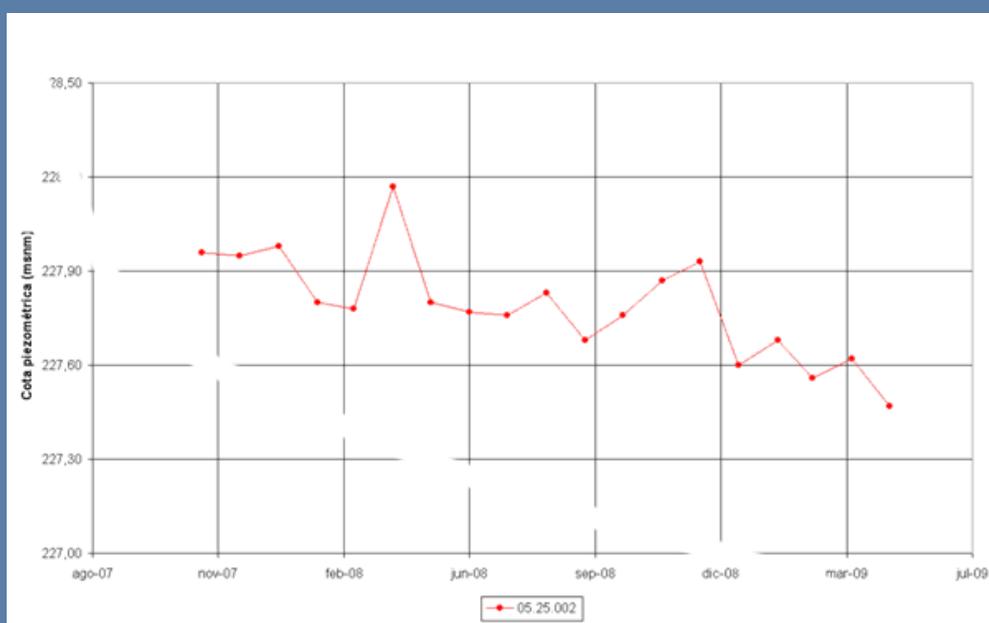


ENCOMIENDA DE GESTIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE TRABAJOS DE APOYO A LA SOSTENIBILIDAD Y PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERÁNEAS

Actividad 3: Seguimiento y asistencia técnica en el proceso de planificación hidrológica



Informe sobre la propuesta de declaración de sobreexplotación de un conjunto de masas de agua subterránea situadas en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir

Diciembre, 2010



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA
E INNOVACIÓN

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL Y MARINO



Instituto Geológico
y Minero de España

DIRECCIÓN GENERAL
DEL AGUA

ENCOMIENDA DE GESTIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE
TRABAJOS DE APOYO A LA SOSTENIBILIDAD Y
PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Actividad 3.- Seguimiento y asistencia técnica en el
proceso de planificación hidrológica

INFORME SOBRE LA PROPUESTA DE DECLARACIÓN DE
SOBREEXPLOTACIÓN DE UN CONJUNTO DE MASAS DE
AGUA SUBTERRÁNEA SITUADAS EN LA DEMARCACIÓN
HIDROGRÁFICA DEL GUADALQUIVIR

Diciembre, 2010

Este informe se realiza en el marco de la Encomienda de Gestión entre el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (Dirección General del Agua) y el Ministerio de Ciencia e Innovación (Instituto Geológico y Minero de España).

Responsable de la actividad

Juan Antonio López Geta

Coordinación de los trabajos

Juan Antonio López Geta
Loreto Fernández Ruiz

Equipo de trabajo

Antonio González Ramón. Masa de aguas subterránea 05.23.Úbeda

Claus Kofhma. Masa de agua subterránea.05.49 Gerena-Posadas.

Crisanto Martínez Montañés: Masas de aguas subterránea 05.24. Bailén-Guarromán-Linares; 05.041. Guadahortuna-Larva; 05.25. Rumblar.

Juan Carlos Rubio Campos. Masa de aguas subterránea 05.04 Huéscar-Puebla

Sergio Martos Rosillo. Masas de aguas subterráneas 05.43. Sierra y Mioceno de Estepa y 05.38. El Pedroso-Árcas

ÍNDICE SINTÉTICO

1. Introducción
 2. Procedimiento de declaración de sobreexplotación
 3. Metodología
 4. Propuesta de declaración de sobreexplotación
 5. Recomendaciones
 6. Estado del conocimiento de las masas de agua subterráneas (MASb).
- Referencias (Documentación utilizada)

ÍNDICE GENERAL

1.	Introducción.....	1
2.	Declaración de sobreexplotación.....	1
3.	Metodología	1
4.	Propuesta de declaración de sobreexplotación	2
4.1.	MASb 05.04. Huéscar-Puebla de D. Fadrique.....	3
4.2.	MASb 05.23.Úbeda	5
4.3.	MASb 05.24. Bailén-Guarromán-Linares	6
4.4.	MASb 05.25.Rumblar.....	7
4.5.	MASb 05.38. El Pedroso-Arcas	8
4.6.	MASb 05.41.Guadahortuna-Larva.....	9
4.7.	MASb 05.43. Sierra y Mioceno de Estepa	10
4.8.	MASb 05.49. Niebla-Posadas	13
5.	Recomendaciones	15
5.1.	MASb 05.04.Huéscar-Puebla de D. Fadrique.....	15
5.2.	MASb 05.23.Úbeda	15
5.3.	MASb 05.24.Bailén-Guarromán-Linares	16
5.4.	MASb 05.25.Rumblar.....	16
5.5.	MASb 05.38. El Pedroso-Árcas	16
5.6.	MASb 05.41. Guadahortuna-Larva.....	17
5.7.	MASb 05.43. Sierra y Mioceno de Estepa	17
5.8.	MASb 05.49. Niebla-Posadas	17
6.	Estado del conocimiento de las masas de agua subterránea	19
6.1.	<u>Masa de aguas subterráneas 05.04 Huéscar-Puebla de D. Fadrique</u>	21
1.	Introducción	21
2.	Aspectos generales de la masa de aguas subterráneas	21
2.1.	Situación y límites	21
2.2.	Ecosistemas asociados	21
3.	Marco geológico e hidrogeológico	24
3.1.	Antecedentes	24
3.2.	Los acuíferos de la masa de aguas subterránea	25
3.3.	Redes de control.....	28
3.4.	Evolución espacial y temporal de la piezometría e hidrometría. Consideraciones sobre la evolución hidrodinámica	29
3.5.	Hidroquímica. Variación espacial y temporal	33
3.6.	Explotación por bombeo de la masa de agua subterránea y balance hídrico	39
4.	Consideraciones	40
6.2.	<u>Masa de agua subterránea 05.23. Úbeda</u>	47
1.	Introducción	47
2.	Aspectos generales de la masa de aguas subterráneas.....	47
2.1.	Situación y límites	47
2.2.	Ecosistemas asociados	48
3.	Marco geológico	50
4.	Marco hidrogeológico	51
4.1.	Antecedentes	51
4.2.	Los acuíferos en la masa de aguas subterránea.....	52
4.3.	Redes de control.....	53
4.4.	Piezometría. Evolución espacial y temporal.....	55
4.5.	Hidrometría. Evolución espacial y temporal	65

4.6.	Hidroquímica y contenido isotópico.....	67
4.7.	Explotación por bombeo	75
5.	Balance hídrico. Entradas y salidas.....	76
6.	Consideraciones	78
6.3.	<u>Masa de agua subterránea 05.24. Bailén-Guarromán-Linares</u>	80
1.	Introducción	80
2.	Aspectos generales de la masa de aguas subterráneas.....	80
2.1.	Situación y límites	80
2.2.	Ecosistemas asociados	81
3.	Marco geológico	81
4.	Marco hidrogeológico	81
4.1.	Antecedentes	81
4.2.	Los acuíferos de la masa de aguas subterránea.....	83
4.3.	Redes de control.....	86
4.4.	Piezometría. Evolución espacial y temporal.....	87
4.5.	Hidroquímica. Variación espacial y temporal	89
4.6.	Explotación por bombeo	91
4.7.	Relación-río-acuífero	91
5.	Balance hídrico. Entradas y salidas.....	95
6.	Consideraciones	95
6.4.	<u>Masa de agua subterránea 05.25. Rumblar</u>	97
1.	Introducción	97
2.	Aspectos generales de la masa de aguas subterráneas.....	97
2.1.	Situación y límites	97
2.2.	Ecosistemas asociados	98
3.	Marco geológico	98
4.	Marco hidrogeológico	100
4.1.	Antecedentes	100
4.2.	Los acuíferos de la masa de aguas subterránea.....	100
4.3.	Redes de control.....	103
4.4.	Piezometría. Evolución espacial y temporal.....	104
4.5.	Hidroquímica. Variación espacial y temporal	104
4.6.	Explotación por bombeo	105
4.7.	Relación río-acuífero	106
5.	Balance hídrico. Entradas y salidas.....	109
6.	Consideraciones	109
6.5.	<u>Masa de agua subterránea 05.38. El Pedroso-Árcas</u>	110
1.	Introducción	110
2.	Aspectos generales de la masa de aguas subterráneas.....	110
2.1.	Situación y límites	110
2.2.	Ecosistemas asociados	111
3.	Marco geológico	112
4.	Marco hidrogeológico	113
4.1.	Antecedentes	113
4.2.	Los acuíferos de la masa de aguas subterránea.....	114
4.3.	Redes de control.....	116
4.4.	Piezometría. Evolución espacial y temporal.....	117
4.5.	Hidroquímica y contenido isotópico.....	117
4.6.	Explotación por bombeo	118
5.	Balance hídrico. Entradas y salidas.....	118

6. Consideraciones	119
6.6. <u>Masa de agua subterránea 05.41. Guadahortuna-Larva</u>	120
1. Introducción	120
2. Aspectos generales de la masa de aguas subterráneas.....	120
2.1. Situación y límites	120
2.2. Ecosistemas asociados	122
3. Marco geológico	122
4. Marco hidrogeológico	124
4.1. Antecedentes	124
4.2. Los acuíferos de la masa de aguas subterránea	124
4.3. Redes de control.....	137
4.4. Piezometría. Evolución espacial y temporal.....	138
4.5. Hidroquímica. Variación espacial y temporal	139
4.6. Explotación por bombeo	140
4.7. Relación río-acuífero	141
5. Balance hídrico. Entradas y salidas.....	144
6. Consideraciones	146
6.7. <u>Masa de agua subterránea 05.43. Sierra y Mioceno de Estepa</u>	148
1. Introducción	148
2. Aspectos generales de la masa de aguas subterráneas.....	148
2.1. Situación y límites	148
2.2. Ecosistemas asociados	149
3. Marco geológico	152
4. Marco hidrogeológico	153
4.1. Antecedentes	153
4.2. Los acuíferos de la masa de aguas subterránea	154
4.3. Redes de control.....	159
4.4. Piezometría e hidrometría. Evolución espacial y temporal	162
4.5. Hidroquímica. Variación espacial y temporal	166
4.6. Explotación por bombeo	178
5. Balance hídrico. Entradas y salidas.....	179
6. Consideraciones	183
6.8. <u>Masa de agua subterránea 05.49. Gerena-Posadas</u>	186
1. Introducción	186
2. Aspectos generales de la masa de aguas subterráneas	186
3. Marco geológico e hidrogeológico	187
4. Caracterización de la situación hidrogeológica de la masa de agua y/o de los acuíferos.....	187
4.1. Redes de control	189
4.2. Explotación.....	189
4.3. Evolución piezométrica.....	190
4.4. Evolución hidroquímica del agua subterránea.....	194
5. Balance hídrico.....	196
6. Consideraciones	197

Índice de tablas

Tabla 1.-	Red Piezométrica de la MASb 05.04.Huéscar–Puebla de D. Fadrique.....	28
Tabla 2.-	Red Hidrométrica de la MASb 05.04.Huéscar–Puebla de D. Fadrique.....	28
Tabla 3.-	Red de Calidad de la MASb 05.04.Huéscar–Puebla de D. Fadrique	28

Tabla 4.-	Relación de concesiones otorgadas y a otorgar. Datos de la Agencia Andaluza del Agua	43
Tabla 5.-	Valores representativos del funcionamiento del acuífero que drena hacia Fuencaliente en régimen natural y con las explotaciones otorgadas o por otorgar. Datos Agencia Andaluza del Agua.....	46
Tabla 6.-	Redes oficiales de la MASb 05.23.	54
Tabla 7.-	Red de control del IGME	54
Tabla 8.-	Resumen. Evaluación de extracciones en la UH 23. Úbeda. Extracciones de agua	75
Tabla 9.-	Explotación para riego en la MASb 05.24.....	91
Tabla 10.-	Modelo conceptual de la relación río-acuífero para cada tramo.....	94
Tabla 11.-	Cuantificación para cada tramo	94
Tabla 12.-	Características del piezómetro de control.....	103
Tabla 13.-	Explotación para riego en la MASb 05.25.....	106
Tabla 14.-	Modelo conceptual de la relación río-acuífero para cada tramo.....	108
Tabla 15.-	Características químicas de las aguas subterráneas de los acuíferos carbonáticos de la MASb	118
Tabla 16.-	Características químicas de las aguas subterráneas de los acuíferos calcareníticos de la MASb.....	118
Tabla 17.-	Explotación de bombeo para riego.....	140
Tabla 18.-	Modelo conceptual de la relación río-acuífero para cada tramo.....	144
Tabla 19.-	Cuantificación para cada tramo	144
Tabla 20.-	Puntos de control piezométrico de la AAA en la MASb 050.043.	159
Tabla 21.-	Puntos de control hidrométrico de la AAA en la MASb 050.043.....	159
Tabla 22.-	Puntos de control de calidad de la AAA en la MASb 050.043.	159
Tabla 23.-	Ensayo de balance hídrico del acuífero de la Sierra de Becerrero (Martos-Rosillo 2008)	180
Tabla 24.-	Ensayo de balance hídrico del acuífero de Águilas-Guinchón (Martos-Rosillo 2008)	181
Tabla 25.-	Ensayo de balance hídrico de los acuíferos de Sierra de los Caballos y Sierra de Almadenes (IGME 2002b)	182
Tabla 26.-	Ensayo de balance hídrico de los acuíferos detríticos de la MASb (Durán 2003)	182
Tabla 27.-	Balance hídrico por sectores en hm ³ /a	196

Índice de figuras

Figura 1.-	Contexto hidrogeológico de la M. A. S 05.04 Huéscar-Puebla y ubicación de los puntos de medida piezométricos y de hidrometría y estaciones meteorológicas.....	22
Figura 2.-	Mapa isotrópico de la relación río-acuífero masa de agua subterránea 05.04 (Huescar-Puebla de D. Fadrique).....	23
Figura 3.-	Caracterización geológica e hidrogeológica de los materiales de los dominios donde se ubican los acuíferos principales.....	25
Figura 4.-	Corte-esquema representativo del manantial de Parpacén (223840009) (IGME-Dip. Granada 2007).....	27
Figura 5.-	Corte-esquema representativo del manantial de Fuencaliente (223840007) (IGME-Dip. Granada 2007).....	27
Figura 6.-	Redes de Control de la MASb 05.04.Huéscar –Puebla de D. Fabrique	29
Figura 7.-	Evoluciones de los piezómetros más representativos y relación con las precipitaciones y sus desviaciones acumuladas respecto de la media (datos mensuales)	30
Figura 8.-	Evoluciones hidrométricas y su relación con las precipitaciones y sus desviaciones acumuladas respecto de la media (datos mensuales)	31
Figura 9.-	Desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación anual	31

Figura 10.-	Desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación mensual y niveles en el piezómetro S-34 (2337 6 002)	32
Figura 11.-	Desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación mensual y caudales aforados en el manantial de Fuencaliente	32
Figura 12.-	Mapa de calidad química de referencia. Facies hidrogeoquímicas. Masa Huéscar-Puebla D. Fadrique	34
Figura 13.-	Niveles de referencia. Diagramas de cajas. 05.04 Huéscar-Puebla de D. Fadrique.....	35
Figura 14.-	Evolución para diferentes puntos de control, de NH_4^+ , NO_3^- y NO_2^-	36
Figura 15.-	Evolución para diferentes puntos de control, de Ct, conductividad y SO_4^-	37
Figura 16.-	Evolución para diferentes puntos de control, de Cd, Hg y Pb total	38
Figura 17.-	Media/Máxima de los puntos de control de Calidad de la MAS 05.04. Huéscar -Puebla de D. Fadrique.....	39
Figura 18.-	Localización de las concesiones otorgadas y por otorgar en la MASb de Huéscar-Puebla	44
Figura 19.-	Valores futuros simulados en dos piezómetros de control y en el manantial de Fuencaliente considerando las explotaciones otorgadas y por otorgar	45
Figura 20.-	Situación de la MASb 05.23 Úbeda	48
Figura 21.-	Mapa de formaciones permeables de la MASb 05.23 Úbeda	53
Figura 22.-	Plano de isopiezas del acuífero mioceno y jurásico de la Loma de Úbeda (DGOH-IGME, 2001)	56
Figura 23.-	Plano de isopiezas del acuífero jurásico y triásico de la Loma de Úbeda. Periodo abril-mayo de 1996.....	57
Figura 24.-	Plano de isopiezas del acuífero jurásico y triásico de la Loma de Úbeda. Periodo marzo de 2004.....	58
Figura 25.-	Red de control del IGME en el acuífero de la Loma de Úbeda	60
Figura 26.-	Evolución del nivel piezométrico en los puntos de la red de control de la Masa de Agua Subterránea 05.23 Úbeda	60
Figura 27.-	Registro mediante sensor en el piezómetro 213630051 entre abril de 2001 y agosto de 2005 y datos diarios de pluviometría de la estación climática de la CAP ubicada en Sabiote	61
Figura 28.-	Registro piezométrico para el periodo julio 05-octubre 09 en los sondeos ubicados en el acuífero jurásico libre y datos diarios de pluviometría de la estación climática de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía ubicada en Sabiote	62
Figura 29.-	Registro piezométrico para el periodo abril 01-octubre 09 en los sondeos situados en la zona confinada y datos diarios de pluviometría de la estación climática de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía ubicada en Sabiote	63
Figura 30.-	Resultados de los aforos de las descargas del acuífero Jurásico de la Loma de Úbeda (2003-2004)	66
Figura 31.-	Situación de los puntos de agua muestreados en los acuíferos de la Loma de Úbeda.....	68
Figura 32.-	Diagrama de Piper general de los puntos muestreados	69
Figura 33.-	Distribución espacial de la temperatura en el agua subterránea relacionada con el acuífero jurásico	70
Figura 34.-	Distribución espacial del contenido en sulfatos en las aguas relacionadas con los acuíferos jurásico y triásico.....	71
Figura 35.-	Relación del contenido en nitratos (izquierda) y amonio (derecha) con la temperatura del agua.....	71
Figura 36.-	Relación del contenido en bicarbonatos con la temperatura del agua (izquierda) y con la coordenada UTM Y (derecha)	72
Figura 37.-	Relación del contenido en sodio (izquierda) y la suma del calcio y el magnesio (derecha) con la temperatura del agua. Abajo, relación entre ambos iones	73

Figura 38.-	Relación entre los valores de Oxígeno-18 y Deuterio en el agua subterránea de los acuíferos de la Loma de Úbeda	74
Figura 39.-	Relación del contenido en tritio del agua subterránea con la temperatura del agua medida en campo.....	74
Figura 40.-	Situación de la MASb 05.24 Bailén-Guarromán-Linares.....	80
Figura 41.-	Mapa geológico de la MASb 05.24 Bailén-Guarromán-Linares	82
Figura 42.-	Mapa litológico y de permeabilidad de la MASb 05.24 Bailén-Guarromán-Linares.....	84
Figura 43.-	Corte hidrogeológico esquemático del acuífero de Bailén-Guarromán	85
Figura 44.-	Distribución espacial de las estaciones de seguimiento en la MAS 05.24.....	87
Figura 45.-	Mapa piezométrico del Acuífero de Bailén-Guarromán en enero de 2000 (Tomado de Martín Montañés, 2007)	88
Figura 46.-	Evolución temporal del contenido en nitratos del agua de la MAS 05.24 "Bailén-Guarromán-Linares"	89
Figura 47.-	Tramos de los principales ríos y arroyos incluidos en la poligonal envolvente de la MASb	93
Figura 48.-	Situación de la MASb 05.25 "Rumblar"	97
Figura 49.-	Mapa geológico de la MASb 05.25 "Rumblar"	99
Figura 50.-	Mapa hidrogeológico de la MASb 05.25 "Rumblar"	102
Figura 51.-	Distribución espacial de las estaciones de seguimiento en la MASb 05.25. ...	103
Figura 52.-	Evolución piezométrica de la MASb 05.25.	104
Figura 53.-	Evolución temporal del contenido en nitratos del agua de la MAS 05.25 "Rumblar".....	105
Figura 54.-	Tramos de los principales ríos y arroyos incluidos en la poligonal envolvente de la MASb	107
Figura 55.-	Situación de la MASb (IGME 2010)	110
Figura 56.-	Ecosistemas asociados a las MASb.....	112
Figura 57.-	Acuíferos de las MASb.	115
Figura 58.-	Punto de control de las MASb	117
Figura 59.-	Situación de la MASb 05.41 "Guadahortuna-Larva"	121
Figura 60.-	Mapa geológico de la MASb 05.41 "Guadahortuna-Larva".....	123
Figura 61.-	Mapa hidrogeológico con las subunidades y trazas de los cortes hidrogeológicos de la MASb	126
Figura 62.-	Mapa hidrogeológico de la Subunidad Larva-Solera. (ITGE-Dip. Jaén 1997). 127	
Figura 63.-	Corte A-A´ de la Subunidad Larva-Solera. (ITGE-Dip. Jaén 1997)	127
Figura 64.-	Mapa hidrogeológico de la Subunidad Gante-Santerga. (ITGE-Dip. Jaén 1997).....	132
Figura 65.-	Corte A-A´ de la Subunidad Gante-Santerga. (ITGE-Dip. Jaén 1997).....	133
Figura 66.-	Distribución espacial de las estaciones de seguimiento en la MASb 05.41. ...	138
Figura 67.-	Evolución piezométrica de los acuíferos de Cabra del Santo Cristo y Larva de la MASb 05.041.	139
Figura 68.-	Tramos de los principales ríos y arroyos incluidos en la poligonal envolvente de la MASb	142
Figura 69.-	Hidrograma del manantial Arroyo de Gante (203930021)	143
Figura 70.-	Situación de la MASb 05.43 Sierra y Mioceno de Estepa.....	150
Figura 71.-	Ecosistemas asociados a la MASb	151
Figura 72.-	Acuíferos de la MASb.....	156
Figura 73.-	Red de control de las aguas subterráneas de la AAA.....	160
Figura 74.-	Puntos de agua utilizados en las gráficas de evolución piezométrica.	161
Figura 75.-	Precipitación mensual, desviación de la precipitación mensual, evolución piezométrica y puntos de control de la Sierra de Becerrero y extracciones anuales. Periodo 1976-2006 (Pluviómetro de Estepa) (Martos-Rosillo 2008).....	162

Figura 76.-	Precipitación mensual, desviación de la precipitación mensual, evolución piezométrica y puntos de control de la unidad geológica del Hacho de Lora-Mingo –Guinchón. Período 1981-2006 (Pluviómetro de Estepa)(Martos-Rosillo 2008).....	163
Figura 77.-	Desviación precipitación mensual media, extracciones mensuales y evolución piezométrica acuífero del Águilas-Guinchón. Período 2001-2006 (Pluviómetro de Lora de Estepa) (Martos-Rosillo 2008).....	164
Figura 78.-	Evolución piezométrica del acuífero de la Sierra de los Caballos correspondientes al periodo 1975-2009.....	165
Figura 79.-	Evolución piezométrica del acuífero de Sierra de Almadenes en el periodo 1994-2009.	165
Figura 80.-	Diagrama de Piper de los principales puntos acuíferos de la Sierra de Estepa, (Martos-Rosillo 2008).....	166
Figura 81.-	Diagramas de Piper y rCa^{2+}/rNa^{+} vs Conductividad eléctrica de los acuíferos de la Sierra de Estepa (Martos-Rosillo 2008).....	167
Figura 82.-	Puntos de agua utilizados en la evaluación hidroquímica	168
Figura 83.-	Evolución temporal del nivel piezométrico, recarga, y conductividad eléctrica del agua (CE). Sondeo Fuente de Santiago (1641/1/0001). Período 1978-2006 (Martos-Rosillo 2008).....	170
Figura 84.-	Evolución temporal del nivel piezométrico, recarga y conductividad eléctrica del agua (CE). Sondeo de abastecimiento a Gilena (1541/4/0024). Período 1977-2006 (Martos-Rosillo 2008).....	171
Figura 85.-	Evolución temporal del nivel piezométrico, recarga y conductividad eléctrica del agua (CE). Sondeo de abastecimiento a Pedrera (1541/4/0044). Período 1977-2006 (Martos-Rosillo 2008).....	173
Figura 86.-	Evolución temporal del nivel piezométrico, recarga y conductividad eléctrica. Sondeo Algaidilla (6541/1/0051). Período 2003-2006.	174
Figura 87.-	Evolución temporal del nivel piezométrico, recarga y conductividad. Sondeo de abastecimiento a Casariche (1641/1/0025). Período 1981-2006 (Martos-Rosillo 2008)	176
Figura 88.-	Extracciones anuales por bombeo en el acuífero de la Sierra de Becerrero (Período 1976-2006) (Martos-Rosillo 2008)	178
Figura 89.-	Extracciones anuales por bombeo, recarga anual y evolución de la mediana de los niveles piezométricos del acuífero de la Sierra de Becerrero (Período 1997-2006) (Martos-Rosillo 2008).....	180
Figura 90.-	Extracciones mensuales por bombeo, recarga mensual y evolución del nivel piezométrico del acuífero de Águilas- Guinchón (Período 2001-2006). (Martos-Rosillo 2008)	182
Figura 91.-	Límites de M.A.S: 05.049 y ubicación de piezómetros monitorizados	186
Figura 92.-	Geometría del acuífero en el sector Brenes Burguillos (IGME 1983)	187
Figura 93.-	Precipitación acumulativa (fuente de datos: Consejería de Agricultura y Pesca 2010).....	190
Figura 94.-	Evolución de niveles piezométricos del sector Niebla-Gerena	191
Figura 95.-	Evolución de niveles piezométricos del sector Gerena-Cantillana	192
Figura 96.-	Evolución de niveles piezométricos del sector Cantillana–Lora del Río	193
Figura 97.-	Evolución de niveles piezométricos del sector Lora del Río-Hornachuelo	194
Figura 98.-	Puntos de la red de calidad con contenidos de cloruro por encima de 250 mg/L	195
Figura 99.-	Series de tiempo de conductividad eléctrica hasta 2002. Ubicación de puntos en la figura 100.....	195
Figura 100.-	Series de tiempo de conductividad eléctrica hasta 2002.....	196

1. INTRODUCCIÓN

Con fecha 29 de septiembre de 2007 se suscribió entre el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (Dirección General del Agua), y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), del Ministerio de Ciencia e Innovación, la Encomienda de Gestión "Realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas", que viene a dar continuidad a anteriores convenios de colaboración, con el fin de compartir con el IGME su conocimiento territorial y experto. Entre las actividades previstas en dicha encomienda, se encuentra la número, 3, denominada *Seguimiento y asistencia técnica en el proceso de planificación hidrológica*, en la cual se enmarca el presente Estudio.

Siguiendo los planteamientos recogidos en la encomienda, se establece como objetivo principal el de ofrecer apoyo técnico, a la actualización de los Planes hidrológicos de cuenca en materia de aguas subterráneas

Es precisamente en este sentido en el que se formula el presente estudio, como asesoramiento experto solicitado por la Oficina de Planificación de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, con el fin de evaluar el estado de una serie de masas de aguas subterráneas, en cuanto a su posible declaración de sobreexplotación o en riesgo de estarlo.

2. DECLARACIÓN DE SOBREEXPLOTACIÓN

El procedimiento para la declaración de acuíferos sobreexplotados está recogido en el artículo 56 y en el 87.2 del texto Refundido de la Ley de aguas y en el artículo 171.2 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RD 606/2003, de 23 de mayo), establece: "A los efectos previstos en el apartado anterior, se considerará que los recursos subterráneos de una zona están sobreexplotados o en riesgo de estarlo cuando se dé algunas de las siguientes condiciones:

- a) Que se esté poniendo en peligro la subsistencia de los aprovechamientos de aguas subterráneas existentes o de los actuales ecosistemas directamente asociados a esta agua que hayan sido objeto de delimitación y posterior declaración conforme a la legislación ambiental, como consecuencia de que se vinieran realizando en los acuíferos de la zona extracciones medias anuales superiores o muy próximas al volumen medio interanual de recarga.
- b) Que se venga realizando extracciones que generen un deterioro significativo de la calidad del agua.
- c) Que el régimen y concentración de las extracciones sea tal que, aún no existiendo un balance global desequilibrado, se esté poniendo en peligro la sostenibilidad de los aprovechamientos a largo plazo".

3. METODOLOGÍA

Con el objetivo de prescribir el estado en que se encuentran las diferentes masas de aguas subterráneas (en adelante MASb) incluidas en este estudio, en los términos que señala en el artículo 56 y en el 87.2 del texto Refundido de la Ley de aguas y en el artículo 171 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RD 606/2003, de 23 de mayo de Aguas), se ha desarrollado una metodología basada en determinar el balance hídrico en cada masa de agua subterránea o sectores y/o estudiar la evolución de los niveles piezométricos a lo largo de los años en esas masas o sectores de estas masas. Esto permite conocer el grado de influencia de los aprovechamientos en la evolución de los niveles piezométricos en el acuífero. En

el caso de cumplirse alguno de los supuestos recogidos en la legislación, la MASb o los acuíferos o sectores identificados en ella podrán ser propuestos para ser declarados sobreexplotados o en riesgo de estarlo.

Para ello, se han desarrollado las siguientes actividades:

- Recopilación de la información geológica e hidrogeológica existente en la zona donde se ubica la masa.
- Recopilación de los datos aportados por las redes piezométricas, ubicación, características hidrogeológicas de cada uno de esos puntos, series históricas de niveles de agua y temporalidad.
- Recopilación de los datos físico-químicos de las aguas subterráneas, red de control disponible y temporalidad de las series históricas de datos.
- Recopilación de las entradas de agua a cada una de las MASb, procedentes de la infiltración del agua de lluvia, de los retornos de riego o de entradas laterales procedentes de otras MASb.
- Recopilación de las extracciones mediante bombeos, salidas por manantiales, a ríos, por evapotranspiración o laterales a otros acuíferos.
- Recopilación del balance hídrico y grado de contaminación de las aguas subterráneas.

Se ha realizado un diagnóstico de la situación de cada MASb, en cuanto su grado de conocimiento, especialmente en lo que se refiere a las características de la geometría de la masa o de los acuíferos identificados en cada una de ellas, parámetros hidráulicos, funcionamiento hidrodinámico, elementos del balance hídrico, e información piezométrica físico-química de sus aguas.

4. PROPUESTA DE DECLARACIÓN DE SOBREEXPLOTACIÓN

Con la información disponible se ha tratado de responder a los diferentes supuestos contemplados en la normativa vigente, para definir que una masa de agua subterránea está sobreexplotada o en riesgo de estarlo.

En general, el conocimiento hidrogeológico existente de cada una de las MASb contempladas en este estudio, y cuyos datos más significativos están recogidos en el punto 6 de este documento, es muy diferente para cada una de ellas. Resaltan el gran desconocimiento de aspectos tan importantes e imprescindibles como la escasez de información actualizada sobre la infiltración del agua de lluvia o de los retornos de riego, no disponiéndose de series pluviométricas de años representativos, ni la valoraciones de esa infiltración para periodos de lluvia secos o húmedos, ni el grado de aprovechamiento de los recursos hídricos y su distribución espacial o la inexistencia en la gran mayoría de las MASb de redes de control piezométrico o de composición de las aguas, con registros históricos muy limitados, o en el caso de disponerse de estos datos, ponen en evidencia la caótica distribución de los puntos de control dejando grandes zonas sin ningún punto de control.

Estas carencias de información condicionan el establecer con suficiente fiabilidad la situación actual de cada una de esas masas, lo que dificulta la toma de decisión en cuanto a su declaración como MASb sobreexplotada en su totalidad, aumentando esta dificultad aún más, la posible diferenciación de acuíferos o sectores independientes en esas masas de aguas subterráneas. Aunque con esas debilidades se ha considerado como más adecuado declarar como sobreexplotado todo el territorio abarcado por la MASb estudiada, con la convicción de que esta medida ayudará a una mejor gestión de ésta y a su recuperación, dejando pendiente su sectorización a la elaboración del Plan de Ordenación de las Extracciones, estableciendo en cada uno de los sectores identificados, unas condiciones

específicas de aprovechamiento o en su caso la aplicación de la Norma de explotación o de aprovechamiento, en el caso de existir o elaborarla si no se dispone de ella.

En los puntos siguientes se incluye la propuesta de declaración para cada una de las MASb, y los fundamentos técnicos en los que se basa y que corresponden a las principales consideraciones hidrogeológicas de la MASb desarrolladas en el apartado 6 de este documento.

4.1. MASb 05.04. Huéscar-Puebla de D. Fadrique

Propuesta

La evolución piezométrica e hidrométrica de los manantiales en la MASb de Huescar -Puebla, en los últimos años, así como el balance hídrico, particularmente en los períodos de sequía, ponen de manifiesto problemas en el drenaje natural de los manantiales mas destacados, manantial de Fuencaliente, con reducciones muy importantes en el caudal disponible para satisfacer las demandas y los ecosistemas asociados al drenaje del manantial. También es preciso resaltar algún problema puntual con relación al manantial de Parpacén. Esta situación conlleva a tomar como medida para corregir esta situación indeseable y garantizar los aprovechamientos existentes de aguas subterráneas, la posible declaración de sobreexplotación de la MASb y la elaboración del Plan de Ordenación de las Extracciones, que tenga en cuenta la singularidad de cada uno de los acuíferos o sectores definidos en ésta, especialmente en lo referente al grado de explotación.

Fundamentos de la propuesta

Para valorar la situación de la MASb se han aplicado los criterios seleccionados, de análisis de la evolución piezométrica e hidrométrica y su comparación en los sectores diferenciados con el balance hídrico y con los datos disponibles sobre bombeos en diferentes períodos (a destacar el período entre 1994/95 y 2002/03, en el que las explotaciones alcanzaron máximos de 8,67 hm³/año). Estos sectores están constituidos por los dos tipos de acuíferos, a priori, en conexión hidráulica, el primero de ellos constituido por los materiales carbonáticos jurásicos subbéticos, permeables por fisuración-karstificación y el segundo por los materiales detríticos plio-cuaternarios que se encuentran rodeando a los anteriores y en principio en conexión hidráulica. En estos materiales se han identifican tres sectores sin conexión hidráulica, denominados como: Sector de Huéscar (manantial de Parpacén); el Sector del Llano de la Puebla (manantial de Fuencaliente) y el Sector Norte detrítico.

Para analizar la piezometría e hidrometría, se partió de los datos correspondientes al periodo 1969-2009; si bien este periodo de registro presenta medidas no continuas en el tiempo, ni disponibles por igual en el espacio temporal analizado, para todos los piezómetros y manantiales. Esta información pone de manifiesto un comportamiento distinto en las evoluciones de los piezómetros ubicados en el Llano de la Puebla y los situados en las proximidades del pueblo de Huéscar. En el Llano de la Puebla, los piezómetros revelan un periodo de ascenso en el nivel desde 1969-1974, causado por la sucesión de precipitaciones netamente superiores a la media. A partir del año 1974 hasta la actualidad se observa una tendencia descendente, con ciclos menores de ligero ascenso motivados por las importantes lluvias de 1989 y 1996. El descenso total resulta del orden de 25 m, con un ritmo que se ha incrementado en los últimos años de la serie, influenciado, principalmente, por las extracciones de regadío en el Llano de la Puebla.

Respecto a la evolución hidrométrica, el régimen de descarga de los dos manantiales es también muy diferente. Así, el manantial de Parpacén tiene una evolución similar a los piezómetros del Sector de Huéscar, mientras el manantial de Fuencaliente es afín a los piezómetros ubicados en el Sector del Llano de la Puebla. De la evolución de las desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación mensual desde el año 1982/83 y la evolución de niveles y de la evolución del manantial de Fuencaliente hasta 1992/93, se observa una alternancia entre ciclos secos y húmedos que dura unos 4 años, si bien, hay una tendencia general de este período de años húmedos y bajada de niveles al igual que caudales debido a las explotaciones que se inician a principios de los ochenta. A partir de 1992/93, la alternancia de períodos secos y húmedos aumenta de amplitud entre 7 y 8 años. En esta etapa destacar el período entre 2000/01 y 2003/04 que aun siendo húmedo, los niveles y el caudal de Fuencaliente tienden al descenso. En los últimos cinco años la tendencia disminuye desde el 2003-2004, casi se llega a estabilización, a pesar del período seco 2003/2004 y 2007/2008.

Toda la MASb de Huéscar-Puebla, se ha visto sometida a una fuerte explotación en los últimos años, principalmente la zona del Llano de la Puebla (acuífero principal), provocando descensos importantes tanto en el nivel piezométrico como en el caudal del principal manantial: Fuencaliente. La evolución de este manantial es claramente descendente desde 1974 como se ha indicado anteriormente, teniendo una evidente relación con dicho comportamiento, el incremento en la explotación que se venía produciendo en este sector para regadío, a partir de los años 1982/83.

La evolución de la explotación ha sido muy evidente, en 1970 no existía y se ceñía exclusivamente a la utilización del agua de los principales manantiales, los cuales arrojaban un volumen de 18 hm³/año. Variando de la forma siguiente:

Entre 1951/52 y 1981/82	0,00 hm ³ /año.
Entre 1982/83 y 1993/94	2,45 hm ³ /año.
Entre 1994/95 y 2002/03	8,67 hm ³ /año.
Entre 2003/04 y 2006/07	4,13 hm ³ /año.
Entre 2007/08 y 2008/09	5,62 hm ³ /año.

El último balance hídrico realizado en la MASb fue en el 2001. Las entradas fueron estimadas en 30 hm³/año, mientras que las salidas se producían a través de manantiales y sondeos surgentes (16 hm³/año), por bombeos (7,2 hm³/año) y a través de descargas ocultas (6,8 hm³/año).

En resumen el sector de los Llanos de la Puebla en relación con el manantial de Fuencaliente, es el que presenta, con claridad, riesgo de sobreexplotación. Las bases para su recuperación se recogen en el apartado 6 de este documento.

En relación con el sector relacionado con el manantial de Parpacén (englobaría la margen derecha del río de Huéscar, Sierra del Muerto, Sierra Bermeja y Sierra de Montilla), se señala una correspondencia entre el caudal del manantial y las desviaciones acumuladas de la precipitación, señalando que las tendencias al descenso y ascenso de caudales coinciden en el tiempo con los periodos secos y húmedos, así como que la influencia de las explotaciones por bombeo debe ser pequeña. Se señala un balance en el periodo 1970-71 a 2006-07 (37 años) para el sector situado al oeste del río Bravatas en relación con Parpacén, de 3,44 hm³/año y unas aportaciones estimadas por infiltración para el conjunto de 3,78 hm³/año. Para el periodo 1951/52 a 2006/2007 (56 años), las aportaciones por lluvia al acuífero se estiman en 4 hm³/año. Se considera que como cifra prudente para conservar el manantial no superar para el sector el 10 % del volumen correspondiente al caudal medio real histórico del manantial de Parpacén (108,5 L/s). Además se debe seguir la recomendación incluida en la norma de explotación

de la CHG-IGME (2001) de no realizar ninguna captación dentro de un radio circular al manantial de 2000 metros.

Sobre el acuífero del sector detrítico y afloramientos asociados donde se encuentra el núcleo urbano de Puebla de Don Fadrique es preciso diferenciar el sector detrítico donde se encuentra el núcleo urbano de la Puebla de D. Fadrique y formaciones geológicas interrelacionadas, independizado del sector principal del Llano de La Puebla por el cabalgamiento del Subbético sobre el Prebético. Éste presentaría unos recursos renovables muy reducidos (pendiente de evaluar, pero posiblemente en torno a 1 hm³/año), si bien la explotación es muy incipiente.

4.2. MASb 05.23.Úbeda

Propuesta

Teniendo en cuenta la evolución piezométrica en el conjunto de acuíferos de la Loma de Úbeda y el grado actual de explotación, que podría superar los 40 hm³ anuales, se observa un déficit anual explotación vs. recarga del orden de unos 14 hm³ anuales. Esto conlleva, como medida para reducir ese exceso de explotación en un volumen similar que permita alcanzar un equilibrio en el balance, la posible declaración de sobreexplotación de la MASb y la elaboración del Plan de Ordenación de las Extracciones, que tenga en cuenta la singularidad de cada uno de los acuíferos definidos en ésta, especialmente en lo referente al grado de explotación y la composición de sus aguas. Una alternativa a la declaración de sobreexplotación podría ser la aplicación de la norma de explotación de esta masa de agua subterránea.

Fundamentos de la propuesta

En cuanto a la valoración de los dos criterios utilizados para determinar el estado de la MASb, evolución piezométrica y balance hídrico, descensos de niveles de agua en los acuíferos, indican que es diferente para los identificados en la Loma de Úbeda, areniscas y conglomerados triásicos en facies Buntsandstein, carbonatos jurásicos y areniscas y calcarenitas del Mioceno. El síntoma más significativo del elevado grado de explotación existente, es el descenso continuado de niveles piezométricos que se ha venido registrando en el acuífero jurásico desde que, en 1996, se obtuvieron los primeros datos. Del acuífero triásico se desconocen en detalle las características litológicas y geométricas bajo los carbonatos jurásicos, si bien, se sabe que es captado por diversos sondeos situados en la margen izquierda del río Guadalimar, y por la mayoría de los sondeos situados en su margen derecha bajo los carbonatos jurásicos, donde es el principal acuífero explotado.

La información más antigua sobre la morfología de la superficie piezométrica del acuífero jurásico (fisurado y kárstico) corresponde a un periodo situado entre marzo y junio de 1996. Con estos datos se pudo trazar, por primera vez, un mapa de isopiezas que muestra la situación en los inicios del proceso de explotación intensiva de recursos que el acuífero sufrió en los años posteriores. No se dispone de ninguna información sobre la piezometría del acuífero en condiciones no influenciadas por los bombeos. Las isopiezas muestran la existencia de un conoide de bombeo al sur del acuífero en la zona confinada, al este de Torreperogil. En esta zona, se construyeron algunos de los primeros sondeos de gran profundidad, capaces de aportar elevados caudales. En la margen izquierda del río Guadalimar, cerca de su cauce, se observan dos zonas deprimidas en las que el nivel se sitúa a menos de 370 m s.n.m. Se trata de los únicos sectores donde el nivel piezométrico está bajo el cauce del río Guadalimar y podría indicar vías de alimentación preferente hacia el acuífero confinado jurásico. La ausencia de datos en un amplio sector al sur de estas zonas impide precisar mejor esta cuestión. Finalmente, se

intuye la presencia de un domo piezométrico bajo el acuífero mioceno, que parece indicar la presencia de recarga diferida proveniente de este acuífero. En resumen, la movilización del flujo en el acuífero confinado parece ser consecuencia de la existencia de un importante conoide de bombeo ubicado al este de Torreperogil, en la zona central y más meridional del acuífero confinado.

En marzo de 2004, a partir de los datos disponibles, se observa un descenso generalizado de niveles en todo el acuífero jurásico con respecto a los datos de 1996. Con reservas, este descenso puede cifrarse en cerca de 20 m en la zona central del acuífero jurásico libre, aunque afecta al acuífero triásico, en unos 15 m junto al río Guadalimar en su margen izquierda, y en más de 50 m al sur de Torreperogil y en el entorno de Villacarrillo y Villanueva del Arzobispo.

En cuanto al segundo de los criterios utilizados, las extracciones en el acuífero jurásico, éstas fueron estimadas por primera vez en el año 1998-99, alcanzando una cifra de 18,2 hm³. En una nueva estimación realizada en el año 2001 la extracción global por bombeo superó los 28 hm³/año, que incluye extracciones realizadas en los tres acuíferos. En 2003 se realizó una nueva estimación de 35,5 hm³/año para el acuífero jurásico. Finalmente, en 2006 se calculó que el volumen posible de extracciones para el conjunto de acuíferos de la MASb podría situarse en torno a 60 hm³/año.

En 2007 se realizó un modelo matemático del que, como conclusión más relevante, se deduce la existencia de un déficit en el acuífero jurásico cercano a 14 hm³/año.

Para el acuífero mioceno, el resultado es unas entradas por infiltración de agua de lluvia de 6,7 hm³/año y unas salidas por manantiales de 1,0 hm³/año y por bombeos entre 2,1 - 4,4 hm³/año, lo que supone un total de entre 3,1 - 5,4 hm³/año. Esta diferencia entre entradas y salidas (1,3 a 3,6 hm³/año) podría corresponder a drenajes o zonas de rezume dispersas no conocidas y a infiltración sobre niveles acuíferos más profundos (en parte a través de los sondeos que los comunican, como ya se ha comprobado en algunos casos), aunque tampoco se puede descartar que la infiltración por lluvia esté algo sobrevalorada, siendo difícil más precisión con los datos disponibles para este tipo de materiales.

4.3. MASb 05.24. Bailén-Guarromán-Linares

Propuesta

Si se tiene en cuenta exclusivamente el grado de explotación de la MASb en su conjunto, el agua extraída por bombeo (24,19 hm³/año para el año 2008 y 29,80 hm³/año para el 2009), excede en gran medida los recursos renovables calculados (entre 14,0 y 16,8 hm³/año), alejándose del concepto de uso sostenible. En consecuencia, la medida preventiva más adecuada es la declaración de sobreexplotación del conjunto de la MASb, proponiéndose como medida alternativa la aplicación de la norma de explotación que tenga en cuenta en cada acuífero de los que forman la MASb, entre otras, las condiciones de aprovechamiento en cuanto a volúmenes de agua reservados para uso urbano y su perímetro de protección u otros usos y las características geológicas y técnicas de cada una de las captaciones y su dimensionamiento.

Fundamentos de la propuesta

La información disponible es la referida únicamente a una situación puntual en el tiempo (enero de 2000) y aunque refleja un importante descenso de la superficie piezométrica en la zona sur del acuífero, se desconoce si se trata de una situación excepcional o si ha tenido una continuidad en los 10 años transcurridos hasta la

actualidad. El no disponer de la ubicación de las captaciones de agua subterránea, hace que no sea posible discriminar entre los dos acuíferos que integran la MASb (Bailén-Guarromán y Linares) por lo que podría darse el caso de que uno de ellos se encuentre en riesgo de sobreexplotación y el otro no, a lo que habría que añadir un cierto grado de incertidumbre en cuanto a la relación hidrogeológica entre ambos acuíferos.

No existe ningún punto de la red nacional de piezometría en la MASb, ni de la extinta red controlada por el IGME. Tampoco existe red hidrométrica oficial de manantiales dentro de su poligonal envolvente. Con los datos de profundidad del nivel piezométrico de la base de datos AGUAS del IGME para enero de 2000, se trazó un mapa de isopiezas, que refleja que las líneas isopiezas dibujan un importante conoide de descenso en la zona sur del acuífero, quedando la zona norte con cierta falta de información. La falta de puntos de control piezométrico en este acuífero hace que se desconozca la evolución temporal de la piezometría.

Dentro de la MASb existen dos puntos pertenecientes a la red de seguimiento del Estado Químico del Agencia Andaluza del Agua (AAA). El agua del acuífero de Bailén-Guarromán es de facies bicarbonatada cálcica o cálcico-magnésica con algún caso de agua sulfatada cálcica posiblemente debido a la comunicación del acuífero mioceno con el superficial, más rico en sulfatos, mientras que el acuífero de Linares presenta una facies bicarbonatada cálcica con un total de sólidos disueltos inferior a 500 mg/L.

Las entradas de agua a ambos acuíferos se deben principalmente al drenaje diferido de los materiales suprayacentes al acuífero, y en menor medida a la infiltración directa del agua de lluvia. Así, considerando el balance incluido en la norma de explotación de la unidad hidrogeológica 05.24 (Bailén-Guarromán-Linares), actualizada y modificada. (2001), las entradas en el conjunto de la MASb suponen entre 14,0 y 16,8 hm³/año.

La explotación por bombeo en el año 2009, según la información facilitada por la CHG es de 29,80 hm³/año, lo que arrojaría un déficit cifrado entre 13,28 y 15,08 hm³/año. También se dispone de la explotación por bombeo para el año 2008 (fuente CHG) que es de 24,19 hm³/año, distribuidos en 21,99 hm³/año para riego, 0,19 hm³/año para abastecimiento urbano y 2,01 hm³/año para la industria.

4.4. MASb 05.25.Rumblar

Propuesta

Considerando que el volumen de agua extraída por bombeo de esta MASb (11 hm³/año) junto con las salidas ocultas a la MASb vecina 05.26 "Aluvial del Guadalquivir (Curso Alto)" (3-6 hm³/año), exceden en gran medida de los recursos renovables calculados (de entre 3 y 10 hm³/año) se propone como medida para subsanar esta situación, la declaración de sobreexplotación, acompañada de la implementación de un plan de ordenación de aprovechamientos de la MASb.

Fundamentos de la propuesta

La información piezométrica disponible no indica un importante descenso de la superficie piezométrica, si bien hay que considerar que el periodo de medida es de apenas un año y medio y se trata de un punto situado en el límite sur de la MASb, hacia donde se dirige el flujo natural. La información hidroquímica tampoco es indicativa de sobreexplotación, aunque los valores observados son elevados con oscilaciones importantes y comportamientos muy diferentes. Este comportamiento junto al escaso número de observaciones conlleva una escasa representatividad. La

densidad de las estaciones se puede considerar insuficiente y desde un punto de vista ambiental los valores observados de nitrato son excesivos, por lo que sería conveniente determinar su origen, si bien este aspecto no es indicativo de sobreexplotación. Asimismo, del estudio de las relaciones río-acuífero no se desprende ninguna consideración sobre la posible sobreexplotación de la MASb ya que la información es solamente de carácter bibliográfico.

En cuanto a las redes de control, existe un único punto de la red nacional de piezometría, al igual que de la red de seguimiento del estado químico (Agencia Andaluza del Agua), no disponiéndose de ningún punto de la red hidrométrica oficial de manantiales dentro de su poligonal envolvente.

Con la información disponible, el nivel piezométrico se sitúa entre 0 y 50 m de profundidad, existiendo algunos sondeos surgentes. En los sectores septentrionales, está próximo a la cota 360, descendiendo hacia el Sur, hasta cotas próximas a 260 ms.n.m. La dirección principal de los flujos es N-S, siendo E-O en las inmediaciones de los arroyos de Escobar, Las Piedras y La Fresneda, por constituir áreas de drenaje. Las aguas tienen generalmente una facies bicarbonatada cálcica, siendo aguas de salinidad media.

Las entradas de agua al acuífero se deben principalmente a la infiltración directa del agua de lluvia, ya que el retorno de riego se considera mínimo debido a que está implantado el riego por goteo en la totalidad de la zona regada. Así, considerando el balance incluido en la norma de explotación de la unidad hidrogeológica 05.25 (Rumblar), actualizada y modificada (2001), las entradas en el conjunto de la MASb suponen entre 6 y 10 hm³/año. Las salidas consideradas en ese mismo balance incluidas salidas por manantiales y galerías (0,5-1 hm³/año) y ocultas a la MASb 05.26 "Aluvial del Guadalquivir (Curso Alto)" (3-6 hm³/año) a las que deben sumarse los casi 11 hm³/año de extracciones por bombeo. Por tanto, las salidas, aún descontando 1 hm³/año que probablemente no surge en la actualidad por los manantiales que drenan la MASb, suman un total de entre 14 y 17 hm³/año lo que arroja un déficit cifrado en un valor entre 4 y 11 hm³/año. La explotación por bombeo para el año 2009, según información facilitada por la CHG es de 11,25 hm³/año. También se dispone de la explotación por bombeo para el año 2008 (fuente CHG) que es de 6,88 hm³/año, distribuidos en 6,65 hm³/año para riego y 0,228 hm³/año para la industria.

4.5. MASb 05.38. El Pedroso-Árcas

Propuesta

El balance hídrico para el conjunto de acuíferos incluidos en esta MASb: Pedroso, Arcas-Cerro Gordo, Cuevas Altas y Campo-Agro, con un funcionamiento hidrogeológico independiente, es del orden de los 4.9 hm³/año, de los que se extraen por bombeos del orden de los 3 hm³/año, el resto corresponden a salidas por manantiales, difusas y ocultas. Aunque se observa un equilibrio hídrico, existen síntomas que apuntan a que se está haciendo un uso intensivo del agua subterránea en todos los acuíferos de esta MASb, por ello parece conveniente controlar las nuevas autorizaciones de extracción de agua subterránea, siguiendo las normas de explotación y proceder a la declaración de sobreexplotación o en riesgo y elaborar un plan de ordenación de las extracciones, que tenga en cuenta independientemente, el conjunto de acuíferos identificados en esta MASb a diferenciación, estableciendo para cada uno de ellos las condiciones de explotación.

Hay que tener en cuenta que el acuífero de Campo-Agro fue incluido en el catálogo de acuíferos con problemas de sobreexplotación o salinización realizada por el

Ministerio de Medio Ambiente (MMA 1997), en el que se indicaba que el volumen de agua explotado ya ponía en peligro el abastecimiento de algunas poblaciones y las salidas naturales del acuífero.

Fundamentos de la propuesta

Teniendo en cuenta el balance de forma individualizada, el acuífero del Pedroso funciona como un área de infiltración de agua que se trasfiere subterráneamente en dirección desconocida, siendo la recarga estimada del orden de 1 hm³/año, con unas salidas de 0.1 por bombeos y el resto 0.5 por otras formas (manantiales, difusas o ocultas). En el acuífero de Arcas-Cerro Gordo, la recarga está evaluada en 0,5 hm³/año. No se dispone de datos precisos de las extracciones, pero la cifra estimada podría ser equivalente a los recursos propios (0,5 hm³/año). Algún sondeo de abastecimiento a Villanueva de Algaidas ha sido abandonado por el incremento de la salinidad del agua captada, cuestión que parece estar relacionada con el uso intensivo del agua subterránea de este acuífero. El acuífero de Campo-Agro, debe su principal salida a las extracciones por bombeo (2,0 hm³/año) (IGME 2002), siendo la recarga de 2,7 hm³/año (IGME 2002). Para el acuífero de Cuevas Altas, su recarga se ha calculado en 0,7 hm³/año estando evaluadas las extracciones por bombeo en 0,4 hm³/año y 0,4 hm³/año por manantiales y formas difusas.

No existe información piezométrica de esta MASb; tan solo existe un punto de control de la red nacional de calidad, siendo la gran mayoría de las aguas de la MASb de naturaleza bicarbonatada-cálcica. Algunos puntos, en el sector suroccidental de la Sierra de Campo Agro, son de facies sulfatada cálcica, debido posiblemente a la influencia de materiales triásicos. La dureza es media, con mineralización que oscila entre ligera a notable.

4.6. MASb 05.41.Guadahortuna-Larva

Propuesta

El volumen de agua extraída por bombeo en toda la MASb 05.41, compuesta por al menos 9 acuíferos independientes, es de 16,4 hm³/año en 2009. Este volumen supera a las entradas de 12,5 hm³/año consideradas en el balance redactado en 2001 (pero de origen anterior) y el grado de explotación se aleja del concepto de uso sostenible. Es por ello que, en tanto no se disponga de mayor información en la que se ponga de manifiesto, al menos, el valor de extracción de aguas subterráneas que corresponde a cada acuífero, se propone como medida previa a la declaración de sobreexplotación, la elaboración de una norma de explotación de esta masa de agua subterránea que tenga en cuenta en cada acuífero, además de las extracciones por bombeo correspondientes a cada uno, las condiciones de aprovechamiento en cuanto a volúmenes de agua reservados para uso urbano y su perímetro de protección u otros usos y las características geológicas y técnicas de cada una de las captaciones y su dimensionamiento.

Asimismo, hay que hacer constar que el sector Chotos-Cortijo Hidalgo (anteriormente denominado Acuífero Chotos-Cortijo Hidalgo) perteneciente al Acuífero Chotos-Sazadilla-Los Nacimientos de la Subunidad Larva-Solera fue "declarado sobreexplotado o en riesgo de estarlo según acuerdo de la Junta de Gobierno de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (B.O.P. Jaén de 24 de Octubre de 1992") proponiéndose también la continuidad de esa declaración.

Fundamentos de la propuesta

En esta MASb, formada por materiales de distintas características litológicas y de permeabilidad, se ubican un conjunto de acuíferos, de los que se carece de información precisa para estimar la evolución de los niveles piezométricos y el balance hídrico de cada uno de esos acuíferos y por tanto del total de la MASb.

El conjunto de niveles productivos se han agrupado de acuerdo a su composición litológica, cuyo detalle se recoge el apartado 6 de este documento: 1º. *Acuíferos carbonatados jurásicos y miocenos*: Subunidad de Larva-Solera: Acuífero de Cabra de Santo Cristo, Acuífero de Chotos-Sazadilla-Los Nacimientos y Acuífero de Larva; Subunidad de Gante-Santerga: Acuífero de los Gallardos, Acuífero de Santerga y Acuífero de La Serreta-Gante-Cabeza Montosa; 2º. *Acuíferos calcareníticos oligocenos-aquitanienses*: Subunidad de Altos de Torrecardela y 3º. *Acuíferos detríticos*: Subunidad Plio-cuaternaria de la Depresión de Guadahortuna y Subunidad del Aluvial del Río Guadahortuna

La explotación por bombeo de la MASb para el año 2009, según información facilitada por la CHG, es de 16,42 hm³/año También se dispone de la explotación por bombeo para el año 2008 (fuente CHG) cifrado en 11,42 hm³/año distribuidos en 10,78 hm³/año para riego, 0,52 hm³/año y 0,12 hm³/año para la industria.

En cuanto a los datos disponibles de las redes de control, existen dos puntos de la red nacional de piezometría y los datos aportados por la Diputación Provincial de Jaén, que realiza conjuntamente con el IGME medidas periódicas de la profundidad en los sondeos Majablanquilla II, en el acuífero de Larva, y del sondeo Comunidad de Regantes (203870011), del acuífero de Cabra del Santo Cristo. No existe ningún punto de la red hidrométrica oficial de manantiales dentro de la poligonal envolvente de la MASb. Se dispone, de dos puntos pertenecientes a la red de seguimiento del estado químico (AAA) codificados en el acuífero de Subunidad del Aluvial del río Guadahortuna y otro en el acuífero de Cabra del Santo Cristo. La escasez de datos de la red nacional no permite hacer ninguna consideración. Sin embargo, la serie de medidas del sondeo Comunidad de Regantes (203870011) del acuífero de Cabra del Santo Cristo sí tiene un número de datos significativos (4 años) y presenta un descenso progresivo prácticamente constante con leves recuperaciones relativas del nivel piezométrico. La tasa de descenso es de 6,6 m/año. En el caso del acuífero de Larva, el punto Majablanquilla II (203840035) con una serie de 2 años presenta una curva también con pendiente negativa y con una tasa de descenso de 4,4 m/año.

4.7. MASb 05.43. Sierra y Mioceno de Estepa

Propuesta

A partir de la información disponible, se puede concluir que, a tenor de los balances hídricos realizados y de la respuesta hidrométrica y piezométrica de los acuíferos de la unidad del Hacho de Lora-Mingo-Guinchón, su utilización constituye un evidente ejemplo de explotación intensiva de las aguas subterráneas que, en el caso del acuífero de Águilas-Guinchón, es manifiestamente preocupante. Respecto a los datos utilizados para el balance del resto de acuíferos de la MASb se han tomado de diferentes fuentes, todas ellas muy desactualizadas. Esta situación anómala se debe a la falta de estudios hidrogeológicos específicos y actualizados para cada uno de los acuíferos diferenciados en la MASb. En tanto no se disponga de mayor información, se propone como medida la declaración de sobreexplotación, la elaboración de una norma de explotación de esta masa de agua subterránea que tenga en cuenta en cada acuífero, entre otras, las condiciones de aprovechamiento en cuanto a volúmenes de agua reservados para uso urbano y su perímetro de

protección, otros usos, las características geológicas y técnicas de cada una de las captaciones y su dimensionamiento.

Fundamentos de la propuesta

La MASb Sierra y Mioceno de Estepa, la componen diez acuíferos: acuíferos carbonáticos de la Sierra de Estepa (acuíferos de Becerrero, Águilas-Guinchón, Pleites, Hacho de Lora y Mingo), de los Caballos y de los Almadenes, y los acuíferos detríticos del Mioceno de Estepa, del Saucejo y de Martín de la Jara; todos con un funcionamiento hidrogeológico independiente.

El grado de conocimiento de los acuíferos que componen la MASb muy dispar. Así, los acuíferos carbonáticos de la Sierra de Estepa son bien conocidos, pero no ocurre lo mismo con el resto de los acuíferos. Este hecho condiciona el dictamen que se puede hacer de cada uno de estos acuíferos respecto a la conveniencia o no de su declaración como acuífero sobreexplotado individualmente. Tan sólo se podría emitir una opinión fundamentada en el caso de los acuíferos de la Sierra de Estepa.

Las redes de control del estado cuantitativo y cualitativo que son gestionadas actualmente, no son suficientes en esta MASb dado que la mayoría de los acuíferos carecen de puntos de control. Llama la atención la ausencia de redes de control de las aguas subterráneas de acuíferos como el de Águilas-Guinchón, que abastece a cuatro poblaciones sevillanas en exclusiva, y en el que existe un piezómetro instalado por el IGME habilitado para tal fin, que no es controlado por la AAA.

En el balance de los acuíferos de la Sierra de Estepa se han considerado los valores medios de las salidas correspondientes al periodo 2003-2006; en el caso de las entradas, se ha analizado toda la información disponible, con el objetivo de estimar un valor lo más representativo posible de los recursos medios renovables del acuífero Sierra de Estepa: Sector Sierra de Becerrero, entradas 6,0 hm³/año, salidas: 5,3 hm³/año. En el sector acuífero de Hacho de Lora-Mingo-Guinchón, están diferenciados cuatro acuíferos carbonáticos, desconectados hidráulicamente entre sí: acuíferos de Hacho de Lora, Mingo, Águilas-Guinchón y Pleites. El mayor de ellos es el de Águilas-Guinchón, en el que la escasa precipitación anual media y la marcada irregularidad interanual de ésta, combinada con la explotación intensa de sus aguas subterráneas, lo hace altamente proclive a sufrir situaciones de desequilibrio hídrico. En este sector de Águilas-Guinchón, existe un descenso acumulado de más de 63 m en el periodo 1997 a 2009. Los recursos medios renovables de los cuatro sistemas son de 2,2 hm³/año y se explotan 2,8 hm³/año, aspecto que se manifiesta en una disminución continuada de reservas en alguno de ellos y que ha provocado serios problemas, durante los últimos años, en el abastecimiento mancomunado que se hace desde el acuífero de Águilas-Guinchón.

En la actualidad, en los sectores en los que se situaban los principales manantiales del acuífero de Becerrero, es donde se encuentran los niveles piezométricos más bajos lo que significa que el agua subterránea fluye en la misma dirección que lo hacía en condiciones de régimen no influenciado, aunque en la actualidad con una indiscutible influencia de la explotación de los sondeos.

La variación temporal de la piezometría en el acuífero de Pleites también presenta una tendencia descendente al haberse iniciado una intensa explotación para sustituir parte de los bombeos que se realizan para abastecimiento en Águilas-Guinchón.

El régimen de bombeo que se realiza en el acuífero de Águilas-Guinchón, con una explotación muy regular durante todo el año, para cubrir el abastecimiento de la población, genera una respuesta piezométrica con unas variaciones de nivel intra-

anuales no muy marcadas; no obstante, la tendencia de los niveles es claramente descendente desde 1996.

En el acuífero de Pleites la información piezométrica es muy reducida si bien se ha constatado un descenso acumulado del mismo desde 2005 a 2010 de unos 10 m por lo que no es posible llevar a cabo un estudio detallado que pueda considerarse suficientemente significativo; con todo, la distinta evolución de los niveles piezométricos con respecto al acuífero vecino de Águilas-Guinchón, pone de manifiesto la falta de conexión hidráulica entre ambos.

Respecto a la variación temporal de las características hidroquímicas de las aguas subterráneas de los acuíferos de la Sierra de Estepa, se puede indicar que la fuerte explotación, el reducido tamaño de los acuíferos de la Sierra de Estepa y la gran difusividad hidráulica de los materiales favorecen que el efecto hidrodinámico de las extracciones, se propague de forma rápida en cada uno de los sistemas acuíferos, produciéndose un descenso del potencial hidráulico que crea las condiciones hidrodinámicas necesarias para que se produzca la mezcla con las aguas subterráneas de los materiales acuitados y acuíferos que se sitúan en el sustrato y en los bordes de los acuíferos.

En este sentido, en 2009 se propusieron una serie de recomendaciones para la mejor gestión y protección de los acuíferos de Becerrero y de Águilas-Guinchón, que se recogen en el apartado 6 de este documento.

En el acuífero de la Sierra de los Caballos, los datos disponibles ponen de manifiesto una fluctuación piezométrica intra-anual comprendida entre 3 y 5 m. La importante explotación a la que está sometido este acuífero ha ocasionado abatimientos de la piezometría, en estos sectores, de hasta 11 m, si bien, en la actualidad los niveles están próximos a los que presentaba el sistema en régimen no influenciado. De los balances hídricos realizados (IGME, 2002) se deduce un valor de recursos medios renovables de 2,7 hm³/año, mientras que la explotación mediante sondeos representa 2,9 hm³/año.

La información piezométrica disponible por el IGME del acuífero de la Sierra de los Caballos, prueba la existencia de una bajada generalizada de los niveles piezométricos en la última década que puede estar relacionada con el incremento de la explotación del acuífero.

Los escasos datos piezométricos disponibles del acuífero de la Sierra de Almadenes indican cierta tendencia descendente aunque la cadencia de medida y la representatividad de los datos es reducida. El acuífero de la Sierra de los Almadenes se alimenta, exclusivamente, por infiltración del agua de lluvia, y se descarga por las fuentes de El Esparto y El Tejar, en el extremo SE y hacia el arroyo de La Parra, al S. El nivel piezométrico de la única captación de la que se dispone de información, junto a la Fuente del Esparto, se sitúa entre 370 y 378 m s.n.m. La recarga media es inferior a 0,2 hm³/año, incluida la que se produce en los afloramientos miocenos contiguos y las salidas por bombeo son del orden de 10.000 m³/año. El agua presenta una conductividad eléctrica (CE) media de 1200 µS/cm.

El acuífero detrítico del Saucejo, es libre, y se recarga por infiltración directa del agua de lluvia. La superficie piezométrica se encuentra entre 5 y 10 de profundidad y las fluctuaciones intra-anales son del orden de 2 m. La recarga media ha sido evaluada en 1 hm³/año. Las salidas por bombeo son del orden de 0,35 hm³/año, si bien esta última cifra no tiene prácticamente ninguna validez al no estar actualizada desde los años ochenta del pasado siglo.

El acuífero detrítico de Martín de la Jara, se recarga por infiltración directa del agua de lluvia y por retornos de riego. Las salidas se producen, fundamentalmente, hacia los arroyos de la Fuente y Salado y hacia la laguna del Gosque. El nivel piezométrico se encuentra a profundidades máximas de 5 m y fluctúa a lo largo del año entre 1 y 3 m. La recarga media es de 1,3 hm³/año y las salidas por bombeo se estimaron en 1 hm³/año. Los datos de bombeo disponibles datan de finales de los ochenta del siglo pasado.

El último balance del que se dispone del acuífero Mioceno de Estepa, se cita en el Atlas Hidrogeológico de la provincia de Sevilla (Durán 2003). Las entradas se cifraron en 4,2 hm³/año, mientras que las salidas se reparten en 3 hm³/año, para el riego, 1 hm³/año, para industria y para abastecimiento a las poblaciones de Puente Genil y la pedanía de La Mina. El resto (0,2 hm³/año) se supone que se drena hacia los ríos Genil y Yeguas.

En general la red de piezometría de la AAA sólo permite obtener información de 2 de los 10 acuíferos que forman la MASb, mientras que la red de hidrometría sólo considera dos sectores de uno de estos 10 acuíferos.

4.8. MASb 05.49. Niebla-Posadas

Propuesta

La evolución piezométrica en esta MASb, así como el balance hídrico y la evolución histórica en el conjunto de los diferentes acuíferos o sectores de situadas en ella, ponen de manifiesto un déficit anual explotación vs. recarga. Esto conlleva a tomar, como medida para reducir ese exceso de explotación, un volumen similar, que permita alcanzar un equilibrio en el balance hídrico, la posible *declaración de sobreexplotación* de la MASb y la elaboración del plan de ordenación de las extracciones, que tenga en cuenta la singularidad de cada uno de los acuíferos o sectores definidos en esta MASb, especialmente en lo referente al grado de explotación y la composición de sus aguas. Una alternativa a la declaración de sobre explotación podría ser la aplicación de la norma de explotación de esta masa de agua subterránea.

Fundamentos de la propuesta

Debido a sus cambios laterales de facies, en estudios precedentes, se diferenciaron 5 sectores en la U.H. (IGME 2003; Agencia Andaluza del Agua 2010): la zona Niebla-Gerena, Gerena-Cantillana, Cantillana-Lora del Río, Lora del Río-Hornachuelos, Puebla de los Infantes. Además de estos sectores, en la MASb 05.49 existe otro acuífero, que no forma parte del acuífero Mioceno de Base, como son los formados por las terrazas del río Guadalquivir ubicadas en la margen derecha del río, formando una franja de unos 3 km de ancho y de 5 a 15 m de espesor, constituido por gravas, arenas y limos cuyo comportamiento corresponde al de un acuífero libre.

Las redes de control de calidad y cantidad fueron gestionadas por el IGME hasta diciembre 2001, a partir de esa fecha el control lo ha realizado la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) y posteriormente la Agencia Andaluza del Agua. La red de control de calidad actual está constituida por 5 puntos de control, uno en cada una de las subunidades de las que se compone la MASb.

El análisis de los datos disponibles de piezometría muestra, que durante los años ochenta, la mayoría de los puntos presentan niveles más o menos estables. La evolución general de la piezometría queda marcado por descensos importantes durante la sequía al principio de los años noventa, sin alcanzar a los mismos niveles

piezométricos en los años posteriores. Se pueden observar importantes fluctuaciones de niveles, que por su dimensión, están asociados con explotaciones realizadas en la cercanía de los puntos.

- La Subunidad NIEBLA-GERENA: Dos de los cinco puntos de control presentan importantes descensos entre 20 y 30 m durante épocas de sequía, en un caso sin recuperación posterior.
- La Subunidad GERENA-CANTILLANA: Este sector presenta tendencia al descenso en 5 de los 6 puntos observados. Los niveles han sufrido descensos sucesivos debidos tanto a la entrada en funcionamiento de nuevas explotaciones como al efecto conjunto de los periodos de sequía, de forma que en la actualidad se acumulan más de 15 m de descenso sin señales de recuperación.
- La Subunidad CANTILLANA – LORA DEL RÍO: Ésta, en las proximidades de Villanueva del Río y Minas, presenta una evolución anómala ya que desde 1983 la tendencia anual de la evolución piezométrica es ascendente. Esto se debe al abandono de la mina de Villanueva a principio de los años ochenta (IGME 2003).
- La Subunidad LORA DEL RIO-HORNACHUELOS: La evolución piezométrica en este sector presenta cambios significativos y uno de los 4 puntos monitorizados en Peñaflor demuestra tendencias claras de descenso debido a un incremento de explotación entre Peñaflor y Posadas. Los demás puntos se ven estrechamente influido por extracciones, pero presentan capacidad de recuperación y no muestra tendencia al descenso.

En resumen, los cambios más significativos se observan en los sectores Niebla-Gerena y Gerena Cantillana que presentan descensos piezométricos durante las últimas décadas sin viso de recuperación, lo que pueden indicar que las extracciones reales superan la recarga del acuífero en estos sectores. En el sector Lora del Río-Hornachuelos se observa un descenso sin recuperación en Peñaflor, mientras que en los demás puntos no se observa una tendencia al descenso. Los descensos en general se deben a extracciones agrícolas y se observan sobre todo en los acuíferos confinados, debido a su menor transmisividad. Bajo este punto de vista, las zonas Niebla-Gerena y Gerena-Cantillana muestran características de sobreexplotación y el sector Lora Del Río-Hornachuelos está en riesgo, al estar cerca del límite de explotación.

En el sector Cantillana-Lora del Río se observan los mayores valores de conductividad eléctrica, aunque no existen extracciones intensivas de agua subterránea y los niveles piezométricos han subido considerablemente. En el sector Lora Del Río-Hornachuelos se observa un descenso de los niveles piezométricos sin recuperación en Peñaflor, mientras que en los demás puntos no se observa una tendencia al descenso.

No existe ninguna información recopilada sobre los volúmenes de extracciones reales por riego y/o abastecimiento durante las últimas décadas en el acuífero Gerena-Posadas. Las concesiones actuales de 8,75 hm³/a, concedidos por la Agencia Andaluza del Agua (mayo 2010), están muy por debajo del volumen de recarga del acuífero y no justifican el descenso piezométrico en ninguno de los sectores por lo cual hay que suponer alguna otra causa. Las salidas por extracciones de agua subterránea y su evolución temporal no se han registrado de forma accesible. No obstante, estimaciones de extracciones de agua subterránea para regadío en los años ochenta ya indican explotaciones superiores a la recarga en el sector Niebla-Gerena. Estimaciones más recientes de extracciones de agua subterránea para regadío, entre los municipios Guillena y Villanueva del Río y Minas, suman volúmenes de 8 hm³/año y 3 hm³/año por abastecimiento (IGME

2003) para años medios y secos, lo que se acerca bastante a las entradas respectivas.

5. RECOMENDACIONES

5.1. MASb 05.04.Huéscar-Puebla de D. Fadrique

Se recomienda un seguimiento de la evolución de niveles, al menos en 8 puntos estratégicos a seleccionar y de todas las explotaciones concedidas mediante la instalación de contadores, así como el control del drenaje de los manantiales de Parpacén y Fuencaliente. La frecuencia de medidas deberá ser al menos con carácter mensual salvo los manantiales de Parpacén y Fuencaliente, cuyo control se propone en continuo mediante la instalación de data logger.

Para el acuífero detrítico y los afloramientos asociados donde se encuentra el núcleo urbano de Puebla de Don Fadrique, se recomienda una actualización del inventario de puntos de agua y de las explotaciones que debe ser exhaustiva, así como la realización de un balance de entradas al sector, lo que permitirá evaluar la presión a la que está sometido este sector en la actualidad.

Para el acuífero principal o de Los Llanos se propone la comparación de la evolución de niveles, explotación y del drenaje de Fuencaliente, con los resultados previstos en el modelo matemático temporalmente.

Para el acuífero situado al oeste del río Bravatas, en relación con el manantial de Parpacén, se propone también la comparación de resultados entre drenaje de Parpacén y bombeos en el sector, cada dos años.

5.2. MASb 05.23.Úbeda

Las actuaciones futuras deben ir enfocadas a cubrir las lagunas de información existentes, especialmente importantes en lo que respecta al conocimiento de la geometría de los acuíferos confinados (acuíferos bajo el recubrimiento de margas miocenas, donde precisamente se produce la mayor explotación) y al seguimiento de la evolución de los niveles piezométricos en estos mismos acuíferos, cuestión que puede resolverse mediante la construcción de sondeos de investigación que posteriormente sean utilizados como piezómetros, pues con la excepción de los sondeos realizados por el IGME en el entorno del río Guadalimar, no existen piezómetros de control contruidos para tal fin. Las medidas en la zona confinada son muy complejas, pues la mayoría de los sondeos están instalados, no disponen de tuberías piezométricas y los niveles piezométricos están muy profundos. Existe información piezométrica que cubre gran parte del acuífero jurásico en 1996, 2001 y 2004, y de la red de control en una serie de piezómetros puntuales que el IGME ha mantenido, pero es necesaria una actualización de información que permita conocer la situación presente.

Apenas se conoce la morfología de la superficie piezométrica ni su evolución temporal en el acuífero triásico en la margen derecha de río Guadalimar, y se trata del acuífero más explotado en este sector. Además, las últimas investigaciones sugieren que este acuífero podría ser una fuente importante de recarga del acuífero jurásico, gracias a los juegos de fracturas existentes.

La investigación de las pautas de recarga presenta gran complejidad debido a la interacción entre los tres acuíferos y el río Guadalimar y, pese a los trabajos realizados, aún no está suficientemente bien conocida. Los acuíferos de la Loma de Úbeda están delimitados y atravesados por importantes ríos que presentan gran variabilidad anual e interanual en sus caudales. El aprovechamiento de los caudales

en crecida puede mejorarse enormemente mediante la utilización de la recarga artificial, ya que la situación de estos acuíferos respecto a los ríos es idónea. Su viabilidad fue ya puesta de manifiesto en estudios anteriores. Debe plantearse como objetivo futuro, la instalación de un operativo experimental de recarga para evaluar la capacidad real de almacenamiento en diversos sectores del acuífero.

El acuífero mioceno también es poco conocido desde el punto de vista piezométrico, por lo que deben acometerse trabajos enfocados a definir su piezometría tanto desde el punto de vista espacial como temporal.

Es necesario acotar los volúmenes de explotación actuales y los principales puntos de bombeo, labor muy compleja por el gran número de sondeos existentes.

5.3. MASb 05.24. Bailén-Guarromán-Linares

La falta de información en cuanto a la distribución espacial y en el tiempo de los puntos de extracción y su discriminación por acuífero, junto con la inexistencia de puntos de control de evolución piezométrica, calidad e hidrometría hacen necesario llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Implantación de una red de control piezométrico en ambos acuíferos.
- Determinación de la ubicación de las captaciones.
- Realización de estudios complementarios dirigidos a aumentar el conocimiento hidrogeológico de la MASb sobre todo del acuífero de Linares, de su relación con el de Bailén-Guarromán y de ambos con el acuífero aluvial del Guadalquivir de la MASb 05.26 "Aluvial del Guadalquivir (Curso Alto).

5.4. MASb 05.25. Rumblar

La falta de información en cuanto a la distribución de los puntos de extracción y su discriminación por acuífero junto con la inexistencia de puntos de control y datos históricos de la evolución piezométrica, hacen necesario llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Ampliación de las redes de control piezométrico, hidrométrico y de calidad.
- Determinación de la ubicación de las captaciones de aguas subterráneas.
- Realización de estudios complementarios dirigidos a aumentar el conocimiento hidrogeológico de la MASb sobre todo de su relación con el acuífero aluvial del Guadalquivir de la MAS 05.26 "Aluvial del Guadalquivir (Curso Alto).

5.5. MASb 05.38. El Pedroso-Árcas

Las incógnitas que aún existen en relación con el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos incluidos en esta MASb y su posible interrelación hacen necesaria la realización de un estudio hidrogeológico que permita apoyar cualquier tipo de decisión para la gestión de sus aguas subterráneas.

El déficit de información en cuanto a, la distribución de los puntos de extracción y su discriminación por acuífero, junto a la inexistencia de puntos de control, de datos históricos de evolución piezométrica, calidad y del caudal drenado por los manantiales, hace necesario llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Puesta en marcha de una red de control piezométrico, hidrométrico y de calidad de las aguas subterráneas

- Determinación de la ubicación y explotación de las captaciones de agua subterránea
- Realización de estudios complementarios dirigidos a aumentar el conocimiento hidrogeológico de la masa sobre todo de las situaciones individuales de cada acuífero y de su relación con los demás integrantes de la MASb.

5.6. MASb 05.41. Guadahortuna-Larva

El déficit de información en cuanto a la distribución de los puntos de extracción y su discriminación por acuífero, junto con la inexistencia de puntos de control y datos históricos de evolución piezométrica, calidad y del caudal drenado por los manantiales, hacen necesario llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Ampliación de la red de control piezométrico, hidrométrico y de calidad de las aguas subterráneas.
- Determinación de la ubicación de las captaciones de agua subterránea.
- Realización de estudios complementarios dirigidos a aumentar el conocimiento hidrogeológico de la masa sobre todo de las situaciones individuales de cada acuífero y de su relación con los demás integrantes de la MASb.

5.7. MASb 05.43. Sierra y Mioceno de Estepa

La falta de información de datos hidrogeológicos (explotación, piezometría, hidrometría e hidroquímica), tanto espaciales como temporales, en los acuíferos detríticos de la MASb (Saucejo, Martín de la Jara y Mioceno de Estepa) y en los acuíferos de la Sierra de los Caballos y Almadenes, hacen necesaria la actualización de su conocimiento hidrogeológico, para lo que será necesaria:

- La implantación de una red de control de las aguas subterráneas (se pueden aprovechar de los antiguos pozos y sondeos de abastecimiento).
- La actualización y georeferenciación de las explotaciones de cada acuífero.
- La evolución de la recarga y de las reservas de cada acuífero.

5.8. MASb 05.49. Niebla-Posadas

El carácter dinámico de la MASb 05.49 y sus características de sobreexplotación en algunos sectores obligan a continuar una serie de trabajos y estudios adicionales que permiten una gestión sostenible de los recursos hídricos en el futuro. Bajo este punto de vista, se recomienda realizar las siguientes medidas en algunas zonas con cierta problemática.

- Para garantizar el uso sostenible de los recursos hídricos en los sectores Niebla-Gerena y Gerena-Cantillana es necesario abordar el estudio de recarga natural forzada ó recarga artificial en dichas zonas. De igual manera hay que prever su posible utilización en el resto del acuífero para subsanar los posibles desequilibrios que en el futuro, se podrían originar también en el sector Lora del Río-Hornachuelos. Las posibilidades de la aplicación de la recarga artificial por caudales excedentes en los cauces que atraviesan los sectores ya fueron evaluadas positivamente en estudios anteriores, tanto en cantidad como en calidad (IGME 1983; IGME 2003).
- Control de las extracciones reales, sobre todo en los sectores con desequilibrio de extracciones y recarga.
- Control anual de los nuevos sondeos que se realicen en el futuro para registrar los aumentos de las extracciones de agua.

- Realización periódica de aforos en los ríos y arroyos que atraviesan el sistema para poder cuantificar recargas y descargas del acuífero hacia los cauces lo que es imprescindible para estimar la recarga natural y los recursos hídricos disponibles en este sistema.

**6.- ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LAS MASAS DE AGUA
SUBTERRÁNEA**

6.1.- MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 05.04 HUÉSCAR-PUEBLA

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo es analizar la situación de posible sobreexplotación de la masa de agua subterránea de Huéscar-Puebla provocado por la merma de los caudales históricos del manantial de Fuencaliente de alto interés social, por ser utilizado tradicionalmente para baño y riego social y ambiental, por la presencia de macroinvertebrados acuáticos, anfibios, gasterópodos y vegetación de ribera.

2. ASPECTOS GENERALES DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA

2.1. Situación y límites

La masa de agua subterránea (MASb) 05.04 Huéscar-Puebla de Don Fadrique, se localiza al norte de la Provincia de Granada, a 140 km. de la capital (figura 1), en la cabecera del Guadiana Menor. Esta formada por los relieves montañosos de las Sierras de Montilla, Bermeja, Jureña, Cerro del Calar, Tornajos y Alcatín.

La MASb Húes-car-Puebla (antigua U.H. 05.04, aunque con modificaciones en la delimitación), se enmarca en un 99 % en la provincia de Granada y el resto corresponde a una pequeña zona de Murcia, dentro de la margen izquierda de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Limita al norte con la MASb Quesada-Castril (05.02), al oeste con la MASb Duda-La Sagra (05.03) y al este con la MASb La Zarza (05.05).

La poligonal envolvente tiene una superficie total de 430 km², de los cuales 170 km² corresponden a formaciones geológicas permeables, en concreto dolomías, calizas y margocalizas de edad jurásica y a materiales detríticos de edad miopliocuaternaria el resto. La cota máxima dentro de la MASb es de 1.800 m s.n.m., la cota mínima es de 157 m s.n.m., y la cota media se localiza a 1.128 m s.n.m.

La MASb Húes-car-Puebla se encuentra atravesada por tres masas de agua superficial, la primera y más importante la constituye el río Huéscar (ó Bravatas) que la recorre de norte a sur, en segundo lugar, hacia el este, viene un grupo de pequeños arroyos y ramblas de distinta procedencia que se han agrupado, entre los que destacan la Rambla de Reolid, la Rambla de Almaciles, la Rambla del Espino y la Acequia de Bugéjar. Por último, la Rambla de la Virgen en el sector suroccidental, recorre la MASb al oeste de Huéscar.

Desde el punto de vista del sistema de explotación de recursos de Húes-car-Puebla se encuentra dentro del Sistema de Explotación "Alto Guadiana Menor" (nº 7).

2.2. Ecosistemas asociados

Dentro de la MASb se han definido cuatro tramos con relación río-acuífero dentro del Proyecto de "Identificación y Caracterización de la Interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica" (figura 2), (Dirección General del Agua-Instituto Geológico y Minero de España).

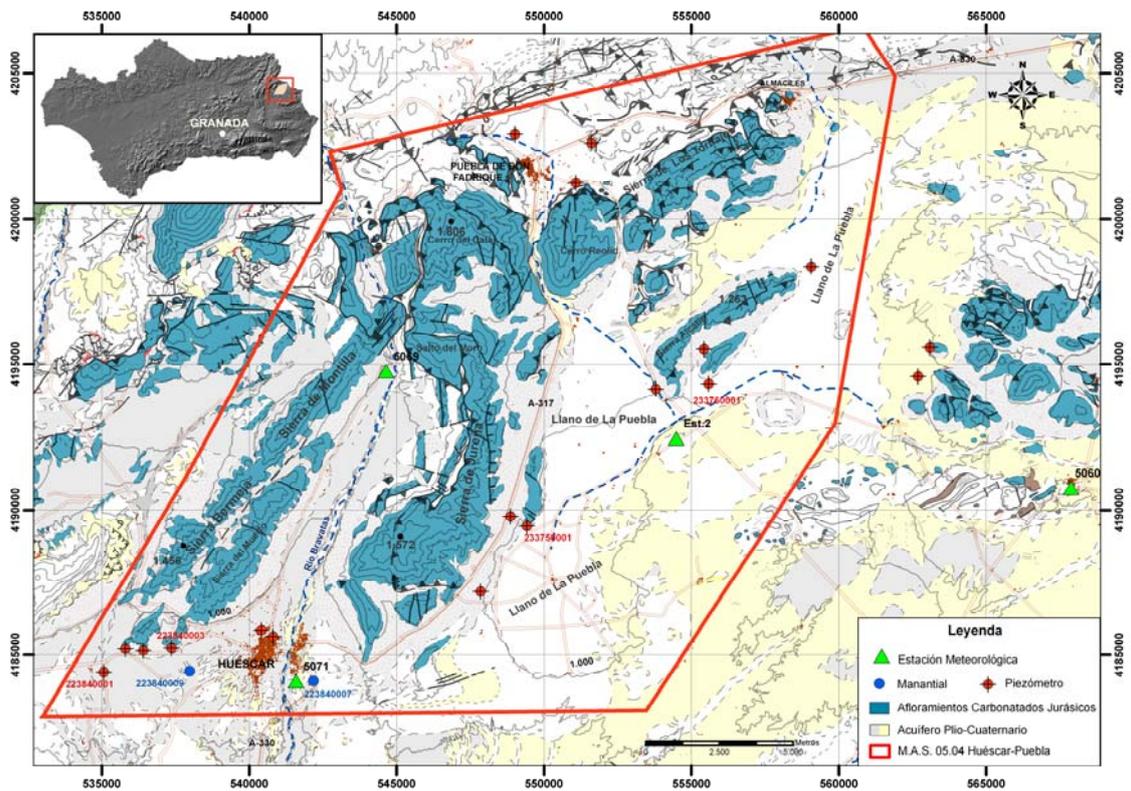


Figura 1.- Contexto hidrogeológico de la M. A. S 05.04 Huéscar-Puebla y ubicación de los puntos de medida piezométricos y de hidrometría y estaciones meteorológicas.

