observar para los puntos encontrados gran cantidad de visuales, lo cual establece una buena base para el ajuste minimocuadrático de la red, generándonos un grado de libertad de la red muy elevado.

#### **5.7.3.- Cálculo**

Los datos observados por los distintos métodos geodésicos han de ser referidos a unos sistemas en los que se lleve a cabo los cálculos para relacionar todas las observaciones entre sí.



El datum está constituido por una superficie de referencia que suele ser el elipsoide, y por un punto llamado Fundamental tal que la vertical al elipsoide y al geoide sea común. De este punto conocemos su longitud, latitud, y Acimut de una dirección establecida desde él. En dicho punto las coordenadas geodésicas y astronómicas coinciden.

La altimetría en los sistemas de referencia clásicos se refiere al geoide, mientras que en el sistema **WGS 84** se refiere al elipsoide.

Las observaciones G.P.S. están referidas al sistema de referencia *WORLD GEODETIC SYSTEM 1984 (WGS 84)* cuyo elipsoide está definido por los parámetros:

$a = 6378137$  metros

$b = 356752.3$  metros

$\alpha = 0.00335281066474$  (aplanamiento)

$w = 7292115 * 10^{-11}$  radianes / segundo (velocidad de rotación)

y que viene dado como sigue:

- Origen el centro de masas de la Tierra.
- El eje Z es paralelo a la dirección del polo medio definido por el BIH.
- El eje X es la intersección del meridiano origen (Greenwich) y el plano del ecuador medio.
- El eje Y, ortogonal a los anteriores, crea una terna dextrorum.

El sistema geodésico local utilizado es el *RE 50*, definido por:

- Elipsoide internacional de Hayford.
- Punto Fundamental: Postdam.
- Origen de longitudes: meridiano de Greenwich.
- Altitudes referidas al geoide (Datum altimétrico en Alicante).

El sistema cartesiano global es el sistema de coordenadas *UTM*.

El problema que se nos plantea ahora es transformar al sistema geodésico local (en nuestro caso el ED50) las coordenadas de un punto dadas en el sistema WGS 84. Para ello realizamos lo siguiente:

Lo que tenemos son vectores observados y referidos al sistema WGS 84 (es decir tenemos incrementos de coordenadas,  $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ ). Lo que hacemos es ajustar los incrementos obtenidos en el WGS-84 y realizar una transformación a nuestro sistema de referencia local (que en nuestro caso es el sistema de referencia oficial (RE-50)), antes del ajuste. Para ello se aplica una TRANSFORMACIÓN TRIDIMENSIONAL DE HELMERT con vectores comunes en los dos sistemas, y se calcularon los parámetros de transformación.

La red de nivelación GPS está formada por 183 puntos de acuíferos, dividida en varias zonas o unidades hidrogeológicas, de los cuales 90 puntos pertenecen a la zona a la que hace referencia esta memoria de Guadix-Marquesado, Baza-Caniles y Sierra de Baza.

Como fase previa al cálculo se ha utilizado un programa propio para el cierre de triángulos espaciales, es decir, cuando tres puntos se observan simultáneamente con tres receptores, se generan tres líneas base que forman un triángulo. Es evidente que, como fase previa al cálculo se han realizado diariamente un cierre de estos triángulos espaciales, pudiéndose observar la bondad de los mismos a continuación, observándose que los errores de cierre altimétricos, en ninguno de los casos supera los 0.03 metros, lo que nos produce una buena referencia de la bondad de nuestras observaciones.

Así los triángulos observados se presentan en el Cuadro 25, junto con sus errores de cierre en las tres componentes X, Y, Z.

**CUADRO 25.- Triángulos y errores de Cierre**

TRIÁNGULO			ex	ey	ez	
1101	2259	2279	-.013	-.004	-.005	
1135	1409	9972	.028	-.013	.025	
1135	1502	9972	-.030	.007	.006	
1135	1518	1541	-.014	-.012	.014	
1135	1519	1541	-.024	.000	-.008	
1135	1540	1543	.026	-.006	.012	
1135	1541	1553	-.025	.004	-.017	
1135	1543	9972	-.028	-.009	-.019	
1135	1606	9972	.029	-.017	-.001	
1135	2189	2279	.016	.002	.024	
1135	2224	2279	.026	-.012	.026	
2188	2259	2279	.002	-.017	-.009	
2201	1605	1631	.019	-.005	-.012	
2201	1631	2626	.009	.008	-.002	
2201	1631	2627	.003	.014	-.007	
2201	2238	2279	.020	-.014	-.016	
2201	2279	2626	-.013	.009	.002	
2201	2601	2617	.000	.013	-.015	
2201	2617	2618	.014	.012	.008	
2201	2618	2627	.001	-.027	-.019	
2201	2731	2737	.010	-.007	.024	
2224	2259	2279	-.004	-.005	-.001	
2239	2249	2258	.000	.001	-.002	
2239	2256	2258	-.003	.000	.006	
2734	2732	2709	.003	.002	.004	
2737	2732	2709	-.049	.004	-.027	
3085	3187	9984	-.012	.021	-.020	
3085	3523	9984	-.028	.006	-.006	
3132	3140	9984	.004	.004	-.019	
3152	3140	9984	.050	-.059	-.026	SUPERA CIERRE EN Y
3183	3140	9984	.012	.011	.013	
3185	3183	9984	-.001	-.006	.002	
3185	3233	9984	.028	-.023	.005	
3185	3236	9984	.014	.006	.006	
3233	3187	9984	.021	-.034	.010	
3455	3151	3458	.025	.014	.007	
3455	3458	3488	-.032	.007	-.031	
1101	2259	2279	-.013	-.004	-.005	
3455	3474	3483	.009	-.014	.018	
3455	3496	3483	.025	.026	.020	
3496	515	535	-.017	-.001	-.022	
3496	516	517	.009	-.004	.001	
3496	529	3483	.018	-.005	.020	
3522	3523	9984	.006	-.007	.012	
3534	3523	9984	.022	-.011	.002	
3634	3533	3714	.001	.000	.000	

### CUADRO 25.- Triángulos y errores de Cierre

TRIÁNGULO			ex	ey	ez
3634	3627	9984	-.022	.012	-.009
3634	3636	3716	.016	.002	.028
3634	3636	9984	-.019	.029	-.030
3634	3716	3717	-.029	.031	.007
3634	3717	3817	-.006	.012	-.011
9984	3146	3496	-.010	.000	.017
9984	3171	3496	.016	.004	.001
9984	3239	3496	-.023	-.013	-.002
9989	3455	3457	-.019	.014	-.025
9989	3455	3471	-.009	.034	-.025
9989	3455	3483	-.009	.022	-.010
9989	3461	3471	-.026	.027	-.029

Para el cálculo de esta red se han utilizado las aplicaciones informáticas GPPS de Astech para el cálculo de líneas base y GPSRED para la compensación por mínimos cuadrados.

