

DOCUMENTOS

COMPLEMENTARIOS

Demarcación Hidrográfica Guadalete Barbate



DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS.

TRABAJOS NECESARIOS PARA LA MEJORA DEL CONOCIMIENTO Y PROTECCIÓN CONTRA LA CONTAMINACIÓN Y EL DETERIORO DEL ESTADO DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LAS DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS ANDALUZAS DE CARÁCTER INTRACOMUNITARIO, CONFORME A LO ESTABLECIDO EN LAS DIRECTIVAS 2000/60/CE Y 2006/118/CE



1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	3
1.2. OBJETO Y ALCANCE.....	4
1.3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN. ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO	7
2. DELIMITACIÓN DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN Y ZONAS DE SALVAGUARDA	8
2.1. DELIMITACIÓN DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN	8
2.1.1. INTRODUCCIÓN	8
2.1.2. TRABAJOS REALIZADOS	9
2.1.2.1. Documentación consultada	9
2.1.2.2. Aspectos metodológicos.....	11
2.1.2.3. Parámetros hidrogeológicos.....	13
2.1.2.4. Génesis de los perímetros de protección	17
2.1.2.4.1. Envoltentes de Wyssling.....	17
2.1.2.4.2. Envoltentes de Jacob.....	18
2.1.2.4.3. Perímetros en captaciones con drenaje por gravedad	19
2.1.2.4.4. Delimitación hidrogeológica	20
2.1.2.4.5. Revisión final mediante criterio de experto	22
2.1.3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	23
2.1.3.1. Perímetros de protección de la calidad del agua.....	23
2.1.3.2. Perímetros de protección de la cantidad.....	25
2.1.3.3. Zonación de Lugares de Interés Hidrogeológico (LIH's).....	27
2.1.3.3.1. Protección de la calidad del agua	28
2.1.3.3.2. Protección de la cantidad del agua.....	30
2.2. DELIMITACIÓN DE ZONAS DE SALVAGUARDA	31
2.2.1. INTRODUCCIÓN	31
2.2.2. TRABAJOS REALIZADOS	32
2.2.2.1. Documentación consultada	32
2.2.2.2. Aspectos metodológicos.....	34
2.2.3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	37
3. IDENTIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DE INTERÉS LOCAL	42
3.1. INTRODUCCIÓN	42
3.2. TRABAJOS REALIZADOS	42
3.2.1. Documentación consultada.....	42
3.2.2. Aspectos metodológicos.....	42
3.3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	46
- 062.2.01. ALGODONALES	47
- 062.2.02. SIERRA DE AZNAR	48
- 062.2.03. LA MUELA	49
4. REVISIÓN Y ADECUACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE LAS AGUAS A LOS MODELOS CONCEPTUALES DEDUCIDOS PARA LOS ACUÍFEROS QUE CONSTITUYEN LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA	54
4.1. INTRODUCCIÓN	54
4.2. BASE NORMATIVA	54



4.2.1. DIRECTIVA 2000/60/CE. DIRECTIVA MARCO DEL AGUA (DMA)	54
4.2.2. DIRECTIVA 2006/118/CE. DIRECTIVA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (DAS).....	55
4.2.3. LEY DE AGUAS.....	55
4.2.4. REGLAMENTO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA	56
4.2.5. INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.....	56
4.2.6. REAL DECRETO 1514/2009	56
4.2.7. LEY DE AGUAS PARA ANDALUCÍA	56
4.3. RED DE CONTROL ACTUAL EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALETE Y BARBATE	57
4.3.1. ESTADO QUÍMICO.....	57
4.3.2. ESTADO CUANTITATIVO.....	61
4.4. ASPECTOS METODOLÓGICOS	64
4.4.1. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DEL ESTADO CUANTITATIVO	64
4.4.2. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DEL ESTADO QUÍMICO	64
4.4.2.1. Recomendaciones recogidas en el documento Guía nº 15	65
4.4.2.2. Criterios utilizados durante los trabajos de revisión de la red de seguimiento del estado químico	66
4.5. PROPUESTA DE ADECUACIÓN Y MEJORA DE LAS REDES DE CONTROL DEL ESTADO QUÍMICO Y ESTADO CUANTITATIVO DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	68
4.5.1. SETENIL (062.001).....	68
4.5.1.1. Estado químico	68
4.5.1.2. Estado cuantitativo	69
4.5.2. SIERRA DE LÍBAR (062.002).....	70
4.5.2.1. Estado químico	70
4.5.2.2. Estado cuantitativo	71
4.5.3. SIERRA DE LÍJAR (062.003).....	72
4.5.3.1. Estado químico	72
4.5.3.2. Estado cuantitativo	72
4.5.4. SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY (062.004).....	72
4.5.4.1. Estado químico	72
4.5.4.2. Estado cuantitativo	74
4.5.5. ARCOS DE LA FRONTERA-VILLAMARTÍN (062.005).....	74
4.5.5.1. Estado químico	74
4.5.5.2. Estado cuantitativo	76
4.5.6. SIERRA VALLEJA (062.006).....	76
4.5.6.1. Estado químico	76
4.5.6.2. Estado cuantitativo	77
4.5.7. SIERRA DE LAS CABRAS (062.007).....	77
4.5.7.1. Estado químico	77
4.5.7.2. Estado cuantitativo	78
4.5.8. ALUVIAL DEL GUADALETE (062.008).....	78
4.5.8.1. Estado químico	78
4.5.8.2. Estado cuantitativo	80
4.5.9. JEREZ DE LA FRONTERA (062.009).....	80
4.5.9.1. Estado químico	80
4.5.9.2. Estado cuantitativo	81



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



4.5.10. SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-PUERTO DE SANTA MARÍA (062.010)	82
4.5.10.1. Estado químico	82
4.5.10.2. Estado cuantitativo	83
4.5.11. PUERTO REAL (062.011)	83
4.5.11.1. Estado químico	83
4.5.11.2. Estado cuantitativo	84
4.5.12. CONIL DE LA FRONTERA (062.012)	85
4.5.12.1. Estado químico	85
4.5.12.2. Estado cuantitativo	86
4.5.13. BARBATE (062.013).....	86
4.5.13.1. Estado químico	86
4.5.13.2. Estado cuantitativo	88
4.5.14. BENALUP (062.014)	88
4.5.14.1. Estado químico	88
4.5.14.2. Estado cuantitativo	88
4.6. SÍNTESIS DE LOS TRABAJOS DE REVISIÓN Y ADECUACIÓN DE LAS REDES DE CONTROL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	89
4.6.1. ESTADO QUÍMICO.....	89
4.6.2. ESTADO CUANTITATIVO.....	90
5. ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE REFERENCIA, NIVELES BÁSICOS Y VALORES UMBRAL. DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS Y SOSTENIDAS AL AUMENTO Y DEFINICIÓN DE LOS PUNTOS DE PARTIDA DE LAS INVERSIONES DE TENDENCIAS	91
5.1. INTRODUCCIÓN	91
5.2. TRABAJOS REALIZADOS	91
5.2.1. ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE REFERENCIA	91
5.2.1.1. Agregación de los datos.....	92
5.2.1.1.1. Límites geográficos de las masas de agua subterránea	93
5.2.1.1.2. Establecimiento de series temporales representativas.....	95
5.2.1.2. Criterios de representatividad del muestreo.....	96
5.2.1.3. Revisión de antecedentes.....	97
5.2.1.4. Análisis estadístico.....	98
5.2.1.5. Origen natural/antrópico de los parámetros analizados.....	98
5.2.2. ESTABLECIMIENTO DE VALORES UMBRAL.....	99
5.2.2.1. Masas de agua subterránea y parámetros analizados	100
5.2.2.2. Establecimiento de los valores umbral	102
5.2.2.3. Parámetros con normas de calidad específicas: Nitratos y plaguicidas	104
5.2.3. ESTABLECIMIENTO DE NIVELES BÁSICOS.....	104
5.2.3.1. Discretización de datos.....	105
5.2.3.1.1. Límites geográficos de las masas de agua subterránea	105
5.2.3.1.2. Selección de registros analíticos adaptada a la directiva 2006/118/CE105	
5.3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	106
5.4. DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS Y SOSTENIDAS AL AUMENTO Y DEFINICIÓN DE LOS PUNTOS DE PARTIDA DE LAS INVERSIONES DE TENDENCIAS	108
5.4.1. PARÁMETROS ANALIZADOS.....	108
5.4.2. DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS Y SOSTENIDAS AL AUMENTO..	109
5.4.3. PUNTO DE PARTIDA DE INVERSIÓN DE TENDENCIAS	111

5.4.4. CONCLUSIONES DE LA DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS Y DEFINICIÓN DE LOS PUNTOS DE PARTIDA DE LAS INVERSIONES DE TENDENCIAS	111
▪ 062.001. Setenil	111
▪ 062.002. Sierra de Líbar; 062.003. Sierra de Líjar; 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey	113
▪ 062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín	113
▪ 062.006. Sierra Valleja	116
▪ 062.007. Sierra de las Cabras	118
▪ 062.008. Aluvial del Guadalete	119
▪ 062.009. Jerez de la Frontera	121
▪ 062.010. Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María	123
▪ 062.011. Puerto Real	129
▪ 062.012. Conil de la Frontera	133
▪ 062.013. Barbate	137
▪ 062.014. Benalup	141
6. INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN, DE ACUERDO AL APARTADO 2.5 DEL ANEXO V DE LA DIRECTIVA 2000/60/CE, DEL ESTADO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	145
6.1. INTRODUCCIÓN	145
6.2. TRABAJOS REALIZADOS	145
6.2.1. EVALUACIÓN DEL ESTADO QUÍMICO	145
6.2.1.1. Agregación de los datos	146
6.2.2. EVALUACIÓN DEL ESTADO CUANTITATIVO	147
6.2.2.1. Agregación de los datos	148
6.2.2.1.1. Límites geográficos de las masas de agua subterránea	148
6.2.2.1.2. Selección de piezómetros representativos	149
✓ Establecimiento del índice de llenado (iLL)	150
✓ Establecimiento del índice de extracción (I.E.)	152
6.3. RESULTADOS OBTENIDOS	152
6.3.1. RESULTADOS OBTENIDOS TRAS LA EVALUACIÓN DEL ESTADO QUÍMICO	152
▪ 062.001. Setenil	152
▪ 062.002. Sierra de Líbar; 062.003. Sierra de Líjar; 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey	154
▪ 062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín	154
▪ 062.006. Sierra Valleja	155
▪ 062.007. Sierra de las Cabras	156
▪ 062.008. Aluvial del Guadalete	158
▪ 062.009. Jerez de la Frontera	159
▪ 062.010. Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María	161
▪ 062.011. Puerto Real	163
▪ 062.012. Conil de la Frontera	165
▪ 062.013. Barbate	167
▪ 062.014. Benalup	169
6.3.2. RESULTADOS OBTENIDOS TRAS LA EVALUACIÓN DEL ESTADO CUANTITATIVO	170
▪ 062.001. Setenil	170
▪ 062.002. Sierra de Líbar	170
▪ 062.003. Sierra de Líjar	170
▪ 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey	171



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



▪ 062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín.....	171
▪ 062.006. Sierra Valleja.....	173
▪ 062.007. Sierra de las Cabras.....	174
▪ 062.008. Aluvial de Guadalete.....	177
▪ 062.009. Jerez de la Frontera.....	177
▪ 062.010. Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María.....	180
▪ 062.011. Puerto Real.....	183
▪ 062.012. Conil de la Frontera.....	184
▪ 062.013. Barbate.....	184
▪ 062.014. Benalup.....	187
6.4. INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL ESTADO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	190
6.4.1. ESTADO QUÍMICO.....	190
6.4.2. ESTADO CUANTITATIVO.....	194
7. ESTIMACIÓN DE BALANCES HIDROLÓGICOS EN MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE NATURALEZA DETRÍTICA, MIXTA Y CARBONATADA.....	196
7.1. INTRODUCCIÓN.....	196
7.2. TRABAJOS REALIZADOS.....	196
7.2.1. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA.....	196
7.2.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	197
7.2.2.1. Recarga por infiltración del agua de lluvia.....	198
7.2.2.1.1. Masas de agua subterránea de naturaleza detrítica.....	198
7.2.2.1.2. Masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada.....	200
7.2.2.2. Recarga por retornos de regadío.....	203
7.2.2.3. Resto de componentes del balance.....	206
7.3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	207
8. DEFINICIÓN DE EMPLAZAMIENTOS FAVORABLES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SONDEOS DE ABASTECIMIENTO EN PERÍODOS DE SEQUÍA EN LA COMARCA DE LA SIERRA DE CÁDIZ.....	210
8.1. INTRODUCCIÓN.....	210
8.2. TRABAJOS REALIZADOS.....	210
8.2.1. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA.....	210
8.2.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	210
8.3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	212
▪ Subsistema 1. Olvera, Torre Alháuquime y Setenil de las Bodegas.....	213
▪ Subsistema 2. Ubrique.....	217
▪ Subsistema 3. Algodonales - El Gastor - Zahara - Puerto Serrano - Prado del Rey - Villamartín - El Bosque - Benamahoma - Coto de Bornos - Bornos - Espera.....	220
▪ Subsistema 3.1. Algodonales, El Gastor y Zahara de la Sierra (Bocaleones).....	220
▪ Subsistema 3.2. El Bosque y Benamahoma (Grazalema).....	223
▪ Subsistema 3.3. Villamartín, Puerto Serrano y Prado del Rey.....	227
▪ Subsistema 3.4. Bornos, Coto de Bornos (Bornos) y Espera.....	231
▪ Subsistema 4. Arcos de la Frontera.....	234
9. PROPUESTA DE TRABAJOS PARA LA MEJORA DEL CONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 062.004. SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY.....	237
9.1. INTRODUCCIÓN.....	237
9.2. OBJETO Y ALCANCE DE LA PROPUESTA.....	237
9.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	238
9.4. TRABAJOS PROPUESTOS.....	240



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



9.4.1. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA	240
9.4.2. REVISIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA EXISTENTE, ELABORACIÓN DE UNA CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA DE DETALLE Y DELIMITACIÓN DE LOS COMPARTIMENTOS HIDROGEOLÓGICOS.....	240
9.4.3. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA	240
9.4.4. MUESTREOS.....	241
▪ Muestreo del agua de lluvia	241
▪ Muestreo de manantiales.....	241
▪ Muestreo de pozos y sondeos	242
9.4.5. ANÁLISIS QUÍMICOS E ISOTÓPICOS	242
9.4.6. ENSAYO DE TRAZADORES	243
9.4.7. CAMPAÑAS DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA.....	243
9.4.8. EJECUCIÓN DE PIEZÓMETROS DE INVESTIGACIÓN.....	245
9.4.9. TRABAJO DE GABINETE.....	245
9.4.10. REDACCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS Y EDICIÓN.....	245
10. ELABORACIÓN DE UNA CARTOGRAFÍA DE VULNERABILIDAD NATURAL A LA CONTAMINACIÓN EN LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA IDENTIFICADAS EN LA DEMARCACIÓN	246
10.1. INTRODUCCIÓN	246
10.2. TRABAJOS REALIZADOS	247
10.2.1. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA.....	247
10.2.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS	247
10.2.2.1. Cartografía de vulnerabilidad natural a la contaminación en masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada (método COP)	248
- Método COP	249
- Fuentes de información, recopilación, análisis y tratamiento de los datos y capas de información.....	256
- Elaboración de mapas temáticos.....	263
10.2.2.2. Cartografía de vulnerabilidad natural a la contaminación en masas de agua subterránea de naturaleza detrítica (método DRASTIC reducido)	264
- Método DRASTIC	264
- Elaboración de mapas temáticos.....	267
10.3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	269
- Masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada (método COP):	269
- Masas de agua subterránea de naturaleza detrítica (método DRASTIC reducido):	269
11. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA COMPARTIDAS ENTRE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS LIMÍTROFES.....	274
11.1. INTRODUCCIÓN	274
11.2. BASE NORMATIVA	276
11.2.1. DIRECTIVA MARCO DEL AGUA (DIRECTIVA 2000/60/CE)	276
11.2.2. LEY DE AGUAS.....	276
11.2.3. REGLAMENTO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.....	276
11.2.4. INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.....	277
11.2.5. LEY DE AGUAS PARA ANDALUCÍA	277
11.3. TRABAJOS REALIZADOS	277
11.3.1. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA.....	277
11.3.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS	277
11.3.3. MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA LIMÍTROFES.....	279



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



11.4. RESULTADOS OBTENIDOS.....	280
11.4.1. SETENIL (062.001) - DEPRESIÓN DE RONDA (060.042).....	280
11.4.2. SETENIL (062.001) - SIERRA HIDALGA-MERINOS-BLANQUILLA (060.043).....	282
11.4.3. SETENIL (062.001) - SIERRA DE CAÑETE (05.72).....	284
11.4.4. SIERRA DE LÍBAR (062.002) - SIERRA DE LÍBAR (060.044).....	285
12. DOCUMENTO DE SÍNTESIS.....	288
12.1. TRABAJOS REALIZADOS	288
12.2. RESULTADOS OBTENIDOS.....	302
12.2.1. DELIMITACIÓN DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN Y ZONAS DE SALVAGUARDA	302
12.2.1.1. Delimitación de perímetros de protección	302
12.2.1.2. Delimitación de zonas de salvaguarda.....	309
12.2.2. IDENTIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DE INTERÉS LOCAL	313
- 062.2.01. ALGODONALES	314
- 062.2.02. SIERRA DE AZNAR	315
- 062.2.03. LA MUELA	316
12.2.3. REVISIÓN Y ADECUACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE LAS AGUAS A LOS MODELOS CONCEPTUALES DEDUCIDOS PARA LOS ACUÍFEROS QUE CONSTITUYEN LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA	318
12.2.4. ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE REFERENCIA, NIVELES BÁSICOS Y VALORES UMBRAL. DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS Y SOSTENIDAS AL AUMENTO Y DEFINICIÓN DE LOS PUNTOS DE PARTIDA DE LAS INVERSIONES DE TENDENCIAS	321
12.2.5. INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN, DE ACUERDO AL APARTADO 2.5 DEL ANEXO V DE LA DIRECTIVA 2000/60/CE, DEL ESTADO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	326
12.2.6. ESTIMACIÓN DE BALANCES HIDROLÓGICOS EN MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE NATURALEZA DETRÍTICA, MIXTA Y CARBONATADA	329
12.2.7. DEFINICIÓN DE EMPLAZAMIENTOS FAVORABLES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SONDEOS DE ABASTECIMIENTO EN PERÍODOS DE SEQUÍA EN LA COMARCA DE LA Sª DE CÁDIZ	332
12.2.8. PROPUESTA DE TRABAJOS PARA LA MEJORA DEL CONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 062.004 SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY..	334
12.2.9. CARTOGRAFÍA DE VULNERABILIDAD NATURAL A LA CONTAMINACIÓN EN MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE NATURALEZA DETRÍTICA, MIXTA Y CARBONATADA.....	335
12.2.10 IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA COMPARTIDAS ENTRE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS LIMÍTROFES.....	338
12.3. CONSIDERACIONES FINALES.....	341
12.3.1. CONCLUSIONES.....	341
12.3.2. RECOMENDACIONES	344

ANEXOS

ANEXO 1.

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO 2.

PERÍMETROS DE PROTECCIÓN. FICHAS DESCRIPTIVAS

ANEXO 3.

ACUÍFEROS DE INTERÉS LOCAL. FICHAS DESCRIPTIVAS

ANEXO 4.

ADECUACIÓN Y MEJORA DE LAS REDES DE CONTROL. FIGURAS DESCRIPTIVAS

ANEXO 5.

NIVELES DE REFERENCIA, NIVELES BÁSICOS Y VALORES UMBRAL EN PARÁMETROS ADICIONALES INCLUIDOS EN LA DIRECTIVA 2006/118/CE

ANEXO 6.

EVALUACIÓN DEL ESTADO QUÍMICO RESPECTO A LOS PARÁMETROS ADICIONALES INCLUIDOS EN LA DIRECTIVA 2006/118/CE

ANEXO 7.

ZONAS HIDROGEOLÓGICAMENTE FAVORABLES. FICHAS DESCRIPTIVAS

ANEXO 8.

VULNERABILIDAD. PARÁMETROS Ly, OS y SV

MEMORIA.

TRABAJOS NECESARIOS PARA LA MEJORA DEL CONOCIMIENTO Y PROTECCIÓN CONTRA LA CONTAMINACIÓN Y EL DETERIORO DEL ESTADO DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LAS DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS ANDALUZAS DE CARÁCTER INTRACOMUNITARIO, CONFORME A LO ESTABLECIDO EN LAS DIRECTIVAS 2000/60/CE Y 2006/118/CE



1. INTRODUCCIÓN

En octubre del año 2000 el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea aprobaron la Directiva 2000/60/CE (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, nº L 327 de 22/12/2000, páginas 1-72) por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Esta directiva, a la que se conoce habitualmente como Directiva Marco del Agua (DMA), constituye una disposición europea de rango superior que debe ser cumplida por todos los Estados miembros y cuyo fin último es proteger y mejorar la calidad de todas las aguas europeas.

La entrada en vigor de la DMA ha establecido en Europa un nuevo modelo de gestión y de protección de las aguas superficiales y subterráneas, innovador en muchos aspectos, al que los distintos países aún se están adaptando a través de un proceso largo y complejo que comenzó en el año 2000 y que se extenderá durante los próximos años. Su objetivo principal es la consecución o, en su caso, el mantenimiento del buen estado de las aguas superficiales continentales, las aguas subterráneas, las aguas de transición y las aguas costeras para el año 2015.

Para la consecución de estos objetivos la Directiva establece en su articulado una serie de requerimientos de obligado cumplimiento por parte de los Estados miembros, los plazos dentro de los cuales se deben acometer y la periodicidad con la que deben revisarse y actualizarse. En la tabla 1.1 se han resumido los plazos correspondientes a los aspectos más relevantes de la Directiva, la periodicidad con la que deben revisarse y los artículos donde vienen recogidos.

PLAZO	REQUISITO	ARTÍCULO
22/12/2000	Entrada en vigor de la DMA	Art. 25
22/12/2003	Transposición de la DMA al ordenamiento jurídico de cada Estado miembro	Art. 24
	Identificación de las demarcaciones hidrográficas y de las autoridades competentes	Art. 3
22/12/2004	Análisis de las características de cada demarcación hidrográfica, evaluación de las presiones y los impactos sobre las masas de agua y análisis económico del uso del agua. Revisión cada 6 años a partir de 2013	Art. 5
	Elaboración de un registro de las zonas protegidas existentes en cada demarcación hidrográfica	Art. 6
22/12/2006	Establecimiento de un programa de seguimiento del estado de las aguas superficiales y subterráneas	Art. 8
	Información y consulta públicas de los planes hidrológicos de cuenca	Art. 14
22/12/2008	Presentación de los borradores de los planes hidrológicos de cuenca	Art. 13 y 14
22/12/2009	Publicación de los planes hidrológicos de cuenca. Revisión cada 6 años	Art. 13
	Establecimiento de un programa de medidas para cada demarcación hidrográfica. Revisión cada 6 años	Art. 11
2010	Recuperación de los costes relacionados con el agua e incentivos a su uso eficiente	Art. 9
22/12/2012	Todas las disposiciones del programa de medidas deben estar operativas	Art. 11
	Informe de la Comisión Europea sobre el grado de aplicación de la DMA. Revisión cada 6 años	Art. 18
22/12/2015	Se deben cumplir los objetivos medioambientales de la DMA	Art. 4
22/12/2019	Revisión de la DMA por parte de la Comisión Europea	Art. 19

Tabla 1.1. Principales plazos establecidos en la Directiva Marco del Agua

Por lo que respecta a las aguas subterráneas, el principal objetivo que establece la Directiva es alcanzar un buen estado, tanto cuantitativo como químico, a más tardar quince años después de su entrada en vigor (año 2015). La unidad geográfica de referencia en la que se debe evaluar el estado de estas aguas es la masa de agua subterránea, que en el artículo 2 de la Directiva viene definida como *un volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas de un acuífero o acuíferos*.

La Directiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro y en vigor desde el 16 de enero de 2007, complementa la DMA con definiciones, criterios, procedimientos de evaluación y medidas de prevención, las estrategias para la prevención y el control de la contaminación de las aguas subterráneas dispuestas en el artículo 17 de la Directiva 2000/60/CE.

La incorporación al ordenamiento jurídico español de la DMA se materializó, de modo general, mediante el artículo 129 de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y de orden social, que modifica, añade y suprime artículos y disposiciones del Texto Refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio. La Directiva 2006/118/CE, por su parte, se incorporó al ordenamiento interno mediante el Real Decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.

El Texto Refundido de la Ley de Aguas, aprobado en 2001 mediante el Real Decreto Legislativo 1/2001, refunda y adapta la normativa legal existente en nuestro país en materia de aguas. Tiene por objeto regular el dominio público hidráulico, el uso del agua y las competencias del Estado en estas materias, establece que las aguas superficiales y subterráneas continentales son un recurso unitario, de interés general, que constituye el dominio público hidráulico, y asigna al Estado las competencias relativas a la planificación hidrológica.

El Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, modifica el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, aprobado mediante el Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, con objeto de adaptarlo a los cambios introducidos en el Texto Refundido de la Ley de Aguas con motivo de la transposición de la DMA. La finalidad del Reglamento de Planificación Hidrológica es definir las estrategias para alcanzar los objetivos de la planificación hidrológica y desarrollar reglamentariamente el contenido de los planes y su proceso de elaboración.

La Instrucción de Planificación Hidrológica, por su parte, establece una serie de instrucciones y recomendaciones técnicas complementarias para la elaboración de los planes hidrológicos de cuenca, que tienen como objetivo la obtención de resultados homogéneos y sistemáticos en el conjunto de la planificación hidrológica, a pesar de la heterogeneidad intrínseca y las diferentes características básicas de cada plan hidrológico. Con la aprobación del nuevo Reglamento de Planificación Hidrológica en 2007, fue necesario proceder a la adaptación de la Instrucción de Planificación Hidrológica que se materializó en 2008 mediante la aprobación de la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre.

Mediante el Decreto 357/2009, de 20 de octubre, el gobierno autonómico andaluz estableció el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas de las cuencas internas andaluzas cuyas funciones y servicios fueron traspasados de acuerdo con el artículo 50.1 del Estatuto de Autonomía para Andalucía, por medio del cual se atribuye a la Comunidad Autónoma competencia exclusiva en materia de aguas que transcurran íntegramente por Andalucía, así como sobre aguas subterráneas cuando su

aprovechamiento no afecte a otro territorio. Los ámbitos territoriales definidos en este Decreto son los correspondientes a las demarcaciones hidrográficas del Guadalete y Barbate, del Tinto, Odiel y Piedras y de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.

La Ley de Aguas para Andalucía, recientemente aprobada por medio de la Ley 9/2010, de 30 de julio, tiene por objeto regular el ejercicio de las competencias de la Comunidad Autónoma y de las entidades locales andaluzas en materia de agua, con el fin de lograr su protección y uso sostenible, así como garantizar las necesidades básicas de uso de agua de la población y hacer compatible el desarrollo económico y social de Andalucía con el buen estado de los ecosistemas acuáticos y terrestres.

1.1. ANTECEDENTES

La primera fase del extenso y progresivo proceso de implementación de la DMA fue la transposición de ésta al ordenamiento jurídico de cada Estado miembro (efectuado en el caso de España mediante la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, mencionada en el apartado anterior), y la identificación de las demarcaciones hidrográficas existentes en su territorio así como de las autoridades competentes (organismos de cuenca) asignadas a cada una de ellas. El plazo establecido por la Directiva para llevar a cabo estos trabajos fue diciembre de 2003.

El primer análisis exigido por la DMA a los Estados miembros fue el derivado del cumplimiento de sus artículos 5 y 6, relativos a las características de la demarcación hidrográfica, el estudio del impacto ambiental de la actividad humana en el estado de las aguas, el análisis económico del uso del agua y el registro de las zonas protegidas existentes en cada demarcación. Estos informes, elaborados de manera individual para cada demarcación hidrográfica y remitidos a la Comisión Europea en 2005, incluyeron, entre otros aspectos, una descripción general de la demarcación hidrográfica, la identificación y delimitación de las masas de agua subterránea y superficial, y una caracterización inicial de estas masas de agua basada en un análisis de presiones e impactos, que dio como resultado la identificación de aquellas que se encontraban en aquel momento en riesgo de incumplir los objetivos medioambientales fijados por la Directiva en su artículo 4. Los análisis correspondientes a la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate están incluidos en el informe realizado para la demarcación hidrográfica del Guadalquivir, debido a que en la fecha de elaboración de estos informes la gestión de la cuenca del Guadalete y Barbate aún no había sido transferida a la Comunidad Autónoma de Andalucía y, por tanto, no constituía todavía una demarcación hidrográfica con entidad propia.