No obstante solo se mencionarán los tres que presentan interés desde el punto de vista de los ecosistemas asociados (fauna acuática y vegetación de ribera), además de un alto valor social y paisajístico.

Tramo arroyo de Parpacén (05.04.001)

La relación se ha definido en un tramo de 9.161 m de longitud sobre el pequeño arroyo que nace justo en el nacimiento de Parpacén (223840009) a unos 922 m s.n.m. En principio el tramo se comportaría como ganador justo en las inmediaciones del manantial, gracias a la descarga de éste, acto seguido las aguas recorrerían el arroyo hasta su intersección con el río Bravatas.

El tramo identificado no constituye masa de agua superficial, si bien el río Bravatas al que tributa sí lo es. La masa de agua superficial identificada (código ES0511009054) engloba también parte de los ríos Galera y Guardal y está definida como natural con tipología de río mineralizado de baja montaña mediterránea. El tramo de cauce definido se sitúa sobre materiales detríticos del mioceno-pleistoceno, en conexión con los materiales acuíferos carbonatados.

El modelo de descarga es el drenaje puntual a través de un único manantial. El tramo se encuentra en régimen natural modificado ya que las aguas del manantial se derivan para riego de pagos y tierras mediante su encauzamiento por acequias. Además, el caudal del manantial se encuentra mermado debido a los bombeos para riego en el acuífero.

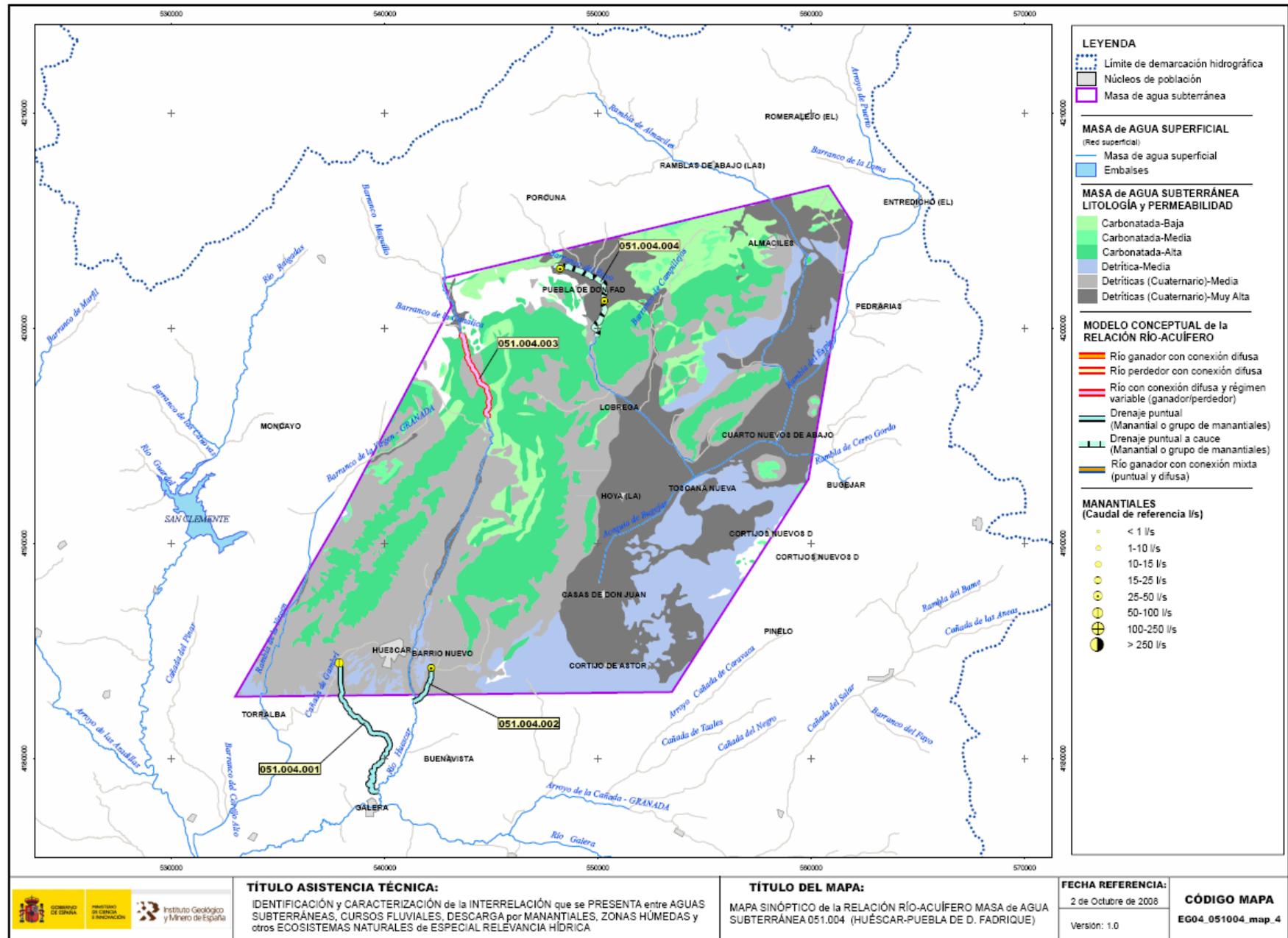


Figura 2. - Mapa isotrópico de la relación río-acuífero masa de agua subterránea 05.04 (Huescar-Puebla de D. Fadrique).

Tramo Barranco de la Mala Mujer (05.04.002):

La relación se ha definido en un tramo de 1.941 m de longitud sobre el arroyo que nace justo en el nacimiento de Fuencaliente (223840007) a unos 917 m s.n.m. El tramo se comportaría como ganador justo en las inmediaciones del manantial, gracias a la descarga de éste, acto seguido las aguas recorrerían el arroyo hasta su intersección con el río Bravatas.

El tramo identificado no constituye masa de agua superficial, si bien el río Bravatas al que tributa sí lo es. La masa de agua superficial identificada (código ES0511012047) abarca al río Bravatas desde prácticamente su nacimiento hasta su salida de la MASb, y está definida como masa natural con tipología de río de montaña mediterránea calcárea.

El tramo de cauce definido se sitúa sobre materiales detríticos del mioceno-pleistoceno, en conexión con los materiales acuíferos carbonatados. El modelo de descarga es el drenaje puntual a través de un único manantial. El tramo se encuentra en régimen natural modificado ya que las aguas del manantial se derivan para riego de pagos y tierras mediante su encauzamiento desde tiempos inmemoriales por las conocidas acequias de Alquivira, Almazaruca y Almohala.

Barranco del Royo (051.004.004):

La relación se ha definido en un tramo de 5.400 m de longitud sobre un pequeño arroyo que nace en las inmediaciones de la Puebla de Don Fadrique, conocido como Barranco del Royo, en donde están ubicados una serie de manantiales, entre los que destacan por su caudal el 233710003, a 1.200 ms.n.m. y el 233720006, a 1.140 ms.n.m. El tramo se comportaría como ganador conforme las pequeñas aportaciones de estos manantiales van tributando al cauce principal.

El tramo identificado se relaciona con una porción de la masa de agua superficial que engloba varios cauces, ramblas y arroyos de la zona (código ES0511012049), y está definida como masa natural con tipología de río de montaña mediterránea calcárea.

El tramo de cauce definido se sitúa en su mayor parte sobre materiales detríticos del cuaternario, pero drenan efectivamente niveles "colgados" de la FGP de calizas y dolomías jurásicas y orla miopliocuaternaria de "Huéscar-Puebla".

El modelo de descarga es el de drenaje puntual a través de varios manantiales. El tramo se encuentra en régimen natural modificado ya que las aguas de estos manantiales se encuentran mayoritariamente aprovechados para el riego y abastecimiento de pequeños núcleos de casas aisladas.

3. MARCO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

3.1. Antecedentes

Para la elaboración de este informe se ha tomado como base los diferentes trabajos realizados por el IGME desde el año 1970 en la zona, entre los que destaca la reciente publicación "Análisis de la evolución hidrodinámica del acuífero de Huéscar-Puebla (Granada); la Tesis Doctoral de Francisca Fernández Chacón sobre la Cuenca Alta del Guadiana Menor (Granada); el reciente informe interno realizada para la Agencia Andaluza del Agua "Análisis del modelo matemático elaborado en el sector acuífero relacionado con el manantial de Fuencaliente como base para la recuperación del manantial y recomendaciones para la conservación de los manantiales de Parpacén y Bugéjar (MASb 05.04 Huéscar-Puebla y 05.05 La Zarza) de fecha 08/06/10 y el

documento emitido para la CHG, el pasado 20/06/08 denominado "Análisis sobre las masas de agua subterránea 05.04 (Huéscar-Puebla) y 05.05 (La Zarza) como base para el establecimiento de normativas de explotación que permitan la recuperación del manantial de Fuencaliente y la Conservación de los manantiales de Parpacén y Bugéjar. Encomienda CHG-IGME (2007-2009)", donde se hacía un análisis general de la situación de los diferentes acuíferos, evolución hidrodinámica, balance, evolución de la explotación, etc. Este documento analizaba toda la documentación técnica previa desde los inicios de las primeras investigaciones del IGME y la FAO en 1970.

3.2. Acuíferos situados en la masa de agua subterránea

Contexto geológico e hidrogeológico general

El área de estudio se incluye en las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas, dentro del dominio Subbético y en las proximidades del contacto con el dominio Prebético. Los materiales que afloran pertenecen al Subbético Externo, al Prebético Interno, a la Unidad intermedia y a sedimentos post-orogénicos.

En la zona destacan por su importancia dos tipos de acuíferos, a priori, en conexión hidrogeológica, el primero lo constituyen los materiales carbonáticos jurásicos subbéticos, permeables por fisuración-karstificación (que forman los principales relieves, figuras 1 y 3) cuyo espesor máximo y medio es de 1150 m y 300-400 m respectivamente, y el segundo lo forman los materiales detríticos plio-cuaternarios (figuras 1 y 3) que se encuentran rodeando a los anteriores y en principio en conexión hidráulica, con un espesor que varía entre 30 m en el Llano de la Puebla y de 100-150 m en las proximidades de Huéscar.

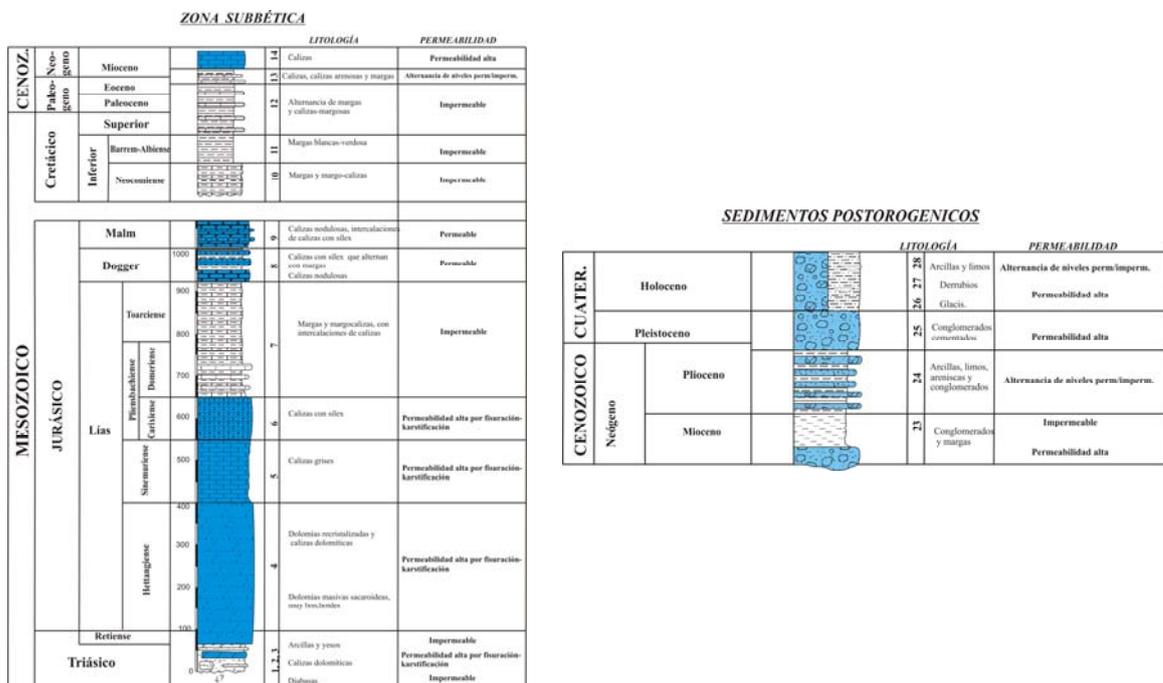


Figura 3.- Caracterización geológica e hidrogeológica de los materiales de los dominios donde se ubican los acuíferos principales.

La superficie permeable es de unos 170 km². La tectónica se encuentra caracterizada por escamas cabalgantes hacia el NNO del Subbético sobre el Prebético, mediante una superficie muy tendida.

Los límites de esta masa de agua son en general de carácter tectónico, impuesto por el NO-NE por el cabalgamiento de los materiales del Subbético sobre los materiales margosos de la Unidad Intermedia y por el SE por el contacto mecánico con el Trías extrusivo.

Desde el punto de vista estructural, la MASb Huéscar-Puebla consiste en un gran sinclinal de dirección N40E, vergente al NO y el flanco oriental está representado por la Sierra del Muerto. Los relieves calcáreos forman un arco, el flanco meridional tiene una dirección N30E y el septentrional N60E. Los bordes noroccidentales constituyen frentes de cabalgamientos. Se observa la presencia de fallas, normalmente inversas, de inclinación variable, incluso subverticales. Los materiales acuíferos están rodeados por niveles margosos en profundidad.

Parámetros hidrogeológicos

La información disponible en relación a los parámetros hidráulicos, procede de los sondeos realizados en el Proyecto FAO-IGME en 1.970. Se obtuvo una transmisividad entre 43.200 y 4.320 m²/día, un coeficiente de almacenamiento entre 10⁻⁴ y 10⁻² y una permeabilidad entre 69 y 86 m/día.

En el Atlas hidrogeológico de Granada (Diputación de Granada-ITGE, 1990), se recoge la siguiente información:

- La transmisividad del acuífero calcáreo en la zona septentrional está comprendida entre 4.300 y 8.600 m²/día, mientras que en la zona meridional presentan valores superiores, entre 8.600 y 43.000 m²/día. La transmisividad del acuífero detrítico está comprendida entre 900 y 8.600 m²/día.
- El coeficiente de almacenamiento es del orden de 2×10^{-3} en el sector septentrional del acuífero calcáreo; varía entre 10⁻² y 5×10^{-3} en el sector meridional del acuífero calcáreo y en el acuífero detrítico presenta valores de 10⁻⁴, por confinamiento entre niveles arcillosos.

Diferenciación de sectores acuíferos con funcionamiento hidrogeológico independizado

En la masa de agua subterránea de Huéscar-Puebla se identifican tres sectores sin conexión hidráulica, denominados como:

- * Sector de Huéscar (que comprendería las sierras de Montilla, Bermeja y del Muerto así como el Llano que rodea a Huéscar ubicado en la margen derecha del río Bravatas). El manantial de Parpacén se relaciona con este Sector de Huéscar, presentando una evolución condicionada principalmente por la tendencia climática.

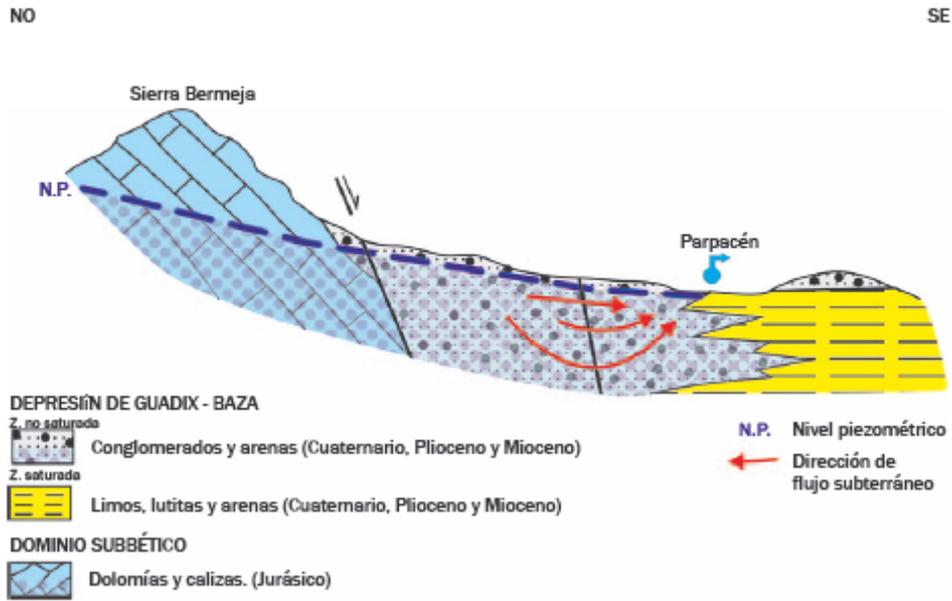


Figura 4.- Corte-esquema representativo del manantial de Parpacén (223840009) (IGME-Dip. Granada 2007).

- * Sector del Llano de la Puebla (que comprendería la zona delimitada por las sierras de Jureña, Tornajos, Alcatín, Cerro del Calar y Cerro Reolid, así como la planicie denominada Llanos de la Puebla). La separación entre los sectores de Huéscar y del Llano de la Puebla vendría impuesta por el río Bravatas en la parte meridional y central y en la parte septentrional por el cabalgamiento de las calizas y dolomías del Lías inferior (materiales de alta permeabilidad) sobre margas y margocalizas del Lías superior (materiales impermeables) observado al oeste del Cerro del Calar y Salto del Moro.

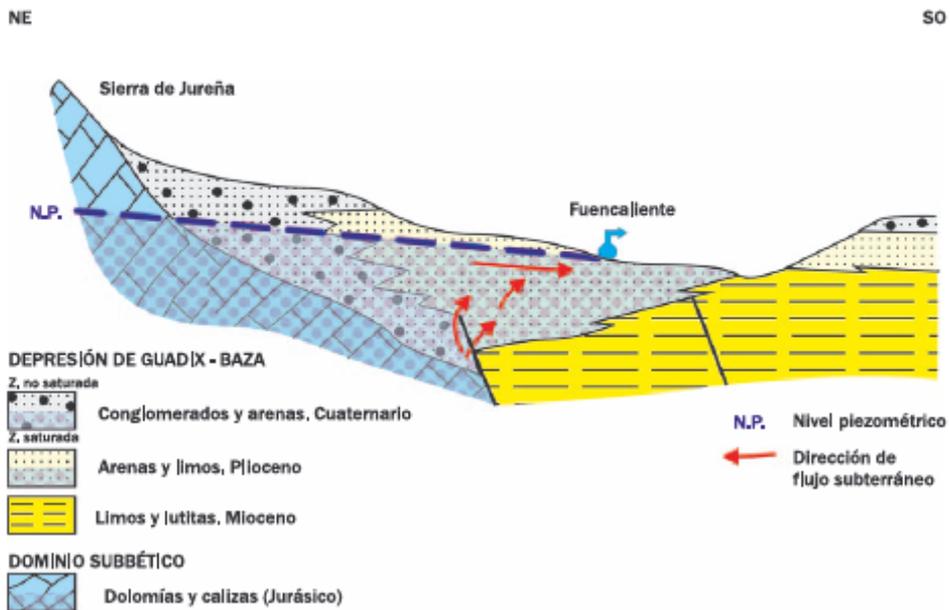


Figura 5.- Corte-esquema representativo del manantial de Fuencaliente (223840007) (IGME-Dip. Granada 2007).

- * Sector Norte detrítico y formaciones geológicas interrelacionadas donde se sitúa el núcleo de la Puebla de Don Fadrique, independizado por el cabalgamiento del Subbético sobre el Prebético

3.3. Redes de control

Tabla 1.- Red Piezométrica de la MASb 05.04.Huésca –Puebla de D. Fadrique.

Nº	Código del punto	Denominación	X UTM (Huso 30)	Y UTM (Huso 30)	Cota (m s.n.m.)	Prof (m)	Periodo de medida
1	05.04.001	233710008	548954	4202694	1165	80	Dic 80 – Act.
2	05.04.002		550237	4197289	1066	153	Dic 07 – Act.
3	05.04.003	233760001	554756	4194232	995	120	Oct 69 – Act.
4	05.04.004	Cortijo Don Andrés	550619	4189470	997	150	Ene 07 – Act.
5	05.04.007	223840003	536510	4185160	945	144	Ene 69 – Act.
6	05.04.009	223840001	535091	4184411	955	301	Oct 69 – Act.
7	05.04.010	223840005	536469	4185139	945	152	May 69 – Act.
8	05.04.012	Puebla II, Piez, CHG(2338/1/0005)	547946	4187164	995		Mar 02 – Act.
9	05.04.013	Sonde nuevo (particular)(2337/5/0013)	548838	4189851	1010		Ene 02 – Act.

Tabla 2.- Red Hidrométrica de la MASb 05.04.Huésca –Puebla de D. Fadrique.

Nº	Código IGME	Denominación	X UTM (Huso 30)	Y UTM (Huso 30)	Cota (m s.n.m.)	Periodo de medida
1	05.04.01H	Fuencialiente (2238.4.0007)	542190	4181490	918	Sept 66-Sept 08
2	05.04.02H	Parpacén (2238.4.0009)	537875	4184450	931	Sept 66-Sept 01

Tabla 3.- Red de Calidad de la MASb 05.04.Huésca –Puebla de D. Fadrique.

Nº	Código punto	Denominación	X UTM	Y UTM	Tipo de punto	Tipo de Red
1	5.04.01	Fuencialiente de Huésca	542194	4184143	Manantial	General
2	5.04.11	Sondeo San Gregorio	550870	4202210	Sondeo	Prepotables
3	5.04.21	Finca La Parra	549143	4188891	Sondeo	Nitratos

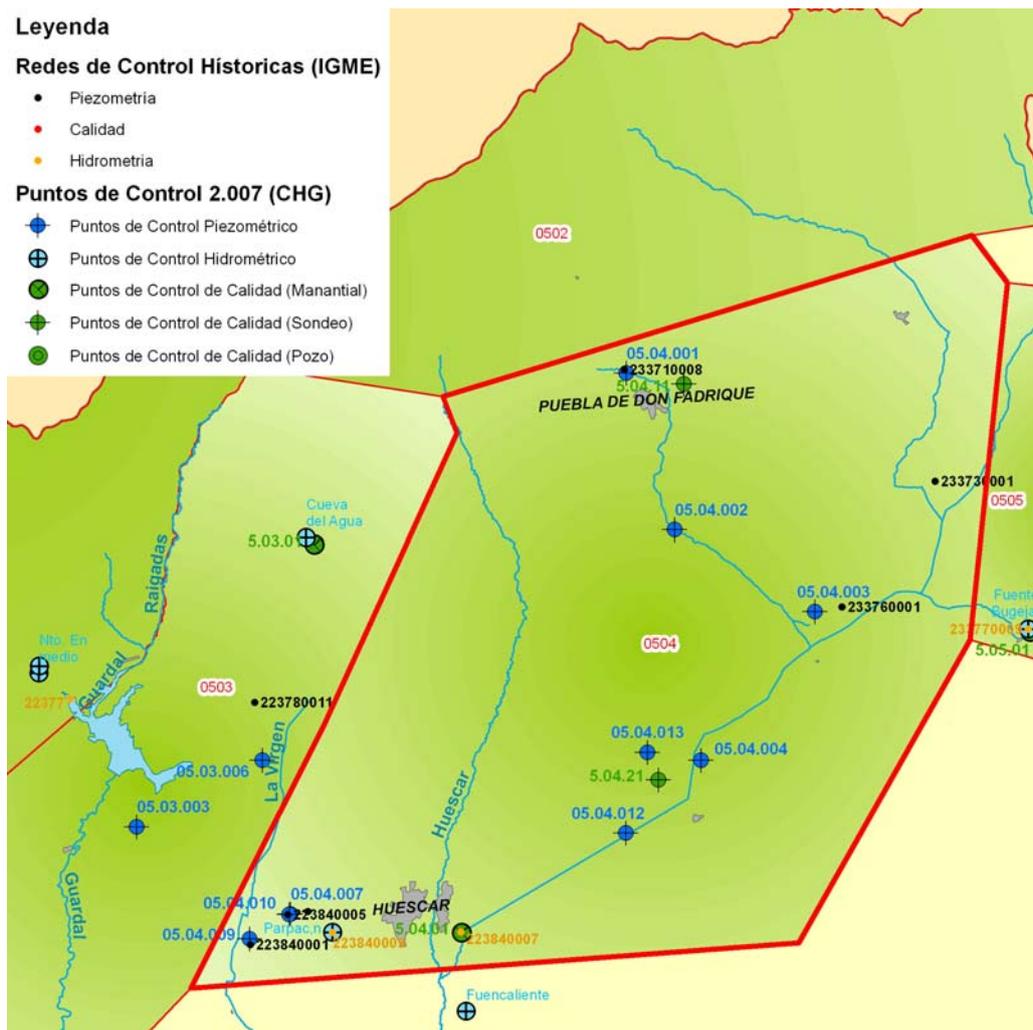


Figura 6.- Redes de Control de la MASb 05.04. Huéscar –Puebla de D. Fabrique.

3.4. Evolución espacial y temporal de la piezometría e hidrometría. Consideraciones sobre la evolución hidrodinámica

Con los datos disponibles, el IGME analizó en estudios previos la evolución hidrodinámica del acuífero, partiendo de los datos de piezometría e hidrometría que se poseen desde 1969 hasta 2006 y su comparación con la evolución pluviométrica de la zona.

Para el estudio de la evolución pluviométrica se ha partido de la información de 4 estaciones meteorológicas, tres pertenecientes al Instituto Nacional de Meteorología (INM), (con nº: 5060, 5069 y 5071) y una perteneciente a la Junta de Andalucía (Estación 2 P.D.F.). Una vez realizado el completado de las lagunas a través del Método US Nacional Weather Service, se calculó la precipitación media en la zona por regresión lineal y medias aritméticas. Para el análisis de la evolución hidrodinámica se partió de los datos de piezometría e hidrometría obtenidos en el periodo 1969-2001 por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y en el periodo 2001-2006 por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) (figura 6). Además se dispone de la información de 16 piezómetros con medida mensual y periodos de registro no continuos en el tiempo.

Se han elegido 4 piezómetros (223840001, 223840003, 233750001 y 233760001), por ser los que tienen mayor número de datos, y los dos manantiales principales de la zona: Parpacén (223840009) y Fuencaliente (223840007) (figura 7), cuyas cotas respectivas son de 920 y 917 m s. n. m.

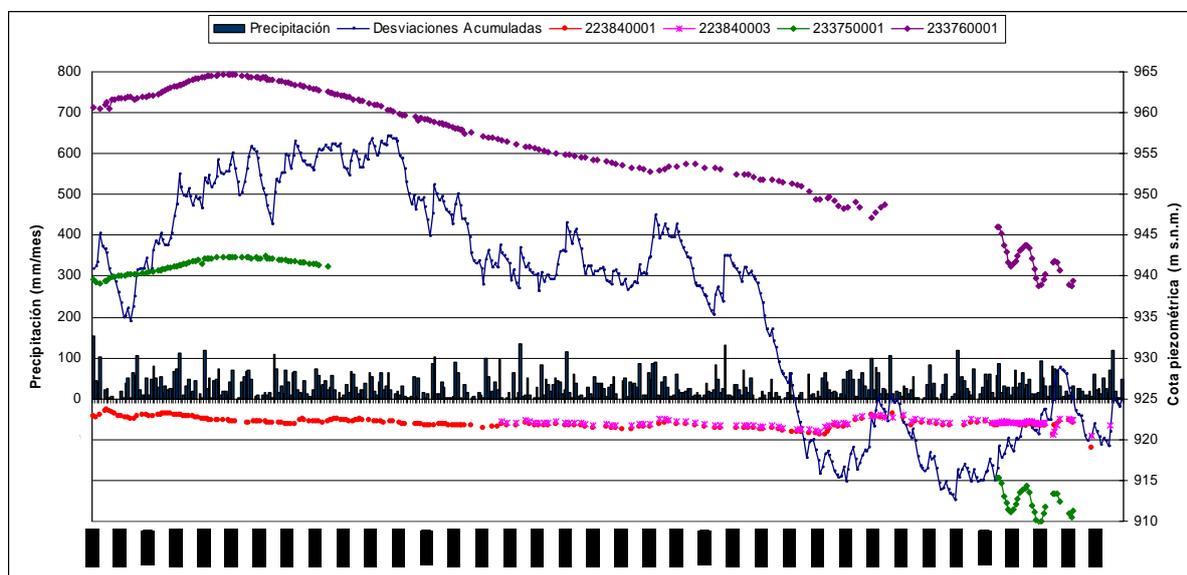


Figura 7.- Evoluciones de los piezómetros más representativos y relación con las precipitaciones y sus desviaciones acumuladas respecto de la media (datos mensuales).

Los niveles piezométricos en el área de estudio se localizan aproximadamente entre los 900 y 970 m de cota. La descarga por los manantiales se cifra en torno a 50-500 L/s en Fuencaliente y de 0-300 L/s en Parpacén. La precipitación media anual en el área, para el periodo 1942-2006, se ha estimado en 360 mm, observándose una sucesión general con valores superiores a la media entre 1970-1979, seguida de la tendencia contraria hasta 1995. Desde 1995-2006 se observan oscilaciones pero sin una tendencia clara.

En la figura 7, que representa las evoluciones piezométricas respecto de las precipitaciones, se puede observar un comportamiento distinto en las evoluciones de los piezómetros ubicados en las proximidades del pueblo de Huéscar (223840001 y 223840003) y los ubicados en el Llano de la Puebla (233750001 y 233760001). En el Llano de la Puebla, los piezómetros revelan un periodo de ascenso en el nivel desde 1969-1974, causado por la sucesión de precipitaciones netamente superiores a la media. A partir de 1974 hasta la actualidad se observa una tendencia descendente, con ciclos menores de ligero ascenso motivados por las importantes lluvias de 1989 y 1996. El descenso total que resulta es del orden de 25 m, con un ritmo que se ha incrementado en los últimos años de la serie, influenciado, principalmente, por las extracciones de regadío en el Llano de la Puebla.

Respecto a la evolución hidrométrica (figura 8), se advierte que el régimen de descarga de los dos manantiales es muy diferente. El manantial de Parpacén tiene una evolución similar a los piezómetros del Sector de Huéscar y el manantial de Fuencaliente similar a los piezómetros ubicados en el Sector del Llano de la Puebla.

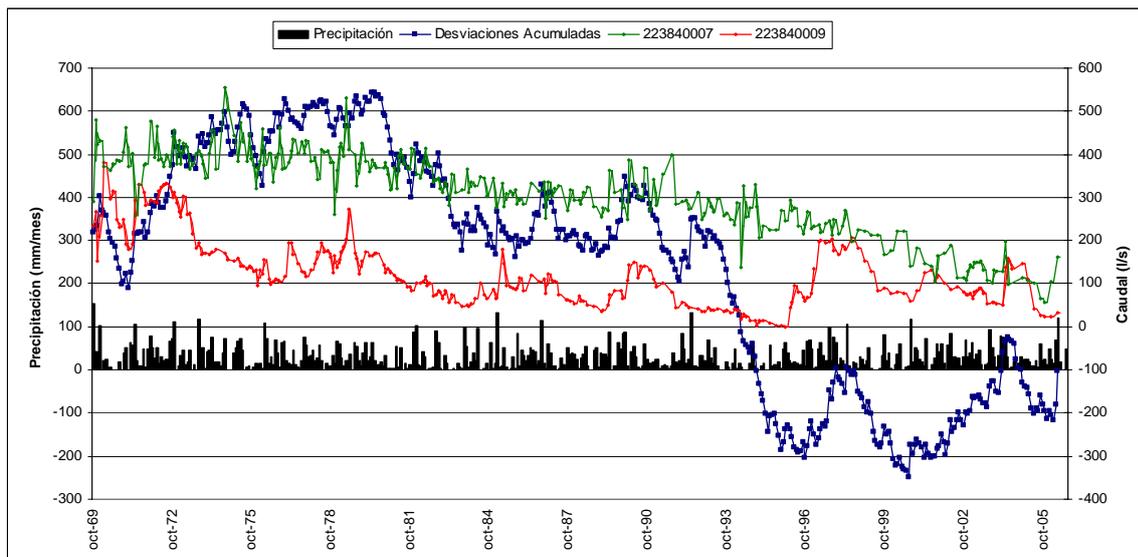


Figura 8.- Evoluciones hidrométricas y su relación con las precipitaciones y sus desviaciones acumuladas respecto de la media (datos mensuales).

En la figura 9 se recogen gráficamente las desviaciones acumuladas anuales respecto a la media a partir de la estación 5069 "Doctor Jureña" en un periodo de 58 años, desde 1951/52 a 2008/2009. Destacar el periodo seco de 11 años entre 1974/75 y 1984/85.

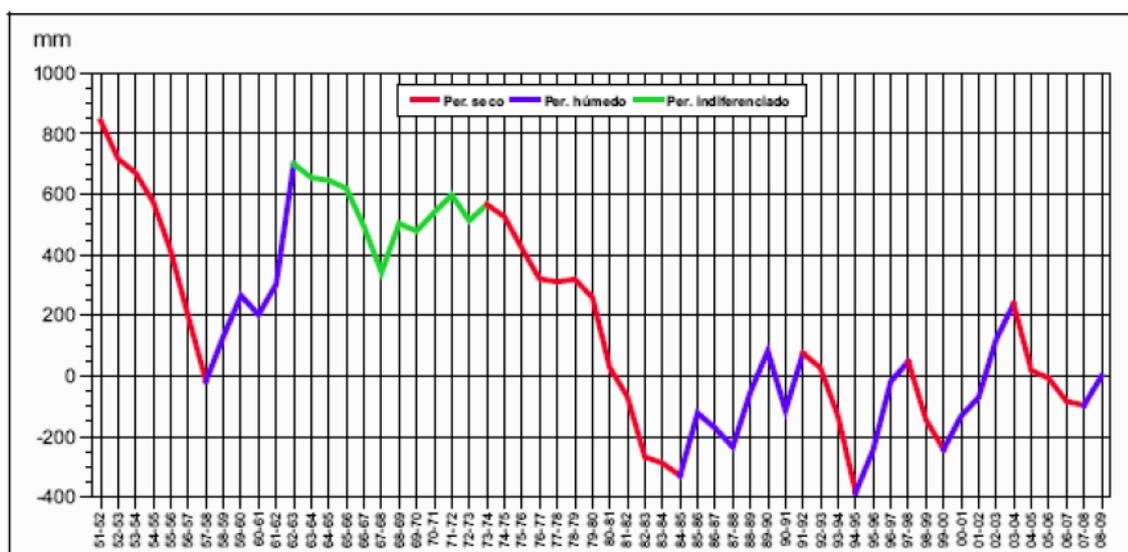


Figura 9.- Desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación anual.

En las figuras 10 y 11 se muestran las desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación mensual y la evolución en el piezómetro S-34 (23376002) representativo del sector norte del acuífero principal o de Los Llanos, y la evolución del manantial de Fuencaliente frente a las desviaciones acumuladas de la precipitación.

- De la evolución de las desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación mensual desde el año 1982/83 y la evolución de niveles y de la evolución del manantial de Fuencaliente hasta 1992/93, se observa una alternancia entre ciclos secos y húmedos que dura unos 4 años, si bien, hay una tendencia general de este período de años húmedos y bajada de

niveles al igual que caudales debido a las explotaciones que se inician a principios de los ochenta.

- A partir de 1992/93, la alternancia de períodos secos y húmedos aumenta de amplitud entre 7 y 8 años. En esta etapa destacar el período entre 2000/01 y 2003/04 que aun siendo húmedo, los niveles y el caudal de Fuencaliente tienden al descenso.
- En los últimos cinco años la tendencia disminuye desde el 2003-2004, casi se llega a estabilización, a pesar del período seco 2003/2004 y 2007/2008.

El análisis de aportaciones del sector de Parpacén realizado en 2008 por la Confederación del Guadalquivir representa la evolución histórica del manantial de Parpacén desde el año 1970-71 al año 2006-2007. La estadística señala un caudal medio de 108,5 L/s, con máximos de 331,5 L/s y mínimos de 0 L/s.

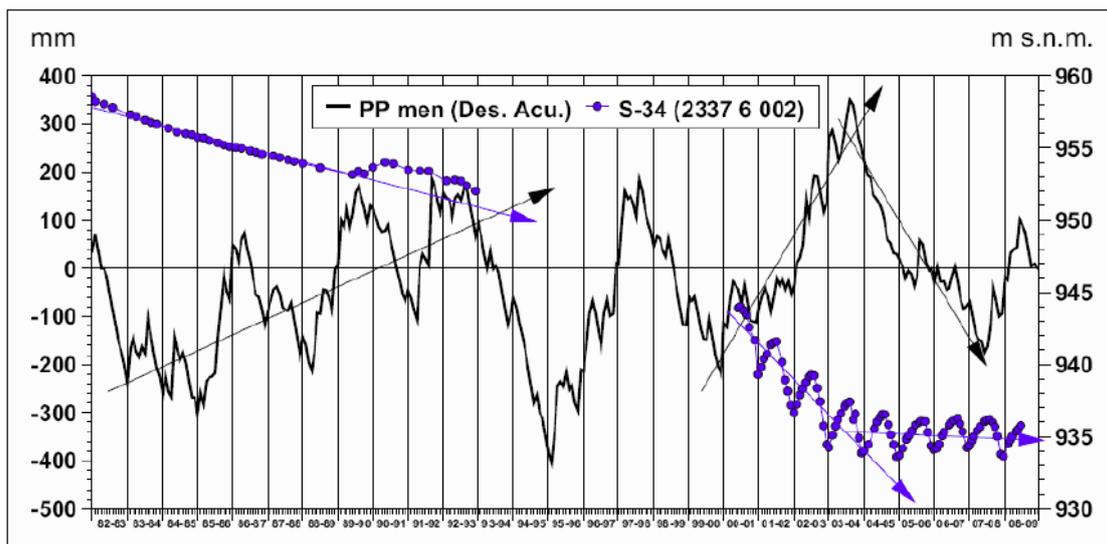


Figura 10.- Desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación mensual y niveles en el piezómetro S-34 (2337 6 002).

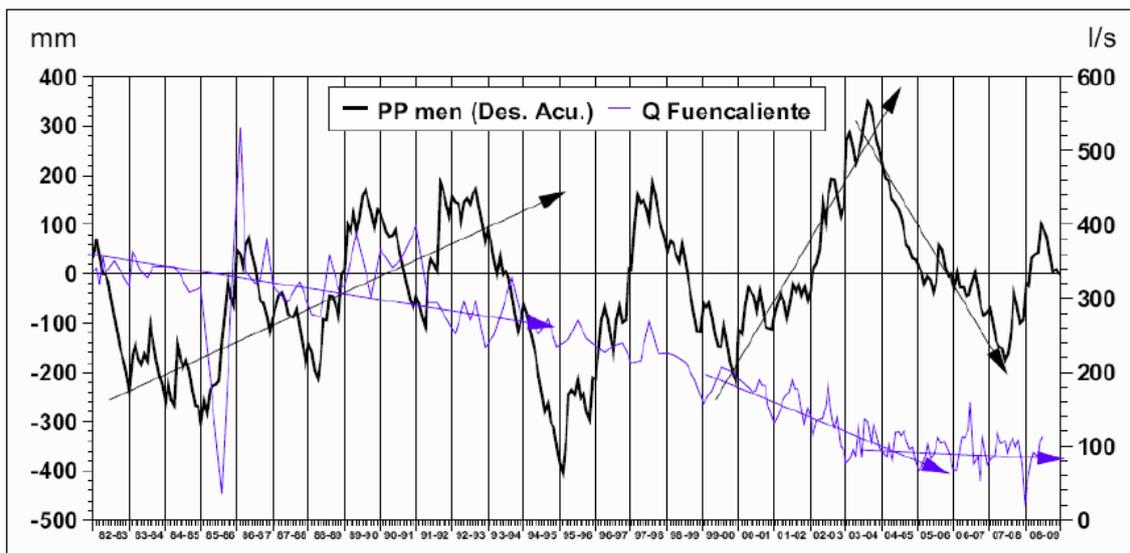


Figura 11.- Desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación mensual y caudales aforados en el manantial de Fuencaliente.

3.5. Hidroquímica. Variación espacial y temporal

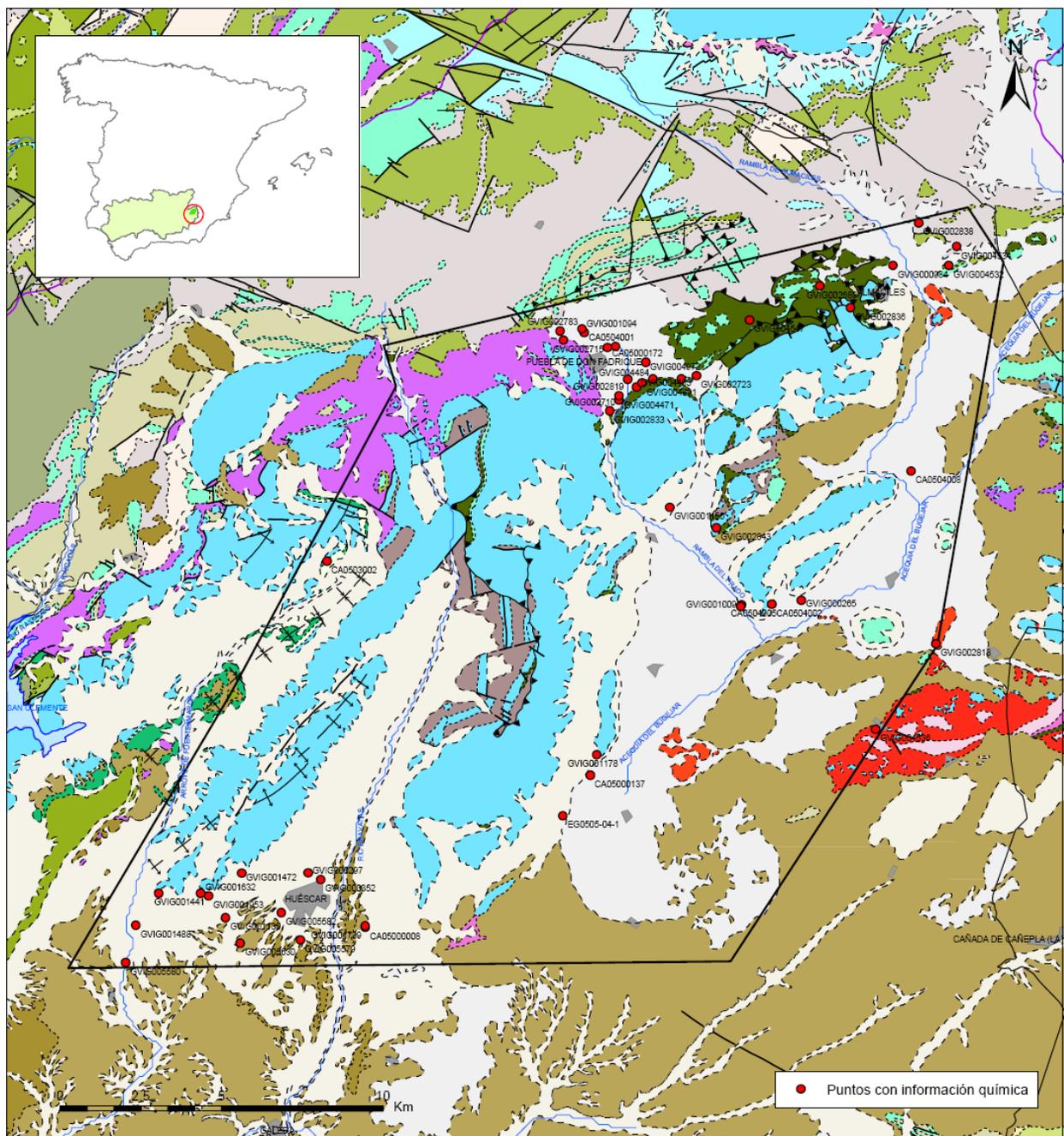
La caracterización adicional de la masa de agua aporta información sobre la calidad química especialmente interesante. En la figura 12 se reflejan los puntos con calidad química de referencia.

En la figura 13 se acompañan los niveles de referencia (diagramas de cajas de la masa donde se incluyen nitratos, amonio y nitritos, conductividad, cloruros, sulfatos y metales: Cd, Pb, Hg).

En las figuras 14, 15 16 se aportan las evoluciones de amonio total, nitratos, nitritos, cloruros, conductividad, sulfato, cadmio, mercurio y plomo para diferentes muestras en puntos situados en la figura 12 y en ésta las facies hidrogeoquímicas dominantes y el diagrama de Piper con la nube de puntos.

Para la evaluación del estado químico actual de la masa se han utilizado los datos de la red oficial de control de la calidad del agua subterránea, en concreto la lista de contaminantes y los indicadores recogida en la parte B del Anexo II de la Directiva 2006/118/CE y se han establecido los valores umbral de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 3.

La evaluación del estado químico de la MAS, durante el periodo de muestreo, 2.005-2.007, norma de explotación reciente (en revisión) realizada por CHG, pone de manifiesto que los valores de arsénico, cadmio, mercurio y plomo siempre están por debajo del límite de detección de análisis. Del mismo modo, el valor medio del contenido en fluoruros, durante el periodo de observación es de 0,15 mg/l (por debajo del límite establecido), registrando como valor máximo/mínimo, respectivamente, 0,17 mg/l y 0,13 mg/l.



FACIES HIDROGEOQUÍMICAS DOMINANTES EN LA M.A.S.

	Calcica	Magnésica	Sódica
Bicarbonatada			
Sulfatada			
Clorurada			

Diagrama de Piper

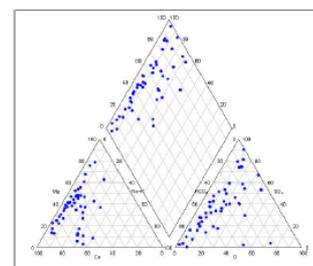


Figura 12.- Mapa de calidad química de referencia. Facies hidrogeoquímicas. Masa Huéscar-Puebla D. Fadrique.

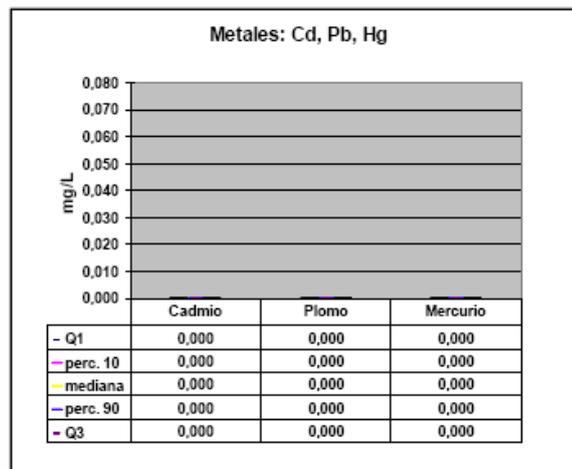
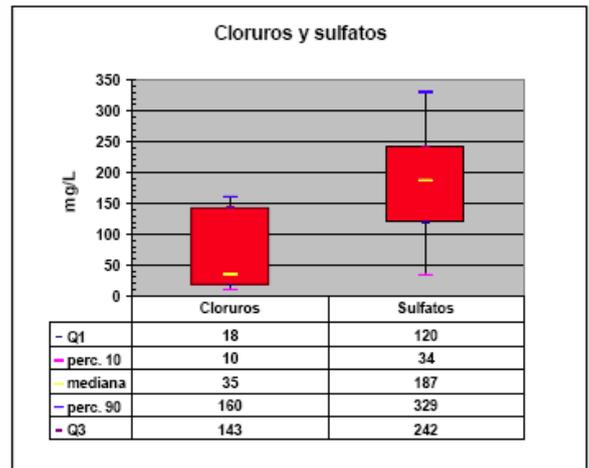
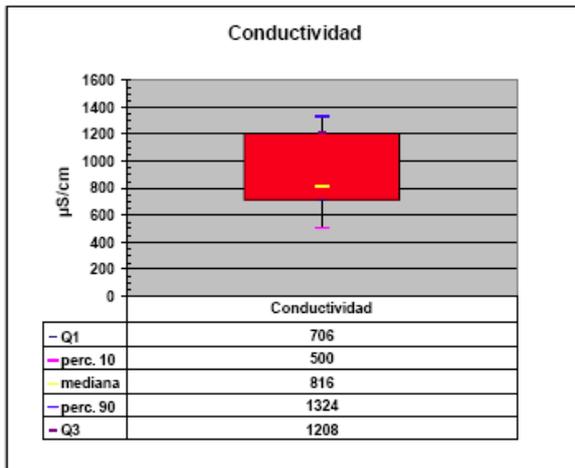
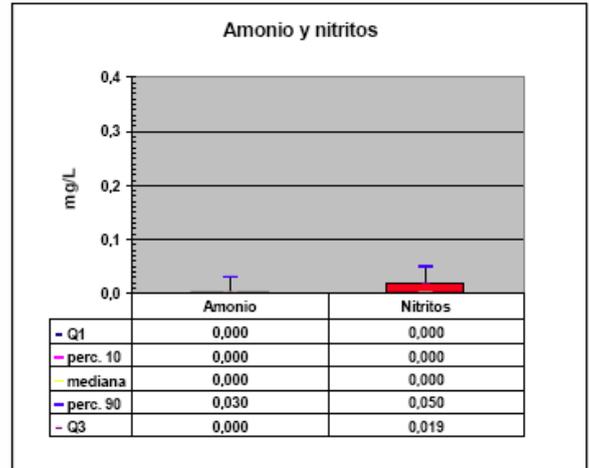
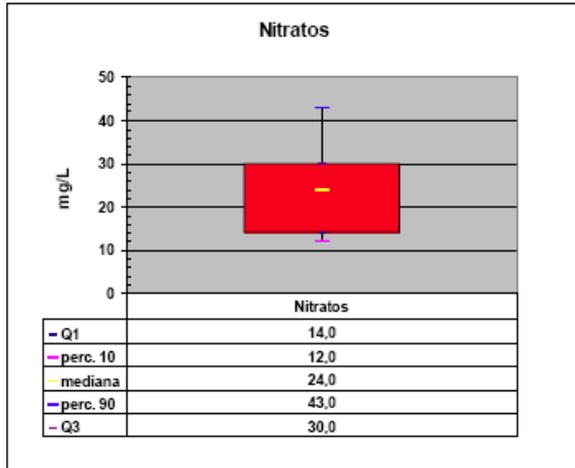


Figura 13.- Niveles de referencia. Diagramas de cajas. 05.04 Huéscar-Puebla de D. Fadrique.

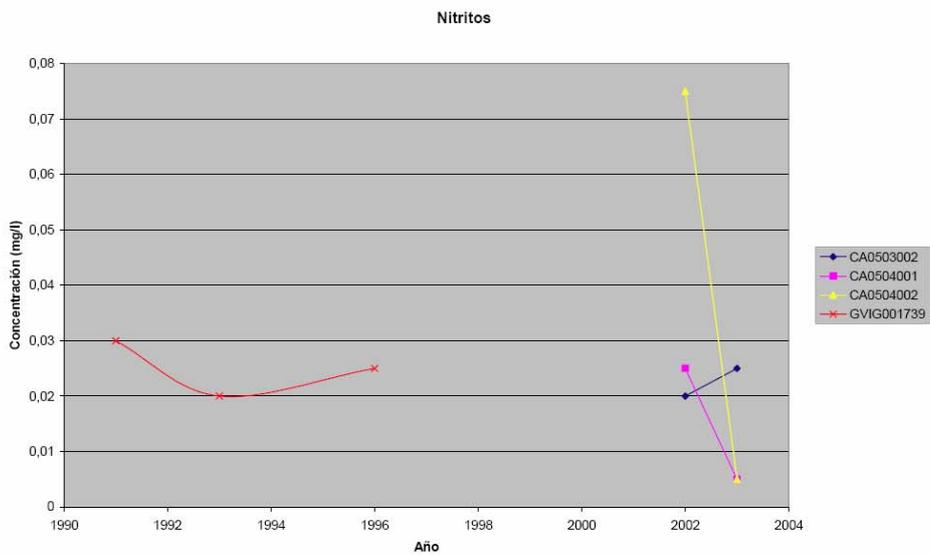
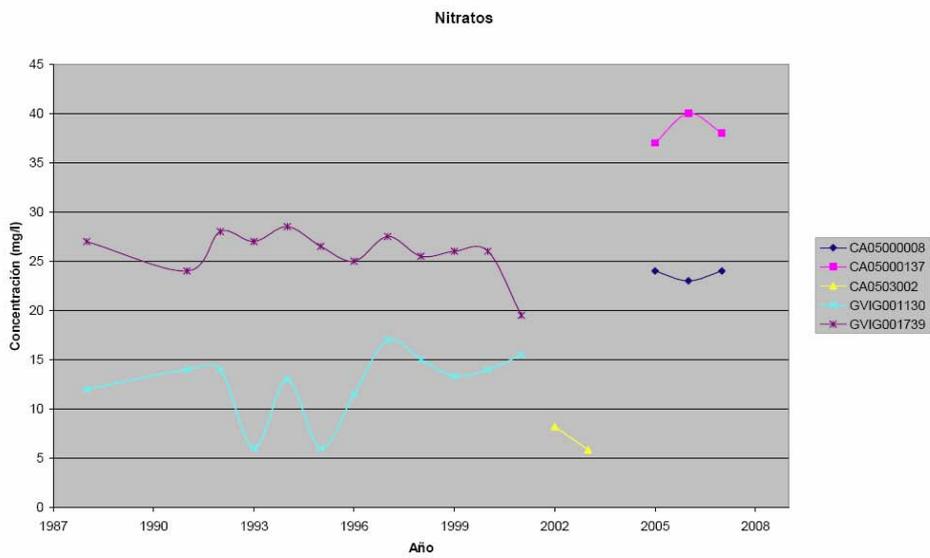
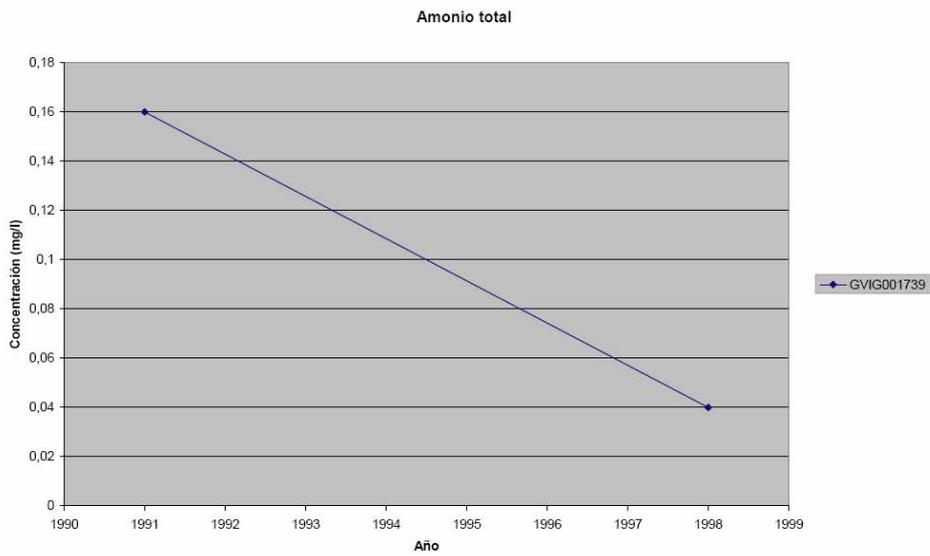


Figura 14.- Evolución para diferentes puntos de control, de NH_4^+ , NO_3^- y NO_2^- .

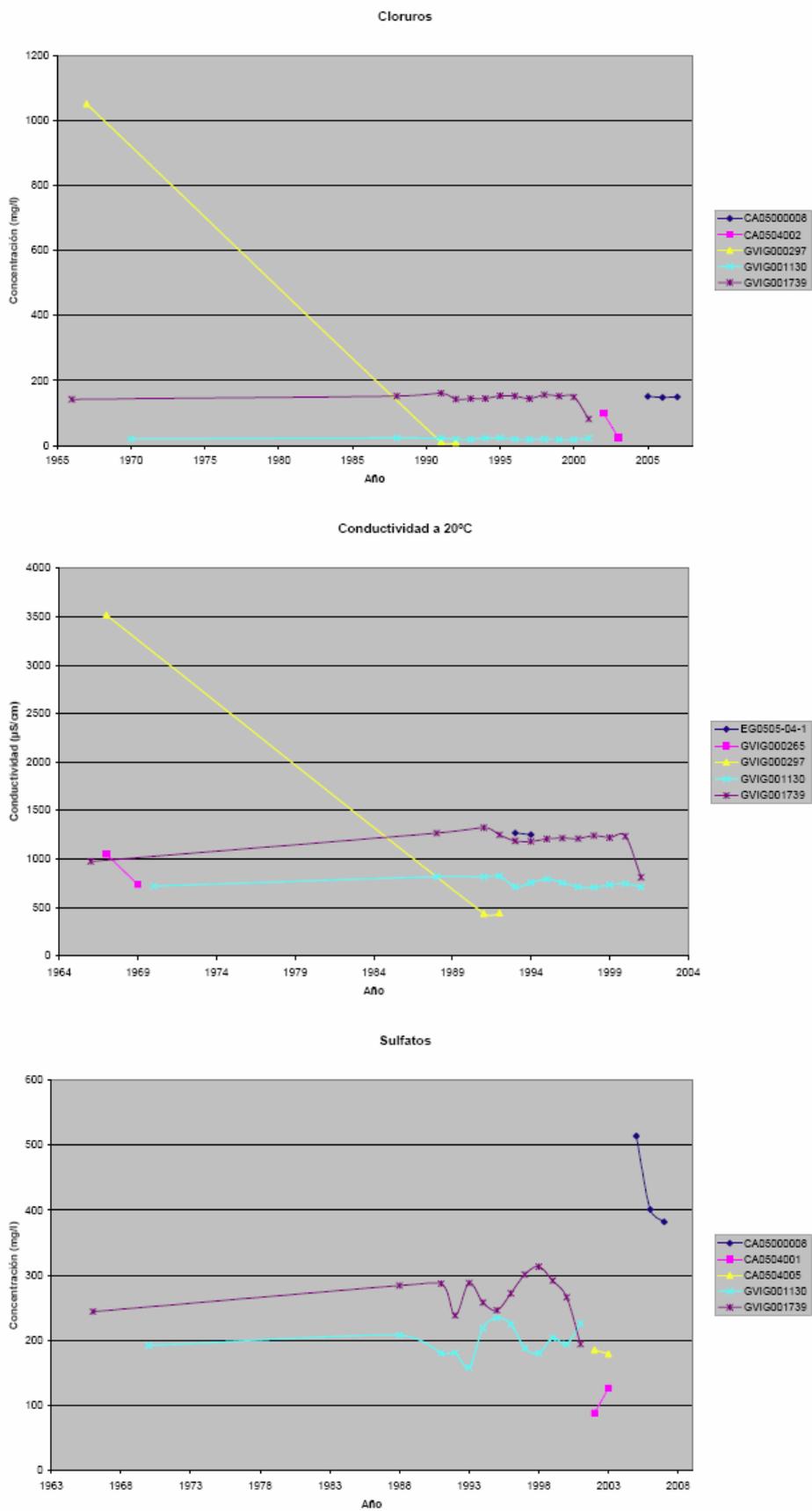


Figura 15.- Evolución para diferentes puntos de control, de Ct, conductividad y SO_4^{2-} .

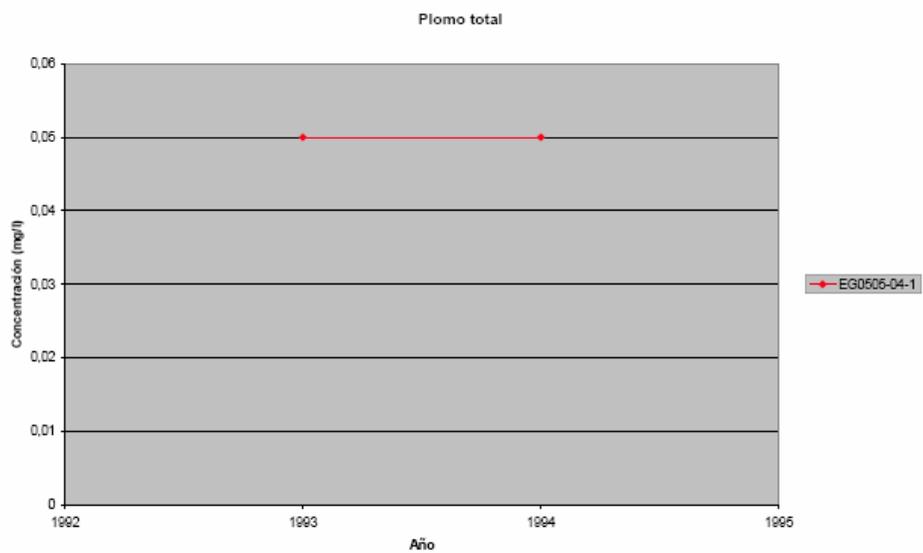
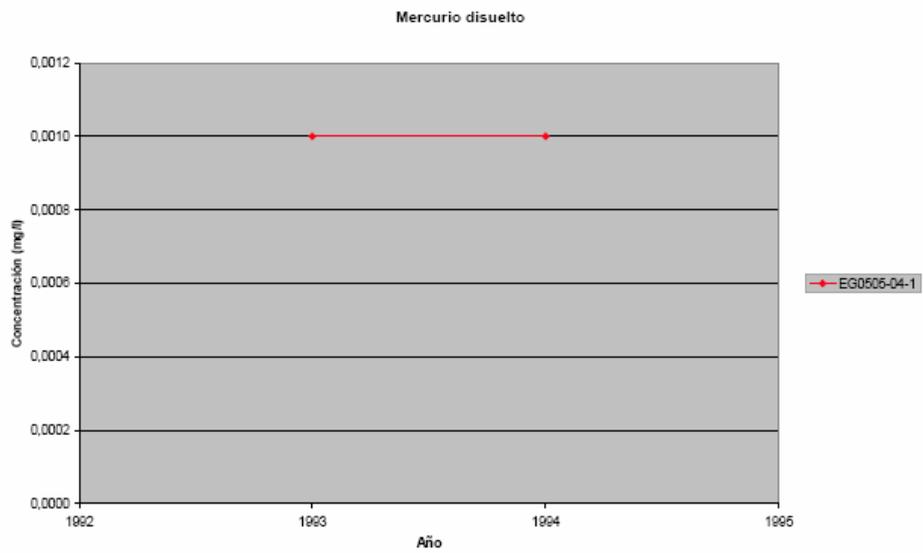
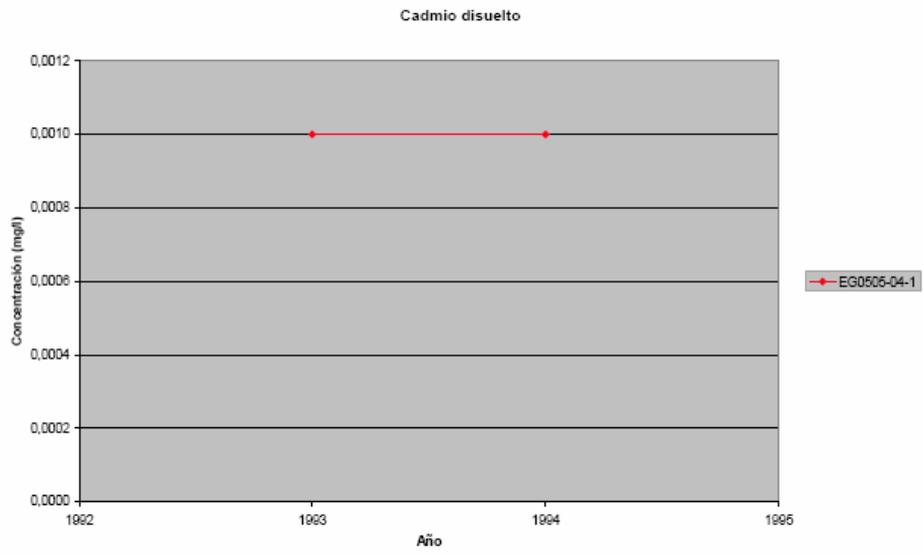


Figura 16.- Evolución para diferentes puntos de control, de Cd, Hg y Pb total

De los tres puntos de control de calidad existentes en la masa, el punto 05.04.01 presenta un contenido de sulfatos anormalmente alto frente los valores registrados en los otros dos, siendo esta la causa de que la media de la masa presente valores por encima de los permitidos. En dicho punto, situado en la zona más meridional de la masa junto al manantial de Fuencaliente, se han obtenido valores de sulfatos, entre los 514 y 358 mg/l, siendo el valor umbral de 250 mg/l (figura 17).

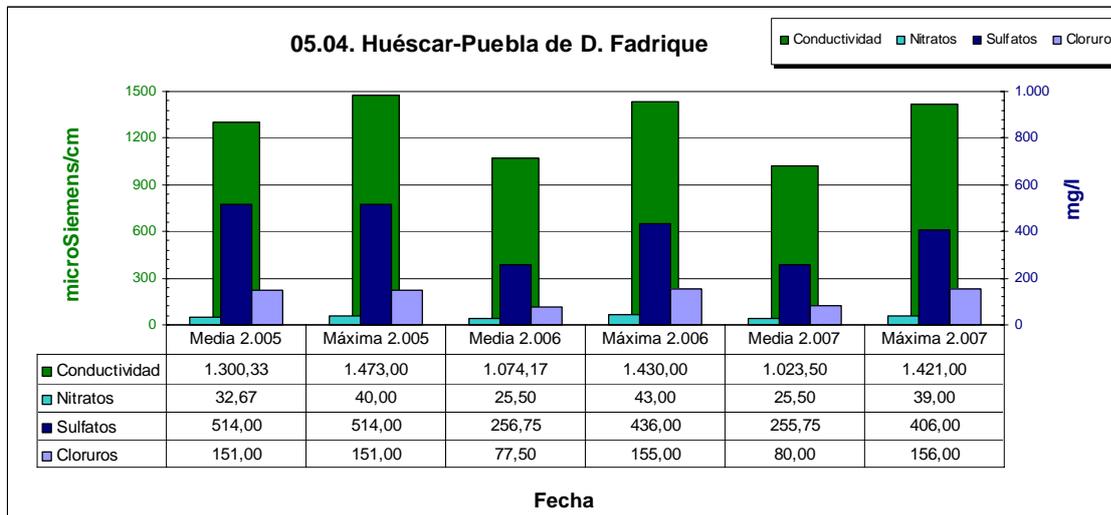


Figura 17.- Media/Máxima de los puntos de control de Calidad de la MASb 05.04.Huéscar –Puebla de D. Fadrique.

El incumplimiento por sulfatos probablemente se deba a las características intrínsecas asociadas a la naturaleza detrítica de los materiales existentes en el entorno del punto de control (presencia de niveles yesíferos) y no a una posible contaminación de origen antrópico. Por lo que no se consideraría este ítem para la valoración del estado de la masa de agua subterránea. En consecuencia, la masa se encuentra en buen estado químico.

3.6. Explotación por bombeo de la masa de agua subterránea y el balance hídrico

El acuífero de Huéscar-Puebla, se ha visto sometido a una fuerte explotación en los últimos años, principalmente la zona del Llano de la Puebla (acuífero principal), provocando descensos importantes tanto en el nivel piezométrico como en el caudal del principal manantial, Fuencaliente.

Hay que decir que la evolución del manantial de Fuencaliente es claramente descendente desde 1974. El incremento en la explotación para regadío que se venía produciendo en este sector tiene una evidente relación con dicho comportamiento.

El último balance hídrico realizado en esta masa fue en el 2001 (CHG-IGME, 2001). Las entradas (por infiltración de agua de lluvia y de la escorrentía de la cuenca) y salidas estimadas fueron de 30 hm³/año. Las salidas se producían a través de manantiales y sondeos surgentes (16 hm³/año), por bombeos (7,2 hm³/año) y a través de descargas ocultas (6,8 hm³/año).

Con respecto a las extracciones por bombeo, estas han ido variando en el tiempo. En 1970 la explotación no existía y se ceñía exclusivamente a la utilización del agua de los principales manantiales, los cuales arrojaban un volumen de 18 hm³/año (IGME, 1970). Las explotaciones en la zona han variado de la forma siguiente:

Entre 1951/52 y 1981/82	0,00 hm ³ /año.
Entre 1982/83 y 1993/94	2,45 hm ³ /año.
Entre 1994/95 y 2002/03	8,67 hm ³ /año.
Entre 2003/04 y 2006/07	4,13 hm ³ /año.
Entre 2007/08 y 2008/09	5,62 hm ³ /año.

4. CONSIDERACIONES

Acuífero principal de los Llanos de la Puebla en relación con el manantial de Fuencaliente

Este sector de la masa de agua es el que presenta, con claridad, riesgo de sobreexplotación. En el reciente informe sobre "Análisis del modelo matemático elaborado en el sector acuífero relacionado con el manantial de Fuencaliente como base para la recuperación del manantial y recomendaciones para la conservación de los manantiales de Parpacén y Bugejar (MASb 05.04 Huéscar-Puebla y 05.05 La Zarza) se analizó la viabilidad del planteamiento realizado en su día por la CHG (concesiones de hasta 5,6 hm³/año en toda la masa de agua (5,17 hm³/año para el sector relacionado con Fuencaliente), que corresponderían a 1302 ha con 4300 m³/ha/año) y las posibilidades de obtener el caudal sostenible propuesto por la CHG en el manantial de Fuencaliente con caudales de 100 L/s a partir del modelo matemático realizado por CHG y revisado posteriormente por la AAA.

Sobre el modelo matemático cuya ampliación se ha realizado recientemente señalar: Objetivo fundamental fue estimar el rango de caudales y cuanto tardaría en estabilizarse el drenaje del acuífero que tiene lugar por el manantial de Fuencaliente considerando las explotaciones previstas por la AAA.

Las actividades principales fueron:

- Revisión del modelo matemático precedente.
- Actualización e introducción de datos de explotaciones, de aportaciones y de control piezométrico hasta el año hidrológico 2008/09. Las explotaciones en la zona han variado de la forma siguiente:

Entre 1951/52 y 1981/82	0,00 hm ³ /año.
Entre 1982/83 y 1993/94	2,45 hm ³ /año.
Entre 1994/95 y 2002/03	8,67 hm ³ /año.
Entre 2003/04 y 2006/07	4,13 hm ³ /año.
Entre 2007/08 y 2008/09	5,62 hm ³ /año.

- Reajuste del modelo matemático en función de la nueva información suministrada por los datos actualizados.
- Realización de simulaciones bajo diferentes escenarios: régimen histórico de explotaciones, régimen no influenciado, previsiones futuras considerando las explotaciones otorgadas.
- El modelo analiza la precipitación y su relación con la piezometría y el drenaje del manantial de Fuencaliente, con objeto de comparar las distintas etapas de las explotación-descargas naturales-precipitaciones (serie de 58 años).
- De la evolución de las desviaciones acumuladas respecto a la media de la precipitación mensual desde el año 1982/83 y la evolución de niveles y de la evolución del manantial de Fuencaliente hasta 1992/93, se observa una

alternancia entre ciclos secos y húmedos que dura unos 4 años, si bien, hay una tendencia general de este período de años húmedos y bajada de niveles al igual que caudales debido a las explotaciones que se inician a principios de los ochenta (figuras 10 y 11).

- A partir de 1992/93, la alternancia de períodos secos y húmedos aumenta de amplitud entre 7 y 8 años. En esta etapa destacar el período entre 2000/01 y 2003/04 que aun siendo húmedo, los niveles y el caudal de Fuencaliente tienden al descenso.
- En los últimos cinco años la tendencia disminuye desde el 2003-2004, casi se llega a estabilización, a pesar del período seco 2003/2004 y 2007/2008.
- La tabla 4 y figura 18 reflejan la relación de concesiones otorgadas y por otorgar en el sector de las que 5168084 m³/año corresponden al acuífero drenado por Fuencaliente (las sombreadas en el cuadro no influirían sobre Fuencaliente).
- Se ha considerado para la simulación futura un régimen de aportaciones similar al ocurrido en los últimos 50 años (condiciones climáticas incluyendo períodos extremos secos y lluviosos) infiltración media anual de 10,1 hm³/año de recarga.
- Las explotaciones que se señalan se producen en los 6 meses de estiaje del año (abril-septiembre) tal como ocurre en la actualidad.
- La evolución futura prevista (figura 19) muestra que la recuperación en el sector sur (descarga de Fuencaliente y piezómetro S-11 (representativo del sector Sur) continuará en los próximos tres años hasta su estabilización, próximo al 2012/13 (tres años). El sector norte (S-34) señala ya una estabilización. La cota piezométrica de estabilización en el sector norte se sitúa en 927-937 m s.n.m. y en el sector sur en 920-930 m s.n.m.
- El acuífero se estabilizaría según los datos de la tabla 5 consiguiendo medias de 155 L/s en el manantial de Fuencaliente con mínimos de 48 L/s y máximos de 367 L/s por lo que con las concesiones previstas se alcanzaría el objetivo señalado por la CHG de superar los 100 L/s de media del manantial, con mínimos próximos a 50 L/s en épocas de sequía extrema y máximos de 367 L/s en épocas posteriores a períodos intensos de lluvia y un rango de variación de 319 L/s.
- Los resultados obtenidos están del lado de la seguridad, pues no se ha considerado la posible relación hídrica con la masa de La Zarza que podría aportarle agua y todas las explotaciones se han supuesto captan materiales carbonáticos; si bien algunos se localizan en el detrítico. Así, las diferentes características hidrodinámicas (con influencias menores desde el detrítico en relación a las descargas de Fuencaliente) y el haber considerado a todos los puntos como si estuvieran instalados sobre los carbonatos hace que la afección pudiera ser menos inmediata de lo supuesto en el modelo.

Acuífero situado al oeste del río Bravatas en relación con el manantial de Parpacén

Englobaría la margen derecha del río de Huéscar, Sierra del Muerto, Sierra Bermeja y Sierra de Montilla en relación con el manantial de Parpacén.

En el informe reciente sobre Parpacén; si bien se señala una correspondencia entre el caudal del manantial y las desviaciones acumuladas de la precipitación señalando que las tendencias al descenso y ascenso de caudales coinciden en el tiempo con los períodos secos y húmedos, así como que la influencia de las explotaciones por bombeo debe ser pequeña, entendemos que para el período de los años 1994-1995 en que el manantial queda seco (único momento histórico en que se conoce seco) ya debe estar influido por los bombeos, así como el período 99-00 a 2003-2004 en que un período húmedo marcado por la lluvia, hace que, si bien en los primeros meses ascienda el caudal del manantial, se puede observar una caída de caudal a partir del año 2001, que debe explicarse por los bombeos existentes.

Se señala un balance en el periodo 1970-71 a 2006-07 (37 años) para el sector situado al oeste del río Bravatas en relación con Parpacén, de 3,44 hm³/año (aportaciones históricas de 109 L/s) y unas aportaciones estimadas por infiltración para el conjunto de 3,78 hm³/año, si tenemos en cuenta las precipitaciones/lluvia útil/infiltración estimada.

Para el periodo 1951/52 a 2006/2007 (56 años), las aportaciones por lluvia al acuífero se estiman en 4 hm³/año.

Se señala que la capacidad reguladora del compartimento que regula Parpacén es mucho menor que en el sector principal o de Los Llanos (tiene menor inercia frente a las precipitaciones).

Se estima que como cifra prudente para conservar el manantial se recomienda estudiar por la CHG la posibilidad de no superar para el sector el 10 % del volumen correspondiente al caudal medio real histórico del manantial de Parpacén (108,5 L/s) Además se debe seguir la recomendación incluida en la norma de explotación de la CHG-IGME (2001) de no realizar ninguna captación dentro de un radio circular al manantial de 2000 metros. En la figura 18, de localización de concesiones, solo aparece una concesión en este sector de 12685 m³/año (nº 133 de la tabla 4).

Acuífero del sector detrítico y afloramientos asociados

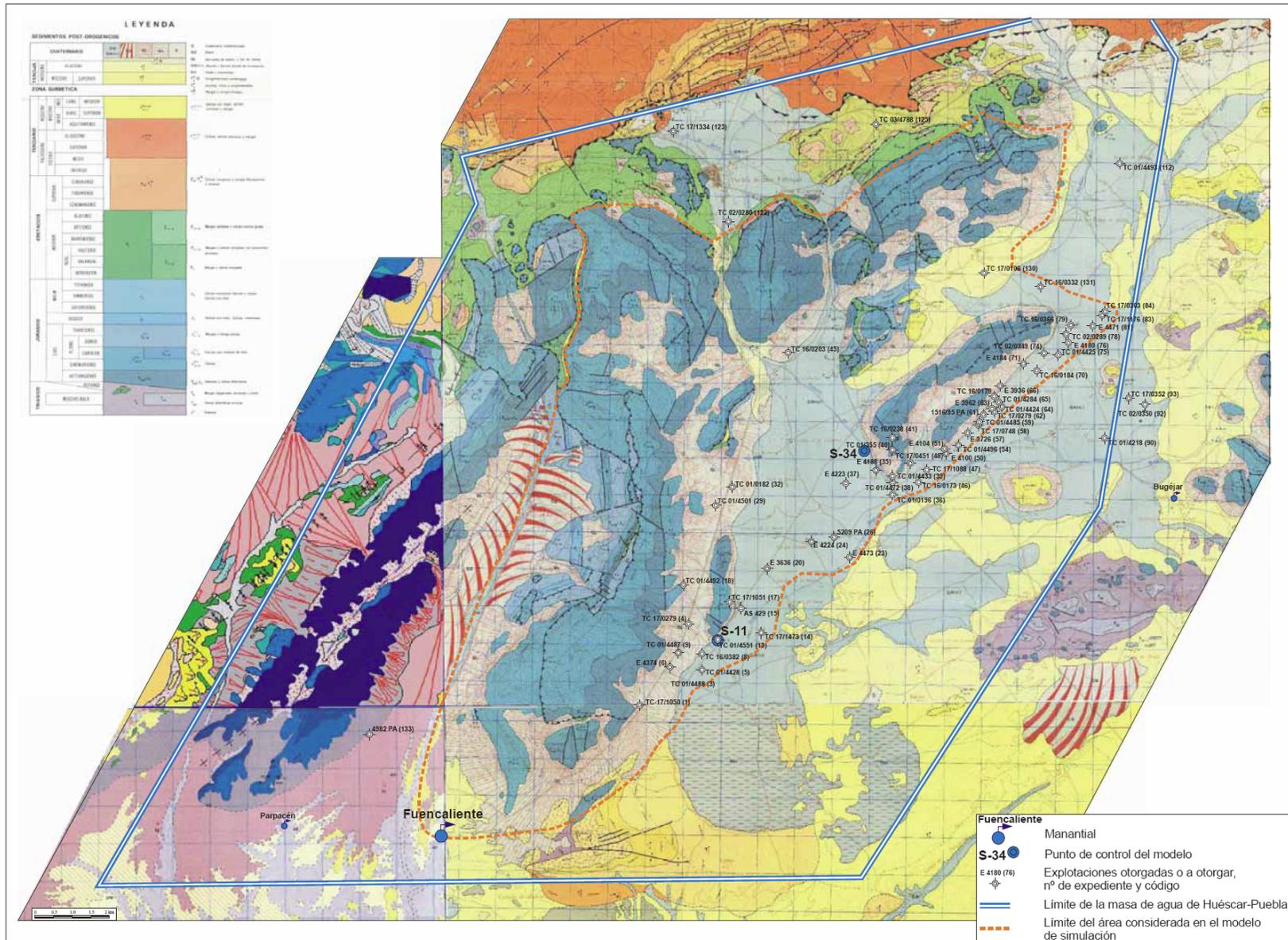
Es preciso diferenciar el sector detrítico donde se encuentra el núcleo urbano de la Puebla de D. Fadrique y formaciones geológicas interrelacionadas, independizado del sector principal del Llano de La Puebla por el cabalgamiento del Subbético sobre el Prebético. Este presentaría unos recursos renovables muy reducidos (pendiente de evaluar, pero posiblemente en torno a 1 hm³/año); si bien presenta una explotación muy incipiente (sobre el se sitúan las concesiones otorgadas o a otorgar nº 123, 125 y 122 de la tabla 4) (fig. 18) con un volumen total de 117820 m³/año.

Tabla 4. - Relación de concesiones otorgadas y a otorgar. Datos de la Agencia Andaluza del Agua

Código	Expediente	Apellidos	Nombre	Explotaciones	
				Sup. Riego (ha)	(m ³ /año)
1	TC-17/1050	Serrano García	Miguel	20.00	86,000
3	TC-01/4488	Jiménez Reina	Fulgencio	20.00	86,000
4	TC-17/0279	Arias Bañón	Adoración	20.00	86,000
5	TC-01/4428	García Uclés	Domingo	19.55	84,065
6	E 4374	Gómez Burlo	Valentín	20.00	86,000
8	TC-16/0382	Romero Gómez	Carmen	20.00	86,000
9	TC-01/4487	Fernández Tristante	Modesto	20.00	86,000
13	TC-01/4551	Agrolapiente	7 Comuneros	85.50	367,650
14	TC-17/1473	Pérez Suárez	Elidia	2.00	8,600
15	AS 429	García Sánchez	Hernán y Antonio	78.31	336,733
17	TC-17/1051	Serrano García	Antonio	20.00	86,000
18	TC-01/4492	Fernández Tristante	Marcial	20.00	86,000
20	E 3636	Gómez Gómez	José	20.00	86,000
23	E 4473	Román García	Francisco	20.00	86,000
24	E 4224	López Ortiz	Providencia	20.00	86,000
26	5209 PA	Román Marín	Francisco	12.00	51,600
29	TC-01/4501	García García	Isabel	20.00	86,000
32	TC-01/0182	Sánchez Brígido	Lapaz	20.00	86,000
35	E 4188	Gutiérrez Casas	Pedro	20.00	86,000
36	TC-01/0196	Romero Romero	José M ^a	20.00	86,000
37	E 4223	Romero Romero	José M ^a	20.00	86,000
38	TC-01/4472	Paz García	José	20.00	86,000
39	TC-01/4433	Gómez Gómez	Juan Francisco	20.00	86,000
40	TC-01/355	Fernández Alfaro	M ^a del Carmen	62.00	266,600
41	TC-16/0238	Rubio Martínez	Calixto y José	20.00	86,000
45	TC-16/0203	Muñoz Marín	José	20.00	86,000
46	TC-16/0173	Valcárcel de Aizpurua	M ^a Dolores	20.00	86,000
47	TC-17/1088	De la Cruz Sánchez	Manuel Antonio	7.9	33,970
48	TC-17/0451	Sánchez Fernández	Balbino	20.00	86,000
50	E 4100	Gómez de Valcarcel	Florencio	20.00	86,000
51	E 4104	Martínez García	Rafael	20.00	86,000
54	TC-01/4496	García Ruiz	Antonio	20.00	86,000
57	E 3726	Sánchez Arias	Abraham	20.00	86,000
58	TC-17/0748	Robles García	Teodoro	20.00	86,000
59	TC-01/4485	Sánchez Fernández	Salvador	20.00	86,000
61	1516/95 PA	Sánchez García	Manuel	11.30	48,590
62	TC-17/0279	Romero Gutiérrez	Antonio y Hnos.	20.00	86,000
63	E 3962	Romero Romero	José M ^a	20.00	86,000
64	TC-01/4424	Gómez Sánchez	Concepción	20.00	86,000
65	TC-01/4284	C.R. Vistalegre		37.62	161,766
66	E 3936	Mateos Robles	Mónica	20.00	86,000
67	TC-16/0179	Moreno Aliaga	Luis y María	20.00	86,000
70	TC-16/0184	Moreno Aliaga	Luis y María	20.00	86,000
71	E 4184	Pividal Ruiz	Carmen	20.00	86,000
74	TC-02/0349	Arias Arias	Fabio y otro	20.00	86,000
75	TC-01/4425	Arias Arias	Fabio y otro	20.00	86,000
76	E 4180	Pividal Ruiz	Francisca Patricia	20.00	86,000
78	TC-02/0289	Abellaneda Navarro	José	20.00	86,000
79	TC-16/0366	Arias López	Miguel	20.00	86,000
81	E 4471	Román Arias	Teresa	19.91	85,613
83	TC-17/1176	Castillo Sánchez	José Antonio	20.00	86,000
84	TC-17/0303	Castillo Sánchez	José Antonio	5.79	24,897
90	TC-01/4218	Arias Arias	Fabio y otro	20.00	86,000
92	TC-02/0350	Gimenez Robles	Emilio Gaspar y	20.00	86,000
93	TC-17/0352	Vegetales los cerritos		13.00	55,900
112	TC-01/4493	Martínez Tristante	José	17.03	73,229
122	TC-02/0280	González González	Magdalena	16.00	68,800
123	TC-17/1334	Burlo Gómez	Justo	5.40	23,220
125	TC-03/4788	González García	Jesús	6.00	25,800
130	TC-17/0106	Arias García	M ^a Nieves	20.00	86,000
131	TC-16/0332	García Fuentes	Jesús	20.00	86,000
133	4982 PA	López Trujillo	José Manuel	2.95	12,685
Total concesiones				1,302.26	5,599,718
Total concesiones que afectan al acuífero drenado por Fuencaiente				1,204.83	5,168,084

Se somborean las concesiones que no afectan al acuífero drenado por el manantial de Fuencaiente

MASA DE AGUA HUÉSCAR-PUEBLA DE DON FADRIQUE (05.04)



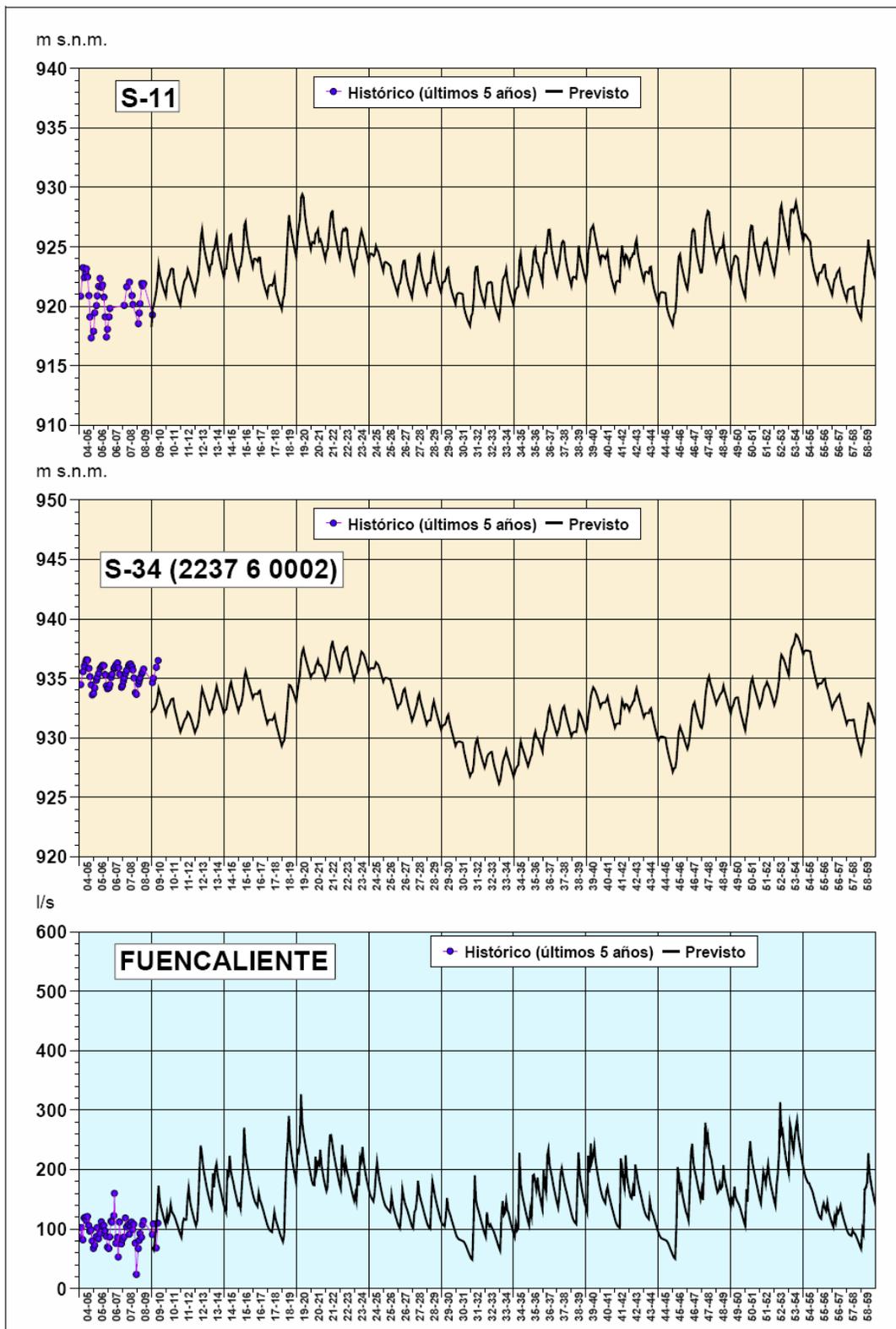


Figura 19.- Valores futuros simulados en dos piezómetros de control y en el manantial de Fuencaliente considerando las explotaciones otorgadas y por otorgar.