Se realiza el cálculo planimétrico y altimétrico previo dejando como vértices fijos los vértices geodésicos anteriormente citados pertenecientes a la red Iberia, según se puede observar en los listados de compensación, incluidos en esta memoria.

Cada una de las observaciones GPS  $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_{WGS84}$ , es transformada al sistema ED50, como hemos dicho anteriormente, y a su vez estos incrementos son transformados en observaciones de distancia, acimut y diferencias de altitud.

Estas diferencias de altitud son sobre el elipsoide ED50, por lo que debemos conocer la ondulación del Geoide (diferencia entre el elipsoide y Geoide) para poder obtener cotas ortométricas, es decir, alturas sobre el Geoide. Para ello se introdujo en la aplicación de cálculo un modelo del Geoide para la Península Ibérica y Baleares, que nos permite conocer la N (ondulación del Geoide en cualquier punto).

Con estas observaciones y a partir de los vértices tomados como fijos, obtenemos unas coordenadas aproximadas de nuestros puntos y aplicando una compensación en bloque de la Red, obteniendo coordenadas ajustadas de nuestros puntos en el sistema ED50 y proyección U.T.M..

Los listados de esta compensación los podemos ver en el apartado de listados.

#### **5.7.4.- Aplicación de MM.CC. al ajuste de redes**

Supongamos una red geodésica con  $k$  puntos, entre los que se han efectuado  $m$  observaciones, en general de distintos tipos (direcciones, acimutes, distancias, diferencias de coordenadas, ángulos cenitales, etc). En planimetría cada punto produce en general tres incógnitas,  $(d\varphi, d\lambda)$  para la latitud y la longitud, y  $d\theta$  incógnita de orientación en los puntos donde se haya observado direcciones. Se tiene por tanto un sistema lineal de  $m$  ecuaciones con  $3k$  incógnitas, siendo en general  $m > 3k$ , es decir, más ecuaciones que incógnitas. Este tipo de problemas se denominan sobredeterminados y no tienen solución en el sentido clásico.

Una primera condición que debe verificarse antes de proceder al ajuste de una red, es definir el sistema de referencia respecto del cual van a determinarse las coordenadas óptimas de los puntos de la red.

En una red planimétrica el sistema de referencia queda definido por cuatro parámetros, el origen del sistema de coordenadas, es decir, coordenadas conocidas de al menos un punto de la red, la escala y la orientación de la red. Estos cuatro parámetros son equivalentes al conocimiento de las coordenadas de dos de los puntos de la red, puesto que se define igualmente la escala y la orientación de la red a través de dichos puntos.

En otras palabras, las observaciones geodésicas van a definir la posición relativa de unos puntos con respecto a otros, pero no evidentemente coordenadas, que deben estar referidas a un sistema definido de antemano.

Para una red de Triangulación, los cuatro parámetros que definen el sistema de referencia deben darse mediante al menos dos puntos fijos, es decir, la escala y orientación de la red se definen de forma externa mediante puntos fijos. En caso de que se hayan observado acimutes u orientaciones, la orientación de la red puede definirse por las propias observaciones, es decir, de forma interna.

Si en la red se han observado distancias la escala de la red puede definirse por estas observaciones, y finalmente si se han determinado las coordenadas de un punto de la red de forma absoluta (por ejemplo, por observaciones Doppler) la posición de la red, en cuanto a referirse a un origen de coordenadas, queda determinada.

Veremos más adelante el significado matemático de estos parámetros y su importancia en el ajuste de las redes.

En una red unidimensional (de nivelación por ejemplo) el sistema de referencia queda definido con el conocimiento de la cota, o en general, de la coordenada de un punto al menos de la red. De igual forma, las observaciones permiten determinar diferencias de coordenadas (altitudes), pero no coordenadas.

En una red Tridimensional son siete los parámetros que definen el sistema de referencia, tres para el origen de coordenadas, tres para su orientación y uno para la escala. Pensemos que una transformación de Helmert en el espacio queda definida por siete parámetros, tres para el cambio de origen, tres rotaciones y un factor de escala.

Estos siete parámetros pueden definirse de varias formas: mediante al menos tres puntos fijos, puesto que dos únicamente determinarían seis parámetros. De forma interna mediante acimutes y distancias, o bien, diferencias de coordenadas, que son equivalentes a acimutes, distancias y diferencias de altitud, y las coordenadas de un punto fijo.

Supongamos por tanto una red en donde se han efectuado  $m$  observaciones y que consta de  $k$  puntos, de los cuales  $q$  son fijos. Si la red es Tridimensional cada punto no fijo produce 4 incógnitas, una de orientación y tres para las coordenadas ( $d\varphi$ ,  $d\lambda$ ,  $dh$ ), para los puntos fijos tendremos únicamente la incógnita de orientación puesto que sus coordenadas quedan invariantes en el ajuste. Por tanto tendremos  $k$  incógnitas de orientación, una por punto en los que se han observado direcciones y  $3(k - q)$  incógnitas en coordenadas. Si únicamente se han observado direcciones en  $p$  de los  $k$  puntos de la red, tendríamos  $p$  incógnitas de orientación. El número de incógnitas será,

$$n = p + 3(k - q)$$

que se tienen que determinar a partir de las  $m$  ecuaciones de observación que se pueden formar a partir de las observaciones.

Si el ajuste fuese bidimensional se tendrían,

$$n = p + 2(k - q)$$

incógnitas.

El sistema de ecuaciones de observación se puede escribir en forma matricial,

$$Ax + v = t$$

siendo A la matriz de configuración de la red, x es el vector de incógnitas, y el vector de residuos y t el vector de términos independientes.

La matriz A tiene m filas (ecuaciones) y n columnas (incógnitas) y depende de las observaciones y las coordenadas aproximadas de los puntos de la red.