Esta información remitida a la Comisión Europea para dar cumplimiento al artículo 5 de la DMA fue elaborada usando como unidad geográfica de referencia la delimitación de las masas de agua subterránea realizada por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. El análisis de esta información puso de manifiesto la necesidad de revisar el fundamento de cada uno de los límites propuestos para las masas de agua subterránea, apoyándose para ello en la cartografía geológica más reciente. Por otro lado, una nueva delimitación de estos recintos obligaba a adecuar el estudio de las repercusiones de la actividad humana en el estado de las aguas subterráneas, del cual deriva la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados por la Directiva en su artículo 4.

Para cubrir esta necesidad, la Agencia Andaluza del Agua realizó en 2008 los trabajos necesarios para la *Adecuación de las masas de agua subterránea de la cuenca del Guadalete-Barbate a los requerimientos de la Directiva 2000/60/CE. Directiva Marco del Agua*, en los que se incluyó una nueva delimitación de las masas de agua subterránea existentes en la demarcación del Guadalete y Barbate, así como la realización de los trabajos de caracterización adicional de todas las nuevas masas de agua subterránea delimitadas.

Ese mismo año la Agencia Andaluza del Agua elaboró, dentro del proceso de implementación de la DMA, el documento *Revisión del estado de cumplimiento de los objetivos medioambientales de las masas de agua subterránea de las Cuencas Atlánticas Andaluzas*, como parte de los trabajos de *Diseño y ejecución del programa de seguimiento del estado de calidad de las aguas continentales de las cuencas intracomunitarias de la Comunidad Autónoma de Andalucía*.

De acuerdo con los plazos establecidos en la Directiva, para diciembre de 2006 tuvieron que estar operativos los programas de seguimiento del estado de las aguas superficiales y subterráneas, en tanto que para diciembre de 2008 los Estados miembros debían haber establecido por primera vez los valores umbral para los contaminantes responsables de que alguna masa de agua hubiera sido definida en riesgo.

A lo largo del año 2009 se elaboraron y fueron sometidos a debate los Esquemas de Temas Importantes, documentos previos a la redacción de los planes hidrológicos de cuenca que contienen la descripción y valoración de los principales problemas actuales y previsibles de la demarcación, así como las posibles alternativas de actuación. En concreto, los Esquemas de Temas Importantes incluyeron las principales presiones e impactos que debían tratarse en el plan hidrológico, los sectores y actividades que podían suponer un riesgo para alcanzar los objetivos medioambientales, las posibles alternativas para conseguir dichos objetivos, incluyendo su caracterización económica y ambiental, y los sectores y grupos de usuarios afectados por los programas de medidas. En cumplimiento del artículo 79 del Reglamento de Planificación Hidrológica, los Esquemas de Temas Importantes tuvieron que ser puestos a disposición del público durante un plazo no inferior a seis meses para la formulación de observaciones y sugerencias, de modo que ello permitiera alcanzar los consensos necesarios de cara a la elaboración del plan hidrológico de cuenca.

El último paso dado hasta la fecha en lo que respecta al proceso de implementación de la DMA ha sido la elaboración de los proyectos de planes hidrológicos de cuenca en cada demarcación hidrográfica, en los términos que exige el artículo 13 de la Directiva. En ellos se incluyen, entre otros elementos, un resumen de las presiones a que están sometidas las masas de agua, la descripción de las redes de control, los objetivos medioambientales exigibles a cada masa de agua y un resumen de los programas de medidas propuestos para alcanzar dichos objetivos. El 21 de mayo de 2010 se publicó la resolución por la que se sometían a información pública durante un periodo de seis meses los borradores de los planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas andaluzas de carácter intracomunitario, entre ellas la demarcación del Guadalete y Barbate, tras su presentación a las respectivas Comisiones del Agua. El plazo para la presentación de alegaciones finalizó el 22 de noviembre de 2010.

Las siguientes etapas en el proceso de implementación de la DMA corresponden a la publicación de los planes hidrológicos de cuenca para cada demarcación hidrográfica (una vez finalizado el periodo de consulta pública), la revisión y seguimiento de estos planes, la puesta en marcha de los programas de medidas necesarios para alcanzar los objetivos medioambientales en las masas de agua superficial y subterránea en riesgo, y la garantía, por parte de los Estados miembros, de que se aplican los principios de recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua y de que quien contamina paga.

1.2. OBJETO Y ALCANCE

La Directiva 2000/60/CE confiere especial importancia a las aguas subterráneas destinadas al consumo humano, hecho puesto de manifiesto, entre otros aspectos, por su inclusión en el registro de zonas protegidas (art. 6) y la exigencia en ellas de unos objetivos de calidad más rigurosos (puntos 2 y 3 del art. 7). Por otro lado, algunas de las captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano se

localizan fuera de las regiones catalogadas como masas de agua subterránea, motivo por el cual no se aplican las medidas previstas en la DMA para evitar el deterioro de la calidad y cantidad de estas aguas. Por este motivo, se hace necesario establecer una figura de protección en torno a estas captaciones (perímetros de protección) que permita asegurar el cumplimiento de los objetivos de calidad y cantidad en todas las aguas destinadas al consumo humano, independientemente de que se localicen dentro o fuera de masa. Estos perímetros serán incluidos, en virtud del artículo 7 de la Directiva 2000/60/CE y con arreglo al apartado 2 del artículo 6, en el Registro de Zonas Protegidas.

Por lo que respecta a las captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano localizadas en el interior de las masas de agua, se requiere la delimitación de zonas de salvaguarda en las que se puedan focalizar restricciones y medidas de control necesarias para salvaguardar la calidad de las aguas subterráneas. La delimitación de estas zonas está orientada a la protección de las áreas de alimentación y recarga relacionadas con las captaciones de agua destinada a consumo humano identificadas en aquellas masas de agua subterránea que proporcionen un promedio diario de más de 100 m³.

Las masas de agua subterránea se han definido, en términos generales, en aquellos materiales tradicionalmente considerados como acuíferos, en formaciones que suministran agua destinada al consumo humano y en aquellos materiales cuyas aguas subterráneas están asociadas con masas de agua superficial o ecosistemas terrestres dependientes. No obstante, en el ámbito de la demarcación se localizan diversos afloramientos permeables que cumplen alguno de los requisitos anteriormente expuestos pero que, debido a su escasa extensión, o bien porque no suministran agua para consumo humano en un volumen superior a los umbrales establecidos en la DMA (10 m³/día ó 50 personas), no han sido definidos como masa de agua subterránea. Estos afloramientos permeables deben ser identificados y catalogados como *acuíferos de interés local*, con objeto de que sean considerados zonas de protección especial de las aguas subterráneas.

El objetivo que se persigue con el establecimiento de los programas de seguimiento del estado de las aguas es, tal y como se recoge en la Directiva Marco del Agua, *obtener una visión general, coherente y completa del estado de las aguas en cada demarcación hidrográfica*. Por ello, los programas de seguimiento del estado químico y cuantitativo de las aguas subterráneas deberán revisarse periódicamente con objeto de: a) evaluar el grado de representatividad de las estaciones de seguimiento, b) comprobar que su diseño se adapta, por un lado, al funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos que constituyen la masa de agua subterránea en el estado de conocimiento de cada momento, y por otro, y sobre todo, a los resultados de la evaluación de presiones e impactos realizados en virtud del artículo 5 de la Directiva y a la evaluación del estado químico y cuantitativo de las masas de agua subterránea efectuados de acuerdo con el anexo V de dicha norma.

Uno de los análisis más significativos que deben incluir los proyectos de los planes hidrológicos de cuenca son los correspondientes a la evaluación del estado químico y cuantitativo de las aguas subterráneas, puesto que su resultado va a condicionar el diseño de los programas de medidas necesarios para alcanzar los objetivos medioambientales fijados por la Directiva 2000/60/CE en su artículo 4. Para llevar a cabo la evaluación del estado químico de las aguas subterráneas es necesario definir los niveles de referencia, niveles básicos y valores umbral para cada contaminante o indicador de contaminación responsable del riesgo en alguna masa de agua, así como la existencia de tendencias sostenidas al aumento de la concentración de cualquiera de esos contaminantes. Los resultados de la evaluación del estado químico y cuantitativo deben presentarse por medio de mapas en los que el buen estado esté representado por el color verde, el mal estado por el color rojo, las tendencias significativas al aumento en la concentración de un contaminante mediante puntos negros y las inversiones de tendencias por medio de puntos azules.

La evaluación del estado cuantitativo de las aguas subterráneas así como la regulación de los usos y la satisfacción de las demandas de agua requieren de un conocimiento adecuado de los recursos hídricos disponibles. Para conseguirlo deben realizarse estimaciones del balance hídrico en cada masa de agua subterránea definida, de tal forma que ello permita identificar y cuantificar en cada una de ellas las diferentes componentes de entrada y salida de agua subterránea.

Diversos municipios localizados en el sector nororiental de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate presentan dificultades para satisfacer la demanda de agua potable de sus respectivas poblaciones durante periodos de sequía prolongados. Estos municipios se encuentran en la región conocida como la *comarca de la Sierra de Cádiz*, ubicada en el extremo occidental de la Cordillera Penibética y compuesta, a su vez, por otras subsierras: Sierra de Zafalgar, Sierra del Endrinal y Sierra del Pinar. Para evitar posibles afecciones a las captaciones de abastecimiento existentes, evitar el agotamiento paulatino de las reservas de agua almacenada y satisfacer la demanda hídrica durante periodos de sequía, se requiere la identificación de áreas hidrogeológicamente favorables para el emplazamiento de nuevos sondeos de abastecimiento que permitan cubrir las necesidades hídricas de la población durante estos periodos.

Los trabajos de identificación y caracterización de las masas de agua subterránea de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate han puesto de manifiesto la existencia de un alto grado de incertidumbre en lo que respecta al funcionamiento hidrogeológico de la masa de agua subterránea 062.004. Sierra de Grazalema - Prado del Rey, la cuantificación de sus recursos hídricos y la posible conexión hidráulica entre los sistemas acuíferos que la constituyen y la masa de agua subterránea adyacente 062.002. Sierra de Líbar. Por otro lado, para la correcta implementación de la DMA es necesario disponer de un conocimiento adecuado sobre el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos que constituyen las masas de agua subterránea, incluida una estimación de la tasa media anual de recarga a largo plazo con la que valorar el buen o mal estado cuantitativo de la masa. Todos estos motivos justifican la necesidad de elaborar una propuesta de trabajos para mejorar el conocimiento de la masa de agua subterránea 062.004. Sierra de Grazalema - Prado del Rey, que pongan fin a las incertidumbres actuales en lo que se refiere a su funcionamiento hidrogeológico.

Una de las herramientas más útiles para preservar el buen estado químico de las aguas subterráneas e impedir su deterioro es la elaboración de cartografías de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas, puesto que permiten identificar las áreas de mayor vulnerabilidad y potenciar en ellas las medidas de protección que se estimen oportunas, especialmente en lo que se refiere a la instalación y control de actividades humanas potencialmente contaminantes en dichas zonas.

Al igual que en el resto de demarcaciones hidrográficas españolas, la delimitación de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate se concibió de modo que ninguna de ellas sobrepasara los límites (administrativos) de la propia demarcación. Esto supuso que se definieran varias masas de agua subterránea en acuíferos cuya superficie se extiende por el territorio de alguna de las demarcaciones hidrográficas adyacentes (Cuencas Mediterráneas Andaluzas y Guadalquivir). Estas masas de agua subterránea limítrofes, por tanto, representan sectores de un mismo acuífero entre los cuales existen o podrían existir transferencias laterales de agua. Es necesario, por tanto, identificar las masas de agua subterránea de la demarcación que comparten recursos hídricos con masas de agua limítrofes identificadas en otra demarcación, realizar una primera estimación de los recursos propios con los que cuenta cada una de ellas y avanzar en el grado de conocimiento hidrogeológico (conexiones hidráulicas, dirección principal de flujo, etc.) de estos sectores.

1.3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN. ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO

Con anterioridad al inicio de los trabajos descritos en el apartado 1.2 se ha realizado un estudio bibliográfico de todos aquellos documentos que puedan incluir información de interés para el análisis, diseño y ejecución de estas actividades.

Paralelamente y con el propósito de acometer esta tarea con las máximas garantías, se han establecido los contactos pertinentes con aquellos organismos o entidades públicas que pudieran facilitar información al respecto (Agencia Andaluza del Agua, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Universidad de Málaga, etc.). La recopilación de información y el estudio bibliográfico se han realizado de forma sistemática, en función de las distintas actividades a desarrollar.

El listado de la información bibliográfica consultada, así como gran parte de la documentación recopilada (informes técnicos, comunicaciones y artículos científicos, guías metodológicas, libros, textos jurídicos, etc.), se adjunta, sobre soporte digital, en el anexo 1.

Del mismo modo, en aquellos capítulos en los que se han recopilado y/o generado coberturas digitales, éstas se muestran en tablas temáticas en las que se ha incluido el tipo de cobertura de que se trata (*shapefile* o *ráster*), su geometría (puntual, lineal o poligonal), el nombre de la capa, una breve descripción de su contenido y el origen de la información. Asimismo, en soporte digital se adjunta copia de todas y cada una de las coberturas generadas en el marco de estos trabajos, en los sistemas geodésicos de referencia oficiales en España: ED50 (*European Datum 1950*) y ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*).

2. DELIMITACIÓN DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN Y ZONAS DE SALVAGUARDA

La Directiva 2000/60/CE confiere especial importancia a las aguas subterráneas destinadas al consumo humano, hecho puesto de manifiesto, entre otros aspectos, por su inclusión en el registro de zonas protegidas (art. 6) y la exigencia en ellas de unos objetivos de calidad más rigurosos (puntos 2 y 3 del art. 7).

Con el propósito de continuar acometiendo con las máximas garantías los requerimientos estipulados en las Directivas 2000/60/CE, 2006/118/CE y demás disposiciones legales que establecen como marco geográfico de referencia la *masa de agua subterránea*, en este capítulo se han llevado a cabo las siguientes tareas:

- Delimitación de perímetros que protejan las aguas subterráneas utilizadas para la captación de agua destinada al consumo humano, que proporcionen un promedio de más de 10 m³ diarios o que abastezcan a más de cincuenta personas, y cuya explotación se localiza en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea.
- Delimitación de zonas de salvaguarda en aquellas masas de agua subterránea que proporcionen un promedio de más de 100 m³ diarios utilizados para la captación de agua potable, que permitan focalizar en ellas las medidas de protección de aguas subterráneas utilizadas para tal fin.

2.1. DELIMITACIÓN DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN

2.1.1. INTRODUCCIÓN

La Directiva 2000/60/CE establece, en su artículo 7, que los Estados miembros especificarán dentro de cada demarcación hidrográfica todas las masas de agua utilizadas para la captación de agua destinada al consumo humano que proporcionen un promedio de más de 10 m³ diarios o que abastezcan a más de cincuenta personas, así como todas las masas de agua destinadas a tal uso en el futuro. Del mismo modo, se indica que los Estados miembros velarán por la necesaria protección de las masas de agua especificadas con objeto de evitar el deterioro de su calidad y cantidad, contribuyendo así a reducir el nivel de tratamiento de purificación necesario para la producción de agua potable. Los Estados miembros podrán por tanto, establecer perímetros de protección (*Safeguard zones*) para esas masas de agua.

En la práctica, un elevado porcentaje de las formaciones geológicas identificadas en la demarcación permiten una extracción de 10 m³/día por lo que, si se aplicara de forma extensiva este artículo, habría que calificar como masa de agua subterránea prácticamente la totalidad del ámbito circunscrito por el límite de la demarcación hidrográfica.

Por otro lado, existen numerosas captaciones de agua subterránea destinadas al consumo humano que abastecen a más de cincuenta personas y que se encuentran emplazadas en formaciones geológicas que debido a su extensión, permeabilidad, influencia antrópica y demás aspectos, no se ajustan a la definición de masa de agua subterránea dispuesta en el artículo 2 de la Directiva 2000/60/CE y que de identificarse como tal, se incumpliría con las instrucciones de planificación marcadas en la Orden ARM/2656/2008. También resulta de difícil aplicación, en la práctica, la especificación de masas de agua subterránea en base a los usos futuros a los que se destine este recurso.



La solución adoptada para que aquellas captaciones de agua subterránea destinada al abastecimiento humano que proporcionen un promedio de más de 10 m³/día o que abastezcan a más de cincuenta personas, cuya explotación se localiza fuera de las regiones catalogadas como masas de agua subterránea, no queden sin figura de protección, ha consistido en delimitar un *perímetro de protección* al efecto. Estos perímetros serán incluidos, en virtud del artículo 7 de la Directiva 2000/60/CE y con arreglo al apartado 2 del artículo 6, en el Registro de Zonas Protegidas.

El *perímetro de protección* de captaciones de agua subterránea destinada a consumo humano es una figura ampliamente reflejada en la legislación de aguas española, tanto en el Texto Refundido de la Ley de Aguas (RDL 1/2001, de 20 de julio), como en el Reglamento de Dominio Público Hidráulico (Real Decreto 849/1986 de 11 de abril), o en la Ley 6/1998, de 13 de abril, sobre régimen del suelo y valoraciones. Incluso, a la hora de elaborar una matriz de restricciones para cada actividad contaminante localizada en el ámbito comprendido por el perímetro de protección, se admite, en la práctica, la división del mismo en diferentes zonas. No obstante, esta zonificación debe proponerse en base a estudios hidrogeológicos de detalle de cada uno de los emplazamientos, con objeto de permitir un equilibrio entre la protección adecuada y suficiente del recurso y las actividades socioeconómicas desarrolladas en la región.

De este modo, la delimitación de perímetros de protección se ha orientado a la protección de las zonas de alimentación y recarga relacionadas con la captación, ajustándose así a la figura de perímetro de protección clásico recogida en el ordenamiento español, tal y como se define en el Texto Refundido de la Ley de Aguas (RDL 1/2001, de 20 de julio) y en el Reglamento de Dominio Público Hidráulico (Real Decreto 849/1986 de 11 de abril).

Así, y en conformidad con los objetivos perseguidos en el marco de estos trabajos, se propone mejorar las medidas de protección en aquellas captaciones de agua subterránea destinada al abastecimiento humano que proporcionen un promedio de más de 10 m³/día o que abastezcan a más de cincuenta personas, cuya explotación se localiza fuera de las regiones catalogadas como masas de agua subterránea, mediante la inclusión, en el Registro de Zonas Protegidas, de los perímetros de protección de la calidad y la cantidad delimitados al efecto en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

2.1.2. TRABAJOS REALIZADOS

2.1.2.1. Documentación consultada

Con anterioridad al inicio de los trabajos se ha realizado un estudio bibliográfico de todos aquellos documentos que pudiesen incluir información de interés en el análisis, diseño y ejecución de la actividad, en relación con las características y funcionamiento hidrogeológico de las masas de agua subterránea, unidades hidrogeológicas y sistemas acuíferos identificados. Además, se han recopilado las coberturas geográficas de base y usos del suelo, red hidrográfica principal y secundaria, así como mapas temáticos de hidrogeología.

Asimismo, para la delimitación de perímetros que protejan las aguas subterráneas utilizadas para la captación de agua destinada al consumo humano, que proporcionen un promedio de más de 10 m³ diarios o que abastezcan a más de cincuenta personas, y cuya explotación se localiza en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se han recopilado y/o generado las coberturas digitales enunciadas en la tabla sintética 2.1.2.1.1.

Esta información ha servido como punto de partida para la caracterización hidrogeológica del entorno de las captaciones de agua subterránea objeto de estudio.

En la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate el inventario de captaciones facilitado inicialmente por los responsables del Servicio de Planificación de la Dirección General de Planificación y Participación de la Agencia Andaluza del Agua asciende a un total de 25 puntos (entre pozos, sondeos y manantiales).

Posteriormente, tras realizar una visita de reconocimiento in situ de las captaciones recogidas en el inventario, se han identificado un total de 31 captaciones operativas si bien, 8 se localizan en terrenos catalogados como masa de agua subterránea, 1 en el acuífero de interés local 062.2.03. La Muela y el resto, 22 captaciones, fuera de masa. Asimismo, en base a la naturaleza de las captaciones, éstas se han catalogado como: manantial (16), galería (2), pozo (1) y sondeo (12).

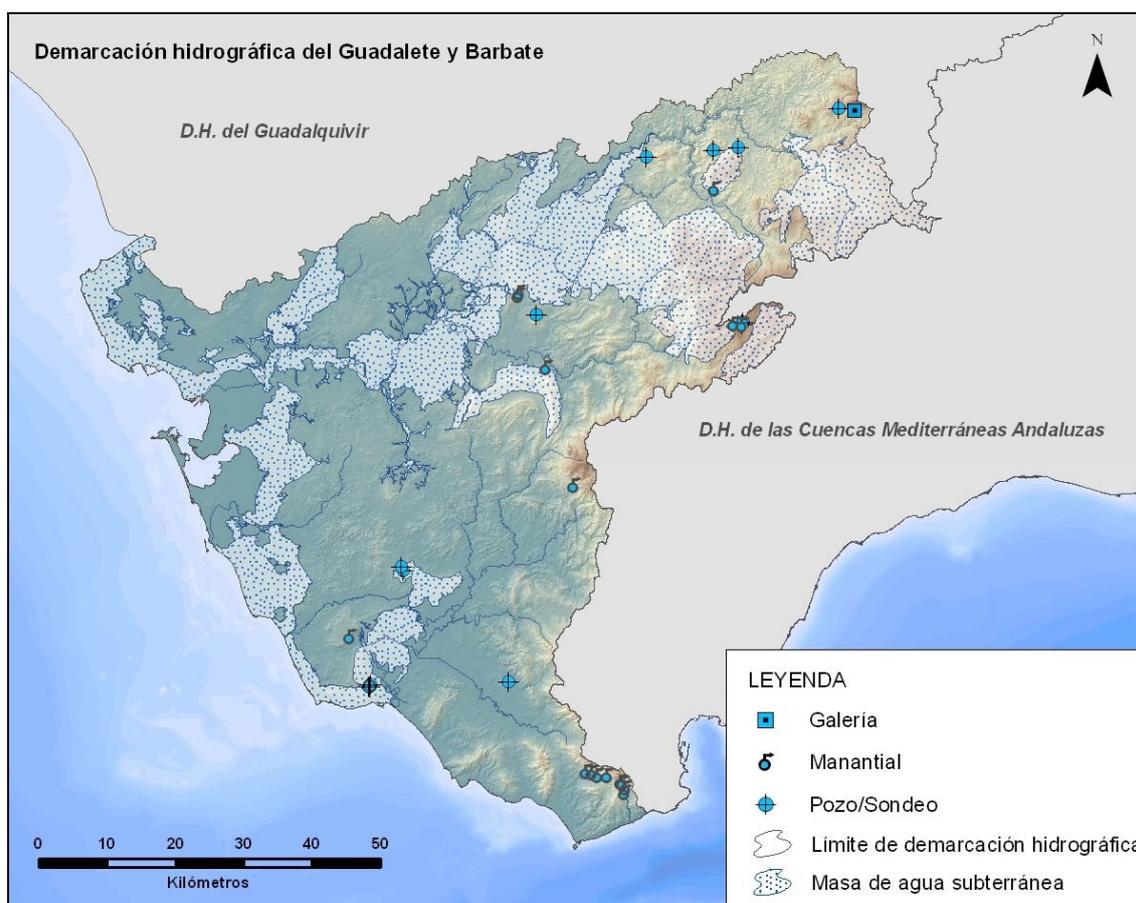


Figura 2.1.2.1.1. Captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano, localizadas en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea

Una vez integrada la información sobre entorno GIS, se ha procedido al filtrado y tratamiento de los datos de partida de acuerdo con la metodología descrita en el apartado 2.1.2.2.

N	TIPO	GEOMETRÍA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FUENTE
1	Shapefile	Puntual	CAPT_PERIM	Captaciones de agua subterránea utilizadas para abastecimiento que proporcionen un promedio de más de 10 m ³ /día o que abastezcan a mas de cincuenta personas, cuya explotación se localiza fuera de m.a.sb.	AAA
2	Shapefile	Poligonal	DEM_GB	Demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate	AAA
3	Shapefile	Poligonal	LITO_GB	Cartografía litoestratigráfica, E.:1:200.000	IGME
4	Shapefile	Poligonal	MASb_GB	Masas de agua subterránea	AAA
5	Ráster	Píxel	MDE_GB	Modelo Digital de Elevaciones	J.AND.
6	Ráster	Píxel	MOS_GB	Mosaico de la cartografía geológica, E.:1:50.000	IGME/TTEC
7	Shapefile	Poligonal	MUNI	Términos municipales	IGN/ICA
8	Shapefile	Poligonal	PERM_GB	Cartografía de permeabilidad, E.:1:200.000	IGME
9	Shapefile	Lineal	RIOS	Red hidrográfica	CAA/ICA
10	Shapefile	Poligonal	URB	Núcleos urbanos	IGN/ICA
11	Shapefile	Poligonal	UUHH	Unidades Hidrogeológicas	ITGE

Tabla 2.1.2.1.1. Relación de las coberturas de partida empleadas durante los trabajos de delimitación de perímetros de protección de captaciones localizadas fuera de masa de agua subterránea

2.1.2.2. Aspectos metodológicos

Los perímetros de protección constituyen una importante figura para la implantación de la protección sobre el territorio y pueden usarse para focalizar en ellos las medidas de protección requeridas sobre las aguas subterráneas destinadas para abastecimiento humano.

La implantación real en el territorio de estas medidas ha sido, y es, muy dispar. Por ejemplo, en España, la aprobación de los perímetros de protección de las captaciones de abastecimiento urbano es muy escasa y desigual según la demarcación, y la implantación en el territorio de las restricciones es prácticamente inexistente.

Por otra parte, la metodología empleada para la delimitación de perímetros de protección para captaciones destinadas a abastecimiento urbano puede considerar desde aproximaciones simplificadas basadas en un radio fijo, a análisis de pozos con flujo uniforme o modelización matemática de flujo y transporte de contaminantes con formulaciones complejas.

En cualquier caso, todo modelo resultante estará sometido a cierto grado de incertidumbre y su bondad dependerá de la calidad de los datos de partida, así como del criterio hidrogeológico aplicado en función del modelo conceptual del acuífero captado.

Durante la primera etapa para la delimitación de perímetros de protección de captaciones de agua subterránea destinada a consumo humano localizadas en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea, se ha desarrollado una metodología basada en la explotación de datos de un Sistema de Información Geográfica. De este modo, una vez depurada la información de partida se ha procedido a estimar los parámetros hidrogeológicos necesarios para obtener de manera analítica una primera aproximación al perímetro de protección. Posteriormente se ha procedido a una revisión del perímetro con criterio hidrogeológico, considerando la estructura y el grado de heterogeneidad del sistema acuífero captado, con objeto de delimitar el área de alimentación.

El sistema empleado para delimitar los perímetros de protección de la calidad del agua, en el caso de las captaciones con drenaje mediante bombeo, es decir, *pozos y sondeos*, se basa en el método de Wyssling (Wyssling, 1979, en Moreno Merino et al., 1991). Dicho método consiste en el cálculo de la zona de llamada de una captación, es decir, de la parte del área de alimentación en la cual puede apreciarse un descenso piezométrico originado como consecuencia del bombeo, donde las líneas de corriente se dirigen hacia la captación, y la identificación posterior de las elipses o poligonales delimitadas por isocronas para distintos tiempos de tránsito: 1 día, 50 días y 1.460 días. Dichas elipses encierran áreas en torno a la captación, en las cuales se establecerán una serie de medidas de protección, más restrictivas cuanto menor sea el tiempo de tránsito considerado. Dichas medidas son aditivas, en el sentido de que las zonas interiores, más restrictivas, contemplan todas las medidas fijadas en las zonas exteriores, además de las propias.

Las restricciones recomendadas para cada una de estas zonas, a nivel global, son las siguientes (Martínez-Navarrete y García-García, 2003):

- Zona inmediata: tiempo de tránsito de 1 día. Restricciones absolutas. La zona permanecerá vallada para impedir el acceso de personal no autorizado.
- Zona próxima: tiempo de tránsito de 50 días. Restricciones máximas. Enfocada a proteger la captación de la contaminación microbiológica.
- Zona alejada: tiempo de tránsito de 4 años (1.460 días). Restricciones moderadas. Permite proteger la captación de contaminantes de larga persistencia.

Con objeto de definir una matriz de restricciones de carácter zonal, se precisa realizar un estudio hidrogeológico de detalle a nivel de captación.

Para el caso de los perímetros de protección de la cantidad, también en *pozos y sondeos*, se ha delimitado un área en torno a la captación, de radio variable en función de las características de la misma, así como del comportamiento hidráulico del acuífero captado. Se ha optado por la fórmula de Jacob como método para dimensionar dichas áreas de protección, considerando aquel radio cuyo descenso es igual a cero. Con ello, se puede delimitar el área teórica donde tendría lugar el descenso del nivel piezométrico como consecuencia del bombeo en la captación.