Tabla 5.- Valores representativos del funcionamiento del acuífero que drena hacia Fuencaliente en régimen natural y con las explotaciones otorgadas o por otorgar. Datos Agencia Andaluza del Agua

Concepto		Sin explotaciones	Con explotaciones otorgadas o por otorgar
Aportaciones: infiltración (hm ³ /a)		10.52	10.10
Explotaciones (hm ³ /a)		0.00	5.17
Caudal Fuencaliente (L/s)	Medio	345	155
	Desviación típica	63.6	48.6
	Coef. de variación	18%	31%
	Máximo	556	367
	Mínimo	217	48
	Rango de variación	339	319
Nivel piezométrico Sector Norte: S-34 (m s.n.m.)	Medio	962.1	932.5
	Desviación típica	4.29	2.56
	Máximo	969.8	938.7
	Mínimo	955.3	926.2
	Rango de variación	14.5	12.5
Nivel piezométrico Sector Sur: S-11 (m s.n.m.)	Medio	933.6	923.3
	Desviación típica	2.38	2.07
	Máximo	941.8	929.4
	Mínimo	928.8	918.3
	Rango de variación	13.0	11.1

6.2.- MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 05.23 ÚBEDA

1. INTRODUCCIÓN

La explotación intensiva de los acuíferos incluidos en la masa de agua subterránea (MASb) 05.23 Úbeda ha provocado una modificación considerable en su funcionamiento hidrogeológico. El síntoma más importante de esta explotación es el descenso continuado de niveles piezométricos que se ha venido registrando en el acuífero jurásico desde que, en 1996, se obtuvieron los primeros datos. Estos descensos han sido desiguales dependiendo del sector del acuífero que se considere, en este sentido, en la zona confinada es donde las consecuencias de la explotación pueden considerarse más preocupantes.

Las consecuencias de los descensos de niveles tienen un impacto desde el punto de vista socioeconómico y crean preocupación en los usuarios debido a la incertidumbre en las posibilidades futuras de las explotaciones agrarias asociadas a la explotación del acuífero. En la actualidad el cultivo en regadío del olivar con aguas que se extraen del acuífero, es el motor de desarrollo de toda la comarca. Estas razones han ocasionado una serie de estudios y actuaciones en la zona promovidas por la Agencia Andaluza del Agua, la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, la Diputación Provincial de Jaén y el Instituto Geológico y Minero de España.

2. ASPECTOS GENERALES DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA

2.1. Situación y límites

La masa de agua subterránea "Úbeda" se sitúa en la zona central de la provincia de Jaén unos 60 km al noreste de la capital y se extiende por los términos municipales de Baeza, Beas de Segura, Begíjar, Canena, Castellar, Cazorla, Chilluívar, Ibros, Iznatoraf, Navas de San Juan, Rus, Sabiote, Santiesteban del Puerto, Santo Tomé, Sorihuela del Guadalimar, Torreperogil, Úbeda, Villacarrillo y Villanueva del Arzobispo (figura 20). Constituye una altiplanicie basculada hacia el sur, marcada por los materiales competentes que conforman las areniscas triásicas y los carbonatos jurásicos, que en su mitad meridional aparecen recubiertos por margas y calcarenitas terciarias. En estos últimos materiales, más modernos, la erosión diferencial ha labrado una superficie con una morfología alomada, con las cotas más elevadas en torno a 800 m s.n.m., donde se ubican los principales núcleos de población. Es la denominada "Loma de Úbeda".

El límite sur está marcado por el río Guadalquivir y en su tercio norte el río Guadalimar la atraviesa de NE a SO a lo largo de unos 25 km, con entrada por su extremo nororiental a cotas en torno a 580 m s.n.m. y salida al sur a una cota de unos 340 m s.n.m. El límite norte está marcado por el talud generado por los materiales competentes del triásico y jurásico que se elevan recubriendo los esquistos paleozoicos del Macizo Ibérico. Hacia el oeste el límite lo marca este mismo talud y el final del afloramiento de calcarenitas miocenas, cerca de la desembocadura del río Guadalimar en el Guadalquivir. Finalmente, el límite este está constituido por la MASb 05.01 Sierra de Cazorla y más al norte por el cauce del río Beas.

La poligonal que engloba la MASb tiene un superficie de 1173 km² (CHG-IGME, 2001) aunque una pequeña parte del acuífero jurásico confinado queda incluida en la poligonal de la MASb 05.26 Aluvial del Guadalquivir-Curso Alto, con la que limita al sur.

La precipitación media en el acuífero se encuentra entre 525 (Sabiote) y 640 mm (Castellar de Santisteban) durante el periodo 1969-1994 en la primera estación y 1960-2007 en la segunda. La distribución de las precipitaciones es la característica de clima mediterráneo, con los periodos más lluviosos en el otoño y la primavera y en menor medida el invierno, y con un estiaje con ausencia casi total de precipitaciones. La temperatura media del aire se sitúa en torno a 16°C.

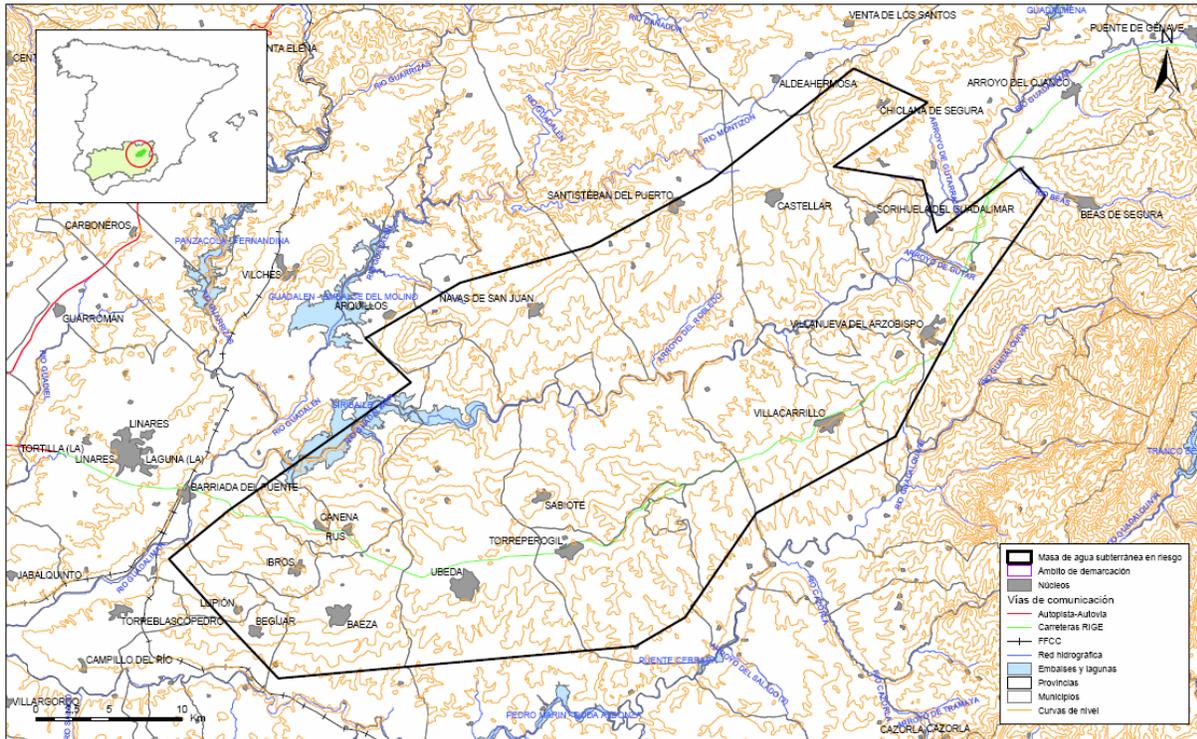


Figura 20.- Situación de la MASb 05.23 Úbeda

2.2. Ecosistemas asociados

Sobre la MASb Úbeda circulan siete masas de agua superficial (MAS). La más importante, y que además la atraviesa completamente de este a oeste, es el río Guadalimar (ES0511016005) que está considerado como MAS prioritaria hasta llegar al embalse de Giribaile (ES0511100044) MASb. El resto de las MASb son cauces de menor entidad afluentes del Guadalimar: arroyo del Robledo (ES0511009037), arroyo del Campillo (ES0511009041), río de Beas (ES0511009045). Desde el punto de vista del sistema de explotación de recursos la MASb Úbeda se encuentra dentro del Sistema de Regulación General (nº 15).

Relación con el río Guadalimar

El tramo de río relacionado con la MASb comprende un trayecto de 46,2 km desde la desembocadura del arroyo de Gútar, en la zona oriental, hasta la cola del embalse del Giribaile en la zona occidental, aguas abajo. El río recoge buena parte del caudal que transporta antes de alcanzar la Loma de Úbeda, en las Sierras de Segura y Cazorra; otro volumen importante es aportado por su afluente principal, el río Guadalmena, con gran parte de su cuenca en la provincia de Albacete. Presenta un caudal medio que puede situarse en torno a 4,5 m³/s, medido como entradas al embalse del Giribaile; este embalse

regula el río justo a la salida del acuífero carbonatado jurásico. Las variaciones de caudal referidas a los años 2001/02 y 2005/07, han estado comprendidas entre 0,3 y 18,7 m³/s.

En los primeros 18 km aproximadamente, discurre sobre areniscas y arcillas triásicas permeables, recubiertas por materiales detríticos aluviales de espesor variable, pero superior a 10 m. La relación con el acuífero triásico en condiciones naturales se desconoce en detalle, si bien se supone que el río es ganador en todo el trayecto, aunque los bombeos que afectan al acuífero triásico han podido modificar este aspecto.

Durante 24 km circula sobre materiales calcáreos jurásicos, con los que establece una compleja relación hidráulica debido a la existencia de fracturas que provocan elevaciones y hundimientos en los carbonatos a modo de teclas de piano (horst y graven). Gracias a la construcción de 14 sondeos de reconocimiento en el entorno del río y a la información piezométrica "histórica" recopilada por el IGME, se conoce la existencia de una zona perdedora en condiciones naturales en el sector conocido como meandro del arroyo del Mostazar (González-Ramón *et al.* 2008). Los datos procedentes del sondeo Peñuela I (203640014), cercanos a este meandro y tomados en 1996, cuando la explotación del acuífero era incipiente, muestran, sin lugar a dudas, una situación de río perdedor en su margen izquierda. La morfología de este meandro podría ser consecuencia de la influencia de fallas como las mencionadas anteriormente.

En el resto del trayecto se conocen descargas hacia el río a través de numerosos manantiales y arroyos procedentes de ambas márgenes, aunque en un volumen considerablemente mayor desde la margen derecha. Se ha identificado también una posible zona perdedora en el entorno del puente de la carretera de Sabiote a Navas de San Juan, provocada por otra de dichas fracturas, si bien no se dispone aún de información suficiente para asegurarlo.

En el último tramo, el río vuelve a circular por materiales triásicos, en primer lugar por arcillas triásicas en facies Keuper de muy baja permeabilidad y posteriormente por areniscas y arcillas del Buntsandstein que son cubiertas en gran medida por las aguas embalsadas de la presa del Giribaile.

La relación natural del río con el acuífero triásico en esta zona ha debido de ser de río ganador, sin embargo es posible que los bombeos que le afectan hayan modificado esta cuestión. Algunos piezómetros como "el Puntal", que parece indicar la piezometría relacionada con el acuífero triásico, han mostrado cotas del nivel piezométrico por debajo de 340 m s.n.m., que es la cota de la lámina de agua del embalse del Giribaile.

Humedales

Se han identificado 2 embalses incluidos total o parcialmente en la MASb Úbeda, formando parte ambos del LIC "Río Guadalimar" (código LIC ES6160014).

El pequeño Embalse de Olvera se localiza aguas arriba del Embalse del Giribaile dentro de la poligonal envolvente. Está situado en el cauce del río Guadalimar, cuyas aguas regula, en las proximidades del núcleo de Cetrina en la provincia de Jaén y pertenece a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (zona de Jaén). Se utiliza para la generación de energía eléctrica.

El Embalse del Giribaile fue construido entre 1992 y 1997. Está situado en el cauce del río Guadalimar, cuyas aguas regula, en los municipios de Ibros, Vilches, Rus, Canena, Úbeda,

Navas de San Juan y Sabiote en la provincia de Jaén. Tiene una superficie de 2.492 ha y una capacidad de 475 hm³. Se trata de un embalse de Regulación General.

3. MARCO GEOLÓGICO

Las rocas que constituyen los acuíferos principales son de edad mesozoica (triásicas y jurásicas). Conforman la denominada "Cobertera Tabular"; se trata de sedimentos poco deformados situados sobre la antigua línea de costa (el paleomargen continental de la placa Ibérica) del borde noreste de la Depresión del Guadalquivir.

Los sedimentos mesozoicos más antiguos corresponden al Trías y se sitúan, en posición subhorizontal, discordantes sobre rocas paleozoicas y plutónicas (granitos sobre todo) del borde sur de la Meseta. En este grupo se diferencian tres unidades litológicas que interesa describir por sus implicaciones hidrogeológicas. De muro a techo son las siguientes:

- Conglomerados y areniscas rojas. Constituida por conglomerados en la base y paquetes de areniscas a techo en facies Buntsandstein, su espesor total es de unos 60 m.
- Areniscas y arcillas en facies Buntsandstein. Constituye un conjunto de entre 150 y 200 m de potencia de arcillas y arenas. El tramo basal está formado por areniscas de grano grueso intensamente cementadas por sílice y minerales ferruginosos. El resto de la serie es predominantemente lutítica de colores rojizos, con intercalaciones de cuerpos arenosos que parecen más frecuentes hacia el noreste y a techo.
- Arcillas y yesos en facies Keuper. Está constituida por unos 70-80 m de arcillas y margas yesíferas de tonos abigarrados y niveles centimétricos de yesos laminados.

La formación jurásica está constituida por una serie carbonática de unos 80 m de espesor que se apoya en aparente concordancia sobre las arcillas y yesos del Trías. Se pueden diferenciar dos tramos litológicos: uno inferior, de unos 20 m de espesor, formado por calizas laminadas, a veces pseudoolíticas de color crema localmente brechificadas que, en ocasiones, culminan con un nivel de areniscas dolomíticas amarillo-verdosas que da paso al segundo tramo dolomítico brechoide constituido por brechas calco-dolomíticas, carniolas y dolomías laminadas en secuencias de orden métrico y de unos 50-60 m de espesor.

Esta formación se observa en superficie en el valle del río Guadalimar, a cotas de 400 a 450 m s.n.m. al norte de Canena y Rus, de 600 a 650 m s.n.m. en las inmediaciones de Navas de San Juan, de 700 a 800 m s.n.m. entre las poblaciones de Castellar de Santistéban y Sorihuela del Guadalimar y de 600 m s.n.m. al norte de Villanueva del Arzobispo y este de Beas de Segura. En general, las cotas más elevadas de los afloramientos se sitúan al norte del río Guadalimar, mientras que hacia el sur son inferiores a 600 m s.n.m. Aparece en superficie subhorizontal o con suaves buzamientos hacia el sur-sureste (de entre 5° y 15 °), y reposa directamente sobre los materiales triásicos.

Los afloramientos mesozoicos (jurásicos y triásicos) aparecen recubiertos hacia el centro de la cuenca por una potente serie del Mioceno superior que rellena la Depresión del Guadalquivir. Se pueden diferenciar tres o hasta cuatro unidades estratigráficas de esta edad. En conjunto se trata, esencialmente, de materiales margosos de 200 a más de 500 m de potencia, si bien a techo y muro albergan, en ocasiones, niveles detríticos de diversa naturaleza: areniscas y calcarenitas con intercalaciones margosas a techo, con espesores totales de hasta 100 m y niveles discontinuos de arenas y conglomerados en la base; dichos niveles presentan espesores de hasta 10-20 m en el caso de los conglomerados y pueden llegar a alcanzar los 50 m para las arenas, si bien, éstas desaparecen lateralmente al

tratarse de depósitos de relleno de pequeñas cubetas que tuvieron lugar en el episodio transgresivo del Tortonense.

4. MARCO HIDROGEOLÓGICO

4.1. Antecedentes

La MASb Úbeda se encuentra situada en el curso alto del río Guadalquivir en su margen derecha, entre los materiales del Zócalo Paleozoico, al norte y noroeste, los del Prebético de Cazorla al este y las Unidades Oligoestrómicas de la Depresión del Guadalquivir al sur, y está constituida por formaciones de la Cobertera Tabular de la Meseta. Sus límites iniciales fueron definidos en el catálogo de unidades hidrogeológicas del territorio peninsular e Islas Baleares (MOPU-IGME, 1988); en 1993 se elaboró su correspondiente norma de explotación (ITGE-CHG, 1993) y en 1994 se realizó una primera revisión de dicha norma (DGOH, 1994).

Los antecedentes se remontan al año 1972 en el que se definieron los grandes sistemas hidrogeológicos de España con motivo de la publicación del "Mapa de Reconocimiento Hidrogeológico de España Peninsular, Baleares y Canarias", en el marco de los trabajos relacionados con el PIAS (Plan de Actualización de Infraestructura Hidrogeológica). El acuífero calcarenítico mioceno incluido en la unidad fue contemplado en su día dentro del sistema nº 29 "Úbeda-Rumblar". El código que posteriormente se asignó fue el 26 bis/a (Unidad de Úbeda).

El IGME comenzó una investigación más detallada del acuífero en 1995, con motivo de la elaboración del "Proyecto de actualización de la infraestructura hidrogeológica de las Unidades de Cazorla, Quesada, Segura y Loma de Úbeda" que finalizó en 2001. Este proyecto fue realizado en el marco de los convenios de colaboración establecidos con la Dirección General de Obras Hidráulicas del MIMAN. En 2001 se elaboró la Norma de Explotación de la U.H. 05.23 Úbeda, que establece los límites actualmente aceptados y define los acuíferos implicados. Posteriormente, organismos como el IGME y el CEDEX, en colaboración con la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía y la Diputación Provincial de Jaén han llevado a cabo sucesivos proyectos de investigación en la zona.

Las publicaciones de artículos en revistas, jornadas y congresos han sido numerosas, la mayoría de ellas centradas en el acuífero jurásico. La más antigua data de 1998 y fue publicada por investigadores de la Universidad de Linares (Rey *et al.*, 1998) en la Revista de la Sociedad Geológica de España. Los artículos posteriores se centran en aspectos como la geometría, piezometría, relaciones río acuífero, gestión, hidroquímica, isótopos ambientales y radioactivos, modelización matemática, etc. y han sido publicados por investigadores del IGME, CEDEX y geólogos consultores que han colaborado en los proyectos de investigación (Gollonet, *et al.* 2001 y 2008; González-Ramón, *et al.* 2002 y 2008; Rubio-Campos, *et al.* 2004; Araguás-Araguás, *et al.* 2004; Martín-Montañés, *et al.* 2005, Núñez, *et al.* 2005, 2006 y 2008; Rodríguez *et al.* 2007 y Heredia *et al.* 2008 y 2009).

En 2007 se publicó, en el marco de colaboración entre el IGME y la Asociación Española de Usuarios de Aguas Subterráneas (AEUAS), un folleto que resume el estado de las investigaciones hasta esa fecha. (González-Ramón, *et al.* 2007).

4.2. Los acuíferos en la masa de agua subterránea

Entre los materiales descritos con anterioridad pueden considerarse acuíferos los niveles de areniscas y conglomerados triásicos en facies Buntsandstein, los carbonatos jurásicos y los niveles de areniscas y calcarenitas del mioceno.

El acuífero Triásico se sitúa a muro de la secuencia mesozoica que recubre el Zócalo Paleozoico de la Meseta Ibérica. El espesor de materiales detríticos que afloran en el talud del borde norte es del orden de 200 m constituidos mayoritariamente por areniscas a muro con intercalaciones de arcillas a techo. Estos niveles permeables se extienden hacia el sur, confinados bajo los carbonatos jurásicos, de los que están aislados por un paquete de arcillas y yesos en facies Keuper cuyo espesor ronda los 80 m. Las características litológicas y geométricas del acuífero triásico bajo los carbonatos jurásicos se desconocen en detalle, si bien, se sabe que es captado por diversos sondeos situados en la margen izquierda del río Guadalimar, y por la mayoría de los sondeos situados en su margen derecha bajo los carbonatos jurásicos, donde es el principal acuífero explotado.

En los sondeos que captan ambos acuíferos, el Jurásico y el Triásico, se observa sistemáticamente que el acuífero inferior (Triásico) presenta cotas de nivel piezométrico a mayor profundidad, con lo que generalmente se establece un flujo vertical con cesión de agua desde el acuífero superior al inferior. Por otra parte existen líneas de fracturas con saltos lo suficientemente importantes como para poner en contacto los carbonatos jurásicos con las areniscas triásicas, provocando un intercambio hídrico local entre ambos, algunas de estas fracturas se encuentran ocultas por el recubrimiento margoso terciario y han sido detectadas por geofísica. Todo esto complica en gran medida el modelo de funcionamiento hidrogeológico de este acuífero. Además, el vaso del embalse de Giribaile recubre parte de los afloramientos en la zona en la que podría situarse su principal área de descarga natural, por lo que en la actualidad es imposible estudiar este aspecto.

Los carbonatos jurásicos constituyen un acuífero fisurado y kárstico con una superficie aproximada de 875 km². Su tercio norte, de unos 250 km², funciona como acuífero libre y en la mayor parte del mismo afloran los carbonatos, si bien, localmente se encuentran cubiertos por restos discontinuos de materiales margo-arenosos del Mioceno (figura 21). Al sur de este sector el acuífero está confinado por margas miocenas, sobre las que se sitúa, en el suroeste, el acuífero detrítico de Úbeda, constituido por calcarenitas del Tortonense. La superficie aproximada de este sector es 625 km². Los límites del sector libre están definidos por materiales triásicos, sobre los que reposa el acuífero. Hacia el oeste, el sector confinado desaparece progresivamente por acuñamiento; al este, está limitado por cabalgamientos de carbonatos jurásicos que pertenecen al acuífero de la Sierra de Cazorla y, al sur, el límite lo marca la Unidad Olistostrómica de la Depresión del Guadalquivir.

Las capas de carbonatos jurásicos tienen un suave buzamiento sur-sureste de 5° a 15°. Afloran a cotas de 900 a 750 m s.n.m. en el límite septentrional, para aumentar la profundidad de su techo bajo el recubrimiento mioceno en dirección sur desde unos 100 m, a 1-2 km del contacto con las margas miocenas, hasta superar los 700-800 m en el límite meridional. En esta dirección los cambios estructurales son más bruscos, debido a la presencia de una serie de fallas con saltos variables entre 30 y más de 100 m, que se han identificado bajo la formación miocena.

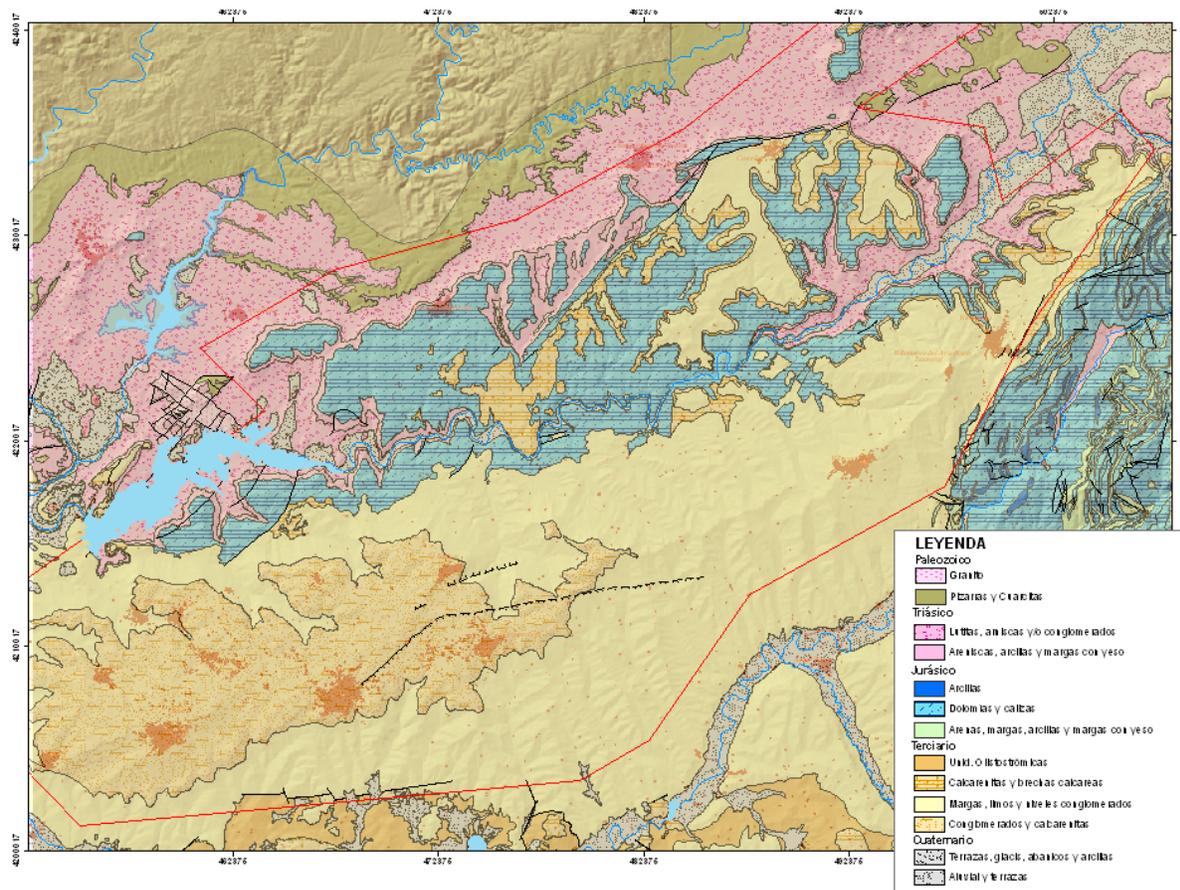


Figura 21. Mapa de formaciones permeables de la MASb 05.23 Úbeda.

El **acuífero detrítico Mioceno** tiene una superficie de afloramientos de 148 km² con un espesor de hasta 100 m, si bien los horizontes permeables no suelen superar los 20 ó 30 m. Se trata de un acuífero detrítico multicapa constituido por bancos de areniscas, areniscas margosas y calizas toscas o calcarenitas del Mioceno superior, intercaladas en el seno de una formación esencialmente margosa. Sus límites impermeables quedan definidos por el contacto con las margas azules del Tortoniense superior en todo su entorno, que constituyen a su vez el substrato impermeable y lo desconectan del acuífero confinado Jurásico, aunque algunos sondeos ponen en contacto ambos niveles productivos. Se alimenta de la infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos, y su descarga se produce de forma natural por numerosos manantiales de escasa entidad situados en sus bordes, a favor de los contactos permeable-impermeable o aprovechando ligeros basculamientos de los horizontes más permeables, aunque actualmente la mayor parte del drenaje corresponde a las extracciones en pozos y sondeos de moderado rendimiento. Los manantiales se sitúan a cotas muy dispares dada la naturaleza multicapa del acuífero y su posición "colgada" sobre las margas impermeables.

4.3. Redes de control

En la MASb 05.23 existe una red de control del estado cuantitativo y otra de calidad. La red del estado cuantitativo está constituida por el punto 05.23.007 que se mide con periodicidad trimestral desde el año 2002. La red de calidad está constituida por los puntos 05.23.002,

05.23.021, 05.23.022, en la tabla 6 se incluyen las principales características de estos puntos.

Tabla 6. Redes oficiales de la MASb 05.23.

Nº CHG	Denominación	X	Y	Cota	Prof. (m)	Inicio	Tipo de red	Observación
05.23.002	Cortijo de la Isabela	479340	4225340				Calidad	
05.23.007	Camino Cortijo los Robledos	483392	4224906	575	Se desconoce	mar-02	Piezometría	203680029 del IGME
05.23.021	Cortijo Alto	487538	4215626				Calidad	
05.23.022	Finca Valverde	491608	4225496				Calidad	

Por otra parte, y con motivo de los diferentes proyectos llevados a cabo por el IGME conjuntamente con otros organismos de la Administración como la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía, la Diputación provincial de Jaén y la CHG se ha mantenido hasta la actualidad una red de control piezométrico que se inició en el año 2001. Los puntos controlados fueron 10 en su inicio; en 2005 se ampliaron a 24 con motivo de la construcción de 14 sondeos de investigación en el entorno del río Guadalimar cuya intención fue mejorar el conocimiento de la relación entre este río y el acuífero jurásico. Estos sondeos fueron construidos por el IGME en el marco de un proyecto interno. Actualmente se controlan 21 puntos con periodicidad mensual, trabajos que está previsto continuar hasta finales de 2010.

En relación con el control sistemático de la evolución de la calidad del agua subterránea, el IGME, en el marco del proyecto que está actualmente llevando a cabo con la Agencia Andaluza del Agua, ha estado muestreando con periodicidad mensual 14 puntos, con el objetivo de estudiar la evolución interanual del agua subterránea en la zona confinada de los acuíferos jurásico y triásico.

Se adjunta información en la tabla 7 sobre los puntos controlados en las redes del IGME.

Tabla 7.- Red de control del IGME.

Nº IGME	Denominación	X	Y	Cota	Prof. (m)	Inicio	Tipo de red	Observaciones
213550036	S-1 Cruz de Marina	489855,9	4224728,4	441,6	156	jul-05	Piezometría	
213610096	S-2 Cortijo del Mojino	485895,7	4223153,4	427,8	67	jul-05	Piezometría	
213610097	S-3 Las Pulgas	486129,8	4222787,7	476,6	93	jul-05	Piezometría	
203640058	S-4 Los Lobos	483010,5	4222148,3	461	125	jul-05	Piezometría	
203640059	S-5 Loma del Robledo	481023,4	4222614,9	484,9	87	jul-05	Piezometría	
203640060	S-6 Ayo. Mostazar	482723,7	4220649,3	397,5	135	jul-05	Piezometría	
203640061	S-7 Embalse de Olvera	477108,4	4220855,4	433,7	118	jul-05	Piezometría	
203640062	S-8 Avenazar-Maestro Ponce	476630	4218449,4	419,1	94	jul-05	Piezometría	
203630048	S-9 Huerta Oliva	472256,9	4220115,6	373,6	104	jul-05	Piezometría	
203640063	S-10 Ayo. Mostazar 2	482739,7	4220658,4	396,1	150	ago-05	Piezometría	
203640064	S-11 Embalse de Olvera 2	477144,4	4220852,1	432,4	150	ago-05	Piezometría	
203580040	S-12/13 Piezómetro Camino	483359,4	4224895,2	563,9	139	ago-05	Piezometría	
203640043	S-14 Ayo. Mostazar 3	482771,9	4220668,3	395,9	150,1	feb-06	Piezometría	
213630051	Pozo de Vicente	498939	4224370	712	195	abr-01	Piezometría	
203670060	El Porvenir I	471094	4212206	789	480	jun-03	Piezometría	
203580029	Camino	483394	4224912	561	Se desconoce	may-01	Piezometría	05.23.07 de CHG
203640038	Cabeza Alba	482180	4216585	544	220	may-01	Piezometría, Calidad	

Nº IGME	Denominación	X	Y	Cota	Prof. (m)	Inicio	Tipo de red	Observaciones
203680015	Pichilín I (viejo)	482637	4212843	645	Se desconoce	jun-01	Piezometría	
203680043	La Imagen II	478081	4207157	628	700	mar-03	Piezometría	
203680045	La Imagen I	478192	4207293	621	680	mar-03	Piezometría	
203640014	La Peñuela I	482417	4219906	438	125	jun-01	Piezometría	
203640034	La Peñuela II	482493	4219829	441	120	mar-07	Piezometría	
213560026	La Caleruela	491709	4211450	480		jun-01	Piezometría	
203660084	El Puntal	466864	4212135	740	460	jun-01	Piezometría	
213620058	Esperanza Lara	496191	4217490	605	278	jul-05	Piezometría	
213650041	El Huerto	486435	4212124	553	350	jul-05	Piezometría	
203640068	Peñuela III	482479	4219794	441	220	nov-08	Calidad	
203640026	Robledos II	483129	4222373	457	210	nov-08	Calidad	
203650079	Cañada Grupera	455066	4208265	650	700	nov-08	Calidad	
203660085	Zarzuela	464353	4209452	685	400	nov-08	Calidad	
203660087	Pollos Alameda	466500	4208265	762	450	nov-08	Calidad	
203670014	San Bartolomé	471986	4209407	720	---	dic-08	Calidad	Se muestrean dos puntos
203680008	Higueruela	482589	4210828	625	495	nov-08	Calidad	
203680016	Venta Chulapas	481681	4214025	678	400	dic-08	Calidad	
203680017	Los Carrizales	478396	4212179	760	560	dic-08	Calidad	
213660048	El Monjo	492544	4215224	690	400	dic-08	Calidad	
213650043	Pico Cuervo	487177	4214339	640	390	nov-08	Calidad	
	Río Guadalimar	482740	4220771			nov-08	Calidad	

4.4. Piezometría. Evolución espacial y temporal

La información sobre la morfología de la superficie piezométrica del acuífero jurásico más antigua disponible procede del trabajo realizado por el IGME en 2001, ya mencionado (DGOH-IGME, 2001). Se obtuvo información, entre marzo y junio de 1996, en 66 sondeos, 25 de ellos ubicados en la parte de acuífero libre y 41 en la zona confinada. Muchos de estos datos son medidas directas, pero otros son información del nivel suministrada por los propietarios de los pozos. Con estos datos pudo trazarse por primera vez un mapa de isopiezas del acuífero que se incluyó en el mencionado proyecto y se reproduce en la figura 22. Tiene un gran valor, pues muestra la situación en los inicios del proceso de explotación intensiva de recursos que el acuífero sufrió en los años posteriores. Por desgracia, no se dispone de ninguna información sobre la piezometría del acuífero en condiciones no influenciadas por los bombeos. El mapa incluye también isopiezas correspondientes al acuífero Mioceno, basadas en 49 medidas realizadas en julio de 1994 por la CHG. Este plano de isopiezas es hasta la fecha el único realizado en este acuífero, ya que la mayoría de los trabajos se han centrado en el acuífero jurásico.

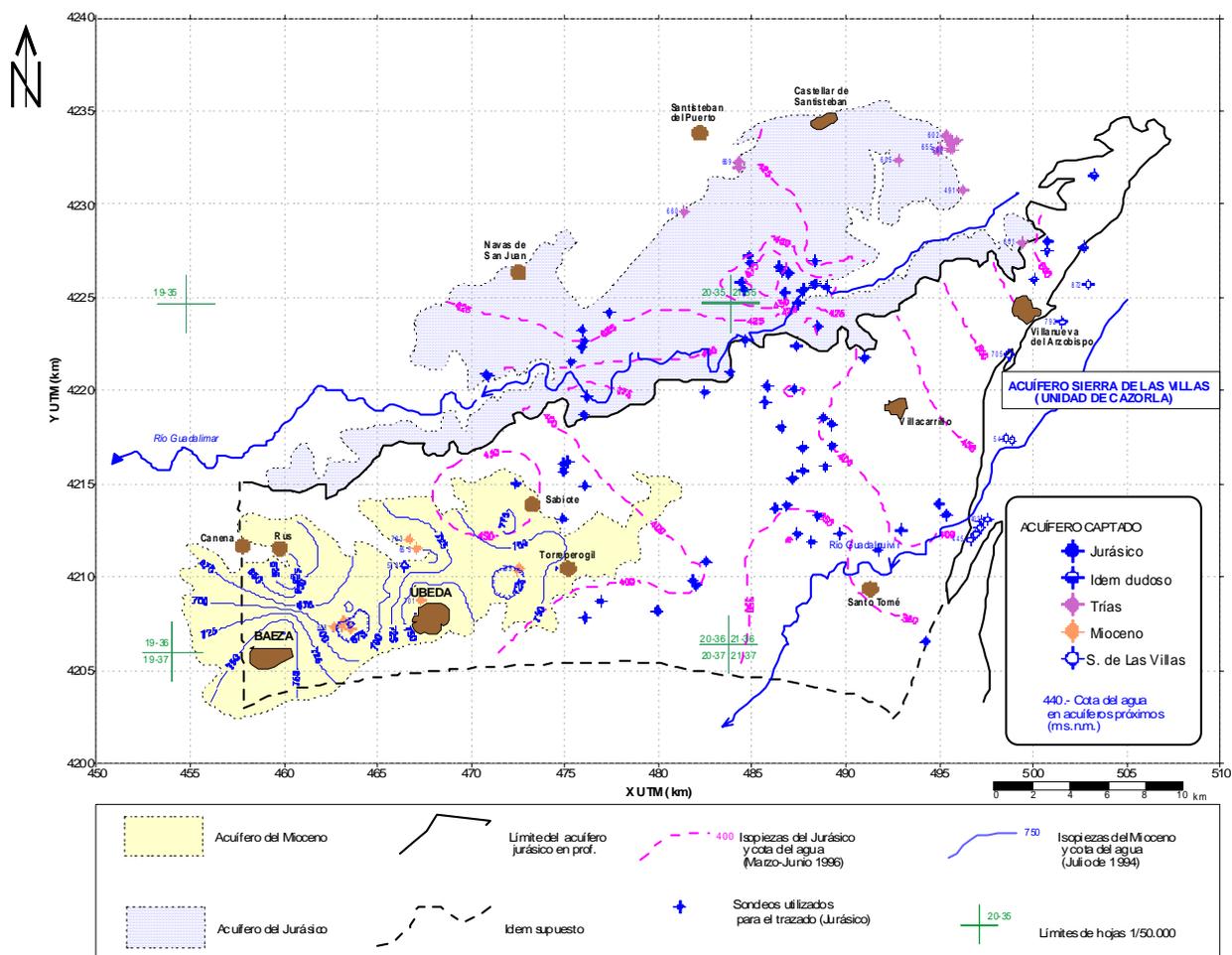


Figura 22.- Plano de isopiezas del acuífero mioceno y jurásico de la Loma de Úbeda (DGOH-IGME, 2001).

Desde 2001 hasta la actualidad se han realizado diversas campañas de medidas de niveles enfocadas a estudiar la distribución espacial y temporal de la piezometría en el acuífero jurásico. En algunos piezómetros se instalaron sensores para registro de nivel piezométrico. Los más antiguos se ubicaron en el denominado sondeo Pichilín (nº IGME 203680015) y en el "Pozo Vicente" (nº IGME 213630051), el primero situado en uno de los sectores de mayor explotación del acuífero confinado. Este sensor estuvo operativo desde enero hasta diciembre de 2003, aunque con un fallo importante entre finales de abril y primeros de agosto. El otro sensor se ubicó en la zona de Villanueva del Arzobispo. En este último se dispone de datos desde octubre de 2003 hasta abril de 2004.

Durante el año 2005, el IGME construyó en el entorno del cauce del río Guadalimar a su paso por el acuífero jurásico de la Loma de Úbeda 14 sondeos de investigación. Posteriormente, se inició un control sistemático de evolución de niveles en todos los puntos, con medidas mensuales, a excepción de 4 de ellos en los que se instalaron sensores para el control detallado de las evoluciones del nivel piezométrico.

Evolución espacial

La figura 23 muestra un nuevo plano de isopiezas elaborado con la información obtenida entre abril y mayo de 1996. En este plano se han incluido indistintamente los puntos relacionados con el acuífero jurásico y con el triásico, puesto que ambos parecen estar relacionados, al menos en las zonas de fracturas importantes que los ponen en contacto. El plano muestra la situación en una etapa de explotación inicial; en el año 1996-98 las extracciones ya se calculaban en más de 18 hm³ anuales. En 1996 pudo obtenerse información piezométrica en algunos sondeos recién construidos que aún no habían sido instalados; en ese año, que sucedió a la sequía de la primera mitad de la década de los noventa, se estaban construyendo gran número de sondeos en la zona.

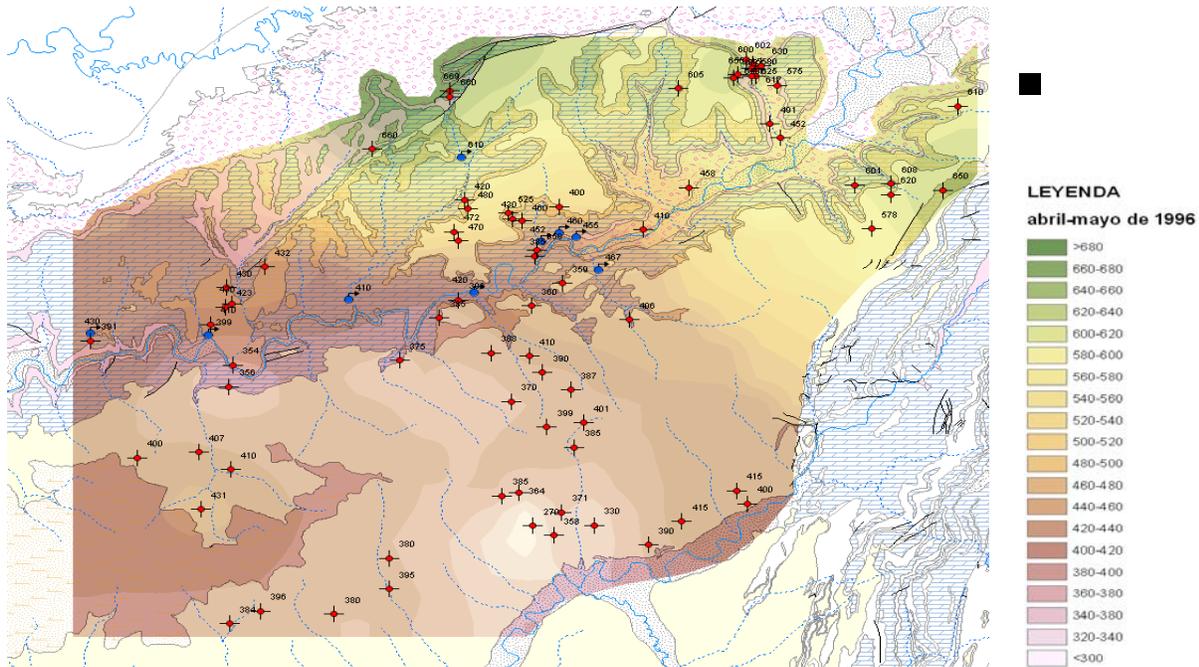


Figura 23.- Plano de isopiezas del acuífero jurásico y triásico de la Loma de Úbeda. Periodo abril-mayo de 1996.

Del análisis detallado de la información obtenida en 1996 pueden deducirse las siguientes cuestiones:

- Las cotas más elevadas del nivel piezométrico se sitúan al norte, en el borde del afloramiento de carbonatos, y están relacionadas con las areniscas triásicas, pues los carbonatos apenas presentan espesor saturado.
- Al sur de Navas de San Juan y Santisteban del Puerto, las areniscas triásicas se ponen en contacto directo con los carbonatos jurásicos a causa de la existencia de una importante fractura de dirección NE-SO, alimentándolos. En este entorno los niveles piezométricos en ambos acuíferos presentan continuidad.
- Más al sur, en los sondeos que alcanzan el acuífero triásico, sistemáticamente el nivel piezométrico se sitúa a menor cota que en los que cortan sólo al acuífero jurásico, además, en los sondeos que alcanzan el Trías, los más profundos presentan los niveles más bajos.
- En el río Guadalimar, el nivel piezométrico en el acuífero jurásico se sitúa por encima del cauce en todo su trazado excepto en dos pequeños sectores. En el acuífero triásico el nivel piezométrico se encuentra por debajo del cauce en todo su trazado.

Las isopiezas de la figura 23 muestran la existencia de un conoide de bombeo al sur de acuífero en la zona confinada, al este de Torreperogil. En esta zona, se construyeron algunos de los primeros sondeos de gran profundidad, capaces de aportar grandes caudales. Las cotas más elevadas, como ya se ha comentado, se sitúan al norte, donde parece encontrarse la principal zona de alimentación del acuífero, en la margen derecha del río Guadalimar. También en la margen izquierda existen puntos con cotas elevadas en la zona de Villanueva del Arzobispo.

En la margen izquierda del río Guadalimar, cerca de su cauce, se observan dos zonas deprimidas con cotas de nivel inferiores a 370 m s.n.m. Se trata de los únicos sectores donde el nivel piezométrico se sitúa bajo el cauce del río Guadalimar y podría indicar vías de alimentación preferente hacia el acuífero confinado jurásico. La ausencia de datos en un amplio sector al sur de estas zonas impide estudiar mejor esta cuestión. Finalmente, se intuye la presencia de un domo piezométrico bajo el acuífero mioceno, que parece indicar la existencia de recarga diferida proveniente de este acuífero.

En resumen, la movilización del flujo en el acuífero confinado parece ser consecuencia de la existencia de un importante conoide de bombeo ubicado al este de Torreperogil, en la zona central y más meridional del acuífero confinado.

El plano de la figura 24 muestra la situación del acuífero en marzo de 2004 a partir de los datos obtenidos por el IGME en la campaña flash realizada ese año. En todo el acuífero se observa un descenso generalizado de niveles con respecto a los datos de 1996 que, con reservas, puede cifrarse en cerca de 20 m en la zona central del acuífero jurásico libre, aunque afecta al acuífero triásico, en unos 15 m junto al río Guadalimar en su margen izquierda, y en más de 50 m al sur de Torreperogil y en el entorno de Villacarrillo y Villanueva del Arzobispo.

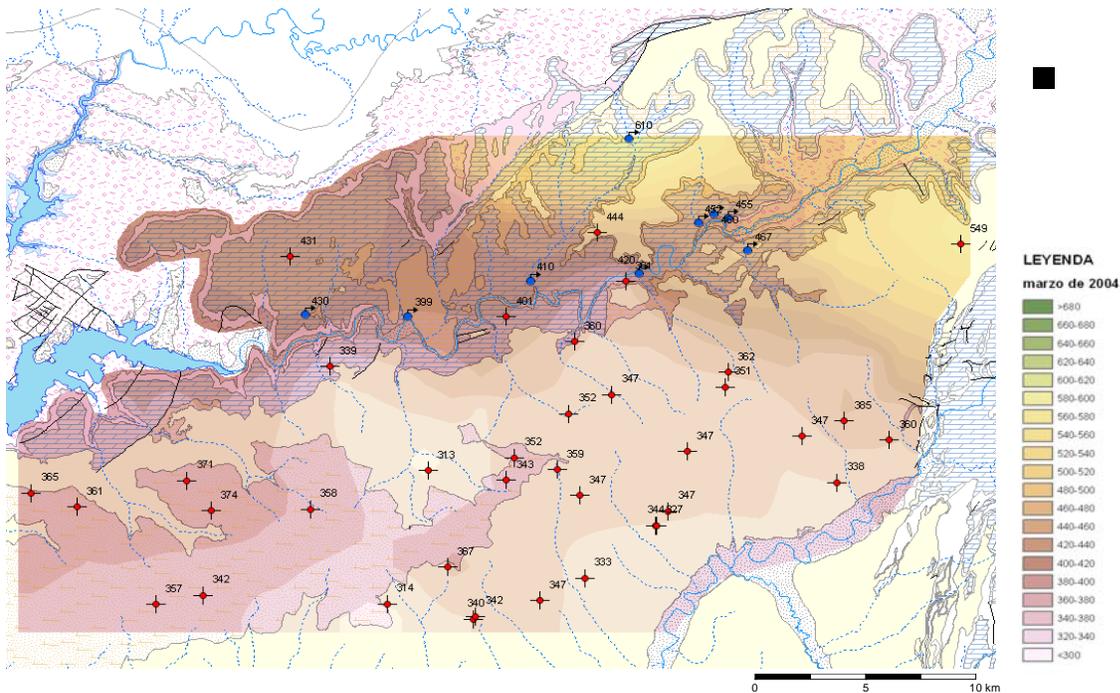


Figura 24.- Plano de isopiezas del acuífero jurásico y triásico de la Loma de Úbeda. Periodo marzo de 2004.

Evolución temporal

En el año 2001 el IGME inició la medida de niveles piezométricos sistemática en el acuífero de Loma de Úbeda. El número de piezómetros medidos y la periodicidad de las tomas de datos ha variado con el tiempo, debido a las diversas vicisitudes surgidas en relación con los propios puntos de medida o en los proyectos que han permitido las tomas de datos. La situación de los puntos medidos a lo largo de todo este tiempo se muestra en el plano de la figura 25, las principales características de estos puntos pueden encontrarse en la tabla 27.

En la figura 26 se muestra un gráfico en el que se exponen los datos obtenidos en los 27 puntos que han sido controlados en algún periodo. En esta figura se observa una importante variedad en las evoluciones del nivel piezométrico y en las cotas. En relación con las cotas, los niveles medidos tienden a agruparse en tres intervalos diferentes:

- Entre 520 y 590 m s.n.m., corresponde a los piezómetros Niña Isabel (213620052) y Pozo Vicente (213630051), que se ubican en la zona más oriental del acuífero (Sector de Villanueva del Arzobispo).
- Entre 380 y 470 m s.n.m., se encuentran todos los piezómetros ubicados en el acuífero jurásico libre con algunas excepciones:
 - o Esperanza Lara (213620058), se ubica en los límites de los acuíferos de Cazorla, con los que podría tener relación.
 - o S-1 (213550036), sondeo cuya columna corta arcillas y en menor medida areniscas triásicas en la zona oriental del acuífero, antes de la entrada del río Guadalimar en los carbonatos jurásicos.
 - o Los piezómetros ubicados en el acuífero libre cerca del meandro en que desemboca el arroyo del Mostazar en el río Guadalimar presentan cotas por debajo de los 380 m s.n.m. Se trata de los piezómetros S-6 (2036/4/60), S-10 (203640064), S-14 (203640043), y los Peñuela I y II (203640014 y 34).
- Entre 280 y 385 m s.n.m., se encuentran todos los piezómetros de la zona confinada y el meandro del Mostazar, excepto los piezómetros del Sector de Villanueva del Arzobispo y el piezómetro Esperanza Lara. Se incluye también en este grupo el piezómetro S-9 (203630048) que corta arcillas con finos niveles de areniscas triásicas pero en la zona occidental del acuífero a la salida del río Guadalimar de los carbonatos jurásicos.

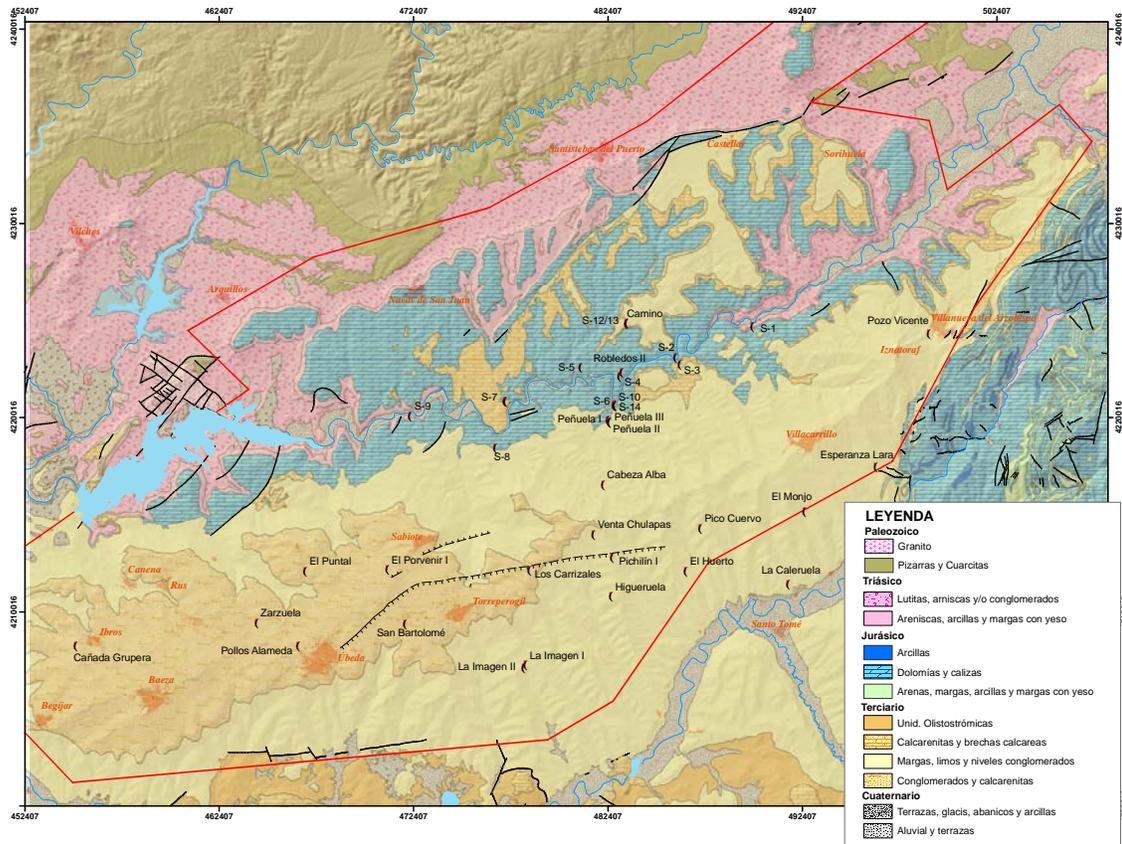


Figura 25.- Red de control del IGME en el acuífero de la Loma de Úbeda.

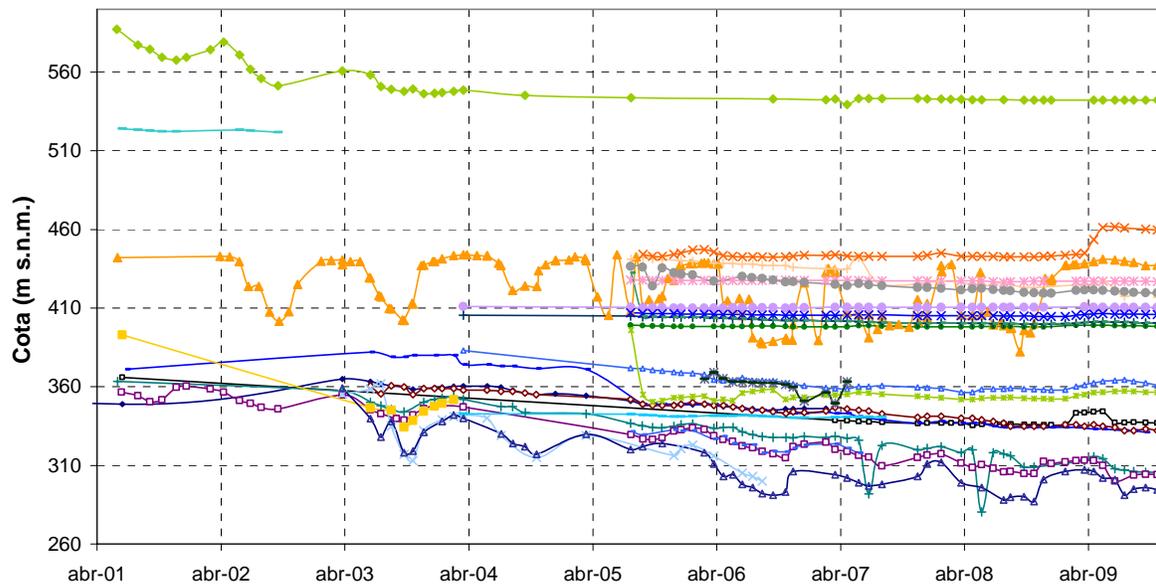
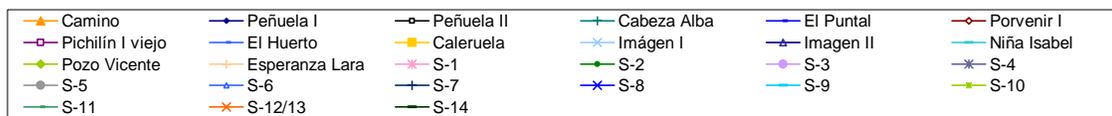


Figura 26.- Evolución del nivel piezométrico en los puntos de la red de control de la Masa de Agua Subterránea 05.23 Úbeda

Sector Villanueva del Arzobispo

Se trata de una zona donde los niveles piezométricos aparecen sobre-elevados con respecto al resto. En este sector se ubicaban importantes captaciones de comunidades de regantes como la denominada "Minerva".

En abril de 2001, el IGME comenzó a controlar la piezometría en el "Pozo Vicente" (213630051) mediante un sensor de registro continuo que estuvo instalado hasta agosto de 2005 (figura 27). Además el nivel ha sido registrado mediante medida manual con sonda hasta la actualidad (figura 26).

A partir de estos datos pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- El acuífero jurásico en el sector de Villanueva del Arzobispo se recarga a partir de las precipitaciones.
- Entre los años 2001 y 2004 se produjo una explotación del agua subterránea en este sector en un volumen superior a la recarga hasta el práctico agotamiento de las reservas acumuladas en el acuífero.
- Actualmente la explotación continúa en un mismo orden que las entradas, con lo que no se produce recuperación del nivel en las épocas de recarga.

Pozo Vicente

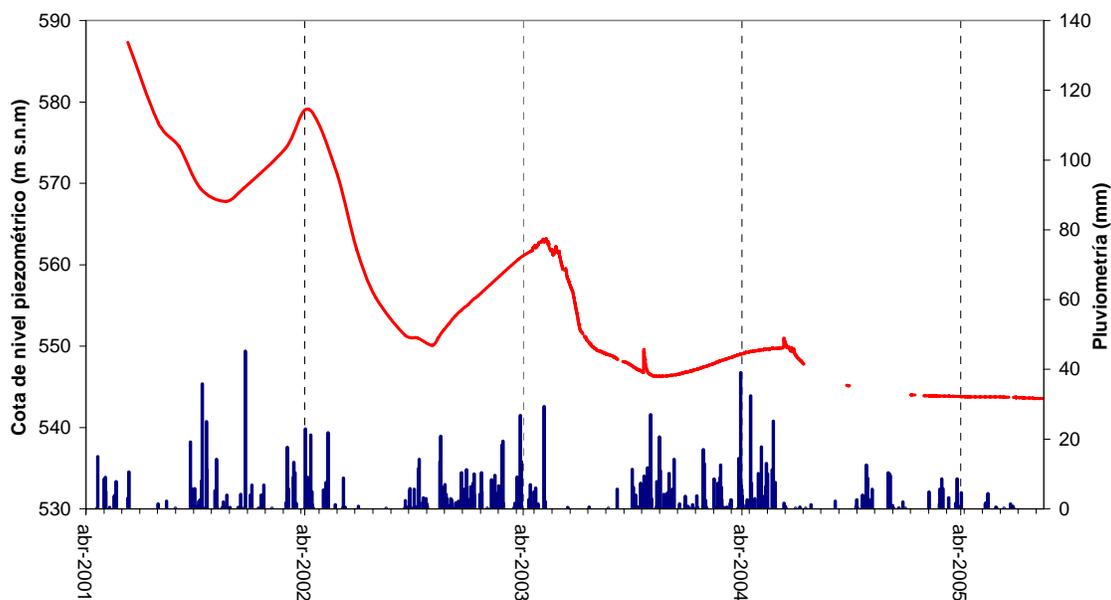


Figura 27.- Registro mediante sensor en el piezómetro 213630051 entre abril de 2001 y agosto de 2005 y datos diarios de pluviometría de la estación climática de la CAP ubicada en Sabiote.

Acuífero jurásico libre

La mayoría de los sondeos piezométricos que muestran la evolución del nivel en el acuífero jurásico libre se sitúan en el entorno del río Guadalimar. Solo el piezómetro Camino (203580029) y el S-12/13 (203580039) se sitúan más alejados, en el centro del

afloramiento de los carbonatos jurásicos. En la figura 28 se muestra el registro detallado de este conjunto de piezómetros para el periodo julio de 2005 – octubre de 2009. La figura incluye los datos de precipitación diaria correspondiente a la estación pluviométrica de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía de Sabiote. Los datos correspondientes al piezómetro Camino proceden de los tomados por el IGME, completados con los obtenidos por la CHG, que inició en marzo de 2002 la toma sistemática de datos en el mismo punto.

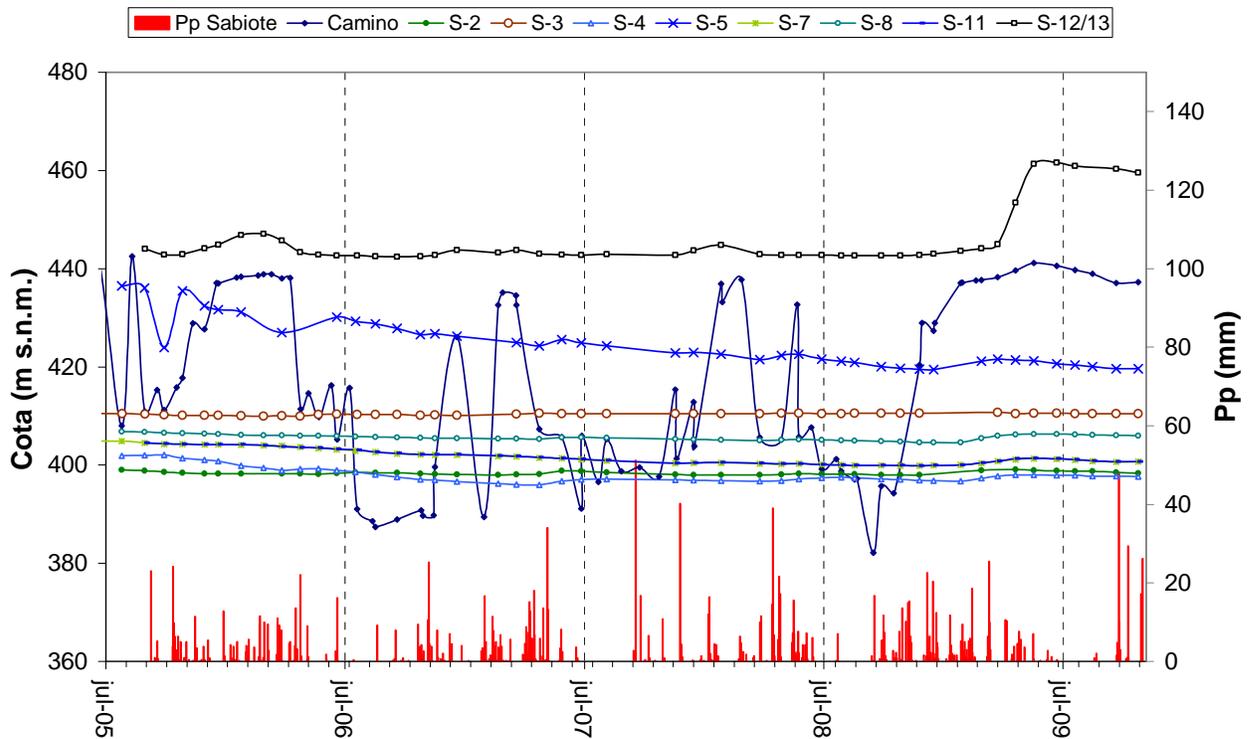


Figura 28.- Registro piezométrico para el periodo julio 05-octubre 09 en los sondeos ubicados en el acuífero jurásico libre y datos diarios de pluviometría de la estación climática de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía ubicada en Sabiote.

En la figura 28 llama poderosamente la atención el comportamiento irregular del piezómetro Camino con respecto al resto, incluido el piezómetro S-12/13, que se sitúa tan sólo a unos metros de distancia de él. Este último piezómetro presenta las cotas de niveles más elevadas, como corresponde al punto situado más al norte, en el área de recarga preferencial de los carbonatos. El piezómetro Camino presenta una evolución similar pero sólo en lo que respecta a los datos de aguas altas (invierno y primavera), mientras que en aguas bajas (verano y otoño) los descensos son bruscos y muy acusados, algo que no se observa en ningún otro piezómetro. La explicación a esto se debe a la diferente profundidad que alcanzan los sondeos. El sondeo S-12/13 tiene una profundidad de 139 m con una columna litológica consistente en carbonatos jurásicos hasta los 123 m y arcillas triásicas hasta los 139 m; el nivel medido representa por tanto las evoluciones del acuífero jurásico. Del piezómetro Camino se desconoce su profundidad, aunque se sabe que llega a alcanzar las areniscas triásicas infrayacentes a las arcillas. La explicación a las bruscas oscilaciones del nivel se debe a este hecho, pues el acuífero triásico presenta menor carga hidráulica que

el jurásico. En el sondeo S-12/13, el espesor saturado en los carbonatos varía entre 1,2 m y algo más de 20 m; cuando el espesor saturado es inferior a 1,5 m, el nivel en el piezómetro Camino se desploma, pasando a mostrar un registro propio del acuífero triásico. Posiblemente esto provoca un descuelgue del nivel en el acuífero jurásico con caída de agua desde cotas superiores, lo que puede provocar a veces errores en las medidas con sonda. Por desgracia no disponemos de ningún piezómetro que muestre exclusivamente las evoluciones del nivel en el acuífero triásico para poder efectuar comparaciones.

Acuífero jurásico confinado

En la figura 29 se muestra el registro obtenido en todos los piezómetros con los niveles a cotas por debajo de 380 m s.n.m desde que se iniciaron las medidas. La mayor parte de ellos corresponden a los ubicados en la zona en que el acuífero jurásico se encuentra confinado, con la excepción del S-6 (203640060) y S-10 (203640063) de características especiales al resto de los piezómetros ubicado en el entorno del Guadalimar, y de los piezómetros "Peñuela", que se encuentran en el límite entre ambas zonas y cerca de los dos anteriores. En el gráfico se ha incluido también la pluviometría de la estación de Sabiote.

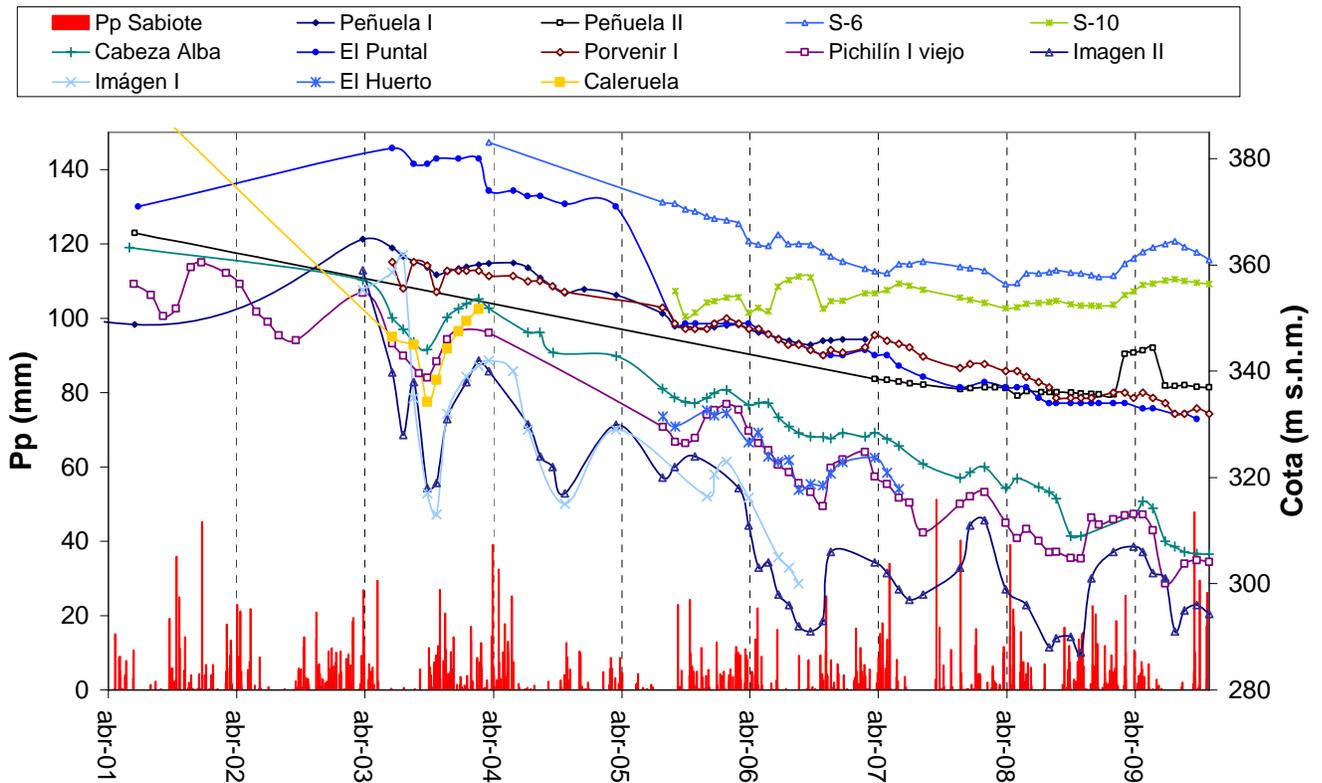


Figura 29.- Registro piezométrico para el periodo abril 01-octubre 09 en los sondeos situados en la zona confinada y datos diarios de pluviometría de la estación climática de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía ubicada en Sabiote.

El análisis de las evoluciones en los sondeos S-6 y S-10 comparado con las evoluciones de caudales de entrada al embalse del Giribaile (caudal circulante por el río Guadalimar) demuestra la existencia de una contribución del río a la recarga del acuífero jurásico (IGME-CHG, 2009).

Las cotas más elevadas se observan en el piezómetro S-6 y en la primera etapa de medidas del piezómetro "El Puntal" (203660084), hasta agosto de 2005. De este último piezómetro se dispone de información de su columna litológica gracias a la memoria de perforación del sondeo, procedente del informe solicitado por la CHG para la tramitación de la solicitud de concesiones. La columna indica un espesor muy reducido en el acuífero jurásico y que el acuífero principal explotado son las areniscas triásicas. En el registro se observa un periodo hasta agosto de 2005 con el nivel situado a cotas entre 371 y 382 m s.n.m. que no presenta correlación con ningún otro registro obtenido en el resto de piezómetros. A partir del estiaje de 2005 se observa un brusco descenso del nivel hasta la cota 349 m s.n.m, similar a la de los piezómetros Porvenir I (203670060) y Peñuela I (203640014), con los que pasa a estar correlacionado.

El Peñuela I muestra una cota y una evolución de niveles similar a la del piezómetro Porvenir I, que se sitúa al suroeste del mismo y muy alejado, a casi 14 km de distancia, y lo mismo ocurre con el piezómetro Puntal a partir de agosto de 2005, que se sitúa aún más alejado. Los datos piezométricos demuestran que los tres sondeos perforan un mismo acuífero y los datos litológicos indican que se trata del acuífero triásico. La evolución del nivel en los tres piezómetros muestra una tendencia lineal descendente desde marzo de 2003 hasta la actualidad, que puede cifrarse en unos 5 m anuales y llama la atención de que apenas se han visto afectados por el importante periodo de recarga que se produce en el año hidrológico 2008/09, de abundantes precipitaciones, y que afecta claramente al resto de piezómetros. Hay que hacer notar que el nivel piezométrico en estos sondeos se sitúa, a partir de mayo de 2008, por debajo de la cota 340 m s.n.m., que es la cota en la que las aguas almacenadas en el embalse del Giribaile entran en contacto con las areniscas triásicas, con las que pudiera existir continuidad hidrogeológica. El piezómetro Puntal se encuentra 6 km al sur de la cola del embalse.

El Peñuela II (203640034), que perfora exclusivamente carbonatos jurásicos, muestra un registro diferente, con una evolución más parecida a la del piezómetro S-6 (203640060).

Las cotas más bajas aparecen en los piezómetros Imagen I y II (figura 29) (203680045 y 43), Pichilín (203680015), El Huerto (213650041), Caleruela (213560026) y Cabeza Alba (203640038), que con excepción de este último, son los situados más al sur, donde el acuífero jurásico se encuentra a mayor profundidad. Todos ellos muestran una similar evolución en el nivel piezométrico, lo que demuestra que perforan un mismo horizonte acuífero.

En la figura 29 puede compararse el registro de estos piezómetros con los situados más al norte. Se observa cómo hasta abril de 2004, la diferencia en la cota del nivel piezométrico entre este grupo de piezómetros y los situados más al norte (Peñuela I y Porvenir I) es pequeña, hay momentos en que el nivel en Pichilín, e incluso en el Imagen I, se encuentra por encima de la cota del Peñuela I. Durante este periodo se observa que los niveles están más o menos estabilizados, aunque a partir de abril de 2003, comienza a aparecer una clara tendencia descendente, que se agudiza en el año siguiente.

Los descensos en los niveles piezométricos muestran un sucesivo descuelgue entre los piezómetros situados más al norte y los situados más al sur, con un salto en las cotas que va incrementándose en el tiempo. Se observa un gradiente en los descensos más acusado en los piezómetros situados más al sur. La evolución del nivel sigue pautas parecidas entre ambos grupos de piezómetros, con ascensos que se inician en el otoño y culminan en enero-febrero, y descensos que comienzan en la primavera como consecuencia del inicio del nuevo

periodo de explotación del agua subterránea. Sin embargo se aprecian variaciones anuales mucho más acusadas en los piezómetros situados más al sur.

El piezómetro Imagen II, el situado más al sur, muestra una estabilización interanual de niveles a partir de septiembre de 2006, que, aunque más tarde, parece también ocurrir en el piezómetro Pichilín.

4.5. Hidrometría. Evolución espacial y temporal

La investigación de las descargas de los acuíferos se ha realizado mediante campañas de aforos en arroyos al río Guadalimar, que son los únicos puntos en los que se ha detectado la presencia de surgencias de importancia.

Los trabajos en este sentido fueron iniciados por el IGME en 2001. En la primavera de ese año se llevó a cabo una campaña de aforos en cauces y manantiales relacionados con el acuífero jurásico. Para la realización de la campaña se investigaron detalladamente ambas márgenes del río Guadalimar, lo que permitió localizar 39 secciones de aforo.

Entre agosto de 2003 y julio de 2004 se realizaron cuatro campañas de aforos, con una periodicidad trimestral en puntos seleccionados a partir de la campaña anterior, que permitieron conocer el régimen de descargas del acuífero jurásico al río.

En diciembre de 2006 y febrero de 2007 se llevó a cabo un reconocimiento detallado de las márgenes del río Guadalimar, con más intensidad en la margen izquierda. El objetivo del trabajo fue situar con precisión las zonas de descarga y estudiar la posible existencia de un nivel colgado que pudiera estar más o menos generalizado en todo el acuífero, similar a lo observado en los sondeos S-6 (203640060) y S-10 (203640063).

Entre los años 2008 y 2009 se han realizado dos campañas más de aforos, en esta ocasión, con el objetivo de conocer con mayor precisión las descargas procedentes del acuífero mioceno.

El total aforado en 2001 correspondiente a drenajes del acuífero jurásico se eleva a unos 232 L/s en la margen derecha del Guadalimar (que reúne el 74 % de los afloramientos y supone el 61 % del drenaje total) y a 149 L/s en la margen izquierda (26 % de los afloramientos y 39 % del drenaje total). La descarga total evaluada en esa fecha sería por consiguiente de 381 L/s, que equivaldrían de ser constantes a unos 12 hm³/año, aunque lógicamente tales descargas deben presentar variaciones estacionales e interanuales.

En las campañas de aforo realizadas en 2002-2003, el caudal conjunto medido en la margen izquierda supone una media de unos 46 L/s (aunque variable de 3 a más de 115 L/s), y de unos 151 L/s para la margen derecha, con descargas más abundantes y permanentes (variables desde 23 a más de 300 L/s en conjunto). En total y considerando todas las campañas de aforos se obtiene un caudal medio de 197 L/s, equivalentes a una media de 6'2 hm³/año.

En cuanto a su distribución estacional (figura 30) los máximos corresponden a la primavera, con mínimos acusados en estiaje, y cabe destacar el hecho del diferente comportamiento de las descargas de la margen izquierda respecto a las de la margen derecha: en efecto, el máximo caudal medido en la margen derecha es claramente el de abril de 2004 (más de 4 veces el registrado en enero de 2004), mientras que la margen izquierda apenas representa en abril un 80 % del caudal medido en el mes de enero.

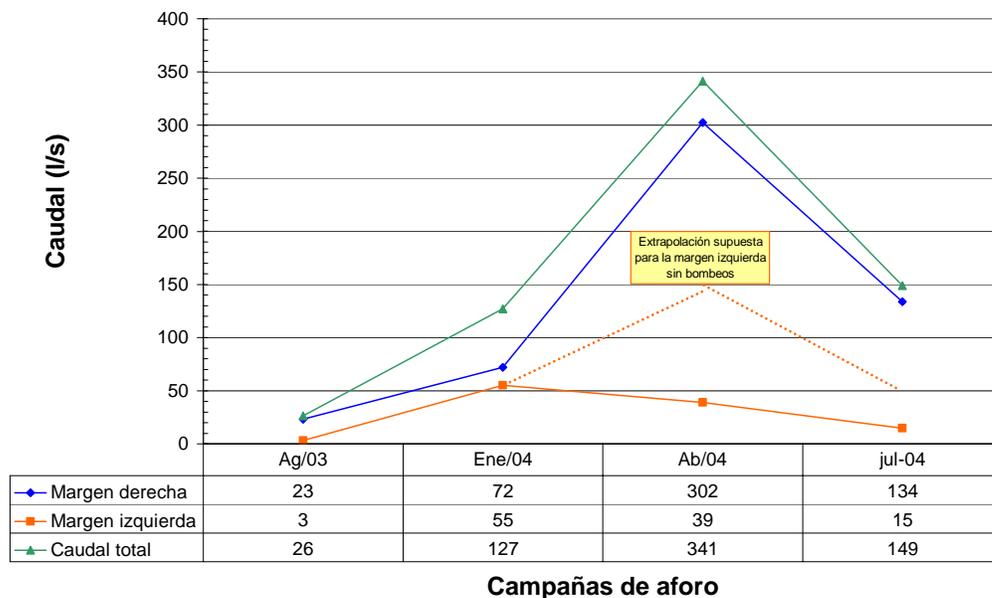


Figura 30.- Resultados de los aforos de las descargas del acuífero Jurásico de la Loma de Úbeda (2003-2004).

Con el objetivo de estudiar la influencia del acuífero mioceno en el balance hídrico general se decidió medir las descargas naturales existentes en este acuífero. Para ello se programó la realización de aforos en los cauces que parten de este acuífero y en los manantiales asociados. La idea fue aforar las descargas tanto en aguas bajas como en aguas altas.

En octubre de 2008 se realizó una primera visita a la zona para ver los posibles puntos de aforo y los cauces con caudales permanentes. Esta visita permitió comprobar la práctica ausencia de descargas visibles a los cauces en esas fechas y el bajo caudal drenado por los manantiales.

En junio de 2009 se procedió a visitar y tratar de aforar 23 secciones de cauces que bordean sus afloramientos, tratando de cubrir espacialmente toda su cuenca vertiente. Los 19 cauces representativos totalizaron un caudal de unos 13-15 L/s, pero 7 de ellos presentan vertidos de aguas residuales procedentes de núcleos situados aguas arriba, en proporción imposible de cuantificar. El caudal de estos 7 cauces suma entre 9 y 10 L/s (del 66 al 69 % del total).

Los resultados obtenidos muestran el bajo volumen de descargas de aguas subterráneas procedentes del acuífero mioceno en la actualidad, que puede ser debido al volumen de extracciones existente y a la descarga inducida hacia el acuífero jurásico como consecuencia de sondeos que atraviesan ambos acuíferos. En todo caso, por la información histórica disponible en la base de datos del IGME, se sabe que las descargas naturales previas a la entrada en explotación del acuífero eran poco significativas. Estudios anteriores las habían estimado en torno a 1 hm³/año, valor que queda justificado por los resultados de los aforos.

4.6. Hidroquímica y contenido isotópico

La información utilizada comprende los años 1991 a 2007 y se trata de distintos análisis de aguas procedentes en su mayor parte de los trabajos realizados por el IGME y el CEDEX.

El número total de análisis recopilados ha sido de 420 en diversos puntos de agua. En muchos puntos se dispone de varios análisis en distintas fechas, por lo que para un estudio general se ha trabajado con las medias aritméticas de cada punto. El número total de puntos muestreados ha sido de 206, entre los que se incluyen sondeos (150), manantiales (34), pozos de poca profundidad (4), 1 galería y 15 puntos en arroyos y ríos (figura 31).

En la MAS 05.23 Úbeda se explotan aguas subterráneas que tienen su origen en tres acuíferos con características diferenciadas desde el punto de vista litológico, lo que también se refleja en la composición química de las aguas que confluyen por ellos. Además, en el esquema hidrogeológico conceptual entran en juego las aguas que circulan por el río Guadalimar, que se relacionan tanto con el acuífero triásico como jurásico.

Los valores de conductividad medios se sitúan en unos 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aunque con grandes variaciones entre el máximo (8730 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y el mínimo (437 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La temperatura del agua es un factor importante, pues es reflejo de la profundidad a la que ésta circula. En la zona confinada puede alcanzar valores superiores a los 50 °C. En esta zona, además, existe un ambiente reductor que implica la práctica desaparición de los nitratos en el agua, que se reducen a N y NH_4^+ , y también se observa la reducción del sulfato, que pasa a gas sulfhídrico. La presencia de gases como el metano, sulfhídrico, o nitroso es normal en el agua captada por los sondeos profundos situados más al sur.

Otro factor modificador del quimismo a tener en cuenta son los cambios de bases, relacionados con la existencia de medios arcillosos que retienen el calcio y el magnesio del agua y aportan sodio al medio.