La estructura de la matriz A es de fundamental importancia en el ajuste de redes. Cada ecuación de observación tiene a lo sumo cinco coeficientes distintos de cero (en el caso bidimensional), es decir, contiene únicamente cinco incógnitas de las n que tiene la red, hecho importante para el tratamiento numérico del problema que se plantea en la resolución del sistema de ecuaciones lineales.

Queda por asignar la matriz de pesos P de las observaciones. Se supondrá que las observaciones son incorreladas, es decir, que la matriz de pesos P es diagonal (todos sus elementos son cero excepto la diagonal principal).

La asignación de pesos a las observaciones depende de la garantía (precisión a priori) que tengan estas. Por ejemplo, si se han observado direcciones acimutales con un T3 que aprecia la décima de segundo, se puede suponer un error a priori del orden de 1 segundo para este tipo de observaciones. Si se han observado distancias con un distanciómetro láser con una ecuación de error de (a metros + b ppm), con a = 0.005 metros y b = 1 parte por millón, para una distancia de 10 kilómetros el error a priori sería de 0.015 metros. Por tanto para cada observación se tendría un error a priori que es su varianza y la correspondiente matriz cofactor de las ecuaciones de observación, que sería una matriz diagonal, y los elementos de la diagonal son las varianzas de las observaciones.



El modelo de ecuaciones de observación puede escribirse,

$$Ax + v = t \quad , \quad v \sim N(0, s^2Q)$$

donde el vector de residuos  $v$  sigue una distribución normal de media cero y matriz de covarianzas  $s^2Q$ , con  $s^2$  el factor de varianza a priori de peso unidad, que tradicionalmente en redes geodésicas suele tomarse igual a 1.

Es importante que la asignación de errores a priori de las observaciones sea correcta, pudiendo depender de varios factores, precisión de los instrumentos, métodos de observación, inclinación de las visuales, condiciones atmosféricas, etc.

Aplicando la teoría de estimación de parámetros por mínimos cuadrados, la estimación mínima cuadrados del vector de incógnita es,

$$x = (A^T P A)^{-1} A^T P t$$

siendo  $P$  la matriz de pesos ( $P = Q^{-1}$ ).

Consideremos la matriz normal  $N = A^T P A$  que tiene  $n$  filas y  $n$  columnas ( $n$  incógnitas). Si el sistema de referencia está definido de antemano, la matriz  $N$  es de rango completo, es decir, el determinante de  $N$  es distinto de cero, o sus autovalores son distintos de cero. En caso contrario la matriz  $N$  presentará defecto de rango, tendrá columnas linealmente dependientes del resto. El número de estas columnas (defecto de rango de  $N$ ) depende del número de parámetros que queden libres en el ajuste (sin determinar a priori). Por ejemplo, en una red triangulada sin puntos fijos, ni acimutes y distancias observadas, el número de parámetros sin determinar o libres es cuatro, 2 para el origen de coordenadas, 1 para la escala y 1 para la orientación, la matriz  $N$  tiene por tanto un defecto de rango igual a 4, que se elimina con la introducción de dos puntos fijos en el ajuste.

La matriz A de configuración de la red tiene dimensiones (m x n), pero en realidad de cada n elementos de las filas, únicamente 5 son distintos de cero, esto es, únicamente habrá que almacenar (m x 5) elementos para tener la matriz A en memoria en un ordenador. Por ejemplo, para una red con 1.000 observaciones, y 500 incógnitas, tendríamos que almacenar únicamente 5.000 elementos de los 500.000 que la matriz A tiene. La matriz  $N = A^T P A$  es también una matriz con muchos ceros, pues en cada ecuación normal únicamente intervienen las incógnitas de los primeros y segundos enlaces del punto que genera la incógnita, tratándose de encontrar estructuras tipo banda para N mediante una ordenación previa de las incógnitas (puntos de la red), con el fin de minimizar el ancho de banda de N.

Las coordenadas definitivas ajustadas

$$X = x_0 + x$$

siendo  $x_0$  el vector de coordenadas aproximadas de los puntos de la red.

El vector de residuos ajustados,

$$v = t - Ax$$

y los residuos ponderados,

$$v_{pi} = v_i \cdot p_i^{1/2}$$

La estimación de la varianza de peso unidad,

$$s^2 = v^T P v / (m - n)$$

siendo (m - n) el número de grados de libertad del ajuste.

La matriz de covarianza de las incógnitas,

$$C_{xx} = s^2 N^{-1}$$

que es (n,n) y que de cierta forma va a definir la precisión de la red.

Resumiendo, el ajuste de una red por variación de coordenadas y técnicas de estimación mínimos cuadrados tienen las siguientes fases:

1. Obtención de coordenadas aproximadas de los puntos de la red por métodos de cálculo tradicionales de triangulación, poligonación, etc.
2. Análisis de la configuración de la red, es decir, si la figura es calculable y la redundancia es suficiente para proceder al ajuste.
3. Análisis de la posibilidad de grandes errores en las observaciones que darían al traste con el ajuste, lo que se puede efectuar determinando las desorientaciones de cada dirección y las distancias, calculadas a partir de las coordenadas aproximadas, y observadas. Si no se detectan grandes errores se puede proceder al ajuste de la red.
4. Elección del sistema de referencia definitivo con la determinación de los puntos fijos que van a quedar invariantes en el ajuste.
5. Se realiza el ajuste, contrastando la hipótesis de igualdad de varianzas  $H: s^2 = s^2$  mediante el F-test, para aceptar o desechar la hipótesis de partida de asignación de pesos. Si se acepta la hipótesis H se procede a la detección de errores groseros con el w-test.

### **5.7.5.- Programas utilizados**

#### **5.7.5.1.- GPPS**

El conjunto de programas GPPS es un sistema de post-proceso de observaciones GPS. Básicamente, esta aplicación nos permite la transferencia de los datos del receptor GPS al ordenador donde se procesan y se obtienen los valores de las líneas base existentes entre cada pareja de receptores con observación común.

#### **5.7.5.2.- GPSRED**

GPSRED es una aplicación informática destinada a obtener coordenadas en el sistema RE-50 a partir de las coordenadas conocidas de unos puntos y de las observaciones GPS.

La aplicación GPSRED consta de un grupo de programas que realizan básicamente dos funciones: la reducción de la ondulación del geoide y la transformación de los vectores GPS medidos al sistema RE-50 y cálculo de coordenadas a partir de los puntos conocidos y los vectores transformados.