Estos métodos fueron diseñados para el dimensionamiento de perímetros de protección en acuíferos con porosidad intergranular y homogéneos, por lo que presentan el inconveniente de no tener en cuenta las heterogeneidades del acuífero. Por este motivo, una vez generada la poligonal inicial, ésta ha sido revisada con criterio hidrogeológico considerando, entre otros, los siguientes factores: límites del acuífero captado, cartografía hidrogeológica del entorno de la captación, isopiezas y direcciones de flujo, relación río-acuífero y zonas de emergencia del agua subterránea.

Por otra parte, en el caso de *manantiales y galerías*, cuyo drenaje se produce por gravedad, no se considera adecuada la aplicación de los métodos anteriores. En su lugar se ha procedido, en primer término, a delimitar el área de alimentación de la captación la cual se ha considerado, en su conjunto, como perímetro de protección de la cantidad. Esta delimitación se ha realizado mediante criterios hidrogeológicos, considerando, al igual que en los casos anteriores, los siguientes factores: límites del acuífero captado, cartografía hidrogeológica del entorno de la captación, isopiezas y direcciones de flujo, relación río-acuífero y zonas de emergencia de aguas subterráneas. Dado que las áreas de alimentación de estas captaciones pueden llegar a presentar gran extensión, se plantea la necesidad de realizar una zonación interior aplicando distintos grados de protección en función de la casuística de

cada captación. Generalmente, las restricciones a imponer serán tanto más taxativas cuanto menor sea la distancia a la captación. En este área más próxima, la Autoridad competente deberá evaluar de un modo pormenorizado la viabilidad, o no, de autorizar captaciones de aguas subterráneas adicionales o actividades potencialmente contaminantes.

2.1.2.3. Parámetros hidrogeológicos

La resolución de los métodos analíticos empleados precisa conocer el valor de los siguientes parámetros hidráulicos:

- i = Gradiente hidráulico
- Q = Caudal bombeado
- K = Conductividad hidráulica
- m_e = Porosidad eficaz
- b = Espesor saturado del acuífero

Para la obtención de estos parámetros se ha realizado, durante la primera fase, el análisis espacial y procesado en entorno GIS de las siguientes coberturas digitales (en formato vectorial y ráster):

- Cartografía geológica de la serie MAGNA E.: 1:50.000, editada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Cartografía litoestratigráfica y mapa de permeabilidades E.: 1:200.000, editada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Delimitación provincial y autonómica.
- Inventario de captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano, que proporcionen un promedio de más de 10 m³ diarios o que abastezcan a más de cincuenta personas, y cuya explotación se localiza en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea, facilitado por los responsables del Servicio de Planificación de la Dirección General de Planificación y Participación de la Agencia Andaluza del Agua.
- Límite de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.
- Masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.
- Modelo Digital de Elevaciones generado para la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.
- Red hidrográfica principal y secundaria.

Seguidamente se ha procedido a la génesis de una serie de tablas resumen en las que se incluyen los parámetros hidráulicos que resultan necesarios para la obtención de recintos o elipses mediante la aplicación de los métodos empleados. La elaboración de dichas tablas ha requerido de un tratamiento riguroso de los datos de partida, contrastando y valorando la bondad de estos valores.

Para la confección de estas tablas, en primer lugar, se ha recopilado la información disponible relacionada con parámetros hidráulicos y características hidrogeológicas del entorno de las captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano.

Asimismo, entre las diversas fuentes de información consultadas, han resultado de especial interés los siguientes documentos:

- ✓ Atlas Hidrogeológico de Andalucía. Instituto Geominero de España; Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía; Consejería de Trabajo e Industria de la Junta de Andalucía; (1998).

- ✓ Atlas Hidrogeológico de Cádiz. Instituto Geológico y Minero de España; Ministerio de Educación y Ciencia, Diputación de Cádiz; (2005).
- ✓ Convenio específico de carácter especial para la revisión actualizada del documento de Normas de Explotación de las Unidades Hidrogeológicas del Guadalquivir y Guadalete y Barbate. Instituto Tecnológico y Geominero de España; Confederación Hidrográfica del Guadalquivir; (2001).
- ✓ Diseño y ejecución del programa de seguimiento del estado de calidad de las aguas continentales de las cuencas intracomunitarias de la comunidad autónoma de Andalucía; Lote II. Revisión del estado de cumplimiento de los objetivos medioambientales de las masas de agua subterránea de las Cuencas Atlánticas Andaluzas; (Infraeco-Denga, septiembre 2008).
- ✓ Sistema Documental del IGME.

Seguidamente, tras una revisión y filtrado de los datos recopilados, se han cumplimentado los diferentes campos identificados en la tabla matriz.

○ *Gradiente hidráulico (i)*

El *gradiente hidráulico* o cambio de potencial hidráulico por unidad de longitud, medido en el sentido del flujo de agua, normalmente se obtiene a partir de mapas de las superficies piezométricas.

Debido al desconocimiento generalizado de las características hidráulicas en muchos de los materiales acuíferos captados, al tratarse de puntos de abastecimiento aislados localizados en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea, el gradiente hidráulico se ha estimado, en dichos casos, por diferencia de cota topográfica entre las zonas de recarga y descarga, y el punto de estudio. Una vez conocida la diferencia, ésta se ha dividido por la distancia existente entre ambos puntos y, posteriormente, se ha aplicado un factor de atenuación, con objeto de ajustar el gradiente obtenido a valores coherentes en función de la formación geológica objeto de estudio.

○ *Caudal bombeado (Q)*

En la mayoría de los casos los datos de caudal han sido facilitados por los responsables del Servicio de Planificación de la Dirección General de Planificación y Participación de la Agencia Andaluza del Agua, por los técnicos encargados de la gestión y mantenimiento de las captaciones de agua subterránea de cada municipio, o bien, han sido obtenidos de modo bibliográfico.

Asimismo, en aquellas captaciones en las que no se dispone de datos de explotación, se ha asignado una dotación de 300 litros/habitante/día. Esta dotación diaria, multiplicada por el número total de habitantes censados en cada municipio (datos extraídos del censo publicado en el Instituto Nacional de Estadística; INE, 2008), proporciona un valor aproximado del total de recursos extraídos por la captación; si bien, el valor estimado, asume el supuesto de que todo el abastecimiento procede de una captación, lo que presenta un alto grado de incertidumbre.

En cualquier caso, debido a que se ha asignado una dotación (litros/habitante/día) por exceso, el recinto o elipse resultante no se considera infradimensionado.

○ *Permeabilidad y conductividad hidráulica (K)*

En aquellas captaciones en las que no se dispone de información relativa a las características hidrogeológicas del medio se ha realizado un cruce por localización espacial, en entorno GIS, entre la cobertura de captaciones de agua subterránea destinada a abastecimiento humano, localizadas fuera de masa, y la cobertura de permeabilidades, escala 1:200.000, editada por el IGME.

De este modo, asignando un valor numérico a cada una de las cinco clases de permeabilidad diferenciadas en la cobertura de permeabilidades del IGME (Muy alta, Alta, Media, Baja y Muy baja), se ha estimado un valor de permeabilidad para cada punto, de acuerdo con la siguiente tabla de equivalencias; (generada a partir de datos bibliográficos).

PERMEABILIDAD MAPA	RANGO DE K (m/día)	K teórica (m/día)
Muy baja	$< 10^{-2}$	0,005
Baja	10^{-2} -1	0,1
Media	1-10	5
Alta	10-100	50
Muy alta	> 100	150

Tabla 2.1.2.3.2. Valores de permeabilidad y conductividad hidráulica asignados, en función del rango de permeabilidad

Finalmente, mediante criterio hidrogeológico, se han determinado las unidades drenantes para el entorno de cada captación, asignando un valor de conductividad hidráulica (K) en función de la tipología drenante, lo que ha permitido ajustar de forma precisa el valor final.

- *Porosidad eficaz (m_e)*

La *porosidad eficaz* viene definida como el volumen de agua drenada por gravedad entre el volumen total. Para aquellos casos en los que no se ha podido obtener el dato de porosidad eficaz de un modo analítico, éste se ha obtenido tras la consulta, filtrado y revisión de los datos bibliográficos consultados; (Custodio y Llamas; Sanders et al.).

- *Espesor saturado (b)*

El espesor saturado se ha calculado mediante el análisis estructural de la formación acuífera implicada y su relación con el nivel piezométrico local. Para ello, se han realizado cortes hidrogeológicos, así como una recopilación de datos piezométricos del entorno de la captación, lo que ha permitido estimar el espesor saturado final.

En la tabla 2.1.2.3.3, adjunta a continuación, se sintetizan las principales fuentes de información consultadas para la estimación de cada uno de los parámetros hidráulicos expuestos con anterioridad.

PARÁMETROS	FUENTES DE INFORMACIÓN
Gradiente Hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> - Atlas Hidrogeológico de Andalucía. Instituto Geominero de España; Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía; Consejería de Trabajo e Industria de la Junta de Andalucía - Atlas Hidrogeológico de Cádiz. Instituto Geológico y Minero de España; Ministerio de Educación y Ciencia; Diputación de Cádiz - Modelo Digital del Terreno editado por la Junta de Andalucía



PARÁMETROS	FUENTES DE INFORMACIÓN
Caudal	<ul style="list-style-type: none"> - Aguas Sierra de Cádiz, S.A. - Aguas y Gestión de Servicios Ambientales, S.A. - AQUALIA. Gestión Integral de Agua, S.A. - Atlas Hidrogeológico de Andalucía. Instituto Geominero de España; Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía; Consejería de Trabajo e Industria de la Junta de Andalucía - Atlas Hidrogeológico de Cádiz. Instituto Geológico y Minero de España; Ministerio de Educación y Ciencia; Diputación de Cádiz - EMALGESA. Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Algeciras - Inventario de captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano, que proporcionen un promedio de más de 10 m³ diarios o que abastezcan a más de cincuenta personas, y cuya explotación se localiza en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea, facilitado por los responsables del Servicio de Planificación de la Dirección General de Planificación y Participación de la Agencia Andaluza del Agua - Sistema de Información Documental del IGME
	<ul style="list-style-type: none"> - Nº Habitantes. Cifras de Población y Censos para el año 2008, editado por el Instituto Nacional de Estadística (INE)
Permeabilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Bibliografía. Tablas sintéticas: parámetros hidráulicos - Cartografía y memorias geológicas (MAGNA) E.: 1:50.000, editadas por el IGME - Cartografía y memorias hidrogeológicas E.: 1:200.000, editadas por el IGME - Cobertura de permeabilidad E.: 1:200.000 editada por el IGME - Sistema de Información Documental del IGME
Porosidad eficaz	<ul style="list-style-type: none"> - Bibliografía. Tablas sintéticas: parámetros hidráulicos - Cartografía y memorias geológicas (MAGNA) E.: 1:50.000, editadas por el IGME - Cartografía y memorias hidrogeológicas E.: 1:200.000, editadas por el IGME - Sistema de Información Documental del IGME
Espesor saturado	<ul style="list-style-type: none"> - Inventario de captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano, que proporcionen un promedio de más de 10 m³ diarios o que abastezcan a más de cincuenta personas, y cuya explotación se localiza en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea, facilitado por los responsables del Servicio de Planificación de la Dirección General de Planificación y Participación de la Agencia Andaluza del Agua - Modelo Digital del Terreno editado por la Junta de Andalucía
Transmisividad	<ul style="list-style-type: none"> - Bibliografía. Tablas sintéticas: parámetros hidráulicos - Cartografía y memorias geológicas (MAGNA) E.: 1:50.000, editadas por el IGME - Cartografía y memorias hidrogeológicas E.: 1:200.000, editadas por el IGME - Sistema de Información Documental IGME

Tabla 2.1.2.3.3. Principales fuentes de información consultadas para la estimación de parámetros hidráulicos

2.1.2.4. Génesis de los perímetros de protección

2.1.2.4.1. Envoltentes de Wyssling

La elaboración de los *perímetros de protección de la calidad* del agua se ha llevado a cabo mediante la aplicación del método de Wyssling. A partir de los parámetros hidrogeológicos obtenidos en la fase inicial del trabajo, se han generado las elipses de Wyssling mediante una aplicación desarrollada al efecto, en entorno GIS. La cumplimentación de estos campos o variables posibilita la determinación de las isocronas para el trazado de estos recintos, tal y como se observa en la figura adjunta. Asimismo, las elipses han sido construidas tomando como centroide la captación objeto de estudio.

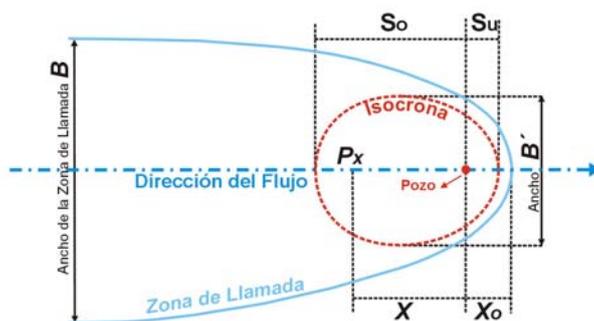


Figura 2.1.2.4.1.1. Determinación de las isocronas mediante la aplicación del método de Wyssling

El procedimiento para el cálculo de las variables o parámetros de Wyssling, es el siguiente:

- En primer lugar se ha calculado la *zona de llamada* (B). Para un acuífero libre, ésta viene definida como:

$$Q = K \cdot B \cdot b \cdot i \quad B = \frac{Q}{K \cdot b \cdot i}$$

- En segundo lugar se ha calculado el *radio de llamada* de la captación (X_0), que viene definido por la ecuación:

$$X_0 = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot K \cdot b \cdot i}$$

y el *ancho del frente de llamada a la altura de la captación* (B'):

$$B' = \frac{B}{2} = \frac{Q}{2 \cdot K \cdot b \cdot i}$$

- Seguidamente se ha calculado la *velocidad eficaz* (V_e), mediante la ecuación:

$$V_e = \frac{K \cdot i}{m_e}$$

- Finalmente, una vez determinada la zona de llamada ha de buscarse, en la dirección del flujo, la *distancia* correspondiente al tiempo de tránsito deseado (isocronas). En este caso, los tiempos de tránsito considerados han sido de 1 día, 50 días y 1.460 días.

Para determinar la distancia aguas arriba y aguas abajo en la dirección del flujo, se han empleado las siguientes ecuaciones:

$$S_o = \frac{+l + \sqrt{l \cdot (l + 8 \cdot X_o)}}{2} \quad S_u = \frac{-l + \sqrt{l \cdot (l + 8 \cdot X_o)}}{2}$$

Donde:

l: Distancia = $V_e \cdot t$

t: Tiempo de tránsito; (para un $t = 4$ años)

V_e: Velocidad eficaz

S_o: Distancia aguas arriba en la dirección del flujo correspondiente a un tiempo de tránsito '*t*' (para un $t = 4$ años)

S_u: Distancia aguas abajo en la dirección del flujo correspondiente a un tiempo de tránsito '*t*' (para un $t = 4$ años)

2.1.2.4.2. Envoltentes de Jacob

A partir de los parámetros hidrogeológicos estimados en la primera fase de trabajo, ha sido posible delimitar los *perímetros de protección de la cantidad* mediante la ecuación de Jacob para descenso igual a cero, aplicable a captaciones donde tiene lugar un bombeo en régimen transitorio.

La fórmula empleada para evaluar el radio de acción de la captación para un tiempo determinado es la siguiente:

$$r = \sqrt{\frac{2,25 \cdot T \cdot t}{S}}$$

Donde:

r: radio de acción

t: tiempo

T: transmisividad

S: coeficiente de almacenamiento

El cálculo del radio de acción precisa de varios parámetros que, directa o indirectamente, se pueden obtener de los datos disponibles. El tiempo para el cual se calcula el radio de acción de la captación se escoge por convenio, según las necesidades y características de la protección que se pretende aplicar, y en este caso es de 120 días.

La transmisividad es una variable derivada del producto de la conductividad hidráulica por el espesor saturado:

$$T = K \cdot b$$

Por último, el coeficiente de almacenamiento puede ser obtenido a partir del valor de porosidad eficaz, ya que en los acuíferos donde se emplazan las captaciones objeto de estudio, estos dos parámetros se pueden considerar equivalentes.

2.1.2.4.3. Perímetros en captaciones con drenaje por gravedad

En el caso de *manantiales* y *galerías* el drenaje se produce por gravedad, no existe bombeo y, por tanto, no se considera adecuado emplear el método de Wyssling para la delimitación de los perímetros de protección de la calidad del agua. Por consiguiente, el área de alimentación de la captación se ha delimitado mediante criterio hidrogeológico, considerando factores tales como: límites del acuífero captado, isopiezas, direcciones de flujo y estructura del acuífero.

Por otra parte, el perímetro de protección de la cantidad se ha delimitado con criterio hidrogeológico y suele ser coincidente con el área de recarga de estas captaciones ya que cualquier actuación que influya sobre los recursos hídricos existentes en dicha área tendrá un efecto determinado sobre el punto de drenaje. De hecho, será posible cuantificar la importancia de la afección si se conocen los caudales de drenaje en los puntos de surgencia. No obstante, las restricciones a imponer serán tanto más taxativas cuanto menor sea la distancia a la captación. En este área próxima, la Autoridad competente deberá evaluar de un modo pormenorizado la viabilidad, o no, de autorizar captaciones de aguas subterráneas adicionales o actividades potencialmente contaminantes.

El caso de los perímetros de protección de la calidad del agua entraña una dificultad adicional, debido a la necesidad de estimar la velocidad del agua subterránea en todo el recorrido de las líneas de flujo, la cual no es constante si se produce una concentración de éstas conforme la distancia al punto de drenaje disminuye. Para estimar la extensión de los perímetros resultantes se ha procedido a evaluar la velocidad de flujo subterráneo mediante relaciones derivadas de la fórmula de Darcy y de la geometría simplificada del acuífero.

En el caso de un acuífero con concentración de flujo simple hacia el punto de drenaje, se puede considerar la expresión:

$$d = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{n \cdot \pi \cdot b \cdot m_e}}$$

Donde:

d: distancia a la captación, para un tiempo *t*

Q: caudal drenado

t: tiempo de tránsito considerado

n: factor de concentración de flujo

b: espesor saturado del acuífero

m_e: porosidad eficaz

Por el contrario, en el caso de acuíferos aluviales donde se la concentración de flujo puede considerarse despreciable, se emplea la siguiente ecuación:

$$d = \frac{Q \cdot t}{L \cdot b \cdot m_e}$$

Donde:

L: anchura media de la formación acuífera

2.1.2.4.4. Delimitación hidrogeológica

La delimitación de perímetros de protección mediante el uso de métodos hidrogeológicos se basa en el análisis de los límites del acuífero captado, cartografía hidrogeológica en el entorno de la captación, bordes impermeables, condiciones de contorno, análisis de isopiezas y direcciones de flujo, así como relaciones existentes entre río-acuífero.

Al tratarse de captaciones de agua subterránea localizadas en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea, y por tanto poco estudiados, el método analítico constituye únicamente el punto de partida para la delimitación de perímetros de protección. Asimismo, la escasez de datos e información hidrogeológica relativa a la formación acuífera captada, confiere al análisis hidrogeológico posterior una mayor relevancia en el proceso de delimitación de los perímetros de protección.

Una vez definidos y representados los recintos preliminares generados tras la aplicación directa de los métodos de Wyssling y Jacob, se ha procedido al análisis de su coherencia y adecuación a las condiciones de contorno y al funcionamiento hidrogeológico de la unidad o sistema en el que se localiza la captación. Por este motivo, ha sido necesario realizar un estudio de detalle individualizado en el que se contemplan los aspectos condicionantes del comportamiento acuífero del material, siendo básico por tanto, conseguir una visión global integradora del relieve, geología y permeabilidad del entorno (más próximo) afectado. Con ello, se pretenden ajustar cada uno de los recintos iniciales generados, a la realidad hidrogeológica del entorno.

- *Valoración de la cuantía de descarga o extracción en cada punto*

Generalmente, al no disponer de los datos relativos al caudal de extracción medio anual, éste se ha estimado en función del ámbito de influencia de la captación, del orden de magnitud de la descarga (o extracción) o de las características climáticas de la zona (relación existente entre la lluvia útil y el área de recarga).

- *Contextualización de la captación*

Se fundamenta en la identificación de las zonas de descarga, ya sean naturales (manantiales) o artificiales (galerías, pozos y/o sondeos). Para ello, durante la primera fase se ha procedido a reconocer e identificar, en base a criterios litológicos, las tipologías acuíferas dependientes de las características hidrogeológicas del sistema, en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate. De este modo, se han identificado tres tipologías principales:

- ✓ Afloramientos carbonatados
- ✓ Areniscas del Aljibe
- ✓ Rellenos del Flysch (arcilloso)

Posteriormente se ha realizado un cruce por localización espacial, en entorno GIS, entre la cobertura de captaciones de agua subterránea destinada a abastecimiento humano, localizadas fuera de masa, y la cobertura litoestratigráfica, a escala 1:200.000, editada por el IGME, asociando cada una de las captaciones a una tipología determinada.

○ *Delimitación del sistema con criterio hidrogeológico*

Los límites se han definido en base a las condiciones de contorno, identificables a partir del análisis y revisión de la cartografía geológica y topografía del terreno. Para ello, se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ Bordes impermeables
- ✓ Cambios litológicos
- ✓ Divisorias hidrogeológicas
- ✓ Estructuras tectónicas
- ✓ Geometría

Una vez definidos los límites, se ha procedido a realizar una aproximación al funcionamiento del sistema, identificando y caracterizando la recarga, la circulación, la descarga y/o extracción.

○ *Ajuste del recinto obtenido mediante el método analítico, a la realidad hidrogeológica de la captación*

Durante esta última etapa ha sido necesario adaptar las elipses generadas mediante los métodos de Wyssling y Jacob, en entorno GIS, a la realidad hidrogeomorfológica de la captación. Por ello, se ha realizado un análisis del área de influencia más vulnerable capaz de afectar la cantidad y calidad físico-química del agua.

En la mayoría de los casos, las zonas que presentan mayor vulnerabilidad natural a la contaminación suelen estar asociadas a áreas de recarga, con lo cual, para el análisis espacial y posterior procesado en entorno GIS, ha sido fundamental adquirir una visión integrada del funcionamiento del sistema. Para ello, siempre que ha sido posible, se ha tenido en cuenta la siguiente información:

- ✓ Divisorias hidrográficas
- ✓ Mapas de isopiezas y perfiles de flujo
- ✓ Presiones (antrópicas)
- ✓ Recintos iniciales, generados tras aplicación directa de los métodos de Wyssling y Jacob
- ✓ Red hidrográfica principal y secundaria
- ✓ Topografía

El análisis hidrogeológico se ha fundamentado teniendo en consideración la dirección de flujo, los límites hidrogeológicos de las zonas de recarga y la posible transferencia lateral desde unidades limítrofes. Por todo ello, dada la diversidad y heterogeneidad de los acuíferos captados, se ha considerado que los perímetros de protección han de tener una estrecha relación con las áreas de alimentación de los sistemas acuífero sobre los que se emplazan las captaciones objeto de estudio. De este modo, en la mayoría de los casos los perímetros resultantes están asociados al área de infiltración, directa y/o difusa sobre los afloramientos permeables, o alóctona procedente de áreas adyacentes, en el caso de afloramientos de baja permeabilidad.

A efectos prácticos, se ha asumido que la naturaleza o tipo de captación no condiciona el análisis posterior para la delimitación de perímetros de protección y, por tanto, se asume que tanto manantiales, galerías, como pozos y/o sondeos, equivalen a puntos de descarga de la unidad acuífero. Asimismo, en aquellos supuestos en los que ha sido posible agrupar varias captaciones dentro de un mismo recinto, éstas se consideran constituyentes de la misma zona de descarga para toda la unidad drenante. En otros casos, la coalescencia de perímetros de protección obtenidos para captaciones o agrupaciones de captaciones distantes, conlleva a la unificación del perímetro.

De este modo, una vez valoradas las características hidrogeomorfológicas del medio, las elipses o envolventes de Wyssling generadas, se han ajustado en función de:

- ✓ Divisorias superficiales de agua subterránea y vertientes
- ✓ Piezometría y direcciones de flujo
- ✓ Tipología acuífera asociada a materiales detríticos, mixtos y kársticos (libres)
- ✓ Unidades y límites geológicos, relacionados con la recarga, descarga, bordes de nivel constante y bordes impermeables
- ✓ Zonas de alimentación o recarga

2.1.2.4.5. Revisión final mediante criterio de experto

Una vez delimitados los perímetros de protección se ha realizado una revisión final, con objeto de validar los resultados mediante criterio de experto. Esta revisión ha consistido en el ajuste definitivo del perímetro al contexto y/o límites hidrogeológicos del entorno de la captación.

En base a estas premisas, la revisión de los perímetros de protección se ha desarrollado según la siguiente metodología y etapas de análisis:

- Contextualización hidrogeológica de las captaciones o agrupación de captaciones, dentro del esquema general previamente estudiado.
- Funcionamiento hidrogeológico básico de los acuíferos asociados a captaciones o agrupaciones de captaciones, con objeto de determinar sus áreas de recarga y, por tanto, ajustar los perímetros de protección a dicho ámbito. La caracterización del funcionamiento hidrogeológico de las unidades carbonatadas se ha realizado en base a la observación y análisis de los diferentes controles que convergen en la configuración definitiva de los sistemas acuífero de naturaleza carbonatada. Estos controles se pueden agrupar en tres grandes categorías, como son:
 - ✓ Control litológico: determina en gran medida la permeabilidad de los materiales y constituye el primer criterio para determinar la unidad carbonatada del sistema estudiado.
 - ✓ Control estructural: la identificación/localización de las zonas de descarga y la configuración del relieve, permite la predicción de la dirección de los flujos subterráneos dominantes en el sistema. En algunos casos, el control estructural del macizo es el que impone las condiciones de contorno de la unidad, debido a la existencia de estructuras tectónicas que limitan al conjunto carbonatado.
 - ✓ Control geográfico o fisiográfico: la configuración del relieve es determinante en el análisis de los sistemas hidrogeológicos, ya que este control gobierna en gran medida la distribución y magnitud de los gradientes hidráulicos característicos del sistema, establece el nivel de base local sobre el que se produce la evolución y desarrollo de la karstificación y condiciona de forma sustancial la configuración de zonas de transferencia vertical y subhorizontal en el karst.

2.1.3. RESULTADOS OBTENIDOS

2.1.3.1. Perímetros de protección de la calidad del agua

Tras la generación de los perímetros de protección de la calidad del agua utilizando los métodos descritos en el apartado metodológico, se han obtenido un total de 93 recintos, correspondientes a los tiempos de tránsito de 1, 50 y 1.460 días para cada captación de agua. Tras el proceso de revisión y ajuste con criterio de experto, teniendo en cuenta las características hidrogeológicas del medio, el número de perímetros se ha reducido a 70, debido a que muchos de ellos, especialmente los correspondientes a un tiempo de tránsito de 1.460 días, son coalescentes entre sí puesto que son los de mayor tamaño. El resultado final se muestra en la tabla 2.1.3.1.1.

		1	50	1.460	Total
Nº de perímetros		29	24	17	70
Área (km ²)	Total	2,600	54,674	96,136	153,41
	Media	0,089	2,278	5,655	-
	Máxima	1,878	39,709	39,709	-
	Mínima	0,000051	0,0027	0,0686	-

Tabla 2.1.3.1.1. Parámetros estadísticos de los perímetros de protección obtenidos

Como puede observarse en la tabla adjunta, se han obtenido 29 perímetros de protección para un tiempo de tránsito de 1 día. En total, dichos perímetros ocupan una superficie útil de unos 2,6 km². El tamaño medio es de unos 90.000 m², aunque este valor se ve fuertemente influenciado por la existencia de unos pocos perímetros, localizados en acuíferos carbonáticos de alta transmisividad y elevada velocidad de flujo, donde ha sido necesaria la delimitación de poligonales de gran tamaño. Si se excluyen dichos perímetros, el tamaño medio se vería reducido a unos 3.000-4.000 m² de media.

Para un tiempo de tránsito de 50 días se han obtenido un total de 24 perímetros, que ocupan una superficie aproximada de 55 km². El tamaño medio es de unos 2,3 km², aunque, al igual que en el caso anterior, la gran extensión de unos pocos recintos localizados sobre acuíferos carbonatados, incrementa la media de un modo considerable. Si se excluyen estos perímetros, el tamaño medio es < 0,1 km².

Por último, los recintos correspondientes para un tiempo de tránsito de 1.460 días, 17 en total, presentan un tamaño medio de 5,7 km² y una superficie total de 96 km².