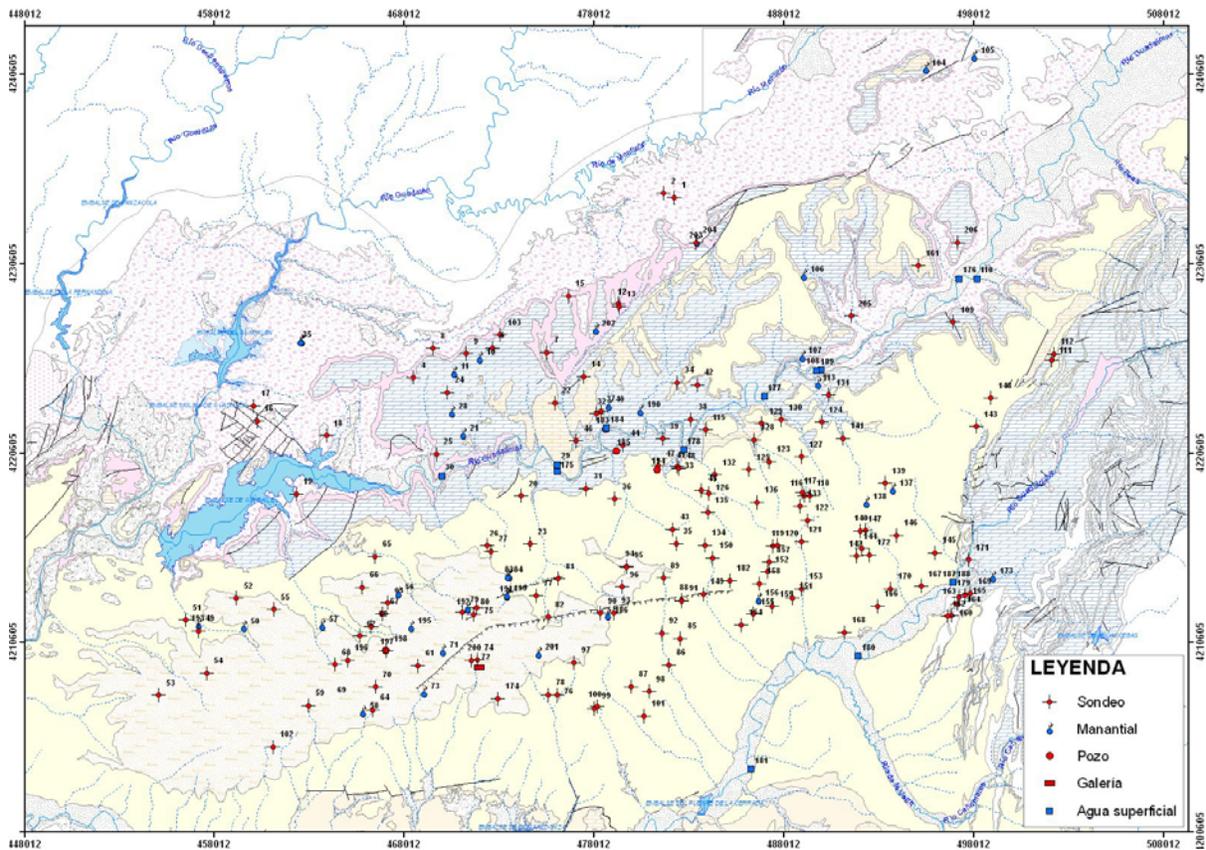


Figura 31.- Situación de los puntos de agua muestreados en los acuíferos de la Loma de Úbeda.

En la figura 32 se han representado los datos de los componentes mayoritarios en un diagrama de Piper en el que se diferencian los puntos en función de su ubicación, profundidad o columna litológica, en relación con el acuífero o acuíferos asociados. Se han incluido puntos pertenecientes a acuíferos colindantes como la Subunidad de Beas de Segura en la margen izquierda del río Guadalquivir, al sureste de los acuíferos estudiados, y de las aguas analizadas en los ríos Guadalquivir y Guadalimar.

El diagrama muestra agrupaciones de puntos que se relacionan con el acuífero al que pertenecen o con su situación geográfica. Se observa además una clara estructuración de las aguas, desde facies bicarbonatada-sulfatada cálcica-magnésica hacia clorurada sódica. Una parte importante de las aguas con mayor relación con el acuífero triásico se diferencia claramente por su elevado contenido en sulfatos, en cambio, en otro grupo se observan facies bicarbonatadas-sulfatadas similares a las de puntos relacionados con el acuífero jurásico. Las aguas del acuífero mioceno muestran facies similares a las atribuidas al acuífero jurásico, aunque con una tendencia hacia un mayor contenido en cloruros. En el acuífero de Beas de Segura se observa una importante dispersión de facies sin que parezca existir relación con los acuíferos de la Loma de Úbeda. Finalmente, hay una clara diferenciación en las aguas de los ríos Guadalquivir y Guadalimar. Los puntos pertenecientes al río Guadalquivir son de facies bicarbonatada cálcica, por el contrario, en el Guadalimar la facies es bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica, similar a la que se observa en el acuífero jurásico.

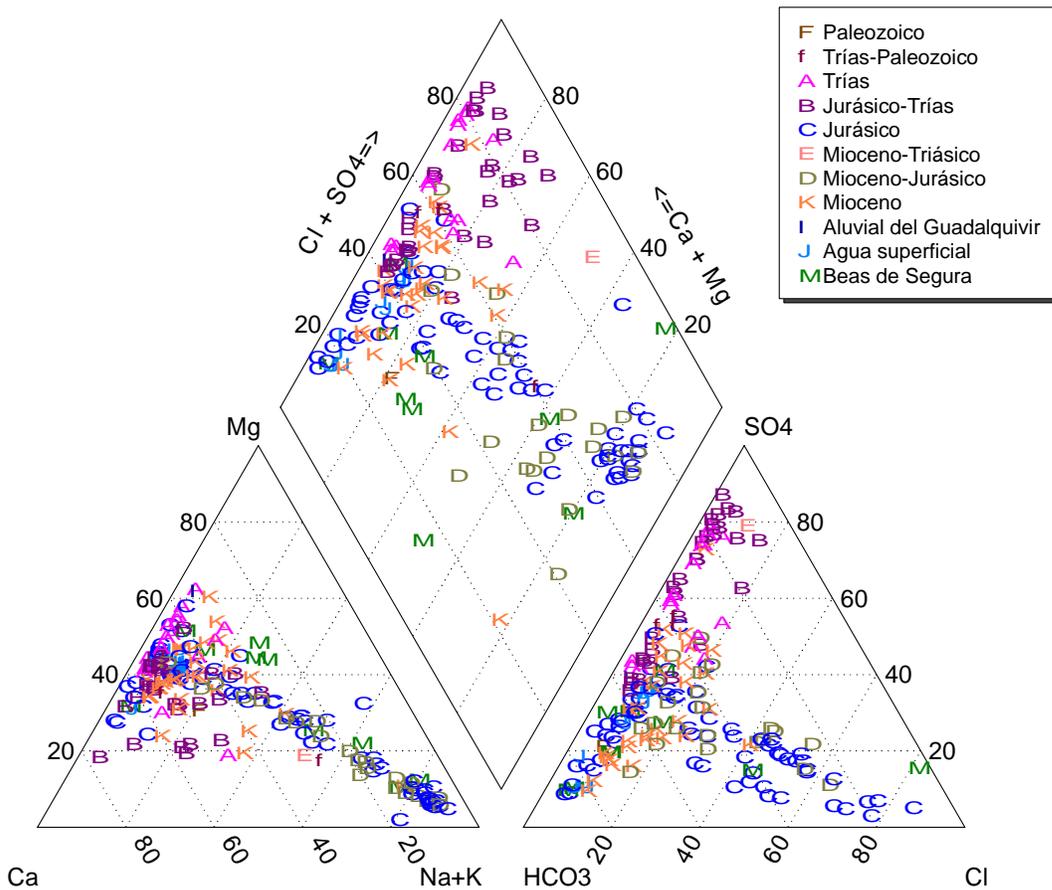


Figura 32.- Diagrama de Piper general de los puntos muestreados.

Las aguas relacionadas exclusivamente con las areniscas triásicas presentan un bajo contenido en cloruros que debe estar en relación con el origen continental de estas areniscas, depositadas por ríos triásicos sin contacto con el agua de mar. El contenido en sulfato es elevado en las zonas donde el paquete de arcillas y yesos en facies Keuper se superpone a las areniscas, pero es muy inferior donde este paquete ha sido erosionado parcial o totalmente. Muchos de los sondeos situados sobre los carbonatos jurásicos de la margen derecha del río Guadalquivir explotan también las areniscas triásicas. El quimismo de las aguas procedentes de estos puntos sugiere la existencia de mezclas entre los dos tipos de acuíferos.

En el acuífero jurásico se observa una evolución de las aguas en la zona libre desde facies bicarbonatada a bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica y posteriormente, en la zona confinada hacia clorurada sódica. Si embargo, al sur del acuífero confinado, existen aguas que incrementan el contenido en sulfatos, lo que sugiere la existencia de mezclas con aguas triásicas que puede relacionarse con la presencia de una zona de fractura detectada por sísmica. Existen también sondeos profundos en la zona norte del acuífero confinado que cortan las areniscas triásicas bajo los carbonatos jurásicos, estas aguas se diferencian muy bien por su elevado contenido en sulfatos, ya que ambos acuíferos aparecen desconectados por el paquete arcilloso triásico de facies Keuper, donde el yeso es abundante.

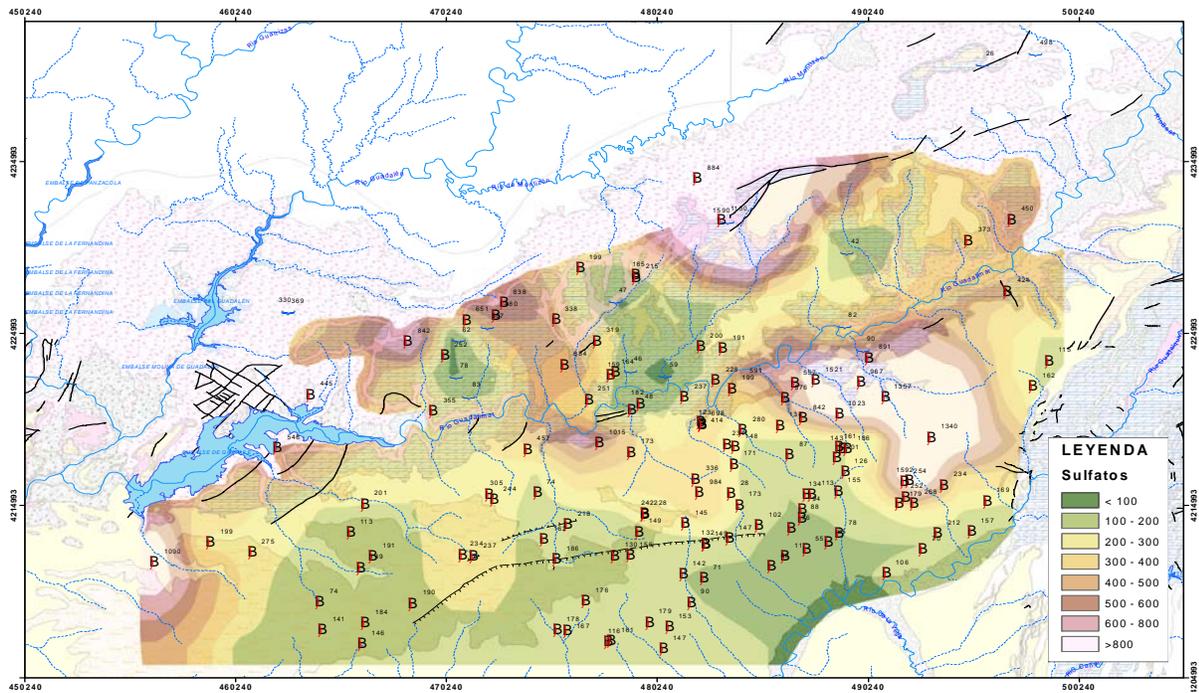


Figura 34.- Distribución espacial del contenido en sulfatos en las aguas relacionadas con los acuíferos jurásico y triásico.

El nitrato desaparece a partir de aguas con temperaturas de más de 30°C y su desaparición está acompañada de la aparición de amonio (figura 35).

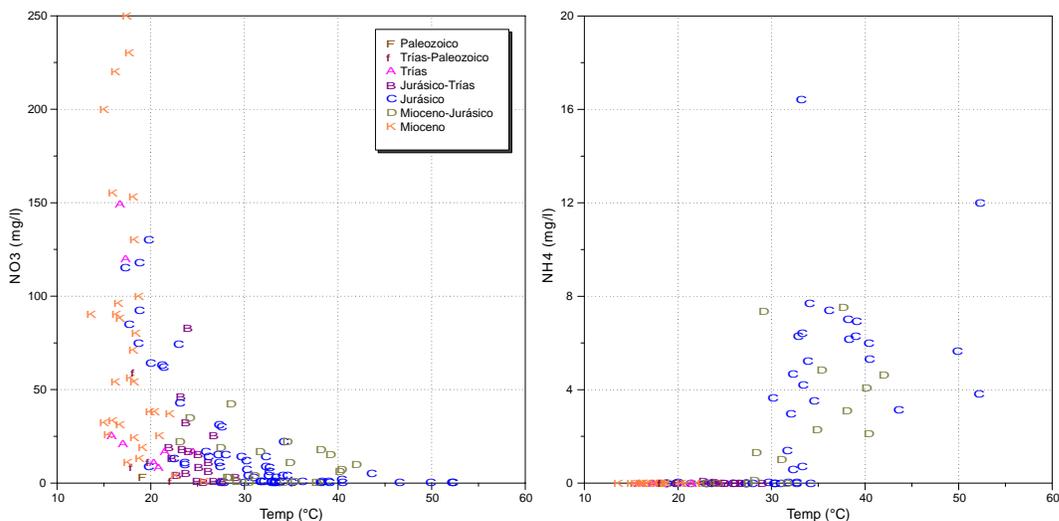


Figura 35.- Relación del contenido en nitratos (izquierda) y amonio (derecha) con la temperatura del agua.

Se han estudiado los efectos que los fenómenos de reducción tienen en el equilibrio de los carbonatos, se observa que el contenido en bicarbonatos es creciente hasta temperaturas en torno a 30-40°C, donde hay un cambio de tendencia con incluso una disminución (figura 36). El crecimiento de los valores se explica como consecuencia de los cambios en el pH del agua producidos por los fenómenos de reducción de nitratos y sulfatos, que provocan la karstificación de los carbonatos. En cambio, la mezcla de aguas con el acuífero triásico en la

zona de falla profunda, se interpreta como la causa en el cambio de tendencia debido a la precipitación del bicarbonato por efecto "Ion común", al entrar aguas con un aporte extra en calcio.

El fenómeno de intercambio de calcio y magnesio por sodio en minerales de las arcillas está bien documentado en este acuífero, sin embargo, al igual que ocurre con el resto de fenómenos descritos, parece existir una ruptura en la evolución de las aguas partir de la zona de fractura profunda, que coincide con valores de temperatura del agua de más de 35°C (figura 37). Esta ruptura supone la estabilización del contenido en calcio y magnesio y una dispersión del contenido en sodio, que deja de sufrir un incremento lineal. Esto es congruente con la hipótesis de entrada de aguas triásicas a favor de la fractura.

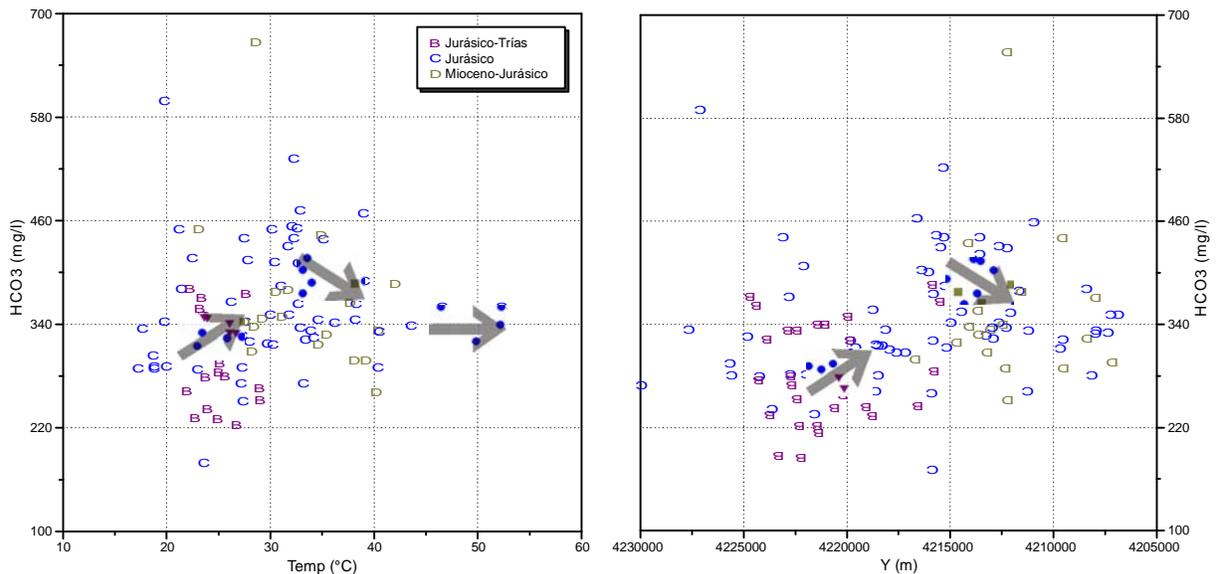


Figura 36.- Relación del contenido en bicarbonatos con la temperatura del agua (izquierda) y con la coordenada UTM Y (derecha).

Los valores de Oxígeno 18 y Deuterio en las aguas circulantes por los ríos Guadalquivir y Guadalimar indican la presencia de contenidos diferentes en los periodos invernales que en la primavera-verano. Esto se debe a la influencia de los embalses del Tranco y Guadalmena, en primavera-verano hay desembalses, por lo que las aguas que circulan por los ríos son representativas del agua embalsada. En invierno la mayor parte del agua procede directamente de las descargas de los manantiales en cabecera y de la escorrentía superficial.

Los valores del río Guadalimar correspondientes a la primavera-verano son similares a los de la nube de puntos principal y muestran la influencia del río en la recarga. En el agua subterránea se observan agrupaciones en función de la cota de recarga, que es mayor en el acuífero mioceno (valores más negativos) que en el jurásico. En el acuífero jurásico y triásico aparecen valores similares, lo que sugiere la existencia de relación hídrica entre ambos (figura 38).

En cuanto al contenido de tritio en el agua, se deduce que las aguas más juveniles corresponden a las relacionadas con el acuífero mioceno, con los manantiales asociados al jurásico y con el acuífero de Beas de Segura (figura 39). En el sector de Villacarrillo aparecen aguas más antiguas, aunque con valores positivos de tritio. En las areniscas del

Trías bajo el acuífero jurásico y en la zona confinada del acuífero jurásico hay ausencia de tritio, por lo que sus aguas son las más antiguas.

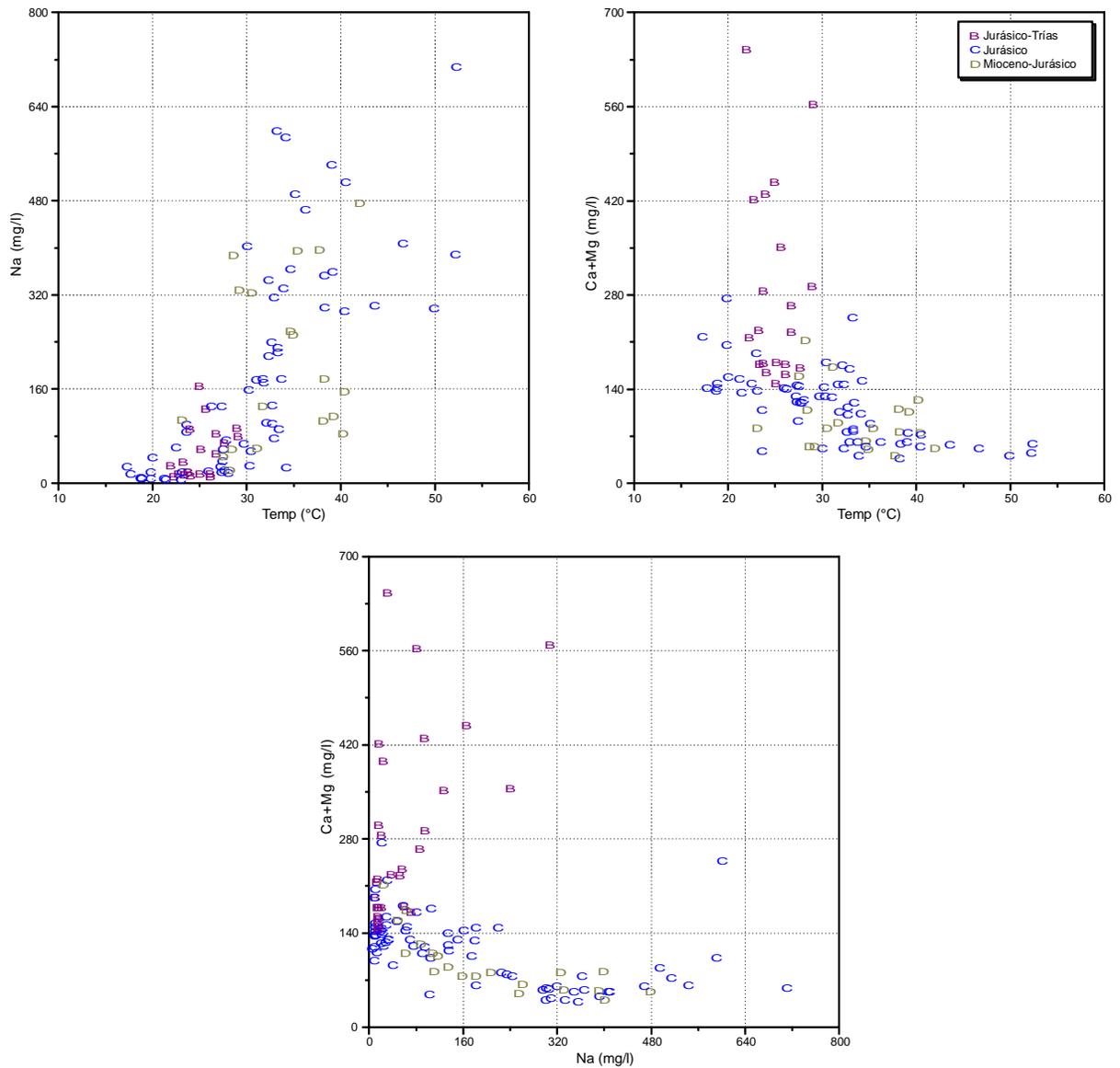


Figura 37.- Relación del contenido en sodio (izquierda) y la suma del calcio y el magnesio (derecha) con la temperatura del agua. Abajo, relación entre ambos iones.

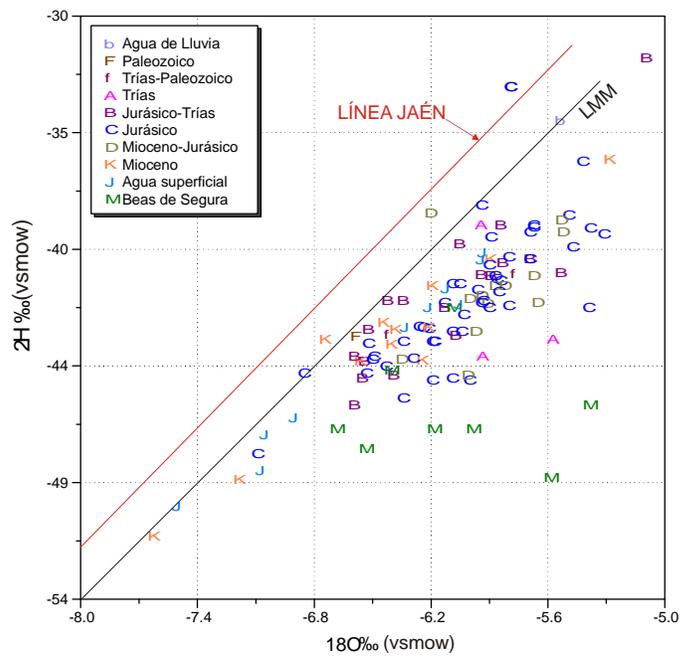


Figura 38.- Relación entre los valores de Oxígeno-18 y Deuterio en el agua subterránea de los acuíferos de la Loma de Úbeda.

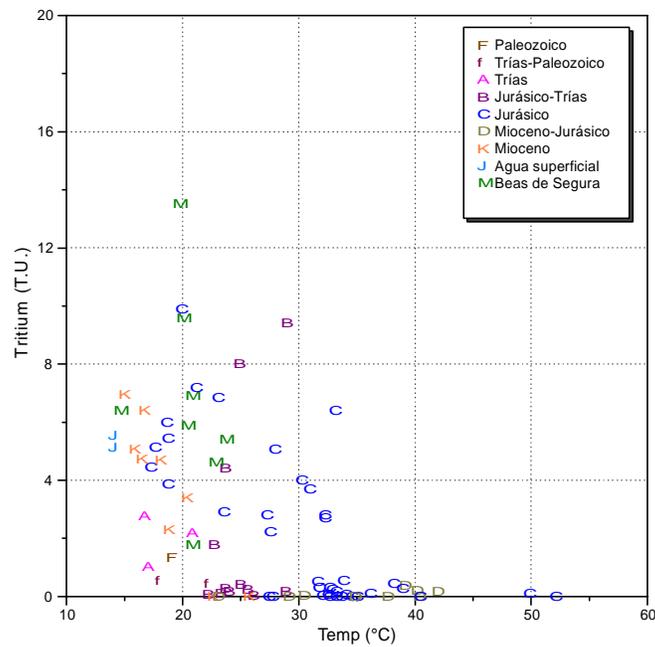


Figura 39.- Relación del contenido en tritio del agua subterránea con la temperatura del agua medida en campo.

4.7. Explotación por bombeo

El agua extraída de los acuíferos de la Loma se destina casi en su totalidad al regadío de olivar. Todos los acuíferos descritos en la Loma de Úbeda presentan un elevado aprovechamiento de sus recursos, aunque es en el acuífero jurásico donde se realizan la mayor parte de las extracciones.

El acuífero mioceno ha sido tradicionalmente explotado a partir de pozos de poca profundidad y zanjas, ya que el acceso a la zona saturada es fácil, al encontrarse a poca profundidad. A comienzos de los años noventa, los agricultores de la zona comenzaron a construir sondeos de gran profundidad para perforar el acuífero jurásico confinado al descubrir los importantes caudales que podían obtenerse, y paulatinamente, la gran extensión de olivar existente fue poniéndose en regadío, lo que produjo notables incrementos en la producción de aceite.

La extracciones en el acuífero jurásico fueron calculadas por primera vez en el año 1998-99 con motivo del "Proyecto para la actualización de la infraestructura hidrogeológica de las unidades 05.01 Sierra de Cazorla, 05.02 Quesada-Castril y 07.07 Sierras de Segura-Cazorla y Carbonatado de la Loma de Úbeda" (DGOH-IGME, 2001). El volumen de extracciones obtenido fue de 18,2 hm³/año considerando una dotación de 1905 m³/ha/año. La extensión de regadío estimada en este trabajo fue de 11.925 ha que incluyen una pequeña parte regada a partir de descargas de manantiales (1,5 hm³/año).

En 2001 una nueva estimación realizada básicamente a partir de la información de sondeos registrados en la base de datos de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir permitió deducir una extracción global por bombeo algo superior a 28 hm³/año, que incluye extracciones realizadas en los tres acuíferos. En 2003 se realizó una nueva estimación a partir de los sondeos que explotan el acuífero jurásico y que figuraban en las diferentes bases de datos del IGME o la CHG. Se obtuvo una explotación total de 35,5 hm³/año para el acuífero jurásico. Tal volumen de extracción implicaría el riego de unas 24.050 ha para una dotación media similar a la deducida de sondeos con datos.

La evaluación más reciente data del año 2006, y fue realizada por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) en el marco del proyecto "Diagnóstico sobre el acuífero 05.23 de la Loma de Úbeda y redacción de recomendaciones de actuación, T. M. de Úbeda (Jaén)", actuando la Compañía General de Sondeos como empresa consultora (CHG, 2007). La evaluación se hace a partir de las diferentes bases de datos existentes en la CHG referentes a expedientes otorgados o en tramitación, la base de datos del proyecto ALBERCA y la información sobre superficies regadas. En la tabla 8, extraída del documento elaborado, resume los valores obtenidos.

Tabla 8. - Resumen. Evaluación de extracciones en la UH 23. Úbeda. Extracciones de agua.

Acuífero	Mínima	Probable	Posible (15%)	Máxima
Carbonatado confinado	18.063.674	28.990.139	33.338.660	36.090.069
S.V. Arzobispo	3.844.880	4.719.880	5.427.862	5.932.904
Carbonatado Libre	4.480.916	5.230.825	6.015.449	7.231.563
Total Carbonatado	26.389.470	38.940.844	44.781.971	49.254.535
Triásico	10.077.604	10.516.204	11.837.533	11.837.533
Detrítico Mioceno	3.981.626	4.327.949	4.418.928	4.418.928
Total UH	40.448.700	53.784.997	61.038.432	65.510.997

5. BALANCE HÍDRICO. ENTRADAS Y SALIDAS

La evaluación del balance hídrico de los acuíferos de la Loma de Úbeda que aquí se presenta, se basa en la modelización de flujo realizada por el IGME en régimen estacionario de la situación hídrica media del período 1960/61–1994/95 que permitió modelar en régimen transitorio el período 2000/01–2005/06, de plena explotación.

Este modelo se encuentra actualmente en revisión a raíz de los trabajos incluidos en el convenio vigente entre el IGME y la Agencia Andaluza del Agua. Los nuevos trabajos modelizan conjuntamente los acuíferos jurásico y triásico, lo que mejora el enfoque del modelo anterior, que se centró exclusivamente en el acuífero jurásico, considerando también la influencia del acuífero mioceno. Puesto que estos nuevos trabajos de modelización aún no han finalizado, el balance que aquí se presenta es el obtenido en el modelo anterior.

El acuífero jurásico de la Loma de Úbeda puede dividirse en varios sectores en función de características tales como existencia o no de confinamiento o diferencias notables en las evoluciones piezométricas registradas. Estas características implican un diferente comportamiento frente a la explotación en cada uno de estos sectores, por lo tanto es aconsejable un planteamiento diferente para cada uno de ellos en lo que respecta a los volúmenes de explotación sostenible.

Se han considerados tres sectores cuyas principales características son los siguientes:

Acuífero libre (margen derecha del río Guadalimar): Se trata del área de afloramientos calcáreos que se extienden por la margen derecha del río Guadalimar, Sus recursos proceden de la infiltración del agua de precipitación y sus descargas se producen hacia el propio río Guadalimar.

Acuífero confinado y libre por la margen izquierda del río Guadalimar: se extiende por la margen izquierda del río Guadalimar hasta el sur de Úbeda y Baeza, donde se encuentra a gran profundidad. Es el que presenta mayor complejidad en su funcionamiento hidrogeológico y sus recursos proceden de la infiltración del agua de lluvia en un pequeño sector de la margen izquierda del río Guadalimar, de la infiltración del propio río Guadalimar, y de aportes desde el acuífero mioceno que se sitúa sobre él a través de los sondeos que perforan ambos acuíferos y por percolación en las margas miocenas que los separan. En este sector es donde se produce el mayor volumen de explotación.

Sector de Villanueva del Arzobispo: ocupa la zona noreste de la poligonal que define la MASb y se trata de una parte del acuífero jurásico confinado que presenta evoluciones piezométricas netamente diferenciadas del resto, lo que implica una desconexión hidráulica con el acuífero confinado. Su recarga es escasa y procede de una estrecha banda de afloramientos permeables situada al norte del sector en la que afloran los carbonatos jurásicos.

El estudio de la recarga en condiciones estacionarias, es decir sin bombeos de consideración, se ha realizado para el periodo comprendido entre los años 1960/62 y 1994/95 y posteriormente se ha comparado con el periodo en que el acuífero se encuentra con una explotación elevada entre los años 2000/01 y 2005/06.

La modelización matemática en régimen transitorio consigue realizar una simulación aceptable de las evoluciones piezométricas en el acuífero entre los años 2000/01 y 2005/06. Se ha modelizado el acuífero libre y el acuífero confinado principal, sin tener en cuenta el

denominado sector de Villanueva del Arzobispo. La simulación realiza balances por zonas relacionadas entre sí. Estas zonas son:

- El acuífero libre en la margen derecha del río Guadalimar.
- El acuífero libre en la margen izquierda del río Guadalimar.
- El acuífero confinado.

Los resultados más coherentes obtenidos son los siguientes:

ACUÍFERO LIBRE MARGEN DERECHA

Entradas

- Infiltración de la precipitación 22 hm³
- Infiltración del río Guadalimar..... 1 hm³

Salidas

- Extracciones por bombeos..... 3 hm³
- Descargas por manantiales 2,4 hm³
- Descargas al río Guadalimar 7 hm³
- Volumen que pasa hacia la margen izquierda 10,6 hm³

ACUÍFERO LIBRE MARGEN IZQUIERDA

Entradas

- Infiltración de la precipitación 10,3 hm³
- Infiltración del río Guadalimar..... 2,9 hm³
- Recarga procedente de la margen derecha 10,6 hm³

Salidas

- Extracciones por bombeo 3,3 hm³
- Descargas al río Guadalimar 4,5 hm³
- Descarga al acuífero confinado 16 hm³

ACUÍFERO CONFINADO

Entradas

- Infiltración procedente del acuífero libre..... 16 hm³
- Recarga procedente del acuífero mioceno 3,3 hm³

Salidas

- Extracciones por bombeos..... 32,6 hm³

Por otra parte, el modelo deduce la existencia de un déficit anual cercano a 14 hm³.

Para el Acuífero Mioceno, se ha realizado recientemente un nuevo balance basado en datos de pluviometría, aforos en arroyos y manantiales y extracciones estimadas en los sondeos y pozos existentes. El resultado es el siguiente:

Entradas:

- Infiltración de agua de lluvia: 6,7 hm³/año
(se aplica un 20% de infiltración de la lluvia útil en la estación de Sabiote para una r.u. de 100 mm (227 mm/año para el periodo 1960-94 y con criterios similares a los de estudios anteriores al no disponerse de nuevos datos al respecto) y una superficie de afloramientos de 148 km²)

Salidas:

- Manantiales 1,0 hm³/año
- Extracciones por bombeo 2,1 – 4,4 hm³/año
- TOTAL 3,1 – 5,4 hm³/año

La diferencia entre entradas y salidas (1'3 a 3'6 hm³/año) podría corresponder a drenajes o zonas de rezume dispersas no conocidas y a infiltración sobre niveles acuíferos más profundos (en parte a través de los sondeos que los comunican, como ya se ha comprobado en algunos casos), aunque tampoco se puede descartar que la infiltración por lluvia esté algo sobrevalorada, siendo difícil más precisión con los datos disponibles para este tipo de materiales.

6. CONSIDERACIONES

El conjunto de acuíferos de la Loma de Úbeda soporta actualmente una explotación que podría superar los 40 hm³ anuales. Su utilización ha supuesto la creación de una importante riqueza que gira alrededor de la producción del aceite de oliva. Todo ello a pesar de que el coste de explotación de los recursos es elevado, especialmente en la zona donde el acuífero se encuentra a mayor profundidad, donde los sondeos pueden alcanzar 800 m con el nivel piezométrico a más de 300 m de profundidad y con agua a más de 50°C de temperatura.

La investigación de las pautas de recarga presenta gran complejidad debido a la interacción entre los tres acuíferos existentes y el río Guadalimar y, pese a los trabajos realizados, aún no está suficientemente bien conocida. Uno de los principales problemas se debe al desconocimiento de la geometría de los acuíferos bajo el recubrimiento de margas miocenas en su zona confinada, donde precisamente se produce la mayor explotación. La toma de datos para el conocimiento de la evolución de la superficie piezométrica entraña también gran dificultad pues con la excepción de los sondeos construidos por el IGME en el entorno del río Guadalimar, no existen piezómetros de control construidos para tal fin. Las medidas en la zona confinada son muy complejas, pues la mayoría de los sondeos están instalados, no disponen de tuberías piezométricas y los niveles piezométricos están muy profundos. En este contexto los estudios hidroquímicos e isotópicos se muestran como una de las herramientas más eficaces a utilizar.

Existe información piezométrica que cubre gran parte del acuífero jurásico en 1996, 2001 y 2004, y de la red de control en una serie de piezómetros puntuales que el IGME ha mantenido, pero es necesaria una actualización de información que permita conocer la situación presente. Por otra parte apenas se conoce la morfología de la superficie piezométrica ni su evolución temporal en el acuífero triásico en la margen derecha de río

Guadalimar, y se trata del acuífero más explotado en este sector. Además, las últimas investigaciones sugieren que este acuífero podría ser una de las principales fuentes del recarga del acuífero jurásico, gracias a los juegos de fracturas existentes.

El acuífero mioceno también es poco conocido desde el punto de vista piezométrico, por lo que deben acometerse trabajos enfocados a definir su piezometría tanto desde el punto de vista espacial como temporal.

También es necesario acotar los volúmenes de explotación actuales y los principales puntos de bombeo, labor muy compleja por el gran número de sondeos existentes.

6.3.- MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 05.24 BAILÉN-GUARROMÁN-LINARES

1. INTRODUCCIÓN

La explotación intensiva a la que se está sometiendo a los acuíferos que conforman la Masa de Agua Subterránea 05.24 "Bailén-Guarromán-Linares" hace que se emita el presente informe cuyo objetivo es analizar la situación del acuífero y la posible existencia de sobreexplotación de sus recursos renovables.

2. ASPECTOS GENERALES DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA

2.1. Situación y límites

La Masa de Agua Subterránea (MASb) 05.24 "Bailén-Guarromán-Linares" se sitúa al norte de la provincia de Jaén. Se incluye en la Cuenca Alta del Guadalquivir dentro de los términos municipales de Baños de la Encina, Carboneros, La Carolina, Bailén, Guarromán, Linares y Jabalquinto. Sobre ella se localizan los núcleos de Carboneros, La Carolina, Bailén, Guarromán, Linares y Jabalquinto además de numerosas pedanías pertenecientes a esos términos municipales. La poligonal que la engloba tiene una superficie de 591 km², siendo la superficie total de afloramientos permeables de la formación acuífera principal de 4,7 km². En la figura 40 se incluye un mapa topográfico con la poligonal envolvente de la MASb.

Su clima es subtropical cálido mediterráneo húmedo, según la clasificación de Papadakis. La precipitación media anual oscila entre 600 y 700 mm y la temperatura media anual es de 18°C. La E.T.P es de 900 mm y la Lluvia Útil media anual es de 200 mm. (R.U. 50 mm).

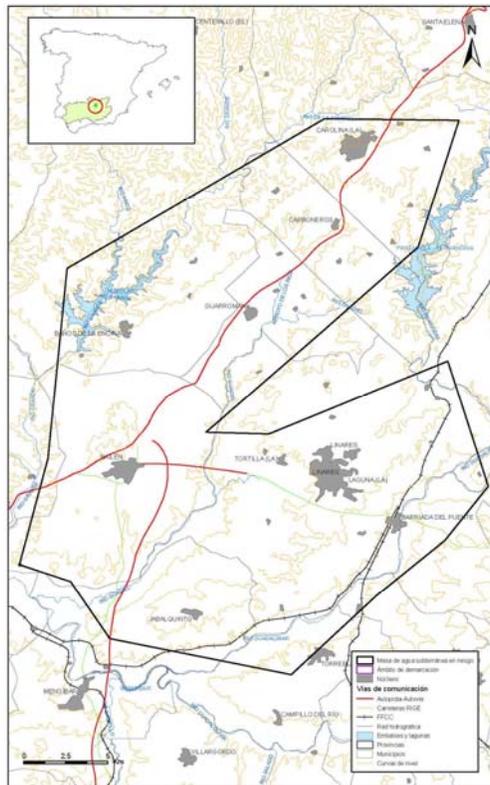


Figura 40.- Situación de la MASb 05.24 Bailén-Guarromán-Linares

2.2. Ecosistemas asociados a la masa de agua subterránea

Los ecosistemas asociados a la MASb son el Ecosistema terrestre y curso fluvial de los ríos Rumberal, Guadalén y Guadalmena, el Curso fluvial del río Guadalimar y el Tramo inferior del río Guadalimar y Alto Guadalquivir.

No se encuentra ningún humedal tipo RAMSAR, ó asociado a LIC o ZEPA de la Red Natura 2000, ó dentro del inventario de masas de agua superficiales (lagos), dentro de la MASb ó relacionado con ella.

3. MARCO GEOLÓGICO

La MASb 05.24 "Bailén-Guarromán-Linares" está situada en la denominada fosa de Bailén-Guarromán, en la que hay rocas y sedimentos de edad carbonífero, triásico, mioceno y cuaternario (figura 41).

El sustrato de la fosa está formado por materiales carboníferos y triásicos, y su configuración se debe al efecto de sendas fallas más o menos paralelas, con dirección Noreste-Suroeste, siendo la falla occidental la de mayor salto. Estas fallas delimitaron una depresión que fue rellenada por sedimentos marinos de edad miocena y, a techo de los mismos, por materiales detríticos continentales del cuaternario.

Existen dos subunidades tectónicas denominadas Bailén-Guarromán y Linares. La Subunidad tectónica de Bailén-Guarromán es una fosa tectónica alargada en dirección Noreste-Suroeste. Está limitada al Noroeste y Sureste por sendas fallas normales más o menos paralelas, siendo la falla occidental la de mayor salto. Estas fracturas se originaron en la orogenia alpina, probablemente a favor de fracturas hercínicas. La fosa comenzó rellenándose con sedimentos en facies marinas transgresivas de edad Mioceno, siguiendo la deposición de materiales detríticos en facies continentales de edad Plioceno y Cuaternario.

La Subunidad tectónica de Linares tiene una estructura similar a la de la fosa de Bailén-Guarromán, aunque no se detecta la delimitación por fallas normales tan bien desarrolladas como en esta última. Sin embargo, el relleno litológico es similar.

4. MARCO HIDROGEOLÓGICO

4.1. Antecedentes bibliográficos

La MASb se definió como Unidad Hidrogeológica (UH) por primera vez en el "Estudio Hidrogeológico de la Cuenca del Guadalquivir" realizado por IGME-FAO (1970), aunque se restringió a la zona norte de la fosa Bailén-Guarromán. Posteriormente, en el Proyecto de investigación hidrogeológica de los sistemas acuíferos de la región de Posadas-Bailén-Úbeda (1984), se incluyó en la UH toda la fosa.

En el "Catálogo de Unidades Hidrogeológicas del Territorio Peninsular e Islas Baleares" se le asignó el número 05.24 con la denominación Bailén-Guarromán; en 1993 se elaboró su correspondiente norma de explotación y en 1995 se realizó una primera revisión de las principales lagunas que presentaba, que incluyó una mejora del conocimiento hidrogeológico y una actualización de datos.

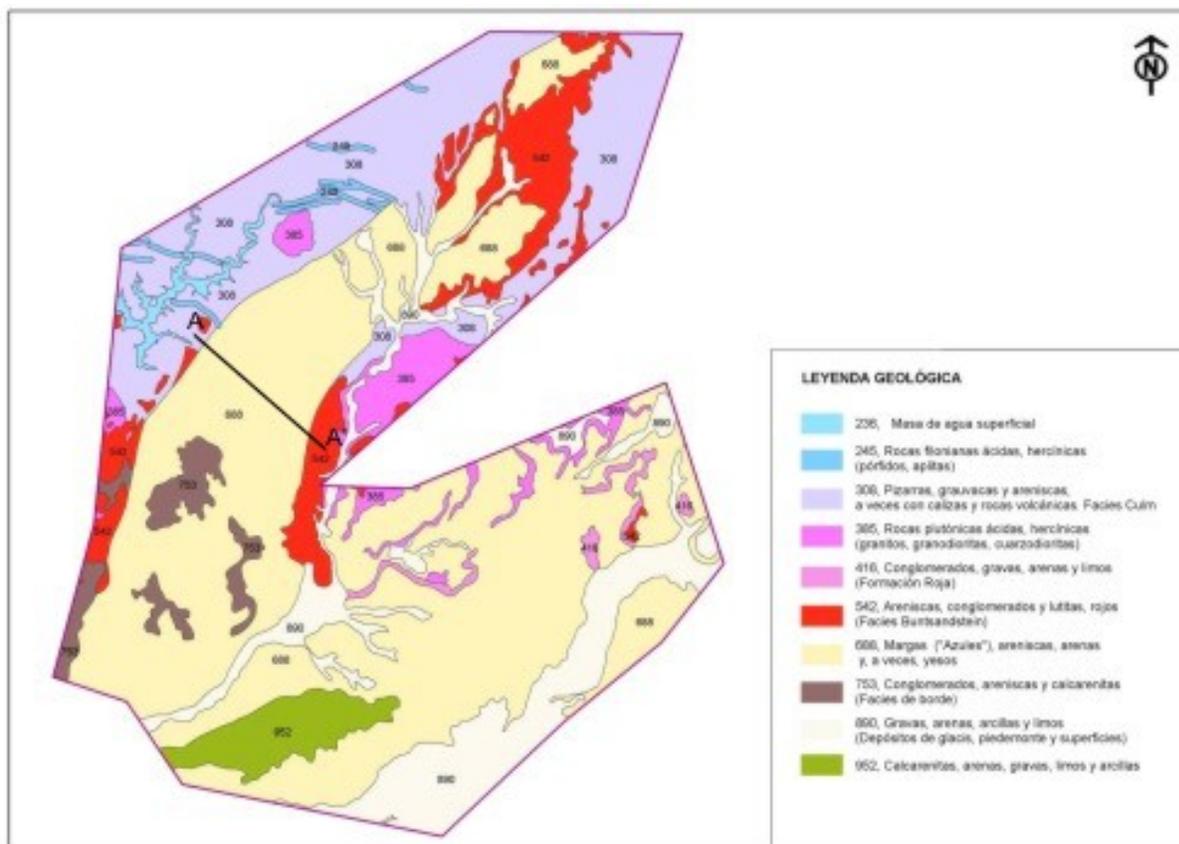


Figura 41.- Mapa geológico de la MASb 05.24 Bailén-Guarromán-Linares.

En el año 1972 se definieron los grandes sistemas hidrogeológicos de España con motivo de la publicación del "Mapa de Reconocimiento Hidrogeológico de España Peninsular, Baleares y Canarias", en el marco de los trabajos relacionados con el PIAS. Los acuíferos que comprende la MAS fueron incluidos en su día en el antiguo sistema nº 26 "Mioceno Transgresivo". El código que posteriormente fue asignado fue el 26/b (Unidad de Bailén-Guarromán).

En la Norma de Explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.24 (Bailén-Guarromán-Linares). Actualizada y modificada. (2001), se incluyó en la poligonal envolvente la zona de Linares-Jabalquinto, pasando a ser designada como Unidad de Bailén-Guarromán-Linares.

Otros trabajos realizados en la MASb con especial relevancia en el tema objeto de este informe son la "Caracterización adicional de las Masas de Agua Subterránea. (IGME-DGA, 2009)" y el proyecto de "Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica. (IGME-DGA, 2009)".

La información específica de que se ha dispuesto para la realización de este informe es la que a continuación se relaciona:

- Balances hídricos de explotaciones para los años 2008 y 2009 de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.
- Piezometría histórica de la red nacional

- Análisis de nitratos, pesticidas y plaguicidas realizados entre 2005 y 2008 utilizados en la *"Identificación de tendencias en cumplimiento de la directiva 2006/118/CE"*
- Información extraída del Inventario de Regadío 2008 realizado por la (Empresa Publica Desarrollo Agrario y Pesquero.
- Base de datos AGUAS del IGME

4.2. Los acuíferos de la masa de agua subterránea

El conjunto de acuíferos que integran la MASb es de litología detrítica y tiene permeabilidad primaria por porosidad intergranular. La superficie de los afloramientos permeables es de unos 18,9 km², distinguiéndose fundamentalmente dos acuíferos separados geográficamente por el río Guadiel: el de Bailén-Guarromán y el de Linares. En la figura 42 se presenta una cartografía de la MASb en la que se han diferenciado los materiales según su litología y permeabilidad.

- Acuífero de Bailén-Guarromán: Está constituido por materiales detríticos del Mioceno de Base (conglomerados, arenas, areniscas y limos amarillos) junto con otros también detríticos pertenecientes a abanicos deltaicos de finales del Messiniense, pudiendo en ocasiones comportarse como un acuífero de tipo multicapa al contener intercalaciones margosas impermeables. Los materiales acuíferos son fundamentalmente conglomerados parcialmente cementados, calcarenitas y areniscas, con predominio, en la zona central, de arenas y gravas limpias. Afloran únicamente en los bordes de la fosa, estando recubiertos en el resto por materiales margosos impermeables. Aunque el área delimitada del acuífero es de unos 161 km², su superficie de afloramientos permeables es de tan sólo 2,5 km² y su espesor medio del orden de 30 m, presentando variaciones significativas de unos sectores a otros, desde 12 m en el borde oriental, a más de 50 m en el borde occidental. En la figura 43 se presenta un corte hidrogeológico esquemático del acuífero de Bailén-Guarromán cuya traza se indica en la figura 41.

Los límites son abiertos al sur y sureste por continuidad del Mioceno de Base bajo los cursos del Guadalquivir y Guadiel, y cerrados al oeste, por contacto mecánico tectónico mediante fallas normales con el zócalo Hercínico. Al norte, el límite está definido por el contacto con el sustrato impermeable triásico, erosionado.

El sustrato impermeable está formado por los materiales del Trías que se hunden progresivamente desde los límites orientales de la fosa (320 msnm) hacia su límite occidental (260 m s.n.m.), con un surco central que alcanza cotas inferiores a 250 msnm.

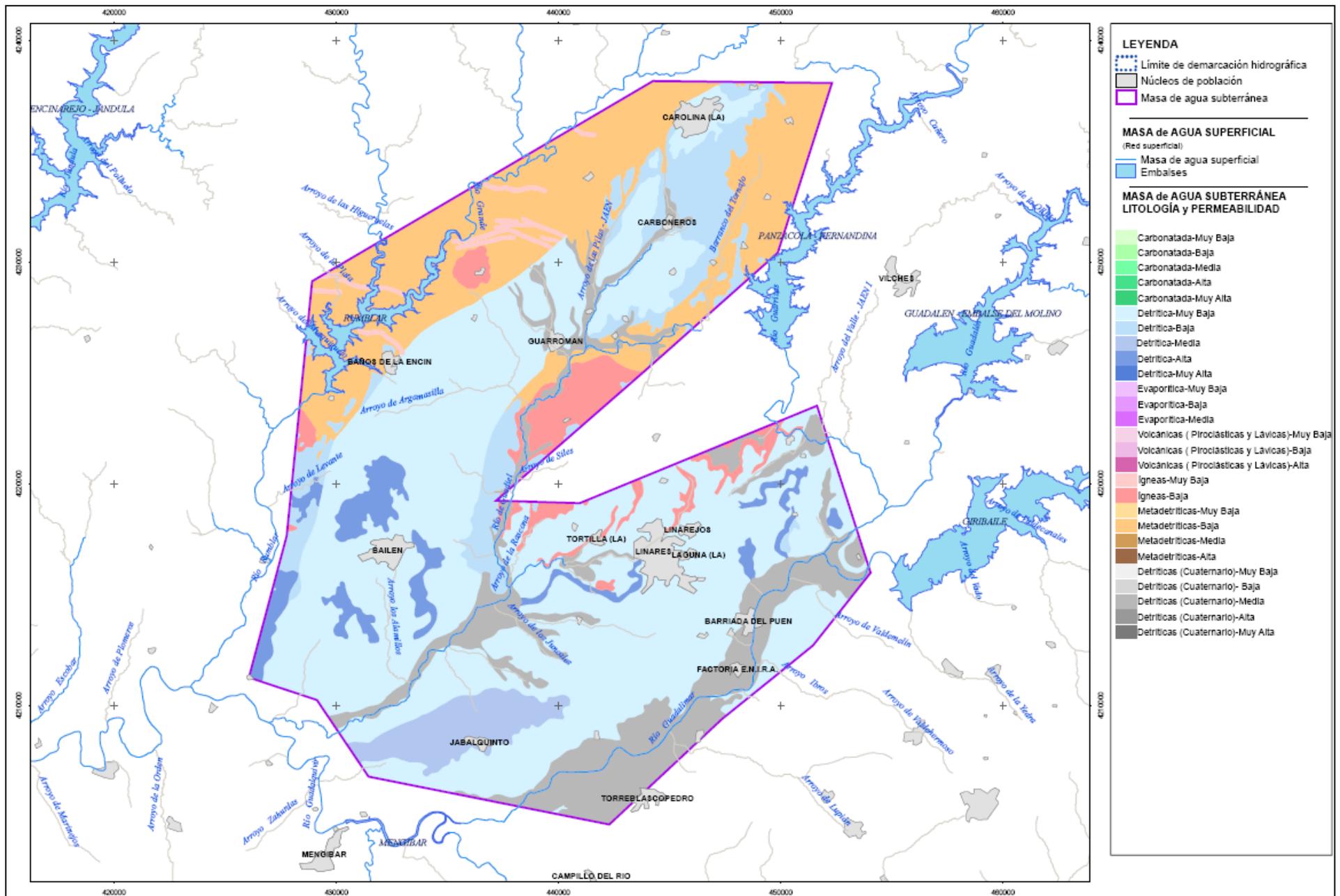


Figura 42.- Mapa litológico y de permeabilidad de la MASb 05.24 Bailén-Guarromán-Linares.

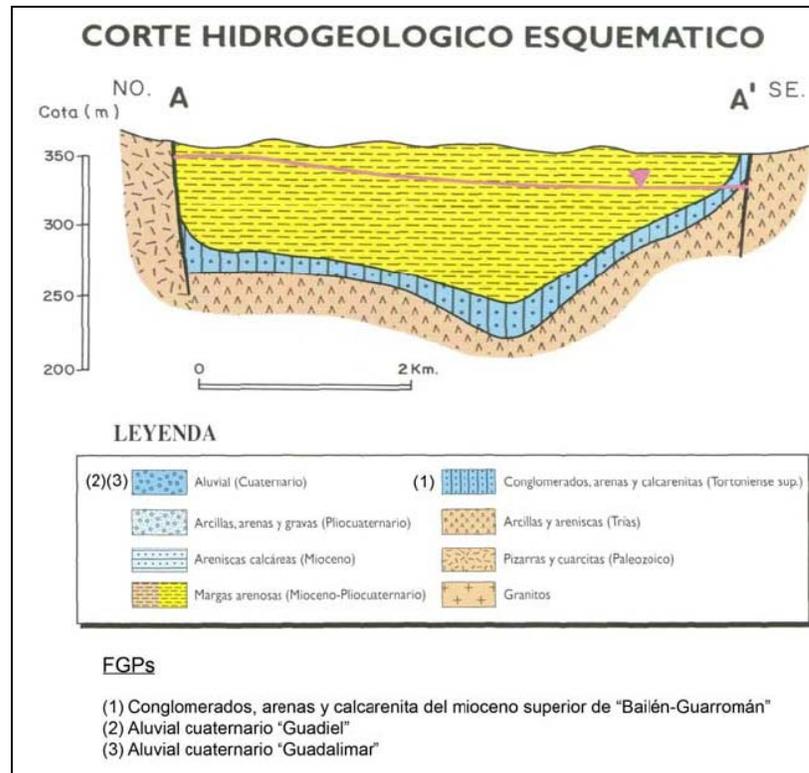


Figura 43.- Corte hidrogeológico esquemático del acuífero de Bailén-Guarromán.

Los caudales específicos de los sondeos son inferiores a 1 L/s/m, con un máximo de 1,6 L/s/m. Las transmisividades calculadas están comprendidas entre 17 y 69 m²/d. La dirección general del flujo subterráneo es NE-SO, pero en la parte central del acuífero, el flujo toma una dirección NO-SE, en dirección perpendicular al contacto con los materiales impermeables triásicos.

La recarga se produce por drenaje diferido de los materiales semipermeables suprayacentes al horizonte acuífero, y en menor medida por la infiltración directa del agua de lluvia y de la escorrentía de los cursos de agua que atraviesan la fosa.

La descarga natural se produce esencialmente hacia el río Guadalquivir, concentrándose en determinados puntos, como es el caso del manantial de la Fuente del Molino, con un caudal de 15 L/s en 1984. También se ha detectado una descarga al Arroyo de los Ríos del orden de 18-38 L/s.

- Acuífero de Linares: Los materiales que conforman este acuífero son areniscas y conglomerados pertenecientes al Surco Turbidítico Tortonense cuyos principales afloramientos en el área se encuentran en las proximidades de Espeluy.

Su superficie total es de unos 107 km² de los que 16,4 km² corresponden a areniscas y conglomerados y el resto a areniscas margosas. El espesor medio cabe esperar que esté en torno a los 130 m.

El sustrato impermeable y los límites están formados por las margas tortonienses excepto al Norte en el que el límite se debe al contacto con los materiales

impermeables triásicos. La superficie piezométrica desciende de 280 msnm en la zona septentrional a 220 msnm en la meridional. Los flujos se producen en dirección S y SE (ríos Guadalquivir y Guadalimar, respectivamente).

Los conglomerados miocenos de esta MASb se prolongan por debajo del aluvial del río Guadalquivir, ya fuera de la poligonal envolvente.

La recarga de la MASb se produce por drenaje diferido a partir de los materiales semipermeables suprayacentes al acuífero, y en menor medida por la infiltración tanto de la precipitación sobre los afloramientos permeables como de la escorrentía de los cursos fluviales que atraviesan las fosa. En el acuífero de Bailén-Guarromán, la descarga natural se produce principalmente hacia el río Guadalquivir, concentrándose en determinados puntos y no descartándose el drenaje oculto hacia el Acuífero de Linares. En el de Linares no existen manantiales importantes, por lo que la descarga natural se debe producir por transferencias subterráneas hacia el aluvial del río Guadalimar.

No se dispone de una evaluación de las reservas máximas explotables, que serían difíciles de evaluar por el carácter confinado o semiconfinado y multicapa del acuífero, que implicaría que parte de las mismas estarán contenidas en las areniscas margosas suprayacentes. De modo orientativo se pueden estimar tomando una extensión aproximada de 266 km², un espesor medio de 30 m y una porosidad eficaz del 5-10 %, con lo que se obtendría un resultado de unos 400-800 hm³, referido sólo a las reservas gravíficas.

4.3. Redes de control

No existe ningún punto de la red nacional de piezometría en la MASb 05.24, ni de la extinta red controlada por el IGME. Tampoco existe red hidrométrica oficial de manantiales dentro de la poligonal envolvente de la MASb. Solamente existen 4 estaciones de aforos de la CHG: dos en el río Guadalimar (nº 60 y nº 101-Guadalimar), una en el río Guadiel (nº 104 Guadiel) y otra en el Guadalquivir (nº 526-Guadalquivir) aguas abajo de la MAS. Las estaciones del Guadalimar recogen las descargas del río aguas arriba. La estación del Guadiel registra la descarga del río antes de llegar al Guadalquivir.

Dentro de la MASb existen dos puntos pertenecientes a la red de seguimiento del estado químico del Agencia Andaluza del Agua. Estos son los codificados como 5.24.01 "Cortijo de Retruco", en el acuífero de Bailén-Guarromán, y 5.24.21 "Los Granados", en el de Linares. Su localización se presenta en la figura 44.

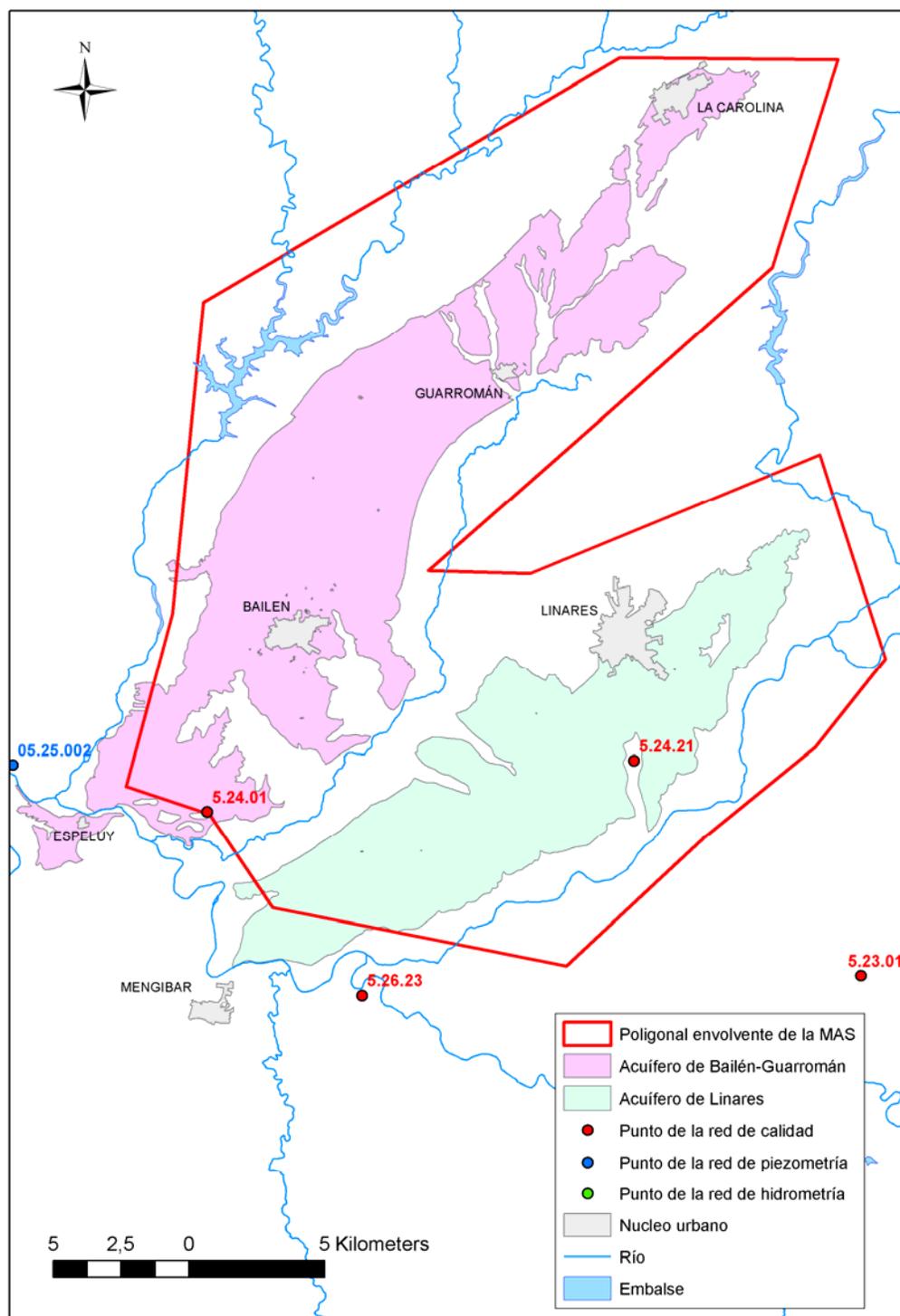


Figura 44.- Distribución espacial de las estaciones de seguimiento en la MAS 05.24.

4.4. Piezometría. Evolución espacial y temporal

Las cotas piezométricas sin la influencia de las extracciones por bombeo varían entre 355 m s.n.m. en la parte norte y 230 m s.n.m. (Fuente del Molino) en el borde suroccidental, en las

cercanías del río Guadalquivir. En la figura 45 se incluye un mapa piezométrico tomado de Martín Montañés (2007) en el que se elaboraron los datos de profundidad del nivel piezométrico de la base de datos AGUAS del IGME para enero de 2000. Como se puede observar, las líneas isopiezas dibujan un importante conoide de descenso en la zona sur del acuífero quedando la zona norte con cierta falta de información. La falta de puntos de control piezométrico en este acuífero hace que se desconozca la evolución temporal de la piezometría.

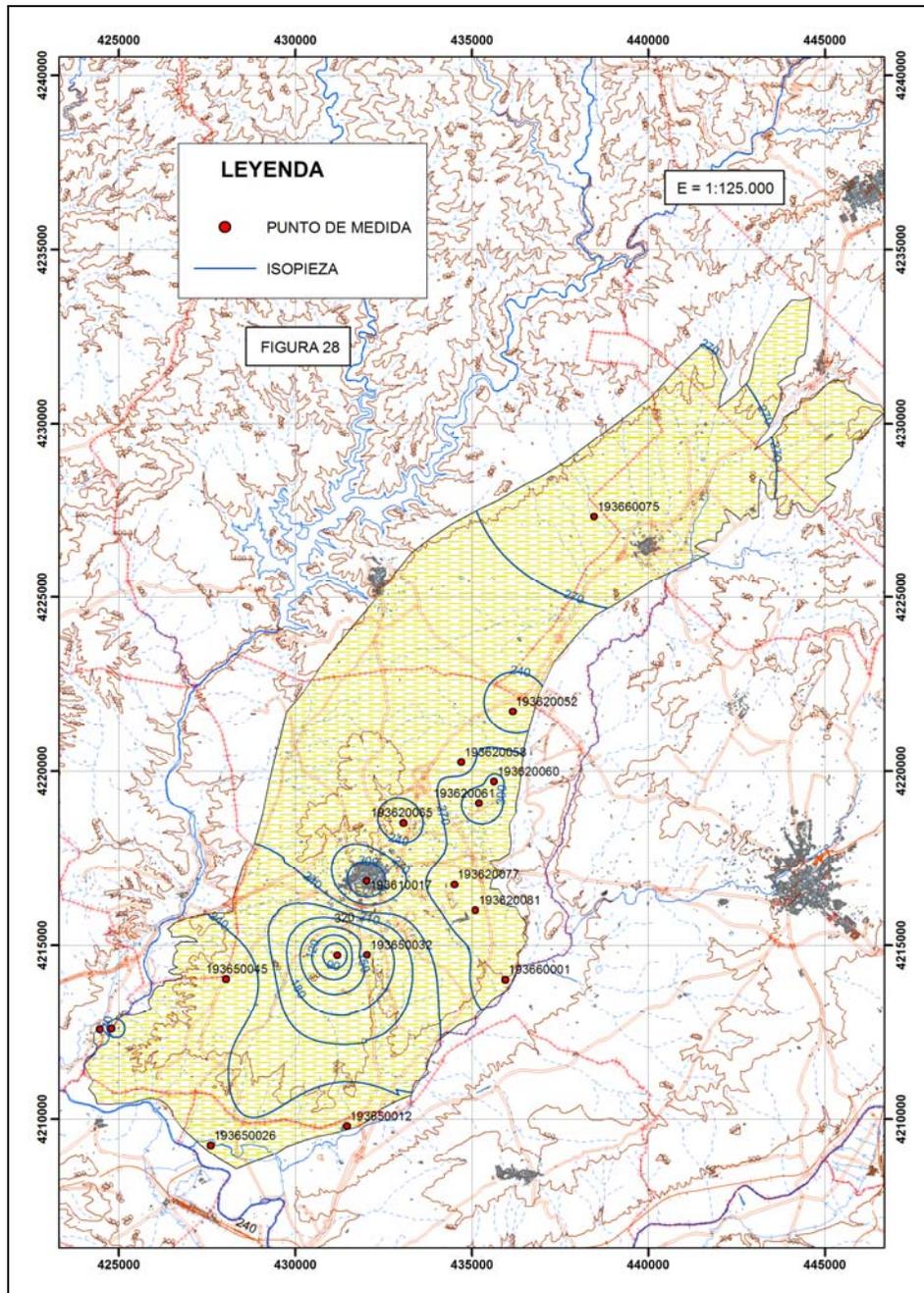


Figura 45.- Mapa piezométrico del Acuífero de Bailén-Guarromán en enero de 2000 (Tomado de Martín Montañés, 2007).

4.5. Hidroquímica. Variación espacial y temporal

El agua del acuífero de Bailén-Guarromán es de facies bicarbonatada cálcica o cálcico-magnésica con algún caso de agua sulfatada cálcica posiblemente debido a la comunicación del acuífero mioceno con el superficial, más rico en sulfatos. La del acuífero de Linares presenta una facies bicarbonatada cálcica con un total de sólidos disueltos inferior a 500 mg/l. En la página siguiente se incluyen los diagramas de cajas de los principales parámetros identificativos del agua de esta MASb.

En el gráfico de la figura 46 se presenta la evolución de la concentración de nitratos en los puntos pertenecientes a la red de seguimiento del estado químico de la AAA localizados en esta MASb.

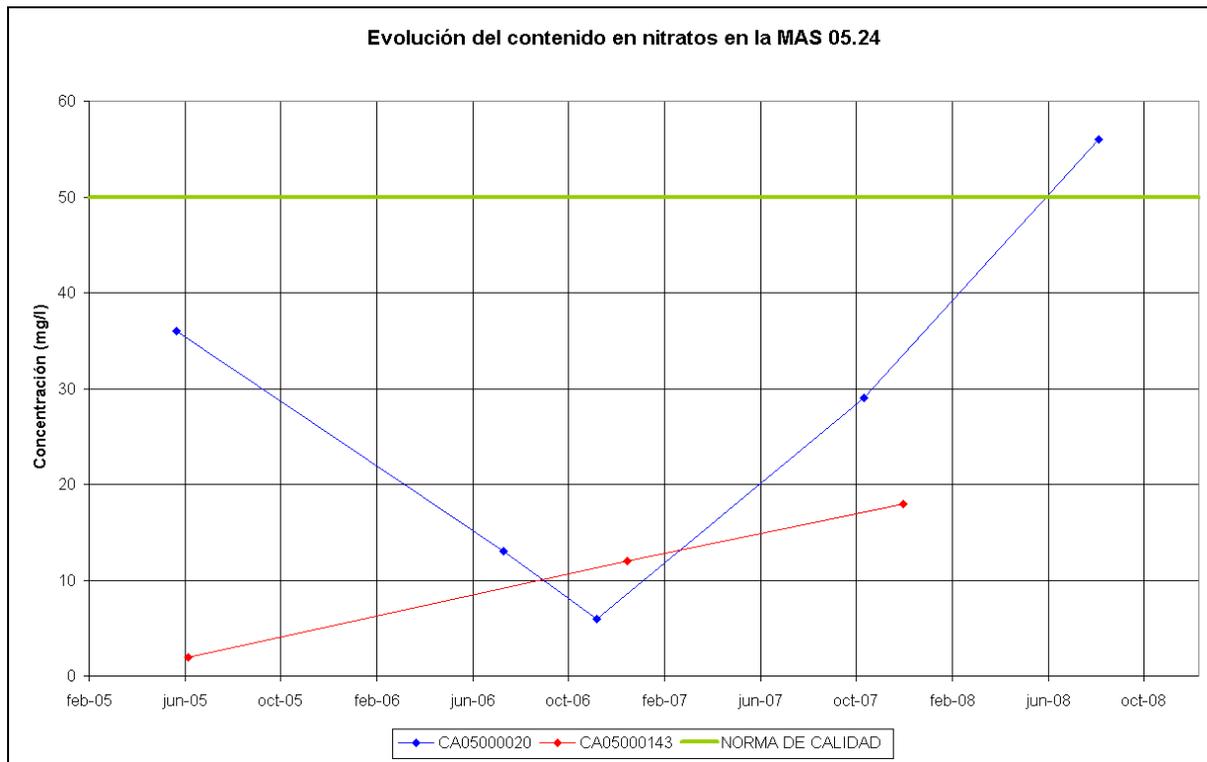
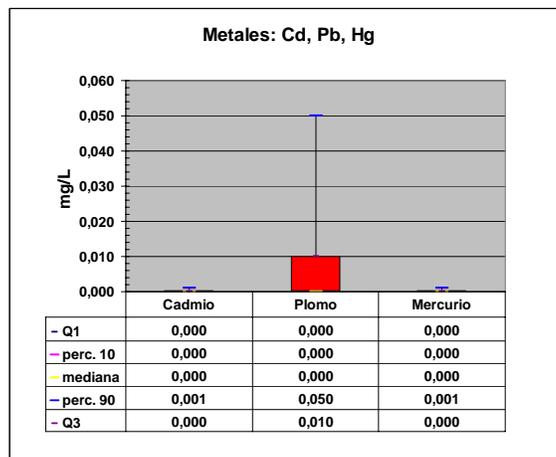
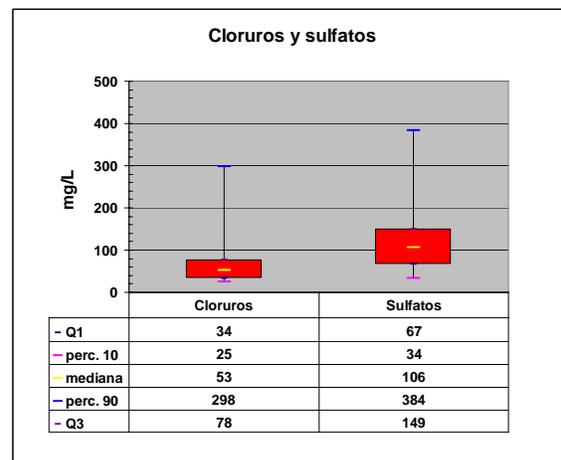
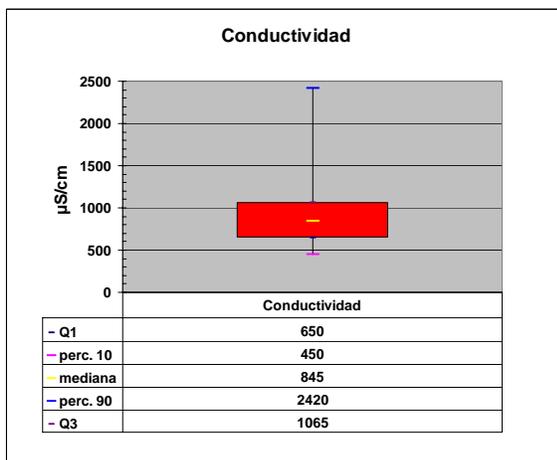
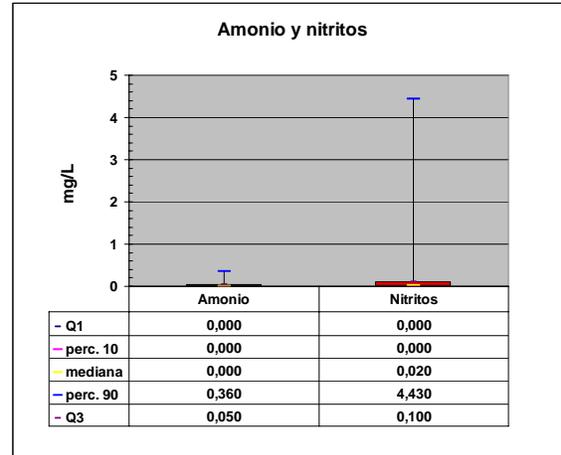
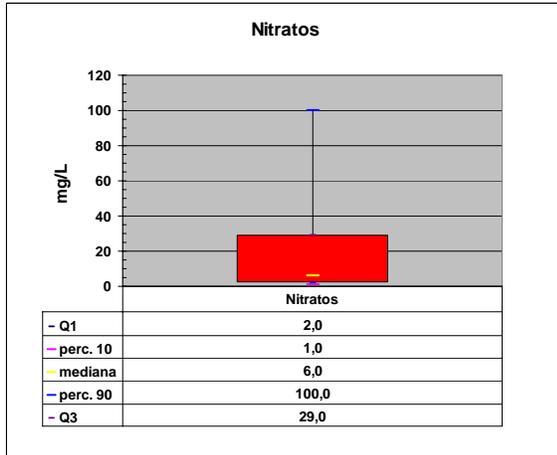


Figura 46.- Evolución temporal del contenido en nitratos del agua de la MAS 05.24 "Bailén-Guarromán-Linares".

Como se puede observar, para el punto de control CA05000020 (5.24.01) situado en el acuífero de Bailén, entre junio de 2005 y noviembre de 2006 se da una disminución de la concentración de nitratos de 30 unidades. A partir de esa fecha, se produce un importante incremento que se ve reflejado en el dato de agosto de 2008 con 56 mg/l. En el punto CA05000143 (5.24.21), localizado en el acuífero de Linares, se observa un aumento progresivo de la concentración de nitratos, aunque siempre por debajo de la norma de calidad (50 mg/L).

Niveles de referencia Diagramas de cajas. 05.24 Bailén-Guarromán-Linares



4.6. Explotación por bombeo

La explotación por bombeo de la MASb 05.24 en el año 2009, según información facilitada por la CHG es de 29,80 hm³/año. A continuación se detalla por usos del agua:

- Explotación para riego: La explotación por bombeo para riego de las captaciones localizadas dentro de la poligonal envolvente de la MASb se detalla en la tabla 9 en la que se incluye también la superficie y el consumo totales de cada agrupación. No ha sido posible diferenciar por acuíferos al desconocerse la ubicación exacta de las captaciones. El volumen total es de 27,60 hm³/año utilizados para el riego de 15.134 ha.

Tabla 9.- Explotación para riego en la MASb 05.24.

Nombre Agrupación	Superficie regada		Consumo Bruto	
	Tot. Agrup.	Origen MAS	Tot. Agrup.	Origen MAS
C.R. San Isidro Labrador	368,56	368,56	0,64	0,64
Finca Fuente Higuera	242,60	242,6	0,42	0,42
Bailén - Regantes particulares I	1.048,15	677,85	1,85	1,20
Bailén - Regantes particulares I	1.048,15	370,3	1,85	0,65
Bailén - Regantes particulares II	496,37	496,37	0,91	0,91
Bailén - Regantes particulares IV	2.012,28	331,8	3,52	0,58
Bailén - Regantes particulares IV	2.012,28	1.382,23	3,52	2,42
Bailén - Regantes particulares III	324,17	324,17	0,57	0,57
Baños de la Encina - Regantes particulares y Comunidades de regantes	2.578,68	390,41	4,65	0,70
Baños de la Encina - Regantes particulares y Comunidades de regantes	2.578,68	1.935,14	4,65	3,49
Carboneros - Regantes particulares	167,49	167,49	0,31	0,31
La Carolina - Regantes particulares	165,47	165,47	0,29	0,29
Guarromán - Regantes particulares II	1.275,14	1.197,25	2,27	2,13
Guarromán - Regantes particulares I	688,08	198,1	1,20	0,35
Jabalquinto - Regantes particulares	682,07	321	1,27	0,60
Jabalquinto - Regantes particulares y Comunidades de regantes	1.937,83	1553	3,48	2,79
Linares - Regantes particulares y Comunidades de regantes	7.504,25	5.012,13	14,29	9,55
TOTAL	25.130,25	15.133,87	45,70	27,60

- Explotación para abastecimiento urbano: La única población abastecida mediante aguas subterráneas procedentes de la MASb es Guarromán, con una extracción de 0,19 hm³/año.
- Explotación para la industria: La extracción anual para abastecimiento de la industria ubicada en la MASb es de 2,01 hm³/año.

También se dispone de la explotación por bombeo para el año 2008 (fuente CHG) que es de 24,19 hm³/año distribuidos en 21,99 hm³/año para riego, 0,19 hm³/año para abastecimiento urbano y 2,01 hm³/año para la industria.

4.7. Relaciones río-acuífero

En cuanto a la relación de la MASb con los cauces superficiales que la atraviesan, en el estudio "Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros

ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica. (IGME-DGA, 2009)” se distinguen varios tramos de los principales ríos y arroyos incluidos en la poligonal envolvente de la MASb (ver figura 47). Todos ellos se sitúan sobre materiales detríticos del Mioceno-Pleistoceno, en conexión con los materiales triásicos, drenando efectivamente las formaciones geológicas permeables (FGPs) de conglomerados, gravas y arenas Mioceno-Pliocuaternario y arcillas, areniscas y conglomerados del Triásico.

- Arroyo de los Ríos (051.024.001): Tramo de 6.601 m de longitud sobre Arroyo de los Ríos, afluente del río Guadiel, comprendido entre aguas abajo de la población de Carboneros, y un poco después de su unión con el río Guadiel. En todo el tramo el arroyo se comporta como ganador. Este tramo corresponde a una zona donde el río atraviesa el borde de la FGP de conglomerados, arenas y calcarenitas del Mioceno superior. En él se produce la descarga difusa de la FGP en las zonas donde el río atraviesa los materiales permeables del mioceno o incluso a veces, se produce a través del aluvial del propio río. Esta descarga se estima entre 18 y 38 L/s al arroyo.

- Río Guadiel (051.024.002): Tramo de 14.969 m de longitud sobre el río Guadiel, afluente del río Guadalquivir, comprendido un poco después de su unión con el arroyo de la vega y un poco antes de su desembocadura en el Guadalquivir, fuera ya de los límites de la MASb. En todo el tramo el río parece comportarse como perdedor. A lo largo de este tramo el río Guadiel descarga en el *aluvial del río Guadiel* en un régimen natural difuso directo. Aunque pueda haber algunos pequeños manantiales en terrazas colgadas, el río sigue considerándose perdedor ya que, además de que los caudales son muy bajos, el agua descargada en esos pequeños manantiales se infiltra aguas arriba desde el propio río. No se dispone de suficiente información para cuantificar suficientemente la pérdida del tramo en cuestión.

- Río Guadalimar (051.024.003): Tramo de 27.259 m de longitud sobre el río Guadalimar que es tributario del Guadalquivir, comprendido entre poco después del embalse de Giribaile hasta que llega al embalse de Mengíbar en su desembocadura en el Guadalquivir fuera de los límites de la MASb. La relación se estima como río ganador puntual y con una conexión difusa directa. Este tramo del río Guadalimar descarga sobre el aluvial del propio río directamente en un régimen disperso. Además, recibe las aportaciones de desagües mineros procedentes de las galerías mineras del macizo granítico de los que algunos evacúan entre 50 y 70 L/s hacia el arroyo Álamo (IGME 2008). Todo el tramo está regulado por el embalse de Giribaile, justo antes del tramo; cuando el Guadalimar pasa a la altura de Linares se encuentra con el embalse de regulación de Arquillos por lo que las infiltraciones al acuífero quedan sometidas a los desembalses. No se dispone de información para poder cuantificar suficientemente la ganancia del tramo. El desagüe de las galerías mineras se ha estimado en 50-70 L/s (IGME 2008) procedente de varias explotaciones y que concluirían en el arroyo Fuente Álamo afluente del río Guadalimar.

- Río Guadalquivir (051.024.004): Tramo de 347 m de longitud sobre el río Guadalquivir, aunque el tramo queda fuera de los límites de la MASb el manantial que alimenta el río es el que drena la FGP de conglomerados, arenas y calcarenitas del Mioceno superior. La relación se estima como río ganador puntual por único manantial. Este tramo el río Guadalquivir recibe una recarga desde los conglomerados, arenas calcarenitas del Mioceno superior en un régimen de descarga puntual, a través del manantial Fuente del Molino (193650022). El desagüe del manantial se ha cuantificado en 15 L/s (ITGE 1997) drenados directamente al Guadalquivir.

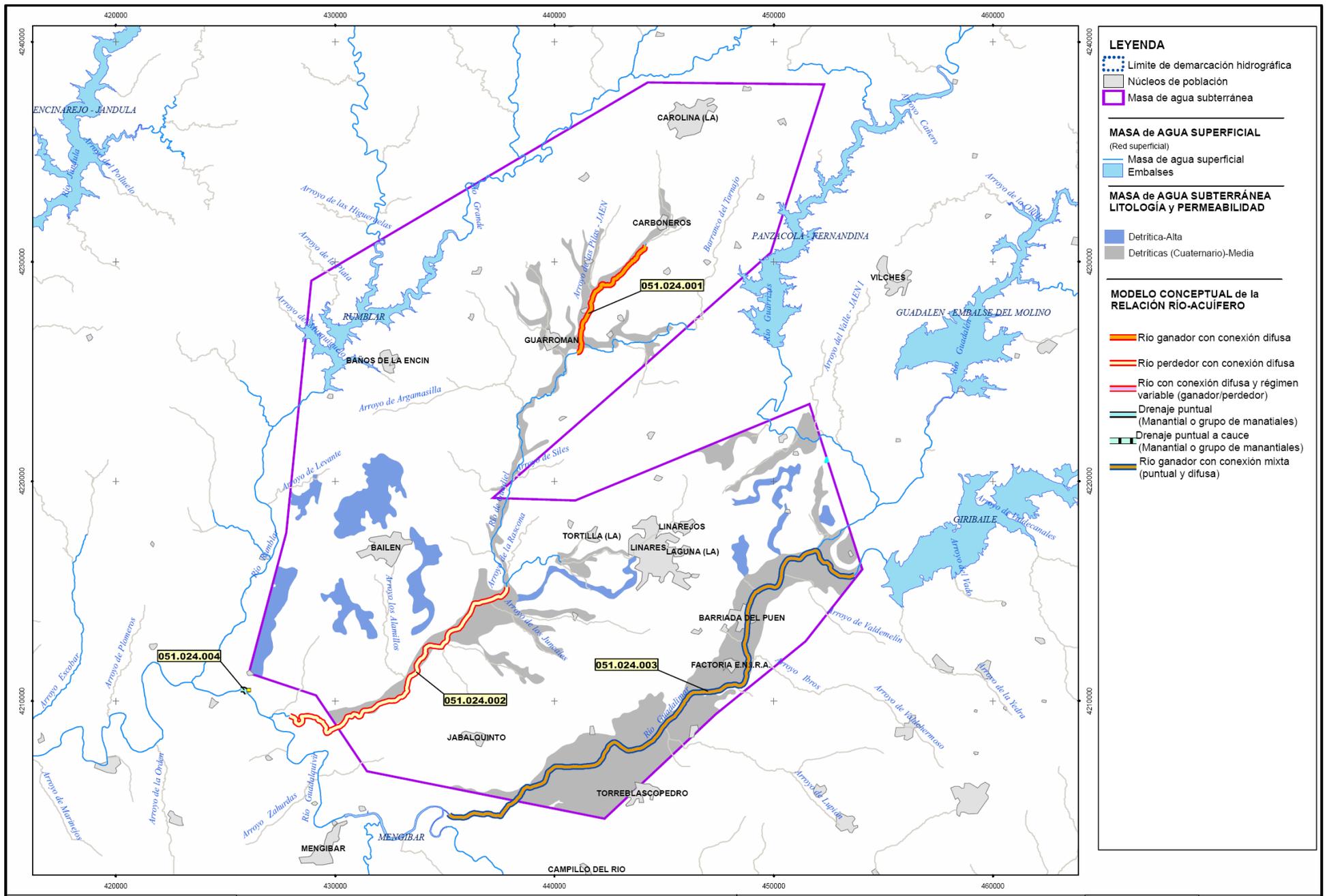


Figura 47.- Tramos de los principales ríos y arroyos incluidos en la poligonal envolvente de la MASb.

En las tablas 10 y 11 se resume el modelo conceptual de la relación río-acuífero para cada tramo y la cuantificación.

Tabla 10.- Modelo conceptual de la relación río-acuífero para cada tramo.

Código del tramo	Nombre del cauce	Modelo conceptual relación río-acuífero	Régimen hidrogeológico	Características del lecho del cauce	Hidrogeología del techo	Génesis de la descarga	Longitud del tramo (m)
051.024.001	Arroyo de los Ríos	Conexión difusa directa	Natural	-	Acuitardo	La FGP descarga en el río cuando este circula sobre sus materiales	6.601
051.024.002	Río Guadiel	Conexión difusa directa	Natural	-	-	Descarga por diferencia de niveles entre el cauce y el acuífero	14.969
051.024.003	Río Guadalimar	Conexión mixta difusa directa y manantiales	Natural modificado (regulación del cauce por embalsamiento)	-	-	Descarga por diferencia de niveles entre las galerías mineras, el cauce y el acuífero	27.259
051.024.004	Río Guadalquivir	Descarga puntual por único manantial	Natural	-	Acuitardo	La FGP descarga en el río a través de un manantial	347

Tabla 11.- Cuantificación para cada tramo.