GPSRED cuenta con un modelo del geoide, válido para la Península Ibérica y Baleares, que garantiza que el error altimétrico cometido, por efecto de la ondulación del geoide, en la obtención de cotas ortométricas es inferior a 0,01 m/km.

Para la obtención de coordenadas en el sistema RE-50, la aplicación GEOGPS realiza, en primer lugar, una transformación de los vectores medidos al sistema RE-50 y posteriormente, realiza el cálculo de las coordenadas de los puntos a calcular, mediante la simple suma de los vectores medidos a las coordenadas de los puntos conocidos.

El resultado de una observación G.P.S. con técnicas de posicionamiento relativo, es el vector de incrementos de coordenadas entre dos estaciones P y Q,

$$(DX, DY, DZ)$$

Siendo,

$$DX = X_Q - X_P$$

$$DY = Y_Q - Y_P$$

$$DZ = Z_Q - Z_P$$

respecto de un sistema de referencia global geométrico, con origen en el centro de la Tierra, eje Z según el eje de rotación medio de la Tierra, eje X según el meridiano de Greenwich y contenido en el plano del Ecuador y eje Y perpendicular a los anteriores de forma que la terna sea dextrógira, que llamaremos G.P.S., y que en general no es coincidente con los sistemas convencionales utilizados por la Geodesia Clásica.

Un primer problema que se presenta a la hora de utilizar las observaciones G.P.S. para fines geodésicos o topográficos es referirlas al sistema geodésico local, en nuestro caso al sistema oficial RE-50 (DATUM Potsdam y elipsoide de Hayford) y cartográfico UTM.

La aplicación GPSRED resuelve este problema de la siguiente forma:

- Estacionamiento y observación simultánea G.P.S. en al menos tres vértices de la red geodésica, con la determinación de las líneas base entre ellos. Conocidas las coordenadas UTM de estos (X,Y), y la altitud sobre el geoide H, el proceso de cálculo es el siguiente:

- El programa UTMGEO transforma las coordenadas UTM a Geográficas determinándose también la anamorfosis lineal y la convergencia de meridianos en los puntos a transformar.

- El programa GEOIDE1 determina la ondulación del geoide N de los puntos en cuestión, mediante la interpolación polinómica de una carta del Geoide elaborada para España y Portugal respecto del sistema geodésico RE-50, determinándose la altitud sobre el elipsoide  $h$ ,  $h = H + N$  teniéndose las coordenadas  $(\varphi, \lambda, h)$  de los puntos de la red geodésica.

- El programa TRANS1 transforma las coordenadas geodésicas a coordenadas cartesianas  $(X, Y, Z)$  en el sistema geodésico local RE-50.

- El programa TRANS4 identifica los vértices geodésicos por su número de punto en el fichero de líneas base G.P.S., y determina las diferencias de coordenadas cartesianas en el sistema RE-50,

$$(DX, DY, DZ)^{RE-50}$$

creando un fichero ASCII con estos datos.

- El programa HELGPS con los datos,

$$(DX, DY, DZ)^{RE-50} \quad \text{y} \quad (DX, DY, DZ)^{GPS}$$

determina los parámetros de rotación y de escala de una transformación Helmert tridimensional que relacione ambos sistemas de referencia. El programa genera un fichero ASCII con las líneas base transformadas al sistema geodésico de referencia RE-50, mediante la aplicación de los parámetros de transformación estimados.

- Con las líneas base transformadas al sistema geodésico local de referencia, el programa CALGPS calcula coordenadas cartesianas de todos los puntos dados con G.P.S., tomando como puntos de arranque los que tengan coordenadas conocidas (generalmente vértices geodésicos). El programa crea un archivo secuencial de coordenadas cartesianas de los puntos levantados con G.P.S..

- El programa TR2GPS transforma las coordenadas cartesianas en coordenadas geodésicas.

- El programa GEOIDE2 transforma las altitudes sobre el elipsoide  $h$  en altitudes sobre el geoide  $H$ , mediante,

$$H = h - N$$

con una precisión relativa de 0,05 metros en 10 km, es decir, de unas 5ppm.

- El programa GEOUTM transforma coordenadas geodésicas ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) en coordenadas UTM ( $x$ ,  $y$ ,  $H$ ).

- El programa COMGPS realiza el ajuste de la planimetría, una vez transformadas las observaciones G.P.S. a observaciones geodésicas de azimut, distancia y diferencia de altitud.

- El ajuste de la altimetría se hace con el programa ALTIMC2.

#### LISTADO DE ABREVIATURAS

ITGE Instituto Tecnológico Geominero de España

IGN Instituto Geográfico Nacional

UTM Universal Trasversa of Mercator  
GPS Global Possitioning System  
ROI Red de Orden Inferior  
NAP Nivelación de Alta precisión  
MTN Mapa Topográfica Nacional (1/50.000)

### **5.8.- RESULTADOS OBTENIDOS**

Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 26 adjunto, además en Anexo A6, se adjuntan las fichas resultado de la nivelación, acompañadas de una fotografía del punto nivelado.

La situación de los puntos nivelados se recoge, a escala 1:100.000 en el Plano correspondiente.