Ocasionalmente, en acuíferos carbonatados con velocidad de flujo elevada, la distancia correspondiente a un tiempo de tránsito de 4 años supera ampliamente los límites del acuífero, por lo que en la mayoría de los casos, el perímetro de 1.460 días se ha hecho corresponder con los límites físicos del afloramiento permeable. Asimismo, si el acuífero no es muy extenso, el perímetro de protección de 50 días puede coincidir con el de 1.460 días.

Tras realizar un análisis estadístico de los datos, en función de la litología, se observa cómo las formaciones carbonatadas son, con diferencia, la litología que aflora con mayor frecuencia en el ámbito de los perímetros delimitados. En el caso de los flysch, la superficie relativamente importante que

presentan se debe a que existe un número de captaciones considerable emplazadas sobre esta litología. Por el contrario, en el caso de las rocas carbonatadas el número de captaciones es menor, aunque se compensa con el mayor tamaño medio de los perímetros delimitados, puesto que las velocidades de flujo en estos acuíferos son muy altas.

Litología	Superficie (km ²)			Superficie (%)			Total (km ²)
	1	50	1.460	1	50	1.460	
Dolomías y calizas	1,1	37,6	53,7	1,2	40,7	58,0	92,5
Margocalizas subbéticas	0,0	4,8	5,0	0,4	48,5	51,0	9,9
Flysch	0,2	3,8	16,4	0,7	18,8	80,5	20,4
Coluvial	0,1	2,7	4,7	1,8	35,9	62,3	7,6
Calcarenitas, conglomerados, arenas y limos marinos	0,6	1,3	11,6	4,4	9,5	86,1	13,4
Aluvial	0,5	4,4	4,7	5,5	45,9	48,7	9,6
Total	2,6	54,7	96,1	1,7	35,6	62,7	153,4

Tabla 2.1.3.1.2. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados

El diagrama de sectores representado en la figura 2.1.3.1.1 muestra la proporción areal de cada litología para el caso de los perímetros de protección obtenidos para un tiempo de tránsito de 1 día. Como puede observarse, prácticamente la mitad del área corresponde a *formaciones o acuíferos carbonatados*, seguido de *sedimentos aluviales y materiales marinos del Plioceno*.

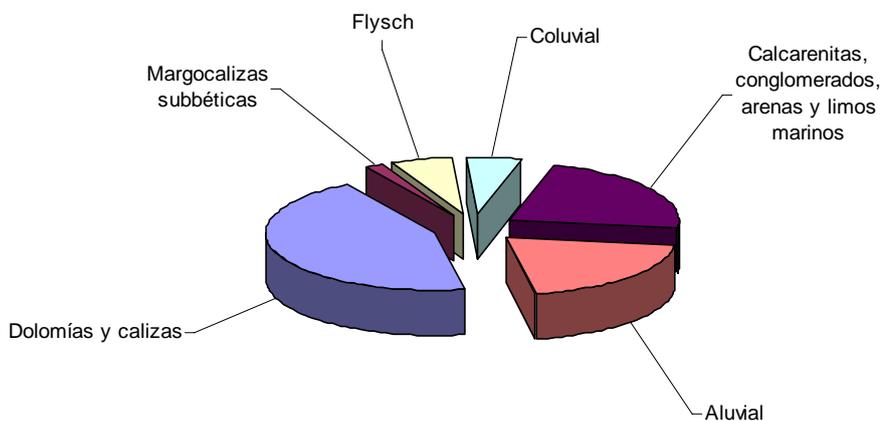


Figura 2.1.3.1.1. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados, para un tiempo de tránsito de 1 día

La figura 2.1.3.1.2, correspondiente a un tiempo de tránsito de 50 días, evidencia como la proporción de *afloramientos carbonatados* es aún mayor, mientras que otras litologías como los *depósitos aluviales, materiales detríticos marinos o flysch*, son minoritarias.

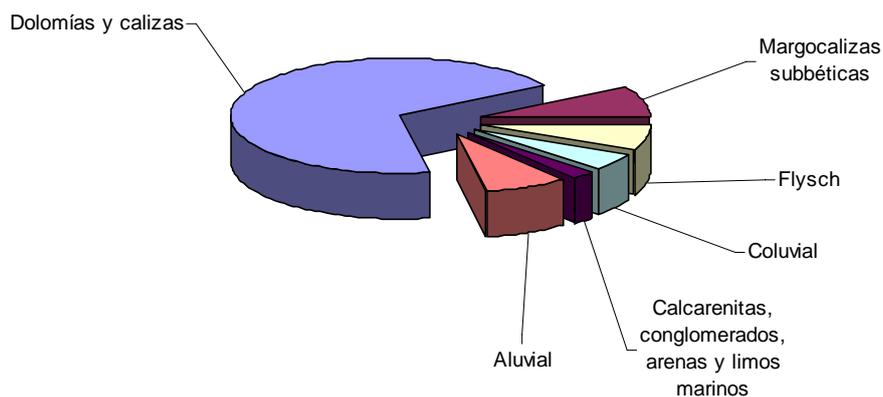


Figura 2.1.3.1.2. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados, para un tiempo de tránsito de 50 días

Finalmente, cuando se consideran los perímetros de protección delimitados para un tiempo de tránsito de 1.460 días (figura 2.1.3.1.3) se observa como, de nuevo, los *afloramientos carbonatados* son claramente dominantes. Es llamativo, igualmente, el crecimiento de la proporción de *sedimentos marinos del Plioceno*, así como el *flysch*.

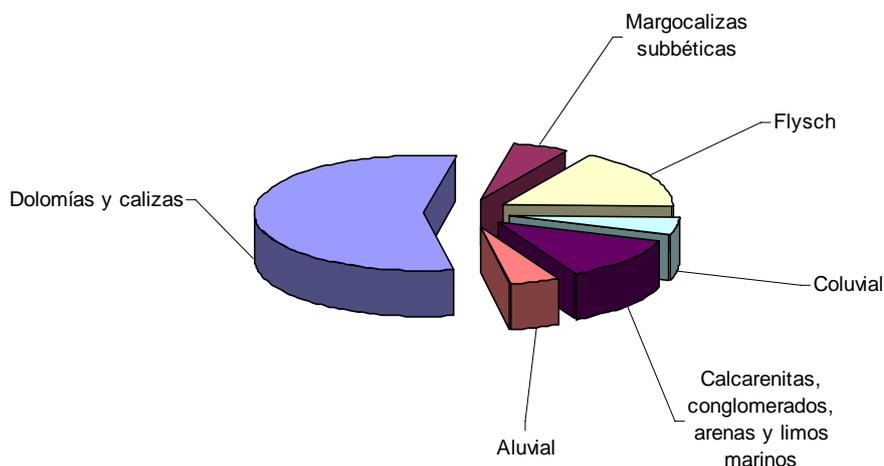


Figura 2.1.3.1.3. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados, para un tiempo de tránsito de 1.460 días

2.1.3.2. Perímetros de protección de la cantidad

Inicialmente se han delimitado un total de 31 perímetros de protección de la cantidad, uno para cada captación, utilizando los métodos descritos en el epígrafe 2.1.2.2. Posteriormente, durante el proceso de revisión y adecuación algunos de estos perímetros eran parcialmente coincidentes en el espacio por lo que, en la medida de lo posible, se han integrado en una sola poligonal que englobaría a los grupos de perímetros coalescentes. Como consecuencia de ello, el número final de perímetros se ha visto reducido a 16 (tabla 2.1.3.2.1), y presentan un área media de 6,6 km². En total, ocupan una superficie de 106,4 km².

Nº de perímetros		16
Área (km²)	Total	106,4
	Media	6,6
	Máxima	39,7
	Mínima	0,85

Tabla 2.1.3.2.1. Parámetros estadísticos de los perímetros de protección delimitados

En la tabla 2.1.3.2.2 se muestra el área ocupada por el conjunto de los perímetros delimitados en función de la litología aflorante. Tal y como ocurre en el caso de los perímetros de protección de la calidad del agua, las litologías dominantes son los *carbonatos*, con un 54% de la superficie total.

Litología	Superficie (km²)	Superficie (%)
Dolomías y calizas	57,0	53,6
Margocalizas subbéticas	5,1	4,8
Flysch	16,5	15,5
Coluvial	7,4	7,0
Calcarenitas, conglomerados, arenas y limos marinos	15,2	14,3
Aluvial	5,1	4,8
Total	106,4	100,0

Tabla 2.1.3.2.2. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados

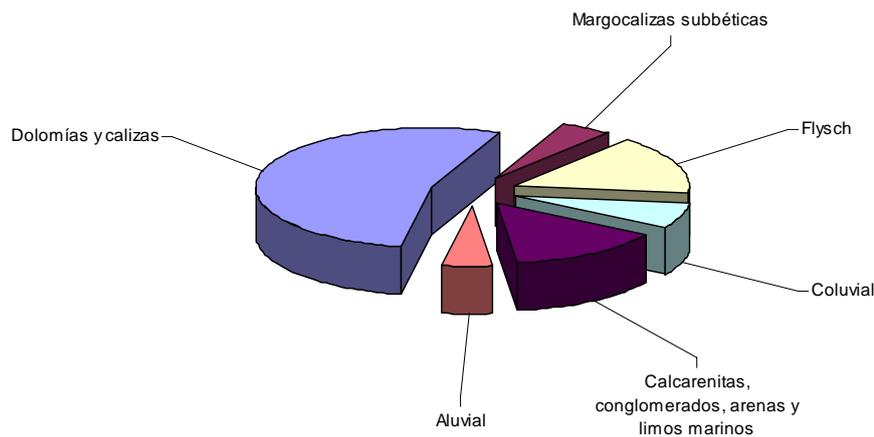


Figura 2.1.3.2.1. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados

2.1.3.3. Zonación de Lugares de Interés Hidrogeológico (LIH's)

En el marco del *Plan de conservación, recuperación y puesta en valor de manantiales y lugares de interés hidrogeológico de Andalucía* y, con objeto de conservar los ecosistemas acuáticos relacionados con las masas de agua subterránea identificadas en las demarcaciones hidrográficas andaluzas, la Agencia Andaluza del Agua y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) están llevando a cabo, desde el año 2008, las siguientes actividades:

- ✓ Catalogación y clasificación de los principales manantiales y/o lugares de interés en función del estado de conservación hídrica. Estos trabajos incluyen la creación de una base de datos de unos 300 puntos y/o sectores y el reconocimiento como *lugares de protección especial* de los mismos, siendo a su vez, el punto de partida de la zonificación y de las medidas posteriores a tomar sobre conservación y recuperación.
- ✓ Caracterización hidrogeológica y plan de conservación y recuperación. Estos trabajos incluyen la selección de 108 sectores o puntos urgentes a conservar/recuperar, poner en uso público y/o acondicionar para evaluar presiones antrópicas y/o evaluar su posible evolución frente al cambio climático. Corresponden, en su mayoría, a manantiales o tramos de cauces ganadores de cabecera de cuenca, muy sensibles respecto a cualquier cambio en su caudal o en la calidad del agua.

Actualmente el Instituto está en proceso de ejecución y desarrollo de la primera fase del proyecto, en la que se han seleccionado 37 lugares de interés hidrogeológico. Entre estos, se han identificado una serie de puntos coincidentes con las captaciones de abastecimiento para las cuales se han delimitado perímetros de protección en el marco de estos trabajos, por lo que se ha procedido a unificar criterios entre ambos equipos de trabajo con objeto de optimizar los resultados. Además de estos puntos, y en virtud de lo establecido en el apartado 1 del Art. 25 del Reglamento de Planificación Hidrológica:

(1) *El registro de zonas protegidas deberá revisarse y actualizarse regularmente y específicamente junto con la actualización del plan hidrológico correspondiente,*

se ha considerado oportuno incorporar al listado de captaciones inicial (facilitado por los responsables del Servicio de Planificación de la Dirección General de Planificación y Participación de la Agencia Andaluza del Agua), una serie de puntos singulares inventariados por el IGME en el ámbito de la demarcación. El listado de puntos incorporados, y para los cuales también se ha delimitado una zonación (perímetro) para la protección de la calidad y cantidad de sus recursos hídricos, se adjunta en la siguiente tabla.

Nombre	UTM X(ED50)	UTM Y(ED50)	Provincia	Municipio	Masa de agua subterránea
Manantial Arroyomolinos	288400	4076657	Cádiz	Zahara de la Sierra	MASb. 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey
Nacimiento de Benamahoma	280278	4072129	Cádiz	Grazalema	MASb. 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey
El Hondón	281665	4066801	Cádiz	Benaocaz	MASb. 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey

Nombre	UTM X(ED50)	UTM Y(ED50)	Provincia	Municipio	Masa de agua subterránea
Ubrique (Grazalema)	281733	4062457	Cádiz	Ubrique	MASb. 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey

Tabla 2.1.3.3.1. Lugares de interés hidrogeológico incorporados al listado de captaciones objeto de estudio

Las zonaciones delimitadas por el IGME, al igual que los perímetros establecidos en el marco de estos trabajos, tienen por objeto establecer determinadas restricciones a la extracción de agua subterránea así como controlar las actividades potencialmente contaminantes en el entorno de la captación. Asimismo, la zonación para la protección de la calidad de las aguas se ha subdividido en tres sectores (elipses) en función del tiempo de tránsito (ver apartado 2.1.2.2 de la memoria), y la zona delimitada para la protección de la cantidad se ha dividido, si procede, en varios sectores en función del tipo y grado de restricciones recomendadas; estas subzonas han sido catalogadas como A, B, C y D.

TIPO DE ZONA
<p>Zona Tipo A (Restricciones fuertes)</p> <p>La Autoridad competente deberá valorar la viabilidad de NO AUTORIZAR captaciones adicionales ni actividades potencialmente contaminantes.</p>
<p>Zona Tipo B (Limitaciones específicas)</p> <p>Limitaciones específicas condicionantes de volúmenes de explotación, distancias y máxima explotación a añadir a las concesiones ya existentes. Valorar la viabilidad de no autorizar actividades potencialmente contaminantes.</p>
<p>Zona Tipo C (Masa en riesgo de sobreexplotación)</p> <p>No autorizadas captaciones adicionales; valorar la viabilidad de no autorizar actividades potencialmente contaminantes.</p>
<p>Zona Tipo D (Sector de la masa de agua con riesgo de sobreexplotación)</p> <p>No autorizadas captaciones adicionales; valorar la viabilidad de no autorizar actividades potencialmente contaminantes.</p>

Tabla 2.1.3.3.2. Tipología de zonaciones y recomendaciones propuestas en cada zona

2.1.3.3.1. Protección de la calidad del agua

Tras realizar un análisis estadístico de los datos, en función de la litología, se observa que las *rocas carbonatadas* son las formaciones que afloran con mayor frecuencia en el ámbito de las zonaciones delimitadas, seguido de *margas y margocalizas y depósitos cuaternarios*.

Litología	Superficie (km ²)			Superficie (%)		
	1	50	1.460	1	50	1.460
Calcarenitas, arenas, gravas, limos y arcillas (Neógeno)	-	-	0,03	-	-	100,00
Calizas, dolomías y mármoles	0,04	16,45	66,86	0,05	19,74	80,21

Litología	Superficie (km ²)			Superficie (%)		
	1	50	1.460	1	50	1.460
Flysch	-	-	0,14	-	-	100,00
Gravas, arenas, arcillas y limos (Cuaternario)	0,04	3,26	14,32	0,23	18,50	81,26
Margas y margocalizas	0,14	4,18	16,95	0,66	19,65	79,69
Total	0,22	23,89	98,30	0,18	19,52	80,30

Tabla 2.1.3.3.1.1. Distribución litológica de las zonaciones delimitadas

El diagrama de sectores representado en la figura 2.1.3.3.1.1 muestra la proporción areal de cada litología en las zonas delimitadas para un tiempo de tránsito de 1 día. Se observa como los materiales predominantes son las *margas y margocalizas*, seguidos en igual proporción de *rocas carbonatadas* y *depósitos cuaternarios*.

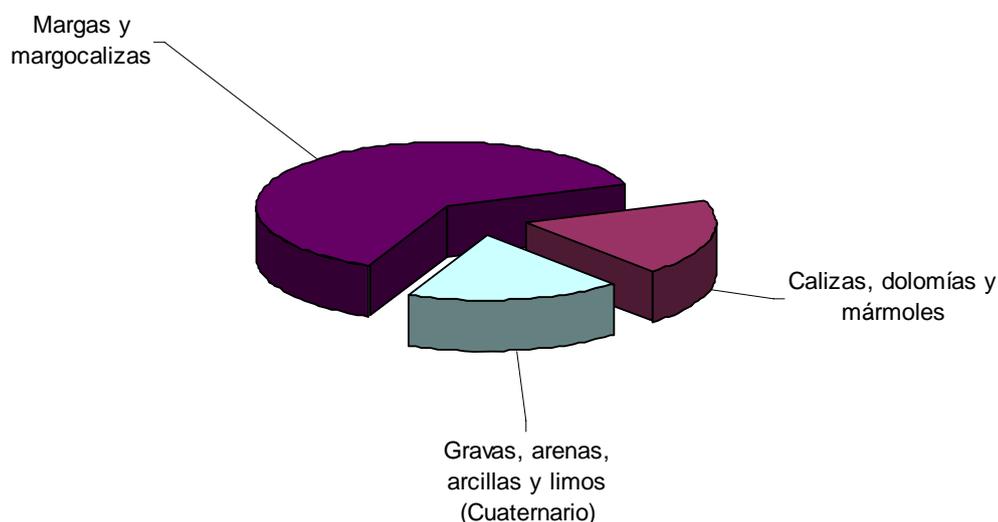


Figura 2.1.3.3.1.1. Distribución litológica de la zona de protección delimitada, para un tiempo de tránsito de 1 día

El diagrama de sectores representado en la figura 2.1.3.3.1.2 muestra la proporción areal de cada litología en las zonas obtenidas para un tiempo de tránsito de 50 días. En este caso el predominio es de los *materiales carbonatados*, en detrimento de *margas y margocalizas*.

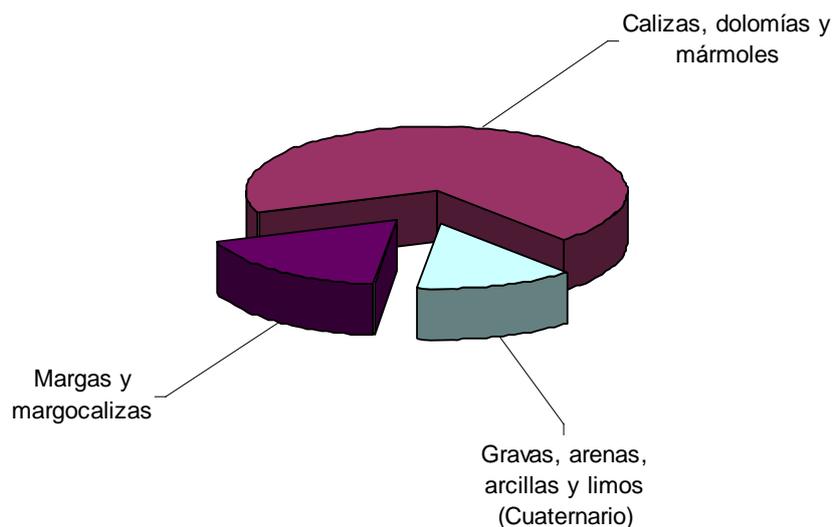


Figura 2.1.3.3.1.2. Distribución litológica de la zona de protección delimitada, para un tiempo de tránsito de 50 días

Por último, el diagrama de sectores representado en la figura 2.1.3.3.1.3 muestra la proporción areal de cada litología para el caso de las zonas obtenidas para un tiempo de tránsito de 1.460 días. Se mantiene el predominio de las *rocas carbonatadas* frente al resto de litologías minoritarias. Destaca la aparición de pequeños sectores de *materiales neógenos* y *flysch*.

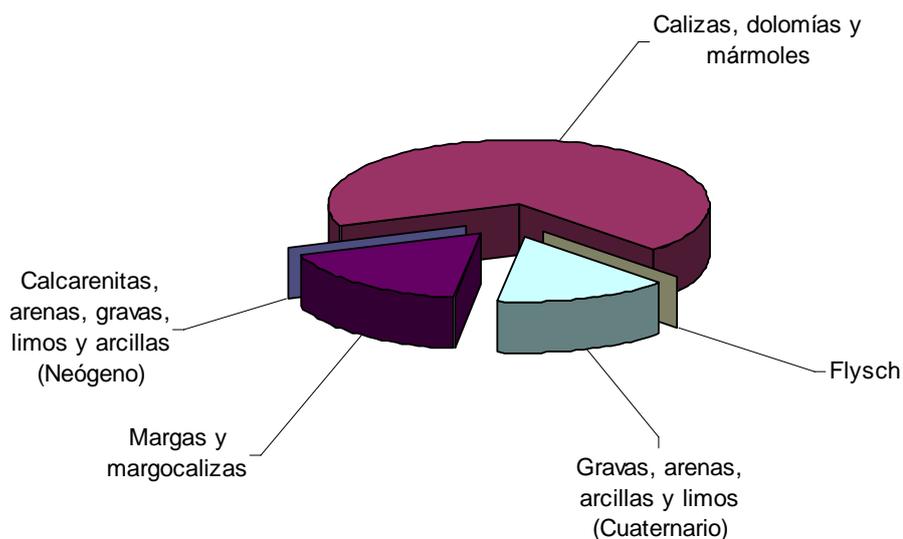


Figura 2.1.3.3.1.3. Distribución litológica de la zona de protección delimitada, para un tiempo de tránsito de 1.460 días

2.1.3.3.2. Protección de la cantidad del agua

En la tabla adjunta se muestra el área ocupada por el conjunto de las zonaciones delimitadas en función de la litología aflorante. Tal y como ocurre en el caso de la protección de la calidad del agua las litologías dominantes son las *carbonatadas*, con un 68%, seguido de los afloramientos de *margas y margocalizas* (17%) y *depósitos cuaternarios* (15%).

Litología	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Calcarenitas, arenas, gravas, limos y arcillas (Neógeno)	0,0	0,0
Calizas, dolomías y mármoles	66,9	68,0
Flysch	0,1	0,1
Gravas, arenas, arcillas y limos (Cuaternario)	14,3	14,6
Margas y margocalizas	17,0	17,2
Total	98,3	100,0

Tabla 2.1.3.3.2.1. Distribución litológica de las zonaciones delimitadas

Por otra parte, en el caso de los *materiales neógenos* y el *flysch*, apenas se ven representados.

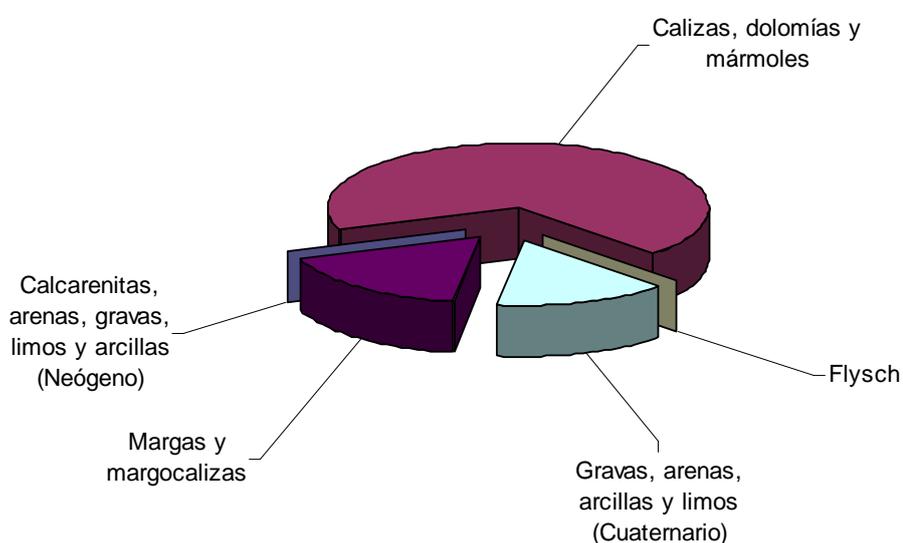


Figura 2.1.3.3.2.1. Distribución litológica de las zonaciones delimitadas

2.2. DELIMITACIÓN DE ZONAS DE SALVAGUARDA

2.2.1. INTRODUCCIÓN

La Directiva 2000/60/CE establece, en su artículo 7, que *los Estados miembros deberán efectuar el seguimiento, de conformidad con el anexo V, de las masas de agua subterránea que proporcionen un promedio de más de 100 m³ diarios utilizados para la captación de agua potable*. Asimismo, velarán por la necesaria protección de las masas de agua especificadas con objeto de evitar el deterioro de su calidad, contribuyendo a reducir el nivel de tratamiento de purificación necesario para la producción de agua potable. Para ello, es obligación de los Estados miembros establecer medidas para la protección de la calidad del agua de tal modo que, en su punto de extracción, previamente a los tratamientos de purificación, no se produzca un deterioro en la calidad del agua que requiera incrementar dicho tratamiento.

De igual modo, la Directiva establece en el artículo 8 que es *obligación de los Estados miembros velar por el establecimiento de programas de seguimiento del estado de las aguas, con objeto de obtener una visión general, coherente y completa del estado de las aguas en cada demarcación hidrográfica.*

En la práctica no se considera viable aplicar de igual manera e intensidad las medidas restrictivas que se consideren necesarias para dar cumplimiento a los requerimientos recogidos en el artículo 7.3, en toda la DWPA (*Drinking Water Protection Area*). Por ello, la Directiva 2000/60/CE propone delimitar, si procede, *zonas de salvaguarda (safeguard zones)* en las que se puedan focalizar restricciones y medidas de control necesarias para salvaguardar la calidad de las aguas subterráneas.

De este modo, la delimitación de zonas de salvaguarda está orientada a la protección de las zonas de alimentación y recarga relacionadas con las captaciones de agua destinada a consumo humano identificadas en aquellas masas de agua subterránea que proporcionen un promedio diario de más de 100 m³. Para la delimitación de estas zonas se recomienda considerar la cartografía de vulnerabilidad a la contaminación generada para cada masa de agua subterránea identificada en la demarcación, ya que en ellas se establecen las zonas con mayor o menor sensibilidad a la contaminación.

Así, y en conformidad con los objetivos perseguidos en el marco de estos trabajos, se propone el establecimiento de zonas de salvaguarda en aquellas masas de agua subterráneas que proporcionen un promedio de más de 100 m³ diarios utilizados para la captación de agua potable en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

2.2.2. TRABAJOS REALIZADOS

2.2.2.1. Documentación consultada

Con anterioridad al inicio de los trabajos se ha realizado un estudio bibliográfico de todos aquellos documentos que pudiesen incluir información de interés en el análisis, diseño y ejecución de la actividad, en relación con las características y funcionamiento hidrogeológico de las masas de agua subterránea, unidades hidrogeológicas y sistemas acuíferos existentes. Además, se han recopilado las coberturas geográficas de base, usos del suelo, presiones, red hidrográfica principal y mapas temáticos de hidrogeología.

Asimismo, para la delimitación de zonas de salvaguarda que protejan la calidad de las aguas subterráneas utilizadas para consumo en aquellas masas de agua que proporcionen un promedio de más de 100 m³ diarios, se han recopilado y/o generado las coberturas digitales enunciadas en la tabla sintética 2.2.2.1.1.

Esta información ha servido como punto de partida para la caracterización hidrogeológica del entorno de las captaciones de agua subterránea objeto de estudio.

En la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, el inventario de captaciones de abastecimiento facilitado por los responsables del Servicio de Planificación de la Dirección General de Planificación y Participación de la Agencia Andaluza del Agua, consta de un total de 66 puntos localizados en terrenos catalogados como masa de agua subterránea. En base a la naturaleza de las captaciones, éstas se han catalogado como: manantial (24), pozo y/o sondeo (42).