Código Tramo	Cuantificación				Régimen hidrológico	Observaciones
	Descarga puntual QCD (l/s)	Conexión difusa				
		Relación Unitaria de Transferencia RUT (l/s/m)	Amplitud de la serie (ASU)	Número de datos (NAE)		
051.024.001	-	0,0027-0,0057 ⁽²⁾	-	1	Natural	Descarga directa difusa a lo largo de 6.601 m de entre 18 y 38 l/s.
051.024.002	-	-	-	-	Natural	No se conocen los datos de la pérdida en el tramo implicado.
051.024.003	50-70 ⁽¹⁾	-	-	1	Natural modificado	La ganancia del tramo se debe a antiguas galerías mineras que descargan al cauce.
051.024.004	15 ⁽²⁾	-	-	1	Natural	Ganancia por la descarga puntual de un manantial
⁽¹⁾	IGME (2008)					
⁽²⁾	ITGE (1997)					

5. BALANCE HÍDRICO. ENTRADAS Y SALIDAS

Las entradas de agua a ambos acuíferos se deben principalmente al drenaje diferido de los materiales suprayacentes al acuífero, y en menor medida a la infiltración directa del agua de lluvia. Así, considerando el balance incluido en la norma de explotación de la UH 05.24 (Bailén-Guarromán-Linares). Actualizada y modificada. (2001), las entradas en el conjunto de la MASb suponen entre 14,0 y 16,8 hm³/año.

Las salidas consideradas en ese mismo balance incluían salidas por manantiales y ocultas a la MASb 05.26 "Aluvial del Guadalquivir (Curso Alto)" que en la actualidad y ante el grado de explotación existente en la MASb son difícilmente evaluables. Por tanto, las salidas producidas exclusivamente por extracciones y suponen 29,08 hm³/año lo que arrojaría un déficit cifrado en un valor entre 13,28 y 15,08 hm³/año.

6. CONSIDERACIONES

A la vista de lo anteriormente expuesto no se propone la declaración provisional de sobreexplotación de toda la masa de agua subterránea 05.24 "Bailén-Guarromán-Linares" si bien parece adecuado recomendar la constitución de una Comunidad de Usuarios y la elaboración del Plan de Ordenación de las Extracciones junto con el resto de recomendaciones que se describen al final de este epígrafe a partir de las cuales se podrá determinar si realmente la MASb está o no en riesgo de sobreexplotación.

La propuesta de no declaración provisional de sobreexplotación de toda la MASb viene apoyada por las siguientes consideraciones:

- Si bien el volumen de agua extraída por bombeo (24,19 hm³/año para el año 2008 y 29,80 hm³/año para el 2009) excede en gran medida de los recursos renovables calculados (entre 14,0 y 16,8 hm³/año) y el grado de explotación se aleja del concepto de uso sostenible, no existen medidas de evolución piezométrica, ni de calidad con un periodo lo suficientemente amplio como para confirmar el déficit.
- El desconocimiento de la ubicación de las captaciones de agua subterránea hace que no sea posible discriminar entre los dos acuíferos que integran la MASb (Bailén-Guarromán y Linares) por lo que podría darse el caso de que uno de ellos se encuentre en riesgo de sobreexplotación y el otro no. Además, en la actualidad existe un cierto grado de incertidumbre al respecto de la relación hidrogeológica entre ambos acuíferos.
- La información piezométrica de que se dispone es referida únicamente a una situación puntual en el tiempo (enero de 2000) y aunque refleja un importante descenso de la superficie piezométrica en la zona sur del acuífero, no se sabe si se trata de una situación excepcional o si ha tenido una continuidad en los 10 años transcurridos hasta la actualidad.
- El gráfico de la evolución del contenido en nitratos del agua subterránea indica, en principio, que este sector de la MASb está en una situación ambiental insostenible y habría que determinar el origen de los valores elevados de nitratos y la extensión del problema. Esta situación tampoco es en sí misma un elemento a favor de la declaración provisional de sobreexplotación ya que la determinación de la tendencia no es posible debido al comportamiento aparentemente errático o a la distribución en el tiempo tan irregular de las observaciones.

- De los principales tramos de los cauces superficiales que atraviesan la poligonal envolvente de la MASb solamente uno se considera perdedor no aclarándose en la documentación consultada si es una situación natural o inducida. El resto de los cauces son ganadores siendo uno de ellos, el Guadalimar, receptor de drenajes mineros procedentes de los afloramientos graníticos en una situación claramente excedentaria.

Por otra parte, la falta de información en cuanto a la distribución espacial y en el tiempo de los puntos de extracción y su discriminación por acuífero junto con la inexistencia de puntos de control de la evolución piezométrica, la calidad y la hidrometría hacen necesario llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- Implantación de una red de control piezométrico en ambos acuíferos.
- Determinación de la ubicación de las captaciones.
- Realización de estudios complementarios dirigidos a aumentar el conocimiento hidrogeológico de la MASb sobre todo del acuífero de Linares, de su relación con el de Bailén-Guarromán y de ambos con el acuífero aluvial del Guadalquivir de la MASb 05.26 "Aluvial del Guadalquivir (Curso Alto).

6.4.- MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 05.25 RUMBLAR

1. INTRODUCCIÓN

La explotación intensiva a la que se está sometiendo al acuífero que conforma la Masa de Agua Subterránea 05.25 "Rumblar" hace que se analice la situación de éste y la posible existencia de sobreexplotación de sus recursos renovables.

2. ASPECTOS GENERALES DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA

2.1. Situación y límites

MASb 05.25 "Rumblar" se sitúa al norte de la provincia de Jaén; se incluye en la Cuenca Alta del Guadalquivir dentro de los términos municipales de Bailén, Andújar, Guarromán, Villanueva de la Reina y Baños de la Encina (figura 48). Sobre ella no se localiza ningún núcleo urbano de importancia, pero sí existen numerosos cortijos. La poligonal que la engloba tiene una superficie de 151 km², siendo la superficie total de afloramientos permeables de 75 km². No obstante, una parte del acuífero se incluye en la MASb vecina 05.26 "Aluvial del Guadalquivir (Curso Alto)".

Su clima es mediterráneo continental subtropical, según la clasificación de Papadakis. La precipitación media anual de 632mm y la temperatura media anual es de 16,4°C. La E.T.P es de 827 mm y la Lluvia Útil media anual es de 253 mm. (R.U. 50 mm).

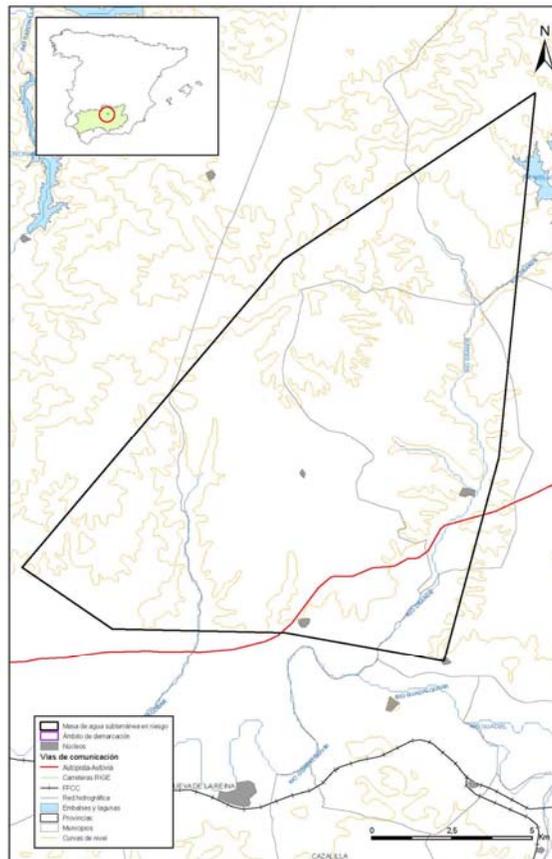


Figura 48.- Situación de la MASb 05.25 "Rumblar".

2.2. Ecosistemas asociados a la masa de agua subterránea

El único ecosistema asociado a la MASb es el ecosistema terrestre y curso fluvial de los ríos Rumblar, Guadalén y Guadalmena.

Incluidos total o parcialmente en dentro de la poligonal envolvente de la MASb existen dos embalses que forman parte del LIC "Cuencas del Rumblar, Guadalén y Guadalmena". Desde el punto de vista natural su importancia radica en la presencia de formaciones vegetales típicas de monte mediterráneo, algunas de ellas en buen estado de conservación, así como la existencia de especies faunísticas de especial interés por su escasez.

3. MARCO GEOLÓGICO

La MASb 05.25 "Rumblar" está situada en la zona de contacto entre el sustrato Hercínico de Sierra Morena y su cobertera triásica con la Depresión del Guadalquivir, formada por materiales miocenos marinos y depósitos aluviales cuaternarios (figura 49).

La geometría del único acuífero que la compone se asemeja a una fosa alargada en la dirección NNE-SSO basculada hacia el NO, dando los mayores espesores en la zona occidental

Las unidades litoestratigráficas que aparecen son, de muro a techo:

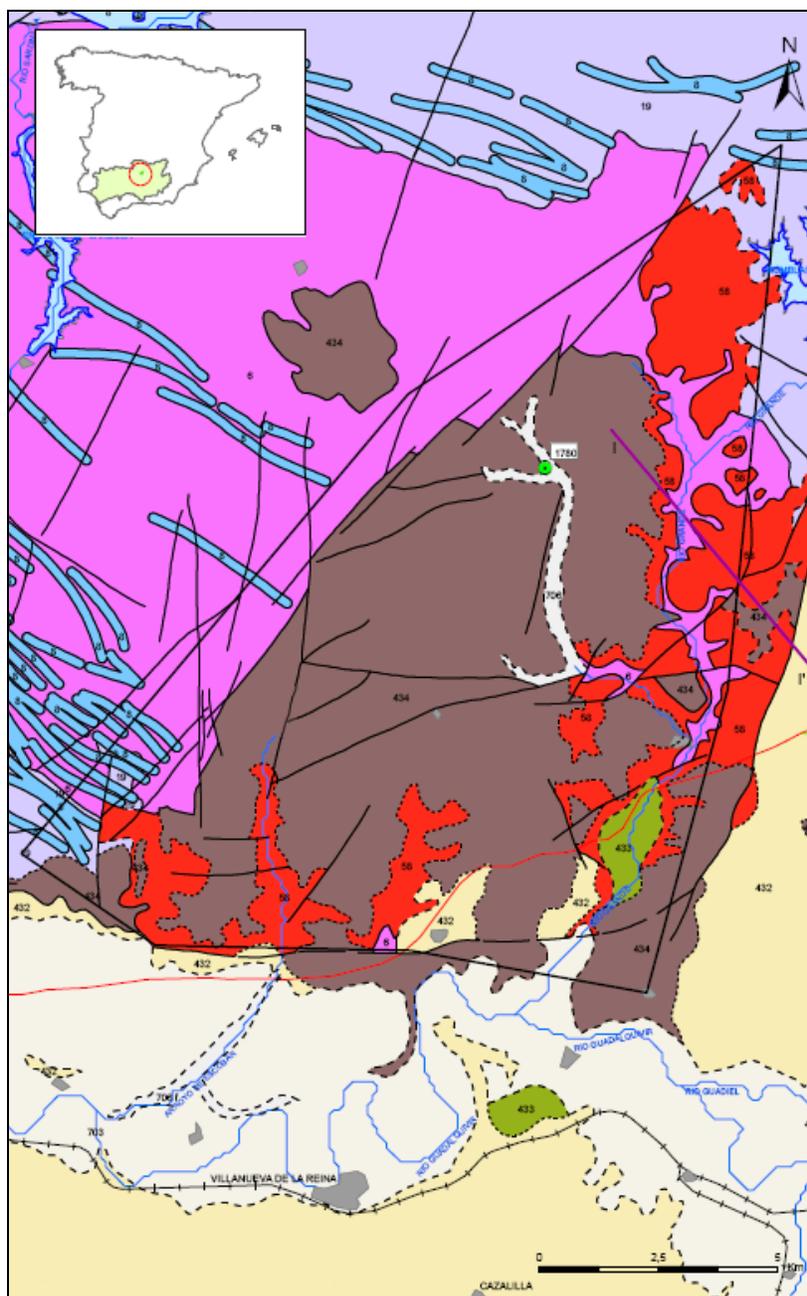
- Paleozoico: Corresponde a granitos que se supone que se extienden bajo casi la totalidad de la masa, excepto quizás cerca del borde NO.

- Triásico: Arcillas rojo-violáceas alternantes con niveles de areniscas micáceas, arcosas y conglomerados con mayor predominio hacia el muro. En algunos sondeos que alcanzan el sustrato granítico se encuentran espesores superiores a 60 m, mientras que en otros, están ausentes.

- Mioceno: El espesor de los bancos detríticos oscila frecuentemente entre 2-3 m y algo más de una decena, siendo por lo general mayor el de los niveles margosos. El espesor conjunto de la serie miocena-pliocuaternaria oscila entre 30-50 m en los sondeos perforados en la zona NE y en los más cercanos a los bordes, y más de 160 m en el centro y en la zona SO de la masa.

- Pliocuaternalio: su distinción respecto del tramo inferior mioceno resulta prácticamente imposible. No obstante, en algún punto puede asignársele tentativamente un espesor de 50 m. En realidad debe de tratarse de un espesor máximo, que se alcanza en las proximidades del borde occidental de la masa. Los espesores más frecuentes deben encontrarse en torno a 15-30 m.

En la figura 49 se presenta un mapa geológico de la MASb.



LEYENDA

706	Gravas, arenas, limos (Depósitos aluviales, fondos de valle y terrazas bajas en los ríos principales.)
703	Gravas, arenas, arcillas y limos (Depósitos de glacia, piedemonte y superficies)
434	Conglomerados, areniscas y calcarenitas (Facies de borde)
433	Calcarenitas, arenas, gravas, limos y arcillas
432	Margas ("Azules"), areniscas, arenas y, a veces, yesos
58	Areniscas, conglomerados y lutitas rojas (Facies Buntsandstein)
19	Pizarras, grauvacas y areniscas a veces con calizas y rocas volcánicas. Facies Culm
8	Rocas filonianas ácidas hercínicas (pórfidos, aptitas)
6	Rocas plutónicas ácidas hercínicas (granitos, granodioritas, cuarzodioritas)

Figura 49.- Mapa geológico de la MASb 05.25 "Rumblar".

4. MARCO HIDROGEOLÓGICO

4.1. Antecedentes bibliográficos

La MASb se definió como Unidad Hidrogeológica (UH) por primera vez en el "Catálogo de Unidades Hidrogeológicas del Territorio Peninsular e Islas Baleares"; en 1993 se elaboró su correspondiente norma de explotación y en 1994 se realizó una primera revisión de las principales lagunas que presentaba, que incluyó una mejora del conocimiento hidrogeológico y una actualización de datos.

Los antecedentes se remontan al año 1972 en el que se definieron los grandes sistemas hidrogeológicos de España con motivo de la publicación del "Mapa de Reconocimiento Hidrogeológico de España Peninsular, Baleares y Canarias", en el marco de los trabajos relacionados con el PIAS. El acuífero de la MASb fue incluido en su día en el antiguo sistema nº 29 bis "Úbeda-Rumblar". El código que posteriormente se asignó fue el 29 bis/b (Unidad de Rumblar).

Una primera descripción de la MASb (como UH) se hace en el estudio "Síntesis Hidrogeológica de la Cuenca del Guadalquivir" realizado por el IGME en 1983. Posteriormente, se define con mayor precisión y se realiza una cartografía; se tomó un área de afloramientos permeables de 40 km².

En la "Norma de Explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.25 (Rumblar). Actualizada y modificada. (2001)", se incluyeron en la poligonal envolvente más afloramientos permeables, sobre todo los correspondientes a los denominados conglomerados miocenos de base de borde de la meseta.

Otros trabajos realizados en la MASb con especial relevancia en el tema objeto de este informe son la "Caracterización adicional de las Masas de Agua Subterránea. (IGME-DGA, 2009)" y el proyecto de "Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica. (IGME-DGA, 2009)".

La información específica de que se ha dispuesto para la realización de este informe es la que a continuación se relaciona:

- Balances hídricos de explotaciones para los años 2008 y 2010 de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.
- Piezometría histórica de la red nacional.
- Análisis de nitratos, pesticidas y plaguicidas realizados entre 2005 y 2008 utilizados en la "Identificación de tendencias en cumplimiento de la directiva 2006/118/CE".
- Información extraída del Inventario de Regadío 2008 realizado por la (Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero (D.A.P.).
- Base de datos AGUAS del IGME.

4.2. Los acuíferos de la masa de agua subterránea

El acuífero que integra la MASb es de litología detrítica y permeable por porosidad intergranular (figura 50). Se sitúa en la margen derecha del río Guadalquivir, ocupando una superficie de 75 km², entre el río Rumblar y el Arroyo Escobar.

Está constituido fundamentalmente por materiales detríticos miocenos, no obstante incluye también materiales detríticos triásicos, difíciles de diferenciar. El conjunto detrítico Mioceno está formado por conglomerados, arenas, areniscas y calcarenitas alternando con limos y margas. Su espesor es variable, desde 30-50 m hasta más de 150 m. Los espesores del Trías, formado por arcillas, areniscas y conglomerados, varían entre 40 metros a más de 80, por lo que presentan un cierto interés, aunque menor que los materiales del Mioceno. El conjunto se comporta como un acuífero libre en su mayor parte, con carácter multicapa y un espesor máximo de 220 m, en algunos sectores. En la figura 50 se incluye un mapa hidrogeológico de la MASb.

El límite sur viene marcado por el río Guadalquivir, aunque los materiales acuíferos continúan bajo su aluvial, pudiendo existir confinamiento bajo las margas de los depósitos del Guadalquivir, aunque este extremo no ha sido confirmado por los sondeos. El resto de la masa está limitado por arcillas triásicas y rocas paleozoicas. El sustrato impermeable de base está constituido en su mayor parte por granitos.

La alimentación se produce por infiltración del agua de lluvia sobre los afloramientos permeables y por infiltración de la escorrentía generada sobre los materiales de borde. Las descargas se producen a través de los cursos de agua que cruzan el acuífero en sus bordes oriental y occidental.

La dirección preferente de flujo tiene orientación sur, pero en las proximidades del Arroyo de la Fresneda y el Arroyo del Escobar el flujo toma dirección sureste.

El gradiente hidráulico varía entre 1,3 y 1,6 %, siendo mayores los valores en la zona sur.

Los caudales específicos varían entre 0,3 y 7 L/s/m, con una media inferior a 2 L/s/m. Los valores de la transmisividad obtenidos en el sector occidental varían entre 25 y 260 m²/d y el coeficiente de almacenamiento está en torno a $2,75 \times 10^{-3}$.

No se han realizado estimaciones de los posibles volúmenes de reservas de agua acumuladas en la MASb, ya que los datos existentes sobre parámetros hidráulicos y geometría del acuífero en profundidad son escasos. Es posible hacer una estimación de reservas mínimas explotables que debe considerarse sólo como una aproximación a la realidad. Si se considera una superficie de 75 km² y un espesor saturado medio de 50 metros y se aplica una supuesta porosidad eficaz del 10 % se obtiene una cifra de 375 hm³ de reservas gravíficas potencialmente explotables.

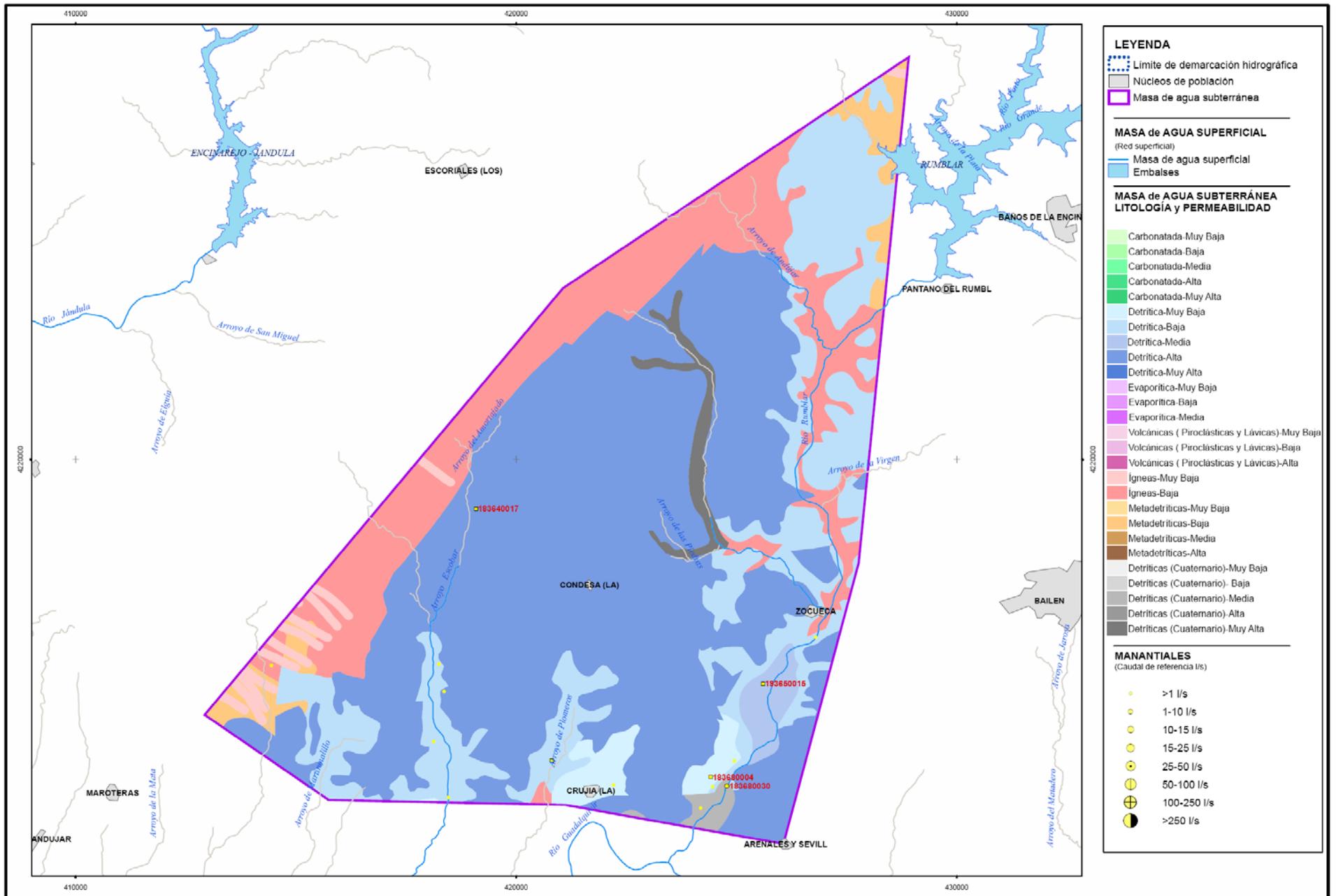


Figura 50.- Mapa hidrogeológico de la MASb 05.25 "Rumblar".

4.3. Redes de control

Existe un único punto de la red nacional de piezometría en la MASb 05.25 (tabla 12).

Tabla 12.- Características del piezómetro de control.

Nº	Nombre	Provincia	Municipio	X	Y	z (msnm)	prof	Comienzo medidas	Periodo
05.25.002	Canal del Rumblar	Jaén	Villanueva de la Reina	421880	4212053	257	60	nov-07	2007

No existe ningún punto de la red hidrométrica oficial de manantiales dentro de la poligonal envolvente de la MASb.

Dentro de la MAS existe un punto perteneciente a la red de seguimiento del estado químico de la Agencia Andaluza del Agua (AAA) codificado como 5.25.01 "Dehesa de la Posadilla".

La localización en la MASb de los puntos pertenecientes a las redes de piezometría y de seguimiento del estado químico se presenta en la figura 51.



Figura 51.- Distribución espacial de las estaciones de seguimiento en la MASb 05.25.

4.4. Piezometría. Evolución espacial y temporal

El nivel piezométrico se sitúa entre 0 y 50 metros de profundidad, existiendo algunos sondeos surgentes. En los sectores septentrionales, está próximo a la cota 360, descendiendo hacia el Sur, hasta cotas próximas a 260 msnm. La dirección principal de los flujos es N-S, siendo E-O en las inmediaciones de los arroyos de Escobar, Las Piedras y La Fresneda, por constituir áreas de drenaje.

En la figura 52 se han representado los valores de la cota del nivel piezométrico medidos en el punto 05.25.002 "Canal del Rumblar" perteneciente a la Red Nacional de piezometría. Como se puede observar, la curva presenta una pendiente negativa aunque hay que hacer notar que el descenso acumulado para el periodo de medida de año y medio (nov-2007 a may-2009) es de tan solo 0,49 m.

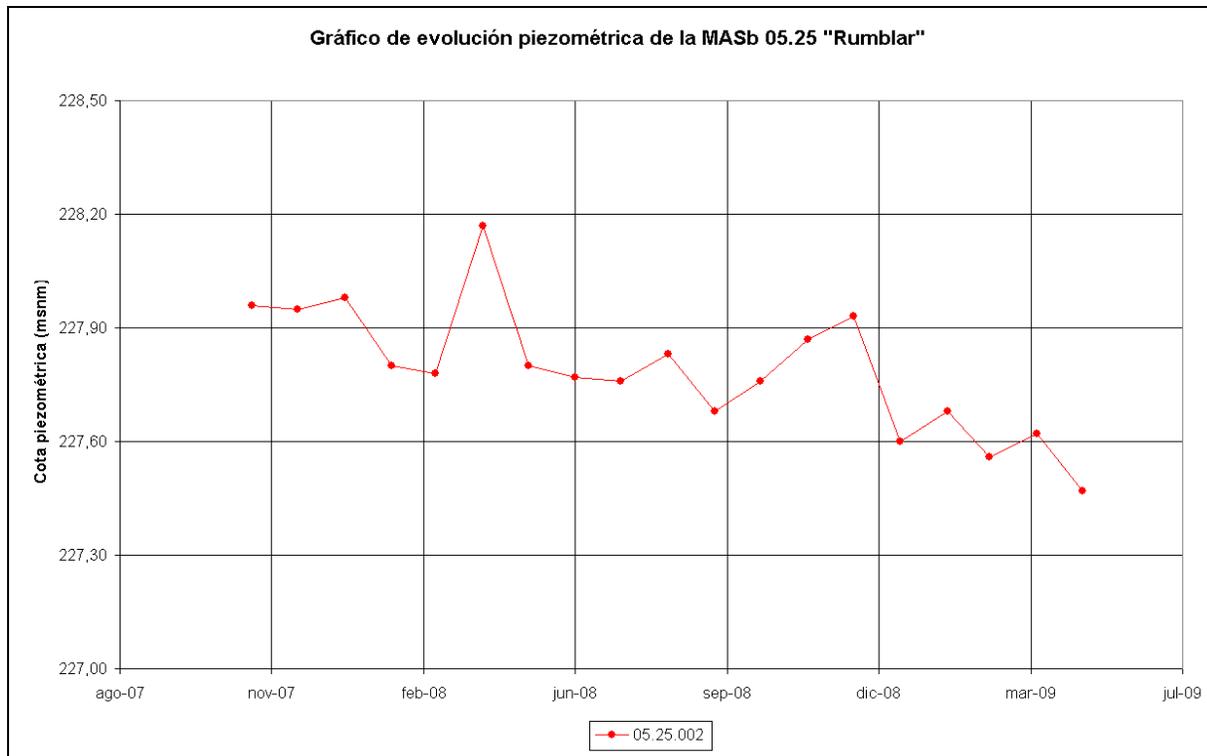


Figura 52.- Evolución piezométrica de la MASb 05.25.

4.5. Hidroquímica. Variación espacial y temporal

Las aguas tienen generalmente una facies bicarbonatada cálcica y, según la clasificación de la calidad del agua para usos agrícolas, las muestras analizadas pertenecen mayoritariamente a la clase C₂-S₁, por lo que son aguas de salinidad media, aptas para la mayoría de cultivos. En todos los casos se trata de aguas aptas para el consumo humano.

En el gráfico de la figura 53 se presenta la evolución de la concentración de nitratos en el punto perteneciente a la Red de Seguimiento del Estado Químico de la AAA localizado en esta MASb.

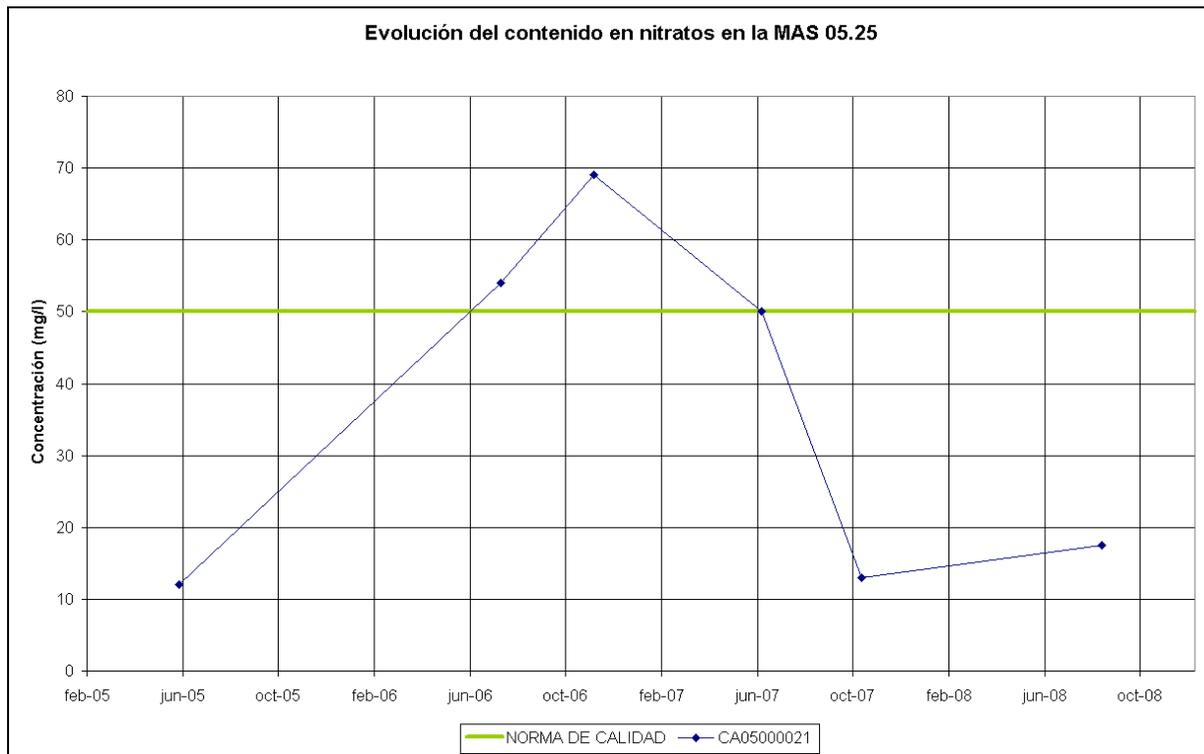


Figura 53.- Evolución temporal del contenido en nitratos del agua de la MAS 05.25 "Rumblar".

Como se puede observar, entre junio de 2005 y noviembre de 2006 se da un aumento de la concentración de nitratos de casi 60 unidades. A partir de esa fecha, se produce un descenso progresivo de la concentración hasta alcanzar valores aceptables en octubre de 2007. Con posterioridad a esta fecha se observa un incremento aunque poco significativo, manteniéndose la concentración por debajo de la norma de calidad (50 mg/l).

4.6. Explotación por bombeo

La explotación por bombeo de la MASb 05. para el año 2009 según información facilitada por la CHG es de 11,25 hm³/año. A continuación se detalla por usos del agua:

- Explotación para riego: La explotación por bombeo para riego de captaciones localizadas dentro de la poligonal envolvente de la MASb se detalla en la tabla 13 en el que se incluye también la superficie y el consumo totales de cada agrupación. No ha sido posible diferenciar por acuíferos al desconocerse la ubicación exacta de las captaciones. El volumen total es de 11,02 hm³/año utilizados para el riego de 6.278 ha.

Tabla 13.- Explotación para riego en la MASb 05.25.

Nombre Agrupación	Superficie regada		Consumo_Bruto	
	Tot. Agrup.	Origen MAS	Tot. Agrup.	Origen MAS
Andújar - Regantes particulares y Comunidades de regantes	2.514,55	1.211,62	4,45	2,14
Bailén - Regantes particulares IV	2.012,28	298,25	3,52	0,52
Baños de la Encina - Regantes particulares y Comunidades de regantes	2.578,68	253,13	4,65	0,46
Guarromán - Regantes particulares I	688,08	489,98	1,20	0,86
Villanueva de la Reina - Regantes particulares y Comunidades de regantes	4.025,05	4.025,05	7,04	7,04
TOTAL	11.818,64	6.278,03	20,86	11,02

- Explotación para abastecimiento urbano: En esta MASb no existe extracción para abastecimiento urbano.
- Explotación para la industria: La extracción anual para abastecimiento de la industria ubicada en la MAS es de 0,228 hm³/año.

También se dispone de la explotación por bombeo para el año 2008 (fuente CHG) que es de 6,88 hm³/año distribuidos en 6,65 hm³/año para riego y 0,228 hm³/año para la industria.

4.7. Relaciones río-acuífero

En cuanto a la relación de la MASb con los cauces superficiales que la atraviesan, en el estudio "Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica. (IGME-DGA, 2009)" se distinguen varios tramos de los principales ríos y arroyos incluidos en la poligonal envolvente de la MASb (ver figura 54). Todos ellos se sitúan sobre materiales detríticos del Mioceno-Pleistoceno, en conexión con los materiales triásicos, drenando efectivamente las formaciones geológicas permeables (FGPs) de *conglomerados, gravas y arenas Mioceno-Pliocuaternario y arcillas, areniscas y conglomerados del Triásico*.

- Arroyo Fresneda (051.025.001): Tramo de 10.095 m de longitud sobre el arroyo Piedras y el río Rumblar, desde casi el nacimiento del arroyo hasta poco después de su afluencia al río Rumblar. Se trata de un tramo ganador por las descargas directas de las FGPs. El modelo de descarga es el de conexión difusa directa. No se dispone de suficiente información para cuantificar suficientemente la ganancia del tramo en cuestión, ya que solo se dispone de estimaciones bibliográficas de carácter general.

- Arroyo Piedras (051.025.002): Tramo de 2.186 m de longitud sobre el arroyo Piedras, tributario del arroyo Fresneda, desde el nacimiento de la rambla hasta su intersección con aquel. Se trataría de un tramo ganador en régimen natural. El modelo de descarga es el de drenaje por descarga difusa directa. No se dispone de suficiente información para cuantificar suficientemente la ganancia del tramo en cuestión, ya que solo se dispone de estimaciones bibliográficas de carácter general.

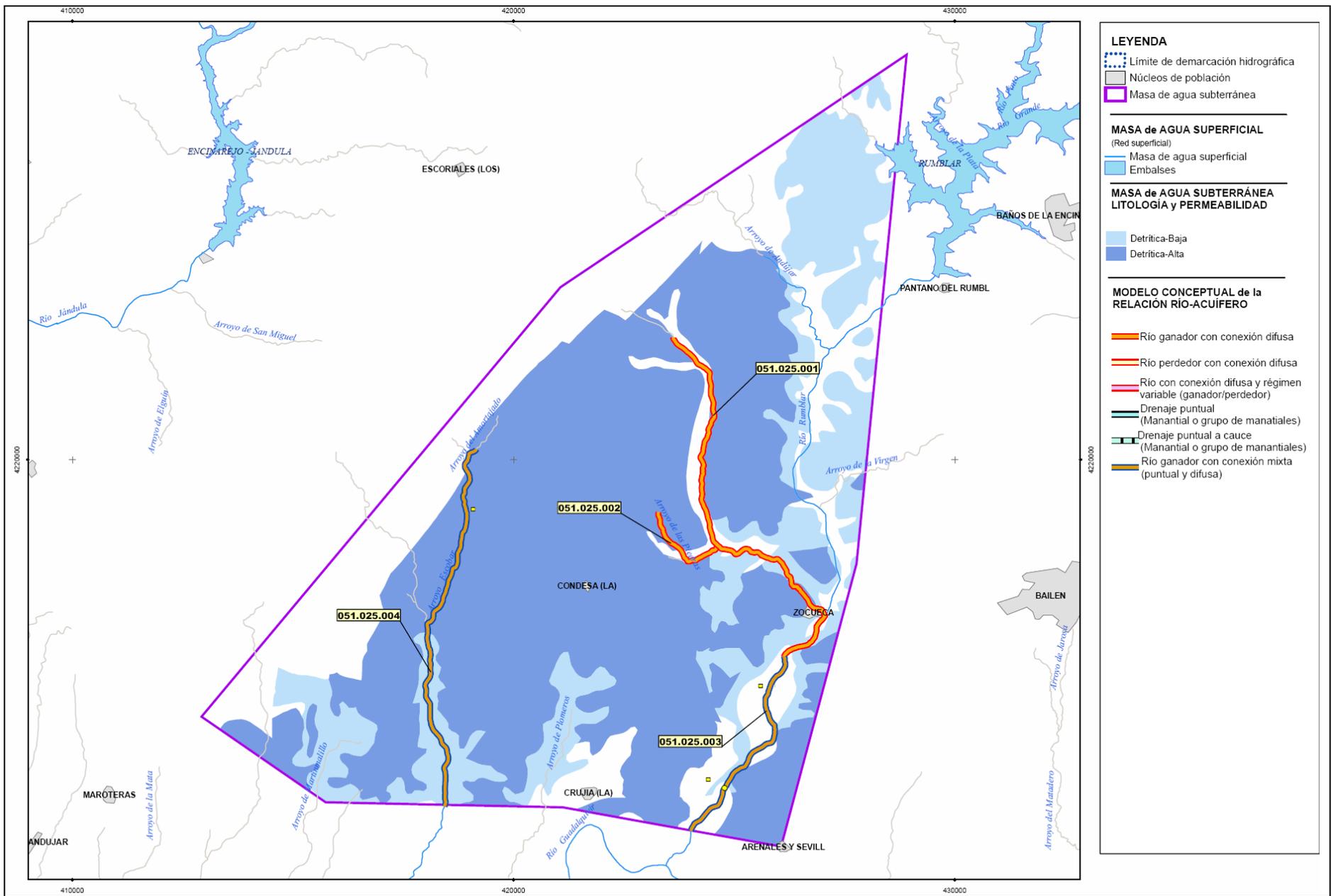


Figura 54.- Tramos de los principales ríos y arroyos incluidos en la poligonal envolvente de la MASb.

- Río Rumblar (051.025.003): Tramo de 5.010 m de longitud sobre el río Rumblar. Se trata de un tramo ganador por las descargas de numerosos manantiales situados próximos al cauce, y también de forma difusa directamente de las FGPs. Se trataría de un tramo ganador en régimen natural. El modelo de descarga es el de conexión mixta difusa directa y manantiales. No se dispone de suficiente información para cuantificar suficientemente la ganancia del tramo en cuestión, ya que solo se dispone de estimaciones bibliográficas de carácter general y sin tener en cuenta el drenaje a través de manantiales. Existen varios manantiales que drenan a este tramo con caudales significativos, según datos de aforos históricos del IGME (183680030 con 11,94 L/s, 183680004 con 1,39 L/s, 193650015 con 1,11 L/s), los demás manantiales poseen caudales más modestos.

- Arroyo Escobar (051.025.004): Tramo de 8.794 m de longitud sobre el Arroyo Escobar, afluente directo del río Guadalquivir, fuera ya de la MASb. Se trata de un tramo ganador por las descargas de numerosos manantiales situados próximos al cauce, y también de forma difusa directamente de las FGPs. Se trataría de un tramo ganador en régimen natural. El modelo de descarga es el de conexión mixta difusa directa y manantiales. No se dispone de suficiente información para cuantificar suficientemente la ganancia del tramo en cuestión, ya que solo existen estimaciones bibliográficas de carácter general y sin tener en cuenta el drenaje a través de manantiales. Existen varios manantiales que drenan a este tramo, alguno con caudales significativos según datos de aforos históricos del IGME (183640017 con 2 L/s) y los demás manantiales poseen caudales más modestos.

En el balance hídrico de la MASb Rumblar (ITGE 1997), el drenaje por parte del acuífero que produce ganancias en los caudales de los cauces que lo atraviesan se estima entre 0.5 y 1 hm³/año.

En la tabla 14 se resume el modelo conceptual de la relación río-acuífero para cada tramo.

Tabla 14.- Modelo conceptual de la relación río-acuífero para cada tramo

Código del tramo	Nombre del cauce	Modelo conceptual relación río-acuífero	Régimen hidrogeológico	Génesis de la descarga	Longitud del tramo (m)	Observaciones
051.025.001	Arroyo Fresneda	Conexión difusa directa	Natural	Descarga por la intersección del cauce con la piezometría	10.095	No se disponen de datos para la cuantificación de la descarga por parte del acuífero.
051.025.002	Arroyo Piedras	Conexión difusa directa	Natural	Descarga por la intersección del cauce con la piezometría	2.186	No se disponen de datos para la cuantificación de la descarga por parte del acuífero.
051.025.003	Río Rumblar	Conexión mixta difusa directa y manantiales	Natural	Descarga por la intersección del cauce con la piezometría y por descarga de manantiales	5.010	No se disponen de datos para la cuantificación de la descarga por parte del acuífero.
051.025.004	Arroyo Escobar	Conexión mixta difusa directa y manantiales	Natural	Descarga por la intersección del cauce con la piezometría y por descarga de manantiales	8.794	No se disponen de datos para la cuantificación de la descarga por parte del acuífero.

5. BALANCE HÍDRICO. ENTRADAS Y SALIDAS

Las entradas de agua al acuífero se deben principalmente a la infiltración directa del agua de lluvia, ya que el retorno de riego se considera mínimo debido que está implantado el riego por goteo en la totalidad de la zona regada. Así, considerando el balance incluido en la norma de explotación de la UH 05.25 (Rumblar). Actualizada y modificada (2001), las entradas en el conjunto de la MASb suponen entre 6 y 10 hm³/año (para un valor de lluvia útil de 253 mm y un coeficiente de infiltración del 30-50%, sobre un área permeable de 75 km²).

Las salidas consideradas en ese mismo balance incluían salidas por manantiales y galerías (05-1 hm³/año) y ocultas a la MAS 05.26 "Aluvial del Guadalquivir (Curso Alto)" (3-6 hm³/año) a las que deberemos sumar los casi 11 hm³/año de extracciones por bombeo. Por tanto, las salidas, aún descontando 1 hm³/año que probablemente no surge en la actualidad por los manantiales que drenan la MASb, suman un total de entre 14 y 17 hm³/año lo que arroja un déficit cifrado en un valor entre 4 y 11 hm³/año.

6. CONSIDERACIONES

El volumen de agua extraída por bombeo (11 hm³/año para 2009) junto con las salidas ocultas a la MASb 05.26 "Aluvial del Guadalquivir (Curso Alto)" (3-6 hm³/año) exceden en gran medida de los recursos renovables calculados (de entre 6 y 10 hm³/año), por lo que el grado de explotación se aleja del concepto de uso sostenible.

La información piezométrica disponible no indica un importante descenso de la superficie piezométrica si bien hay que considerar que el periodo de medida es de apenas un año y medio y se trata de un punto situado en el límite sur de la MASb, hacia donde se dirige el flujo natural.

La información hidroquímica indica que los valores observados son elevados con oscilaciones importantes y comportamientos muy diferentes. Este comportamiento junto al escaso número de observaciones conlleva una escasa representatividad. La densidad de las estaciones se puede considerar insuficiente y desde un punto de vista ambiental los valores observados de nitrato son excesivos por lo que sería conveniente determinar su origen, si bien este aspecto no es indicativo de sobreexplotación. Asimismo, el estudio de las relaciones río-acuífero es solamente de carácter bibliográfico.

Existe falta de información en cuanto a la distribución de los puntos de extracción y su discriminación por acuífero, junto con la inexistencia de más puntos de control y más datos históricos de la evolución piezométrica.

Destacan, respecto a una región deprimida modelada en materiales blandos un conjunto de pequeñas elevaciones de naturaleza carbonatada que culminan en los vértices de las sierras de Pedroso (1024 m s.n.m.), Arcas (948 m s.n.m.) y Cerro Gordo (826 m s.n.m.). De igual forma, en la margen septentrional de la MASb destacan los relieves de la Sierrecilla del Malnombre (828 m s.n.m.), Camorro de Cuevas Altas (907 m s.n.m.) y El Morrón (785 m s.n.m.).

Las precipitaciones anuales son reducidas, en el observatorio de Villanueva de Tapia la media anual es inferior a los 650 mm. Por su parte, la temperatura media del aire es de 16 °C, con mínimas mensuales de 7°C, en enero, y máximas de 26,5°C, en agosto; datos que corresponden al observatorio termopluviométrico de Archidona. La evapotranspiración potencial media supera los 850 mm/año (Durán 2007).

2.2. Ecosistemas asociados a la masa de agua subterránea

En los trabajos de identificación y caracterización de la interrelación que presentan las aguas subterráneas con cursos fluviales, manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas de especial relevancia hídrica, de esta MASb (IGME-DGA 2009) se citan varios tramos de río y manantiales.

El primero de estos tramos de río, ganador, corresponde al arroyo de Burriana, entre la su confluencia del arroyo del Bebedero y con el arroyo del Juncal. Las surgencias que descargan a este arroyo nacen en las margas y margocalizas jurásicas, por lo que no están asociadas a ninguno de los acuíferos principales de esta MASb. Pese a todo, se cita la presencia de algunos sondeos que parecen haber afectado a estas descargas.

El tramo del río Genil comprendido entre la estación de aforos nº 046 "Iznajar" y la intersección con el arroyo del Pino también se menciona como ganador y recibiría las descargas de algunas surgencias relacionadas con el sector norte del acuífero de la Sierra de Camorro-Cuevas Altas, como son Fuente Alta (1741/2/0003), y la inventariada por el IGME con el código 1741/2/0043, entre otros. Además, parte del drenaje se produciría a través de los materiales neógenos que existen entre el acuífero carbonático y el río. El tramo está muy afectado por los desembalses del pantano de Iznajar y por la proliferación de sondeos de captación de aguas subterráneas en este sector de la MASb.

El último de los tramos ganadores asociado con cauces fluviales corresponde al tramo del arroyo de los Puercos; tramo ubicado desde su cabecera hasta su intersección con el Genil. Las descargas se recibirían desde el acuífero de Cuevas Altas y desde algunos manantiales, de escaso caudal, que surgen en las margas y margocalizas jurásicas.

En el trabajo IGME (2009) se mencionan siete manantiales principales de esta MASb que se han representado en la figura 56. No existe ningún humedal asociado a las descargas subterráneas de esta MASb.

margocalizas atribuibles al Malm. Corona la serie jurásica una formación de margas rojas alternantes con bancos de calizas nodulosas. La potencia de los depósitos del Malm es de unos 135 m.

Como materiales cretácicos se identifican como más antiguos dos conjuntos de materiales neocomienses. El primero, del Subbético Medio Central, formado por margas y margocalizas de tonos verdosos y grises, con una potencia superior a los 100 m. El segundo, corresponde a un tramo de areniscas y calcarenitas, dispuestas entre margas y margocalizas grises esquistas. A continuación aparecen margas verdes muy plásticas, que alternan con niveles finos de margocalizas, de edad Aptiense-Albiense. En la parte superior aparecen margas y margocalizas blancas y rosadas de edad Cenomaniense-Senoniense. Deben citarse como formaciones tectónicas o tecto-sedimentarias, una masa caótica compuesta por arcillas versicolores, verdes, grises y rojas donde se incluyen de forma desordenada una serie de facies de distinta naturaleza: calizas con *Microcodium* del Paleoceno, de hasta 40 m de potencia, calcarenitas y conglomerados de edad Cuisiense y calcarenitas y margas blancas del Oligoceno.

Como materiales miocenos afloran calcarenitas, arenas, limos, areniscas y margas del Tortoniense. Su potencia supera los 100 m.

El Cuaternario está representado por coluviones, glaciares, terrazas y materiales aluviales recientes.

La tectónica del dominio Subbético Medio Central está definida por un apretamiento (pliegues-falla que evolucionan a escamas de dirección bética (ENE-OSO), vergente al sur. Esta tectónica es la primera que tiene lugar en el dominio y está en parte modificada por otra posterior. La Sierra de las Arcas consiste en un anticlinal con una característica forma de arqueada, mientras que la sierra de Pedroso, también se presenta una estructura anticlinal, de dirección NNO-SSE.

4. MARCO HIDROGEOLÓGICO

4.1. Antecedentes

La UH 05.38 "El Pedroso-Arcas" fue definida en el Catálogo de unidades hidrogeológicas del territorio peninsular e Islas Baleares Referencia (MOPU - IGME 1988). En 1993 se elaboró su correspondiente norma de explotación y en 1995 se realizó una primera revisión de las principales lagunas que presentaba, que incluyó una mejora del conocimiento hidrogeológico y una actualización de datos. Posteriormente, en el 2001 esta norma fue, de nuevo, actualizada modificada (IGME 2002).

Los primeros antecedentes hidrogeológicos se remontan al año 1972 en el que se definieron los grandes sistemas hidrogeológicos de España con motivo de la publicación del "Mapa de Reconocimiento Hidrogeológico de España Peninsular, Baleares y Canarias" (IGME 1972a, b), en el marco de los trabajos relacionados con el PIAS. Los acuíferos que comprende la unidad fueron incluidos en su día en el antiguo sistema nº 30 "Calizas mesozoicas del Prebético y Subbético del Alto Guadalquivir" y en el nº 39 "Cuenca detrítica de Antequera". El código que posteriormente se asignó fue el 30/5/7 (Unidad de Campo Agro), 39/3/2 (Sierra de Arcas), 39/3/3 (Sierra de Pedroso).

La definición detallada de sus principales características hidrogeológicas se realizó por primera vez en el Proyecto de Investigación Hidrogeológica Infraestructural de los Sistemas Acuíferos 30 y 31 (IGME 1982), aunque posteriormente diversos trabajos han

profundizado y actualizado sus datos, entre los que destaca el referenciado como (IGME 2000). Posteriormente, se ha hecho una síntesis de la hidrogeología para el correspondiente capítulo del Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Málaga (Durán 2007).

4.2. Los acuíferos de la masa de agua subterránea

En la MASb El Pedroso-Arcas están incluidos cuatro acuíferos con un funcionamiento hidrogeológico independiente. Estos acuíferos son los del Pedroso, Arcas-Cerro Gordo, Cuevas Altas y Campo-Agro.

Los principales materiales permeables están constituidos por rocas carbonáticas del Jurásico inferior y por calcarenitas miocenas. Los acuíferos carbonáticos funcionan, en líneas generales, como acuíferos libres permeables por fisuración-karstificación, si bien pueden estar confinados en los bordes de sus afloramientos. Sobre las calizas y dolomías del Jurásico inferior se encuentra un conjunto de calizas, margas y margocalizas del Malm que puede dar lugar a un acuífero multicapa semipermeable en su conjunto. Las calcarenitas conforman un acuífero libre cuya permeabilidad es debida tanto a la fracturación como a la porosidad intersticial. El sustrato impermeable está constituido por los materiales margosos y arcillosos de edad fundamentalmente triásica (IGME 2002).

El *acuífero del Pedroso* presenta una superficie de afloramientos permeables (calizas y dolomías) de 4,4 km², disponiendo de un espesor del orden de 350 m (Duran 2007). Está limitado lateralmente por materiales de baja permeabilidad compuestos fundamentalmente por margocalizas del Lías medio-superior. El sustrato impermeable está formado por margas, arcillas y evaporitas triásicas. En la Sierra de Pedroso existen serias incógnitas con respecto a su funcionamiento hidrogeológico. En el Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga (Durán 2007) se indica que no existe localizado ningún manantial como punto principal de drenaje de este sistema. Asimismo, se señala el escaso caudal de las surgencias inventariadas en su entorno; es el caso de las situadas en la Cañada del Infierno (borde norte) y en el Arroyo de Tamayo (borde occidental), que surgen en margas y margocalizas a cotas de unos 800 m s.n.m. y con caudales menores de 1-2 L/s. En este mismo trabajo se indica que varios sondeos mecánicos de investigación, en los bordes oriental y meridional del acuífero resultaron negativos. En consecuencia, puede afirmarse que el acuífero carbonatado de la Sierra de Pedroso funciona como un área de infiltración de agua que se trasfiere subterráneamente en dirección desconocida.

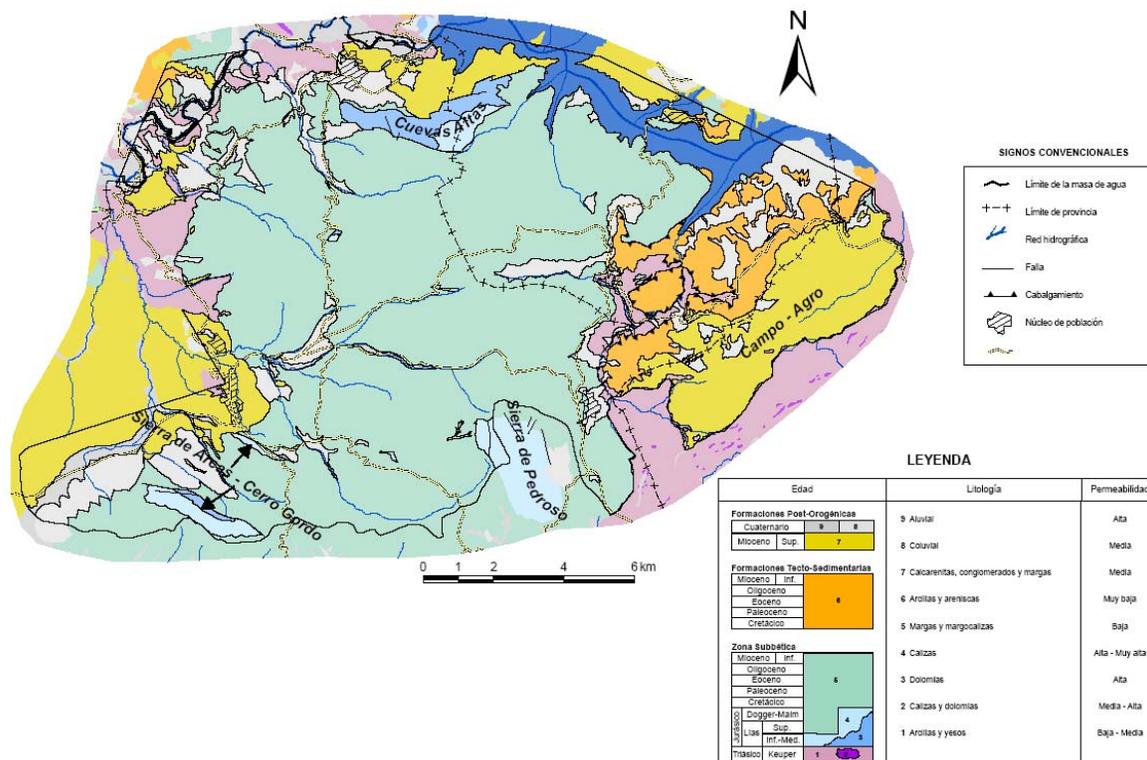


Figura 57.- Acuíferos de las MASb.

Por otro lado, en este mismo trabajo se indica que en el borde oriental de la Sierra de Pedroso existe una pequeña zona endorreica (Llanos de la Laguna) que se inunda tras los episodios lluviosos, infiltrándose esta escorrentía de forma rápida a través de un sumidero kárstico. Por estos motivos se argumenta la posibilidad de que esta laguna y la infiltración profunda del acuífero del Pedroso se incorporen a un mismo sistema de flujo subterráneo de dirección no determinada. A este respecto las hipótesis son variadas. Cabe la posibilidad de que se dirija hacia la vecina Sierra de Archidona, hacia la Sierra de Arcas-Cerro Gordo y hacia los materiales triásicos subyacentes. La recarga ha sido estimada en 1 hm³/año.

El *acuífero de Arcas-Cerro Gordo* dispone de 2 km² de afloramientos permeables y un espesor de 350 m (Duran 2007). Lo limitan lateralmente por margas y margocalizas jurásicas, salvo en algunos sectores del noroeste y sureste en los que está en contacto con margas y areniscas del Mioceno y depósitos cuaternarios. El sustrato impermeable está formado por materiales triásicos. Este acuífero descarga por los manantiales localizados en su extremo norte y, sobre todo, por alimentación lateral a los materiales neógeno-cuaternarios que se apoyan sobre los afloramientos carbonatados jurásicos (Durán 2007). El manantial de La Higuera (550 m s.n.m.) se citan caudales de hasta 10 L/s, aunque en actualidad solo se activa tras las lluvias intensas de los años húmedos. Otros manantiales situados en materiales neógeno-cuaternarios, junto al Arroyo del Juncal (a altitudes de 525 m s.n.m.) han drenado puntualmente caudales de hasta 100 L/s (en 1979), por lo que se asocian al acuífero carbonático. En Durán (2007) se indica que ya existen evidencias de que la explotación del acuífero para el abastecimiento de Villanueva de Algaidas y para riego ha modificado el régimen de funcionamiento hidrogeológico del acuífero. La recarga fue evaluada en 0,5 hm³/año. El agua subterránea

de las Sierras de Arcas-Cerro Gordo se aprovecha para abastecimiento urbano y para riego. No se dispone de datos precisos, pero la cifra estimada de extracciones podría ser equivalente a los recursos propios (0,5 hm³/año). Algún sondeo de abastecimiento a Villanueva de Algaidas ha sido abandonado por el incremento de la salinidad del agua captada, cuestión que parece estar relacionada con el uso intensivo del agua subterránea de este acuífero.

El *acuífero de Campo Agro* lo forman calcarenitas, arenas y areniscas. El sustrato y casi todos los límites laterales lo constituyen una serie margosa del Cretácico, excepto al sur, donde se encuentran materiales triásicos, fundamentalmente, de baja permeabilidad que también constituyen parte del sustrato de baja permeabilidad. Los afloramientos permeables presentan una morfología alargada en dirección SSO-NNE, con una superficie de 3,8 km², y un espesor del orden de 100 m (MMA 1997). Este acuífero se drena a través de los manantiales 1741/8/5 y 1741/7/11, cuyas cotas de surgencia se sitúan a 640 y 700 m respectivamente en el borde norte y central de los afloramientos. Los niveles piezométricos se sitúan en torno a los 650 m en la mitad noroccidental y a los 590-595 m en la mitad suroccidental. Actualmente la principal salida se debe a extracciones por bombeos (IGME 2002). La recarga fue evaluada en 2,7 hm³/año (IGME, 2002).

El acuífero de *Cuevas Altas* está formado, principalmente por calizas y dolomías del Lías inferior, con una extensión de afloramientos permeables de 4,3 km², con un espesor que alcanza 350 m. En el límite septentrional se identifica una banda de calcarenitas y de formaciones cuaternarias, y a continuación otra banda de materiales de baja permeabilidad triásicos. El límite meridional del acuífero queda definido por el contacto con las margas y margocalizas del Lías superior (IGME 2000). Su recarga ha sido calculada en 0,7 hm³/año. Asociados a este acuífero existen algunos manantiales, entre los que el de Fuente Alta es el principal, variando su caudal entre 7 y 20 L/s (Durán 2007), caudal que es aprovechado para abastecer a la localidad de Cuevas de San Marcos, así como para ciertos riegos tradicionales. Además, el acuífero está captado mediante distintos sondeos para abastecimiento urbano, regadío y uso industrial. Las extracciones por bombeo de las captaciones se estiman en 0,2 hm³/año.

La gran mayoría de las aguas de la MASb son de naturaleza bicarbonatada-cálcica. En algunos puntos, en el sector SO, de la Sierra de Campo Agro, presentan facies sulfatada cálcica, debido posiblemente a la influencia de materiales triásicos. La dureza es media, con mineralización que oscila entre ligera a notable.

4.3. Redes de control

Tan solo existe un punto de control de la red nacional de calidad en la MASb 05.38 cuyas principales características son las siguientes:

Número	Nombre	Provincia	Municipio	UTMX	UTMY	Z (msnm)	Acuífero
5.38.01	Cortijo de la Torre	Granada	Loja	387005	4119285	740	Campo-Agro

La localización en la MASb de este punto se representa en la figura 58.

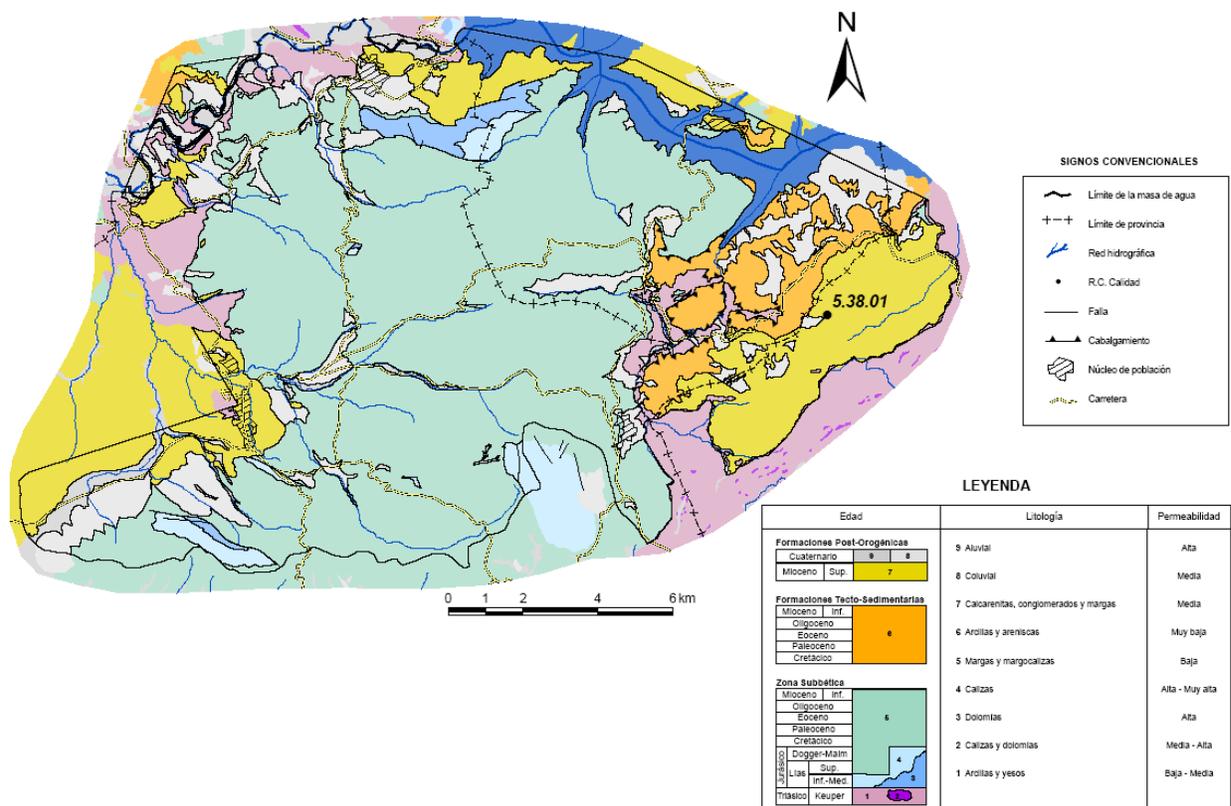


Figura 58.- Punto de control de las MASb

4.4. Piezometría. Evolución espacial y temporal

No existe información piezométrica de esta MASb.

4.5. Hidroquímica. Variación espacial y temporal

La gran mayoría de las aguas de la MASb son de naturaleza bicarbonatada-cálcica. En algunos puntos en el sector suroccidental de la Sierra de Campo Agro, son de facies sulfatada cálcica, debido posiblemente a la influencia de materiales triásicos. La dureza es media, con mineralización que oscila entre ligera a notable.

En la Tabla 15 extraída de IGME (2002) se resumen las características químicas de los principales componentes mayoritarios de los acuíferos carbonáticos de esta MASb, mientras que en la Tabla 16 se hace lo propio con las aguas asociadas a los materiales calcareníticos.

Tabla 15.- Características químicas de las aguas subterráneas de los acuíferos carbonáticos de la MASb.

Parámetro	Medio	Máximo mg/L	Mínimo mg/L
Conductividad	500	-	-
pH	7,2	7,5	7,0
CO ₃ H	240	305	122
SO ₄	108	270	29
Ca	106	176	56
Mg	23	46	5
Cl	158	546	14
NO ₃	-	-	-
Na	72	254	6

Tabla 16.- Características químicas de las aguas subterráneas de los acuíferos calcareníticos de la MASb.

Parámetro	Mínimo mg/L	Máximo mg/L
R. S.	256	624
CO ₃ H	122	256
SO ₄	29	105
Ca	56	108
Mg	5	22
Cl	14	57
NO ₃	-	-
Na	6	25

4.6. Explotación por bombeo

Los únicos datos de los que se dispone por explotación por bombeo se adjuntan en el balance hídrico de la MASb.

5. BALANCE HÍDRICO. ENTRADAS Y SALIDAS

Los valores utilizados para la elaboración de los balances se han obtenido de las últimas referencias disponibles (Duran 2007, IGME 2002).

Entradas

Infiltración de aguas de lluvia:

Acuífero de Pedroso	1	hm ³ /año
Acuífero de Arcas	0,5	hm ³ /año
Acuífero de Campo Agro	2,7	hm ³ /año
Acuífero de Cuevas Altas	0,7	hm ³ /año

Salidas

Manantiales y salidas difusas:

Acuífero de Pedroso	0,5	hm ³ /año
Acuífero de Arcas	0,0	hm ³ /año
Acuífero de Campo Agro	0,3	hm ³ /año
Acuífero de Cuevas Altas	0,3	hm ³ /año

Bombeos:

Acuífero de Pedroso	0,1 hm ³ /año
Acuífero de Arcas	0,5 hm ³ /año
Acuífero de Campo Agro.....	2,0 hm ³ /año
Acuífero de Cuevas Altas	0,4 hm ³ /año

Descarga oculta:

Acuífero de Pedroso.....	0,4 hm ³ /año
Acuífero de Campo Agro.....	0,4 hm ³ /año

6. CONSIDERACIONES

Las incógnitas que aún existen en relación con el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos incluidos en esta MASb de "El Pedroso-Arcas" y su posible interrelación hacen necesaria la realización de un estudio hidrogeológico que permita apoyar cualquier tipo de decisión para la gestión de sus aguas subterráneas.

Con todo, existen síntomas que apuntan a que se está haciendo un uso intensivo del agua subterránea en todos los acuíferos de esta MASb, por ello parece conveniente limitar nuevas autorizaciones de extracción de agua subterránea. Asimismo, hay que hacer constar que el acuífero de Campo-Agro fue incluido en el catálogo de acuíferos con problemas de sobreexplotación o salinización realizado por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA 1997), y en el que se indicaba que el volumen de agua explotado ya ponía en peligro el abastecimiento de algunas poblaciones y salidas naturales del acuífero.

6.6.- MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 05.41 GUADAHORTUNA-LARVA

1. INTRODUCCIÓN

La explotación intensiva a la que se está sometiendo al acuífero que conforma la Masa de Agua Subterránea 05.41 "Guadahortuna-Larva" hace que analice la situación de éste y la posible existencia de sobreexplotación de sus recursos renovables.

2. ASPECTOS GENERALES DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA

2.1. Situación y límites

La Masa de Agua Subterránea (MASb) 05.41 "Guadahortuna-Larva" se ubica al sureste de Sierra Mágina, entra las provincias de Jaén y Granada, en el extremo suroriental de la Comarca de los Montes Orientales (figura 59). Desde el punto de vista geográfico, comprende un sector norte de topografía muy irregular con alineaciones montañosas muy interrumpidas, con cotas superiores a los 1200 metros, de dirección aproximada este-oeste. Se encuentra limitada al sur por una región de una altitud media elevada (superior a los 1000 metros), con un relieve más monótono, con formas suaves y alomadas (sector de Torre Cardela-Pedro Martínez. Entre ambos sectores, se localiza una zona deprimida, respecto a ambos, que configura una gran altiplanicie profundamente disectada por el río Guadahortuna, sobre todo en el sector oriental.

Se trata de una MASb situada entre las provincias de Granada y Jaén. Los términos municipales incluidos de forma total o parcial en la poligonal envolvente de unidad son los de Huelma, Cabra de Santo Cristo, Larva, Belmez de la Moraleda, Quesada y Jódar de la provincia de Jaén y Guadahortuna, Alamedilla, Alicún de Ortega, Dehesas de Guadix, Pedro Martínez, Torrecardela, Píñar, Iznalloz y Montejícar de la de Granada.

Los principales núcleos de población incluidos dentro o en los de sus límites son Cabra de Santo Cristo, Larva, Alamedilla, Torrecardela, Guadahortuna, Estación de Larva (Larva), Estación de Cabra y Estación de Huesa (Cabra de Santo Cristo), Solera, Ayoza, Villacampo del Moral, Zamora, Fuente Leiva y Estación de Huelma (Huelma), El Peñón, Rambla de los Lobos, Los Oqueales, El Hacho (Alamedilla), Canalejas (Dehesas de Guadix), El Navazuelo (Guadahortuna) y Cotilfar (Iznalloz).

La poligonal envolvente de la MASb engloba una superficie de 6501 km² con una superficie permeable total de 279 km² de los que 175 corresponden a materiales detríticos y 104 km² a carbonatos y calcarenitas.

Su clima es de tipo "templado-cálido" y en función de su régimen de humedad es de tipo "Mediterráneo húmedo". Los datos climáticos que se disponen están basados en el periodo de años comprendido entre 1960/61 y 1993/94 para el sector de la MASb incluido en la provincia de Granada y entre los años 1940/41 y 1985/86 en la provincia de Jaén. Estos son los siguientes:

- Precipitación media anual: 500 mm en el sector norte, disminuyendo hacia el sureste hasta valores inferiores a 380 mm al este de Alamedilla.
- Temperatura media anual: Aumenta de sur a norte, entre 13 °C en Torrecardela a 15 °C en Larva.
- E.T.P. anual (Thornthwaite): 772 mm (en la estación 5138 "Cabra de Santo Cristo) y 455 mm (en la estación 5533 "Los Bulares", Píñar).
- Lluvia útil media anual (RU 25-50): 245 -270 mm (en la estación 5533 "Los Bulares", Píñar).

2.2. Ecosistemas asociados a la masa de agua subterránea

No se encuentra ningún humedal tipo RAMSAR, ó asociado a LIC o ZEPA de la Red Natura 2000, ó dentro del inventario de masas de agua superficiales (lagos), dentro de la MASb Guadahortuna-Larva ó relacionado con ésta última. Tampoco existen ecosistemas asociados a la MASb.

3. MARCO GEOLÓGICO

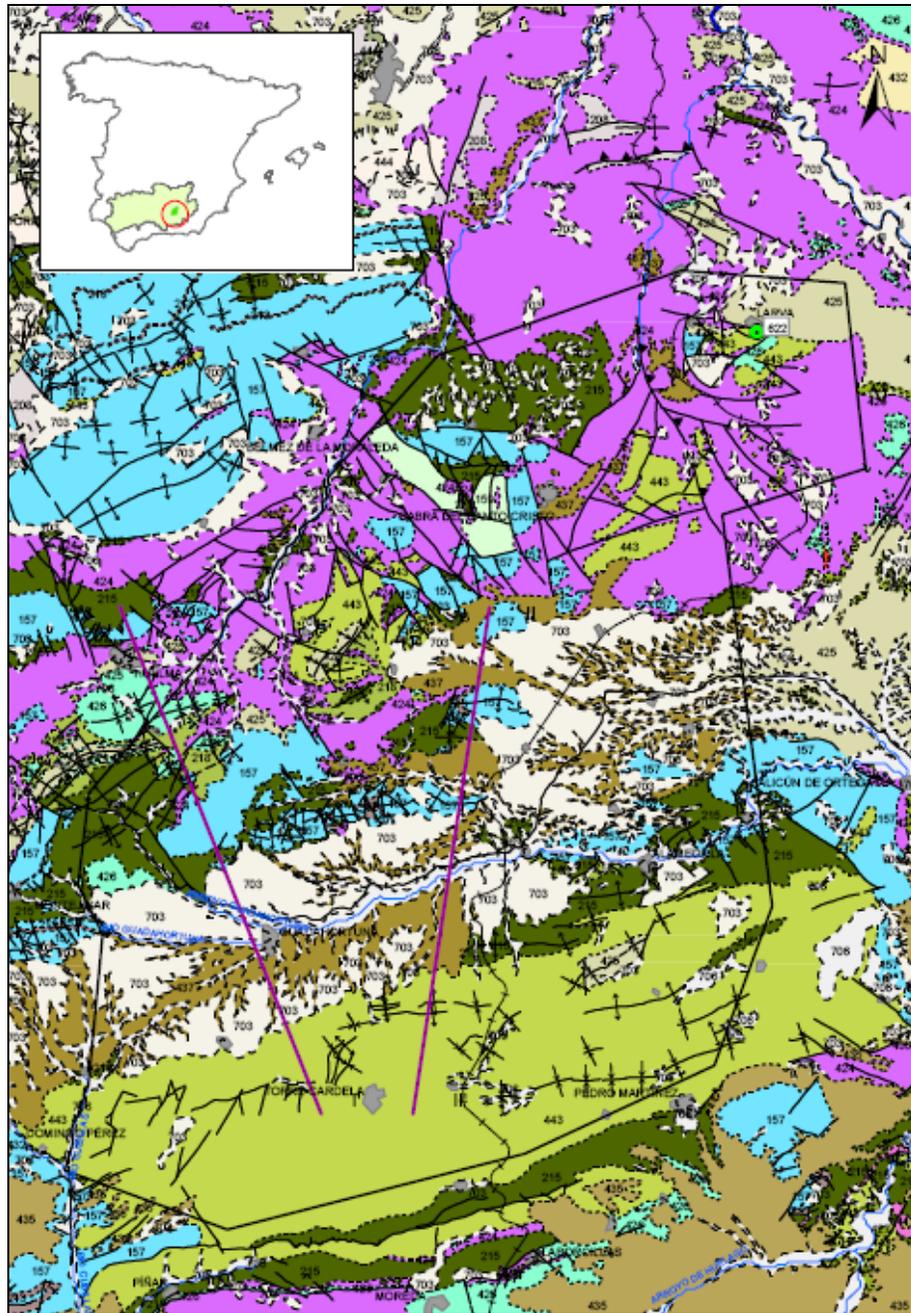
La MASb 05.41 "Guadahortuna-Larva" está situada en el Subbético medio (figura 60). Al ser la parte mas meridional del surco Bético, fue mas subsidente por lo que se caracteriza por un predominio de las facies margosas en el Jurásico y Cretácico a las que se asocian, en su parte central, intercalaciones de rocas volcánicas submarinas, especialmente abundantes en el Jurásico medio y superior.

Algunos autores atribuyen esta zona a las denominadas "Unidades Intermedias", debido a la presencia de potentes series del Jurásico y Cretácico inferior (superiores a los 2000 m) y al gran desarrollo del Domeriense-Toarciense.

La historia tectónica del área que ocupa la MASb es muy compleja. En el Mesozoico hay evidencias de actividad tectónica, como pone de manifiesto el hecho de que los materiales cretácicos se dispongan discordantemente sobre los infrayacentes, probablemente debido a la actividad halocinética y diapírica de los materiales triásicos. El plegamiento principal tiene lugar entre el Eoceno y el Burdigaliense. Durante esta etapa, además de plegarse y fracturarse los materiales, se producen grandes mantos de corrimiento. Tras esta etapa principal, tiene lugar el depósito de los materiales miocenos, los cuales a su vez se encuentran ligeramente plegados y fracturados y fosilizan las estructuras de cabalgamiento anteriores.

A grandes rasgos, dentro de la MASb se pueden diferenciar tres sectores o franjas de orientación claramente bética (SO-NE) que son:

- Sector norte (Cabra de Santo Cristo-Larva), en el que están presentes afloramientos de materiales mesozoicos y neógenos, que conforman una zona de gran complejidad estructural.
- Sector sur (Torrecardela-Pedro Martínez), en el que aparecen casi exclusivamente sedimentos paleógenos y aquitanienses conformando un extenso sinclinorio.
- Sector central (Guadahortuna), situado entre los dos anteriores, que se encuentra ocupado por materiales recientes (Mioceno superior-Cuaternario) que ocultan la historia previa de esta zona.



LEYENDA

709	Arenas, limos arenosos y arcillas amarillentas
706	Gravas, arenas, limos (Depósitos aluviales, fondos de valle y terrazas bajas en los ríos principales.)
703	Gravas, arenas, arcillas y limos (Depósitos de glacis, piedemonte y superficies)
444	Dolomías, calizas y margas
443	Conglomerados, areniscas y lutitas (Flysch)
437	Conglomerados, arenas y limos
435	Conglomerados, arenas, arcillas, calizas, travertinos y yesos (facies fluvioacustres)
432	Margas ("Azules"), areniscas, arenas y, a veces, yesos
427	Calcarenititas
426	Calizas de algas y margas blancas
425	Areniscas silíceas hacia la base y margas blancas a techo
424	Unidad Olistostrómica
215	Margas y margocalizas, a veces, con arenas
213	Margas, margocalizas, radiolaritas y rocas volcánicas
208	Calizas, margas, arenas silíceas, arcillas, calcarenitas, margocalizas
159	Margas, calizas bioclásticas y margosas
157	Dolomías, brechas dolomíticas, carnioles y calizas en bancos

Figura 60.- Mapa geológico de la MASb 05.41 "Guadahortuna-Larva".

4. MARCO HIDROGEOLÓGICO

4.1. Antecedentes

El código 41 fue asignado en el Plan hidrológico del Guadalquivir del año 1995 a la Unidad Hidrogeológica (UH) "Chotos-Cortijo Hidalgo" que se incluía en el Sistema 30 (Calizas Mesozoicas del Prebético y Subbético del Alto Guadalquivir) según la denominación del Mapa Hidrogeológico Nacional de 1972.

La MASb 05.41 "Guadahortuna-Larva" se definió como Unidad Hidrogeológica (UH) con la extensión actual en norma de explotación de la UH 05.41 (Guadahortuna-Larva). Actualizada y modificada. (2001), se incluyeron en la poligonal envolvente los afloramientos permeables de la ya mencionada "Chotos-Cortijo Hidalgo" junto con los afloramientos dispersos de la margen derecha del río Jandulilla ("Cabra de Santo Cristo" y "Umbría-Chante") así como los carbonatados de la margen izquierda del Guadiana Menor: la "Unidad de Gante-Santerga" (30/3/1 según la antigua nomenclatura del IGME) y el "Acuífero de la Sierra de Larva" y el acuífero detrítico constituido por el "Aluvial del Río Guadahortuna".

Otros trabajos realizados en la MASb con especial relevancia en el tema objeto de este informe son, por orden cronológico, los siguientes:

- "Plan de investigación de las Unidades Hidrogeológicas localizadas entre los ríos Guadalbullón y Jandulilla (Pegalajar-Cabra del Santo Cristo, Jaén) (ITGE, 1990).
- "Informe técnico sobre la solicitud del perímetro de protección del acuífero de Los Chotos-Cortijo Hidalgo. Cabra del Santo Cristo (Jaén). (ITGE, 1991)
- Catálogo de acuíferos con problemas de sobreexplotación o salinización, predefinición del programa de actuación. (MMA, DGOH y CA, 1997)
- "Programa de ordenación de acuíferos sobreexplotados/salinizados. Serie monografías. (MMA, 1998)
- "Caracterización adicional de las Masas de Agua Subterránea. (IGME, 2009)"
- "Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica. (IGME, 2009)".

La información específica de que se ha dispuesto para la realización de este informe es la que a continuación se relaciona:

- Balances hídricos de explotaciones para los años 2008 y 2010 de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.
- Piezometría histórica de la red nacional
- Análisis de nitratos, pesticidas y plaguicidas realizados entre 2005 y 2008 utilizados en la "*Identificación de tendencias en cumplimiento de la directiva 2006/118/CE*"
- Información extraída del Inventario de Regadío 2008 realizado por la (Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero (D.A.P.).
- Base de datos AGUAS del IGME

4.2. Los acuíferos de la masa de agua subterránea

En la MASb 05.41 "Guadahortuna-Larva", los principales acuíferos están constituidos por los niveles carbonatados jurásicos principalmente, y menor importancia tienen los tramos calcareníticos paleógenos y tortonienses, así como los niveles detrítico pliocuaternarios y

cuaternarios recientes (figura 61).

Entre los niveles carbonatados jurásicos destacan las dolomías y calizas del Lías inferior que aparecen como acuíferos colgados, libres o confinados según el sector de que se trate. Deben su elevada permeabilidad a procesos de fracturación y/o karstificación. Las calizas del Dogger y Malm, tienen igualmente un comportamiento acuífero, pero debido a la presencia de niveles margosos, la permeabilidad del conjunto es inferior al tramo inferior liásico.

La complejidad estructural de los materiales que conforman la MASb, unido a la variabilidad de los materiales acuíferos presentes en la misma, individualiza una serie afloramientos acuíferos con un funcionamiento hidrogeológico independiente de los demás. Con estas premisas, los acuíferos presentes se pueden agrupar de acuerdo a su composición litológica en:

- Acuíferos carbonatados jurásicos y miocenos:
 - Subunidad de Larva-Solera
 - Acuífero de Cabra de Santo Cristo
 - Acuífero de Chotos-Sazadilla-Los Nacimientos
 - Acuífero de Larva
 - Subunidad de Gante - Santerga
 - Acuífero de los Gallardos
 - Acuífero de Santerga
 - Acuífero de La Serreta-Gante-Cabeza Montosa

- Acuíferos calcareníticos oligocenos-aquitanienses:
 - Subunidad de Altos de Torrecardela

- Acuíferos detríticos:
 - Subunidad Plio-cuaternaria de la Depresión de Guadahortuna
 - Subunidad del Aluvial del Río Guadahortuna

En la figura 61 se incluye un mapa hidrogeológico en el que se delimitan las subunidades y se sitúan las trazas de los cortes hidrogeológicos que se presentan en las correspondientes figuras a continuación.

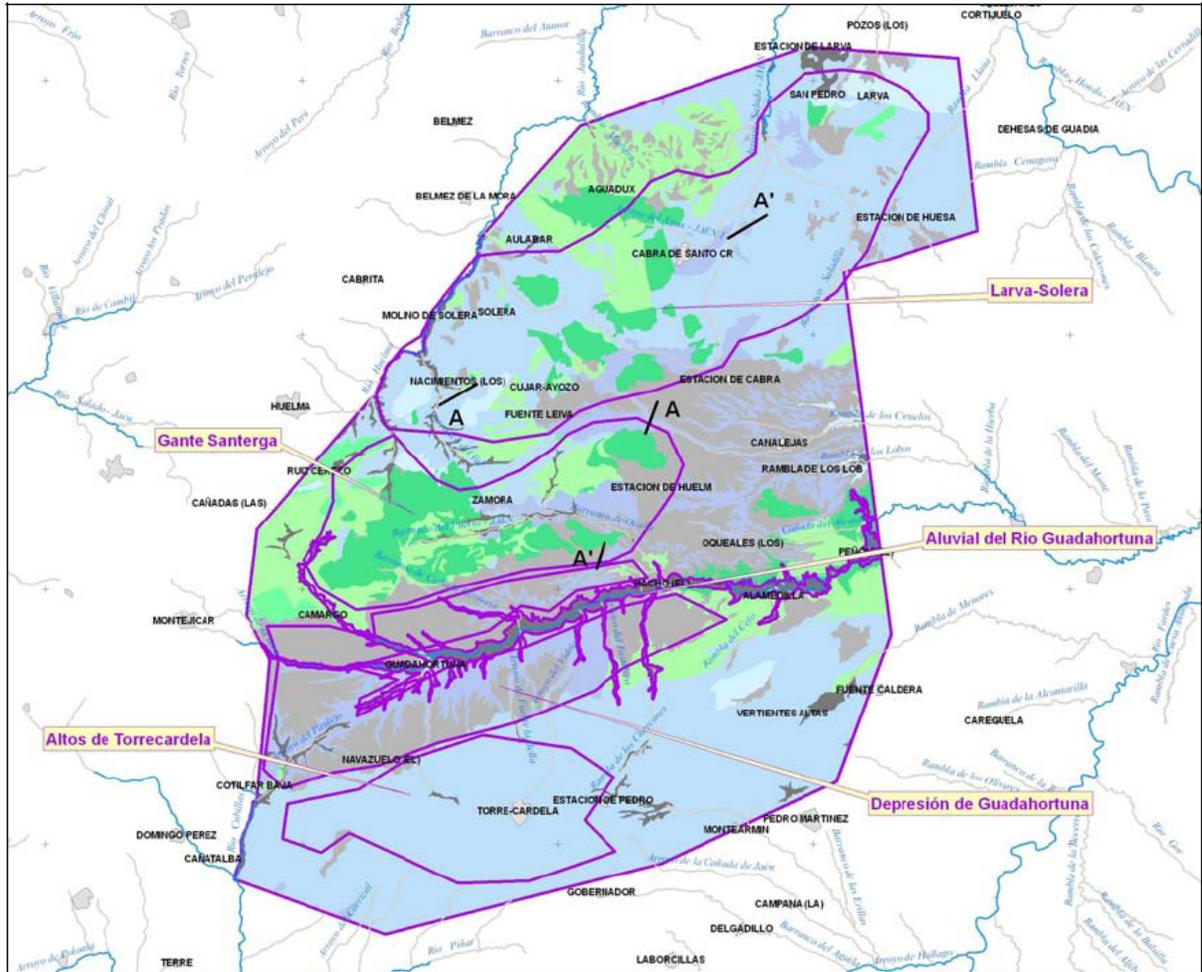


Figura 61.- Mapa hidrogeológico con las subunidades y trazas de los cortes hidrogeológicos de la MASb.

Acuíferos carbonatados jurásicos:

- **Subunidad de Larva – Solera:** Se localiza en la transversal definida por los núcleos de población de Larva y Solera. Está constituido por materiales carbonatados jurásicos y calcareníticos miocenos que afloran en las sierras del Buitre, Larva, Cújar, Solera, Sazadilla, Los Chotos y Morrón, constituyendo la subunidad de Larva-Solera con 35 km² de extensión aproximada de afloramientos permeables. Los límites impermeables de este acuífero vienen determinados en su mayor parte por areniscas y arcillas del Trías y por formaciones margosas cretácicas y terciarias. En el sector suroriental los materiales acuíferos están en contacto con materiales permeables pliocuaternarios. Las arcillas triásicas constituyen el substrato

impermeable del acuífero dolomítico, mientras que hacia la base de las calcarenitas aparecen formaciones margosas terciarias.

En las figuras 62 y 63 se incluyen un mapa hidrogeológico y un corte hidrogeológico esquemático, respectivamente.