**CUADRO 26.- Resultados de la nivelación**

<b>Nº INVENT</b>	<b>X (utm)</b>	<b>Y (utm)</b>	<b>Z</b>	<b>HOJA TERM.</b>
-a-	519887,21	4146604,49	903,25	994 Baza
-b-	523113,60	4148924,77	810,46	994 Baza
2041-4-0055	482469,67	4130096,54	866,20	1010 Purullena
2041-4-0057	482692,94	4129620,33	874,51	1010 Purullena
2041-4-0058	482524,39	4127815,46	908,30	1010 El Marchal
2041-4-0061	481924,91	4131393,09	844,23	1010 Purullena
2041-4-0071	482742,74	4129588,06	875,39	1010 El Marchal
2041-4-0074	482571,98	4128900,67	886,48	1010 El Marchal
2041-4-0077	479638,16	4129260,89	972,43	1010 Cortes y Graena
2041-4-0083	480478,60	4127930,65	987,84	1010 Cortes y Graena
2041-4-0088	481109,87	4125287,44	998,52	1010 Beas de Guadix
2041-4-0096	478710,22	4123870,72	1162,91	1010 Polícar
2140-4-0009	509405,36	4150130,02	913,34	993 Freila
2140-6-0006	494872,45	4135932,63	1173,86	993 Guadix
2141-1-0083	490713,01	4123324,68	976,68	1011 Alcuía
2141-1-0085	490322,82	4124565,45	960,19	1011 Esfiliana
2141-1-0087	490012,59	4126032,44	941,23	1011 Guadix
2141-1-0140	489920,54	4129536,82	962,49	1011 Guadix
2141-1-0146	486499,77	4126669,02	980,28	1011 Guadix
2141-1-0171	486656,27	4128097,30	961,77	1011 Guadix
2141-1-0185	488412,59	4125901,99	1013,89	1011 Guadix
2141-1-0232	485691,86	4128375,23	938,96	1011 Guadix
2141-1-0251	485030,85	4127507,04	980,02	1011 Guadix
2141-1-0252	490589,63	4123782,08	973,85	1011 Valle del Zalabí
2141-2-0033	493263,62	4124643,83	1039,77	1011 Alcuía
2141-2-0036	491521,58	4123774,32	1015,57	1011 Alcuía
2141-2-0039	494223,30	4126108,27	1092,07	1011 Valle del Zalabí
2141-5-0022	487627,62	4119171,72	1087,06	1011 Albuñán
2141-5-0023	486384,41	4120151,61	1131,89	1011 Cogollos Guadix
2141-5-0031	489835,66	4119828,69	1039,96	1011 Valle del Zalabí
2141-5-0033	488319,24	4117571,67	1086,32	1011 Alquife
2141-5-0034	487396,54	4121528,65	1100,14	1011 Albuñán
2141-5-0038	489838,94	4119733,27	1039,99	1011 Valle del Zalabí
2141-6-0022	498052,64	4118337,05	1110,64	1011 Ferreira
2141-6-0027	493218,98	4120250,65	1093,69	1011 Aldeire
2141-6-0034	495204,77	4119785,24	1096,51	1011 Alcuía
2141-6-0036	497211,61	4118067,73	1121,46	1011 Ferreira
2141-7-0014	504430,91	4118554,84	1112,88	1011 Huéneja
2141-7-0016	500668,56	4118631,78	1113,01	1011 Dólar
2141-7-0017	502693,90	4119079,76	1107,46	1011 Huéneja
2141-8-0017	505832,38	4118034,45	1117,82	1011 Huéneja
2239-5-0002	514904,50	4150951,84	989,52	972 Zújar
2239-5-0019	515916,32	4155081,22	878,61	972 Zújar
2239-5-0019	515781,81	4155169,69	881,60	972 Zújar

**CUADRO 26.- Resultados de la nivelación**

<b>Nº INVENT</b>	<b>X (utm)</b>	<b>Y (utm)</b>	<b>Z</b>	<b>HOJA TERM.</b>
2239-5-0040	515300,38	4153224,59	859,52	972 Zújar
-c-	516387,34	4154825,37	899,30	972 Zújar
2239-5-0043	515381,46	4152895,96	875,69	972 Zújar
2239-5-0053	516587,27	4161177,82	678,57	972 Zújar
2240-1-0001	519662,87	4147435,71	902,64	994 Baza
2240-1-0035	517777,28	4149496,79	1030,90	994 Baza
2240-2-0001	526766,40	4141321,73	914,14	994 Caniles
2240-2-0038	520676,39	4145001,08	961,04	994 Baza
2240-2-0038	520676,39	4145001,08	961,04	994 Baza
2240-2-0039	522310,93	4142637,68	959,13	994 Caniles
2240-2-0049	520993,92	4143779,03	978,40	994 Caniles
2240-2-0170	524744,13	4144288,04	856,15	994 Caniles
2240-2-0181	527188,50	4145994,41	887,40	994 Caniles
2240-2-0189	522184,33	4150554,99	794,46	994 Baza
2240-2-0224	520976,43	4147874,35	848,21	994 Baza
2240-2-0242	525350,83	4142771,90	918,16	994 Caniles
2240-2-0243	524818,33	4141324,62	991,00	994 Caniles
2240-2-0254	527557,27	4143610,56	909,72	994 Caniles
2240-2-0255	526163,75	4141853,08	915,21	994 Caniles
2240-2-0256	522858,36	4141934,71	978,09	994 Caniles
2240-2-0257	527347,76	4142613,37	934,49	994 Caniles
2240-2-0258	521510,94	4143244,62	961,53	994 Caniles
2240-2-0259	524257,80	4146346,25	820,37	994 Caniles
2240-2-0279	523017,21	4144471,22	899,46	994 Caniles
2240-2-0279	522960,01	4144558,28	897,61	994 Caniles
2240-6-0001	526724,77	4140654,47	929,97	994 Caniles
2240-6-0005	523207,82	4132327,38	1212,47	994 Baza
2240-6-0017	527155,11	4138566,06	973,70	994 Caniles
2240-6-0018	527488,12	4136828,66	1005,82	994 Caniles
2240-6-0025	523285,87	4137775,50	1016,60	994 Caniles
2240-6-0026	523834,65	4139940,70	958,87	994 Caniles
2240-6-0027	526534,72	4136384,42	1027,83	994 Caniles
2240-6-0031	523285,87	4137775,50	1016,60	994 Caniles
2240-7-0009	529833,43	4138788,84	982,83	994 Caniles
2240-7-0031	529402,49	4133741,54	1080,47	994 Caniles
2240-7-0032	529986,03	4139848,14	969,24	994 Caniles
2240-7-0034	529446,32	4141154,90	946,14	994 Caniles
2240-7-0037	529708,12	4135888,73	1032,59	994 Caniles

**6.- ENCUESTAS DE CUANTIFICACIÓN DE VOLÚMENES DE BOMBEO**

## **6.- ENCUESTAS DE CUANTIFICACIÓN DE VOLÚMENES DE BOMBEO**

### **6.1.- INTRODUCCIÓN**

El objeto del trabajo realizado, ha sido conocer la explotación de las distintas instalaciones existentes, tanto de abastecimiento público como de regadío, obteniendo para ello datos fiables de los caudales de explotación (mediante caudalímetro de ultrasonidos), tiempo de bombeo y demanda de volumen extraído a lo largo de un año (mediante recibos de electricidad de todo un período de cada una de las instalaciones), conocer con exactitud los niveles piezométricos, alturas manométricas y estado de las instalaciones.