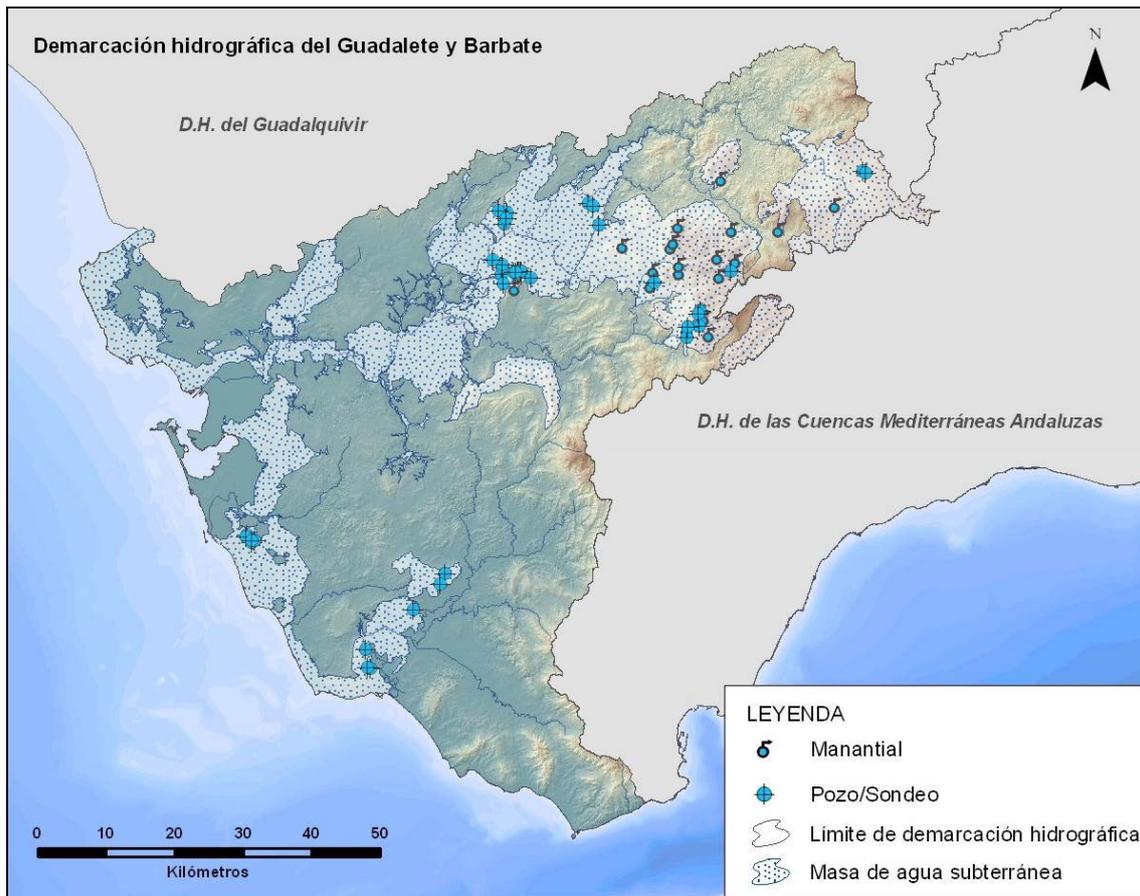


Figura 2.2.2.1.1. Inventario de captaciones de agua subterránea utilizadas para abastecimiento de agua potable, identificadas en aquellas masas de agua subterránea que proporcionan un promedio de más de 100 m³ diarios

Una vez integrada la información de partida sobre entorno GIS, se ha procedido al filtrado y tratamiento de los datos de acuerdo con la metodología descrita en el apartado 2.2.2.2.

N	TIPO	GEOMETRÍA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FUENTE
1	Shapefile	Puntual	CAPT_ABAST_GB	Captaciones de agua subterránea utilizadas para abastecimiento en masas de agua subterránea que proporcionan un promedio de más de 100 m ³ diarios	AAA
2	Shapefile	Poligonal	DEM_GB	Demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate	AAA
3	Shapefile	Poligonal	ENP_GB	Espacios naturales protegidos	AAA
4	Shapefile	Poligonal	LICs_GB	Lugares de interés comunitario	AAA
5	Shapefile	Poligonal	LITO_GB	Cartografía litoestratigráfica, E.:1:200.000	IGME
6	Shapefile	Poligonal	MASb_GB	Masas de agua subterránea	AAA
7	Ráster	Píxel	MDE_GB	Modelo Digital de Elevaciones	J.AND.
8	Ráster	Píxel	MOS_GB	Mosaico de la cartografía geológica, E.:1:50.000	IGME/TTEC
9	Shapefile	Poligonal	MUNI	Términos municipales	IGN/ICA
10	Shapefile	Poligonal	PERM_GB	Cartografía de permeabilidad, E.:1:200.000	IGME
11	Shapefile	Lineal	RIOS	Red hidrográfica	CAA/ICA
12	Shapefile	Poligonal	URB	Núcleos urbanos	IGN/ICA
13	Shapefile	Poligonal	UUHH	Unidades Hidrogeológicas	ITGE
14	Shapefile	Poligonal	VULNER_GB	Cartografía de vulnerabilidad (Drastic/COP)	TTEC
15	Shapefile	Poligonal	ZEPAS_GB	Zonas de especial protección para aves	AAA
16	Shapefile	Puntual	PRES_PUNT_GB	Inventario de presiones puntuales	AAA
17	Shapefile	Poligonal	PRES_DIFUS_GB	Inventario de presiones difusas	IGN/AAA

Tabla 2.2.2.1.1. Relación de las coberturas de partida empleadas durante los trabajos de delimitación de zonas de salvaguarda en masas de agua subterránea que proporcionan un promedio de más de 100 m³ diarios

2.2.2.2. Aspectos metodológicos

Las zonas de salvaguarda constituyen una figura clave a la hora de proteger la calidad de las aguas en las masas de agua subterránea, ya que en estas zonas se focalizarán las medidas de protección en cumplimiento con las disposiciones establecidas en la Directiva 2000/60/CE.

Para la delimitación de zonas de salvaguarda en aquellas masas de agua subterránea que proporcionan un promedio de más de 100 m³ diarios utilizados para la captación de agua potable, se ha empleado la metodología desarrollada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), basada en la superposición espacial de capas en un Sistema de Información Geográfica (GIS). Concretamente, se parte de la distribución espacial de la cartografía de vulnerabilidad natural a la contaminación y las coberturas de presiones, cuyos valores se reclasifican a componentes binarias para, posteriormente, sumar el resultado. Ello da lugar a cuatro posibles zonas de salvaguarda (tipificadas como A, B, C y D), a las que se asignan distintos grados de restricción tal y como se muestra en la figura adjunta.

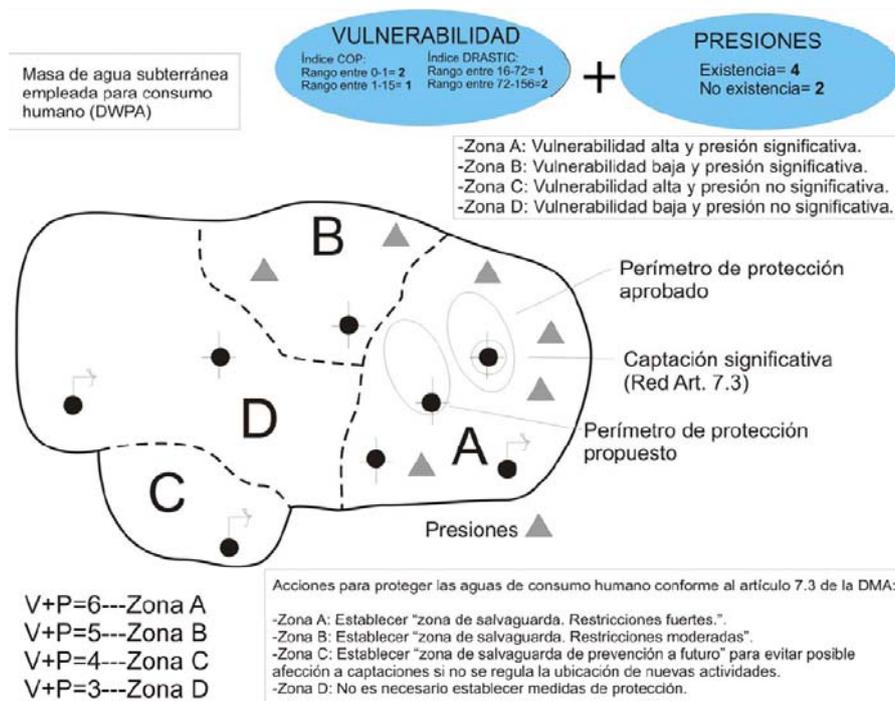


Figura 2.2.2.2.1. Metodología empleada para la delimitación de zonas de salvaguarda

La cartografía de vulnerabilidad a la contaminación, generada en el marco de estos trabajos, proviene de la aplicación del método COP en el caso de masas de agua eminentemente carbonatadas, y del método DRASTIC, en aquellas masas de agua de dominio detrítico. Los valores obtenidos tras la aplicación directa de ambos métodos se han reclasificado, de manera que se disponga de una cobertura unificada con la cual poder efectuar las operaciones espaciales requeridas. Dicha reclasificación se realiza de la siguiente manera:

Método	Intervalo de clasificación	Valor
COP	0-1	2
	1-15	1
DRASTIC	16-77	1
	77-166	2

Tabla 2.2.2.2.1. Valores de reclasificación para la variable vulnerabilidad

Las tipologías de presiones que, de conformidad con el punto 2 del anexo II de la Directiva 2000/60/CE y el apartado 3.2.3 de la Orden ARM/2656/2008, se han considerado para la delimitación de zonas de salvaguarda han sido las siguientes: fuentes de contaminación puntual y difusa.

En base a esta metodología, la delimitación de zonas de salvaguarda requiere el uso de capas (shapefiles) en formato poligonal para una adecuada superposición espacial de las mismas, por lo que el inventario de presiones puntuales no puede utilizarse directamente. En su lugar se ha elaborado, en entorno GIS, un mapa ráster de densidad de presiones puntuales empleando para ello la herramienta *Kernel Density*, optimizando el radio de búsqueda de manera que el resultado final se ajuste convenientemente a las agrupaciones de presiones que se observan sobre el mapa. De la cobertura

ráster resultante se han extraído aquellos valores de densidad que superan el umbral de 2 presiones/km² para, finalmente, convertir dichas áreas a formato poligonal.

Una vez depuradas las coberturas de presiones disponibles, en formato poligonal, éstas se combinan en una única capa que representa la presencia o no de presiones significativas sobre el terreno. Al igual que ocurre en el caso de la vulnerabilidad, la superficie a evaluar ha de reclasificarse en función de la existencia de presiones significativas, de acuerdo con la siguiente tabla de valores:

Presiones	Valor
Existencia	4
No existencia	2

Tabla 2.2.2.2.2. Valores de ponderación para las presiones

Seguidamente se combinan los polígonos de ambas capas y se suman sus valores propios. El resultado de la superposición puede presentar cuatro valores, los cuales se corresponden con las cuatro posibles combinaciones que darán lugar a las distintas tipologías de salvaguarda, según se muestra en la tabla adjunta:

Vulnerabilidad	Presiones	Salvaguarda	
		Valor	Tipo
2	4	6	Zona A
1	4	5	Zona B
2	2	4	Zona C
1	2	3	Zona D

Tabla 2.2.2.2.3. Tipología de zonas de salvaguarda

El resultado final comprende, por tanto, cuatro posibles situaciones de las cuales dependerán las restricciones o medidas a tomar en el futuro, de cara a la gestión de las masas de agua en materia de protección de la calidad del agua para consumo humano.

En un principio esta metodología contempla una serie de medidas a considerar, de un modo genérico, de acuerdo a cada una de las cuatro situaciones posibles:

- Zona A: vulnerabilidad alta y presión significativa. Establecer zona de salvaguarda con restricciones fuertes.
- Zona B: vulnerabilidad baja y presión significativa. Establecer zona de salvaguarda con restricciones moderadas.
- Zona C: vulnerabilidad alta y presión no significativa. Establecer zona de salvaguarda de prevención a futuro, para evitar posible afección a captaciones si no se regula la ubicación de nuevas actividades.
- Zona D: vulnerabilidad baja y presión no significativa. No es necesario establecer medidas de protección.

La metodología descrita permite, por tanto, sectorizar toda la superficie de una masa de agua en una serie de zonas de salvaguarda con distintos grados de protección, de manera que sea posible establecer una gestión eficaz del terreno por parte del organismo competente, permitiendo concentrar esfuerzos y recursos en las áreas que más lo requieran.

Aunque la Directiva 2000/60/CE exige el establecimiento de zonas de salvaguarda solamente en aquellas masas de agua subterránea utilizadas para la captación de agua potable que proporcionen un promedio de más de 100 m³ diarios, en el marco de estos trabajos se ha optado por delimitar zonas de salvaguarda en todas las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación, independientemente de que cumpla o no este requisito. De este modo se garantiza la presencia de zonas de salvaguarda previamente a la selección de nuevas captaciones de abastecimiento que se localicen en el ámbito de las masas de agua subterránea.

2.2.3. RESULTADOS OBTENIDOS

En la tabla 2.2.3.1 se puede observar un resumen estadístico del resultado final tras el proceso de delimitación de zonas de salvaguarda en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate. En dicha tabla se muestra la superficie de cada masa de agua subterránea, catalogada en función de su atribución a cada tipo de zona de salvaguarda. De esta manera se puede obtener una visión general de las extensiones a proteger, así como su proporción relativa en cada masa de agua subterránea.

Código	Nombre	Superficie (km ²)				Superficie (%)				Total (km ²)*
		A	B	C	D	A	B	C	D	
062.001	SETENIL	24,0	3,5	143,8	51,7	10,8	1,6	64,5	23,2	223,0
062.002	SIERRA DE LÍBAR	0,0	0,0	45,2	3,7	0,0	0,0	92,3	7,7	48,9
062.003	SIERRA DE LÍJAR	0,0	1,3	5,1	17,7	0,0	5,5	21,0	73,5	24,2
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA - PRADO DEL REY	3,5	6,7	159,8	190,5	1,0	1,9	44,2	52,7	361,2
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA - VILLAMARTÍN	46,2	16,6	154,8	85,6	14,0	5,0	46,9	25,9	330,2
062.006	SIERRA VALLEJA	10,7	2,1	11,5	12,3	28,8	5,6	30,9	33,2	37,1
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	0,4	0,9	13,8	48,4	0,6	1,4	21,7	75,9	63,8
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	119,8	4,5	67,2	31,8	53,2	2,0	29,8	14,1	225,3
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	67,5	0,8	6,0	1,5	89,0	1,1	7,9	1,9	75,8
062.010	SANLÚCAR - CHIPIONA - ROTA - PTO. DE SANTA MARÍA	103,4	15,1	27,0	7,7	67,2	9,8	17,6	5,0	153,9
062.011	PUERTO REAL	50,2	2,9	53,8	7,2	44,0	2,5	47,1	6,3	114,1
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	60,2	3,1	48,1	3,8	52,3	2,7	41,7	3,3	115,3
062.013	BARBATE	27,8	5,9	53,7	28,3	24,0	5,1	46,4	24,4	115,7

Código	Nombre	Superficie (km ²)				Superficie (%)				Total (km ²)*
		A	B	C	D	A	B	C	D	
062.014	BENALUP	6,5	5,6	10,8	9,7	19,9	17,3	33,2	29,6	32,6

Total	520,1	69,0	800,5	499,9	27,1	3,6	41,7	26,0	1.921,1
--------------	-------	------	-------	-------	------	-----	------	------	---------

(*). Incluye el área o extensión ocupada por aguas superficiales (lagos, lagunas y embalses)

Tabla 2.2.3.1. Superficie de las zonas de salvaguarda delimitadas, por masa de agua subterránea

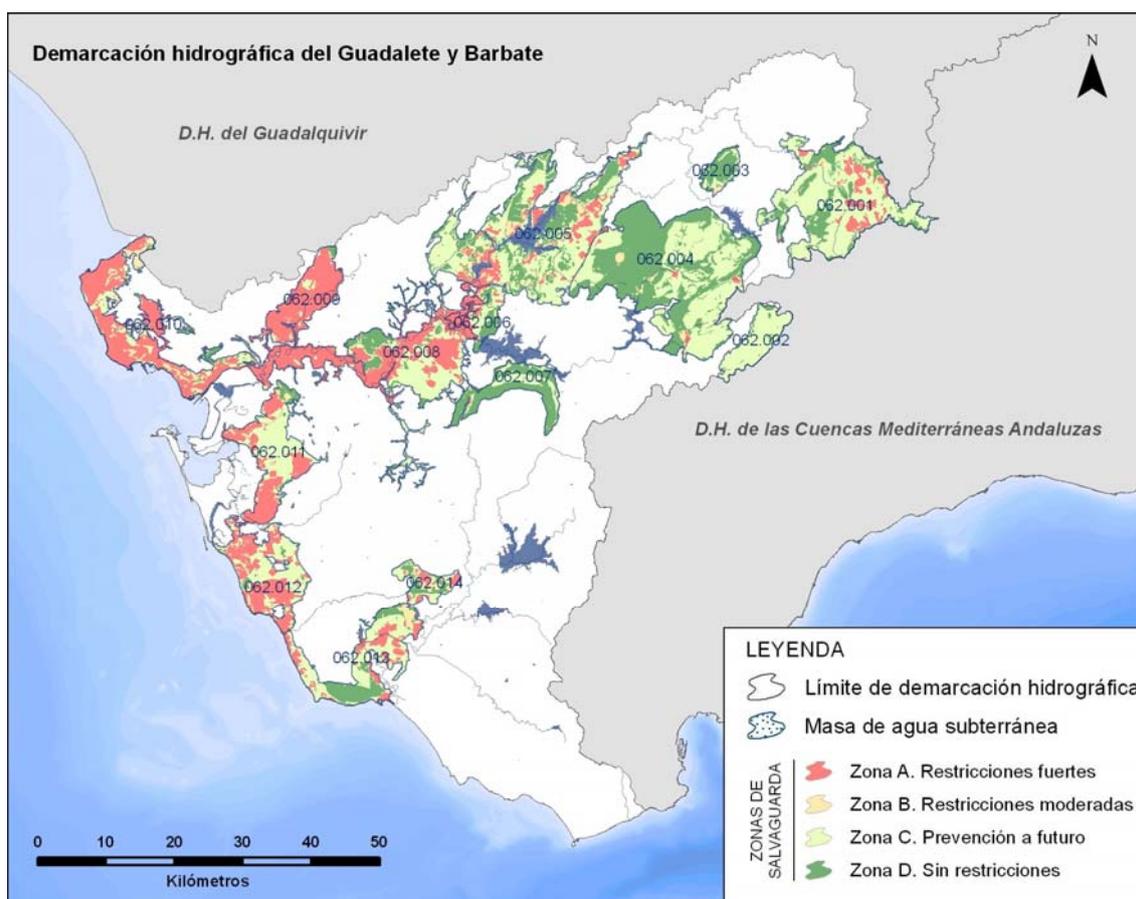


Figura 2.2.3.1. Zonas de salvaguarda delimitadas en la D.H. del Guadalete y Barbate

En la tabla anterior se puede observar como, por ejemplo, en la masa de agua 062.009 - Jerez de la Frontera, prácticamente la totalidad de la superficie está cataloga como zona de salvaguarda *tipo A*, debido a la existencia de un gran número de presiones localizadas sobre materiales detríticos de alta vulnerabilidad.

Un caso opuesto sería el de la masa de agua 062.003 - Sierra de Lijar, donde la mayor parte de la superficie se define como zona de salvaguarda *tipo D*, debido a la práctica inexistencia de presiones sobre litologías vulnerables.

Como caso intermedio podría considerarse la masa 062.002 - Sierra de Líbar, cuya zona de salvaguarda predominante es de *tipo C*. Ello implica que deban tomarse las medidas oportunas para que, en un futuro, en caso de aumentar la presión sobre un acuífero con elevada vulnerabilidad natural a la contaminación, sea posible minimizar la afección a las captaciones de agua para consumo humano identificadas en el ámbito de esta masa o bien, a las aguas transferidas (subterráneamente) desde esta masa, a masas limítrofes.

En la tabla 2.2.3.2 se representa, de forma análoga a la anterior, la superficie de las zonas de salvaguarda y su proporción relativa, aunque en este caso, referidas a las litologías aflorantes.

Litología	Superficie (km ²)				Superficie (%)				Total (km ²)
	A	B	C	D	A	B	C	D	
Calcarenitas, arenas, gravas, limos y arcillas (Neógeno)	86,8	2,8	160,3	24,3	31,7	1,0	58,5	8,9	274,1
Calizas, dolomías y mármoles	4,0	0,7	190,5	41,3	1,7	0,3	80,6	17,5	236,5
Flysch	4,3	2,0	14,3	16,2	11,6	5,3	38,9	44,1	36,8
Gravas, arenas, arcillas y limos (Cuaternario)	298,2	30,4	247,4	120,5	42,8	4,4	35,5	17,3	696,5
Margas y margocalizas	10,3	8,7	45,2	193,5	4,0	3,4	17,5	75,1	257,7
Margas, arenas y limos (Plioceno)	116,5	24,5	142,8	104,1	30,0	6,3	36,8	26,8	387,9
Total	520,1	69,0	800,5	499,9	27,5	3,7	42,4	26,5	1.889,5

Tabla 2.2.3.2. Superficie de las zonas de salvaguarda delimitadas respecto a las litologías aflorantes

Para facilitar la interpretación de los datos presentados en la tabla 2.2.3.2, se ha elaborado una serie de figuras que representan la distribución areal de cada litología, en función del tipo de zona de salvaguarda. Así, en la figura 2.2.3.2 se puede observar como, en las zonas de salvaguarda tipo A la litología dominante es, con diferencia, los *sedimentos detríticos cuaternarios*. Dicha distribución no es casual puesto que esta litología, cuya vulnerabilidad a la contaminación natural suele ser alta o muy alta, por lo general presenta relieves suaves que permiten el desarrollo y proliferación de numerosas actividades antrópicas, susceptibles de generar presiones significativas.

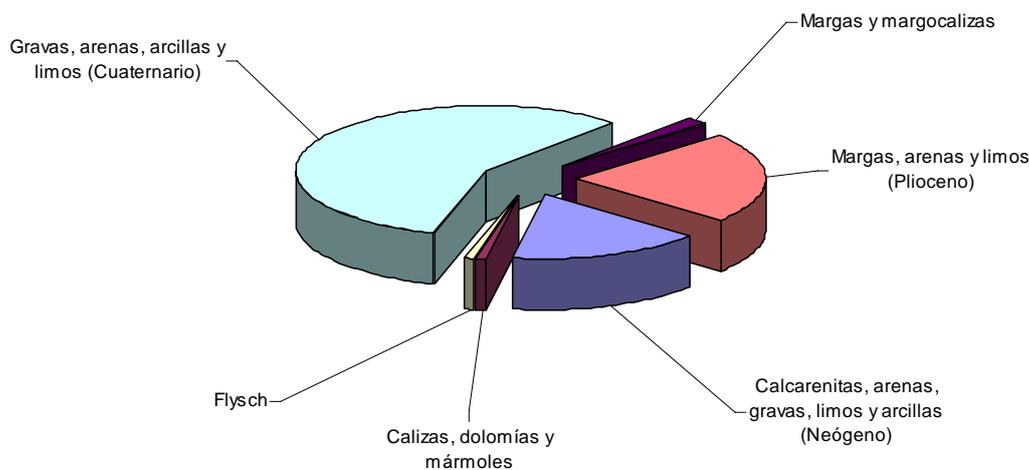


Figura 2.2.3.2. Distribución relativa de las litologías en zonas de salvaguarda tipo A

En la figura 2.2.3.3, relativa a las zonas de salvaguarda tipo B, se aprecia como los afloramientos más frecuentes está constituido por *depósitos cuaternarios*, seguido de *materiales marinos margosos del Plioceno*. De nuevo, dicha distribución se puede explicar de manera lógica, puesto que dichas litologías, a menudo poco o moderadamente vulnerables por su contenido en arcillas y/o margas, son fisiográficamente favorables al emplazamiento de actividades humanas que permitan la proliferación de diferentes actividades antrópicas, susceptibles de generar presiones significativas.

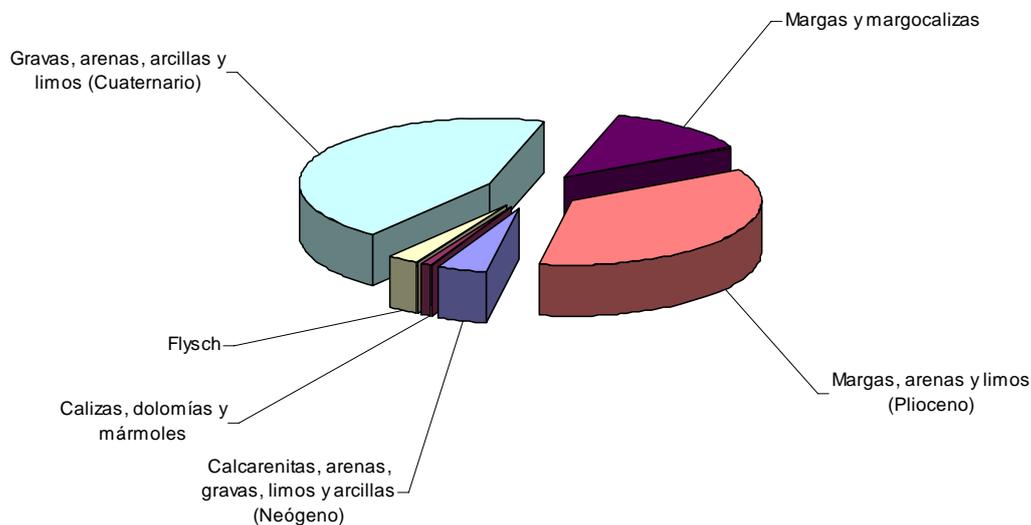


Figura 2.2.3.3. Distribución relativa de las litologías en zonas de salvaguarda tipo B

La figura 2.2.3.4 muestra la distribución litológica para las zonas tipo C. En este caso, son los *materiales detríticos cuaternarios*, las *calcarenitas neógenas* y los *afloramientos carbonatados*, los más significativos. Ello es debido a que, por un lado, se trata de acuíferos vulnerables a la contaminación y, por otro lado, no son frecuentes las actividades susceptibles de generar presiones, bien sea por el relieve en el caso de los carbonatos, o por cuestiones de tipo socioeconómico, como la supremacía de cultivos de secano o presencia de grandes masas forestales.

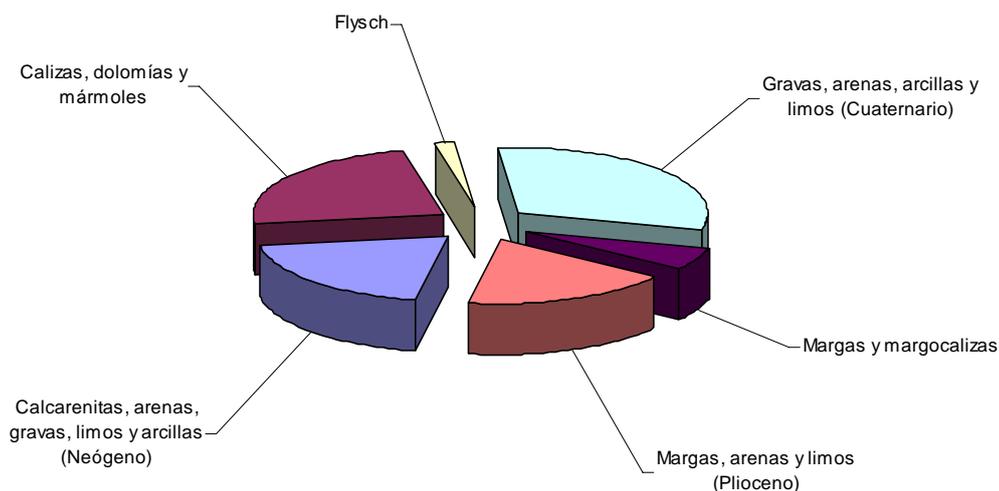


Figura 2.2.3.4. Distribución relativa de las litologías en zonas de salvaguarda tipo C

Finalmente, en la figura 2.2.3.5 se puede observar el predominio de *margas* y *margocalizas subbéticas*, seguido de *depósitos cuaternarios* y *margas del Plioceno*. En este caso se tienen en cuenta litologías poco o moderadamente vulnerables -proporción de arcillas y/o margas elevada-, cuya fisiografía o circunstancias socioeconómicas no han permitido el desarrollo de actividades que supongan presiones relevantes.

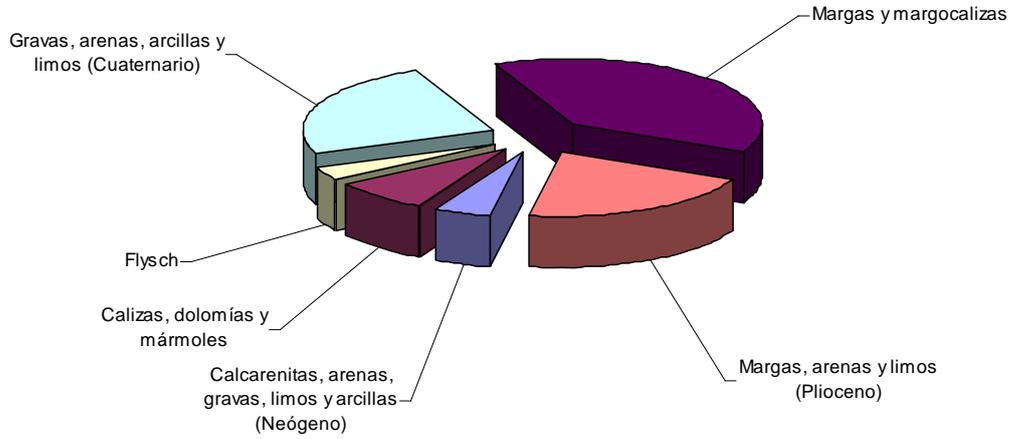


Figura 2.2.3.5. Distribución relativa de las litologías en zonas de salvaguarda tipo D

3. IDENTIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DE INTERÉS LOCAL

3.1. INTRODUCCIÓN

En el artículo 2 de la Directiva 2000/60/CE se define el término *masa de agua subterránea* como *un volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas de un acuífero o acuíferos* y se establece como unidad geográfica de referencia para gestionar las aguas subterráneas en el marco comunitario y comprobar el cumplimiento de los objetivos medioambientales fijados en ellas.