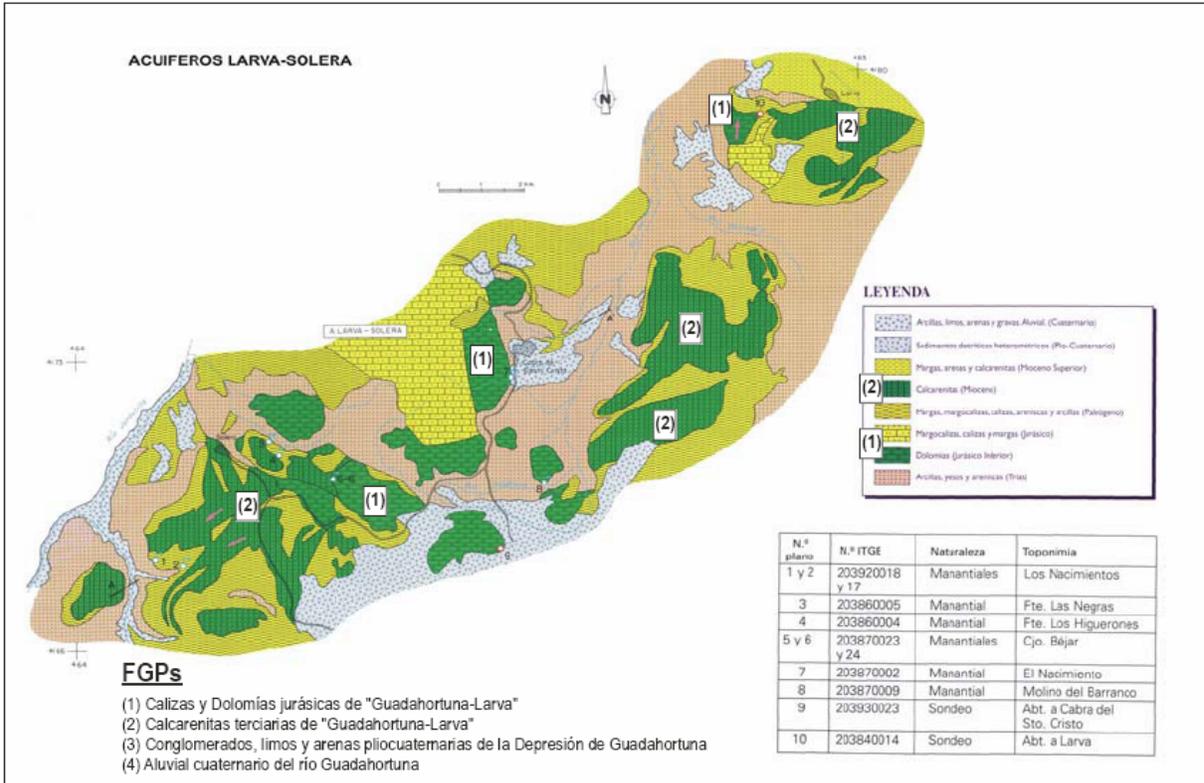


Figura 62.- Mapa hidrogeológico de la Subunidad Larva-Solera. (ITGE-Dip. Jaén 1997).

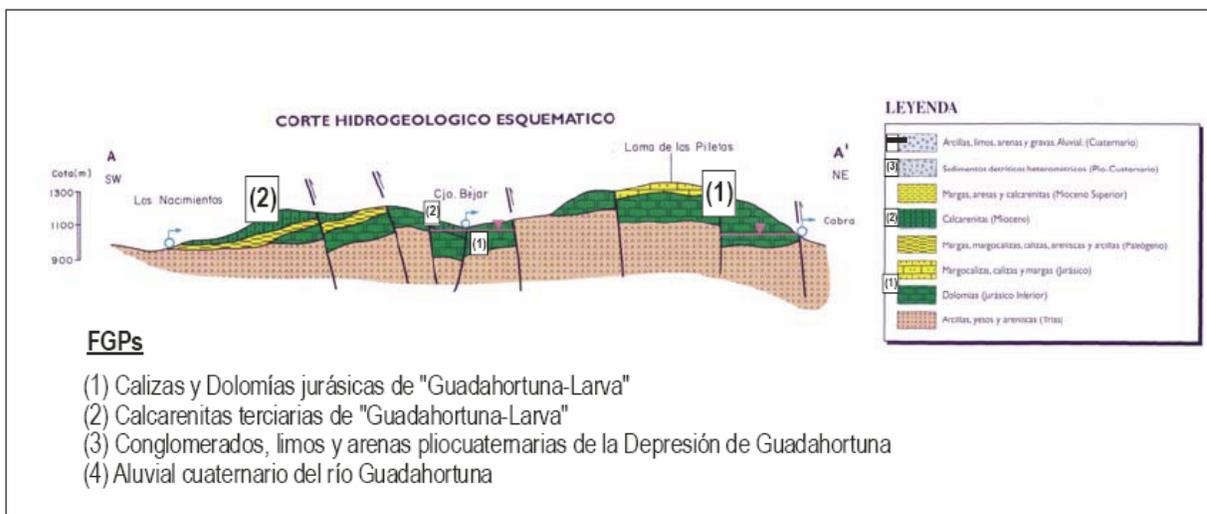


Figura 63.- Corte A-A' de la Subunidad Larva-Solera. (ITGE-Dip. Jaén 1997).

En esta subunidad se pueden diferenciar tres acuíferos con un funcionamiento independiente:

- Acuífero de Cabra de Santo Cristo: Esta constituido por dolomías de edad Triásico-Lías inferior y medio que afloran en las sierras del Buitre y de los Cangilones, muy próximas a la localidad de Cabra de Santo Cristo. El conjunto se encuentra colgado sobre materiales impermeables de edad triásica, si bien algunos sectores de su borde oriental y septentrional se encuentran fracturados, lo que puede facilitar un cierto grado de enraizamiento. Al norte del Cortijo de los Barrancos, la base impermeable describe una especie de collado, a una cota superior a los 1200 metros, y desciende tanto al este como al oeste, constituyendo una divisoria hidrogeológica dividiendo los materiales permeables en dos sectores independientes, uno oriental, denominado Cerro de los Buitres y otro occidental denominado La Silleta. Las superficies respectivas son 7,3 y 4,1 km². El sector del Cerro del Buitre presenta una base impermeable entre las cotas 1000 y 1200 metros, a excepción del sector más próximo a Cabra de Santo Cristo, donde baja hasta los 900 metros. El sector de La Silleta presenta gran parte de su base casi horizontal, a una cota de 1000 metros.

La alimentación de la formación permeable se realiza exclusivamente a partir de la infiltración directa de las precipitaciones, y sus salidas se realizan por manantiales. Según el Mapa Hidráulico de Andalucía, las precipitaciones medias en esta comarca son del orden a 550 mm/a, lo que supone unos aportes de 4 hm³/a en el sector del Cerro del Buitre, y de 2,2 hm³/a en el de La Silleta. Aplicando un coeficiente de infiltración del 35%, las entradas de agua en ambos sectores sería de 1,4 y 0,8 hm³/a respectivamente. En el sector del cerro del Buitre, las salidas tienen lugar fundamentalmente a través del Manantial del Nacimiento (203870002), que drena un caudal medio de 20 L/s, a una cota de 960 metros, que se considera el nivel regional. En el sector de La Silleta no se conocen descargas puntuales de entidad, lo que puede indicar una descarga muy rápida hacia los arroyos que tienen su cabecera en estos carbonatos.

- Acuífero de Chotos-Sazadilla-Los Nacimientos: Comprende los relieves carbonatados y depósitos calcareníticos que afloran en la transversal entre Solera y la Estación de Cabra de Santo Cristo. La extensión de estos afloramientos es de unos 9 km² para los materiales dolomíticos y de unos 20 km² para las calcarenitas. En general, los materiales acuíferos no presentan una continuidad cartográfica y aparecen individualizados en distintos afloramientos. No obstante, la presencia de importantes fracturas abiertas junto con los niveles de areniscas triásicas, pueden favorecer las conexiones hidráulicas entre los distintos compartimentos. El macizo dolomítico que aflora al norte de Solera se encuentra completamente rodeado de materiales arcillosos triásicos, por lo que se supone como acuífero aislado. Los afloramientos carbonatados del Cerro de Los Chotos y del Cortijo Hidalgo están separados por materiales pliocuaternarios que sellan la continuidad geológica entre ambos sectores, posiblemente estos mismos materiales también encubran la posible conexión entre los afloramientos del Cortijo Hidalgo y los del Cortijo de Metelo.

El sector suroccidental denominado de los Nacimientos, litológicamente está integrado por materiales Aquitanienses-Burdigalienses, representados por calcarenitas, calizas lacustres y niveles conglomeráticos, en cuya base se sitúan las margas blanquecinas rojizas que actúan de impermeabilizante de los niveles carbonatados superiores, produciéndose los drenajes a favor de este contacto. La

intensa fracturación de estos materiales origina descargas de pequeños caudales en los contactos permeable-impermeable.

El sector nordeste del acuífero (denominado Sazadilla), está constituido por materiales carbonatados mesozoicos. Desde el punto de vista litológico, está integrado por dolomías y carniolas del Trías superior-Lías inferior, a las que se le superponen calizas oolíticas con sílex del resto del Jurásico. Se distinguen dos sectores, uno al norte limitado por el Arroyo de Cabrera, de unos 2 km² de extensión, que actúa como un acuífero colgado cuya base impermeable está constituida por arcillas versicolores del Trías. El resto de acuífero localizado al sur del anterior, se encuentra fosilizado por materiales cretácicos y terciarios, presenta una extensión de unos 4 km², aunque cabe suponer que exista continuidad tanto hacia el sureste como al suroeste bajo los materiales terciarios y cuaternarios.

La alimentación procede en su totalidad de la infiltración directa de la lluvia, y se calcula que tiene unos recursos renovables de 2,4 hm³/a, sí bien, las surgencias visibles representan unos caudales anuales algo inferiores, lo que hace suponer que parte de estos recursos son transferidos de forma oculta hacia los depósitos pliocuaternarios de borde.

Los afloramientos permeables se encuentran aislados cartográficamente, no obstante deben de existir conexiones hidráulicas entre ellos, bien a través de fracturas, o bien a través de areniscas triásicas.

El drenaje natural principal de este acuífero tiene lugar en dos sentidos de flujo principales: hacia el este y hacia el suroeste. En el borde oriental (sector de Chotos - Cortijo Hidalgo), se encuentra el manantial del Molino del Barranco (203870009), que drena un caudal de 11 L/s, a una cota de 940 metros.

En el límite suroccidental, en la zona conocida como Los Nacimientos, se localizan dos manantiales (203920017 y 203920018), que drena un caudal conjunto de unos 15 L/s, a cotas de 990 y 960 metros respectivamente. La intensa compartimentación estructural de este sector da lugar a pequeñas surgencias en el contacto permeable - impermeable a cotas más elevadas, 1180 metros, como es el caso del Manantial de los Laeros de Jesús y Las Cañadas (203870025 y 203870026 respectivamente).

El sector nordeste de este acuífero, conocido como La Sazadilla, como ya se ha mencionado, se distinguen dos subsectores, uno localizado al norte, que constituye un acuífero colgado, y cuya alimentación se realiza de manera directa por las precipitaciones y la descarga debe de realizarse de manera difusa a través del contacto subhorizontal permeable - impermeable, y cuyo funcionamiento debe de estar condicionado a las épocas de mayor pluviometría.

En el subsector sur, la alimentación se produce por infiltración directa del agua de lluvia, mientras que el drenaje visible se realiza a través del manantial del Cortijo de Béjar (2038/7/23 a una cota de 1060 m), y el manantial de la Sazadilla (2038/7/5, a una cota de 1120 metros). Otros puntos de drenaje de este subsector son la Fuente Caña Hermosa (203930027, a 1160 m s.n.m.), Cortijo Ayozo (203930016, a 1215 m s.n.m.) y el Cortijo Metelos (203870022, a 1100 m s.n.m.).

Puede existir recarga hacia el sector de Los Nacimientos, a través de fracturas que compartimentan la zona.

El resto de las surgencias, aparecen ligadas a depósitos recientes cuaternarios. Se trata de surgencias de escasa entidad, entre las que destaca el manantial de Fuente Rica (203860006, a 850 m s.n.m.).

- Acuífero de Larva: Se sitúa en el sector nororiental de la Unidad y se encuentra completamente desconectado de los acuíferos descritos hasta ahora. Está constituido por materiales dolomíticos jurásicos y calcareníticos oligocenos que afloran en la Sierra de Larva. Los materiales dolomíticos presentan potencias del orden de 300 m y ocupan una extensión aproximada de 0,5 km², mientras que las areniscas bioclásticas, afloran en la zona de los Picones y en la ladera oriental de la Sierra de Larva, con espesores entre 100 y 120 metros, ocupando entre ambos afloramientos una extensión de unos 3,5 km². El substrato impermeable del acuífero calcarenítico, está constituido por materiales margosos del Paleógeno y el del acuífero dolomítico Jurásico, por materiales arcillosos y yesíferos del Trías.

Este acuífero se encuentra muy compartimentado y en él, se pueden diferenciar al menos tres sectores con funcionamiento hidráulico independiente: Sector Oriental, Sector Central y Sector Occidental.

El Sector Oriental, corresponde a los afloramientos calcareníticos miocenos localizados en la zona oriental de la Sierra de Larva, los cuales ocupan una extensión aproximada de 2 km². Los límites oriental y meridional de este sector están constituidos por materiales arcillosos yesíferos del Trías y materiales margosos paleógenos, constituyendo estos últimos su substrato impermeable, así como su límite occidental, si bien hacia el sur, el límite está constituido por materiales triásicos inyectados a través de una gran fractura que atraviesa la sierra de Larva con dirección NE-SO. Hacia el norte, este sector limita a través de una gran falla en dirección E-O con el Trías que se encuentra tapizado por los materiales semipermeables de la Depresión de Larva.

El Sector Central, está constituido por conglomerados, areniscas y margas del Mioceno, que afloran en la Sierra de Larva, ocupando una superficie de 0,9 km². El Sector Occidental, ocupa la mitad occidental de la Sierra de Larva, está constituido por materiales calizo-dolomíticos jurásicos que ocupan su zona occidental, y por materiales calcareníticos miocenos que ocupan su zona oriental, separadas ambas por una falla de dirección NO-SE. En su límite septentrional se localiza una estrecha banda de conglomerados paleógenos. Los límites occidental y septentrional del subsector jurásico están constituidos por materiales triásicos, que su vez constituyen el substrato impermeable. Hacia el este, estos materiales se encuentran cubiertos por margas paleógenas, que forman su límite oriental, al noreste, se ponen en contacto con los materiales calcareníticos del subsector oriental, hacia donde descargan. El límite meridional del subsector calcarenítico está constituido por materiales margosos paleógenos que constituyen a su vez su substrato impermeable. Los materiales calcareníticos limitan por el oeste con el subsector jurásico y por el este, mediante una falla (probablemente inyectada por materiales triásicos), con el sector central. El límite septentrional está constituido por la ya citada falla de dirección E-O que en la zona oriental pone en contacto materiales arcillosos y yesíferos del Trías, mientras que en la Oriental pone en contacto materiales semipermeables de la Depresión de Larva.

El funcionamiento hidrogeológico de este acuífero, considerando los sectores en los que se puede dividir es el siguiente:

Sector Oriental: Su alimentación se produce exclusivamente por la infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos permeables. Considerando la precipitación media anual de la zona de 500 mm y aplicando un porcentaje de infiltración del 30 % para este tipo de materiales (porcentaje habitual para esta zona y tipo de material), la alimentación y los recursos del sector se estiman en 0,3 hm³/a. La descarga se produce de forma subterránea hacia los materiales semipermeables de la Depresión de Larva y en mucha menor medida por bombeo en el sondeo 2138/1/5 (inferior a 0,01 hm³/a). El nivel piezométrico en este sector se sitúa a una cota de 751 m s.n.m. correspondiente al único punto acuífero existente (sondeo 213810005).

Sector Central: La alimentación de este sector se produce exclusivamente por la infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos permeables. Considerando las características litológicas de este sector, se cree apropiado aplicar un porcentaje de infiltración del 20 % sobre la precipitación media anual de la zona (500 mm), la alimentación del sector por este concepto, y, por tanto, sus recursos se estiman en 0,1 hm³/a. La descarga del sector se realiza de forma subterránea hacia la Depresión de Larva y por el bombeo de los sondeos 203840027 y 203840001 (0,04 hm³/a). El nivel piezométrico se encuentra a una cota del orden de 650 m s.n.m. (646 m s.n.m. en el sondeo 203840027 y 654 m s.n.m. en el sondeo 203840001).

Sector Occidental: Atendiendo a los niveles piezométricos existentes se podrían considerar a su vez dos subsectores separados por una falla de dirección NO-SE, uno occidental jurásico, correspondiente a los materiales jurásicos y paleógenos asociados, con el nivel situado a una cota entre 720 y 725 m s.n.m. y otro oriental calcarenítico con el nivel situado a una cota de 710 m s.n.m. La relación entre ambos subsectores estaría marcada por la descarga subterránea del sector occidental jurásico sobre el oriental calcarenítico, con flujos de oeste a este.

La alimentación del subsector jurásico se puede estimar, aplicando un porcentaje de infiltración del 50% de la precipitación media sobre sus afloramientos (1,9 km²), en 0,5 hm³/a. Las salidas del subsector corresponderían por un lado a los bombeos de los sondeos que lo explotan (sondeos 203840014, 203840024, 203840013, 203840026, 203840017 y 203880005) estimados en 0,1 hm³/a y al drenaje hacia el subsector calcarenítico, que por diferencia se estima en 0,4 hm³/a.

La alimentación del subsector calcarenítico procede por una parte del drenaje subterráneo del subsector jurásico (0,4 hm³) y, por otra, de la infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos (1,1 km²) en los que aplicando una infiltración del 30 % de la precipitación media, se obtiene una alimentación de 0,17 hm³/a. En este subsector no existen actualmente extracciones por bombeo. El antiguo sondeo de abastecimiento a Larva (203840011), se sitúa en este sector y se secó en su día, tras la realización de una galería en la base del talud en la que se emplearon explosivos; actualmente, esta galería no tiene ningún drenaje.

- *Subunidad de Gante–Santerga*: Al sur de la subunidad anteriormente descrita, cerca del núcleo urbano de Guadahortuna se localiza la Subunidad de Gante – Santerga.

El acuífero está constituido por afloramientos de calizas y dolomías jurásicas que configuran una estructura anticlinal de dirección este - oeste, extendiéndose desde la Sierra de Santerga al oeste hasta el Cortijo de Gante al este. La potencia media del conjunto carbonatado es de 300 metros, con una superficie de afloramientos permeables de unos 9 km², distribuidos 4,9 km² en la Sierra de Santerga y el resto en los relieves que se extienden hacia el este.

El sustrato impermeable de la subunidad los constituyen las margas y arcillas del Trías. El borde sur y este de la subunidad está representado por el contacto con los materiales detríticos pliocuaternarios de relleno de la depresión de Guadahortuna. Los bordes norte y oeste están constituidos por margocalizas y arcillas cretácicas, así como por materiales arcillosos triásicos cabalgantes al norte y extraídos a favor de una estructura normal al sur.

En las figuras 64 y 65 se incluyen un mapa hidrogeológico y un corte esquemático.

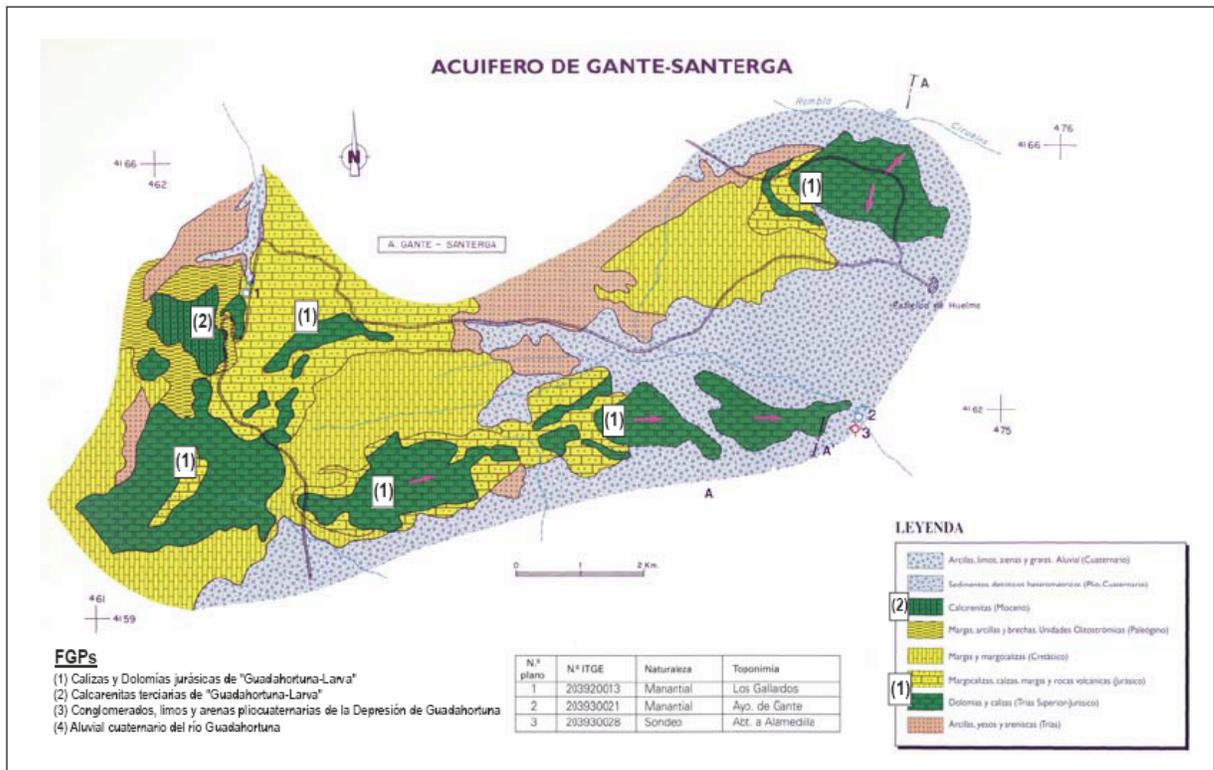


Figura 64.- Mapa hidrogeológico de la Subunidad Gante-Santerga. (ITGE-Dip. Jaén 1997).

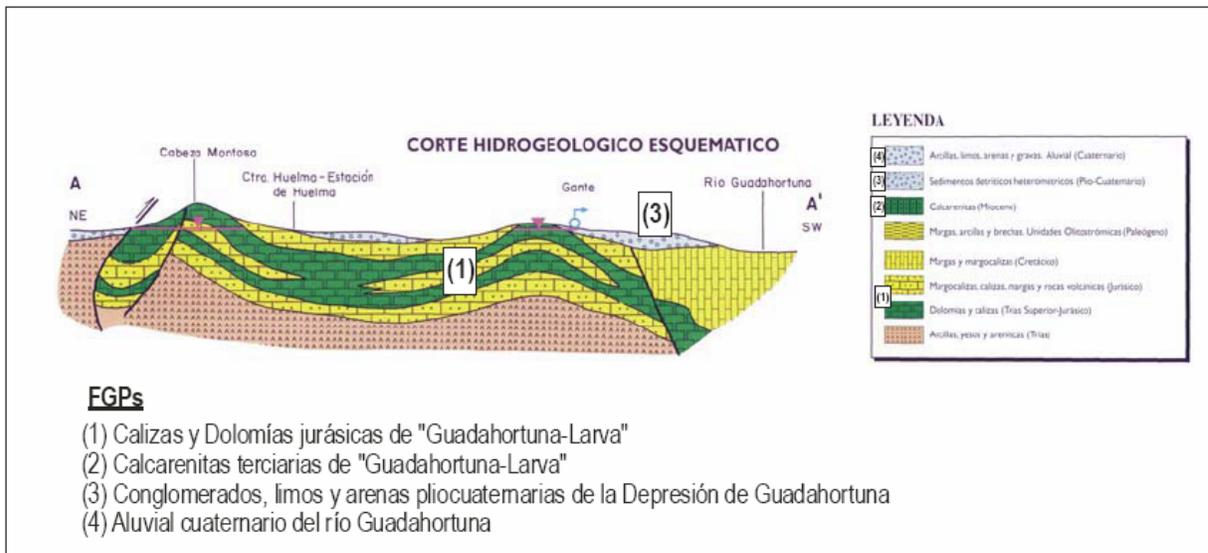


Figura 65.- Corte A-A' de la Subunidad Gante-Santerga. (ITGE-Dip. Jaén 1997).

En la subunidad, existen barreras impermeables debido a la fracturación y a presencia de tramos margosos cretácicos que individualizan diferentes acuíferos definidos por las estructuras anticlinales de Los Gallardos, Santerga, La Serreta-Gante-Cabeza Montosa:

- **Acuífero de los Gallardos:** Está constituido por un pequeño afloramiento de calizas beige del Lías medio-superior en el borde occidental de la subunidad. Éstas, presentan unos 100 m de potencia y una extensión inferior a 1 km². Sus límites impermeables están definidos por materiales margosos y margocalizas del Jurásico y Terciario y por Trías arcilloso subyacente.
- **Acuífero de Santerga:** Está constituido por dolomías y calizas del Lías inferior - medio, muy fracturadas y bastante karstificadas, que constituyen parte del núcleo de una estructura anticlinal. Afloran en una extensión aproximada de unos 5 km², aunque la potencia del acuífero es muy escasa. Los límites impermeables se encuentran establecidos por calizas margosas, margocalizas y margas del Lías superior-Dogger y por rocas volcánicas del Dogger-Malm. Como sustrato impermeable se encuentran las areniscas y arcillas yesíferas del Trías y materiales margosos del Cretácico.
- **Acuífero de La Serreta-Gante-Cabeza Montosa:** Constituido por calizas oolíticas del Dogger-Malm, con alto grado de karstificación en superficie. El área de afloramiento de estos materiales es de aproximadamente 4 km², para el primer sector y de unos 2 km² para el segundo. La potencia de los materiales acuíferos es normalmente superior a los 200 metros. En el anticlinal de La Serreta-Gante, los límites impermeables están constituidos por calizas margosas, margocalizas y margas del Lías superior-Dogger y por rocas volcánicas del Dogger-Malm. En Cabeza Montosa son las radiolaritas del Malm y rocas volcánicas infrayacentes las que delimitan los materiales carbonatados. Estas últimas adquieren una presencia notable en este sector, lo que hace pensar en una desconexión hidráulica entre ambos. Separado de estos afloramientos al oeste por efecto de fracturas de salto en dirección, se localiza el relieve de Los Oqueales, al norte de Alamedilla. Está constituido esencialmente por una secuencia de calizas oolíticas y calizas con sílex

de edad Dogger- Malm. Ocupa una extensión de aproximadamente 1 km² y posee una potencia media de 170 metros. Se encuentra rodeado en sus bordes por materiales pliocenos, bajo los cuales aparecen materiales margosos del Lías superior y cretácicos.

La recarga de la subunidad en su conjunto procede exclusivamente del agua de lluvia caída directamente sobre los materiales permeables, ya que se encuentra aislada de otros sistemas acuíferos y la percolación por escorrentía superficial se puede considerar despreciable. Los recursos hídricos subterráneos son del orden de 1,2 hm³/a, desglosados del siguiente modo: 0,1 hm³/a corresponderían al acuífero de Los Gallardos, 0,8 hm³/a al de la Serreta-Gante y unos 0,3 hm³/a a Cabeza Montosa.

Al anticlinal de Santerga, que constituye un manto de cabalgamiento sobre materiales impermeables cretácicos, se le suponen unas reservas de agua nulas, de manera que los volúmenes de agua infiltrada durante las precipitaciones, se descargaría rápidamente y de manera difusa hacia los límites de los afloramientos.

Las salidas en régimen natural se producen a través de manantiales y por flujo subterráneo hacia los materiales pliocuaternarios de borde. El anticlinal de la Gallardos descarga sus escasos recursos a través del manantial del mismo nombre (203920013), a una cota de 1030 m, nivel de referencia piezométrico en este sector.

El manantial de Gante (203930021), que drena los recursos de Serreta-Gante con un caudal medio de 16 L/s, está situado a una cota de 935 metros, definiendo el nivel piezométrico en este sector. Pudiera ser que el resto de los recursos del sistema sean drenados de manera oculta a través de los materiales pliocuaternarios de borde hacia el aluvial del Río Guadahortuna. Efectivamente, aguas abajo del manantial de Gante y sobre el aluvial del Río Guadahortuna existe una surgencia denominada Fuente del Cortijo Almenas (203930029), a cota 920 metros, con una descarga anual visible próxima a 0,3 hm³/año.

En el anticlinal de Cabeza Montosa, no existen surgencias de agua subterránea inventariadas, por lo que hay que considerar que los recursos son drenados de forma oculta hacia los materiales pliocuaternarios que lo bordean. También es posible la existencia de un flujo subterráneo hacia Gante, siempre que las rocas volcánicas intercaladas entre los materiales carbonatados no causaran la desconexión hidráulica entre ambos anticlinales. La alimentación en el sector de los Oqueales se produce por infiltración directa del agua de lluvia (0,18 hm³/a), y por flujos procedentes de los materiales pliocuaternarios que recubren parte del acuífero. No se conocen surgencias relacionadas directamente con las calizas, sino con los materiales pliocuaternarios que las recubren.

Acuíferos calcareníticos oligocenos

- *Subunidad calcarenítica de los Altos de Torrecardela*: Este acuífero está constituido por calcarenitas, areniscas bioclásticas y margas de edad Eoceno medio-Aquitaniense, que afloran en una extensión de unos 60 km². Presenta frecuentes cambios de facies tanto lateral como verticalmente, con potencias que pueden superar los 100 metros. Estos materiales se sitúan concordantemente sobre margas blanquecinas con niveles de areniscas hacia techo, o bien sobre materiales inferiores (capas rojas), igualmente margosos, por medio de una discordancia angular. En cualquier caso, ambos constituyen la base impermeable de este acuífero.

En conjunto constituyen una serie de relieves alomados entre las depresiones de Guadahortuna y Moreda-Huélago. Las calcarenitas suelen presentar un aspecto masivo, constituyendo verdaderos promontorios en el relieve, como es el caso del Cerro Mochila, el Alto de Doña Marina, el pico Torrecilla o el Alto de los Navazuelos entre otros. Cuando presentan intercalaciones margosas dan lugar a relieves más suaves.

Los afloramientos permeables de esta formación, unos 47 km², constituyen un acuífero de moderada potencialidad, limitado por la presencia de numerosas intercalaciones margosas y por el juego de fracturación que induce a pensar en una fuerte compartimentación del mismo.

En la zona que nos ocupa se pueden diferenciar dos sectores; uno al norte de Torrecardela, en el que las calcarenitas constituyen una capa superficial poco enraizada que se denomina afloramiento de Mochila; y otro al sur de Torrecardela, que constituye un sinforme tumbado, vergente al norte, cuyo flanco inverso, muy verticalizado, aflora bajo el casco urbano de Torrecardela. La divisoria hidrogeológica entre ambos sectores, parece localizarse en el núcleo de esta sinforma, a favor de una fractura de dirección NE-SO.

Son escasos los datos de que se disponen con relación al funcionamiento de este acuífero. Al estar aislado, cabe pensar que su alimentación se produce por infiltración directa del agua de lluvia caída sobre los materiales calcareníticos. La propia naturaleza de este acuífero, calcarenitas con intercalaciones margosas y una tectónica compleja, hace que funcione en ocasiones como un multicapa, existiendo desconexión entre niveles permeables, lo que puede explicar los bajos rendimientos de las obras de captación ubicadas en el mismo. Los recursos de este acuífero, con una superficie próxima a los 47 km², para una precipitación anual de 400 mm, con una infiltración del orden al 10-20 %, supondrían unos 2,8 hm³/a. Las salidas se producen de forma natural a través de pequeños manantiales, y por bombeos, tanto para riego de olivar y frutal como para abastecimiento a núcleos de población como Torrecardela y El Gobernador.

Acuíferos detríticos

- *Subunidad Plio-cuaternaria de la Depresión de Guadahortuna:* El acuífero está conformado por conglomerados más o menos cementados y lentejones de arenas que constituyen el tramo superior del Plioceno-Cuaternario. Presenta una gran heterogeneidad en su permeabilidad y en conjunto es de baja a media. Se disponen subhorizontalmente sobre un tramo basal, esencialmente limo - arcilloso, que constituye el impermeable de base. La superficie de afloramientos permeables de esta subunidad es de 161 km². Este tramo superior permeable ha sido erosionado en los cauces de ríos y arroyos, dando lugar a una alta compartimentación del acuífero en sectores de escasa entidad, cada uno de los cuales se encuentra drenado por pequeños manantiales, que nacen en el contacto con el impermeable de base, condicionados por la topografía. La disposición subhorizontal de los materiales permeables, impide la acumulación de reservas de interés. La potencia media del horizonte acuífero no supera los 6 a 7 metros de espesor, de los cuales los 2 ó 3 metros inferiores suelen estar saturados.

Son pocos los datos de que se disponen de esta subunidad, debido a la ausencia en ella de puntos de agua significativos. En general, se trata de un acuífero de permeabilidad media a baja con una gran heterogeneidad en su distribución espacial.

La alimentación se produce por infiltración directa del agua de lluvia caída sobre los materiales permeables, por infiltración de la escorrentía superficial de los materiales impermeables que la rodean y flujos subterráneos ocultos desde otras subunidades, entre las que cabe citar, las calcarenitas de Torrecardela y los acuíferos carbonatados de la Serreta – Gante y Cabeza Montosa.

El flujo subterráneo guarda una estrecha relación con la topografía, con sentido del mismo desde las partes altas a las deprimidas, hasta encontrar un punto de surgencia. Surgencias que se localizan junto a los arroyos y barrancos que erosionan estos niveles permeables, y en relación con el contacto entre estos y los materiales impermeable de base. Las principales salidas se localizan al sur de la estación de Cabra de Santo Cristo, en el Arroyo de los Ciruelos a una cota de 940 metros. También son importantes las salidas por bombeos para riego.

- *Subunidad del Aluvial del Río Guadahortuna:* Está constituido por niveles de gravas finas y arenas en una matriz limosa, con una permeabilidad media – baja en su conjunto, debida a porosidad intergranular. Estos materiales permeables reposan sobre los limos de la base Plioceno – Cuaternario, los cuales actúan como impermeables de base. El aluvial del Río Guadahortuna ocupa una superficie de 14 km², con una cuenca de recepción de unos 225 km². La potencia del aluvial varia entre los 15 y 7 metros, aumentando aguas abajo. Desde el punto de vista litológico, existe un predominio de los materiales finos, limos y arcillas, en el que se intercalan niveles de arenas.

La alimentación del acuífero se produce por infiltración de la lluvia sobre el propio aluvial, por infiltración de la escorrentía sobre los materiales de borde, por recarga del propio Río Guadahortuna y por flujos ocultos desde otros acuíferos próximos entre los que destaca el de Serreta–Gante que lo hace a través del acuífero pliocuaternario intermedio, dando lugar a la Fuente de Cortijo de las Almenas (203930029), ya en el aluvial a una cota de 920 metros.

Los datos referentes a parámetros hidráulicos para toda la MASb de que se disponen son muy escasos. Las transmisividades más bajas se obtienen en el acuífero calcarenítico de los Altos de Torrecardela, con valores que oscilan entre 20 y 40 m²/d. Los valores de transmisividad para el sector de Chotos–Cortijo Hidalgo, del acuífero carbonatado de Chotos-Sazadilla-Los Nacimientos, calculados en el abastecimiento a Cabra de Santo Cristo, son del orden de 8600 a 12100 m²/d. En el bombeo de ensayo realizado sobre el sondeo 2039/3/23, se calculan valores de transmisividad del orden de 9950 m²/d y un coeficiente de almacenamiento de 2×10^{-2} .

4.3. Redes de control

Existen dos puntos de la red nacional de piezometría en la MASb 05.41 cuyas principales características son las siguientes:

Nº	Nombre	Provincia	Municipio	X	Y	Z (msnm)	Prof	Comienzo Medidas	Acuífero
05.41.001		Jaén	Cabra del Sto. Cristo	472638	4171588	1292	293	nov-07	Cabra del Sto. Cristo
05.41.003	Los Navajuelos	Jaén	Larva	481014	4177327	810	200	sep-07	Larva

Asimismo, la Diputación Provincial de Jaén realiza en la MASb medidas periódicas de la profundidad del nivel piezométrico en los sondeos Majablanca II (nº IGME 203840035) en el acuífero de Larva y Comunidad de Regantes (nº IGME 203870011). Las principales características corresponden a:

Nº IGME	Nombre	Prov.	Municipio	X	Y	Z (msnm)	Prof (m)	Comienzo Medidas	Acuífero
203840035	Majablanca II	Jaén	Larva	480775	4179011	835	210	mar-06	Larva
203870011	Comunidad de Regantes	Jaén	Cabra del Sto. Cristo	474375	4174350	1010	60	abr-04	Cabra del Sto. Cristo

No existe ningún punto de la red hidrométrica oficial de manantiales dentro de la poligonal envolvente de la MASb.

Dentro de la MASb existen dos puntos perteneciente a la red de seguimiento del estado químico de la AAA codificados como 5.41.01 "Pozo Cañada del Espino" en el acuífero de Subunidad del Aluvial del río Guadahortuna y 5.41.11 "Fuente del Nacimiento" en el acuífero de Cabra del Santo Cristo.

La localización en la MASb de los puntos pertenecientes a las redes de piezometría y de seguimiento del estado químico se presenta en la figura 66.

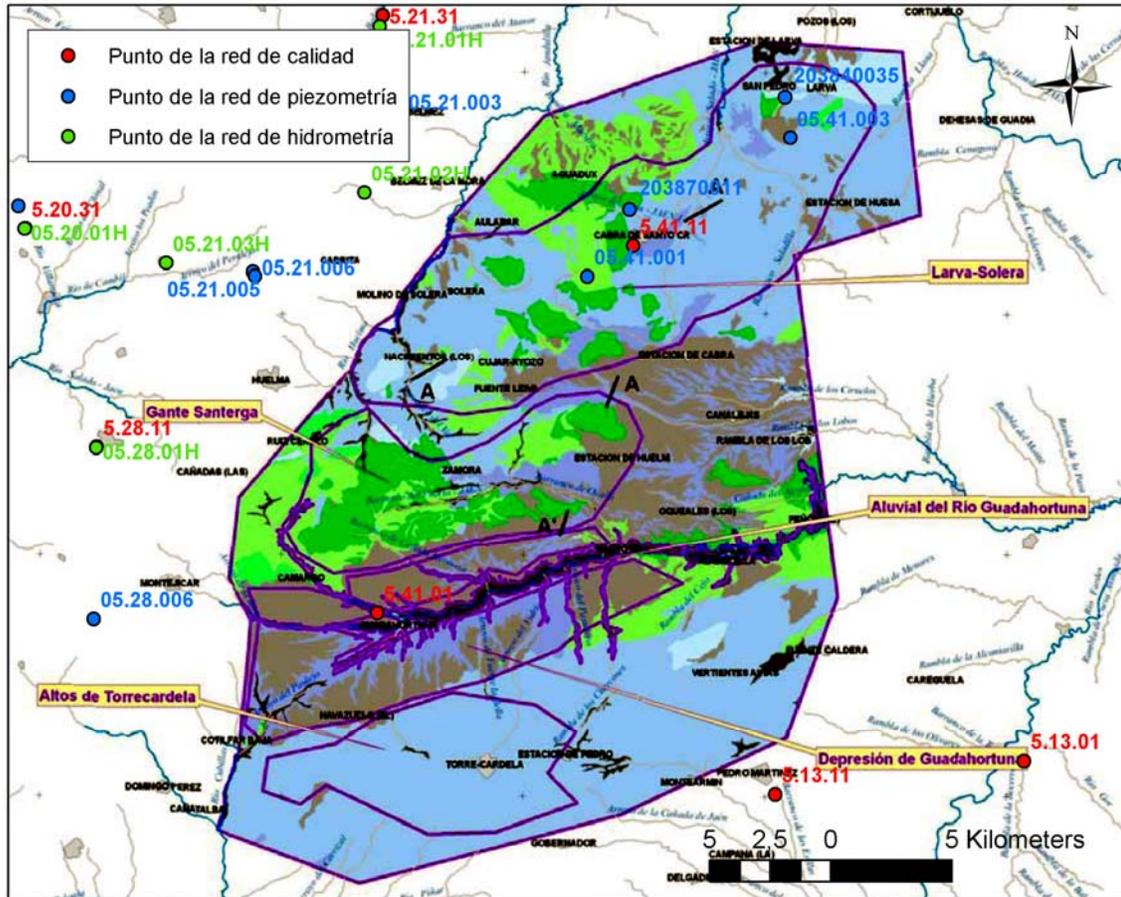


Figura 66.- Distribución espacial de las estaciones de seguimiento en la MASb 05.41.

4.4. Piezometría. Evolución espacial y temporal

La única información piezométrica, aparte de la comentada en el epígrafe 4.2 en el que se describen los acuíferos que integran la MASb, es la procedente de las redes anteriormente descritas y se refiere únicamente a los acuíferos de Cabra del Santo Cristo y Larva.

En la figura 67 se han representado los valores de la cota del nivel piezométrico medidos en los puntos pertenecientes a la red nacional y a los tomados por la Diputación Provincial de Jaén. Como se puede observar, la escasez de datos de la Red Nacional no permite hacer ninguna consideración. Sin embargo, la serie de medidas del sondeo Comunidad de Regantes (203870011) del acuífero de Cabra del Santo Cristo sí tiene un número de datos significativos (4 años) y presenta un descenso progresivo prácticamente constante con leves recuperaciones relativas del nivel piezométrico. La tasa de descenso es de 6,6 m/año. En el caso del acuífero de Larva, el punto Majablanquilla II (203840035) con una serie de 2 años presenta una curva también con pendiente negativa y con una tasa de descenso de 4,4 m/año.

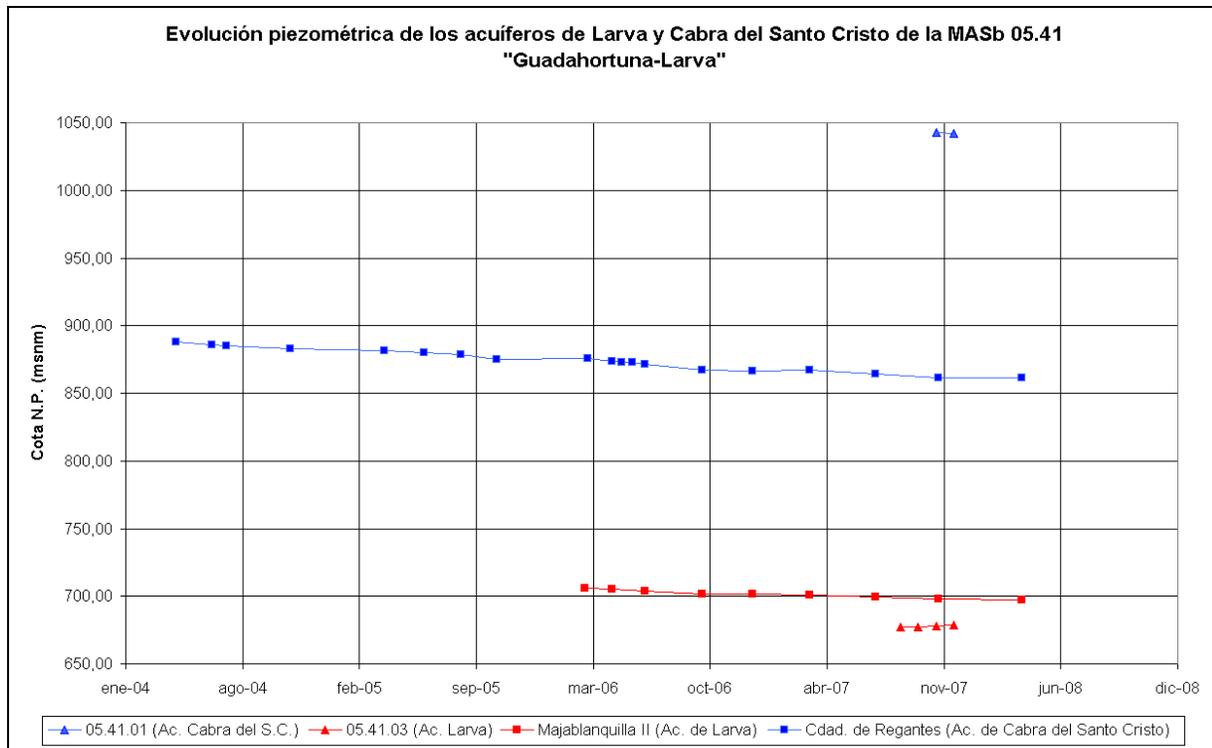


Figura 67. - Evolución piezométrica de los acuíferos de Cabra del Santo Cristo y Larva de la MASb 05.041.

4.5. Hidroquímica. Variación espacial y temporal

Las aguas de la MASb presentan una gran variabilidad en cuanto a su calidad química en función del acuífero del que procedan.

En el acuífero de Chotos–Sazadilla–Los Nacimientos, las aguas son de facies bicarbonatada cálcica y de bajos contenidos en sales, presentando una calidad aceptable para consumo humano, con excepción del contenido en nitratos (IGME, 1981).

La aguas procedentes del acuífero de Larva, presentan una gran variabilidad en la conductividad de sus aguas, con valores comprendidos entre 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 5800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que apoya la idea de la existencia de diferentes de sectores acuíferos claramente diferenciados.

Las aguas de la Subunidad de Gante–Santerga presentan una facies sulfatada–bicarbonatada cálcico–magnésica, con un residuo seco superior a los 500 mg/L. Los contenidos en sulfatos y magnesio pueden ser debidos a contaminación en profundidad por materiales triásicos. En relación a la calidad para consumo humano, son de calidad tolerable, solo el contenido en magnesio está próximo al límite no tolerable. Las aguas analizadas pertenecen al grupo $\text{C}_3\text{-S}_1$, por lo que su utilización en regadíos estaría limitada a suelos con buen drenaje (IGME, 1983).

Las aguas del acuífero calcarenítico de los Altos de Torrecardela presentan unas facies bicarbonatada cálcica, con conductividades próximas a 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ o superiores, y una concentración en nitratos superior a 50 mg/L de NO_3^- . Además, presentan contenidos ligeramente elevados de cloruros, sulfatos y calcio. (IGME, 2000).

Las aguas del aluvial del río Guadahortuna, son de facies bicarbonatada cálcica con salinidad total comprendida entre 50 y 1000 mg/L (IGME, 1981).

No se dispone de datos de evolución temporal de ningún parámetro fisicoquímico de las aguas de esta MASb.

4.6. Explotación por bombeo

La explotación por bombeo de la MASb 05.41 para el año 2009 según información facilitada por la CHG es de 16,42 hm³/año. A continuación se detalla por usos del agua:

- Explotación para riego: La explotación por bombeo para riego de captaciones localizadas dentro de la poligonal envolvente de la MASb se detalla en la tabla 17 adjunta en el que se incluye también la superficie y el consumo totales de cada agrupación. No ha sido posible diferenciar por acuíferos al desconocerse la ubicación exacta de las captaciones. El volumen total es de 15,78 hm³/año utilizados para el riego de 7.893 ha.

Tabla 17.- Explotación de bombeo para riego

Nombre Agrupación	Superficie regada		Consumo Bruto	
	Tot. Agrup.	Origen MAS	Tot. Agrup.	Origen MAS
C.R. de Guadahortuna	321,77	141,77	1,81	0,80
C.R. Venta Nueva y Cañatalba	4	4	0,01	0,01
C.R. El Hidalgo	340,18	340,18	0,60	0,60
C.R. Las Ramblas y Barranco del Agua	118,02	118,02	0,21	0,21
C.R. Las Cañerías	25,18	25,18	0,04	0,04
C.R. Cooperativa de Solera	295,31	295,31	0,52	0,52
C.R. Cortijo Nuevo	31,57	31,57	0,06	0,06
C.R. La Solana	19,75	19,75	0,03	0,03
Alamedilla - Regantes Particulares	796,67	796,67	2,06	2,06
Dehesas de Guadix - Regantes Particulares	1390	250	5,42	0,97
Guadahortuna - Regantes Particulares	135,18	110	0,32	0,26
Montejícar - Regantes Particulares	520	146,06	0,94	0,26
Pedro Martínez - Regantes Particulares	1.000,51	558,37	1,92	1,07
Píñar - Regantes Particulares	1.857,16	234,98	3,28	0,42
Torre-Cardela - Regantes Particulares	31,57	31,57	0,06	0,06
Bélmez de la Moraleda - Regantes particulares - Pozo	122,24	58,54	0,21	0,10
Cabra del Santo Cristo - Regantes particulares - Pozo	2.492,21	1.475,26	4,41	2,61
Cabra del Santo Cristo - Regantes particulares - Pozo	2.492,21	748,4	4,41	1,32
Huelma - Regantes particulares - Pozo	2.586,52	1.911,43	4,53	3,34
Huelma - Regantes particulares - Pozo	2.586,52	385,77	4,53	0,67
Larva - Regantes particulares	244,18	209,81	0,43	0,37
TOTAL	17.410,75	7.892,64	35,77	15,78

- Explotación para abastecimiento urbano: La extracción anual para abastecimiento urbano en la MAS es de 0,52 hm³/año.
- Explotación para la industria: La extracción anual para abastecimiento de la industria ubicada en la MAS es de 0,12 hm³/año.

También se dispone de la explotación por bombeo para el año 2008 (fuente CHG) que es de 11,42 hm³/año distribuidos en 10,78 hm³/año para riego, 0,52 hm³/año y 0,12 hm³/año para la industria.

4.7. Relaciones río-acuífero

En el estudio "Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica" se definieron dentro de la poligonal envolvente de la MASb cinco tramos con relación río-acuífero sobre la base de la ubicación de los principales manantiales (IGME-CHG 2001). Estos tramos son los siguientes:

- Barranco de Ocaña (051.041.001): Tramo ganador de 2.066 m de longitud sobre este barranco en donde se localizan los manantiales Arroyo de Gante (203930021) y Fuente del Cortijo Almenas (203930029) los cuales drenan las calizas y dolomías jurásicas de la subunidad de Gante-Santerga por la presencia de sedimentos detríticos semipermeables pliocuaternarios a techo del acuífero de Serreta-Gante. El modelo conceptual es el de la descarga puntual por un grupo de manantiales. El tramo se encuentra en régimen natural modificado porque el manantial Arroyo de Gante se encuentra regulado por un sondeo.

Existe disponibilidad de información para cuantificar el tramo. Se dispone de 62 medidas de caudal (NAE=62) sobre el manantial Arroyo de Gante (203930021) a cargo de la red hidrométrica histórica del IGME si bien no se conoce que porcentaje del drenaje acaba en el arroyo y cual es el derivado para otros usos. Se ha estimado un valor medio del parámetro de agotamiento (α) de 0,103 mes⁻¹, lo que implica un periodo de semiagotamiento de 6,8 meses, pero se desconocen los periodos de funcionamiento del sondeo de regulación por lo que conviene tomar este valor con cierta reserva. Por otro lado el caudal medio ha sido de 18 L/s entre el 19/01/1983 y el 13/06/2000. En la figura 68 se muestran los datos de caudal disponibles de este manantial sobre un hidrograma.

En el estudio del IGME-CHG (2001) se estima en 10 L/s el caudal medio de la Fuente del Cortijo Almenas (203930029), que habría que sumar a la descarga por el Arroyo de Gante.

- Río Huelma (051.041.002): Tramo ganador de 3.825 m de longitud sobre este río en virtud de la existencia en su cabecera del manantial Los Gallardos (203920013) el cual drena las calizas y dolomías jurásicas de la subunidad de Gante-Santerga por la presencia de margas y margocalizas del Jurásico y Terciario, y Trías arcilloso, que se sitúan a muro del acuífero de Los Gallardos. El modelo conceptual es el de la descarga puntual por un único manantial.

El tramo se debe encontrar en régimen natural. Según el estudio del IGME-CHG (2001) el caudal medio del manantial Los Gallardos (203920013) es de 3 L/s.

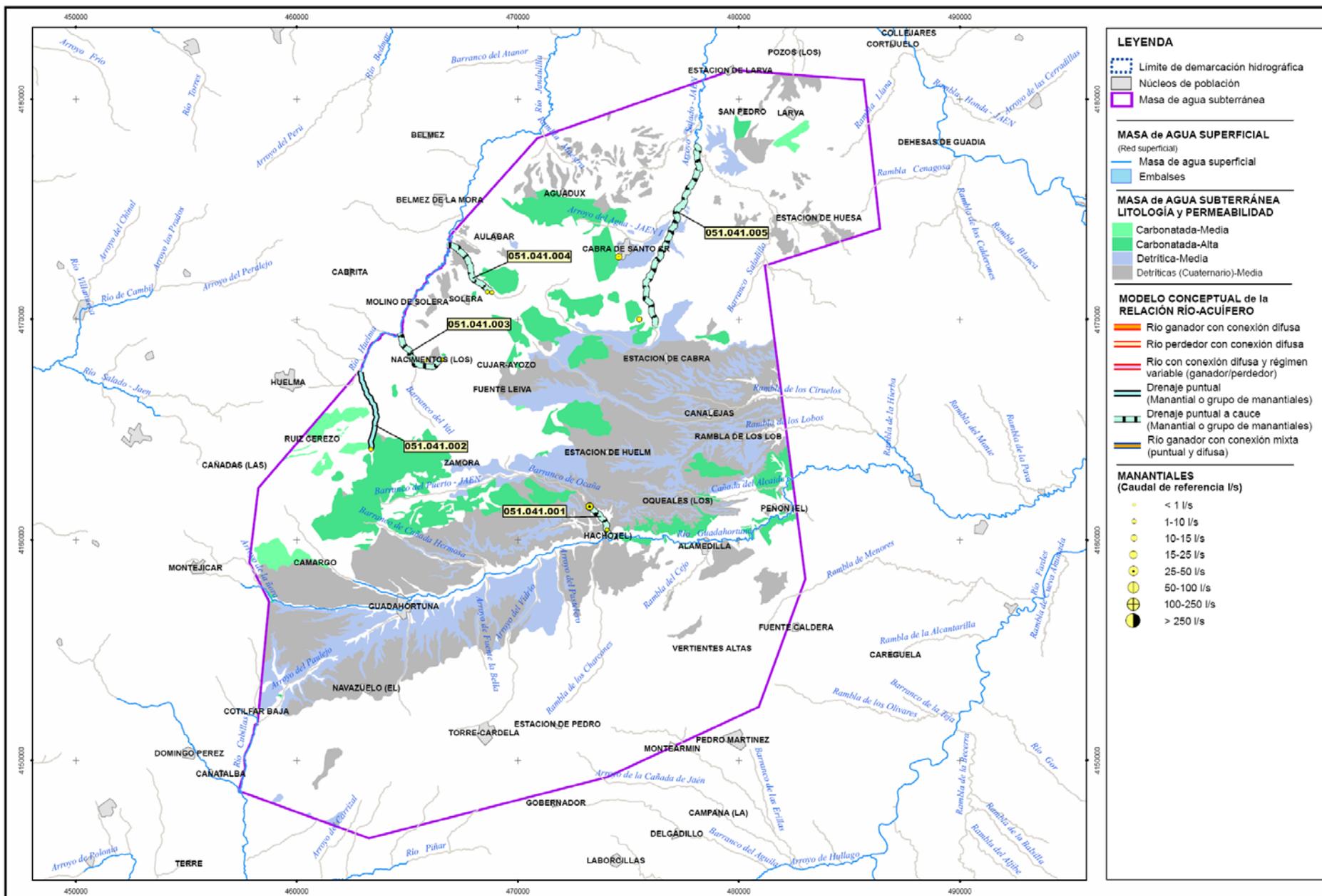


Figura 68.- Tramos de los principales ríos y arroyos incluidos en la poligonal envolvente de la MASb.

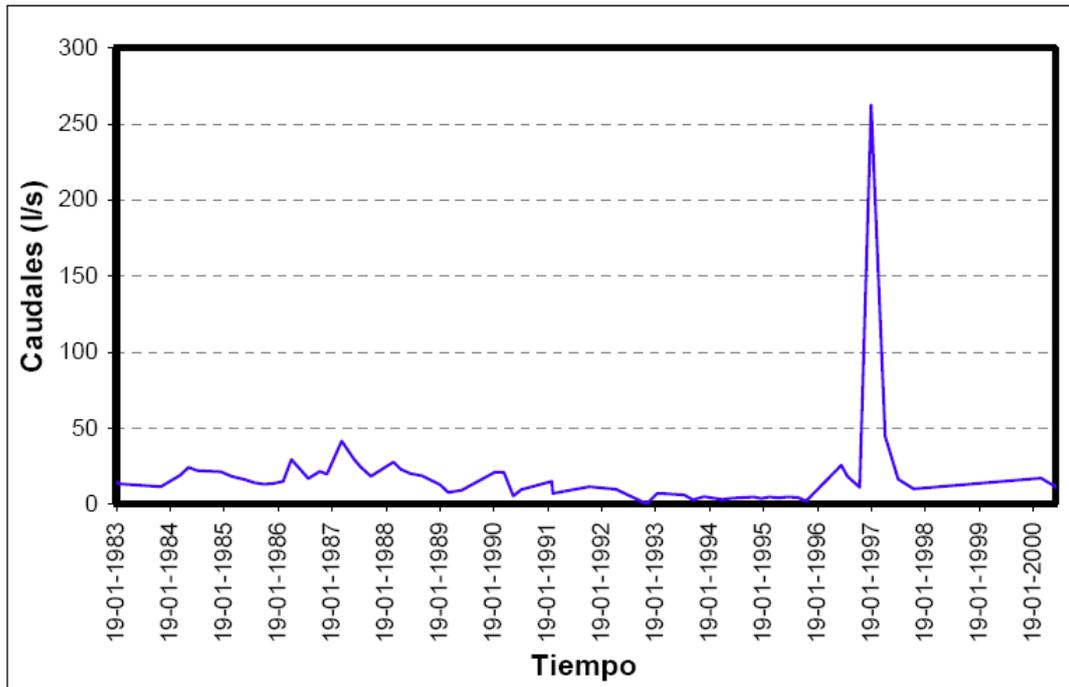


Figura 69.- Hidrograma del manantial Arroyo de Gante (203930021).

- Los Nacimientos-Barranco del Solar (051.041.003): Tramo ganador de 3.244 m de longitud sobre este cauce en donde se reciben las descargas de los manantiales Los Nacimientos (203920017/18) los cuales drenan las calcarenitas terciarias de la subunidad de Larva-Solera por la presencia de arcillas, yesos y areniscas del Trías a muro del acuífero. El modelo conceptual es el de la descarga puntual por varios manantiales. El tramo se debe encontrar en régimen natural. Según el estudio del IGME-CHG (2001) el caudal conjunto de Los Nacimientos (203920017/18) es de 15 L/s.

- Barranco de la Cañada de Cabrera (051.041.004): Tramo ganador de 3.737 m de longitud sobre este cauce en donde se reciben las descargas de los manantiales Fte. Los Higueros (203860004) y Fuente Las Negras (203860005) los cuales drenan las calcarenitas terciarias de la subunidad de Larva-Solera por la presencia de arcillas, yesos y areniscas del Trías a muro del acuífero La Sazadilla. El modelo conceptual es el de la descarga puntual por varios manantiales. El tramo se debe encontrar en régimen natural. Según la base de datos de hidrometría del IGME consultada el caudal histórico de referencia de los manantiales Fte. Los Higueros (203860004) y Fte. Las Negras (203860005) es de 4 y 9 L/s respectivamente, 13 L/s en total.

- Arroyo del Salado-JAEN (051.041.005): Tramo ganador de 10.369 m de longitud sobre este cauce en donde se reciben las descargas de los manantiales El Nacimiento (203870002) y Molino del Barranco (203870009) los cuales drenan las calizas y dolomías jurásicas de la subunidad de Larva-Solera por la presencia de arcillas, yesos y areniscas del Trías a muro del acuífero de Chotos-Cortijo Hidalgo. El modelo conceptual es el de la descarga puntual por varios manantiales. El tramo se debe encontrar en régimen natural. Según el estudio del IGME-CHG (2001) el caudal medio de los manantiales El Nacimiento (203870002) y Molino del Barranco (203870009) es de 20 y 11 L/s respectivamente, 31 L/s en total.

En las tablas 18 y 19 se resumen el modelo conceptual de la relación río-acuífero para cada tramo y la cuantificación, respectivamente.

Tabla 18.- Modelo conceptual de la relación río-acuífero para cada tramo

Código del tramo	Nombre del cauce	MAS relacionadas según codificación CEDEX		Características de la MAS a relacionada			Formación Geológica Permeable
		Código	Nombre	Categoría	Tipología	Alteración	
051.041.001	Barranco de Ocaña	ES0511012014	-	Río	Ríos de Montaña Mediterránea Calcárea	Masa natural	Calizas y Dolomías jurásicas de "Guadahortuna-Larva" + Conglomerados, limos y arenas pliocuaternarias de la Depresión de Guadahortuna
051.041.002	Río Huelma	ES0511009036	-	Río	Ríos Mineralizados de Baja Montaña Mediterránea	Masa natural	Calizas y Dolomías jurásicas de "Guadahortuna-Larva"
051.041.003	Los Nacimientos-Barranco del Solar	ES0511009036	-	Río	Ríos Mineralizados de Baja Montaña Mediterránea	Masa natural	Calcarenitas terciarias de "Guadahortuna-Larva"
051.041.004	Barranco de la Cañada de Cabrera	ES0511009036	-	Río	Ríos Mineralizados de Baja Montaña Mediterránea	Masa natural	Calcarenitas terciarias de "Guadahortuna-Larva"
051.041.005	Arroyo del Salado - JAEN	ES0511009040	-	Río	Ríos Mineralizados de Baja Montaña Mediterránea	Masa natural	Calizas y Dolomías jurásicas de "Guadahortuna-Larva"

Tabla 19.- Cuantificación para cada tramo

Código del tramo	Nombre del cauce	Modelo conceptual relación río-acuífero	Régimen hidrogeológico	Características del lecho del cauce	Hidrogeología del techo	Génesis de la descarga (ref. acuífero)	Longitud del tramo (m)
051.041.001	Barranco de Ocaña	Descarga puntual por un grupo de manantiales	Natural modificado	-	-	Rebose hidrogeológico de las calizas y dolomías jurásicas de la subunidad de Gante-Santerga por la presencia de sedimentos detríticos semipermeables pliocuaternarios a techo del acuífero de Serreta-Gante	2.066
051.041.002	Río Huelma	Descarga puntual por un único manantial	Natural	-	-	Rebose hidrogeológico de las calizas y dolomías jurásicas de la subunidad de Gante-Santerga por la presencia de margas y margocalizas del Jurásico y Terciario, y Triás arcilloso, a muro del acuífero de Los Gallardos	3.825
051.041.003	Los Nacimientos-Barranco del Solar	Descarga puntual por un grupo de manantiales	Natural	-	-	Rebose hidrogeológico de las calcarenitas terciarias de la subunidad de Larva-Solera por la presencia de arcillas, yesos y areniscas del Triás a muro del acuífero Los Nacimientos	3.244
051.041.004	Barranco de la Cañada de Cabrera	Descarga puntual por un grupo de manantiales	Natural	-	-	Rebose hidrogeológico de las calcarenitas terciarias de la subunidad de Larva-Solera por la presencia de arcillas, yesos y areniscas del Triás a muro del acuífero La Sazadilla	3.737
051.041.005	Arroyo del Salado - JAEN	Descarga puntual por un grupo de manantiales	Natural	-	-	Rebose hidrogeológico de las calizas y dolomías jurásicas de la subunidad de Larva-Solera por la presencia de arcillas, yesos y areniscas del Triás a muro del acuífero de Chotos - Cortijo Hidalgo	10.369

5. BALANCE HÍDRICO. ENTRADAS Y SALIDAS

En la "Norma de Explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.41 (Guadahortuna-Larva) Actualizada y modificada año 2001" se incluye un balance global aproximado, para

toda la MASb, como suma de los balances de cada una de las subunidades que la componen. En dicho balance se determina un volumen de agua de entrada en la MASb de 12,5 hm³/a, que se corresponde con el mismo volumen de salidas, si bien en la MASb existe un volumen adicional de 3,50 hm³/a que se encuentra en circulación entre subunidades. Este valor de entradas de agua a la MASb es el considerado como más acorde con la realidad actualmente.

En cuanto a los balances por subunidades, en el mismo documento se incluyen los que a continuación se relacionan indicándose el organismo y año de procedencia. Es conveniente destacar que, si bien los valores asignados a las entradas pueden considerarse próximos a la realidad, las extracciones por bombeo han aumentado probablemente en todos los casos y en algunos de manera significativa.

➤ *Subunidad de Larva – Solera (DPJ, 1997):*

• <u>Entradas:</u>	hm ³ /a
Infiltración de agua de lluvia	3,0
TOTAL	3,0
• <u>Salidas:</u>	hm ³ /a
Bombeos	0,4
Descargas naturales.....	1,9
Flujo subterráneo hacia la subunidad Pliocuaternaria	0,7
TOTAL	3,00

➤ *Subunidad de Gante – Santerga (DPG, 1995)*

• <u>Entradas:</u>	hm ³ /a
Infiltración de agua de lluvia	1,3
TOTAL	1,3
• <u>Salidas:</u>	hm ³ /a
Bombeos	0,2
Descargas naturales.....	0,3
Flujo subterráneo hacia la subunidad Pliocuaternaria	0,8
TOTAL	1,3

➤ *Subunidad de los Altos de Torrecardela (ITGE, 1992)*

• <u>Entradas:</u>	hm ³ /a
Infiltración de agua de lluvia	3,0
TOTAL	3,0
• <u>Salidas:</u>	hm ³ /a
Bombeos	1,0
Descargas naturales.....	0,2
Flujo subterráneo hacia la subunidad Pliocuaternaria	1,8
TOTAL.....	3,0

➤ Subunidad Pliocuaternaria de la Depresión de Guadahortuna

- Entradas: hm³/a

Infiltración de agua de lluvia	2,8
Aportes subterráneos desde otras subunidades	3,3
TOTAL.....	6,1
- Salidas: hm³/a

Bombeos	2,2
Descargas naturales.....	2,4
Flujo subterráneo hacia la subunidad Aluvial.....	1,5
TOTAL.....	6,1

➤ Subunidad Aluvial del Río Guadahortuna (DPG, 1995)

- Entradas: hm³/a

Infiltración de agua de lluvia	0,4
Aportes subterráneos desde otras subunidades	1,5
Infiltración por escorrentía superficial	2,0
TOTAL.....	3,9
- Salidas: hm³/a

Bombeos	3,5
Descargas naturales.....	0,4
TOTAL.....	3,9

6. CONSIDERACIONES

El volumen de agua extraída por bombeo (16,4 hm³/año para 2009) supera a las entradas de 12,5 hm³/año consideradas en el balance redactado en 2001 (pero de origen anterior) y el grado de explotación se aleja del concepto de uso sostenible, esta explotación no es una constante en la MASb sino que se da en acuíferos concretos de los que la componen y no es posible, con los datos de que se dispone, determinar en cual de ellos.

La información piezométrica disponible indica un progresivo descenso de la superficie piezométrica en los acuíferos de Cabra del Santo Cristo y de Larva, ambos de la Subunidad de Larva-Solera aunque únicamente durante un periodo de medida de cuatro y dos años, respectivamente, lo que no se puede considerar como una tendencia representativa de la evolución "histórica" de ambos acuíferos. Además, a efectos de toda la MASb, estos son solamente dos de los tres acuíferos que componen la subunidad y dos de los doce que componen la MASb (sin contar los sectores en que se pueden subdividir). Por ello, atribuir un descenso a toda la MASb no se considera adecuado.

No se dispone de datos de evolución de la calidad química de las aguas subterráneas que indiquen una sobreexplotación en ningún caso, salvo algunos indicios en el acuífero de Larva.

Todos los principales tramos de los cauces superficiales que atraviesan la MASb parecen encontrarse en régimen natural sin apreciarse, en la documentación consultada, una afección significativa.

La falta de información en cuanto a la distribución de los puntos de extracción y su discriminación por acuífero hace imposible el cálculo de índices de explotación medianamente fiables.

6.7.- MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 05.43 SIERRA Y MIOCENO DE ESTEPA

1. INTRODUCCIÓN

La explotación intensiva de algunos de los acuíferos que forman la Masa de Agua Subterránea 05.43 Sierra y Mioceno de Estepa ha provocado una modificación considerable de su funcionamiento hidrogeológico.

El agotamiento temporal, e incluso permanente, de los principales manantiales asociados a los acuíferos carbonáticos de la Sierra de Estepa (entre los que destacan el Ojo de Gilena, el Ojo de Pedrera, la Fuente de Santiago y los manantiales de Alamedilla y Almarjal), como consecuencia de su explotación, y el empeoramiento generalizado de la calidad del agua para distintos usos, por incremento de su salinidad y del contenido en nitratos, constituyen síntomas evidentes de una explotación intensiva del agua subterránea. Estos impactos negativos, tanto de tipo ecológico como socioeconómico, han dado lugar a cierta preocupación popular y oficial en relación con los recursos hídricos subterráneos de esta MASb, por lo que, durante los últimos años, se han realizado una serie de estudios y actuaciones promovidos por la Agencia Andaluza del Agua (AAA), la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir (DHG), la Diputación Provincial de Sevilla (DPS) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

El procedimiento para la declaración de acuíferos sobreexplotados está recogido en el artículo 56 y en el 87.2 del texto Refundido de la Ley de aguas y en el artículo 171 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RD 606/2003, de 23 de mayo), en donde en el punto 2 se dice que: "A los efectos previstos en el apartado anterior, se considerará que los recursos subterráneos de una zona están sobreexplotados o en riesgo de estarlo cuando se dé algunas de las siguientes condiciones:

- Que se esté poniendo en peligro la subsistencia de los aprovechamientos de aguas subterráneas existentes o de los actuales ecosistemas directamente asociados a esta agua que hayan sido objeto de delimitación y posterior declaración conforme a la legislación ambiental, como consecuencia de que se vinieran realizando en los acuíferos de la zona extracciones medias anuales superiores o muy próximas al volumen medio interanual de recarga.
- Que se vengán realizando extracciones que generen un deterioro significativo de la calidad del agua.
- Que el régimen y concentración de las extracciones sea tal que, aún no existiendo un balance global desequilibrado, se esté poniendo en peligro la sostenibilidad de los aprovechamientos a largo plazo".

2. ASPECTOS GENERALES DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA

2.1. Situación y límites

La Masa de Agua Subterránea Sierra y Mioceno de Estepa (05.43) se extiende por el sector oriental de la provincia de Sevilla y por el norte de la provincia de Málaga. Se sitúa en la parte central de la cuenca del Guadalquivir, en la margen izquierda del río (figura 70). Destacan, respecto a una región deprimida, modelada en materiales blandos, un conjunto de modestas elevaciones de naturaleza carbonática, entre las que cabe citar los vértices de Becerrero (838 m s.n.m), en la Sierra de Estepa, el Morrón de la Cruz (748 m s.n.m), en la Sierra de los Caballos, y el Pico de los Almadenes (588 m s.n.m.), en la sierra del mismo nombre (figura 70).

Las precipitaciones son escasas, algo menos de 500 mm/año en el periodo 1976-2002, al quedar esta zona a sotavento de los importantes relieves que interceptan los frentes que penetran desde el Golfo de Cádiz. Su distribución temporal muestra una marcada irregularidad interanual, de modo que alternan cortos periodos lluviosos, de precipitaciones muy intensas, con dilatados periodos secos. Los valores de la temperatura media anual del aire, durante el periodo 1977-2002, están comprendidos entre 16 y 18 °C. Existe una fuerte amplitud térmica anual, con medias mensuales máximas en el mes de julio (24 °C) y mínimas en el mes de enero (9 °C).

2.2. Ecosistemas asociados

Los cursos fluviales asociados a las descargas de agua subterránea, manantiales y zonas húmedas de alimentación mixta (subterránea y superficial) de la MASb "Sierra y Mioceno de Estepa" presentan serias afecciones como consecuencia de la inadecuada explotación de algunos de los acuíferos que la forman.

Cuando los acuíferos carbonáticos de la Sierra de Estepa y de la Sierra de los Caballos funcionaban en régimen natural se descargaban por manantiales emblemáticos que alimentaban a arroyos como los del la Fuente de Santiago, Salado de Pedrera y de la Rivera, en el caso de la Sierra de Estepa, o el de la Albina, en el caso de la Sierra de los Caballos (figura 2). La explotación no planificada de estos acuíferos ha provocado que sus principales manantiales estén secos de forma permanente, como en el caso del manantial del Ojo de Pedrera (1541/8/0004) y del manantial de El Almarjal (1641/1/0019), y que otros sólo se activen cortos periodos de tiempo tras los años húmedos; es el caso de la Fuente de Santiago (1641/1/0001) o el Ojo de Gilena (1541/4/0021)(figura 71).

Por otro lado, en condiciones naturales, el acuífero detrítico de Martín de la Jara alimenta a la laguna del Gosque, uno de los humedales de campiña más importantes de la provincia de Sevilla. La incontrolada construcción de captaciones en el entorno de la laguna, destinados al riego del olivar, ha provocado un descenso de los aportes subterráneos, que se manifiesta, en el agotamiento prácticamente permanente de los manantiales que existían en el perímetro de la laguna, que han pasado de funcionar de forma permanente a hacerlo esporádicamente tras años de intensas lluvias.

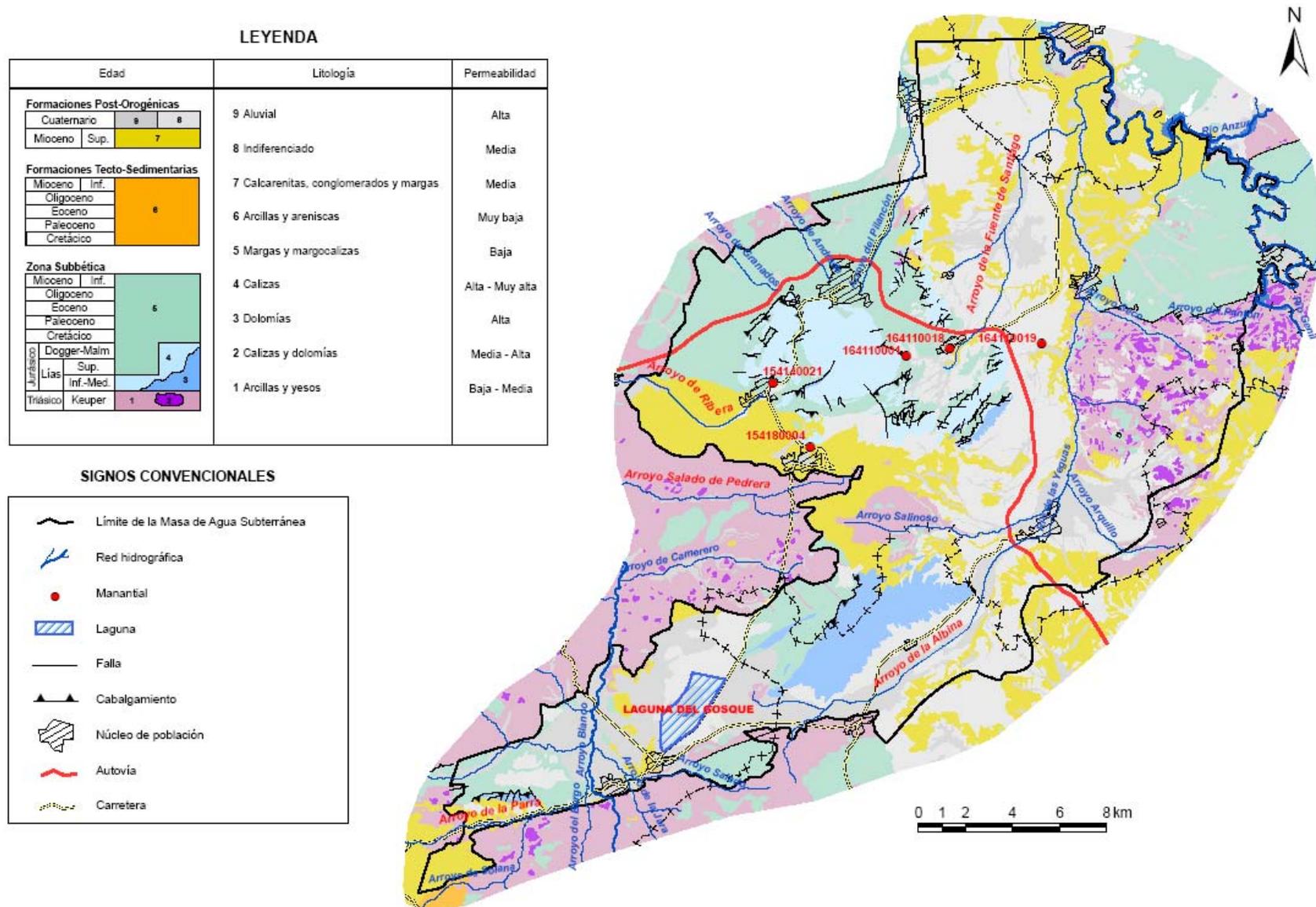


Figura 71.- Ecosistemas asociados a la MASb 05.43.

3. MARCO GEOLÓGICO

Las características estratigráficas y estructurales permiten diferenciar en esta MASb varias unidades, atribuidas por Cruz-Sanjulián (Cruz-Sanjulián 1974), respectivamente, a los Dominios Subbético Medio meridional (unidad Sierra de los Caballos y Picos de los Almadenes), Subbético Externo septentrional (unidad de Estepa, también conocida como de Becerrero), Subbético Externo meridional (unidad de Hacho de Lora-Mingo-Guinchón) y Manto de Antequera-Osuna. Discordantes sobre las unidades descritas afloran materiales postorogénicos, neógenos y cuaternarios, que dan lugar a otros acuíferos detríticos de especial interés.

La secuencia estratigráfica de la unidad de Becerrero incluye materiales de edades comprendidas entre el Trías (en facies germano-andaluza) y el Mioceno inferior. El Jurásico inferior y medio está representado por un potente paquete calizo, con un espesor medio de 400 m, de facies muy someras, dolomitizado en la base y que en el techo presenta una discontinuidad fosilizada por calizas pelágicas del Jurásico superior. Sobre las calizas descansa un potente conjunto (700 m), predominantemente margoso, que incluye el Cretácico inferior, las "Capas Rojas" del Cretácico superior-Paleoceno, y los materiales del Eoceno al Burdigaliense, entre los que abundan las facies de flysch calcáreo. La estructura corresponde a la de un domo anticlinal, vergente hacia el Norte.

La unidad geológica, denominada por Castro (1990), Hacho de Lora-Mingo-Guinchón incluye una serie de afloramientos de materiales jurásicos, de posición controvertida, pero aparentemente desenraizados y superpuestos mecánicamente sobre las margas y margocalizas cretácicas y terciarias, de la unidad de Becerrero (Martos-Rosillo 2005). El Lías inferior está representado por dolomías en la base y calizas en el techo, de carácter eminentemente mareal. Sobre estos sedimentos se depositaron las margas del Lías medio y superior. Corresponden al Dogger los sedimentos calizos de plataforma carbonatada, que culminan la secuencia (Castro 1990).

La Sierra de los Caballos y la de los Almadenes las forman materiales de edades comprendidas entre el Jurásico inferior y el Cretácico inferior, si bien en la última no aparecen las citadas series de ambos extremos. El Lías inferior y medio lo constituyen unos 650 m de dolomías, entre las que se pueden diferenciar facies marinas someras, que a techo pasan a alternarse con calizas, a las que siguen unos 200 m de margocalizas, del Lías superior. El resto del Jurásico lo representan unas dolomías masivas, en ocasiones brechificadas con facies de medios someros, y unos 100 m de margocalizas blancas con sílex sobre las que se superponen margocalizas y margas del Cretácico inferior. Los afloramientos de la Sierra de los Caballos dibujan el flanco septentrional invertido de un anticlinal, de dirección N30-50° E, vergente al Norte. La Sierra de los Almadenes, corresponde a una lámina cabalgante, supuestamente desenraizada, en las que destaca una falla inversa de dirección E-O, vergente al Norte.

El Manto de Antequera - Osuna aflora en las zonas deprimidas existentes entre las unidades descritas y está formado por materiales triásicos, en facies germano-andaluza, y un conjunto post-triásico que abarca hasta el Paleógeno y que se presenta en afloramientos dispersos y de escasa entidad. Entre los materiales triásicos predominan las arcillas abigarradas y las areniscas. Asociados a estos materiales se identifican rocas evaporíticas, calizas dolomíticas, rocas ígneas y mineralizaciones de hierro. En el conjunto postríásico abundan margas, margocalizas y calizas.

Los materiales post-orogénicos, discordantes a las unidades subbéticas, dan lugar a acuíferos cierto interés como es el caso de los acuíferos miocenos de Estepa, del Saucejo y de Martín de la Jara, formados por areniscas, conglomerados y margas del Mioceno. Todos incluidos en la masa de agua subterránea Sierra y Mioceno de Estepa.

Como rasgos geomorfológicos más representativos destacan, en los materiales carbonáticos de las sierras de Estepa y de los Caballos, la presencia de abundantes formas exokársticas, especialmente lapiares y algunas dolinas. No existen indicios de formas endokársticas. Sobre los materiales del Manto de Antequera – Osuna, abundan formas intrincadas, bad-lands y pequeñas cuencas endorreicas que dan lugar a lagunas como la del Gosque, situada cerca de la localidad de Martín de la Jara.

4. MARCO HIDROGEOLÓGICO

4.1. Antecedentes

Las primeras referencias a los acuíferos calcáreos de la comarca de Estepa se encuentran en los estudios realizados por la FAO en la Cuenca del Guadalquivir (FAO 1969, 1970). En estos trabajos se identifican los acuíferos y se elaboran las primeras fichas de inventario de la zona, sin abordar un análisis más pormenorizado.

En 1972, el IGME publicó el primer "Mapa Hidrogeológico Nacional" (IGME 1972). En este mapa, en la Cuenca del Guadalquivir, se incluye el Sistema Acuífero "EA" (Macizo de Sierra de Estepa). Posteriormente, en el Catálogo de unidades hidrogeológicas del territorio Peninsular e Islas Baleares (MOPU and IGME 1988), el macizo de la Sierra de Estepa se incluyó, junto con el acuífero Mioceno de Estepa, en la Unidad Hidrogeológica Sierra y Mioceno de Estepa (05.43). En 1972, R. Sola, en su Tesis de Licenciatura, estudió la hidrogeología de estos relieves. Señaló las diferencias litoestratigráficas entre las unidades de Becerrero, Hacho de Lora y el resto de afloramientos calcáreos. Estableció un primer balance del acuífero y analizó la hidroquímica del agua subterránea.

Como consecuencia de la importancia estratégica de los recursos hídricos subterráneos existentes en esta sierra, el IGME comenzó a realizar una serie de estudios hidrogeológicos durante los años setenta del siglo XX. El primero de estos trabajos (IGME 1976) aportó datos hidrogeológicos detallados de la Sierra de Estepa: incluyó una cartografía geológica a escala 1/30.000, definió la secuencia estratigráfica de la unidad de Becerrero y llegó a diferenciar tres unidades hidrogeológicas: Estepa, Pleites, y Águilas, si bien se cita el Hacho de Lora como una unidad carente de interés. Estas unidades se diferenciaron a partir de criterios geológicos, pero el trabajo no estableció las diferencias litoestratigráficas existentes entre las unidades geológicas de Becerrero y del Hacho de Lora-Mingo-Guinchón. Este hecho, unido a la ausencia de datos piezométricos, dejó sin aclarar las posibles conexiones hidráulicas entre los distintos afloramientos calcáreos. El estudio incluyó una campaña de prospección geofísica con sondeos eléctricos verticales, un inventario de puntos de agua y un acertado ensayo de balance hídrico. A partir de este trabajo, son numerosos los informes técnicos realizados por el IGME. En 1993, el entonces ITGE hizo una recopilación bibliográfica de los estudios y proyectos de índole hidrogeológica realizados en el ámbito de la Unidad Hidrogeológica de Estepa. En este trabajo se citan más de cuarenta proyectos e informes técnicos, entre los que destacan los referentes a informes finales de obra de sondeos de investigación y de explotación, dirigidos por el IGME, para mejorar el abastecimiento de las poblaciones limítrofes (ITGE 1993).

Cabe resaltar las distintas propuestas de normas de explotación realizadas con objeto de establecer una ordenación de los recursos hídricos de los acuíferos incluidos en la Unidad Hidrogeológica de la Sierra de Estepa (CHG 1994, IGME 2002a, ITGE 1993).

Desde el año 1976, se tienen datos, con cierta continuidad, de medidas piezométricas, caudales aforados en manantiales y caudales de explotación de las principales

captaciones. Este control permite disponer de series de datos de relativa longitud, fundamentalmente piezométricos, que están almacenadas en la Base de Datos AGUAS del IGME. Esta red de control aportó la información necesaria para la realización de distintos informes (IGME 1977, 1978, 1979, 1981, 1982, 1985b) y comunicaciones en congresos (Batlle, Martín-Machuca 1981, Vázquez-Mora et al. 2001), en los que se relaciona la variación de almacenamiento del sector de la Sierra de Becerrero con el volumen explotado, las salidas por manantiales y la precipitación. Con tales datos se estimaron coeficientes de infiltración y coeficientes de almacenamiento de las zonas drenadas, principalmente en épocas secas. Entre los años 2003 y 2006, el IGME actualizó el conocimiento hidrogeológico de los acuíferos de la Sierra de Estepa (IGME 2006), mediante un estudio que sirvió de soporte a la realización del trabajo de investigación tutelada de Martos-Rosillo (2005) y de su posterior Tesis Doctoral (Martos-Rosillo 2008) e incluyó una propuesta de gestión de los recursos hídricos de este acuífero. Asimismo, los resultados del estudio citado se incluyeron en distintas comunicaciones en congresos, que tratan aspectos relacionados con la hidroquímica (Martos-Rosillo et al. 2004, Martos-Rosillo et al. 2008d), con la aplicación de indicadores sobre el estado cuantitativo y cualitativo de las aguas subterráneas (Lambán y Pernía 2004, Vrba and Lipponen 2007), con el uso de nuevas técnicas de perforación y de registro de sondeos de explotación de aguas subterráneas (Martos-Rosillo et al. 2006a), con la evaluación de la recarga (Martos-Rosillo et al. 2006b, Martos-Rosillo et al. 2008a, Martos-Rosillo et al. 2008b) y con distintas propuestas de gestión de acuíferos sometidos a explotación intensiva en función del tiempo de residencia del agua en el acuífero (Martos-Rosillo et al. 2008c).

Lamentablemente, no existe el mismo conocimiento hidrogeológico del resto de acuíferos que integran la Masa de Agua Subterránea. Por tanto, el número de informes y de publicaciones al respecto también es menor.

La hidrogeología de la Sierra de los Almadenes tan solo se ha estudiado, de forma preliminar, en un informe realizado por el IGME, en el año 2002, para la Diputación Provincial de Sevilla, en concreto, para el Consorcio de Abastecimiento de Aguas de la Sierra Sur de Sevilla (IGME 2002b). Por otro lado, los estudios hidrogeológicos realizados en los acuíferos detríticos de la MASb (IGME 1985a, 1988a) y de los que parte la información hidrogeológica que posteriormente se ha utilizado para elaborar las diferentes Normas de Explotación de la Unidad Hidrogeológica de la Sierra de Estepa y el Atlas Hidrogeológico de la provincia de Sevilla, requieren una mejora y actualización, dadas las fechas en las que se realizaron.