La metodología de trabajo que se ha seguido en el Estudio ha consistido en dos fases netamente diferenciadas. Por un lado, todas aquellas labores de campo necesarias para la recogida de información: revisión de las captaciones (tanto municipales como de comunidades de regantes), y su equipamiento, determinación de los caudales de explotación, alturas de elevación y potencias absorbidas.

Por otro lado, todas aquellas tareas de gabinete dedicadas al manejo y elaboración de la información recogida: cuantificación de consumos eléctricos y volúmenes de explotación, cálculo de los rendimientos de las instalaciones y potencia activa consumida por las mismas, ejecución del programa de optimización LOLI con las diferentes posibilidades consideradas en cada instalación y propuesta de la alternativa más adecuada.

## **6.2.- ESQUEMA METODOLÓGICO**

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

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

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

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

El rendimiento total de la instalación de la captación se define, de forma teórica, como el producto de los rendimientos de cada uno de los elementos que

intervienen: motor, bomba, transformador y resto de elementos eléctricos. De forma práctica, el rendimiento total de la instalación se calcula en función de tres parámetros: caudal, altura manométrica y potencia activa de la instalación. Estos son de suma importancia para la aplicación del método y su medición o cálculo deberán realizarse de la forma más precisa posible.

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

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

### **6.3.- DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS**

#### **6.3.1.- Caudal de explotación**

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

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

caudal en cualquier tipo de tubería transparente a los ultrasonidos (aceros, PVC, fibrocemento, etc...), mediante dos sondas que se colocan en la tubería.

### **6.3.2.- Altura manométrica**

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

- Profundidad del nivel dinámico.
  
- Altura geométrica desde la embocadura del sondeo hasta el punto más alto de la conducción, normalmente es el punto de vertido del agua.
  
- Pérdidas de carga a lo largo de la conducción.
  
- Profundidad del nivel dinámico. Su valor es variable en función del régimen pluviométrico, las extracciones realizadas en la captación o más ampliamente en el acuífero y las obturaciones de la superficie por la que fluye el agua a la captación. Este parámetro es el de mayor incidencia en el cálculo de la altura manométrica.

Cuando las oscilaciones del nivel son de escasa cuantía, el régimen de explotación puede considerarse homogéneo y la electrobomba tendrá un punto o zona de funcionamiento constante. Si las oscilaciones toman valores considerables se producen variaciones de la altura manométrica de elevación y de los caudales de extracción que pueden ser importantes, con lo que se dificulta la cuantificación de los volúmenes bombeados. La forma correcta de salvar el problema consiste en hacer un seguimiento continuo de niveles y caudales; si bien, una aproximación puede ser el

tomar un valor fijo del nivel dinámico en estiaje y otro en época de lluvias, estimando los diferentes niveles a lo largo del año a partir de datos de piezómetros próximos o de precipitaciones de lluvia.

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

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

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

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



### **6.3.3.- Potencia activa**

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

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

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

### **6.3.4.- Consumo energético**

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

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

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

## **6.4.- RESULTADOS A OBTENER**

### **6.4.1.- Rendimiento**

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

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

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

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

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

El rendimiento es de gran importancia pues es indicativo de si la instalación está funcionando correctamente. Un rendimiento inadecuado suele tener el origen en una mala adaptación de la electrobomba al caudal de extracción y a la altura manométrica, al no funcionar dentro de la zona de curva característica para la que se

obtienen rendimientos óptimos. Los rendimientos del motor y de la bomba son los que más suelen afectar al rendimiento total.

#### **6.4.2.- Relación "E"**

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

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

#### **6.4.3.- Volumen de bombeo**

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

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

### **6.5.- ENCUESTAS Y RESULTADOS**

En el presente proyecto se preveían realizar un total de 40 encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo, 20 en la U.H. de Guadix y otras 20 en la U.H.

Sierra de Baza. Para ello el ITGE seleccionó 20 puntos en la Unidad de Guadix. Se comprobó durante la visita que muchos de ellos se encontraban abandonados o sin instalación, por lo que se seleccionaron otros, que a juicio de las comunidades de regantes presentaban las mayores explotaciones.

Se han realizado un total de 35 encuestas de cuantificación. La mayor parte de las instalaciones se accionan manualmente manteniéndolas en marcha cierto número de horas al día según la apreciación del encargado correspondiente, o disponen de reloj que activa el funcionamiento de la impulsión durante cierto número de horas, graduado regularmente atendiendo a las previsiones y experiencia del encargado.

Para determinar el caudal de explotación, como se ha citado anteriormente, se ha utilizado un caudalímetro ultrasónico, que puede medir el caudal en cualquier tipo de tubería transparente a los ultrasonidos (aceros, PVC, fibrocemento, etc...) mediante dos sondas que se colocan en el exterior de la misma, estando totalmente llena la sección de la tubería, cometiendo un error en la medición nunca superior al 5% en todas las instalaciones.

Previa y a la vez de las medidas de caudal se han medido en los sondeos de explotación los niveles piezométricos estático y dinámico, junto con la obtención de la potencia consumida por la instalación, que se calcula simultáneamente al caudal, midiendo la velocidad del disco del contador que es directamente proporcional a la misma, utilizando la siguiente expresión:

$$Pa = 3600 \times (Nc / Fc) \times Nv$$

Donde:

Pa : Potencia activa suministrada en KW

Nc: Número de revoluciones por kWh del disco indicadas en el contador

Fc: Factores multiplicadores o divisores de Nc

Nv: Velocidad del disco en revoluciones por segundo

Con la Potencia activa y el caudal (Q) se podrá calcular la relación (E) que nos permite establecer el consumo eléctrico por metro cúbico elevado. Esta relación es muy útil, debido a que nos posibilita cuantificar los volúmenes bombeados a partir de las facturas de electricidad.

La mayoría de los sondeos no disponen de elementos para medida de presión, con la que se podría llevar un control de alturas manométricas lo que facilitaría el seguimiento y evolución de los rendimientos de la instalación.

Las elevaciones de agua han sido estudiadas a través de las encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo realizadas al efecto. En todas las instalaciones estudiadas se ha determinado experimentalmente la relación entre los consumos de energía y los volúmenes bombeados, reflejando los resultados de las citadas encuestas en las fichas que se adjuntan en el Anexo A-7. Junto a esta información se adjunta la situación de las instalaciones sobre un mapa a escala 1:10.000 y una fotografía de la instalación.