En términos generales, las masas de agua subterránea han sido definidas en los materiales tradicionalmente considerados como acuíferos, donde parte de sus recursos son utilizados para consumo humano, y en aquellas formaciones donde las aguas subterráneas están asociadas a masas de agua superficial o ecosistemas terrestres dependientes.

Sin embargo, existen determinados acuíferos que por su entidad no han sido catalogados como masa de agua subterránea y/o cuyos recursos no son utilizados para el consumo humano en un promedio de más de 10 m³ diarios o no abastecen a más de cincuenta personas, que deberían declararse objeto de una protección especial en virtud de la norma comunitaria relativa a la protección de sus aguas subterráneas.

3.2. TRABAJOS REALIZADOS

3.2.1. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA

En el marco de estos trabajos se ha realizado un registro de todos aquellos acuíferos considerados de interés local, no catalogados como masas de agua subterránea, identificados en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

Con anterioridad al inicio de los trabajos se ha realizado un estudio bibliográfico de todos aquellos documentos que pudiesen incluir información de interés en el análisis, diseño y ejecución de la actividad, en relación con las características y funcionamiento hidrogeológico de estos acuíferos. Además, se han recopilado las coberturas geográficas de base, red hidrográfica principal y secundaria, así como mapas temáticos de hidrogeología.

3.2.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

A partir de la información obtenida y de las consecuencias derivadas de la definición de los acuíferos de interés local, durante la identificación de zonas favorables o susceptibles de ser calificadas como acuíferos de interés, se ha establecido la siguiente relación de criterios:

- ✓ Rango de permeabilidad de los afloramientos: se han tenido en cuenta solamente aquellos afloramientos que presentan una permeabilidad media, alta o muy alta; por tanto, se ha prescindido, en principio, de los materiales de permeabilidad baja y muy baja.
- ✓ Explotación de un volumen significativo de aguas subterráneas: se ha considerado que, aquellas zonas donde existe una elevada densidad de captaciones, presentan un mayor grado de interés frente a otras donde la explotación de recursos es menor.

- ✓ **Geología:** los contactos litológicos en superficie han permitido identificar los límites entre materiales permeables e impermeables, lo cuales se han tomado, por norma general, como límites de los acuíferos definidos.

El rango de permeabilidad de los afloramientos se ha obtenido del ‘Mapa litoestratigráfico y de permeabilidad de España’ a escala 1:200.000, editado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Ministerio de Medio Ambiente (2006). La cartografía geológica utilizada ha sido la de la serie MAGNA (Mapa Geológico de España) a escala 1:50.000, editado por el Instituto Geológico y Minero de España. Asimismo, en lo que respecta al inventario de captaciones de agua subterránea identificadas, han sido varias las bases de datos utilizadas:

- Inventario de Derechos de Uso de Aguas Subterráneas en España. Programa ALBERCA (consultas 2008/09)
- Base de datos de aguas subterráneas editada por el IGME: AGMA
- Bases de datos: CONAGUA, CONAGUA_REVISIÓN y GERDAP

Las captaciones de agua subterránea registradas en estas bases de datos corresponden tanto a captaciones existentes como solicitadas, y en total su número asciende a 9.061. En la tabla 3.2.2.1 se sintetizan las coberturas digitales utilizadas durante la identificación de los acuíferos de interés local en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

N	TIPO	GEOMETRÍA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FUENTE
1	Shapefile	Poligonal	DEM_GB	Demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate	AAA
2	Shapefile	Poligonal	MASb_GB	Masas de agua subterránea	AAA
3	Ráster	Píxel	MOS_GB	Mosaico de la cartografía geológica, Hojas MAGNA (E.:1:50.000)	IGME/TTEC
4	Shapefile	Poligonal	PERM_GB	Cartografía de permeabilidad, E.:1:200.000	IGME
5	Shapefile	Puntual	ALBERCA08_GB	Captaciones ALBERCA (consulta 2008)	ALBERCA
6	Shapefile	Puntual	ALBERCA09_GB	Captaciones ALBERCA (consulta 2009)	ALBERCA
7	Shapefile	Puntual	AGMA_GB	Captaciones AGMA	IGME
8	Shapefile	Puntual	CONAGUA_GB	Captaciones CONAGUA	CONAGUA
9	Shapefile	Puntual	CONAGUA_REV_GB	Captaciones CONAGUA revisión	CONAGUA
10	Shapefile	Puntual	GERDAP_GB	Captaciones GERDAP	GERDAP

Tabla 3.2.2.1. Relación de coberturas de partida empleadas durante la identificación de acuíferos de interés local en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

Para abordar los distintos criterios anteriormente enumerados e identificar regiones favorables para la definición de acuíferos de interés local, estas coberturas han sido tratadas de forma específica, en entorno GIS, de acuerdo con la siguiente metodología:

- ✓ En primer lugar se ha creado una única cobertura con todas las captaciones de agua subterránea inventariadas en la demarcación.

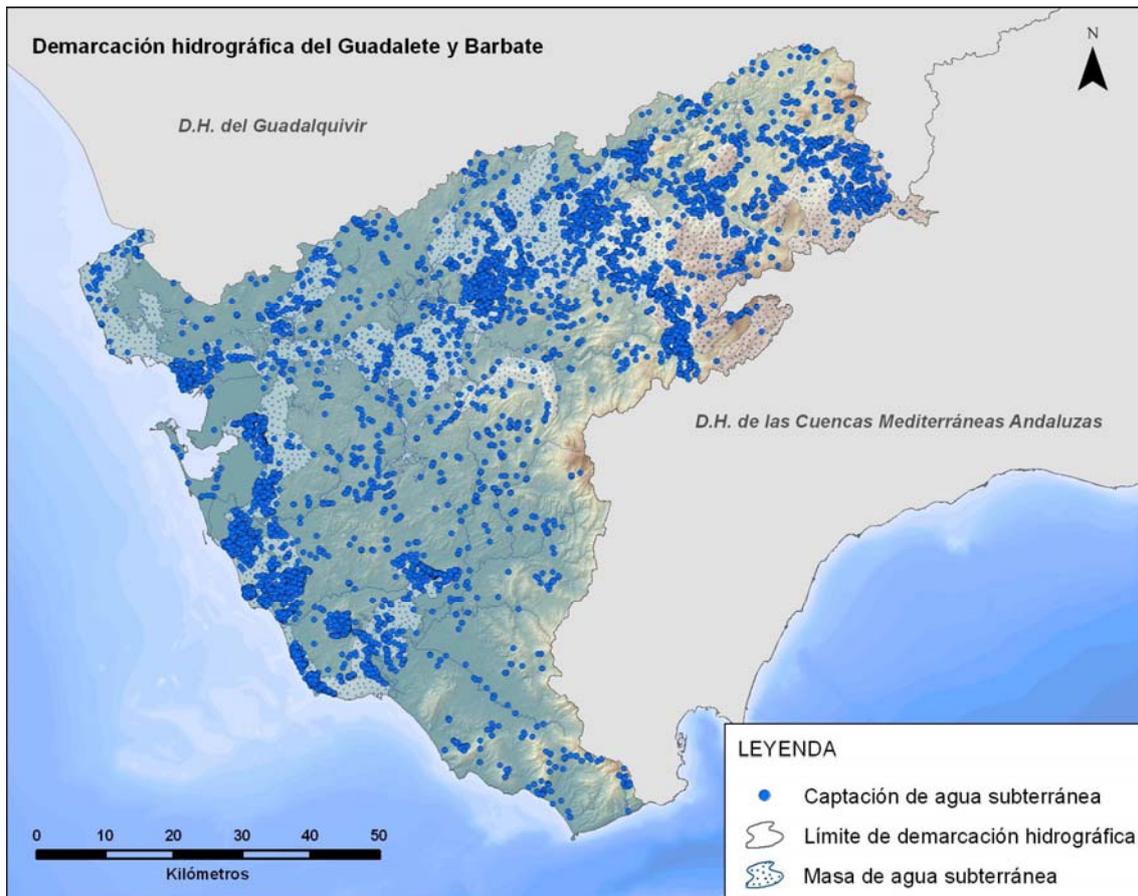


Figura 3.2.2.1. Inventario de captaciones de agua subterránea en la D.H. del Guadalete y Barbate

- ✓ Para ello se han unificado, en entorno GIS, los datos asociados a cada una de las coberturas recopiladas tras la consulta de las distintas bases de datos: Alberca, AGMA, CONAGUA, etc. (Figura 3.2.2.1).
- ✓ A continuación se ha realizado un cruce por localización espacial entre la cobertura de puntos obtenida y los límites de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación, considerando solamente aquellas captaciones que se localizan en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea (figura 3.2.2.2).

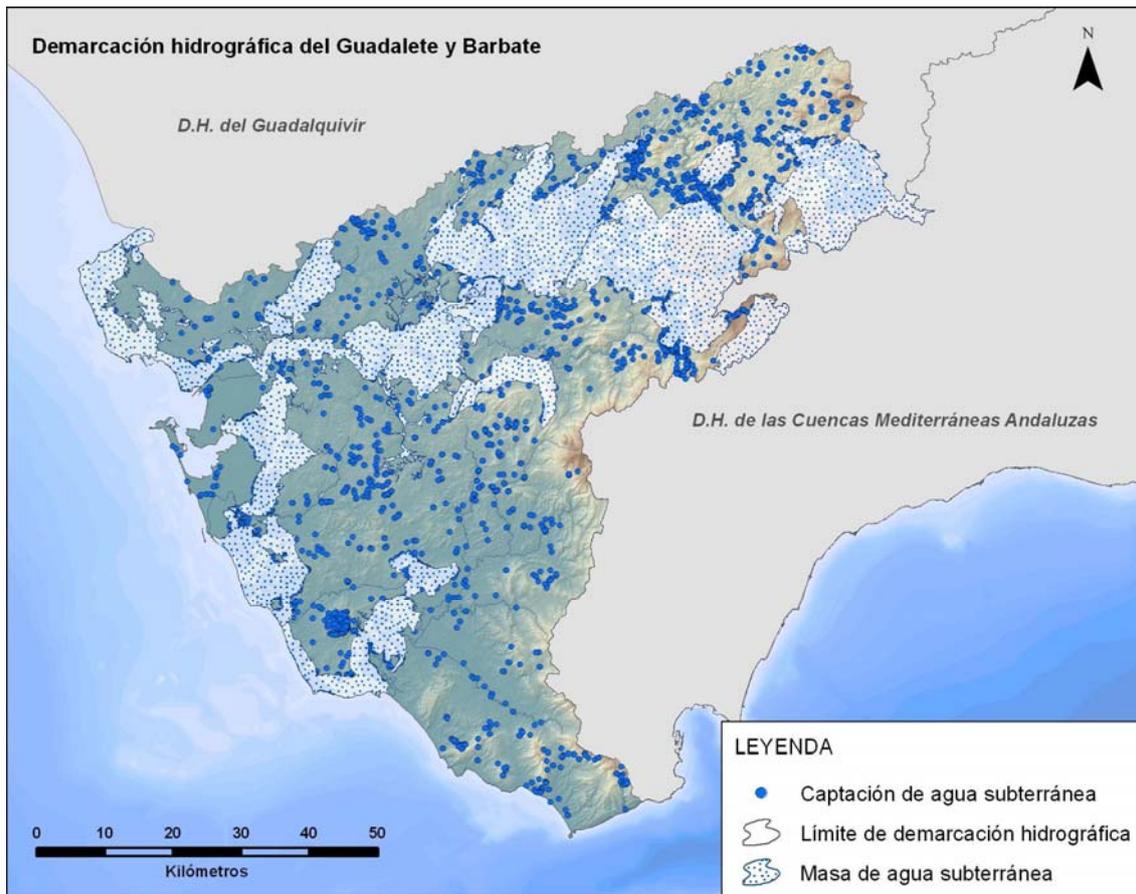


Figura 3.2.2.2. Inventario de captaciones de agua subterránea localizadas en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

- ✓ Seguidamente se han identificado zonas favorables para la delimitación de acuíferos de interés local en aquellos sectores donde existe gran concentración de captaciones, generalmente incluidos, total o parcialmente, en unidades geográficas de referencia definidas con anterioridad a las masas de agua (unidades hidrogeológicas, sistemas acuíferos, etc.).
- ✓ Por último, se ha realizado un análisis pormenorizado de cada una de estas zonas favorables identificadas con objeto de decidir la conveniencia o no de identificar un acuífero de interés local. Esto se ha hecho, principalmente, en función de la litología de los materiales aflorantes, de su permeabilidad y de la distribución de las captaciones dentro de estos. Así pues, aquellos sectores donde existe una elevada densidad de captaciones sobre materiales permeables o bien, se supone que estos materiales presentan unas características hidráulicas suficientes como para permitir un flujo significativo de aguas subterráneas, han sido considerados zonas preferentes para la delimitación de acuíferos de interés local.

Los límites de los acuíferos identificados han correspondido, principalmente, a límites hidrogeológicos, esto es, contactos litológicos en superficie entre materiales permeables y no permeables. En algún caso concreto, no obstante, el límite del acuífero coincide con el de una masa de agua subterránea limítrofe.

Puesto que, tal y como establece la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, la gestión pública del agua subterránea corresponde, en su respectivo ámbito territorial, a cada organismo de cuenca, los acuíferos de interés local se han delimitado de forma exclusiva en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

3.3. RESULTADOS OBTENIDOS

La aplicación de la metodología expuesta en el apartado 3.2.2 en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, ha tenido como resultado la identificación y delimitación de tres acuíferos de interés local, cuyas principales características se presentan en la tabla 3.3.1. Asimismo, la localización de cada uno de ellos en relación a los límites de la demarcación se muestra en la figura adjunta.

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.2.01	ALGODONALES	20,16	Areniscas del Mioceno inferior (Unidad del Aljibe)	Detrítico	Porosidad intergranular/fracturación	Libre
062.2.02	SIERRA DE AZNAR	3,76	Calizas y dolomías del Jurásico inferior, y carniolas del Trías	Carbonatado	Fisuración/karstificación	Libre
062.2.03	LA MUELA	8,67	Calcarenitas del Mioceno superior	Detrítico	Porosidad intergranular/fracturación	Libre

Tabla 3.3.1. Acuíferos de interés local identificados y definidos en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, con indicación de su extensión, litología, naturaleza y características hidrogeológicas básicas

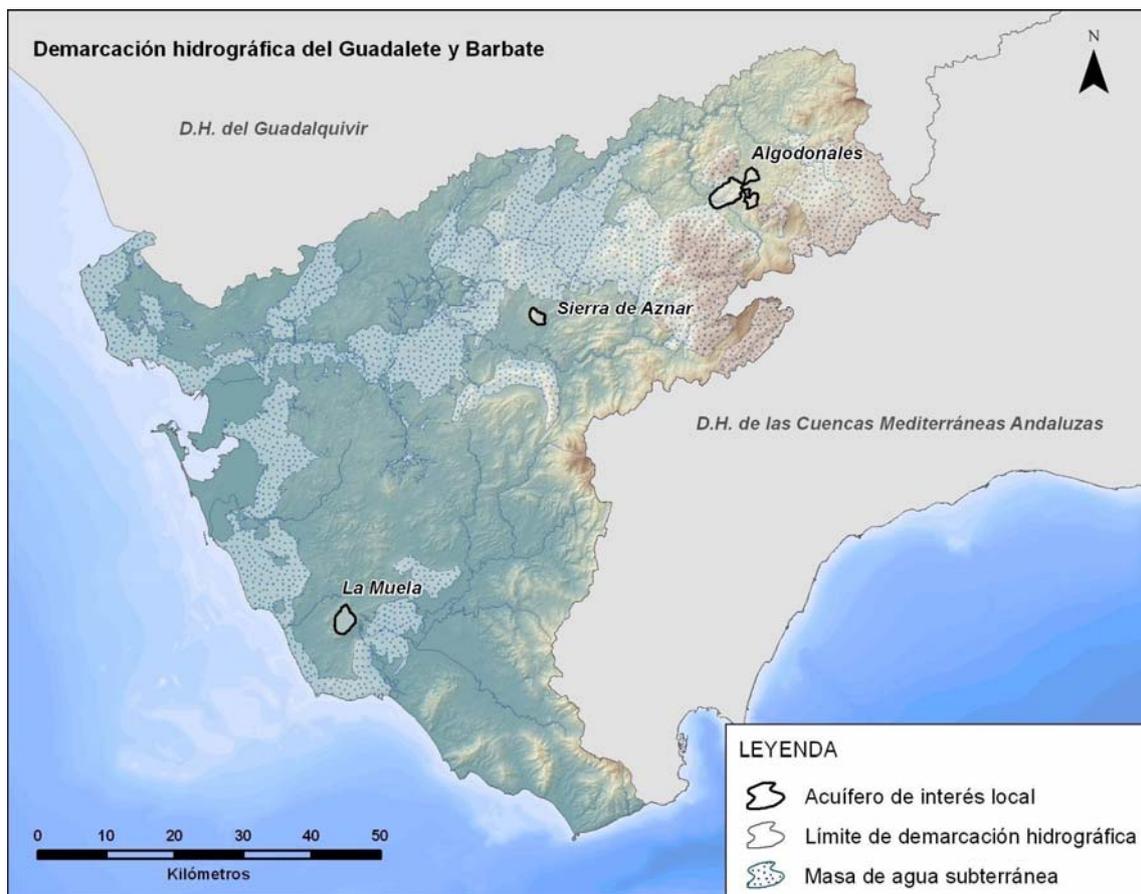


Figura 3.3.1. Localización de los acuíferos de interés local identificados en la D.H. del Guadalete y Barbate

En este tipo de acuíferos, generalmente de escasa extensión y con un volumen de recursos reducido, es imprescindible el establecimiento de unas cifras de explotación fiables, mediante el control detallado de las explotaciones y un seguimiento de las evoluciones del nivel piezométrico durante un tiempo suficientemente largo, con objeto de evitar el agotamiento paulatino de las reservas de agua almacenadas en estas formaciones acuíferas. Asimismo, es aconsejable que las captaciones se distribuyan de forma más o menos uniforme, y a unas distancias razonables entre sí, con objeto de evitar afecciones entre las explotaciones.

A continuación se realiza una breve descripción de las características físicas, geológicas e hidrogeológicas básicas, para cada uno de los acuíferos de interés local identificados en la demarcación:

- **062.2.01. ALGODONALES**

El acuífero está situado entre las localidades de Algodonales, Zahara y El Gastor. Está constituido por varios afloramientos de areniscas de la Unidad del Aljibe separados por arcillas de baja permeabilidad que impiden la continuidad hidrogeológica (figura 3.3.2). Sus límites corresponden al contacto litológico de las areniscas con los materiales arcillosos miocenos y triásicos, y con las masas de agua subterránea 062.003. Sierra de Lijar (al Norte) y 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey (al Suroeste).

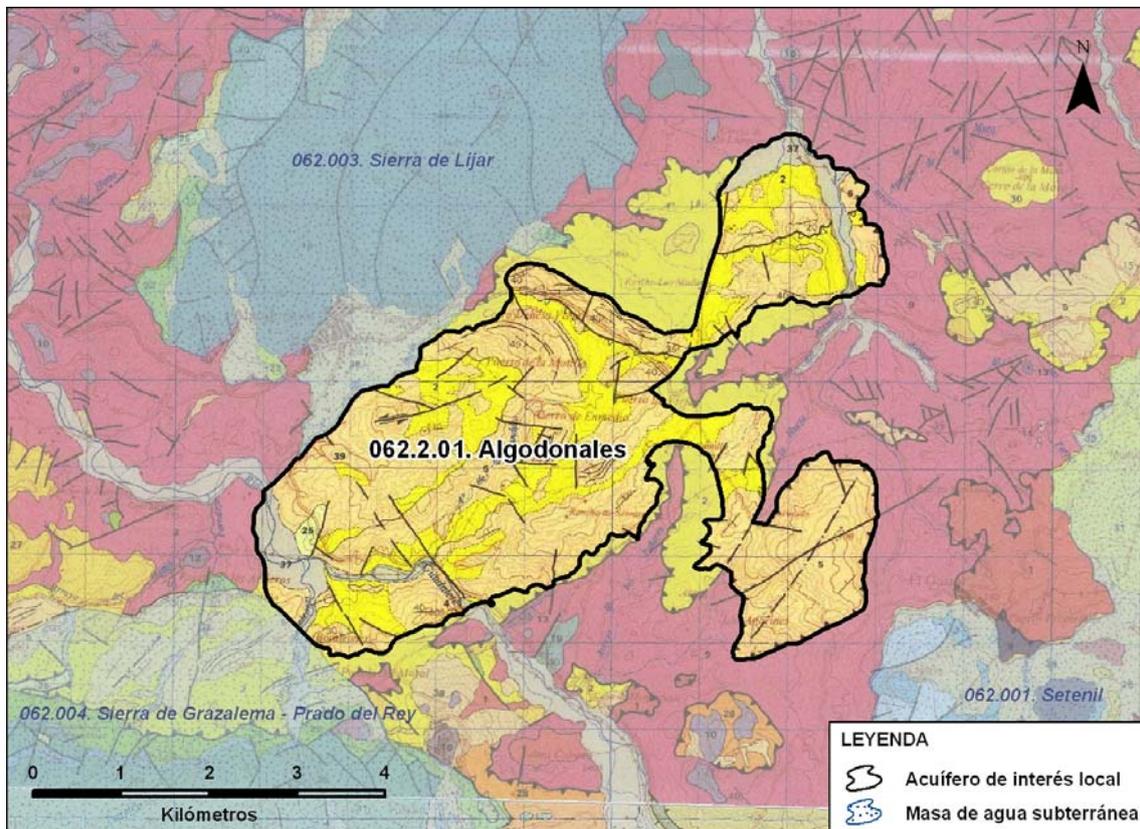


Figura 3.3.2. Acuífero de interés local 062.2.01. Algodonales

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.2.01	ALGODONALES	20,16	Areniscas del Mioceno inferior (Unidad del Aljibe)	Detrítico	Porosidad intergranular/fracturación	Libre

La superficie aflorante de areniscas del Aljibe es de unos 13 km². Si se considera una precipitación media de 760 mm/año (obtenida del Modelo de Simulación Precipitación-Aportaciones SIMPA(2), elaborado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX y la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas) y un coeficiente de infiltración en las areniscas comprendido entre un 5 y un 10%, se obtiene una recarga media anual en el acuífero de 0,5 a 1 hm³/año. No obstante, la más que probable desconexión hidrogeológica de algunos de los afloramientos de areniscas que constituyen el acuífero, sumado a la presencia habitual en este tipo de materiales de numerosos puntos de descarga (manantiales), apuntan hacia un escaso poder de regulación de dichos recursos por parte del acuífero.

▪ **062.2.02. SIERRA DE AZNAR**

El acuífero de la Sierra de Aznar se corresponde con un pequeño afloramiento carbonatado situado al Sur de la masa de agua subterránea 062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín, constituido principalmente por calizas y dolomías jurásicas (figura 3.3.3). Sus límites se han trazado siguiendo el contacto litológico entre las formaciones carbonatadas con los materiales margosos circundantes, de menor permeabilidad.

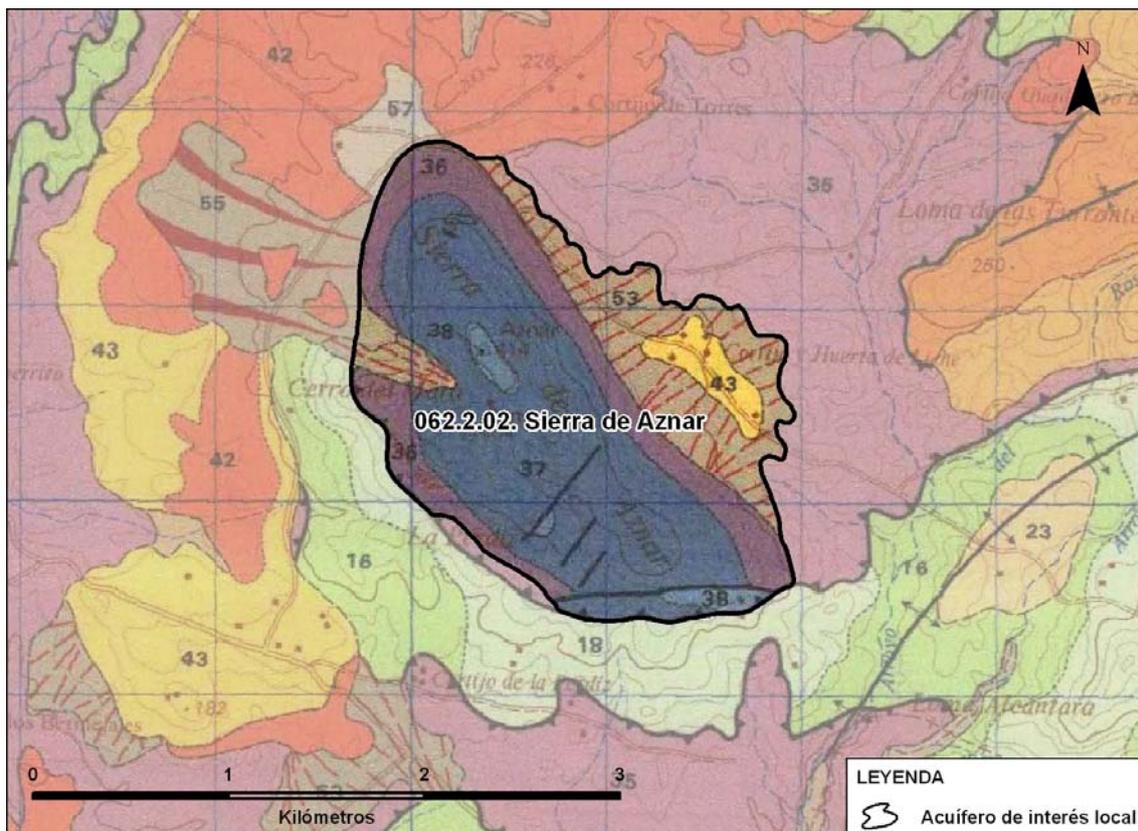


Figura 3.3.3. Acuífero de interés local 062.2.02. Sierra de Aznar

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.2.02	SIERRA DE AZNAR	3,76	Calizas y dolomías del Jurásico inferior, y carnioles del Triás	Carbonatado	Fisuración/ karstificación	Libre

Considerando una precipitación media de 830 mm/año (obtenida del Modelo SIMPA(2)), un coeficiente de infiltración del 40-45% y una superficie de material permeable aproximada de 2,8 km² (equivalente a la superficie de los afloramientos de carnioles triásicas, dolomías y calizas jurásicas), se estima una recarga media anual próxima a 1 hm³/año, que debe considerarse equivalente a los recursos medios anuales de este acuífero.

▪ **062.2.03. LA MUELA**

Se trata de un afloramiento de calcarenitas miocenas con estructura sinclinal situado al Oeste de la masa de agua subterránea 062.013. Barbate (figura 3.3.4), que constituye un acuífero limitado hidrogeológicamente por margas de baja permeabilidad del Mioceno inferior.