4.2. Los acuíferos de la masa de agua subterránea

En la MASb Sierra y Mioceno de Estepa están incluidos los acuíferos carbonáticos de la Sierra de Estepa (acuíferos de Becerrero, Águilas-Guinchón, Pleites, Hacho de Lora y Mingo), de los Caballos y de los Almadenes, y los acuíferos detríticos del Mioceno de Estepa, del Saucejo y de Martín de la Jara (figura 72). Estos diez acuíferos presentan un funcionamiento hidrogeológico independiente.

El acuífero carbonático de la Sierra de Becerrero está formado por unos 400 m de dolomías y calizas permeables del Jurásico, que afloran en una superficie de 26,2 km². Está limitado en profundidad por un sustrato impermeable constituido por los materiales triásicos y se supone que todo su contorno es cerrado al flujo subterráneo. Su recarga se produce por infiltración directa del agua de lluvia. El flujo subterráneo se dirige principalmente hacia el Sur, hacia los manantiales que drenaban el acuífero en régimen no influenciado. Estos manantiales, actualmente regulados al estar el acuífero sometido a una explotación intensiva (IGME 2006), son los de: Ojo de Gilena (471 m s.n.m), Ojo de Pedrera (465 m s.n.m.) y Fuente de Santiago (476 m s.n.m.). Los datos disponibles ponen de manifiesto una fluctuación piezométrica intra-anual

media del orden de 5 m (relativamente homogénea en toda la superficie del acuífero), que llega a ser de 10 m en los años húmedos. Se ha comprobado que la transmisividad es mayor en las zonas de recarga que en las de descarga, con un valor medio de 350 m²/día (Martos-Rosillo 2005). El análisis del balance del acuífero y de su variación del almacenamiento permitió (Batlle y Martín-Machuca 1981) calcular un coeficiente de almacenamiento medio de 3x10⁻². Este acuífero, con unos recursos medios renovables de 6 hm³/año, soporta una explotación de 4,6 hm³/año, en su mayoría destinados al abastecimiento de buena parte de la comarca sevillana de Estepa.

El sector acuífero de Hacho de Lora-Mingo-Guinchón incluye una serie de afloramientos jurásicos dispersos, con una superficie total de afloramientos permeables de 8,6 km². En este sector se han diferenciado cuatro acuíferos carbonáticos, desconectados hidráulicamente entre sí (acuíferos de Hacho de Lora, Mingo, Águilas-Guinchón y Pleites). Consisten en pequeños bloques carbonáticos que "flotan" sobre materiales triásicos y sobre los materiales cretácicos y miocenos de la unidad de Becerrero. Su reducida extensión superficial, el mayor de ellos es el de Águilas -Guinchón con 4,4 km², la tipología del límite de muro, normalmente rampas y fracturas de bajo ángulo, su escaso volumen de almacenamiento, la alta difusividad hidráulica, la escasa precipitación anual media y la marcada irregularidad interanual de ésta combinadas con explotación intensa de sus aguas subterráneas los hace altamente proclives a sufrir situaciones de desequilibrio hídrico. Cuestión manifiesta, especialmente, en el sector de Águilas-Guinchón, donde existe un descenso acumulado de más de 63 m en el periodo 1997 a 2009. Todos estos sistemas acuíferos presentan su contorno cerrado al flujo subterráneo salvo los del Hacho de Lora y Mingo que tienen sus límites occidentales en continuidad geométrica con el acuífero Mioceno de Estepa. El único manantial asociado a estos acuíferos es el del Almarjal (355 m s.n.m.), agotado hace varias décadas, y que drenaba el acuífero de Águilas - Guinchón. La transmisividad de estos sistemas es alta, debido al alto grado de fracturación, son frecuentes valores superiores a 1000 m²/día.

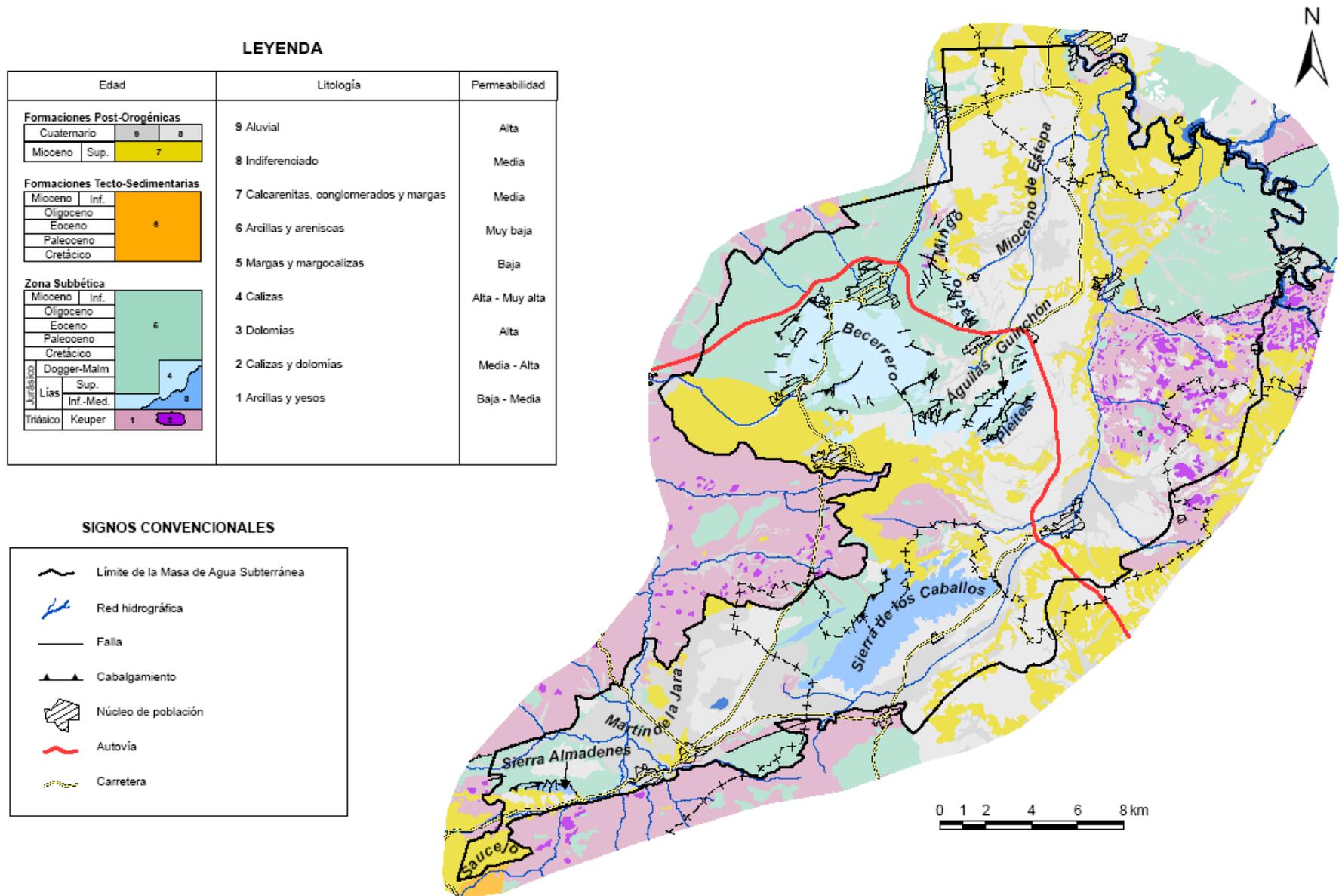


Figura 72.- Acuíferos de la MASb 05.43.

Los recursos medios renovables de los cuatro sistemas son de 2,2 hm³/año y se explotan 2,8 hm³/año, aspecto que se manifiesta en una disminución continuada de reservas en alguno de ellos y que ha provocado serios problemas, durante los últimos años, en el abastecimiento mancomunado, de los municipios de Badolatosa, Casariche, Lora de Estepa y La Roda de Andalucía, que se hace desde el acuífero de Águilas-Guinchón.

El acuífero de la Sierra de los Caballos está prácticamente incluido en su totalidad en la provincia de Málaga, aunque una pequeña extensión se localiza en la provincia de Sevilla. Las cotas de este relieve son superiores a los 500 m, el máximo es el Morrón de la Cruz con 748 m s.n.m. La superficie de afloramientos carbonáticos permeables de la Sierra de los Caballos es de 14,5 km² y de 6,5 km² en materiales detríticos. Se supone que el límite inferior lo forman materiales triásicos. Los límites sur, este y oeste están en contacto con materiales permeables postorogénicos. El resto del perímetro se supone cerrado al flujo subterráneo. El flujo subterráneo se dirige principalmente hacia el sureste, hacia los aluviales del arroyo de La Albina. Los datos disponibles ponen de manifiesto una fluctuación piezométrica intra-anual comprendida entre 3 y 5 m. La importante explotación a la que está sometido este acuífero ha ocasionado abatimientos de la piezometría, en estos sectores, de hasta 11 m, si bien, en la actualidad los niveles están próximos a los que presentaba el sistema en régimen no influenciado. Los escasos ensayos de bombeo disponibles permiten estimar transmisividades importantes, de hasta 2700 m²/día. El agua subterránea es de facies bicarbonatada clorurado cálcico magnésica, con conductividades eléctricas medias de 600 a 800 µS/cm. Algunos sondeos de abastecimiento han sido abandonados por haberse superado la concentración de nitratos máxima admisible para el abastecimiento a la población. De los balances hídricos realizados (IGME, 2002) se deduce un valor de recursos medios renovables de 2,7 hm³/año, mientras que la explotación mediante sondeos representa 2,9 hm³/año.

El acuífero de la Sierra de los Almadenes consiste en un pequeño afloramiento con algo menos de 1 km² de calizas con algunos niveles dolomíticos del Subbético medio y de edad jurásica. Todos los límites son de flujo nulo, excepto el meridional, abierto con materiales permeables miocenos. Se alimenta, exclusivamente, por infiltración del agua de lluvia, y se descarga por las fuentes de El Esparto y El Tejar, en el extremo SE y hacia el arroyo de La Parra, al S. El nivel piezométrico de la única captación de la que se dispone de información (1542/3/0037), junto a la Fuente del Esparto, se sitúa entre 370 y 378 m s.n.m. La recarga media es inferior a 0,2 hm³/año, incluida la que se produce en los afloramientos miocenos contiguos y las salidas por bombeo son del orden de 10.000 m³/año. El agua presenta una conductividad eléctrica (CE) media de 1200 µS/cm.

El acuífero detrítico del Saucejo, con 16 km² de afloramientos permeables, lo forman areniscas calcáreas del Mioceno, que pueden alcanzar hasta 100 m de espesor. Estos materiales se disponen de forma subhorizontal; están afectados por pliegues suaves y algunas fracturas y quedan limitados, tanto en profundidad como lateralmente, por materiales impermeables del Manto de Antequera - Osuna y margas y arcillas terciarias. Este acuífero, libre, se recarga por infiltración directa del agua de lluvia y es drenado por el este, hacia el arroyo de La Parra, además de por los sondeos que lo captan. La superficie piezométrica se encuentra entre 5 y 10 de profundidad y las fluctuaciones intra-anales son del orden de 2 m. La recarga media ha sido evaluada en 1 hm³/año. Las salidas por bombeo son del orden de 0,35 hm³/año, si bien esta última cifra no tiene prácticamente ninguna validez al no estar actualizada desde los años ochenta del pasado siglo.

El acuífero detrítico de Martín de la Jara lo forman areniscas miocenas, arenas, limos y gravas cuaternarias. Su espesor es mínimo en las zonas de borde y se incrementa

hasta alcanzar de 15 a 20 m en las zonas centrales. Limita al noroeste y al suroeste con los materiales impermeables del Manto de Antequera – Osuna, al noreste con las calizas y dolomías de la Sierra de los Caballos. El resto del contorno se enfrenta a materiales impermeables del Plioceno. La superficie de afloramientos permeables es de 20 km². Se recarga por infiltración directa del agua de lluvia y por retornos de riego. Las salidas se producen, fundamentalmente, hacia los arroyos de la Fuente y Salado y hacia la laguna del Gosque. Entre ambos sectores de drenaje existe una divisoria hidrogeológica, próxima a la superficial existente entre las cuenca endorreica de la laguna y de arroyo Salado. El nivel piezométrico se encuentra a profundidades máximas de 5 m y fluctúa a lo largo del año entre 1 y 3 m. La recarga media es de 1,3 hm³/año y las salidas por bombeo se estimaron en 1 hm³/año. Los datos de bombeo disponibles datan de finales de los ochenta del siglo pasado (IGME 1988a).

El agua subterránea, de los acuíferos del Saucejo y de Martín de la Jara, tiene una alta mineralización y es de facies clorurado sódica y bicarbonatado cálcica, según su proximidad a los materiales evaporíticos asociados al Trías en facies germano andaluza. La conductividad eléctrica está comprendida entre 500 y 12.000 µS/cm. Destacan los altos contenidos en nitratos, en muchos puntos se superan concentraciones de 100 mg/l y los de cloruros y sodio. Estos contenidos salinos impiden su uso directo para el abastecimiento a la población.

El acuífero Mioceno de Estepa, situado entre las poblaciones sevillanas de Herrera y de La Salada, y las cordobesas de Puente Genil y Casas de la Mina, se extiende sobre un área de 64 km². Lo forman dos niveles acuíferos, relativamente continuos, de areniscas, arenas, calizas y limos, de tonos pardos, incluidos en un conjunto predominantemente margoso. Están separados entre sí por un nivel de margas de 40 m de espesor. El acuífero inferior de este acuífero, semiconfinado y multicapa, tiene un espesor comprendido entre 8 y 13 m. Su geometría no está bien definida. El acuífero superior, de carácter libre y con un espesor comprendido entre 10 y 40 m, está limitado al N y el E, por los ríos Genil y Yeguas, al oeste por margas y mesozoicas y miocenas. El límite meridional no se conoce con precisión. La recarga se produce por infiltración del agua de lluvia y por retornos de riego. Las salidas se hacen por bombeos y por drenaje difuso hacia los ríos Genil y Yeguas. El flujo subterráneo se dirige hacia el norte, si bien existe una divisoria hidrogeológica en el sector septentrional, que coincide con una estructura anticlinal y que desvía el flujo hacia el NE, en el sector próximo a Puente Genil (IGME 1988b). El último balance del que se dispone del acuífero se cita en el Atlas Hidrogeológico de la provincia de Sevilla (Durán 2003). Las entradas se cifraron en 4,2 hm³/año, mientras que las salidas se reparten en 3 hm³/año, para el riego de 2000 ha de olivar, 1 hm³/año, para industria y para abastecimiento a las poblaciones de Puente Genil y la pedanía de La Mina. El resto (0,2 hm³/año) se supone que se drena hacia los ríos Genil y Yeguas.

4.3. Redes de control

Los puntos de control piezométrico e hidrométrico de la MASb 050.43 Sierra y Mioceno de Estepa incluidos en la red de control para el estado cuantitativo de las MASb del Distrito del Guadalquivir se han representado en la figura 73, mientras que sus principales características se resumen en la tabla 20 y 21, respectivamente.

Tabla 20.- Puntos de control piezométrico de la AAA en la MASb 050.43.

CodAct	NIPA_IGME	Provincia	Municipio	X	Y	Z	Prof	Fecha inicio medidas
05.43.002		Sevilla	Gilena	330954,0	4124837,0	471	271	01/01/2007
05.43.003	154180004	Sevilla	Pedreira	332242,0	4122246,0	464	80	01/05/1976
05.43.006	164110036	Sevilla	Estepa	336380,0	4124740,0	480	100	01/01/1985
05.43.007		Sevilla	Estepa	337547,0	4131486,0	355	125	01/01/2007

Tabla 21.- Puntos de control hidrométrico de la AAA en la MASb 050.043.

Cod	NIPA_IGME	Manantial	Provincia	Municipio	X	Y	Z	Fecha inicio medidas
05.43	164110018	Lora de Estepa	SEVILLA	Lora de Estepa	338053,0	4126400,0	435,0	01/10/1979
	154140021	Ojo de Gilena	SEVILLA	Gilena	330675,0	4124980,0	469,0	01/11/1966

De la observación de la figura 4 se deduce que la red de piezometría de la AAA sólo permite obtener información de 2 de los 10 acuíferos que forman la MASb, mientras que la red de hidrometría sólo considera dos sectores de uno de estos 10 acuíferos.

Respecto a la red de control de calidad de las aguas subterráneas, que ha pasado a controlar la Agencia Andaluza del Agua (AAA), los puntos incluidos en la MASb Sierra y Mioceno de Estepa se han representado en la figura 73 y sus principales características se resumen en la tabla 22.

Tabla 22.- Puntos de control de calidad de la AAA en la MASb 050.43.

OBJECT_ID	Código	UTMX	UTMY	Punto de control
84	5.38.01	387005	4119285	Cortijo de la Torre
92	5.43.01	341614	4134595	La Mina
93	5.43.11	335345	4113220	Abastecimiento de Sierra Yeguas
94	5.43.12	336296	4126130	Fuente de Santiago (Abto. Estepa)
95	5.43.13	332150	4123125	Pozo Matagallar
96	5.43.21	327533	4111714	Laguna de Gosque

En la figura 74 están incluidos los puntos de control piezométrico, hidrométrico y de calidad que el IGME, que con cargo a distintos proyectos, ha controlado de forma más o menos periódica. Dada la mayor representatividad de esta información con respecto a la de la Red de la AAA, tanto espacial como temporal, y a su tratamiento en anteriores trabajos llevados a cabo por personal del IGME (IGME 2006, Martos-Rosillo 2005, Martos-Rosillo 2008) ha sido utilizada en este informe para intentar valorar el grado de afección cuantitativo y cualitativo a las aguas subterráneas de esta MASb. Pese a todo, la ausencia de control de los acuíferos detríticos que integran la MASb impide una valoración fundamentada del grado de afección cuantitativo y cualitativo que sufren sus aguas subterráneas como consecuencia de la explotación, que por otro lado, también es desconocida.

LEYENDA

Edad		Litología	Permeabilidad
Formaciones Post-Orogénicas			
Cuaternario	9	9 Aluvial	Alta
Mioceno Sup.	7	8 Indiferenciado	Media
Formaciones Tecto-Sedimentarias			
Mioceno Inf.	8	7 Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
Oligoceno		6 Arcillas y areniscas	Muy baja
Eoceno		5 Margas y margocalizas	Baja
Paleoceno		4 Calizas	Alta - Muy alta
Cretácico		3 Dolomías	Alta
Zona Subbética			
Mioceno Inf.	6	2 Calizas y dolomías	Media - Alta
Oligoceno		4	Alta
Eoceno		3	
Paleoceno			
Cretácico		1	Baja - Media
Dogger-Malm	4		
Lías Sup.	3		
Lías Inf.-Med.	2		
Triásico Keuper	1		

SIGNOS CONVENCIONALES

	Límite de la Masa de Agua Subterránea
	Red hidrográfica
	R. C. Calidad
	R. C. Piezometría
	R. C. Hidrometría
	Falla
	Cabalgamiento
	Núcleo de población
	Autovía
	Carretera

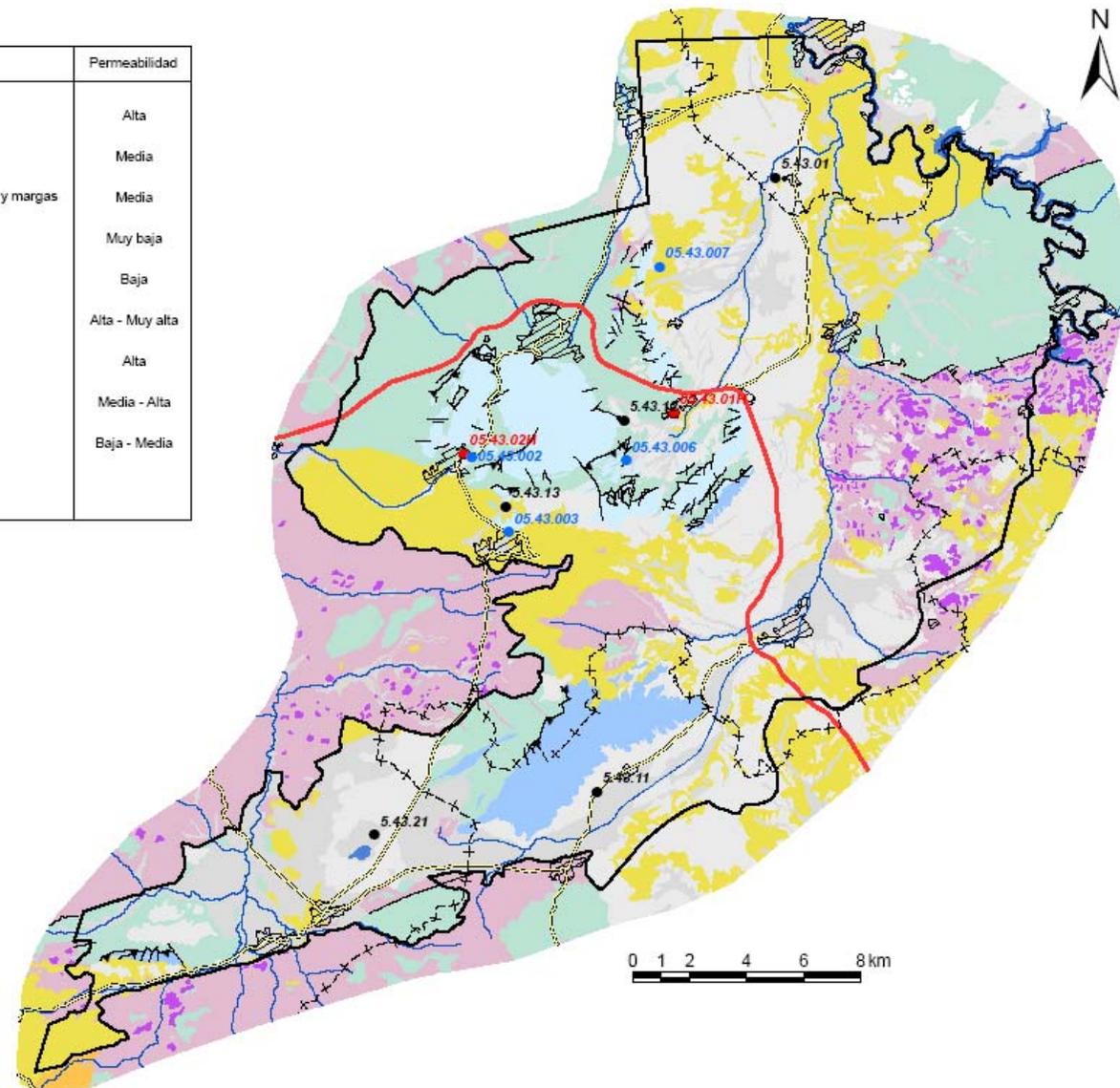


Figura 73.- Red de control de las aguas subterráneas de la AAA.

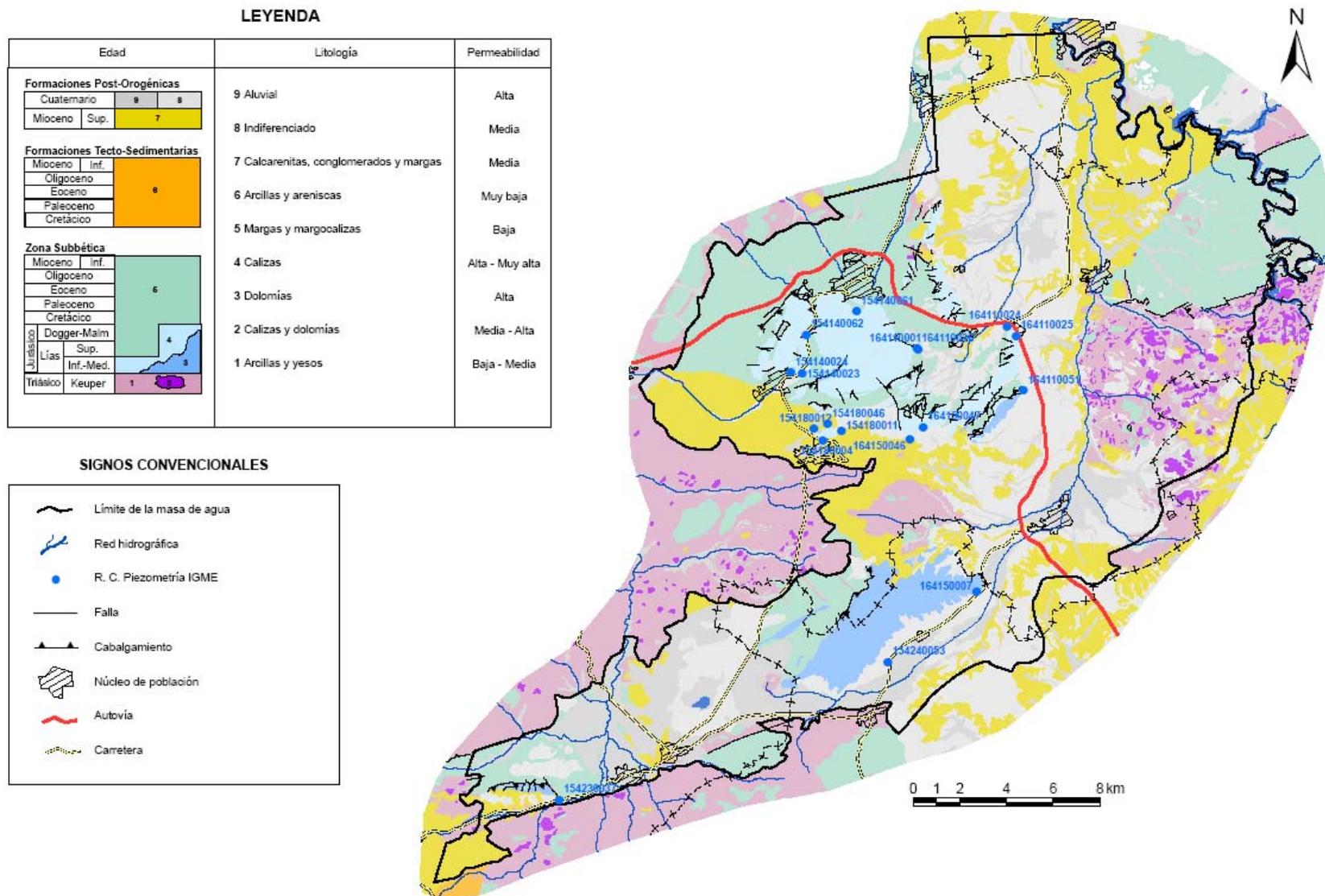


Figura 74.- Puntos de agua utilizados en las gráficas de evolución piezométrica.

En la figura 76 se representa toda información piezométrica correspondiente a los acuíferos de la unidad geológica del Hacho de Lora-Mingo-Guinchón. En la gráfica destacan la distinta evolución piezométrica que presentan los acuíferos diferenciados y la evolución manifiestamente descendente de los niveles piezométricos correspondientes al acuífero de Águilas-Guinchón. En el acuífero de Águilas-Guinchón los descensos acumulados desde 1997 a 2009 son de 63 m. La variación temporal en el acuífero de Pleites también presenta una tendencia descendente al haberse iniciado una intensa explotación para sustituir parte de los bombeos que se realizan para abastecimiento en Águilas-Guinchón.

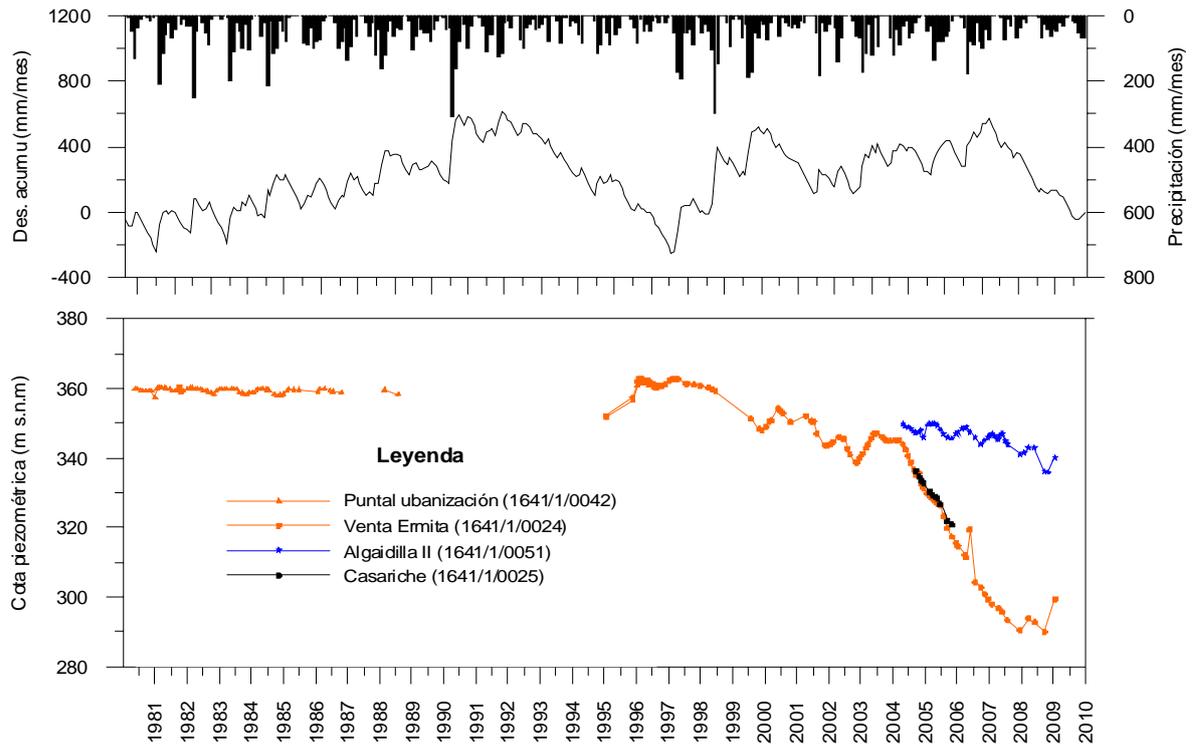


Figura 76.- Precipitación mensual, desviación de la precipitación mensual, evolución piezométrica y puntos de control del Hacho de Lora-Mingo-Guinchón. Período 1981-2006 (Pluviómetro de Estepa)(Martos-Rosillo 2008).

El régimen de bombeo que se realiza en el acuífero de Águilas-Guinchón, con una explotación muy regular durante todo el año para cubrir el abastecimiento de la población, genera la respuesta piezométrica, representado en la figura 77. Las variaciones de nivel intra-anales no son muy marcadas; no obstante, la tendencia de los niveles es claramente descendente desde 1996.

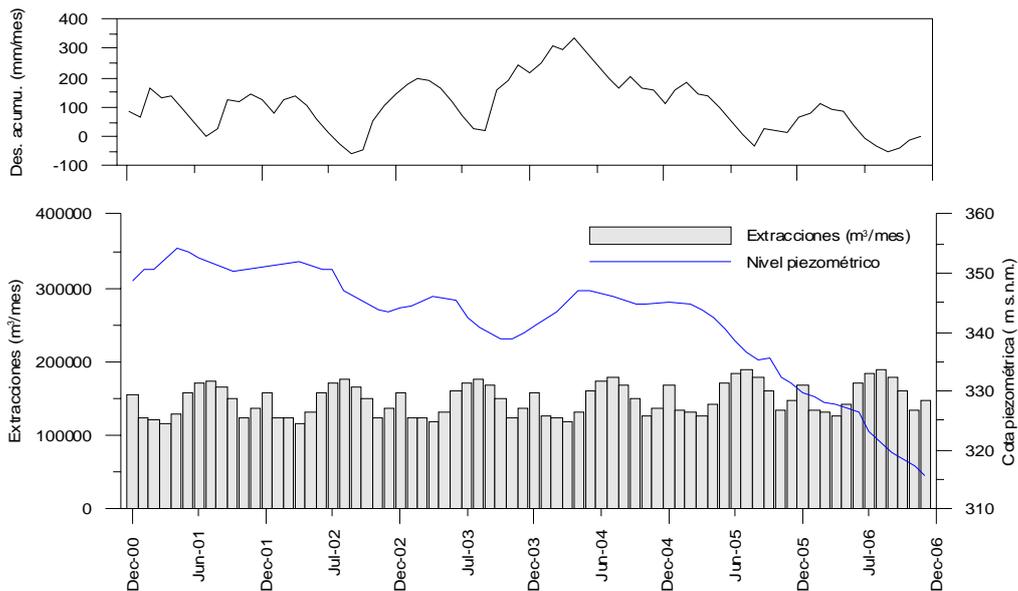


Figura 77.- Desviación precipitación mensual media, extracciones mensuales y evolución piezométrica acuífero del Águilas-Guinchón. Periodo 2001-2006 (Pluviómetro de Lora de Estepa) (Martos-Rosillo 2008).

En el acuífero de Pleites la información piezométrica es muy reducida si bien se ha constatado un descenso acumulado del mismo desde 2005 a 2010 de unos 10 m, por lo que no es posible llevar a cabo un estudio detallado que pueda considerarse suficientemente significativo; con todo, la distinta evolución de los niveles piezométricos con respecto al acuífero vecino de Águilas-Guinchón, pone de manifiesto la falta de conexión hidráulica entre ambos.

En la figura 78 se ha representado la información piezométrica disponible por el IGME del acuífero de la Sierra de los Caballos. Se comprueba la existencia de una bajada generalizada de los niveles piezométricos en la última década que puede estar relacionada con el incremento de la explotación del acuífero, si bien, lo más interesante de este gráfico consiste en que apunta la posible existencia de un cono de bombeo asociado a los materiales detríticos del arroyo de La Rocina. Los niveles piezométricos del sondeo 1541/4/0053 tienen menos potencial que los del sondeo 1641/50007. Este hecho favorece la mezcla de aguas del acuífero detrítico, que soporta una intensa actividad agrícola, con las del acuífero carbonático.

En la figura 79 se representan los escasos datos piezométricos disponibles del acuífero de la Sierra de Almadenes. La evolución temporal de los niveles piezométricos indica cierta tendencia descendente aunque la cadencia de medida y la representatividad de los datos es reducida.

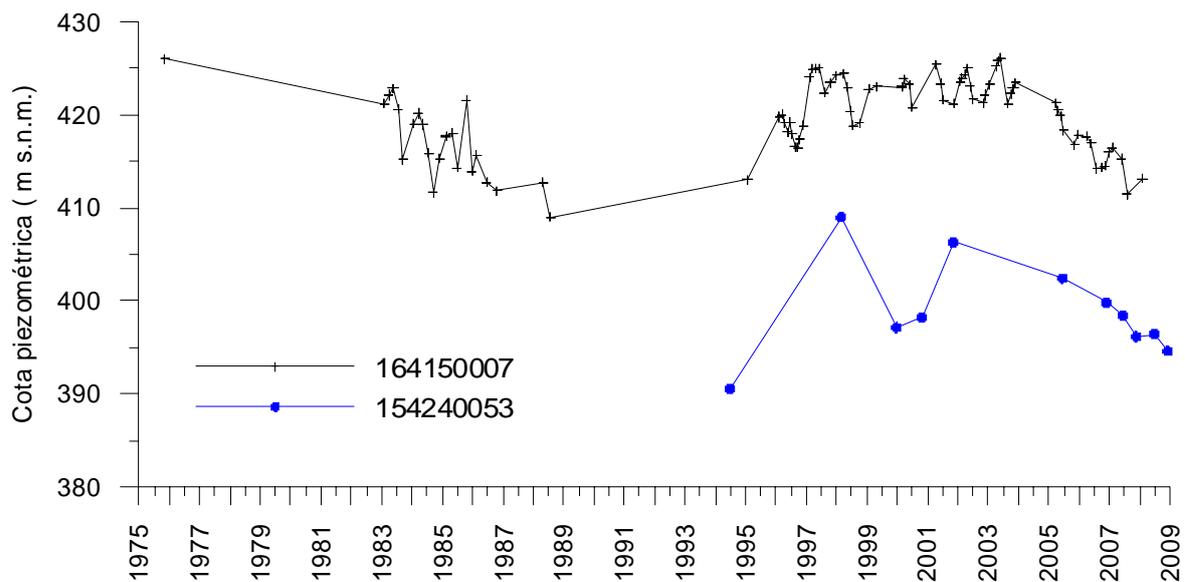


Figura 78.- Evolución piezométrica del acuífero de la Sierra de los Caballos correspondientes al periodo 1975-2009.

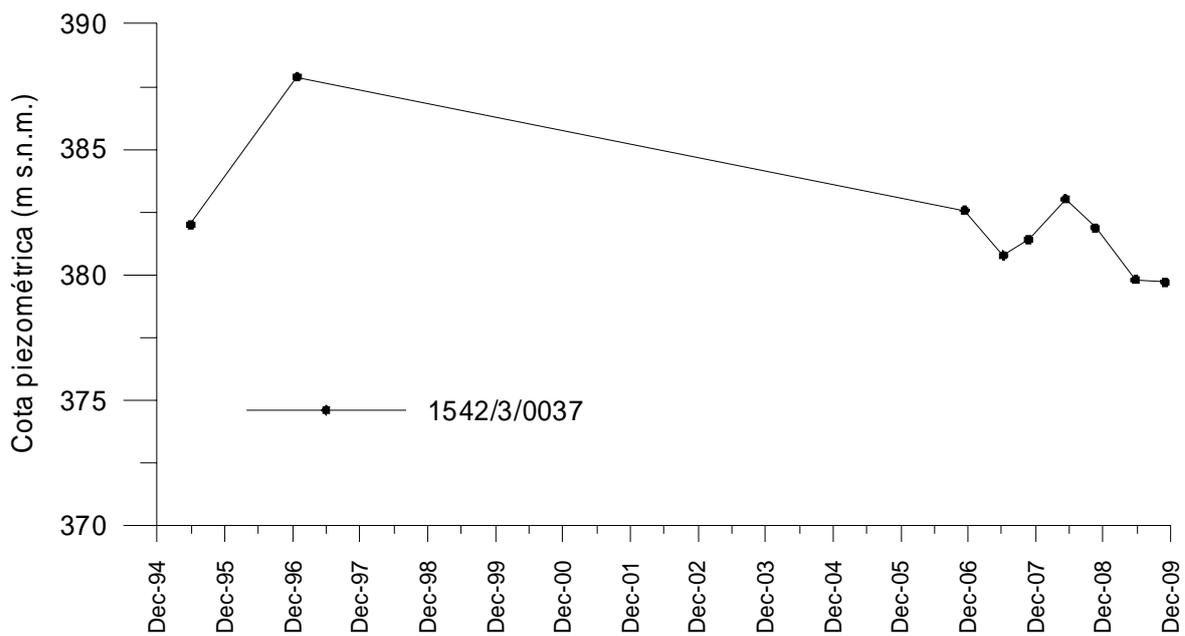


Figura 79.- Evolución piezométrica del acuífero de Sierra de Almadenes en el periodo 1994-2009.

4.5. Hidroquímica. Variación espacial y temporal

La información hidroquímica disponible, para estudiar la afección de la explotación de las aguas subterráneas prácticamente se limita a los acuíferos de la Sierra de Estepa. En los diagramas tomados de Martos-Rosillo (2008), los resultados analíticos se han identificado con distintos símbolos, según el acuífero carbonático de procedencia (Sierra de Becerrero, Hacho de Lora, Sierra de Mingo, Sierra de Águilas-Guinchón y Sierra de Pleites). Los gráficos que resultan permiten confirmar que existen importantes diferencias hidrogeoquímicas entre las distintas aguas subterráneas de los acuíferos de la Sierra de Estepa.

En el diagrama de Piper (figura 80) se distinguen con nitidez las aguas subterráneas según la unidad geológica de la que proceden; las aguas asociadas a los materiales carbonáticos de la unidad geológica de Becerrero son, fundamentalmente, bicarbonatadas cálcicas, mientras que las que corresponden a la unidad geológica del Hacho de Lora-Mingo-Guinchón son cloruradas sódicas (en los afloramientos del Hacho de Lora y Mingo) y bicarbonatadas cloruradas cálcicas sódicas y cloruradas bicarbonatadas sódica cálcicas (en las sierras de Pleites y de Águilas-Guinchón).

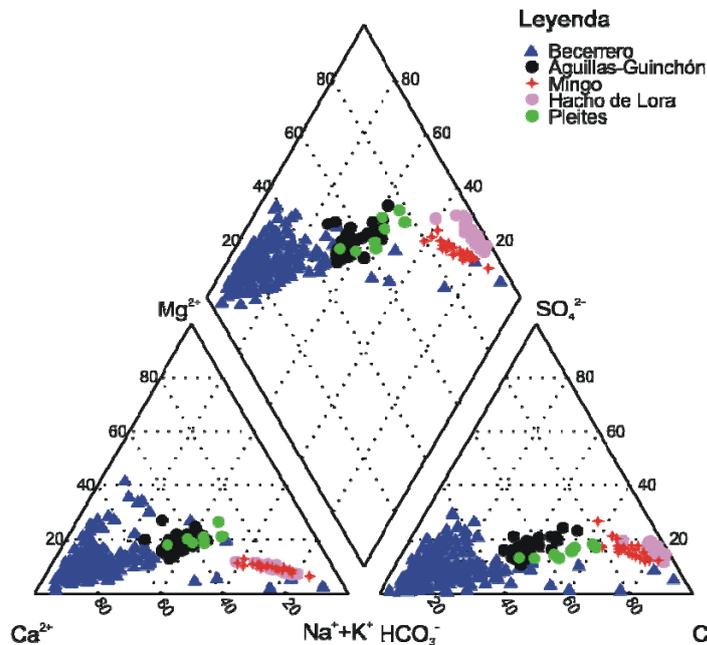


Figura 80.- Diagrama de Piper de los principales puntos acuíferos de la Sierra de Estepa, (Martos-Rosillo 2008).

El valor de la relación rCa^{2+}/rNa^{+} , la conductividad eléctrica y las concentraciones de cloruro, sodio, sulfato y magnesio permiten diferenciar cuatro grupos de aguas subterráneas, en la Sierra de Estepa, que se diferencian en la figura 81 y que se describen a continuación:

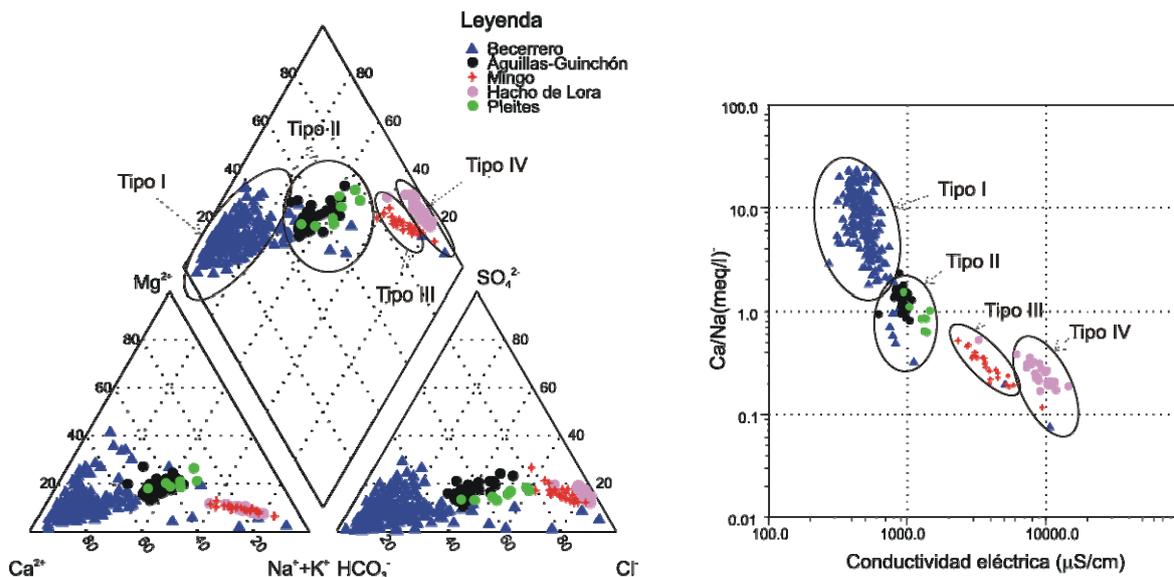


Figura 81.- Diagramas de Piper y rCa^{2+}/rNa^+ vs Conductividad eléctrica de los acuíferos de la Sierra de Estepa (Martos-Rosillo 2008).

Tipo I. Son aguas, fundamentalmente, bicarbonatadas cálcicas, aunque, en algunos puntos concretos y después de periodos de sequía, las facies pueden pasar a bicarbonatadas sulfatadas cálcicas magnésicas (en los puntos de agua próximos al contacto entre materiales jurásicos y cretácicos), bicarbonatadas cloruradas cálcicas sódicas (en los puntos de agua próximos al contacto entre materiales jurásicos y triásicos) y bicarbonatadas cálcicas magnésicas (sólo en el sondeo de la Fuente de Santiago, en periodos de sequía). Son aguas poco mineralizadas ($269 < CE < 813 \mu S/cm$) y los 22 puntos de agua que pertenecen a este grupo están asociadas al acuífero de Becerrero. Los contenidos medios de cloruro, sodio y sulfato son 0,69, 0,60 y 0,46 meq/l, respectivamente, y el promedio de la relación rCa^{2+}/rNa^+ es 6,89.

Tipo II. Las aguas que pertenecen a este grupo son bicarbonatado-cloruradas cálcico-sódicas y clorurado-bicarbonatadas sódico-cálcicas y más mineralizadas que las del grupo anterior ($610 < CE < 1472 \mu S/cm$). Todos los puntos de agua que pertenecen a este grupo están asociados a los acuíferos jurásicos de las Sierras de Águilas-Guinchón y de Pleites. Las concentraciones medias de cloruro, sodio, y sulfato son 4,11, 3,9 y 1,53 meq/l y el promedio de la relación rCa^{2+}/rNa^+ es de 1,2. Un análisis más detallado de la información hidroquímica de este grupo de aguas permite comprobar que las aguas subterráneas asociadas al acuífero de Águilas-Guinchón son, frecuentemente, de tipo bicarbonatado-cloruradas cálcico-sódicas; no obstante, después de periodos de sequía, y en los últimos años de control, la facies del agua es con mayor frecuencia, clorurada bicarbonatada sódica cálcica. En el acuífero de Pleites, las aguas subterráneas son, fundamentalmente, clorurado-bicarbonatadas sódico-cálcicas, al igual que las muestras de este grupo recogidas en los citados sondeos de la unidad geológica de Becerrero.

Tipo III. Se trata de aguas de facies cloruradas sódicas y muy mineralizadas ($2280 < CE < 9196 \mu S/cm$). Las concentraciones promedio de Cl^- , Na^+ y SO_4^{2-} son 28,4, 28,7 y 5,8 meq/l, respectivamente. El promedio de la relación rCa^{2+}/rNa^+ es 0,26. Los análisis tratados corresponden a sondeos situados en el acuífero de Mingo.

LEYENDA

Edad	Litología	Permeabilidad
Formaciones Post-Orogénicas		
Cuaternario	9 Aluvial	Alta
Mioceno Sup.	8 Indiferenciado	Media
Formaciones Tecto-Sedimentarias		
Mioceno Inf.	7 Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
Oligoceno	6 Arcillas y areniscas	Muy baja
Eoceno		
Paleoceno		
Cretácico	5 Margas y margocalizas	Baja
Zona Subbética		
Mioceno Inf.	4 Calizas	Alta - Muy alta
Oligoceno	3 Dolomías	Alta
Eoceno		
Paleoceno		
Cretácico	2 Calizas y dolomías	Media - Alta
Dogger-Malm	1 Arcillas y yesos	Baja - Media
Lias Sup.		
Lias Inf.-Med.		
Triásico Keuper		

SIGNOS CONVENCIONALES

	Límite de la masa de agua
	Red hidrográfica
	R. C. Calidad IGME
	Falla
	Cabalgamiento
	Núcleo de población
	Autovía
	Carretera

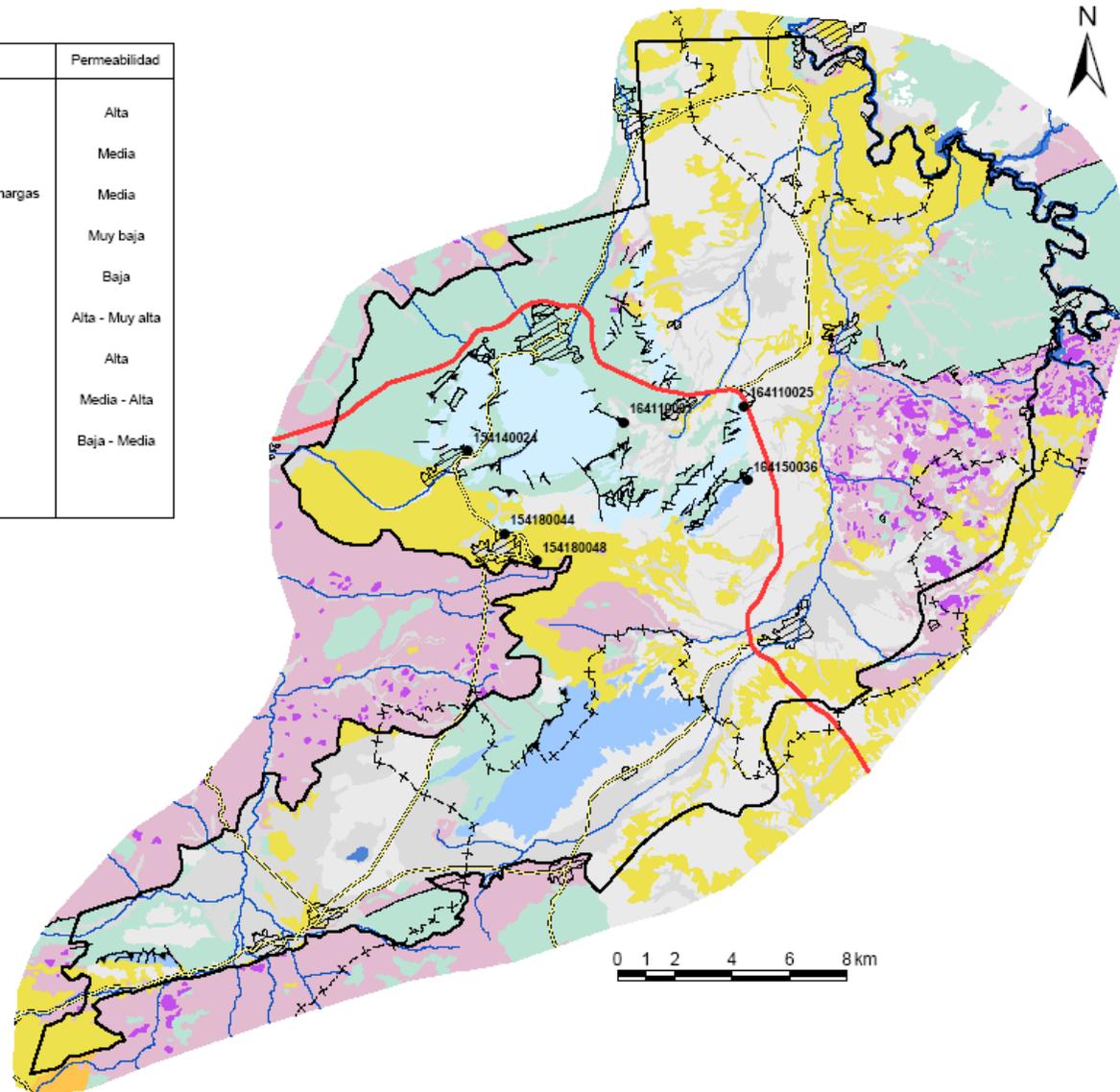


Figura 82.- Puntos de agua utilizados en la evaluación hidroquímica.

Tipo IV. La facies de este grupo es clorurada sódica. Con excepción de una muestra recogida en el sondeo "Pastores II", el resto pertenece a sondeos situados en el acuífero del Hacho de Lora, Se trata de aguas muy mineralizadas ($3210 < CE < 14256 \mu\text{S/cm}$), con contenidos promedio de cloruro, sodio y sulfato de 74,2, 68,9 y 13,4 meq/l, respectivamente, y con una relación promedio de $r\text{Ca}^{2+}/r\text{Na}^+$ de 0,22.

Respecto a la variación temporal de las características hidroquímicas de las aguas subterráneas de los acuíferos de la Sierra de Estepa, se puede indicar que la fuerte explotación, el reducido tamaño de los acuíferos de la Sierra de Estepa y la gran difusividad hidráulica de los materiales favorecen que el efecto hidrodinámico de las extracciones se propague de forma rápida en cada uno de los sistemas acuíferos. Se produce entonces un descenso del potencial hidráulico que crea las condiciones hidrodinámicas necesarias para que se produzca la mezcla con las aguas subterráneas de los materiales acuitardos y acuíferos que se sitúan en el sustrato y en los bordes de los acuíferos.

Como ejemplo de las afecciones que provoca la explotación de las aguas subterráneas en su calidad, en el acuífero de la Sierra de Becerrero se muestra la evolución de los principales parámetros hidrogeoquímicos en los sondeos de la Fuente de Santiago (1641/1/0001), abastecimiento a Gilena (1541/4/0024), a Pedrera (1541/4/0044), sondeo de la Algaidilla (1641/5/0036) y abastecimiento a Casariche (1641/1/00025). La situación de estos puntos de control se ha representado en la figura 13.

El sondeo denominado Fuente de Santiago (1641/1/0001), uno de los que se utilizan para el abastecimiento de la localidad de Estepa, explota aguas bicarbonatadas cálcicas y, ocasionalmente, bicarbonatadas cálcico-magnésicas. Estas últimas se extraen después de importantes periodos secos. La conductividad eléctrica del agua está comprendida entre 308 y 532 $\mu\text{S/cm}$, con un valor medio de 398 $\mu\text{S/cm}$. En la figura 83 se representa la evolución temporal de los parámetros físico-químicos correspondientes a la totalidad del periodo del que se dispone de información 1977-2006. Junto a estos parámetros, se representa la evolución temporal del nivel piezométrico y la recarga que resulta de aplicar un balance hidrometeorológico diario. Esta serie temporal de la recarga también ha sido representada al analizar la evolución temporal de los parámetros físico-químicos en los sondeos de abastecimiento a Gilena y Pedrera. Se debe destacar que el manantial de la Fuente de Santiago entra en funcionamiento cuando el sondeo 1641/1/0001 tiene una carga hidráulica mayor de 465 m s.n.m. Por esta razón, en la gráfica de evolución piezométrica se ha señalado esta cota con una línea discontinua, así como los periodos en los que el manantial se activa. La evolución temporal de los parámetros representados en la figura 80 no permite observar ningún tipo de variación estacional. Por otro lado, en los periodos que se han producido importantes descensos de nivel piezométrico (1979-1981, 1990-1995, 1998-2000 y 2004-2006) se observa un incremento de la salinidad del agua, que es debida al aumento de la concentración de cloruros, sodio y sulfatos. El bombeo permanente de los recursos hídricos de este acuífero ha provocado un descenso acumulado de la superficie piezométrica en el sondeo de la Fuente de Santiago, desde marzo de 2004 a diciembre de 2006, de 25,7 m, lo que, a su vez, provocó un aumento de las concentraciones de cloruros, sodio y sulfato y una ligera disminución del contenido en bicarbonatos.

El sondeo inventariado con el código 1541/4/0024 es el utilizado para el abastecimiento de la población de Gilena. Las aguas explotadas tienen una variabilidad química similar a la del sondeo de abastecimiento a Estepa (sondeo de la Fuente de Santiago) y presentan facies bicarbonatada cálcica y bicarbonatada cálcico-magnésica, con una conductividad eléctrica que está comprendida entre 370 y 565 $\mu\text{S/cm}$, con un valor medio de 502 $\mu\text{S/cm}$. Durante el periodo de sequía de principios de los años

ochenta del pasado siglo XX, el agua explotada en este sondeo presentó, en varias ocasiones, facies bicarbonatada sulfatada cálcica magnésica.

En la figura 84 se representa la evolución temporal de los parámetros físico- químicos correspondientes al periodo 1977-2006, junto a la evolución del nivel piezométrico en el sondeo y de un hidrograma del Ojo de Gilena, elaborado con los datos de control disponibles en la base de datos del IGME. Los periodos en los que el manantial del Ojo de Gilena permanece inactivo coinciden con los que el nivel piezométrico del sondeo es inferior a 467 m s.n.m.

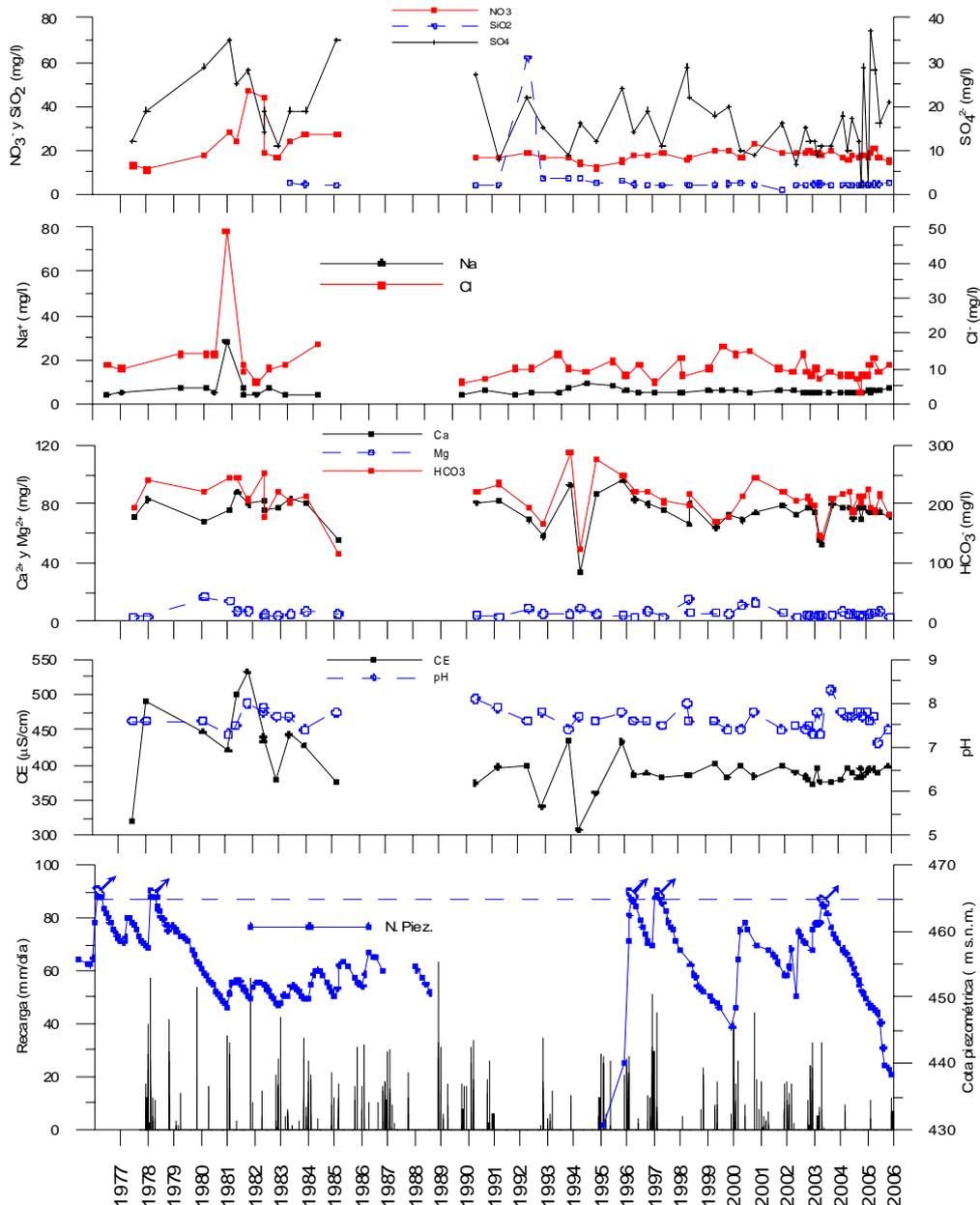


Figura 83.- Evolución temporal del nivel piezométrico, recarga, y conductividad eléctrica del agua (CE). Sondeo Fuente de Santiago (1641/1/0001). Periodo 1978-2006 (Martos-Rosillo 2008).

Durante los periodos secos, como el comprendido entre marzo de 2004 y diciembre de 2006, los 21,1 m de descenso acumulado de la superficie piezométrica están acompañados de un incremento de la salinidad del agua, debida al aumento de la concentración de cloruros, sodio, sulfato y magnesio, y de una disminución de la

concentración de bicarbonato y calcio. Al igual que en el sondeo de la Fuente de Santiago, la concentración de nitratos se mantiene prácticamente constante, si bien puede detectarse un ligero incremento, que estaría verosímilmente asociado a procesos de contaminación urbana, habida cuenta la proximidad del casco urbano de Gilena.

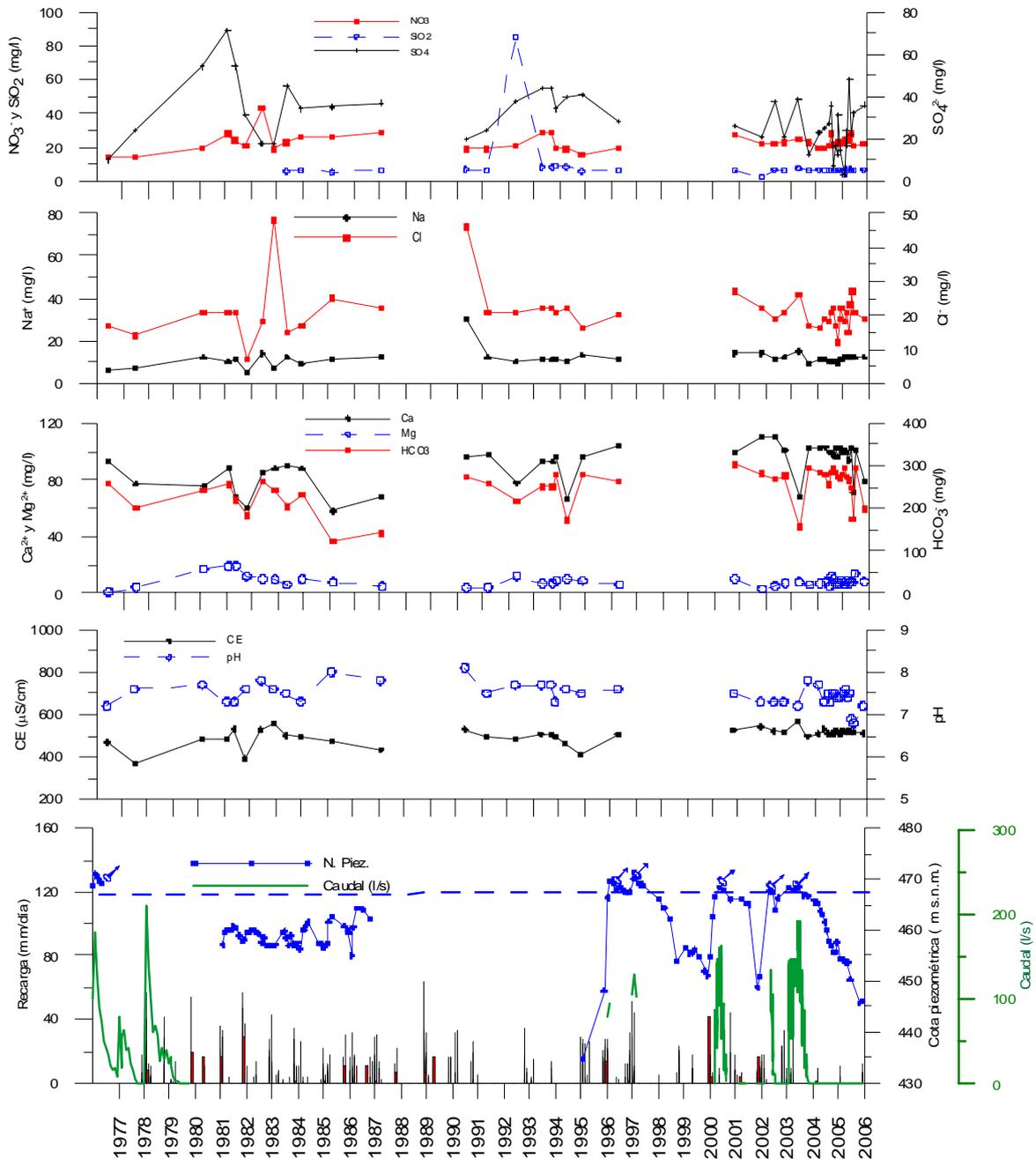


Figura 84.- Evolución temporal del nivel piezométrico, recarga y conductividad eléctrica del agua (CE). Sondeo de abastecimiento a Gilena (1541/4/0024). Periodo 1977-2006 (Martos-Rosillo 2008).

El sondeo de abastecimiento de Pedrera (1541/4/0044), ubicado junto al manantial del Ojo de Pedrera, presenta mayor variabilidad hidroquímica que el resto de los sondeos de la Sierra de Becerrero, en los que se dispone de información. De hecho, su facies hidroquímica es bicarbonatada cálcica, bicarbonatada clorurada cálcica sódica, e incluso, en alguna ocasión, clorurada bicarbonatada sódica cálcica.

La conductividad eléctrica del agua explotada en este sondeo está comprendida entre 430 y 853 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor medio de 518 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La importante variabilidad de la facies hidroquímica se debe a los procesos de mezcla que se producen durante los periodos de sequía, en los que la intensa explotación de este sector del acuífero provoca importantes descensos del nivel piezométrico, durante los que se induce el desplazamiento hacia la zona de captación del sondeo de aguas de alta salinidad asociadas a los materiales detrítico-evaporíticos triásicos del sustrato del acuífero.

En la figura 85 se representa el quimiograma correspondiente al periodo 1977 a 2006. Se comprueba que durante los periodos secos la salinidad del agua aumenta considerablemente, debido a la subida de la concentración del cloruro y sodio, y en menor medida del sulfato y del magnesio, a la vez que se reduce la concentración de bicarbonato. Cuando estos periodos secos son interrumpidos por lluvias intensas, se produce un importante descenso de la salinidad, con diluciones máximas comprendidas entre el 25 y el 35 %; posteriormente, el valor de la conductividad eléctrica del agua se estabiliza en torno a 550-580 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Durante el periodo analizado, son evidentes los efectos de la explotación intensiva en la evolución de las concentraciones de los elementos mayoritarios del agua. Entre marzo de 2004 y diciembre de 2006, se produjo un descenso de la superficie piezométrica de 16,3 m y un aumento generalizado de la concentración de cloruros, sodio, sulfato y, con menor intensidad, de magnesio y nitrato; por el contrario, disminuyó el contenido en bicarbonato y calcio.

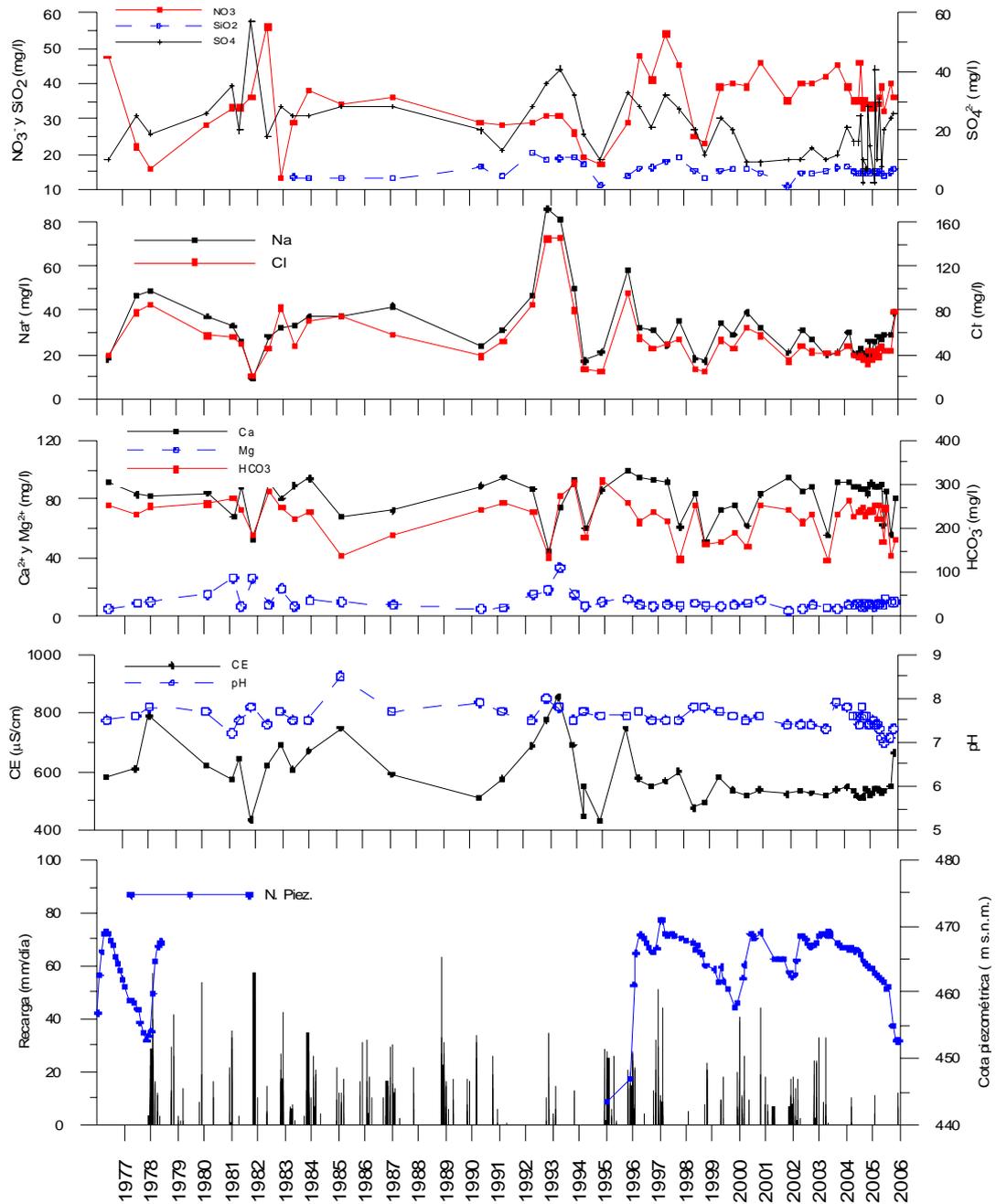


Figura 85.- Evolución temporal del nivel piezométrico, recarga y conductividad eléctrica del agua (CE). Sondeo de abastecimiento a Pedrera (1541/4/0044). Periodo 1977-2006 (Martos-Rosillo 2008).

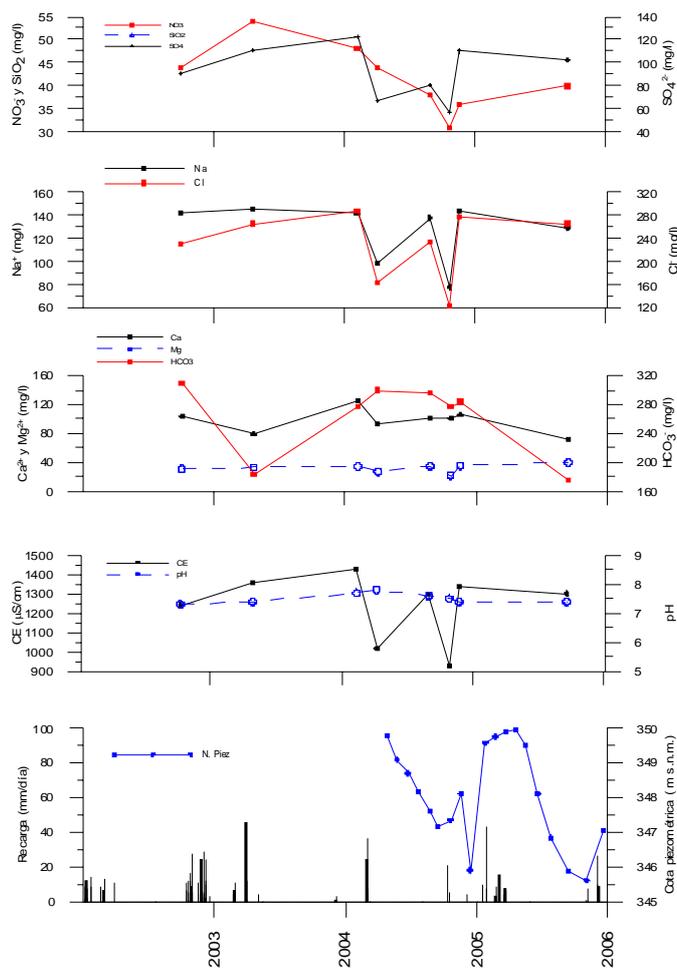


Figura 86.-Evolución temporal del nivel piezométrico, recarga y conductividad eléctrica. Sondeo Algaidilla (6541/1/0051). Periodo 2003-2006.

La información hidrogeológica disponible de la Sierra de Pleites es muy reducida. El único sondeo en explotación, desde el año 1977, es el sondeo 1641/5/0036, utilizado para regadío del olivar del cortijo de la Algaidilla.

La instalación de este sondeo, con una tubería de impulsión muy ajustada a la de revestimiento, impide realizar medidas de nivel piezométrico. A partir de marzo de 2005, la construcción del piezómetro Algaidilla II (1641/1/0051), 280 m al norte del anterior, ha permitido disponer de información piezométrica de este acuífero.

Por este motivo, los datos piezométricos que se representan en la figura 86 corresponden al piezómetro Algaidilla II (1641/1/0051) mientras que los datos hidroquímicos, proceden de muestras recogidas en el sondeo de uso agrícola de la Algaidilla (1641/5/0036). En esta figura también se ha representado la evolución de la lluvia útil, calculada con un balance diario de agua en el suelo con datos del observatorio de Lora de Estepa.

El agua del sondeo de la Algaidilla presenta una facies clorurado-bicarbonatadas sódico-cálcicas, con una conductividad eléctrica, comprendida entre 928 y 1427 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor medio de 1238 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La información disponible no permite detectar tendencias evolutivas en la concentración de los elementos mayoritarios.

El sondeo denominado Casariche 1 (1641/1/0025), situado en el acuífero de Águilas-Guinchón, es el principal sondeo de abastecimiento a la localidad sevillana de Casariche. En este sondeo se explotan aguas de facies bicarbonatado-cloruradas cálcico-sódicas, si bien, después de periodos prolongados de sequía, predomina la facies clorurado-bicarbonatadas sódico-cálcicas. La conductividad eléctrica está comprendida entre 610 y 1060 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor medio de 898 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En la figura 87 se ha representado la evolución temporal del nivel piezométrico, de la lluvia útil, de las concentraciones de los principales elementos mayoritarios, de la conductividad eléctrica y del pH. Del gráfico de evolución piezométrica se deduce que desde mediados de 1997 la explotación de este sistema acuífero está provocando un consumo continuado de reservas. Desde esa fecha hasta enero de 2010 el nivel piezométrico descendió 63 m. El manantial del Almarjal (1641/1/0019), por el que se drenaba este sistema acuífero en régimen natural, situado al noreste de la sierra, a una cota de 355 m s.n.m., no ha entrado en funcionamiento desde mediados de los años noventa del pasado siglo XX. La figura 87 permite comprobar que se produce una clara dilución del agua extraída por el sondeo durante los periodos de recarga significativos. La recuperación de los valores de conductividad eléctrica tras las diluciones citadas es muy rápida.

Pese al importante descenso de la superficie piezométrica de este acuífero, la conductividad eléctrica del agua se mantiene en valores de 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una ligera tendencia al alza, más manifiesta desde el inicio del año 2006, que no se corresponde con el importante consumo de reservas lo que permite suponer que no existen materiales triásicos próximos a este sector del acuífero, a pesar de que tales materiales afloran, más al sur, a una distancia de 1'5 km en la vaguada existente entre la Sierra de Águilas-Guinchón y la de Pleites.

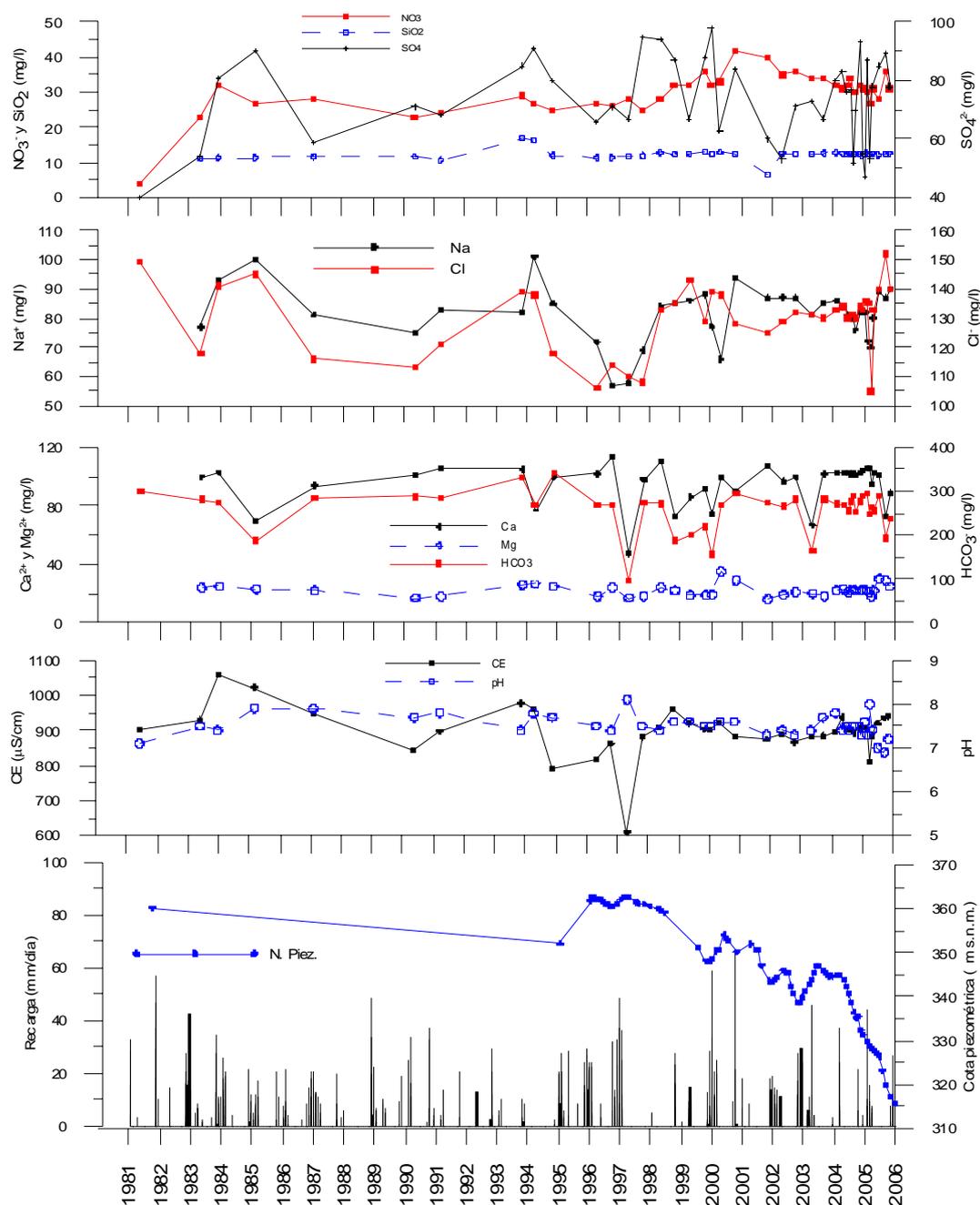


Figura 87.- Evolución temporal del nivel piezométrico, recarga y conductividad. Sondeo de abastecimiento a Casariche (1641/1/0025). Periodo 1981-2006 (Martos-Rosillo 2008).

La presencia de materiales detrítico-evaporíticos, tanto en la base de las unidades geológicas de los acuíferos carbonáticos de la Sierra de Estepa, como en el Manto de Antequera-Osuna favorece que las aguas salinas ligadas a estas formaciones se mezcle con el agua de los acuíferos carbonáticos, lo que influye decisivamente en las características hidroquímicas del agua subterránea.

En los acuíferos en los que la explotación se aproxima a la recarga media del sistema, pero no la supera, el potencial hidráulico desciende para alcanzar un nuevo equilibrio en esta nueva situación hidrodinámica; sin embargo, durante los periodos de sequía, que son más duraderos que los periodos lluviosos, el nivel continúa descendiendo hasta que tiene lugar un nuevo periodo de recarga. El descenso del potencial

hidráulico que se origina en las épocas de sequía favorece la recarga lateral desde los materiales situados en los bordes del acuífero, de forma que en los sondeos próximos a esos sectores se produce una mezcla con aguas más mineralizadas (es el caso del sondeo de abastecimiento a Pedrera).

En los acuíferos en los que la explotación es mayor que la recarga media del sistema el descenso de la superficie piezométrica no se estabiliza, de forma que con el paso de tiempo la diferencia de potencial hidráulico entre el sistema carbonático y los materiales acuíferos-acuitardos de sus bordes y de su base aumenta, lo que hace que se incremente el flujo de salmuera hacia el acuífero carbonático. Esta situación es la que se ha producido en el antiguo sondeo de abastecimiento a Lora de Estepa, que explotaba una pequeña lámina de materiales jurásicos desconectada del resto de la Sierra de Becerrero, o lo que está ocurriendo en los acuíferos de Águilas-Guinchón, en el acuífero del Hacho de Lora y en el de la Sierra de Mingo. Habida cuenta la salinidad de la salmuera ligada a los materiales triásicos, basta una pequeña aportación de este origen para que se produzca un deterioro importante de la calidad del agua subterránea para cualquier uso.

En los acuíferos detríticos de la MASb no existe información hidroquímica actualizada. Es cierto que trabajos anteriores en el acuífero Mioceno de Estepa citan que sus aguas son muy duras, de facies de bicarbonatado clorurado sódica a clorurado sódica (Durán 2003, IGME 1988b), sin entrar en más detalle y sin contar con el necesario control en el tiempo y en el espacio para el estudio de las posibles afecciones derivadas de la explotación no sostenible de las aguas subterráneas. Algo parecido ocurre con los acuíferos de Martín de la Jara y del Saucejo, donde aparecen facies parecidas, e incluso aguas clorurado sódicas más mineralizadas que en el Mioceno de Estepa y que impiden su uso directo para abastecimiento a la población (Durán 2003, IGME 1988a).

El último de los trabajos realizados en la Sierra de los Caballos pone de manifiesto el abandono de los pozos de abastecimiento que existían en este acuífero debido a las altas concentraciones de nitratos (IGME 2002b). Los análisis procedentes de los muestreos que el IGME realiza en sondeos de abastecimiento de la provincia de Sevilla para la DPS señalan que las aguas subterráneas de este acuífero presentan facies clorurado bicarbonatado sódico magnésicas, con una conductividad eléctrica media de 1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (IGME 2002b). En el acuífero de los Almadenes tampoco existe información suficiente para definir las características hidrogeoquímicas de sus aguas (IGME 2002b).

4.6. Explotación por bombeo

La información más antigua, referente al volumen de explotación del acuífero de Becerrero, correspondiente a la década de los años setenta y ochenta del siglo XX procede de distintos estudios hidrogeológicos realizados por el IGME (IGME 1976, 1985b). Más recientemente, se realizó un estudio de detalle del consumo destinado al abastecimiento de la comarca de Estepa (COPTJA 2001). Esta información ha sido actualizada y revisada recientemente por distintos técnicos del IGME (IGME 2006, Martos-Rosillo 2005, Martos-Rosillo 2008).

La recopilación y análisis de toda la información referente a la explotación del acuífero de Becerrero se sintetiza en la figura 88. Se comprueba que la explotación ha experimentado un crecimiento continuo desde 1976 hasta 1996. En este último año se dejó de abastecer a Osuna desde los sondeos que regulan el manantial del Ojo de Pedrera y el volumen de bombeo del acuífero disminuyó un 30 %. Sin embargo, desde 1996 ha proliferado la construcción de nuevas captaciones y se ha incrementado el consumo, sobre todo en los abastecimientos, que no han adoptado las necesarias medidas para evitar el consumo excesivo de los recursos de este acuífero. Como ejemplo, según datos de la Junta de Andalucía (COPTJA 2001), las dotaciones de abastecimiento de poblaciones como Lora de Estepa o de Pedrera alcanzan cifras de 681 y de 522 l/hab/día, respectivamente, cuando no deberían superarse dotaciones de 250 l/hab/día. La actualización de los volúmenes de bombeo realizada (IGME 2006, Martos-Rosillo 2005, Martos-Rosillo 2008) confirma que continúa produciéndose este consumo injustificado.

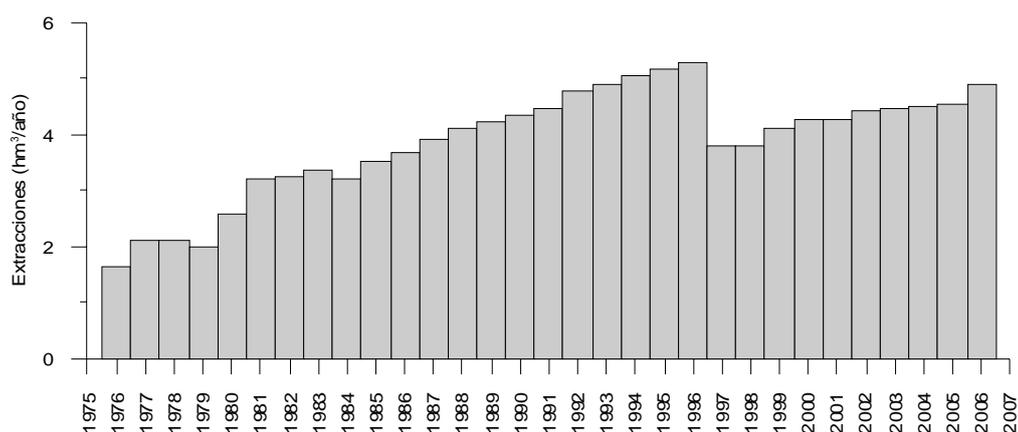


Figura 88.- Extracciones anuales por bombeo en el acuífero de la Sierra de Becerrero (Periodo 1976-2006) (Martos-Rosillo 2008).

Se debe indicar que el 80% de las extracciones de este acuífero se destinan al abastecimiento humano, por lo que los bombeos son prácticamente constantes en el tiempo, a diferencia de lo que ocurre en los acuíferos en los que los recursos son destinados preferentemente al riego.