Para el cálculo de los volúmenes bombeados se ha tenido en consideración en los casos que ha sido posible los recibos de electricidad de un año completo. En los casos en los que no ha sido posible disponer de todos los recibos, se han extrapolado los datos de otros meses de consumos aparentemente similares para completar el consumo de un año, aplicándose las tarifas correspondientes al año 1.997.

Se han realizado en total 35 encuestas de cuantificación cuyos resultados se resumen en el Cuadro C-27.

**CUADRO 27.- Resumen de las encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo**

Nº INVENTARIO ITGE	SONDEO	ELECTROBOMBAS TIPO POT.(CV)	CAUDAL (l/s)	PROFUND. N.D. (m)	ALT.GEOM. (m)	PÉRDIDAS (m)	ALTURA MANOME (m)	POTEN. ACTIVA (Kw)	RENDIM. INST. (%)	E (m³/KWh)	CONSUM. ENERG. (KWh)	EXTRACCIÓN 1997 (m³)	COSTE ELECTR. (pts)	COSTE ENERG. (pts/Kwh)	COSTE AGUA (pts/m³)
2141-1-0037	C.R. Sobrina1	ALCONZA 20	40	11,69	1	0	12,69	19,64	25,36	5,49	56,410	413.595,4	944.530	16,74	2,28
2141-1-0125	C.R. JUREL	CAPRARI 7,5	12,31	5,5	0	0	5,5	5,52	12,03	8,07	3,312	26.589,6	90.000	27,17	3,38
2141-1-0211	Ponderona	PONPE 27	10	6,52	0	0	6,52	5,52	11,60	5,21	1.987,2	12.960	95.400	48,01	7,36
2140-1-0045	C.R. RANAS	---	50	13,53	0	0	13,53	25,59	25,94	7,03	22.514	158.363,4	399.363,4	17,75	2,52
2141-6-0025	J. de la CRUZ	ESPA 75	40	43	2	0	45	55,20	32,00	1,82	46.386	120.960	420.000	9,054	3,47
2141-1-0069	C.R. Rapales	---	30	10	0	0	10	11,04	26,66	9,78	56.655	554.233,3	1.044.876	18,44	1,88
2141-2-0029	Ayu.Alcudia	CAPRARI 20	8,47	40	30	0,63	70,63	13,49	43,51	2,26	94.396	213.366,86	1.706.103	18,07	8
2141-1-0070	C.R. Rapales	---	15	10,70	0	0	10,70	9,20	17,12	5,86	18.885	110.846,3	364.927	19,32	3,29
2141-1-0050	C.R. Jur./Ben	CAPRARI 50	60	10,4	15	3	28,4	39,96	41,84	5,04	86.980	467.998,56	1.578.027	18,22	3,37
2141-1-0182	C.R. JUREL	CAPRARI 20	40	8,1	0	0	8,1	15,432	20,60	9,33	25.547	238.386	445.328	17,43	1,86
2141-1-0039	C.R. Sobrina2	ALCONZA 20 160-MA-2	14	9,48	0	0	9,48	9,84	13,23	5,12	14.650	75.036,52	293.614	20,04	3,91
2141-1-0241	C.R. Sobrina3	ALCONZA 20 160-MB	18	9,50	0	0	9,5	11,78	14,24	5,5	14.650	80.587,2	293.614	20,04	3,64

**CUADRO 27.- Resumen de las encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo**

Nº INVENTARIO ITGE	SONDEO	ELECTROBOMBA	CAUDAL (l/s)	PROFUND. N.D. (m)	ALT.GEOM. (m)	PÉRDIDAS (m)	ALTURA MANOMET. (m)	POTEN. ACTIVA (Kw)	RENDIM. INST. (%)	E (m³/KWh)	CONSUM. ENERG. (KWh)	EXTRACCIÓN 1997 (m³)	COSTE CI. ELECTR. (pts)	COSTE ENERG. (pts/Kwh)	COSTE AGUA (pts/m³)
		TIPO POT.(CV)													
2141-1-0041	C.R. Torres1	CAPRARI 10	20	7,28	0	0	7,28	7,36	19,41	9,78	22.926,5	224.280	411.569	17,95	1,83
2141-1-0120	C.R. Torres2	CAPRARI 7,5	14	5	0	0	5	5,52	12,44	9,13	11.463,25	104.664,17	212.005	18,49	2,02
2141-1-0043	C.R. Torres3	CAPRARI 7,5	14	6,3	0	0	6,3	5,52	15,68	9,13	11.463,25	104.664	212.005	18,49	2,02
2141-1-0088	C.R. LUPE	CAPRARI 25 P8C/9/24	50	8,70	4	6	18,70	16,31	56,25	11,03	38.039	419.805	651.406	17,12	1,55
2239-5-0041	C.R. ANGEL	IVECO 20	12	11	0	0	11	11	11,77	2,93	19.800	77.760	604.800	30,54	7,77
2139-8-0018	C.R. Smarcos	SISTEM 9	10	45,5	0	0	45,5	10,169	43,90	2,124	4.040	14.302,08	111.761	27,66	7,81
2240-2-0019	PAJONAR	--- 3,5	3	2,79	4	0,364	7,154	1,84	11,44	4,89	1.084	6.362,61	31.387	28,95	4,93
2240-1-0009	RECHE	--- 5	7,66	7,27	4	0,55	11,82	4,48	19,83	6,15	540	3.323,73	13.041	24,15	3,92
2240-1-0011	FUENTE ACREVITE	FINS 2	4,5	2,25	7	0,76	10,01	1,49	29,64	10,87	3.275	35.607,38	65.373	19,96	1,83
2240-7-0035	RELIANO	--- 10	10	12,4	20	10,5	42,9	9,15	46,01	3,93	20.266	79.740	535.083	26,40	6,71
2240-7-0031	C.R. Rejano	--- 40	50	14,63	10	6	30,63	33,86	44,38	5,31	35.553	189.000	800.478	22,51	4,23
2240-1-0004	F. TAPIA	--- 16	7	36,25	1,5	0,12	37,87	11,776	22,09	2,14	8.478,72	18.144	81.936	9,66	4,51
2239-5-0051	VEC.ZÚJAR	CAMPEÓN 10	10	6,2	0	0	6,2	7,36	8,26	4,89	5.299,2	25.920	69.120	13,04	2,66