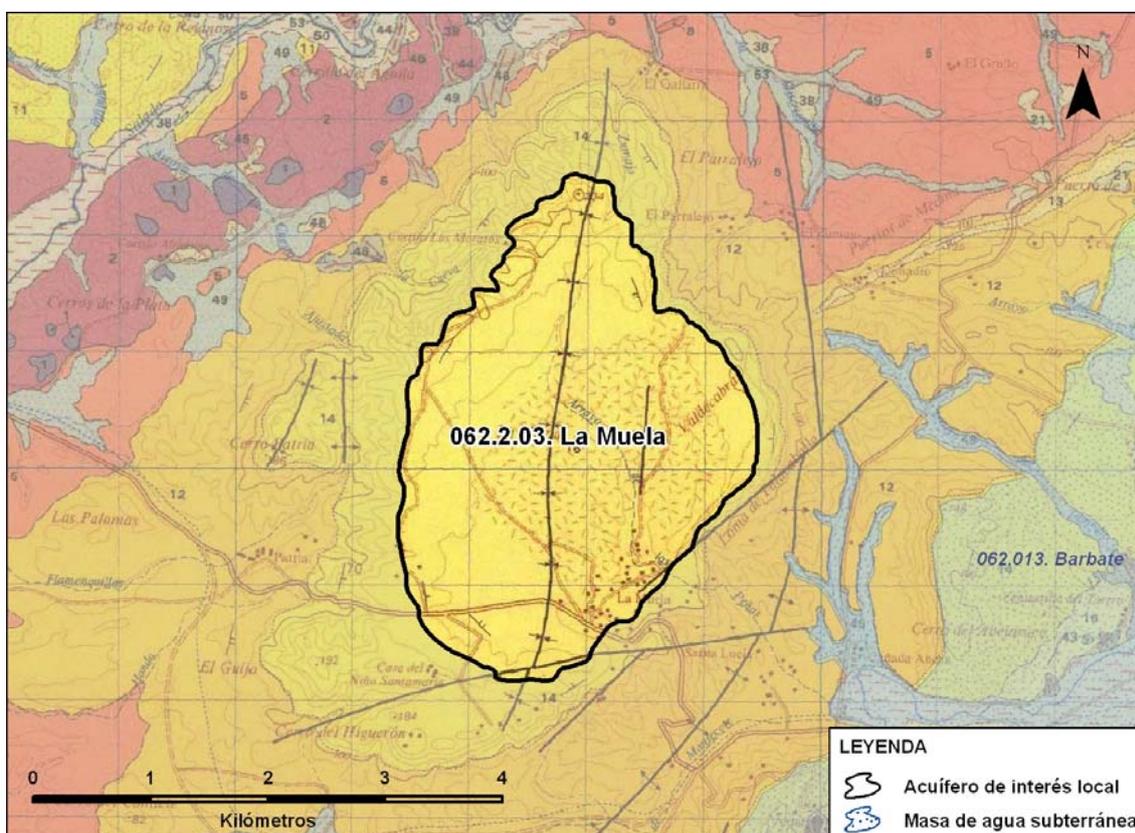


Figura 3.3.4. Acuífero de interés local 062.2.03. La Muela

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLÓGIA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.2.03	LA MUELA	8,67	Calcarenitas del Mioceno superior	Detrítico	Porosidad intergranular/fracturación	Libre

Para la estimación de la recarga media anual del acuífero se ha considerado una precipitación media de 720 mm/año (obtenida del Modelo SIMPA(2)), una superficie aflorante de calcarenitas miocenas de 8,67 km² y un coeficiente de infiltración del 15-20%. Con estas variables se ha estimado un valor de recarga comprendido entre 0,9 y 1,2 hm³/año.

A continuación se incluyen las fichas descriptivas de caracterización de los acuíferos de interés local identificados en la demarcación:



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



FICHA DESCRIPTIVA DE ACUÍFERO DE INTERÉS LOCAL

CUENCAS ATLÁNTICAS ANDALUZAS DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADELETE Y BARBATE

CÓDIGO: 062.2.01

NOMBRE: ALGODONALES

COMUNIDAD AUTÓNOMA: ANDALUCÍA

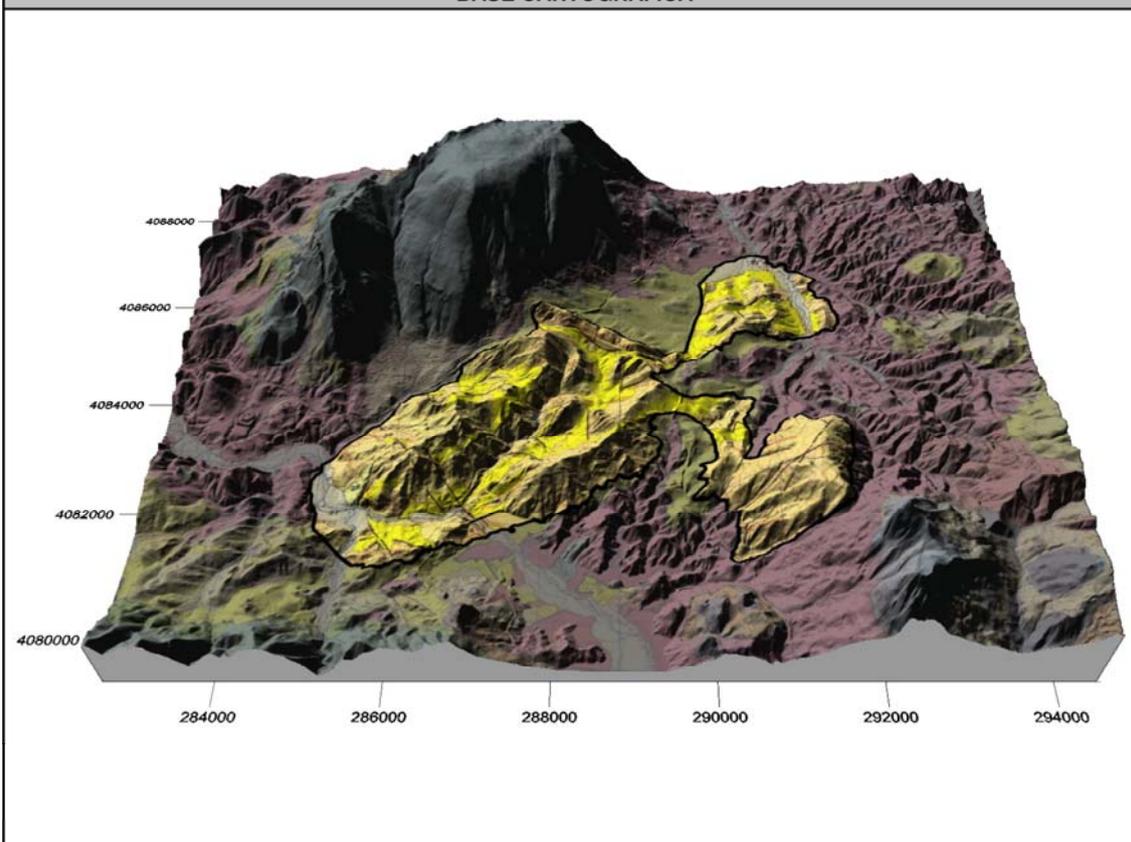
PROVINCIA: CÁDIZ

SUPERFICIE (km²): 20,16

SITUACIÓN GEOGRÁFICA: SE LOCALIZA EN EL EXTREMO NORDESTE DE LA PROVINCIA DE CÁDIZ, CERCA DEL LÍMITE CON LA DE MÁLAGA. OCUPA UNA POSICIÓN INTERMEDIA ENTRE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA 062.001. SETENIL, 062.003. SIERRA DE LÍJAR Y 062.004. SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY, Y SE ENCUENTRA RODEADA POR LAS LOCALIDADES DE ALGODONALES, ZAHARA Y EL GASTOR.



BASE CARTOGRÁFICA



CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS

LITOLOGÍA: ARENISCAS Y ALUVIONES (PERMEABLES); ARCILLAS (BAJA PERMEABILIDAD)

EDAD: CRETÁCICO SUP.-MIOCENO INF. (ARCILLAS); MIOCENO INF. (ARENISCAS); CUATERNARIO (ALUVIONES)

NATURALEZA: DETRÍTICO

FUNCIONAMIENTO: LIBRE

PERMEABILIDAD: DE BAJA A MUY ALTA

LÍMITES: LOS LÍMITES DEL ACUÍFERO COINCIDEN CON EL CONTACTO LITOLÓGICO ENTRE LAS ARENISCAS DEL ALJIBE Y LAS ARCILLAS DEL TRIÁS Y DEL CRETÁCICO-MIOCENO. ASIMISMO, DIVERSOS SECTORES DEL LÍMITE OESTE-SUROESTE COINCIDEN CON EL LÍMITE DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA LÍMITROFES CODIFICADAS COMO 062.003. SIERRA DE LÍJAR Y 062.004. SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY.



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



FICHA DESCRIPTIVA DE ACUÍFERO DE INTERÉS LOCAL

CUENCAS ATLÁNTICAS ANDALUZAS DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADELETE Y BARBATE

CÓDIGO: 062.2.02

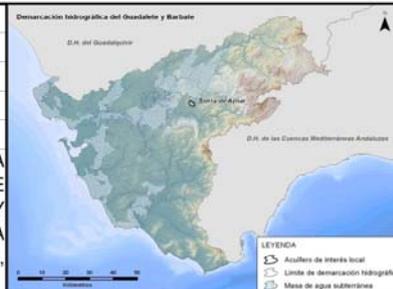
NOMBRE: SIERRA DE AZNAR

COMUNIDAD AUTÓNOMA: ANDALUCÍA

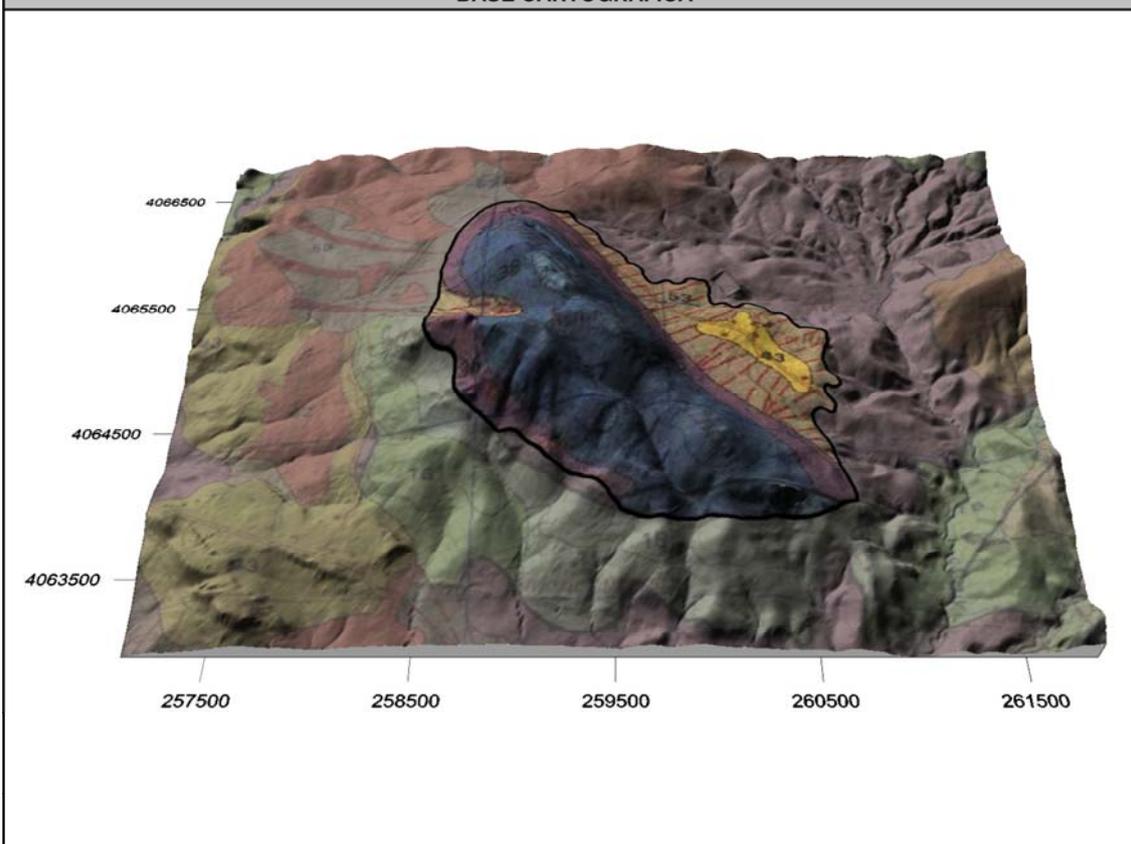
PROVINCIA: CÁDIZ

SUPERFICIE (km²): 3,76

SITUACIÓN GEOGRÁFICA: LA SIERRA DE AZNAR SE LOCALIZA EN LA ZONA CENTRAL DE LA PROVINCIA DE CÁDIZ, AL NORTE DEL EMBALSE DE GUADALCACÍN, ENTRE LAS LOCALIDADES DE ARCOS DE LA FRONTERA Y ALGAR. EN LAS PROXIMIDADES SE LOCALIZAN LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA 062.005. ARCOS DE LA FTRA.-VILLAMARTÍN (AL NORTE), 062.006. S. VALLEJA (AL OESTE) Y 062.007. S. DE LAS CABRAS (AL SUR).



BASE CARTOGRÁFICA



CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS

LITOLOGÍA: CALIZAS, DOLOMIAS, CARNIOLAS, CALCARENITAS Y COLUVIONES

EDAD: TRIÁSICO (CARNIOLAS), JURÁSICO INFERIOR (CALIZAS Y DOLOMIAS), MIOCENO SUPERIOR (CALCARENITAS) Y CUATERNARIO (COLUVIONES)

NATURALEZA: CARBONATADO (LOCALMENTE DETRÍTICO)

FUNCIONAMIENTO: LIBRE

PERMEABILIDAD: ALTA

LÍMITES: TODOS SUS LÍMITES CORRESPONDEN AL CONTACTO LITOLÓGICO EN SUPERFICIE ENTRE LOS MATERIALES PERMEABLES QUE CONSTITUYEN EL ACUÍFERO Y LOS MATERIALES ARCILLO-MARGOSOS DE BAJA PERMEABILIDAD QUE LOS CIRCUDAN.

FICHA DESCRIPTIVA DE ACUÍFERO DE INTERÉS LOCAL

CUENCAS ATLÁNTICAS ANDALUZAS DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADELETE Y BARBATE

CÓDIGO: 062.2.03

NOMBRE: LA MUELA

COMUNIDAD AUTÓNOMA: ANDALUCÍA

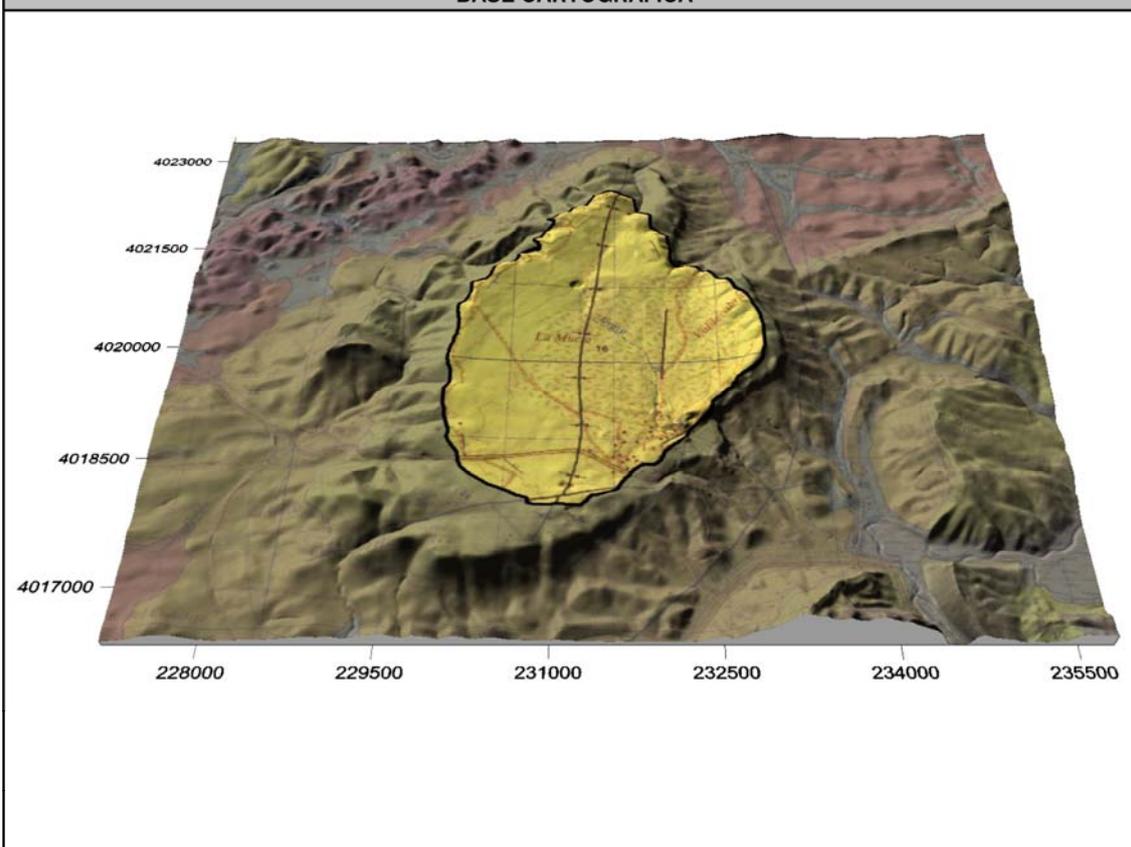
PROVINCIA: CÁDIZ

SUPERFICIE (km²): 8,67

SITUACIÓN GEOGRÁFICA: SE LOCALIZA EN EL BORDE SUROESTE DE LA PROVINCIA DE CÁDIZ, A UNOS 7,5 KM DE LA COSTA ATLÁNTICA Y MUY CERCA DE LA LOCALIDAD DE VEJER DE LA FRONTERA. OCUPA UNA POSICIÓN INTERMEDIA ENTRE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA 062.012. CONIL DE LA FRONTERA Y 062.013. BARBATE.



BASE CARTOGRÁFICA



CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS

LITOLOGÍA: CALCARENITAS BIOCLÁSTICAS

EDAD: MIOCENO SUPERIOR

NATURALEZA: DETRÍTICO

FUNCIONAMIENTO: LIBRE

PERMEABILIDAD: MEDIA

LÍMITES: TODOS SUS LÍMITES CORRESPONDEN AL CONTACTO LITOLÓGICO DISCORDANTE ENTRE LAS CALCARENITAS QUE CONSTITUYEN EL ACUÍFERO Y LAS MARGAS INFRAYACENTES DEL MIOCENO.



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



JUNTA DE ANDALUCÍA
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE

4. REVISIÓN Y ADECUACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE LAS AGUAS A LOS MODELOS CONCEPTUALES DEDUCIDOS PARA LOS ACUÍFEROS QUE CONSTITUYEN LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA

4.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo que se persigue con el establecimiento de los programas de seguimiento del estado de las aguas es, tal y como se recoge en la Directiva Marco del Agua (DMA), *obtener una visión general, coherente y completa del estado de las aguas en cada demarcación hidrográfica*. Este objetivo general puede traducirse, a su vez, en otros más concretos como son: realizar un seguimiento del estado de las aguas superficiales y subterráneas, comprobar el cumplimiento de los objetivos medioambientales incluidos en la DMA y verificar el efecto de los programas de medida establecidos en virtud del artículo 11.

Asimismo, de acuerdo con los plazos establecidos en la DMA, los programas de seguimiento deberán estar operativos a partir de diciembre de 2006; (seis años después de su entrada en vigor).

La Comisión Europea, en el marco de la estrategia común de implementación de la DMA (*Common Implementation Strategy*), ha elaborado hasta el momento dos guías relativas al diseño de los programas de seguimiento. La primera de estas guías, publicada en 2003 y titulada *Monitoring under the Water Framework Directive* (documento Guía nº 7), asiste a los Estados miembros en el diseño de las redes de control en aguas superficiales continentales, aguas de transición, aguas costeras y aguas subterráneas, de acuerdo con los criterios establecidos en el anexo V de la DMA.

La entrada en vigor, en enero de 2007, de la Directiva 2006/118/CE, supuso la necesidad de aclarar algunos aspectos relacionados con los programas de seguimiento en aguas subterráneas, tales como el establecimiento de las redes de control del estado químico y cuantitativo o el seguimiento requerido en las zonas declaradas protegidas de acuerdo con el artículo 6 de la DMA. En consecuencia, la Comisión Europea elaboró un nuevo documento guía, publicado en 2007 con el nombre *Guidance on Groundwater Monitoring* (documento Guía nº 15), específico para aguas subterráneas, que complementa al publicado en 2003.

En este capítulo se ha procedido a evaluar el grado de representatividad de las estaciones o puntos de control, incluidos en los programas de seguimiento del estado químico y estado cuantitativo, actualmente operativos en las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate. El objeto de esta revisión se centra en valorar las posibles carencias y realizar propuestas para su mejora: inclusión de nuevas estaciones de seguimiento en zonas que presentan una densidad de puntos insuficiente, (con especial atención a aquellas masas de agua subterránea en las que no existe ninguno), eliminación o sustitución de aquellos que no se consideren representativos, evaluación de la idoneidad del programa de control en el que se incluye cada punto (vigilancia, operativo o zonas protegidas para abastecimiento).

4.2. BASE NORMATIVA

4.2.1. DIRECTIVA 2000/60/CE. DIRECTIVA MARCO DEL AGUA (DMA)



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



La Directiva 2000/60/CE establece, por medio de su artículo 8, la necesidad de llevar a cabo un control del estado de las aguas superficiales, subterráneas y zonas protegidas, a través de la implantación de programas de seguimiento del estado de las aguas. Por lo que respecta a las aguas subterráneas los programas deben incluir el seguimiento del estado químico y estado cuantitativo, en consonancia con los principales objetivos medioambientales contemplados para estas aguas (buen estado químico y buen estado cuantitativo).

Por lo que respecta a las zonas protegidas, los programas de seguimiento deben completarse *con las especificaciones contenidas en la norma comunitaria en virtud de la cual se haya establecido cada zona protegida*.

Análogamente, en el artículo 7 de la Directiva, se insta a realizar un seguimiento de aquellas masas de agua que proporcionen un promedio de más de 100 m³ diarios de agua destinada al consumo humano.

La descripción de las características de los programas de seguimiento se recoge en el anexo V de la Directiva. Así, el apartado 2.2 está dedicado al seguimiento del estado cuantitativo de las aguas subterráneas, y en él se dan algunas indicaciones sobre la densidad y frecuencia mínima que debe presentar la red de control. El seguimiento del estado químico, por su parte, se trata en el apartado 2.4 del mismo anexo, describiendo los criterios a adoptar para la correcta selección de las estaciones de seguimiento (o puntos de control), así como los parámetros a controlar y frecuencia mínima de muestreo.

Por lo que respecta al establecimiento de los programas de control, la Directiva presta especial atención a las masas de agua en riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados por la Directiva 2000/60/CE en su artículo 4, así como a las masas de agua transfronterizas.

4.2.2. DIRECTIVA 2006/118/CE. DIRECTIVA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (DAS)

La única referencia a los programas de seguimiento incluida en la Directiva de Aguas Subterráneas se recoge en el punto 3 del artículo 4, en el que se solicita que la elección de los puntos de control de las aguas subterráneas se haga de acuerdo con los requisitos establecidos en el anexo V de la DMA.

4.2.3. LEY DE AGUAS

En el artículo 24 del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, se establece, dentro de las atribuciones y cometidos asignados a los organismos de cuenca:

(c) La realización de aforos, estudios de hidrología, información sobre crecidas y control de la calidad de las aguas.

El artículo 92 ter de la misma norma, añadido al texto original por medio del artículo 129 de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social (la cual modifica la Ley de Aguas con objeto de incorporar al ordenamiento jurídico español la Directiva 2000/60/CE), establece en su punto dos que:

(2) En cada demarcación hidrográfica se establecerán programas de seguimiento del estado de las aguas que permitan obtener una visión general coherente y completa de dicho estado.

No obstante, el requisito de establecer programas de seguimiento de acuerdo con las exigencias de la DMA queda recogido en su artículo 42, modificado por la mencionada Ley 62/2003, de 30 de diciembre. En dicho artículo se enumeran los contenidos obligatorios de los planes hidrológicos de cuenca, entre los cuales se contemplan:

(d) Las redes de control establecidas para el seguimiento del estado de las aguas superficiales, de las aguas subterráneas y de las zonas protegidas y los resultados de este control.

4.2.4. REGLAMENTO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

El Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica (modificado parcialmente por el Real Decreto 1161/2010, de 17 de septiembre), fija en su artículo 4 el contenido obligatorio de los planes hidrológicos de cuenca, los cuales deben incluir (letra d) las redes de control establecidas para el seguimiento del estado de las aguas superficiales, de las aguas subterráneas y de las zonas protegidas y los resultados de este control, tal como se establece en la Ley 62/2003, de 30 de diciembre.

Asimismo, el artículo 34 establece la exigencia de que los planes hidrológicos de cuenca incluyan los programas de control de las aguas establecidos en la demarcación, al tiempo que define tres tipos de redes de control: de vigilancia, operativo y de investigación.

4.2.5. INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

La Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica, requiere que los planes hidrológicos de cuenca incluyan información acerca de los programas de control establecidos en las aguas superficiales y subterráneas de cada demarcación.

4.2.6. REAL DECRETO 1514/2009

El Real Decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro, incorpora al ordenamiento jurídico español la Directiva 2006/118/CE, así como los apartados 2.3, 2.4 y 2.5 del anexo V de la DMA. En el anexo III, parte B, de este Real Decreto, se establece la exigencia de implantar programas de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas, dentro de los cuales se distingue un control de vigilancia y un control operativo.

4.2.7. LEY DE AGUAS PARA ANDALUCÍA

Recientemente aprobada mediante la Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas para Andalucía, esta norma tiene por objeto regular el ejercicio de las competencias de la Comunidad Autónoma y de las entidades locales andaluzas en materia de agua, con el fin de lograr su protección y uso sostenible. La única referencia a los programas de seguimiento incluida en esta Ley se cita en su artículo 24, relativo a los planes hidrológicos de demarcación, en el que se establece (apartado 2) que:

Las redes de control deberán ser suficientes para disponer de la información necesaria que permita valorar si las medidas adoptadas son suficientes para los fines establecidos; (esto es, alcanzar el buen estado de las aguas superficiales y subterráneas).

4.3. RED DE CONTROL ACTUAL EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALETE Y BARBATE

En este apartado se describen las redes de control del estado químico y cuantitativo de las aguas subterráneas, actualmente en funcionamiento en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

4.3.1. ESTADO QUÍMICO

La red de control del estado químico de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, está constituida por 81 estaciones de seguimiento, distribuidas del siguiente modo:

- ✓ Programa de control de vigilancia: 20 puntos
- ✓ Programa de control de vigilancia y operativo: 33 puntos
- ✓ Programa de control de vigilancia y de zonas protegidas para abastecimiento: 22 puntos
- ✓ Programa de control de zonas protegidas para abastecimiento: 6 puntos

En la tabla 4.3.1.1 se presenta un listado en el que se sintetizan las principales características de los 81 puntos de control, tal y como queda recogido en el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalete y Barbate (2011). En esta tabla se incluye el código identificativo de cada estación, sus coordenadas UTM, programa de control al que pertenece y la masa de agua subterránea en la que se localiza (o de la que es representativa). Asimismo, en la figura 4.3.1.1 se muestra un mapa de la demarcación con la localización de las estaciones de seguimiento.