Respecto a la distribución espacial de las extracciones, éstas se concentran junto a los principales manantiales. Hasta la primera mitad de los años noventa del siglo XX, el principal sector de bombeo era el situado en el entorno del manantial del Ojo de Pedrera. Durante el periodo 2003-2006, los bombeos más importantes se llevaron a cabo junto al manantial de la Fuente de Santiago, donde se extrae el 40% del volumen total explotado en el acuífero. Por su parte, los sondeos que regulan el Ojo de Pedrera explotan un volumen equivalente al 29 % del total. En el sector del Ojo de Gilena, la explotación que se realiza, tanto para abastecimiento como para uso agrícola supone un 20% del total. El resto de la explotación se realiza en numerosos sondeos dispersos por la mitad meridional del acuífero. Durante el periodo 2003 a 2006, la extracción media en la totalidad del acuífero de la Sierra de Becerrero,

mediante bombeo en sondeos, ha sido de 4,6 hm³/año, aproximadamente (Martos-Rosillo 2008).

Asimismo, la descarga por manantiales en el periodo 2003-2006, se ha evaluado gracias al control de los que existen en el acuífero de la Sierra de Becerrero, aunque sólo funcionaron durante los años 2003 (0,35 hm³) y 2004 (2,3 hm³) (IGME 2006).

Por tanto, el valor medio de la descarga total del acuífero de la Sierra de Becerrero (manantiales y bombeos), en el periodo 2003-2006, es del orden de 5,3 hm³/año.

Se debe indicar que en el acuífero de Pleites la explotación anual ha sido muy constante (0,35 hm³/año), con un régimen de bombeo intra-anual condicionado por la campaña de riego del olivar. Tanto en el acuífero de Mingo como en el del Hacho de Lora, con explotaciones medias en el periodo 2001 a 2006 de 0,242 hm³/año y 0,310 hm³/año, respectivamente, el volumen de bombeo se ha ido reduciendo paulatinamente por los propios usuarios, como consecuencia del empeoramiento de la calidad del agua.

En el acuífero de Águilas-Ginchón la variación de la explotación intra-anual es distinta; la práctica totalidad del agua extraída se destina a consumo humano, por lo que el caudal de bombeo es muy constante. En el periodo comprendido entre 2001 y 2006, la extracción media por bombeo fue de 1,78 hm³/año. La tendencia interanual de la explotación es positiva, aspecto que indica la escasa preocupación de los usuarios por el importante descenso acumulado de la superficie piezométrica.

Las salidas medias en el periodo de investigación fueron en los acuíferos de Mingo y del Hacho de Lora se han estimado en 0,282 hm³/año y 0,334 hm³/año, respectivamente. En el acuífero de Águilas-Guinchón de 1,81 hm³/año y en el de Pleites de 0,350 hm³/año.

En el acuífero de los Almadenes la última cifra de extracciones de la que se dispone es de tan solo 10.000 m³/año, destinados a uso industrial.

Respecto al acuífero de la Sierra de los Caballos en (IGME, 200b) se indica que se producen unas extracciones de 2,9 hm³/año, de los que 0,3 hm³/año se destinarían al abastecimiento de la población, previa mezcla con las aguas superficiales del Consorcio de la Sierra Sur (IGME 2002b).

5. BALANCE HÍDRICO. ENTRADAS Y SALIDAS

En el balance de los acuíferos de la Sierra de Estepa se han considerado los valores medios de las salidas correspondientes al periodo 2003-2006; en el caso de las entradas, se ha analizado toda la información disponible, con el objetivo de estimar un valor lo más representativo posible de los recursos medios renovables del acuífero (Martos-Rosillo 2008).

En la tabla 23 se presentan los resultados del balance hídrico del acuífero de la Sierra de Becerrero. Se ha estimado que el valor de las entradas es del orden de 6 hm³/año, cifra obtenida con la aplicación de tres métodos diferentes (Martos-Rosillo 2008). Las extracciones por bombeo y por las descarga por manantiales, correspondientes al periodo 2003-2006.

Tabla 23.- Ensayo de balance hídrico del acuífero de la Sierra de Becerrero (Martos-Rosillo 2008)

Entradas (hm ³ /año)	Acuífero de la Sierra de Becerrero (hm ³ /año)
Entradas	
Infiltración del agua de lluvia	6,0
Salidas	
Salidas por bombeos	4,6
Salidas por manantiales	0,7
E – S	0,7

Del análisis del balance hídrico, cuyos resultados son coherentes con las observaciones piezométricas, hidrométricas e hidroquímicas expuestas en los apartados anteriores, se concluye que la explotación que se realiza en la actualidad está muy próxima a los recursos medios renovables del sistema. De hecho, los manantiales siguen activándose ocasionalmente durante los periodos húmedos, comportamiento que no se produce en los acuíferos en los que la explotación supera de forma constante a la recarga.

La considerable irregularidad interanual de la precipitación en la región y el bombeo prácticamente constante de un caudal similar a los recursos medios renovables del sistema provocan que, durante los periodos secos, se produzca un consumo de reservas del acuífero, con el consiguiente descenso de los niveles piezométricos y el agotamiento de los manantiales.

En la figura 89 se comparan la explotación anual del acuífero, la recarga anual y la mediana mensual de los niveles piezométricos de la Sierra de Becerrero. Se han representado los datos correspondientes al periodo 1997-2006 del que se dispone de una serie continua de registros de nivel piezométrico.

La gráfica es muy ilustrativa: cuando la explotación supera a la recarga se produce un consumo de reservas, con el consiguiente descenso de la superficie piezométrica, que, si llega a afectar a la totalidad de las reservas almacenadas por encima de la cota de drenaje de los manantiales (reservas dinámicas), produce su agotamiento y, si se supera ese límite se puede llegar al consumo de parte de las reservas almacenadas por debajo de la cota de drenaje ("reservas estáticas").

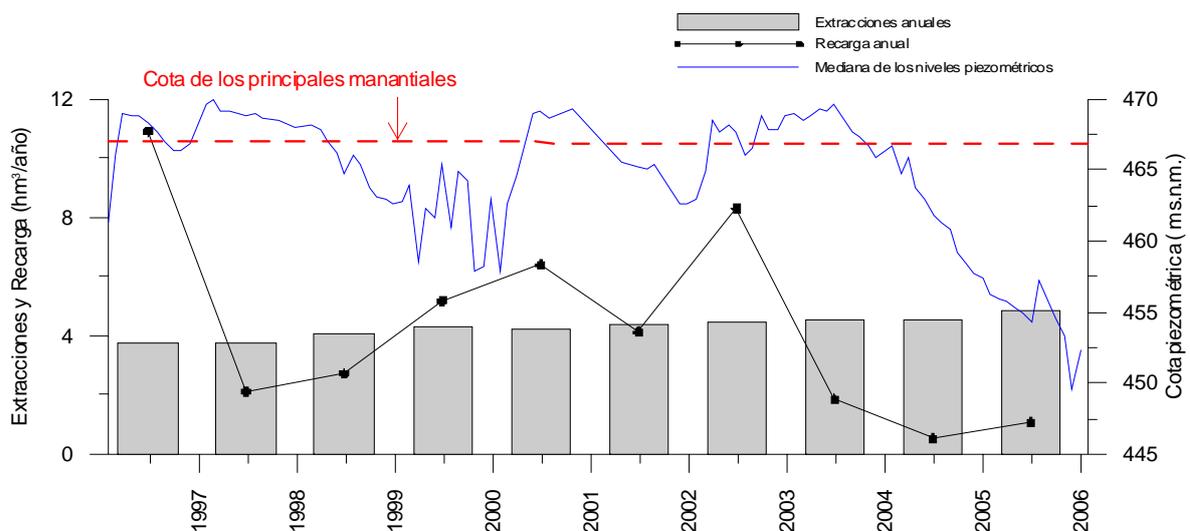


Figura 89.- Extracciones anuales por bombeo, recarga anual y evolución de la mediana de los niveles piezométricos del acuífero de la Sierra de Becerrero (Periodo 1997-2006) (Martos-Rosillo 2008).

A continuación se hace lo propio con los cuatro acuíferos que constituyen la unidad geológica del Hacho de Lora-Mingo-Guinchón. Se consideran como salidas las correspondientes al periodo 2003-2006 y como entradas, el valor medio de los recursos renovables calculado en 2008 (Martos-Rosillo, 2008).

En la tabla 24 presentan los resultados del balance hídrico de los acuíferos de la unidad del Hacho de Lora-Mingo-Guinchón. Para la estimación de las entradas ha cambiado la media de la recarga determinada con los balances diarios de agua en el suelo y con los balances del acuífero. Se debe tener en cuenta que en el acuífero de Pleites hay que añadir, a la recarga que se obtiene por infiltración directa del agua en de lluvia en materiales carbonáticos, la recarga que se produce por la infiltración del agua de lluvia en el piedemonte que se superpone a las calizas de la falda oriental de la sierra. Estas entradas se evaluaron, por un balance de agua en el suelo, en 0,12 hm³/año (Martos-Rosillo, 2008). Como salidas se consideran las extracciones por bombeo correspondientes al periodo 2003-2006.

Tabla 24.- Ensayo de balance hídrico del acuífero de Águilas-Guinchón (Martos-Rosillo 2008)

	Entradas	Salidas	E-S
	(hm ³ /año)	(hm ³ /año)	(hm ³ /año)
Mingo	0,16	0,282	-0,122
Hacho de Lora	0,305	0,334	-0,029
Águilas-Guinchón	0,995	1,806	-0,811
Pleites	0,48	0,35	0,13
Total	1,94	2,772	-0,832

Del análisis del balance hídrico, cuyos resultados son coherentes con la información hidrogeológica disponible, se deduce que la explotación durante el periodo de investigación ha superado a los recursos medios renovables en todos los acuíferos, con excepción del de la Sierra de Pleites.

En la actualidad, los niveles piezométricos de los acuíferos anteriores se sitúan por debajo del contacto con los materiales permeables (miocenos y cuaternarios) por los que se drenaban en condiciones no influenciadas. Este hecho implica un consumo continuado de las "reservas estáticas" del acuífero y un empeoramiento de la calidad, que se documenta en el aparatado de hidroquímica.

Con la información referente a la explotación del acuífero de Águilas-Guinchón se ha elaborado la figura 90, en la que se presenta la evolución mensual de los bombeos en el acuífero de Águilas-Guinchón, durante el periodo 2001-2006, frente a los niveles piezométricos y a la recarga mensual, evaluada con el código ERAS (Murillo, de la Orden Gómez 1996) por Martos-Rosillo (2008).

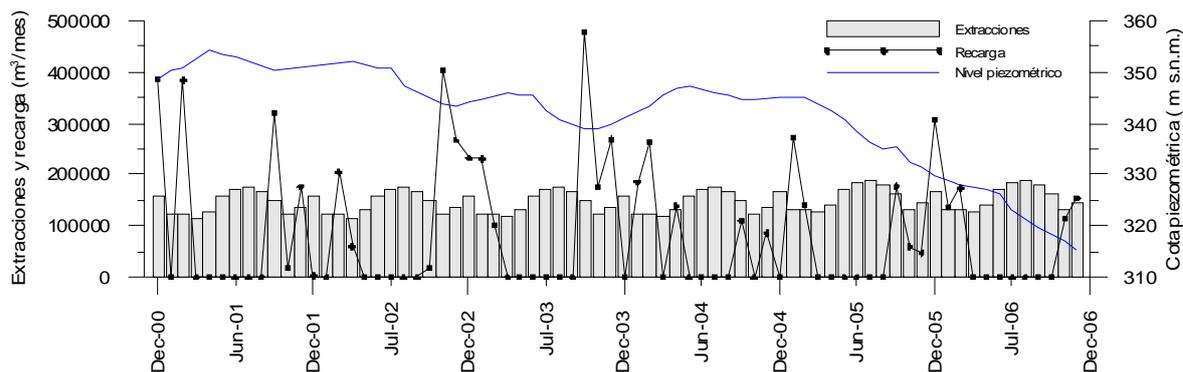


Figura 90.- Extracciones mensuales por bombeo, recarga mensual y evolución del nivel piezométrico del acuífero de Águilas- Guinchón (Periodo 2001-2006). (Martos-Rosillo 2008).

En definitiva, se puede concluir que, a tenor de los balances hídricos realizados y de la respuesta hidrométrica y piezométrica de los acuíferos de la unidad del Hacho de Lora-Mingo - Guinchón, su utilización constituye un evidente ejemplo de explotación intensiva de las aguas subterráneas, que, en el caso del acuífero de Águilas-Guinchón es manifiestamente preocupante.

Respecto a los datos utilizados para el balance del resto de acuíferos de la MASb se han tomado de diferentes fuentes, todas ellas muy desactualizadas. Esta situación anómala no lo es tanto si se considera que se han añadido a la MASb nuevos acuíferos y que no existen estudios hidrogeológicos específicos y actualizados para cada uno de ellos.

En el caso de los acuíferos carbonáticos de la Sierra de los Caballos y de los Almadenes la información del balance proviene del informe del IGME de 2002 (tabla 25). En éste se citaba la sobreexplotación del acuífero de la Sierra de los Caballos. Respecto a los acuíferos detríticos de la MASb, las cifras de balance que se indican (tabla 26) provienen del Atlas Hidrogeológico de Sevilla (Durán 2003), aunque las cifras prácticamente se arrastran desde los años ochenta del anterior siglo (IGME 1988a, b).

Tabla 25.- Ensayo de balance hídrico de los acuíferos de Sierra de los Caballos y Sierra de Almadenes (IGME 2002b)

Acuífero	Entradas	Salidas bombeo (hm ³ /año)	Salidas (manantiales + ríos) (hm ³ /año)	Total salidas (hm ³ /año)	E-S (hm ³ /año)
Sierra de los Caballos	2,68	2,9	-	2,9	-0,22
Sierra de Almadenes	0,19	0,01	0,18	0,19	0

Tabla 26.- Ensayo de balance hídrico de los acuíferos detríticos de la MASb (Durán 2003)

Acuífero	Entradas	Salidas bombeo (hm ³ /año)	Salidas (manantiales + ríos) (hm ³ /año)	Total salidas (hm ³ /año)	E-S (hm ³ /año)
Saucejo	1,05	0,36	0,69	1,05	0
Martín de la Jara	1,3	1,0	0,35	1,3	0
Mioceno de Estepa	4,2	4,0	0,2	4,2	0

6. CONSIDERACIONES

La MASb de la Sierra de Estepa y Mioceno la componen diez acuíferos con un funcionamiento hidrogeológico independiente cada uno de ellos.

Las redes de control del estado cuantitativo y cualitativo que gestiona la AAA no son suficientes en esta MASb dado que la mayoría de los acuíferos carecen de puntos de control. Llama la atención la ausencia de redes de control de las aguas subterráneas de acuíferos como el de Águilas-Guinchón, que abastece a cuatro poblaciones sevillanas en exclusiva, y en la que existe un piezómetro del IGME habilitado para tal fin.

Por otro lado, el grado de conocimiento de los acuíferos que componen la MASb es muy dispar. Los acuíferos carbonáticos de la Sierra de Estepa son bien conocidos, pero no ocurre lo mismo con el resto. Tan sólo se puede emitir una opinión fundamentada en el caso de los acuíferos de la Sierra de Estepa.

En este sentido, en 2009 se propusieron una serie de recomendaciones para la mejor gestión y protección de los acuíferos de Becerrero y de Águilas-Guinchón, que son los destinados al abastecimiento de la población. A esta Nota Técnica, solicitada al IGME por la DPS y fechada en Noviembre de 2009, se le añadió una copia del informe del IGME de 2006 para su tramitación ante la CHG.

A grandes rasgos las recomendaciones realizadas fueron las siguientes.

“El paso del tiempo desde que en 2005 se realizaran las recomendaciones pertinentes en el informe de “Propuesta de un Plan de actuaciones para la actualización de los conocimientos y explotación sostenible del acuífero de la Sierra de Estepa (Sevilla)”, no ha hecho que estas se modifiquen. No obstante, la situación es aún más preocupante que en aquella fecha, los niveles piezométricos siguen descendiendo, la calidad del agua empeorándose, y prácticamente ninguna de las propuestas y recomendaciones realizadas se han llevado a cabo. Por este motivo, se adjunta una copia de las mismas en el Anexo II de esta Nota Técnica y se resumen a continuación.

- En la Sierra de Estepa se han diferenciado 5 acuíferos con un funcionamiento hidrogeológico independiente, éstos son los acuíferos de: Hacho de Lora, Mingo, Pleites, Águilas-Guinchón y Becerrero.

- Los acuíferos del Hacho de Lora y Mingo presentan aguas de mala calidad para uso urbano, debido a su alta salinidad. Por otro lado, sus recursos medios renovables son muy limitados, por lo que se desaconseja su explotación para uso urbano.

- En el acuífero de Pleites la calidad del agua es mediocre para uso urbano. Los recursos medios renovables han sido estimados, en el año 2008, en 0,5 hm³/año, por este motivo su explotación total no debería superar esta cantidad. Esta explotación podría superarse tan sólo en situaciones de emergencia y de forma coyuntural.

- Los acuíferos de Becerrero y Águilas – Guinchón presentan aguas de calidad adecuada para uso urbano. En el acuífero de Águilas-Guinchón los recursos medios renovables calculados son 1 hm³/año, sin embargo la explotación supera esta cantidad desde mediados de los años noventa del siglo pasado. El acuífero de Becerrero dispone de unos recursos medios renovables medios de 6 hm³/año, la explotación actual no se conoce. En el año 2006 este Instituto la estimó en 4,6 hm³/año.

- La situación deficitaria del acuífero de Águilas Guinchón y de los abastecimientos que dependen de éste: Badolatosa, Casariche, La Roda de Andalucía y Lora de Estepa, con un descenso acumulado del nivel piezométrico, en los 10 últimos años, de 73 m, requiere la disminución inmediata del bombeo en este acuífero y que en todo caso nunca supere los 0,8 hm³/año. El resto de recursos necesarios para completar el abastecimiento debería cubrirse con el incremento de la explotación en el acuífero de Becerrero, sin embargo, el aumento de la explotación de este acuífero se deberían seguir las siguientes recomendaciones:

1) Realizar el abastecimiento de todas las poblaciones que actualmente se suministran de estos acuíferos de forma conjunta. La entidad encargada de la explotación debe controlar los consumos, reducir las desmedidas dotaciones que se utilizan para el abastecimiento y controlar la evolución de la cantidad y calidad de los recursos hídricos subterráneos, con el debido asesoramiento hidrogeológico experto, además de denunciar la realización captaciones ilegales.

2) Establecer un Perímetro de Protección de los acuíferos de Becerrero y de Águilas-Guinchón con objeto de limitar la autorización de nuevas concesiones y controlar la autorización de actividades potencialmente contaminantes. Asimismo, sería conveniente solicitar que el uso prioritario de estas masas de agua subterránea sea el de abastecimiento.

3) Reordenar las extracciones para abastecimiento. La nueva red de sondeos de abastecimiento debería estar formada por los siguientes sondeos.

Sondeos operativos: abastecimiento de Gilena (1541/4/24), sondeo Matagallá (1541/8/40), sondeos de la Fuente de Santiago (1641/1/1 y 1641/1/36) y sondeos del Puntal (1541/1/25 y 1641/1/39).

Sondeos realizados y sin instalar: sondeo Pastores II (1541/4/59).

Nuevos sondeos pendientes de realizar: Cruz (1641/5/36) y Becerrero (1541/4/61).

4) Liberar la explotación que se realiza para uso agrícola de los acuíferos de Becerrero y Águilas-Guinchón, cediendo las aguas residuales urbanas depuradas a los regantes que explotan aguas subterráneas con calidad adecuada para abastecimiento.

5) Seguir con las medidas de control y vigilancia del acuífero de Becerrero y de Águilas-Guinchón y realizar un modelo matemático de flujo de ambos acuíferos que permita optimizar la explotación que se hace desde cada sondeo con objeto de minimizar los costes de explotación, reducir las afecciones entre sondeos y reducir la posibilidad de contaminación de ambos acuíferos, por mezcla con aguas procedentes de los materiales triásicos como consecuencia de una explotación inadecuada.

En todo caso debe ser destacado que la explotación necesaria para garantizar el abastecimiento a la población en los acuíferos de la Sierra de Estepa supondría un agotamiento prácticamente permanente de los principales manantiales, tras su adaptación a esa nueva situación hidrodinámica, cuestión que implica, por tanto, serias afecciones a los ecosistemas asociados a la descarga natural de agua subterránea y que va en contra de los principios de la Directiva Marco del Agua.

Por otra parte, la falta de información de datos hidrogeológicos (explotación, piezometría, hidrometría e hidroquímica), tanto espaciales como temporales, en los

acuíferos detríticos de la MASb y en el acuífero de la Sierra de los Caballos hacen necesaria la urgente actualización de su conocimiento hidrogeológico, para lo que será necesaria la implantación de una red de control de las aguas subterráneas (que se puede aprovechar de los antiguos pozos y sondeos de abastecimiento), de la actualización y georeferenciación de las explotaciones de cada acuífero y de la evolución de la recarga y de las reservas de cada acuífero.

6.8.- MASA DE AGUA 05.49. GERENA-POSADAS

1. INTRODUCCIÓN

La explotación intensiva a la que se han sometido los acuíferos de la MASb 05.49 Gerena-Posadas, es lo que hace que se analice la situación de éstos y la posible existencia de sobreexplotación de los recursos renovables.

2. ASPECTOS GENERALES DE LA MASA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La MASb Gerena-Posadas 05.49, se extiende fundamentalmente entre Ayamonte (Huelva) y Posadas (Córdoba) sobre una banda ENE-WSW de 150 km de longitud y de 2 km de anchura media (IGME 1983). Según IGME (1983) los afloramientos del acuífero representan una superficie de 287 km² (Figura 91).

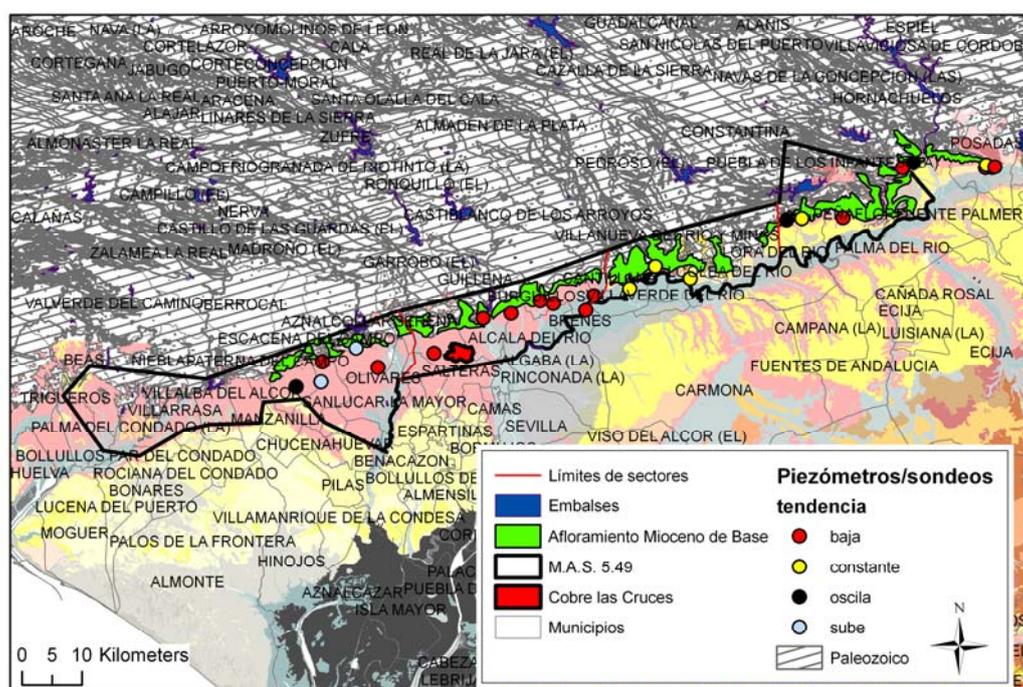


Figura 91.- Límites de M.A.S.: 05.49 y ubicación de piezómetros monitorizados.

La parte que pertenece a la cuenca del Guadalquivir se sitúa entre la localidad de Paterna del Campo y Posadas. Está limitada por el contacto del borde meridional de la meseta (Sierra Morena) y el borde septentrional de la Depresión del Guadalquivir.

Los recursos hídricos están explotados mayoritariamente para uso en regadío, aunque una parte se utiliza también para abastecimiento urbano e industrial, entre éstas a la actividad minera.

3. MARCO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

El acuífero está constituido por las facies detríticas del Mioceno transgresivo de base, teniendo como zócalo impermeable los materiales paleozoicos del borde más meridional de la meseta. Sobre esa fase detrítica se sitúan las margas azules tortonienses, constituyendo el techo impermeable, dando lugar a condiciones confinadas, excepto en la zona norte donde afloran a través de una banda que forma un acuífero libre. El acuífero se presenta en forma de prisma que se acuña progresivamente hacia el SE cambiando lateralmente a facies, generalmente, más arcillosas (Figura 92).

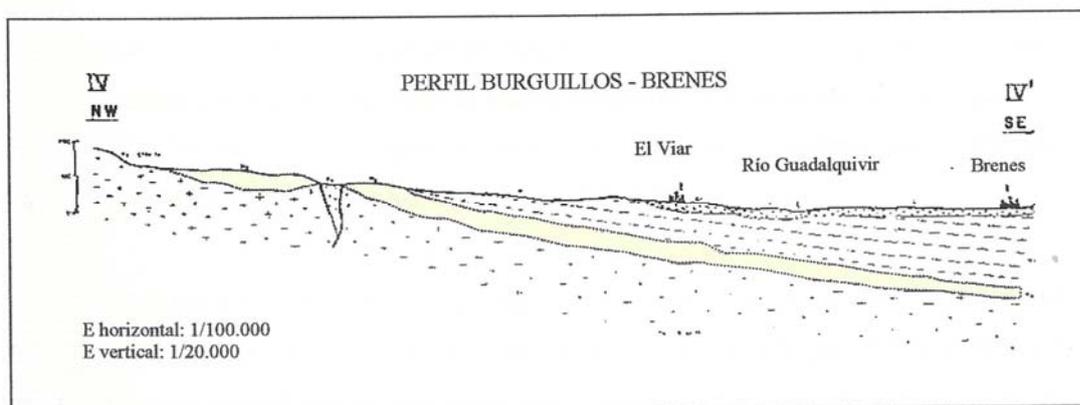


Figura 92.- Geometría del acuífero en el sector Brenes Burguillos (IGME 1983).

Los materiales corresponden a conglomerados de base, gravas, arenas areniscas, calizas y arcillas con frecuentes cambios laterales de facies y de espesor que condicionan la permeabilidad del acuífero. La potencia media de los materiales permeables es de 20 a 30 m (IGME 1983), oscilando desde 5 m (zona de Huelva) hasta 90 m (en las de Carmona y Lora del Río). El espesor aumenta hacia el E pero muy condicionado por la tectónica del zócalo Paleozoico y disminuyendo hacia el Sur para pasar progresivamente a facies margosas y arcillosas (IGME 2003).

Los parámetros hidráulicos son muy variables dadas sus diferentes espesores y litologías, por lo cual las transmisividades alcanzan valores que oscilan entre 6×10^{-2} y 8×10^{-5} m²/s (IGME 2003). Esto da lugar a una reducción de transmisividades en los acuíferos confinados hacia el S.

4. CARACTERÍSTICAS DE LA SITUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA MASA DE AGUA Y DE LOS ACUÍFEROS

Debido a sus cambios laterales de facies, en estudios precedentes, se diferenciaron 5 sectores (IGME 2003; Agencia Andaluza del Agua 2010): La Zona Niebla-Gerena, Gerena-Cantillana, Cantillana - Lora del Río, Lora del Río-Hornachuelos, Puebla de los Infantes. Los Límites de los sectores están documentados en la (figura 94).

- La subunidad Niebla-Gerena: formada principalmente por arenas, depositadas sobre pizarras del Paleozoico, funciona como acuífero libre en el norte y como confinado en la zona sur. Con potencia media entre 10 a 30 m, tiene un espesor entre 25-30 m en Aznalcollar, disminuyendo a 6 o 10 m en Niebla.

- La subunidad Gerena-Cantillana, constituida por conglomerados y calizas detríticas sobre los que se apoyan niveles de arenas y areniscas de facies más carbonatadas hacia el este, dónde aumenta la potencia.
- La subunidad Cantillana – Lora Del Río, con predominio de conglomerados sobre los que descansan arenas fosilíferas con niveles arcillosos. En este sector la serie del Mioceno de Base alcanza su mayor potencia (90-100 m) en Villanueva de las Minas y disminuye hacia el Oeste hasta los 30 o 40 m en las proximidades de Cantillana.
- La subunidad Lora Del Río-Hornachuelos, está conformada por conglomerados de base y calizas detríticas, que hacia el techo se hacen arcillosas. Este sector está muy compartimentado por los levantamientos y hundimientos del zócalo paleozoico por lo cual el espesor del acuífero demuestra variaciones importantes entre 20 o 70 m.
- La subunidad Puebla de los Infantes, está constituida por calizas con intercalaciones de pizarras del Cámbrico Inferior, y sedimentos carbonatados y arenosos miocenos, ambos muy relacionados desde el punto de vista hidráulico. Los materiales de esta subunidad forman parte de otro sistema hidrogeológico, el paleozoico de la Sierra Morena y el acuífero está desconectado de los demás sectores por lo cual no fue considerado en este informe.

Además de estos sectores, en la MASb 05.49 existe otro acuífero, que no forma parte del acuífero Mioceno de Base, que corresponde a las terrazas del río Guadalquivir situadas en su margen derecha, formando una franja de unos 3 km de ancho y de 5 a 15 m de espesor, constituida por gravas, arenas y limos cuyo comportamiento corresponde al de un acuífero libre.

Una peculiaridad de esta MASb, es la de ser muy alargada, presentando una dirección de flujo perpendicular a su máximo alargamiento, circulando el agua subterránea preferentemente en sentido NO-SE, aunque localmente puede variar ligeramente hacia los ríos que la atraviesan perpendicularmente. En el área del acuífero libre, la superficie piezométrica está situada generalmente entre 60 y 40 m s.n.m.

En las zonas dónde el acuífero es libre predomina la facies bicarbonatada cálcica y/o magnésica con baja mineralización entre 500-600 $\mu\text{s/cm}$. Hasta el SE en las zonas confinadas pasan progresivamente a facies intermedias bicarbonatadas cloruradas, hasta llegar a ser claramente cloruradas sódicas al E de la Ribera de Huesna, apareciendo también términos sulfatados. Paralelamente aumenta la conductividad eléctrica hacia el SE y el NE, presentando valores extremos en el entorno de Villanueva del Río y Minas. Respeto al origen de las elevadas salinidades, estudios isotópicos realizados en Gerena indican que la salinidad procede de la mayor disolución de sales del terreno, descartando un posible origen marino (IGME 2003). De acuerdo con la última evaluación realizada por la Oficina de Planificación Hidrológica en función de las concentraciones medias, máximas y mínimas de fluoruros, cloruros, sulfatos, conductividad eléctrica y nitratos, el estado químico de la unidad 05.49 (Niebla Posadas) entre 2005 y 2008 es de "mal estado" (Agencia Andaluza del Agua, 2010).

Según la valoración del riesgo del Estudio de Evaluación de Presiones e Impactos (IMPRESS) en la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, abordado en el año 2004 por el Ministerio del Medio Ambiente, la unidad 05.49 se ha identificado como "En riesgo por extracción y contaminación difusa" (Agencia Andaluza del Agua, 2010). La Oficina de Planificación Hidrológica estima unos recursos de 31,5 hm³ disponibles de los cuales se capta un 3,22% para el abastecimiento (OPH 2009).

4.1. Redes de control

Las redes de control de calidad y cantidad fueron controladas por el IGME hasta diciembre 2001, a partir de esa fecha el control lo ha realizado la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) y posteriormente la Agencia Andaluza del Agua. La CHG creó en 2005 una red de control subdividida en tres subredes: control general, control prepotabilidad y control de nitratos. Durante los siguientes años esta red se fue adaptando a las exigencias de la legislación europea definida en la Directiva 2000/60/CE (DMA) por la Agencia Andaluza del Agua. La red de control de calidad actual está constituida por 5 puntos de control, uno en cada una de las subunidades de las que se compone la MASb.

Los datos pluviométricos hasta el año 2001 provienen de la base de datos "METEO.MDB" del IGME. Datos posteriores fueron descargados de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController?action=Static&url=fechas.jsp&c_provincia=41&c_estacion=17; fecha de descarga: 10.05.2010). Los datos piezométricos analizados hasta 2001 presentados en este informe provienen de la base de datos "AGUAS.MDB" del IGME. Esta base recopila toda la información de las redes de control piezométrica y de calidad. En el apartado de piezometría en este informe, se consideran todos los puntos que disponen como mínimo 4 medidas de niveles para poder obtener variaciones temporales.

4.2. Explotación

Las explotaciones para riego se iniciaron al principio de los años ochenta (IGME 1983) y a finales se realizaron extracciones de agua subterránea para abastecimiento en diferentes municipios. Al inicio, la explotación para abastecimiento fue gestionada por los municipios, pero después de algunos años se pasó a empresas privadas. Simultáneamente se incrementó la explotación agrícola que dio lugar a descensos piezométricos importantes y al aumento de la salinidad en algunos puntos por lo que el abastecimiento con aguas subterráneas se abandonó por la mayoría de los municipios a finales de los años noventa, excepto en Burgillos (Agencia Andaluza del Agua, 2010). No existe ninguna información recopilada sobre los volúmenes de extracciones reales por riego y/o abastecimiento durante las últimas décadas en el acuífero Gerena-Posadas.

La Agencia Andaluza del Agua ha facilitado datos sobre el estado de las concesiones de explotación para Mayo 2010 compilado en el fichero "CONSULTA 49 GUADALQUIVIR.xls". Las concesiones resueltas en la MASb 05.49 suman un volumen de 8,75 hm³/a distribuidos en 599 puntos.

La precipitación anual acumulada de la estación Guillena, se acerca a una recta, indicando precipitaciones sin tendencia de aumento o descenso a lo largo de las últimas décadas, lo que indica que no ha habido ningún efecto climático durante este periodo (figura 93). La sequía 1990-95 solamente representa una irregularidad en la forma lineal de la recta.

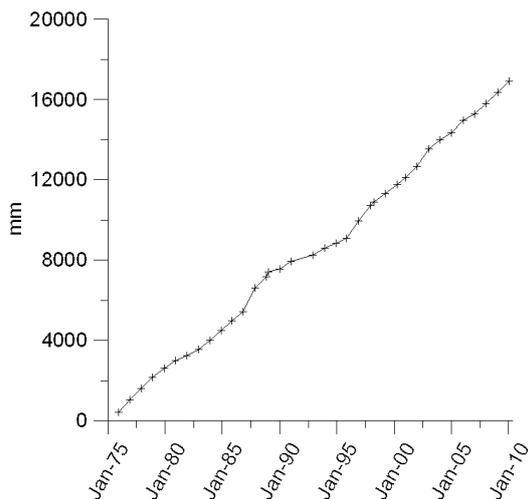


Figura 93.- Precipitación acumulativa (fuente de datos: Consejería de Agricultura y Pesca 2010)

4.3. Evolución piezométrica

El análisis de los datos disponibles de piezometría muestra que durante los años ochenta la mayoría de los puntos presentan niveles más o menos estables. La evolución general de la piezometría queda marcado por descensos importantes durante la sequía al principio de los años noventa, sin alcanzar a los mismos niveles piezométricos en los años posteriores. Se pueden observar importantes fluctuaciones de niveles, que por su dimensión, están asociados con explotaciones realizadas en la cercanía de los puntos. El efecto de las lluvias intensas del diciembre 2009 se puede observar en 4 puntos muestreados y resulta en recuperaciones generalmente débiles. La evolución piezométrica se evaluará para los diferentes sectores del acuífero excepto para la subunidad Puebla de los Infantes de la que no se dispone de datos.

- La Subunidad Niebla-Gerena:

Dos de los cinco puntos de control presentan importantes descensos entre 20 y 30 m durante épocas de sequía, en un caso sin recuperación posterior. Sin embargo, se ve que un punto, localizado en una zona de acuífero libre se recupera fácilmente de los episodios de sequía, presentando niveles ascendentes hasta el año 2006. Datos recientes en el punto (RESIGNAC 144020044) también demuestran niveles ascendentes (figura 94).

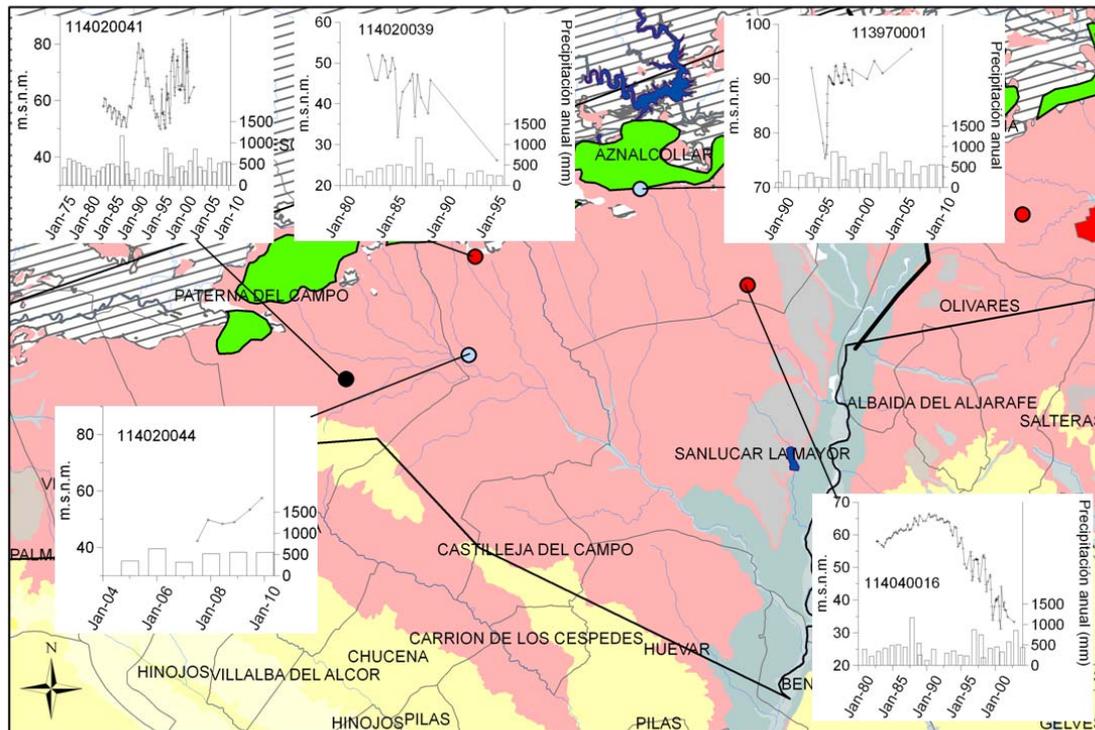


Figura 94. - Evolución de niveles piezométricos del sector Niebla-Gerena.

▪ La Subunidad Gerena-Cantillana:

Este sector presenta tendencia al descenso en 5 de los 6 puntos observados (Figura 95). Los niveles han sufrido descensos sucesivos debidos tanto a la entrada en funcionamiento de nuevas explotaciones como al efecto conjunto de los periodos de sequía, de forma que en la actualidad se acumulan más de 15 m de descenso sin señales de recuperación. En particular, el punto 123950026 cercano a la mina "Las Cruces", fue utilizado como pozo de emergencia para abastecimiento en la sequía del 1993/1994 dando lugar a descenso de más de 50 m. Las lluvias intensas del diciembre 2009 dan como resultado un ascenso de 5 m en el punto 123980067 mientras que el punto 123950026 presenta un descenso de 0,7 m.

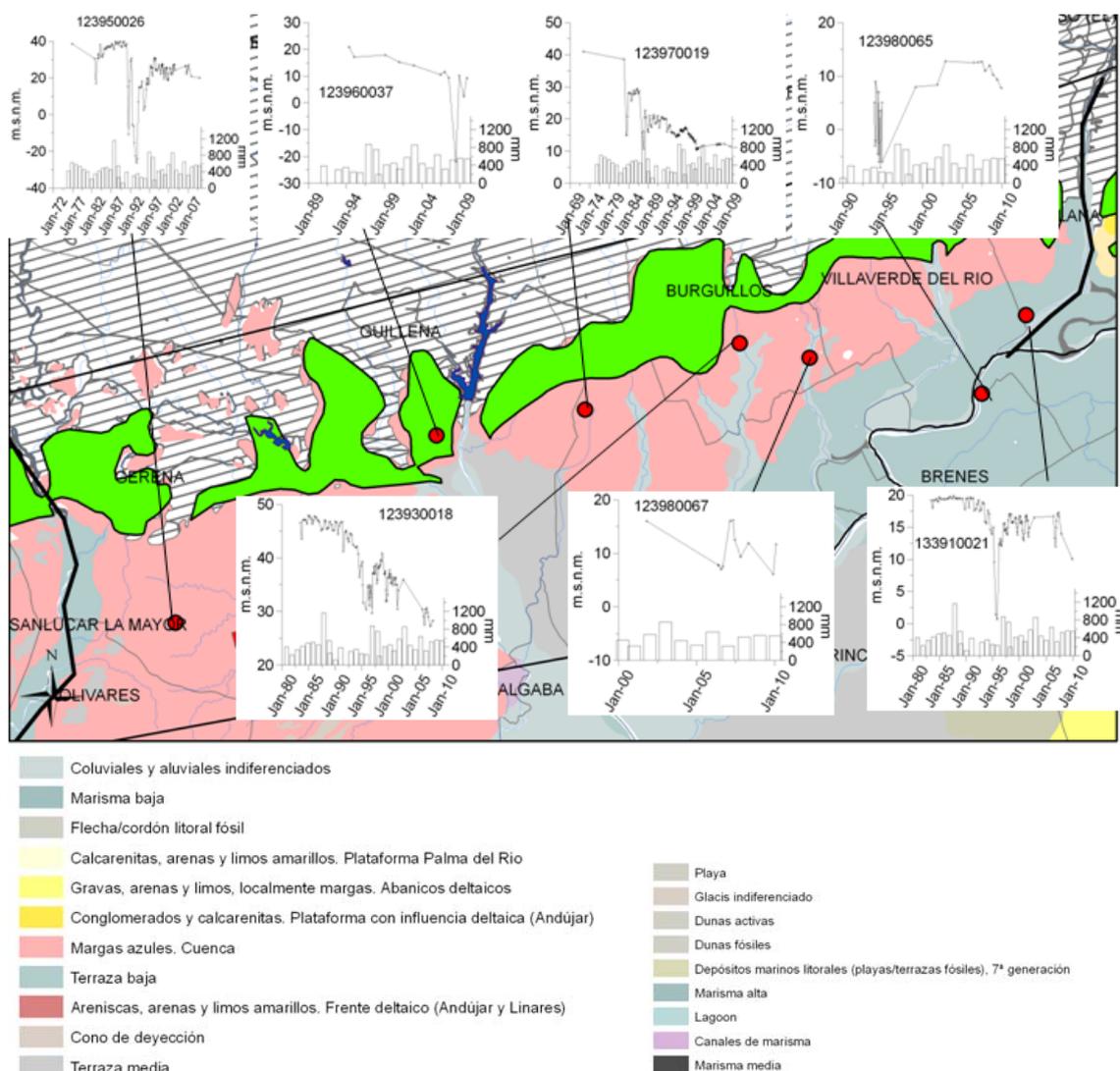


Figura 95.- Evolución de niveles piezométricos del sector Gerena-Cantillana.

▪ La Subunidad Cantillana – Lora del Río:

Esta subunidad en las proximidades de Villanueva del Río y Minas, presenta una evolución anómala ya que desde 1983 la tendencia anual de la evolución piezométrica es ascendente. Esto se debe al abandono de la mina de Villanueva a principio de los años ochenta (IGME 2003). El efecto de las lluvias intensas del diciembre 2009 da lugar a un ascenso leve de 1 m como se puede observar en los puntos 133920044 y 133910061 (figura 96).

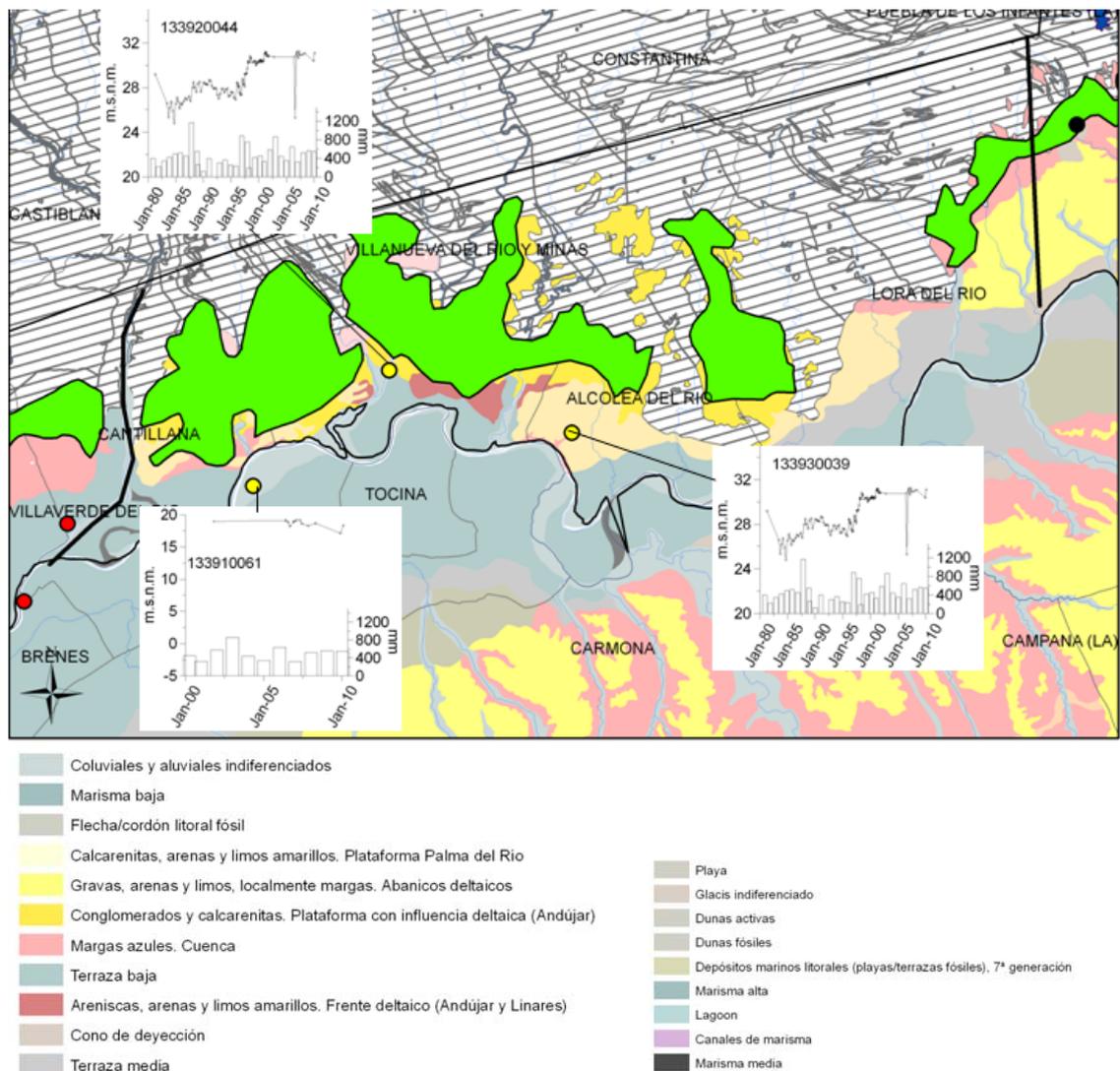


Figura 96. - Evolución de niveles piezométricos del sector Cantillana – Lora del Río.

▪ La Subunidad Lora del Río-Hornachuelos:

La evolución piezométrica en este sector presenta cambios significativos y uno de los 4 puntos monitorizados en Peñaflor demuestra tendencias claras de descenso debido a un incremento de explotación entre Peñaflor y Posadas (figura 97). Los demás puntos se ven estrechamente influido por extracciones, pero presentan capacidad de recuperación y no demuestran tendencias de descenso.

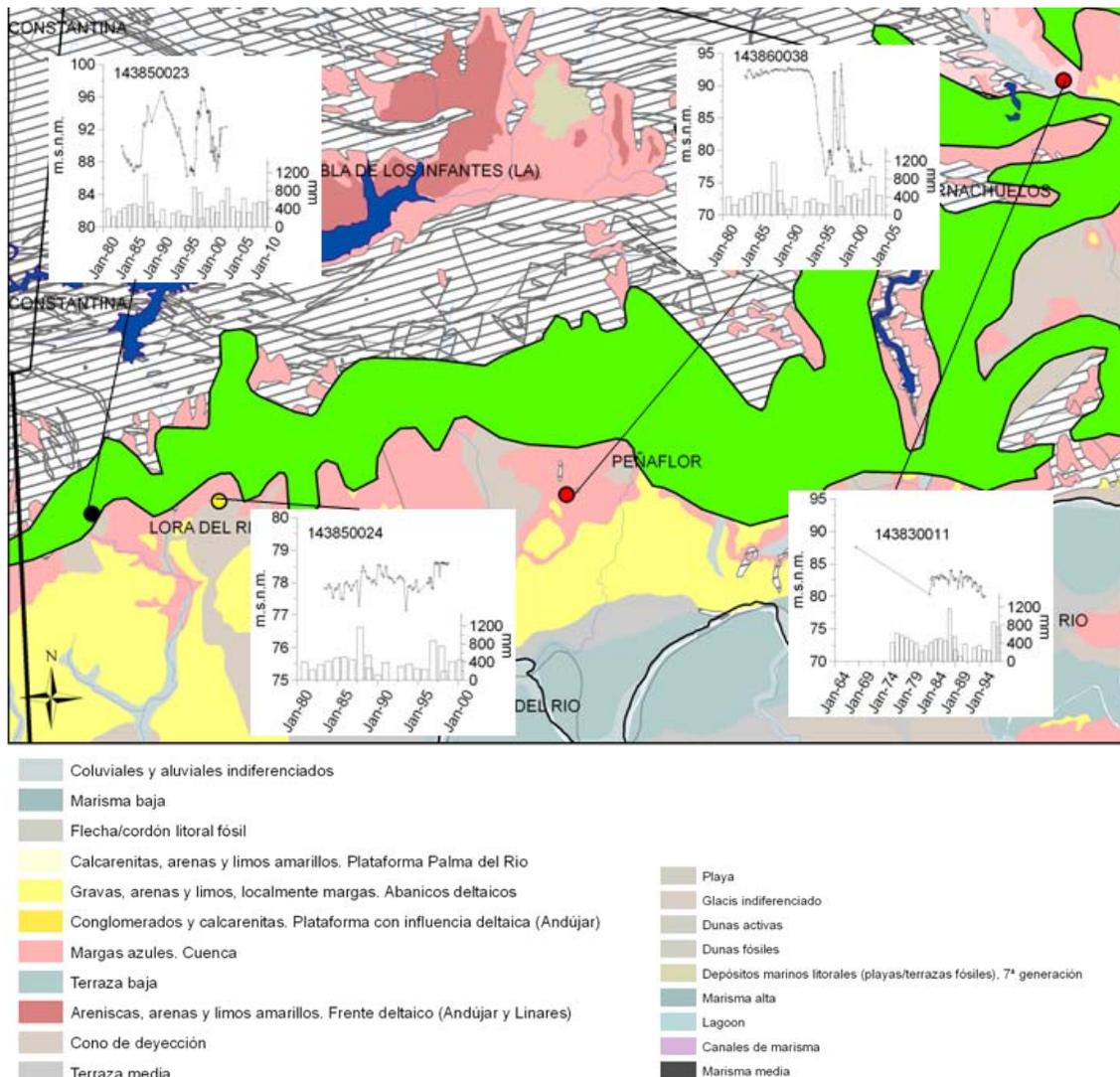


Figura 97.- Evolución de niveles piezométricos del sector Lora del Río-Hornachuelo.

En resumen, los cambios más significativos se observan en los sectores Niebla-Gerena y Gerena Cantillana que presentan descensos piezométricos durante las últimas décadas sin viso de recuperación, lo que pueden indicar que las extracciones reales superan la recarga del acuífero en estos sectores. En el sector Lora del Río-Hornachuelos se observa un descenso sin recuperación en Peñafior, mientras que en los demás puntos no se observa una tendencia al descenso. Los descensos en general se deben a extracciones agrícolas y se observan sobre todo en los acuíferos confinados, debido a su menor transmisividad. Bajo estos puntos de vista, las zonas Niebla-Gerena y Gerena-Cantillana muestran características de sobreexplotación y el sector Lora del Río-Hornachuelos está en riesgo al estar cerca del límite de explotación.

4.4. Evolución hidroquímica del agua subterránea

Según estudios recientes (IGME 2003) gran parte de las aguas del acuífero presentan una buena calidad química y son aptas para abastecimiento urbano. Sin embargo, en una serie de puntos con contenido elevado de cloruros y conductividad eléctrica, superan ampliamente los límites de potabilidad en casi todos los parámetros analizados por lo cual no resultan aptas para su consumo. Estos puntos están ubicados todos en el sector Cantillana-Lora del Río (Figura 98).

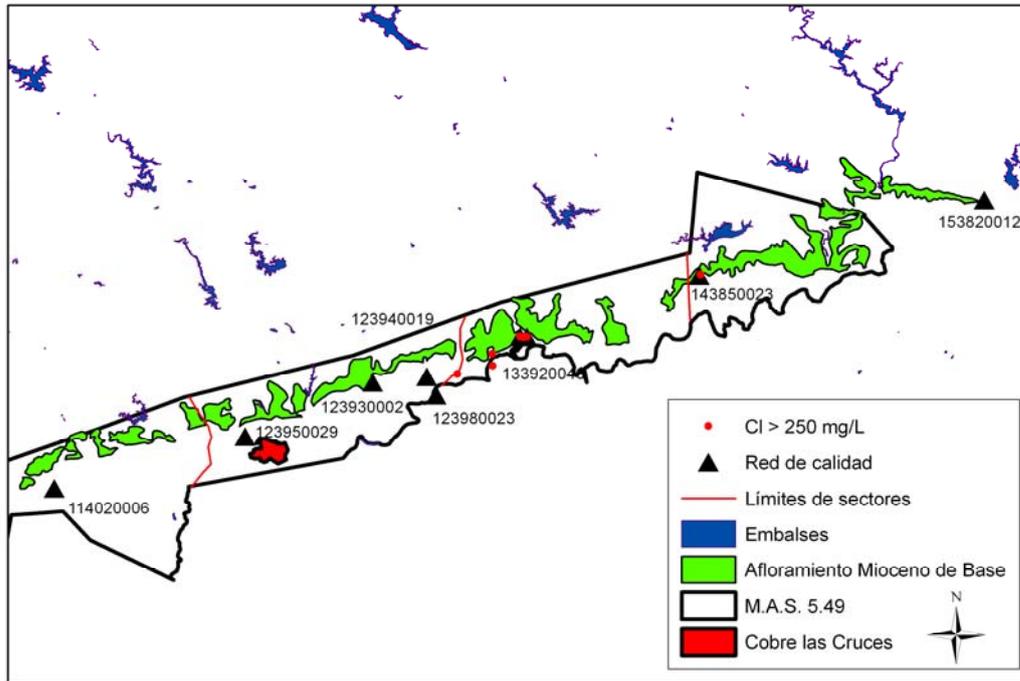


Figura 98. - Puntos de la red de calidad con contenidos de cloruro por encima de 250 mg/L.

Manteniendo valores aceptables debajo de $1100 \mu\text{S}/\text{cm}$ en algunos puntos se observa un ascenso significativo de conductividad eléctrica muestreados desde 1980 en Figura 99.

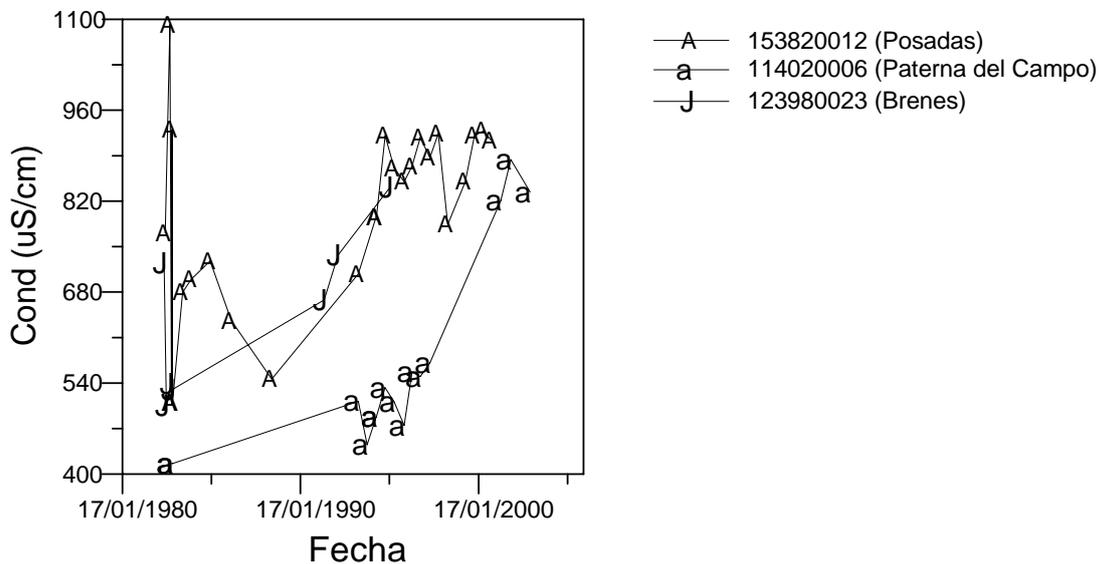


Figura 99. - Series de tiempo de conductividad eléctrica hasta 2002 (Ubicación de puntos en la figura 100).

La conductividad eléctrica del punto 133920046 en Villanueva del Río y Minas muestra un incremento aun más significativo a finales de los años noventa, culminando en el año 2000, con tendencia de descenso en los años posteriores (figura100).

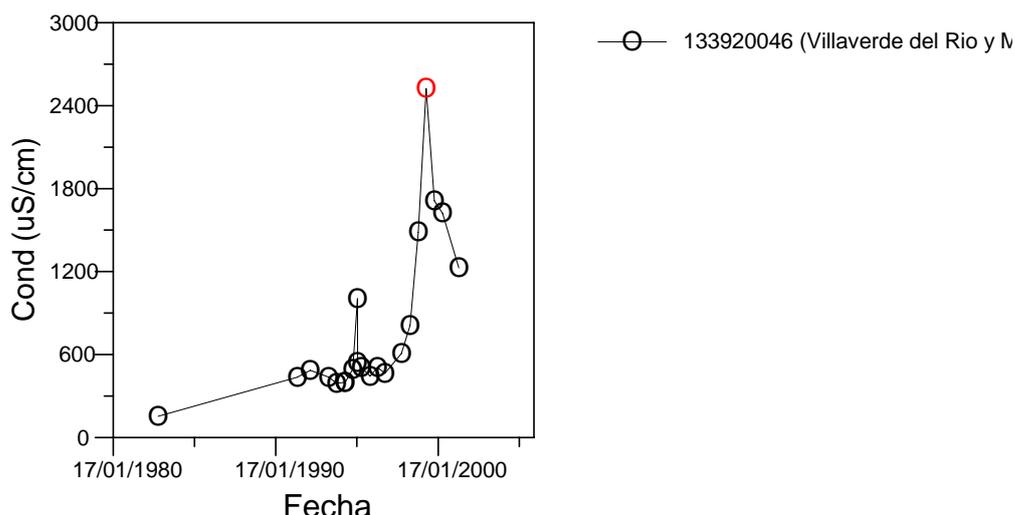


Figura 100.- Series de tiempo de conductividad eléctrica hasta 2002.

En todos los puntos el incremento de conductividad está correlacionada con la concentración de cloruros, por lo cual hay que suponer un origen de aguas más profundas de elevada salinidad.

Cabe destacar que el ascenso de conductividad en los puntos documentados de la figura 99 entre los años 1990 y 2000 va acompañado por un ascenso del nivel piezométrico de los puntos vecinos registrados y no se debe a descensos por explotación. También la piezometría del punto 133920046 (figura 100), con mayor conductividad en la zona de estudio, presenta un ascenso piezométrico importante desde los años ochenta en del sector Cantillana-Lora del Río.

5. BALANCE HÍDRICO

La recarga directa del acuífero se realiza en gran parte a partir de la escorrentía superficial de los materiales paleozoicos situados al N y adicionalmente por la infiltración directa del agua de lluvia sobre la superficie aflorante. Además, existe una recarga por retornos de riego y localmente puede producirse una alimentación subterránea desde niveles más permeables o fracturados del paleozoico. La descarga en régimen natural se produce mediante el drenaje hacia los cauces superficiales y a través de manantiales situados en el contacto con las margas azules tortonienses. Actualmente la descarga se realiza por bombeo, en captaciones destinadas a abastecimiento urbano y regadío, y mediante el drenaje natural de los cauces principales; funcionando los cauces como drenes o fuentes de recarga según la época del año (IGME 2003).

En analogía a la documentación de la piezometría se presentan los datos del balance hídrico por sectores (tabla 27).

Tabla 27.- Balance hídrico por sectores en hm^3/a

	Infiltración directa (OPH 2008)	Retorno de agua del riego (OPH 2008)	Salidas por bombeo (IGME 1983)
Niebla-Gerena	8,5	1	9,5
Gerena Cantillana	6	0.5	6
Cantillana-Lora del Río	6		4.7
Lora del Río-Hornachuelos	9	0.5	1.6
Subunidad de Puebla de los Infantes	11		0.5
	32	2	?
Recarga Total	34		

Las salidas por extracciones de agua subterránea y su evolución temporal no se han registrado de forma accesible. No obstante, estimaciones de extracciones de agua subterránea para regadío en los años ochenta ya indican explotaciones superiores a la recarga en el sector Niebla-Gerena.

Estimaciones más recientes de extracciones de agua subterránea para regadío entre los municipios Guillena y Villanueva del Río y Minas suman volúmenes de 8 hm³/año por regadío y 3 hm³/año por abastecimiento (IGME 2003) para años medios y secos, lo que se acerca bastante a las entradas respectivas calculadas.

Las concesiones actuales de 8.75 hm³/a, concedidos por la Agencia Andaluza del Agua (mayo 2010), están muy por debajo del volumen de recarga del acuífero y no justifican el descenso piezométrico en ninguno de los sectores por lo cual hay que suponer un volumen importante de extracciones, no registradas legalmente ni concedidas.

6. CONSIDERACIONES

A la vista de lo expuesto anteriormente, se observa el peligro de la subsistencia de los aprovechamientos de aguas subterráneas existentes en los sectores Niebla-Gerena y Gerena-Cantillana que presentan descensos piezométricos durante los últimos décadas sin viso de recuperación indicando que las extracciones reales superan la recarga del acuífero en estos sectores. El descenso de los niveles piezométricos ha dado lugar a la desaparición de los ecosistemas asociadas a aguas surgentes que descargan el acuífero. Aunque todavía no se hayan observado deterioros de calidad por descenso de niveles piezométricos, la continuidad de las extracciones de volúmenes similares, puede dar lugar al ascenso de aguas de alta mineralización lo que afectará a la calidad del agua bombeada. En el sector Cantillana-Lora del Río se observa el mayor grado de conductividad pero no existen extracciones intensivas de agua subterránea sino al contrario, los niveles piezométricos han subido considerablemente. En el sector Lora del Río-Hornachuelos se observa un descenso sin recuperación en Peñafior mientras que en los demás puntos no se observa una tendencia de descenso.

REFERENCIAS

MASb.05.04. Huéscar-Puebla de D. Fabrique

- Agencia Andaluza del Agua 2010. Modelo matemático de flujo subterráneo del sector del acuífero de Fuencaliente. Simulación considerando las explotaciones establecidas por la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Abril 2010.
- Fernández, F. 2006. Investigación hidrogeológica sobre la situación del acuífero de Huéscar-Puebla. Base para la sostenibilidad de los aprovechamientos actuales. Diploma de estudios avanzados. Universidad de Granada, 111 pp.
- CHG 2004. Informe preliminar sobre los resultados del control, investigación y modelo matemático ajustado en la unidad hidrogeológica de Huéscar-Puebla.
- CHG 2007. Resultados del modelo matemático de flujo subterráneo del sector del acuífero de Fuencaliente. Simulación considerando las posibles explotaciones establecidas por la CHG. Informe preliminar. Junio 2008.
- CHG-IGME 2001. Revisión y actualización de las normas de explotación de las UH de las cuencas del Guadalquivir y Guadalete-Barbate: UH 05.04 Huéscar-Puebla.
- CHG-IGME 2009. Análisis sobre las masas de agua subterránea 05.04 (Huéscar-Puebla) y 05.05 (La Zarza) como base para el establecimiento de normativas de explotación que permitan la recuperación del manantial de Fuencaliente y la conservación de los manantiales de Parpacén y Bugéjar. Encomienda de Gestión entre la CHG y el IGME. Act. 5. Documento interno.
- IGME 2010. Análisis del modelo matemático elaborado en el sector acuífero relacionado con el manantial de Fuencaliente como base para la recuperación del manantial y recomendaciones para la conservación de los manantiales de Parpacén y Bugéjar (masas de agua subterránea 05.04 Huéscar-Puebla y 05.05 La Zarza). Encomienda de Gestión entre la CHG y el IGME. Actividad 5 documento interno.
- IGME-DGA 2009. Caracterización adicional de las masas de agua subterránea de la cuenca del Guadalquivir.

MASb.23. Úbeda

- Araguás-Araguás, L.; Rubio-Campos, J.C.; González-Ramón, A.; Pérez-Zabaleta, E.; Plata-Bedmar, A. y Núñez, I. (2004). Geochemical and isotopic evolution of groundwater along major flow paths in the confined jurassic aquifer of Úbeda, southern Spain. *International Workshop on the Application of Isotope Techniques in Hydrological and Environmental Studies*. UNESCO. París, France.
- CHG (2007). *Diagnóstico sobre el acuífero 05.23 de la Loma de Úbeda y redacción de recomendaciones de actuación, T.M. (Jaén)*. Informe clave: JA (AH-3236). Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General del Agua
- CHG-IGME (2001). Norma de explotación de la U.H. 05.23 Úbeda. *Revisión y actualización de las normas de explotación de las Unidades Hidrogeológicas de las cuencas del Guadalquivir y Guadalete-Barbate. Propuesta de normativa y definición de nuevas Unidades hidrogeológicas*. Convenio CHG-IGME año 2000-2001.
- DOGH (1994). *Unidad hidrogeológica 05.23 Úbeda*. Normas de explotación de las unidades hidrogeológicas: 01, 08, 13, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 38, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 53, 60, 61, 62 y 63 en la Cuenca del Guadalquivir. Memoria y Planos.
- DOGH-IGME (2001). *Proyecto de actualización de la infraestructura hidrogeológica de las Unidades de Cazorra, Quesada, Segura y Loma de Úbeda*

- Gollonet, J.; González-Ramón, A.; Moreno, J.A. (2008). Nuevos datos sobre la geometría del acuífero jurásico profundo de la Loma de Úbeda. En: López-Geta, J.A.; Rubio, J.C. y Martín-Machuca, M. (Eds.). *VII Simposio del Agua en Andalucía*. IGME. 241-250.
- Gollonet, J.; Rubio-Campos, J.C.; Martín-Montañés, C.; González-Ramón, A. y Peinado, T. (2001). Los acuíferos de la Loma de Úbeda, reserva estratégica para el desarrollo del olivar. *Jornadas sobre presente y futuro de las aguas subterráneas en la provincia de Jaén*. Linares (Jaén). T-1: 379-383. DPG-UJ-IGME.
- González-Ramón, A.; Gollonet, J.; Benavente, J.; Hidalgo, M.C.; Marín-Lechado, C.; Molina-Molina, A.; López-Martos, J.J.; Peinado, T. y Rubio-Campos, J.C. (2002). Acuíferos del borde de la meseta en la provincia de Jaén. *Libro Homenaje a Manuel del Valle Cardenete. Aportaciones al conocimiento de los acuíferos andaluces*: 219-229. IGME-CHG-COPTJA-DPG.
- González-Ramón, A.; Gollonet, J.; Peinado, T.; Moreno, J.A.; Núñez, I.; Heredia, J. y Rubio-Campos, J.C. (2008). Relación hidrogeológica entre el acuífero jurásico de la Lomas de Úbeda y el río Guadalimar. En: López-Geta, J.A.; Rubio, J.C. y Martín-Machuca, M. (Eds.). *VII Simposio del Agua en Andalucía*. IGME. 251-262.
- González-Ramón, A.; Gollonet, J.; Rubio-Campos, J.C. y Núñez, I. (2007). *Los acuíferos de la Loma de Úbeda (Jaén)*. González-Ramón, A., Rubio-Campos, J.C. y López-Geta, J.A. (Eds.). IGME-AUAS. Madrid. 56 p.
- Heredia, J.; González-Ramón, A.; Rodríguez, J.; Gollonet, J. Roldán, F. y Rubio, J.C. (2008). Acuífero carbonatado de la Loma de Úbeda. Propuesta para una explotación sostenible basada en la modelación numérica. En: López-Geta, J.A.; Rubio, J.C. y Martín-Machuca, M. (Eds.). *VII Simposio del Agua en Andalucía*. IGME. 779-794.
- Heredia, J.; Rodríguez, J. y González-Ramón, A. (2009). Identificación de un modelo conceptual mediante modelación numérica integrando información isotópica e hidroquímica: El acuífero profundo de Úbeda (España). En: Mariño, E.E. y Schulz, C.J. (Eds.). *Aportes de la hidrogeología al conocimiento de los recursos hídricos. VI Congreso Argentino de Hidrogeología*. T II: 681-690. Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- IGME (1972). *Mapa Hidrogeológico Nacional, explicación de los mapas de lluvia útil, de reconocimiento hidrogeológico y de síntesis de los sistemas acuíferos*. 3 mapas
- ITGE-CHG (1993). *Propuesta de Normas de Explotación de la U.H. 05.23 (Úbeda)*.
- Martín-Montañés, C.; Gollonet, J.; González-Ramón, A.; Rubio-Campos, J.C. y Rodríguez-Medina, I.C. (2005). Uso conjunto en abastecimiento urbano. Posibilidades de aplicación a la Comarca de Úbeda. *Jornadas Internacionales: De la toma de datos y la realización de modelos de agua subterránea a la gestión integrada*. Alicante. Spain.
- MOPU-IGME (1988). *Estudio 07/88. Delimitación de las Unidades Hidrogeológicas del territorio peninsular e islas Baleares y síntesis de sus características. Cuenca del Guadalquivir*.
- Núñez, I.; Araguás-Araguás, L.; Rubio-Campos, J.C.; González-Ramón, A.; Pérez-Zabaleta, E.; Gollonet, J. (2005). Evolución hidrogeoquímica en el acuífero carbonatado Jurásico de la Loma de Úbeda, Jaén. J.A. López-Geta; J.C. Rubio y M. Martín Machuca (Eds). *VI Simposio del Agua en Andalucía*. Tomo I: 519-531. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas nº 14. IGME. Sevilla

- Núñez, I.; Araguás-Araguás, L.; Moreno, L.; Rubio-Campos, J.C.; González-Ramón, A.; Pérez Zabaleta, E. y Gollonet, J. (2006). Evolución hidrogeoquímica del acuífero carbonatado profundo de la Loma de Úbeda (Jaén). *Boletín Geológico y Minero*, 117 (Núm. Monográfico Especial): 613-616.
- Núñez, I.; González-Ramón, A.; Araguás-Araguás, L.; de la Losa, A.; Pérez-Zabaleta, E.; Díaz-Tijeiro, F. y Heredia, J. (2008). Resultados de los estudios hidroquímicos del acuífero carbonatado de la Loma de Úbeda. En: López-Geta, J.A.; Rubio, J.C. y Martín-Machuca, M. (Eds.). *VII Simposio del Agua en Andalucía*. IGME. 263-270.
- Rey, J., Redondo, L. e Hidalgo, M.C. (1998). Interés hidrogeológico de las dolomías liásicas de la Cobertera Tabular de la Meseta (norte de Úbeda, provincia de Jaén). *Rev. Soc. Geol. España*, 11 (3-4): 213-221.
- Rodríguez, J.; Pérez, E.; Díaz, M.F. y Heredia, J. (2007). A contribution to the characterization of a deeply confined carbonate aquifer in Úbeda (southern Spain) from a reinterpretation of existing geological and geophysical data and new data on environmental isotopes. *XXXV IAH Congress-Groundwater and Ecosystems*. International Association of Hydrogeologists.
- Rubio-Campos, J.C.; Gollonet, J.; González-Ramón, A. y Luque-Espinar, J.A. (2004). El acuífero carbonatado de La Loma de Úbeda y su utilización en el olivar de Jaén. *Jornadas Agua y Globalización en el Mediterráneo. XI Congreso Mundial del Agua*. Granada-Madrid.

MASb.05.24. Bailén-Guarromán-Linares

- IGME-DGA (2009). Apoyo a la caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2.015. (Demarcaciones Hidrográficas del Tajo, Gadiana y Guadalquivir). Encomienda de Gestión con la Dirección General del Agua (MARM) y el Instituto Geológico y Minero de España (MICINN).
- Identificación de tendencias en cumplimiento de la directiva 2006/118/CE. Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir
- IGME-CHG (2001). Propuesta de Normas de explotación de la U.H. 05.24 "Bailén-Guarromán-Linares" Recursos y explotaciones considerados por la CHG en 2008 y 2009.
- Redes piezométrica e hidrométrica de la D.H.G.
- Red de Seguimiento del Estado Químico del Agencia Andaluza del Agua (AAA)
- IGME-DGA (2009). Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica. Encomienda de Gestión con la Dirección General del Agua (MARM) y el Instituto Geológico y Minero de España (MICINN).
- Inventario de Regadío 2008 realizado por la Empresa Publica Desarrollo Agrario y Pesquero (D.A.P.).
- Base de datos AGUAS del IGME
- Martín Montañés, C. (2007). Aplicación de técnicas hidrogeológicas dirigidas a la ordenación del territorio en la investigación de acuíferos sometidos a una potencial contaminación y/o explotación no sostenible: desarrollo metodológico

MASb.05.25. Rumblar

IGME-DGA (2009). Apoyo a la caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2.015. (Demarcaciones Hidrográficas del Tajo, Guadiana y Guadalquivir). Encomienda de Gestión con la Dirección General del Agua (MARM) y el Instituto Geológico y Minero de España (MICINN).

Identificación de tendencias en cumplimiento de la directiva 2006/118/CE. Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir

IGME-CHG (2001). Propuesta de Normas de explotación de la U.H. 05.25 "Rumblar"

Recursos y explotaciones considerados por la CHG en 2008 y 2009

Redes piezométrica e hidrométrica de la D.H.G.

Red de Seguimiento del Estado Químico del Agencia Andaluza del Agua (AAA)

IGME-DGA (2009). Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica. Encomienda de Gestión con la Dirección General del Agua (MARM) y el Instituto Geológico y Minero de España (MICINN).

Inventario de Regadío 2008 realizado por la Empresa Publica Desarrollo Agrario y Pesquero (D.A.P.).

Base de datos AGUAS del IGME

MASb. 05.38. El Pedroso-Arcas

Duran, J. 2007. Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga. Instituto Geológico y Minero de España Málaga.

IGME. 1972a. Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los mantos acuíferos de la España Peninsular, Baleares y Canarias. Escala 1:1.000.000. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

IGME. 1972b. Mapa Hidrogeológico Nacional, explicación de los mapas de lluvia útil, de reconocimiento hidrogeológico y de síntesis de los sistemas acuíferos. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

IGME. 1982. Proyecto de investigación hidrogeológica infraestructural de los sistemas acuíferos 30 y 31. Cuanca Alta del Guadalquivir. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

IGME. 2000. Plan de integración de los recursos hídricos subterráneos en el abastecimiento urbano. Estudios hidrogeológico de probabilidades de mejora de los abastecimientos urbanos del norte de la provincia de Málaga. . Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

IGME. 2002. Norma de explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.38. El Pedroso-Arcas. Instituto Geológico de España, Sevilla.

IGME. 2010. Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre las aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica. 050.038. El Pedroso-Arcas. Instituto Geológico y Minero de España Madrid.

MMA. 1997. Catálogo de Acuíferos con problemas de Sobreexplotación o Salinización. Predefinición del Programa de Actuación. Secretaria de Estado de Aguas y Costas. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas., Madrid.

MOPU and IGME. 1988. Delimitación de las Unidades Hidrogeológicas del territorio Peninsular e Islas Baleares y síntesis de sus características. Cuenca del Guadalquivir. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

MASb. 05.41. Guadahortuna-Larva.

IGME-DGA (2009). Caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2.015. Encomienda de Gestión con la Dirección General del Agua (MARM) y el Instituto Geológico y Minero de España (MICINN).

Identificación de tendencias en cumplimiento de la directiva 2006/118/CE. Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir

Propuesta de Normas de explotación de la U.H. 05.41 "Guadahortuna-Larva" (IGME-CHG, 2001)

Recursos y explotaciones considerados por la CHG en 2008 y 2009

Redes piezométrica e hidrométrica de la D.H.G.

Red de Seguimiento del Estado Químico del Agencia Andaluza del Agua (AAA)

IGME-DGA (2009). Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descarga por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial relevancia hídrica. Encomienda de Gestión con la Dirección General del Agua (MARM) y el Instituto Geológico y Minero de España (MICINN).

Inventario de Regadío 2008 realizado por la Empresa Publica Desarrollo Agrario y Pesquero (D.A.P.)

Base de datos AGUAS del IGME

ITGE-DGA (1990). Plan de investigación de las Unidades Hidrogeológicas localizadas entre los ríos Guadalbullón y Jandulilla (Pegalajar-Cabra del Santo Cristo, Jaén)

ITGE-DGA (1991). Informe técnico sobre la solicitud del perímetro de protección del acuífero de Los Chotos-Cortijo Hidalgo. Cabra del Santo Cristo (Jaén).

DOGH (1997). Catálogo de acuíferos con problemas de sobreexplotación o salinización, predefinición del programa de actuación.

MMA (1998). Programa de ordenación de acuíferos sobreexplotados/salinizados. Serie monografías. Ministerio de Medio Ambiente.

MASb. 05.43. Sierra y Mioceno de Estepa

Cruz-Sanjulián, J. 1974. Estudio geológico del sector Cañete La Real-Teba-Osuna (Cordillera Bética, región occidental). Tesis Doctoral. Universidad de Granada, Granada.

CHG. 1994. Norma de explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.43. Sierra y Mioceno de Estepa. Instituto Geológico de España, Sevilla.

Durán, J. J. 2003. Atlas hidrogeológico de la provincia de Sevilla. IGME-DPS, Madrid.

FAO. 1969. Étude hidrogeologique du bassin du Guadalquivir. Instituto Geológico de España, Madrid.

FAO. 1970. Estudio hidrogeológico de la Cuenca del Guadalquivir. España. Hidrogeología. Instituto Geológico de España, Madrid.

- IGME. 1972. Mapa Hidrogeológico Nacional, explicación de los mapas de lluvia útil, de reconocimiento hidrogeológico y de síntesis de los sistemas acuíferos. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- IGME. 1976. Estudio Hidrogeológico de la Sierra de Estepa. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- IGME. 1977. Evolución piezométrica sistemas acuíferos 25, 28, 33, Macizo de Estepa, Arahal-Morón-Puebla de Cazalla, Marchena-Paradas y Sistema Acuífero nº 27. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- IGME. 1978. Evolución piezométrica sistemas acuíferos 25, 28, 33, Macizo de Estepa, Arahal-Morón-Puebla de Cazalla, Marchena-Paradas y Sistema Acuífero nº 27. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- IGME. 1979. Evolución piezométrica sistemas acuíferos 25, 28, 33, Macizo de Estepa, Arahal-Morón-Puebla de Cazalla, Marchena-Paradas y Sistema Acuífero nº 27. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- IGME. 1981. Evolución piezométrica de los acuíferos de la cuenca baja del Guadalquivir, 1980-81. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- IGME. 1982. Evolución de los manantiales de Almajar-Alamedilla. Sierra de Estepa. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- IGME. 1985a. Estudio hidrogeológico para el aprovechamiento integral de los recursos de la Sierra de Estepa. Instituto Geológico y Minero de España, Sevilla.
- Estudio hidrogeológico para el aprovechamiento integral de los recursos de la Sierra de Estepa. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- IGME. 1988a. Estudio hidrogeológico del Terciario de Martín de la Jara- Los Corrales. Instituto Geológico y Minero de España, Sevilla.
- IGME. 1988b. Trabajos geofísicos complementarios en tres zonas de interés hidrogeológico. Macizo calizo de Estepa. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- IGME. 2002a. Norma de explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.43. Sierra y Mioceno de Estepa. Instituto Geológico de España, Sevilla.
- IGME. 2002b. Propuesta de actuaciones en relación a los abastecimientos públicos de agua potable a las poblaciones del Consorcio de Aguas de la Sierra Sur de Sevilla. Instituto Geológico y Minero de España, Sevilla.
- IGME. 2006. Apoyo a la actualización de los conocimientos y explotación sostenible del acuífero de la Sierra de Estepa (Sevilla). Instituto Geológico y Minero de España, Sevilla.
- ITGE. 1993. Propuesta de Norma de Explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.43. Sierra y Mioceno de Estepa. Instituto Geológico de España, Sevilla.
- Lambán, L. J., and J. M. Pernía. 2004. Propuesta de indicadores sobre el estado cualitativo de las aguas subterráneas: aplicación al acuífero de la Sierra de Estepa. Pages 337-347 *in* VIII Simposio de Hidrogeología. Asociación de Hidrogeólogos, Zaragoza,.
- Martos-Rosillo, S. 2005. Contribución al conocimiento hidrogeológico del acuífero carbonático de la Sierra de Estepa (Sevilla). Trabajo de Investigación Tutelada. Universidad de Granada, Granada.
- Martos-Rosillo, S. 2008. Investigación hidrogeológica orientada a la gestión racional de acuíferos carbonáticos sometidos a un uso intensivo del agua subterránea. El caso de la Sierra de Estepa (Sevilla). Tesis Doctoral. Universidad de Granada, Granada.

- Martos-Rosillo, S., T. Bros, J. L. Lambán, A. Díaz, and M. Martín-Machuca. 2004. Análisis preliminar de la hidrogeoquímica del acuífero carbonatado de la Sierra de Estepa (Sevilla). Pages 13-26 *in* VIII Simposio de Hidrogeología. Asociación de Hidrogeólogos, Zaragoza.
- Martos-Rosillo, S., M. Martín Machuca, A. Ballester, D. Martín-Sosa, and A. Díez. 2006a. Nuevas técnicas de perforación y testificación de sondeos de investigación hidrogeológica en materiales carbonáticos. El caso de la Sierra de Estepa (Sevilla). Pages 161-171 *in* Karst, cambio climático y aguas subterráneas. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Málaga.
- Martos-Rosillo, S., M. Martín Machuca, J. Cruz-Sanjulián, J. C. Rubio, C. Hermo, and A. Díaz Pérez. 2006b. Evaluación de los recursos medios renovables del acuífero carbonático de la Sierra de Estepa (Sevilla). Pages 203-211 *in* Karst, cambio climático y aguas subterráneas. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero, Málaga.
- Martos-Rosillo, S., F. Pérez-Fernández, A. Díaz, J. A. López Geta, M. Martín Machuca, and F. Ruiz -Bermudo. 2008a. Cálculo de la tasa de infiltración con el método APLIS en el acuífero carbonático de la Sierra de Becerrero (Sevilla). Análisis y contrastes de los resultados. 25-35 en A. Fernández Uría. IX Simposio de Hidrogeología. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Elche.
- Martos-Rosillo, S., F. Pérez-Fernández, and J. J. Durán. 2008b. Estimación de la recarga mediante el método APLIS en los acuíferos carbonáticos de la Sierra de Estepa (Sevilla). Geo-Temas.
- Martos-Rosillo, S., A. M. Rebollo, A. Díaz, and F. Pérez-Fernández. 2008c. Evaluación del tiempo medio de residencia del agua subterránea en los acuíferos carbonáticos de la Sierra de Estepa y su repercusión en la gestión de los recursos explotables. Pages 985-904 en VII Congreso del Agua en Andalucía. IGME, Baeza.
- Martos-Rosillo, S., M. Rodríguez, F. Moral, J. Cruz-Sanjulián, and J. C. Rubio. 2008d. Analysis of groundwater mining in two carbonate aquifers in Sierra de Estepa (SE Spain) based on hydrodynamic and hydrochemical data. *Hydrogeology Journal* 17:1617-1627.
- MOPU, IGME. 1988. Delimitación de las Unidades Hidrogeológicas del territorio Peninsular e Islas Baleares y síntesis de sus características. Cuenca del Guadalquivir. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Murillo, J. M., and J. A. de la Orden Gómez. 1996. Sobreexplotación, alternativas de gestión y evaluación del efecto del cambio climático en la recarga natural del acuífero Kimmeridgiense de Cabezón de Oro (Alicante). Pages 73-88 *in* Recursos hídricos en regiones kársticas, Vitoria.
- Sola, R. 1972. Estudio geológico e hidrogeológico de un sector entre Estepa y Lora de Estepa (Sevilla). Tesis de Licenciatura. Universidad de Granada, Granada.
- Vázquez-Mora, M., M. Martín-Machuca, and A. Díaz 2001. Respuestas de un acuífero kárstico mediterráneo a un ciclo climático húmedo-seco: el caso de la Sierra de Estepa, Sevilla. *Boletín Geológico y Minero* 112:65-76.
- Vrba, J., A. Lipponen. 2007. Groundwater resources sustainability indicators. UNESCO, Paris.

MASb.05.49. Gerena-Posadas

Agencia Andaluza del Agua. (2010). Adaptación de los puntos de control de calidad de las aguas subterráneas a la D.M.A. para M.A.S. Niebla Posadas (05.49), Junta de Andalucía.

Agencia Andaluza del Agua. (2010). Apoyo a la explotación de la red de control de calidad de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Guadalquivir -Establecimiento de la Red de Control-.

IGME (1983). Estudio hidrogeológico actualizado del sistema acuífero 26 "Mioceno de base", tramo Niebla-Posadas. Madrid. Instituto Geológico y Minero de España.

ITGE (1995). Catálogo de acuíferos sobreexplotados. Madrid, Instituto Tecnológico Geominero de España.

IGME (2003). Estudio de la incorporación de las aguas subterráneas al sistema de emergencia del abastecimiento a la ciudad de Sevilla y su área de influencia. Sevilla, Instituto Geológico y Minero de España: 131.