**CUADRO 27.- Resumen de las encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo**

Nº INVENTARIO ITGE	SONDEO	ELECTROBOMBA TIPO POT.(CV)	CAUDAL (l/s)	PROFUND. N.D. (m)	ALT.GEOM. (m)	PÉRDIDAS (m)	ALTURA MANOME. (m)	POTEN. ACTIVA (Kw)	RENDIM. INST. (%)	E (m³/KWh)	CONSUM. ENERG. (KWh)	EXTRACCIÓN 1997 (m³)	COSTE CI ELECTR. (pta)	COSTE ENERG. (pta/KWh)	COSTE AGUA (pta/m³)
2139-8-0019	Ayu.FREILA	CAPRARI 14	18	8,20	80	4,8	93	26,05	63,05	2,48	83,150	206.841,6	1.259.196	15,14	6,08
2139-8-0020	Ayu.FREILA	CAPRARI 5	3,5	30	0	0	30	4,34	23,74	2,9	1,022	2.967,04	33.516	32,79	11,29
2240-2-0085	C.TORTAN	---	85	9,24	0	0	9,24	30,87	24,96	9,91	13,760	136.396,4	254.820	18,51	1,86
2140-4-0009	C.R.Smarcos	---	90	38,10	0	0	38,10	56,28	59,79	6,39	91,050	524.167,2	1.304.931	14,33	2,48
2240-2-283	Ayu.Caniles	---	80	15,2	0	0	15,2	96,22	12,40	2,80	160,980	481.835	3.345.003	20,77	6,94
2240-2-284	Ayu.Caniles	---	80	11,4	20	8,96	40,36	85,14	37,21	3,17	160,980	544.538,8	3.345.003	20,77	6,14
2240-2-0039	Ayu.Caniles	---	25	21	0	0	21	36,8	14	2,44	44,160	108.000	445.200	10,08	4,12
2240-1-0022	Ayu. BAZA	Worthington 130	30	121,5	0	0	121,5	101,45	35,25	1,064	299,946	319.311	5.309.009	17,69	16,62
2240-1-0023	Ayu. BAZA	Worthington 140	30	121,5	0	0	121,5	97,959	36,51	1,102	299,946	330.696	5.309.009	17,69	16,05
2240-1-0007	MANCOTA	FENSA 0,75	2	0,631	2,5	0	3,131	0,451	13,62	15,9	263	4.198,61	12.842	48,82	3,06

(\*) Se han aplicado tarifas correspondientes a 1.997



## **7.- BIBLIOGRAFÍA**

## **7.- BIBLIOGRAFÍA**

- Benavente y Sanz de Galdeano, 1985. "Relación de las direcciones de karstificación y del termalismo con la fracturación en las Cordilleras Béticas. Estud.Geol.,41.
- CHS, 1998 "Estudio de actualización de series hidrológicas y recursos regulados en la Cuenca del Guadalquivir en los años 88/89 a 94/95.
- Cruz S.Julián et alt, 1990. "Estudio hidrogeológico del sector de Baza (Granada). Informe técnico" (inédito).
- Gollonet et alt, 1986. "Climatología del norte de la provincia de Almería. Consideraciones sobre el cálculo de lluvia útil en clima árido y semiárido". El Agua en Andalucía.
- Goy et alt, 1989. "Geomorfología y evolución dinámica del sector suroriental de la Cuenca de Guadix-Baza (área de Caniles)".

- Guerra Merchan, 1992. "Origen y relleno sedimentario de la cuenca neógena del corredor del Almanzora y áreas limítrofes (Cordillera Bética)" (Tesis doctoral).
- Hidalgo Estévez, 1993. "Estudio hidroquímico del acuífero de Baza-Caniles (Provincia de Granada)" (Tesis doctoral).
- IGME, 1981. "Modelo matemático de la Depresión de Guadix".
- IGME, 1981. "Informe de evolución piezométrica y estado de explotación del sistema acuífero de Guadix".
- IGME, 1984. "Proyecto de optimización en el uso de los recursos hidráulicos de la vega de Guadix mediante bombeo y recarga artificial del acuífero".
- IGME, 1988. "Estudio hidrogeológico para la mejora de los riegos de la Hoya de Baza (Granada)".
- IGME, 1988. "Recarga artificial en Guadix".
- IGME-FAO, 1970. "Proyecto de investigación hidrogeológica de la cuenca del Guadalquivir".
- IGME-FAO, 1972. "Proyecto de utilización de las aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la zona de Guadix".
- ITGE, 1989. "Recarga artificial del acuífero de Guadix".
- ITGE, 1989. "Proyecto para la realización de una experiencia de recarga artificial en Guadix (Granada), con el dispositivo hidráulico actual".

- ITGE, 1990. "Resumen del Proyecto de Asesoramiento a las Administraciones Públicas en materia de aguas subterráneas en la Cuenca Alta del Guadalquivir (1ª fase)".
- ITGE, 1991. "Informe hidrogeológico sobre la evolución de niveles, seguimiento de limnógrafos y aforos en el acuífero de Baza-Caniles".
- ITGE, 1995. "Informe de actualización hidrogeológica en la unidad de Guadix-Marquesado como apoyo a la modelización del acuífero".
- ITGE, 1997. "Informe sobre las investigaciones hidrogeológicas puntuales en la cabecera del río Gor y adyacentes (U. de Sierra de Baza) para la integración de sus recursos en los abastecimientos urbanos (sectores occidental y oriental)".
- ITGE, 1998. "Informe final del sondeo como mejora del abastecimiento a Baza (Granada). Sondeo Atalaya III".
- ITGE. Memorias de las hojas geológicas:
  - . 971 "Cuevas del Campo"
  - . 972 "Cúllar-Baza"
  - . 993 "Benalúa de Guadix"
  - . 994 "Baza"
  - . 1.011 "Guadix"
  - . 1.012 "Fiñana"
  - . 1.028 "Aldeire"
- ITGE-CHG, 1997. Modelo matemático de flujo de la unidad hidrogeológica 05.12 "Guadix-Marquesado" (Granada).
- SGOP, 1989. "Cartografía para la situación de sondeos de reconocimiento e investigación en Baños de Zújar, Cuenca del Guadalquivir".

- Viseras Alarcón, 1991.-. Estratigrafía y sedimentología del relleno aluvial de la cuenca de Guadix (Cordilleras Béticas).Tesis doctoral.