ESTACIÓN DE SEGUIMIENTO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA		COORDENADAS		PROGRAMA CONTROL*
	Código	Nombre	UTM X	UTM Y	
AA00010117	062.001	Setenil	313193	4079980	V
AA00010000	062.001	Setenil	307410	4085589	ZP+V
AA00010001	062.001	Setenil	303192	4080809	ZP+V
AA00010002	062.001	Setenil	294919	4077113	ZP+V
AA00010123	Fuera de masa (representativo de 062.002. Sª de Líbar)		290450	4065350	V
AA00010010	062.003	Sierra de Lijar	288696	4090283	ZP+V
AA00010011	Fuera de masa (representativo de 062.003. Sª de Lijar)		285247	4084367	ZP+V
AA00010003	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	281630	4062509	ZP+V
AA00010004	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	280482	4072233	ZP+V
AA00010005	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	287852	4071088	ZP+V
AA00010007	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	283686	4063974	ZP+V
AA00010008	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	279683	4075597	ZP+V
AA00010009	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	276622	4069667	ZP+V
AA00010118	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	288400	4076657	V
AA00010070	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	268560	4077731	O+V

ESTACIÓN DE SEGUIMIENTO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA		COORDENADAS		PROGRAMA CONTROL*
	Código	Nombre	UTM X	UTM Y	
AA00010006	Fuera de masa (representativo de 062.004)		288187	4064657	ZP+V
AA00010119	Fuera de masa (representativo de 062.004)		275850	4064950	V
AA00010069	062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	264527	4077098	O+V
AA00010012	062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	267138	4081238	ZP+V
AA00010014	062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	255259	4079861	ZP+V
AA00010015	062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	253141	4072833	ZP+V
AA00010072	062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	251800	4077770	O+V
AA00010121	062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	253200	4074000	V
AA00010073	062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	254091	4079990	O+V
AA00010016	062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	256818	4071196	ZP+V
AA00010013	Fuera de masa (representativo de 062.005)		275539	4089539	ZP+V
AA00010071	Fuera de masa (representativo de 062.005)		259816	4082052	O+V
AA00010120	Fuera de masa (representativo de 062.005)		251624	4078183	V
AA00010122	062.006	Sierra Valleja	254988	4069422	V
AA00010125	062.007	Sierra de las Cabras	260750	4058150	V
AA00010126	062.007	Sierra de las Cabras	254040	4057660	V
AA00010127	062.007	Sierra de las Cabras	259190	4056540	V
AA00010043	Fuera de masa (representativo de 062.007)		260962	4058232	ZP
AA00010077	062.008	Aluvial del Guadalete	221602	4060884	O+V
AA00010078	062.008	Aluvial del Guadalete	246911	4061518	O+V
AA00010079	062.008	Aluvial del Guadalete	247321	4059557	O+V
AA00010047	062.009	Jerez de la Frontera	229237	4067976	O+V
AA00010048	062.009	Jerez de la Frontera	227811	4072725	O+V
AA00010049	062.009	Jerez de la Frontera	222599	4066468	O+V
AA00010096	062.009	Jerez de la Frontera	225278	4068926	V
AA00010074	062.009	Jerez de la Frontera	226700	4066403	O+V
AA00010095	Fuera de masa (representativo de 062.009)		218715	4065269	V
AA00010050	Fuera de masa (representativo de 062.009)		223093	4061763	O+V
AA00010097	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta. María	200890	4074450	V
AA00010051	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta. María	195850	4071597	O+V
AA00010098	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta. María	195993	4069168	V



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



ESTACIÓN DE SEGUIMIENTO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA		COORDENADAS		PROGRAMA CONTROL*
	Código	Nombre	UTM X	UTM Y	
AA00010052	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta. María	198693	4072122	O+V
AA00010053	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta. María	196082	4065137	O+V
AA00010054	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta. María	208949	4055987	O+V
AA00010099	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta. María	214142	4058975	V
AA00010075	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta. María	197040	4073053	O+V
AA00010076	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta. María	196003	4064358	O+V
AA00010080	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta. María	208607	4054078	O+V
AA00010124	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta. María	216496	4058954	V
AA00010055	062.011	Puerto Real	217903	4046163	O+V
AA00010057	062.011	Puerto Real	219074	4036607	O+V
AA00010081	062.011	Puerto Real	220550	4043227	O+V
AA00010056	062.012	Conil de la Frontera	217226	4027847	O+V
AA00010100	062.012	Conil de la Frontera	217837	4032425	V
AA00010101	062.012	Conil de la Frontera	223888	4024162	V
AA00010082	062.012	Conil de la Frontera	221978	4019560	O+V
AA00010017	062.012	Conil de la Frontera	218346	4031326	ZP+V
AA00010058	062.013	Barbate	224067	4014578	O+V
AA00010060	062.013	Barbate	229051	4009040	O+V
AA00010061	062.013	Barbate	236050	4011014	O+V
AA00010084	062.013	Barbate	240027	4022364	O+V
AA00010018	062.013	Barbate	235263	4012356	ZP+V
AA00010128	062.013	Barbate	238754	4018152	V
AA00010086	062.013	Barbate	236900	4015150	O+V
AA00010020	062.013	Barbate	241598	4021125	ZP+V
AA00010021	062.013	Barbate	234585	4015146	ZP+V
AA00010059	Fuera de masa (representativo de 062.013)		226869	4014644	O+V
AA00010083	Fuera de masa (representativo de 062.013)		232037	4018388	O+V
AA00010085	062.014	Benalup	242700	4027850	O+V
AA00010129	062.014	Benalup	244769	4024861	V
AA00010019	062.014	Benalup	246194	4026321	ZP+V
AA00010041	Fuera de masa (captación de agua subterránea destinada al		284954	4089872	ZP



ESTACIÓN DE SEGUIMIENTO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA		COORDENADAS		PROGRAMA CONTROL*
	Código	Nombre	UTM X	UTM Y	
	consumo humano)				
AA00010042	Fuera de masa (captación de agua subterránea destinada al consumo humano)		303272	4096051	ZP
AA00010044	Fuera de masa (captación de agua subterránea destinada al consumo humano)		272149	3996339	ZP
AA00010045	Fuera de masa (captación de agua subterránea destinada al consumo humano)		267507	3998364	ZP
AA00010046	Fuera de masa (captación de agua subterránea destinada al consumo humano)		251034	4000153	ZP

* V: Vigilancia; O: Operativo; ZP: Zona protegida para abastecimiento

Tabla 4.3.1.1. Puntos de control que constituyen la red de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

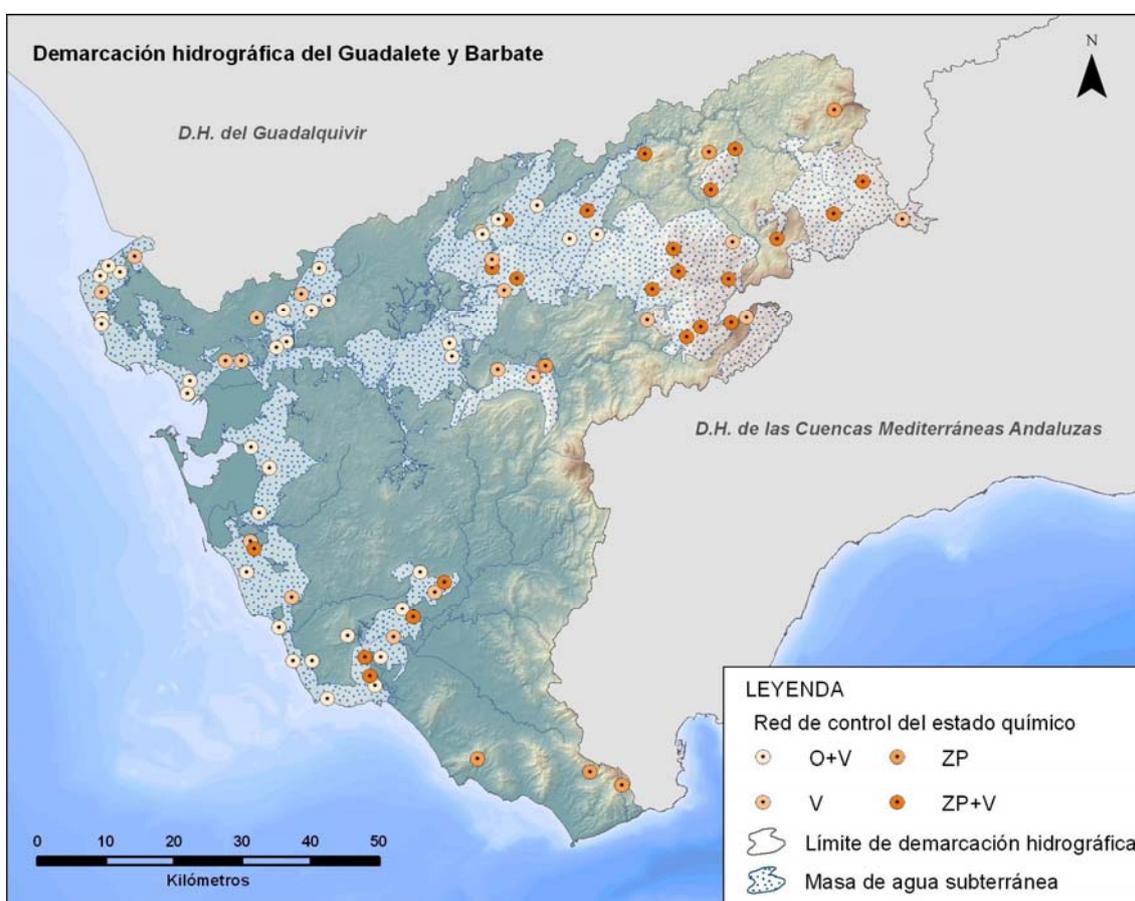


Figura 4.3.1.1. Puntos de control que constituyen la red de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

4.3.2. ESTADO CUANTITATIVO

La red de control o seguimiento del estado cuantitativo de las aguas subterráneas identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate está constituida por 63 estaciones de seguimiento, de las cuales, 52 están incluidas en la red de control piezométrico y las 11 restantes, en la red de control hidrométrico.

En la tabla 4.3.2.1 se presenta un listado con los 63 puntos de control actualmente operativos en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate (61 en el ámbito de las masas de agua subterránea y 2 incluidos en el acuífero local de La Muela), indicando el código identificativo de cada uno de ellos, sus coordenadas UTM y la masa de agua subterránea en la que se localiza (o de la que es representativo). Asimismo, en la figura 4.3.2.1 se muestra un mapa de la demarcación con la posición de estos puntos de control.

ESTACIÓN DE SEGUIMIENTO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA		COORDENADAS		TIPO DE CONTROL
	Código	Nombre	UTM X	UTM Y	
05.63.003	062.001	Setenil	307328	4083322	Piezométrico
05.64.08H	062.003	Sierra de Líjar	286691	4084837	Hidrométrico
05.64.09H	062.003	Sierra de Líjar	285347	4084500	Hidrométrico
05.64.011	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	280884	4070904	Piezométrico
05.64.01H	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	285200	4080630	Hidrométrico
05.64.02H	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	280278	4072129	Hidrométrico
05.64.03H	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	281680	4066800	Hidrométrico
05.64.04H	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	277250	4078450	Hidrométrico
05.64.05H	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	290650	4074650	Hidrométrico
05.64.06H	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	285347	4077200	Hidrométrico
05.64.07H	062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	281586	4062493	Hidrométrico
05.54.001	062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	257443	4071215	Piezométrico
05.54.003	062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	253579	4072185	Piezométrico
05.54.004	062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	251270	4071480	Piezométrico
05.54.008	062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	254630	4080050	Piezométrico
05.54.012	062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	253290	4078280	Piezométrico
05.60.002	062.007	Sierra de las Cabras	254040	4057660	Piezométrico
05.60.007	062.007	Sierra de las Cabras	259190	4056540	Piezométrico
05.60.001	Fuera de masa (representativo de 062.007)		253260	4056760	Piezométrico
05.60.01H	Fuera de masa (representativo de 062.007)		260846	4058218	Hidrométrico
05.60.005	Fuera de masa (representativo de 062.007)		260910	4058320	Piezométrico
05.55.002	062.008	Aluvial del Guadalete	237245	4057401	Piezométrico



ESTACIÓN DE SEGUIMIENTO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA		COORDENADAS		TIPO DE CONTROL
	Código	Nombre	UTM X	UTM Y	
05.55.003	062.008	Aluvial del Guadalete	224606	4060199	Piezométrico
05.56.004	062.009	Jerez de la Frontera	229001	4073681	Piezométrico
05.56.006	062.009	Jerez de la Frontera	226400	4066851	Piezométrico
05.56.007	062.009	Jerez de la Frontera	228905	4070031	Piezométrico
05.56.008	062.009	Jerez de la Frontera	229073	4069209	Piezométrico
05.56.009	062.009	Jerez de la Frontera	223948	4064660	Piezométrico
05.57.001	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	196056	4072904	Piezométrico
05.57.003	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	197056	4070065	Piezométrico
05.57.004	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	198524	4072459	Piezométrico
05.57.005P	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	196623	4073922	Piezométrico
05.57.005S	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	196620	4073924	Piezométrico
05.57.006	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	193300	4068895	Piezométrico
05.57.007	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	194021	4067338	Piezométrico
05.57.008	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	196022	4065946	Piezométrico
05.57.009	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	197178	4061747	Piezométrico
05.57.010	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	193695	4070025	Piezométrico
05.57.012	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	195224	4067704	Piezométrico
05.58.001	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	215177	4058370	Piezométrico
05.58.002	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	214911	4058451	Piezométrico
05.58.003	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	210273	4055423	Piezométrico
05.58.004P	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	210273	4055423	Piezométrico
05.58.004S	062.010	Sanlúcar - Chipiona - Rota - Pto. de Sta María	208854	4053916	Piezométrico
05.59.001	062.011	Puerto Real	223814	4043330	Piezométrico
05.59.002	062.011	Puerto Real	220931	4042659	Piezométrico
05.59.003	062.011	Puerto Real	220138	4037219	Piezométrico
05.59.006I	062.012	Conil de la Frontera	215765	4028313	Piezométrico
05.59.006P	062.012	Conil de la Frontera	215766	4028308	Piezométrico
05.59.006S	062.012	Conil de la Frontera	215765	4028328	Piezométrico
05.59.007	062.012	Conil de la Frontera	222430	4026118	Piezométrico
05.61.005	062.013	Barbate	236785	4020227	Piezométrico
05.61.006	062.013	Barbate	238560	4018840	Piezométrico



ESTACIÓN DE SEGUIMIENTO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA		COORDENADAS		TIPO DE CONTROL
	Código	Nombre	UTM X	UTM Y	
05.61.009	062.013	Barbate	235317	4012023	Piezométrico
05.61.011P	062.013	Barbate	234714	4009177	Piezométrico
05.61.011S	062.013	Barbate	234719	4009173	Piezométrico
05.61.012P	062.013	Barbate	229533	4009168	Piezométrico
05.61.012S	062.013	Barbate	229530	4009171	Piezométrico
05.61.001	062.014	Benalup	240549	4027318	Piezométrico
05.61.003	062.014	Benalup	246853	4025963	Piezométrico
05.61.004	062.014	Benalup	241950	4024570	Piezométrico
05.61.014	Fuera de masa (Acuífero local 062.2.03 - La Muela)		232209	4018579	Piezométrico
05.61.01H	Fuera de masa (Acuífero local 062.2.03 - La Muela)		232145	4018559	Hidrométrico

Tabla 4.3.2.1. Puntos de control que constituyen la red de seguimiento del estado cuantitativo de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

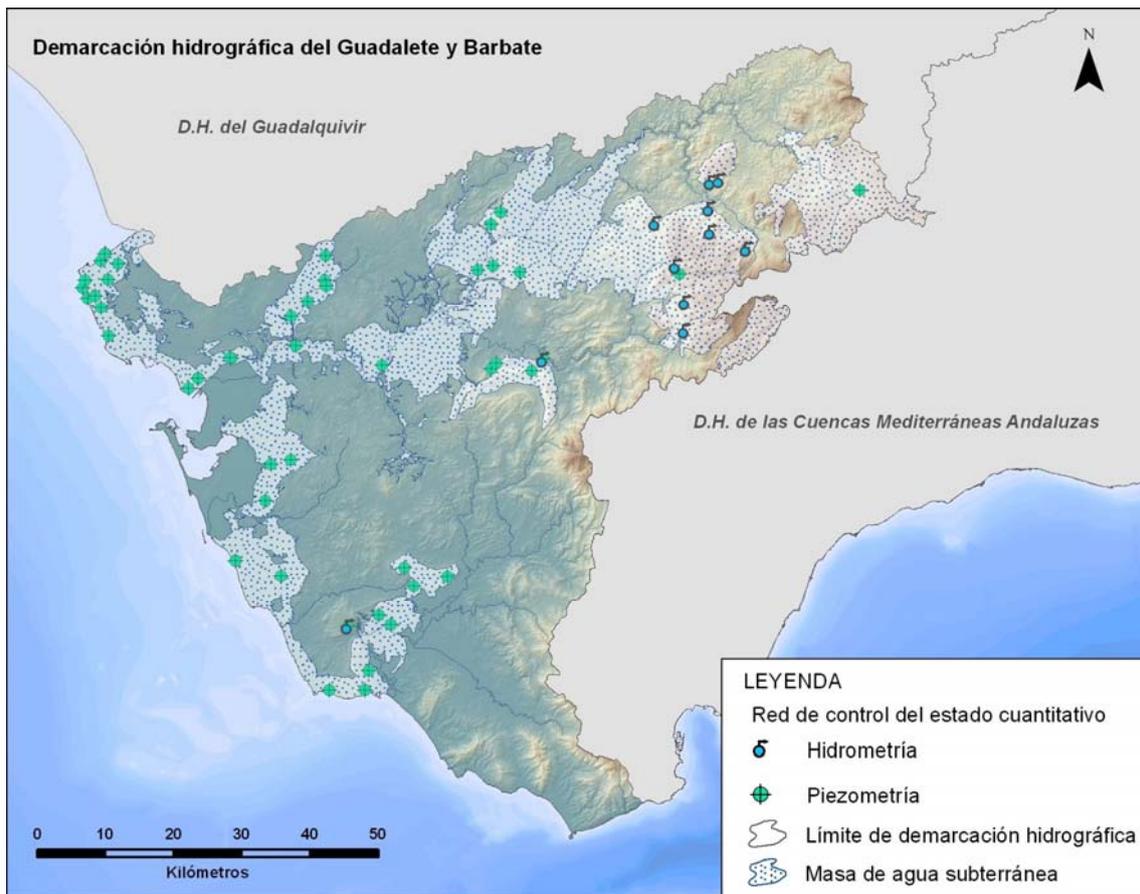


Figura 4.3.2.1. Puntos de control que constituyen la red de seguimiento del estado cuantitativo de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

4.4. ASPECTOS METODOLÓGICOS

La Directiva 2000/60/CE establece para las aguas subterráneas los siguientes tipos de programas de seguimiento:

- ✓ Programa de seguimiento del estado cuantitativo
- ✓ Programa de seguimiento del estado químico
- ✓ Programa de seguimiento para zonas protegidas
- ✓ Programa de seguimiento para evitar o limitar la entrada de contaminantes

La metodología propuesta para la revisión del programa de seguimiento del estado cuantitativo se trata en el apartado 4.4.1 del presente informe, y la correspondiente a la revisión de los tres programas de seguimiento restantes: estado químico, zonas protegidas y entrada de contaminantes, en el apartado 4.4.2.

4.4.1. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DEL ESTADO CUANTITATIVO

La red de control del estado cuantitativo de las aguas subterráneas debe basarse en las siguientes premisas:

- ✓ Modelo conceptual de funcionamiento del acuífero
- ✓ Distribución y características de las presiones

Asimismo, los parámetros a controlar durante el seguimiento del estado cuantitativo son:

- ✓ Nivel piezométrico en pozos, sondeos y piezómetros
- ✓ Caudal aforado en manantiales
- ✓ Caudal aforado en ríos y arroyos en estiaje; (esto es, cuando sus aguas proceden de la descarga de los acuíferos)
- ✓ Nivel del agua registrado en lagos y humedales, cuando éste representa la cota piezométrica del acuífero

En aquellos acuíferos desarrollados sobre materiales fracturados o bien, sobre formaciones de baja permeabilidad, las medidas del nivel piezométrico pueden no ser representativas, motivo por el cual se recomienda cuantificar el caudal de descarga de manantiales, ríos y arroyos asociados.

Las medidas del nivel piezométrico deberán reflejar el estado natural del acuífero por lo que, en medida de lo posible, se evitarán puntos de extracción o aquellos que estén afectados por bombeos próximos.

4.4.2. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DEL ESTADO QUÍMICO

En este apartado se describe la metodología empleada durante la revisión y adecuación de la red de control del estado químico de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate. Mediante esta red de control se realiza el seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas, de las zonas protegidas, así como de la posible entrada de contaminantes a los sistemas acuíferos.

La metodología seguida se ha basado en el contenido y recomendaciones recogidas en el documento Guía nº 15 de la Comisión Europea, elaborado en 2007 en el marco de la estrategia común para la implementación de la DMA. En el próximo apartado (4.4.2.1) se hace un breve resumen de los principales criterios propuestos en dicho documento guía para el correcto diseño de las redes de

control. A partir de estos criterios se ha derivado un procedimiento para la revisión y mejora de la red de control del estado químico de las aguas subterráneas, el cual se presenta en el apartado 4.4.2.2.

4.4.2.1. Recomendaciones recogidas en el documento Guía nº 15

El documento Guía nº 15, titulado *Guidance on groundwater monitoring* (Guía sobre el seguimiento de las aguas subterráneas), completa el elaborado en 2003 con el nº 7, titulado *Monitoring under the Water Framework Directive* (Seguimiento en el marco de la Directiva Marco del Agua). En este último, de carácter más general, se tratan los programas de seguimiento en aguas superficiales continentales, aguas subterráneas, aguas de transición y aguas costeras. Sin embargo, el nuevo marco establecido tras la aprobación en diciembre de 2006 de la Directiva 2006/118/CE supuso la necesidad de elaborar una guía metodológica exclusiva para las aguas subterráneas, necesidad que se materializó en el documento Guía nº 15.

Las redes de control en aguas subterráneas tienen que diseñarse sobre la base de:

- ✓ El modelo conceptual de funcionamiento de cada acuífero
- ✓ El resultado de la caracterización inicial de las masas de agua subterránea y, en su caso,
- ✓ El resultado de la evaluación del estado químico

El número de puntos de control necesarios depende de la dificultad para evaluar el estado químico y la existencia de tendencias significativas al aumento de la concentración de algún contaminante; cuanto mayor sea esta dificultad, mayor será el número de puntos necesarios.

A la hora de diseñar la red de control del estado químico en aguas subterráneas hay que tener en cuenta la distribución de las presiones significativas y de la vulnerabilidad.

En la medida de lo posible, los diferentes programas de seguimiento deberán estar integrados entre sí, es decir, que un mismo punto de control esté incluido en diferentes programas: estado químico y cuantitativo (un manantial, por ejemplo), aguas subterráneas y superficiales (zonas de cabecera de ríos alimentados por la descarga de acuíferos), etc.

El programa de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas debe estar integrado por dos redes de control:

- ✓ Red de control de vigilancia
- ✓ Red de control operativo

La red de control de vigilancia debe establecerse en las masas de agua subterránea definidas tanto *en riesgo* como *sin riesgo*.

La red de control operativo debe establecerse únicamente en las masas de agua subterránea definidas *en riesgo*. A diferencia del control de vigilancia, que tiene un carácter más general, la red de control operativo está enfocada a evaluar los riesgos específicos identificados en cada masa de agua subterránea para alcanzar los objetivos medioambientales de la DMA.

En principio, el control operativo debe realizarse hasta que la masa de agua subterránea pase a tener un buen estado o deje de estar *en riesgo*, y se demuestre la inversión de las tendencias de contaminantes.

El documento guía recomienda específicamente como puntos de control más adecuados para llevar a cabo el seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas, los manantiales y las grandes captaciones de agua, puesto que ambos son representativos de un mayor volumen de acuífero. En

acuíferos kársticos o en aquellos desarrollados por fracturación superficial, se recomienda preferentemente el uso de manantiales.

Es necesario establecer puntos de control en las zonas protegidas para la captación de agua potable con el fin de comprobar el cumplimiento de los objetivos establecidos en el artículo 7 de la DMA; esto es, que las aguas captadas cumplan, una vez tratadas, los requisitos de las directivas 80/778/CEE y 98/83/CE, y que el nivel del tratamiento necesario para cumplir dichos requisitos se reduzca en lo posible. Además, ese mismo artículo requiere el seguimiento de las masas de agua que proporcionan un promedio de más de 100 m³ diarios de agua destinada al consumo humano.

Por lo que respecta al programa de seguimiento para evitar o limitar la entrada de contaminantes en las aguas subterráneas, se trata de puntos de control adicionales orientados a evaluar la contaminación procedente de fuentes puntuales -en contraposición a las redes de control de vigilancia y operativo, que están enfocadas a la masa de agua subterránea en su conjunto-.

La Guía incluye algunas recomendaciones respecto a la elección de los puntos para llevar a cabo el control del estado químico de las aguas subterráneas:

- ✓ Los sondeos utilizados para la captación de agua potable son una buena opción puesto que en ellos se bombea agua con frecuencia, existe cierta dinámica de aguas y los parámetros hidráulicos no se encuentran alterados. Por este motivo, estas captaciones no necesitan ser purgadas antes de tomar una muestra de agua representativa.
- ✓ Los pozos son captaciones generalmente someras y menos recomendables para el muestreo, ya que son difíciles de purgar, sus recursos pueden ser contaminados fácilmente (vertidos superficiales, fertilizantes, etc.) y con frecuencia no son suficientemente penetrativos en la formación acuífera captada.
- ✓ Los manantiales son muy aconsejables, sobre todo en acuíferos kársticos o fisurados, en los que los sondeos suelen ser poco representativos. Se seleccionarán, preferiblemente, aquellos de mayor caudal puesto que son representativos de un mayor volumen acuífero.
- ✓ En aquellos acuíferos en los que existan variaciones significativas de calidad en la vertical (acuíferos multicapa, etc.), será necesario el muestreo de agua procedente de cada uno de los niveles acuíferos identificados.

4.4.2.2. Criterios utilizados durante los trabajos de revisión de la red de seguimiento del estado químico

A continuación se enumeran los criterios utilizados durante la revisión de la red de seguimiento del estado químico de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate:

1. Número mínimo de puntos de control por masa de agua: la red de seguimiento se ha diseñado de modo que cada masa de agua subterránea disponga, al menos, de un punto de control.
2. Calificación de la masa de agua respecto al riesgo y al estado químico: en aquellas masas de agua subterránea definidas *en riesgo* -respecto a su estado químico- o en mal estado químico, se ha incluido al menos un punto perteneciente a la red de control operativo.
3. Distribución de las presiones significativas: si en una masa de agua subterránea se han identificado determinados sectores con elevada concentración de presiones significativas, se ha procurado que estos sectores queden cubiertos por algún punto de la red de control.

4. Zonas protegidas:

- a. *Aguas subterráneas utilizadas para la captación de agua potable:* en aquellas masas de agua subterránea en las que se ha considerado necesario ampliar la red de control, se ha propuesto de manera preferente la inclusión de captaciones de agua subterránea destinadas al consumo humano.
- b. *Humedales y masas de agua superficial:* cuando en el ámbito de una masa de agua subterránea se han identificado humedales o masas de agua superficial dependientes de las aguas subterráneas, se ha procurado que la red de control cubra la zona de alimentación de dichos humedales y masas de agua superficial.
- c. *Zonas vulnerables y zonas sensibles:* en aquellas masas de agua subterránea (o sectores dentro la masa) incluidas en el catálogo de zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrícola o en zonas sensibles a nutrientes (reguladas por las directivas 91/676/CEE y 91/271/CEE, respectivamente), se ha procurado que al menos uno de los puntos de la red de control se localice en el interior de estas áreas.

5. Integración de programas de seguimiento: se ha tratado de integrar, en la medida de lo posible, las redes de control del estado químico y estado cuantitativo de las aguas subterráneas mediante la elección de determinadas captaciones -manantiales- sobre las que poder realizar ambos controles.

6. Permeabilidad de los materiales: durante los trabajos de diseño y revisión de la red de control se ha tenido en cuenta la distribución de las formaciones permeables dentro de la masa de agua subterránea.

7. Red de control histórica: la propuesta de inclusión de nuevos puntos de control se ha apoyado sobre la base de la red de control histórica; es decir, preferentemente se han propuesto aquellos puntos de control históricos (no operativos), que cuentan con un registro de datos de calidad previo.

A partir de estos criterios se ha elaborado, para cada masa de agua subterránea, una tabla sintética como la que se presenta a continuación:

RED DE CONTROL ACTUAL					ESTADO QUÍMICO 2010	ZONAS PROTEGIDAS			MASUP. O HUMEDALES ASOCIADOS
Nº total puntos	Programa					Aguas consumo humano	Zonas Vulnerables	Zonas Sensibles	
	V	V+O	ZP+V	ZP					

En ella se indica el número total de estaciones de seguimiento que constituyen la red de control actualmente vigente/operativa, su distribución dentro de los programas de vigilancia, operativo y zonas protegidas para abastecimiento (V, O y ZP, respectivamente), el resultado de la evaluación del estado químico de la masa de agua y la existencia o no dentro de la masa de zonas protegidas (zonas vulnerables o zonas sensibles) o bien, de masas de agua superficial o humedales dependientes de las aguas subterráneas.

Del mismo modo, las propuestas de mejora de la red de control para cada masa de agua subterránea también se han realizado mediante una tabla sintética como la que se adjunta a continuación:

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO			MOTIVOS	PRIORITARIO
		NOMBRE/CÓDIGO	COORD. UTM			
			X	Y		
1.						
2.						
.....						

Asimismo, cada propuesta va acompañada de una indicación del sector o área de la masa de agua en la que aplica; en su caso, de los puntos de control históricos que se proponen (identificados por su código/nombre y coordenadas UTM), del programa de seguimiento al que deben ser asignados y de los motivos que justifican dicha propuesta. Finalmente se indica, para cada propuesta realizada, si se considera prioritaria o no para el cumplimiento de las exigencias o requerimientos recogidos en la Directiva Marco del Agua y Directiva de Aguas Subterráneas.

En cualquier caso, los puntos de control propuestos se corresponden con alguno de los siguientes tipos:

- ✓ Manantiales
- ✓ Puntos de control de la red de seguimiento del estado químico actualmente operativa en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, codificados como AA000XXXXX, (por ejemplo AA00010001)
- ✓ Puntos pertenecientes a la red de control de calidad histórica, identificados por los códigos GVIG00XXXX (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir/IGME) o CAXXXXXXXX (Cuenca Atlántica Andaluza)
- ✓ Puntos de control de la red de seguimiento del estado químico de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, cuyos códigos comienzan por P.06. ó C.06; (estos puntos de control se han propuesto únicamente para la masa de agua subterránea 062.002 Sierra de Líbar).

4.5. PROPUESTA DE ADECUACIÓN Y MEJORA DE LAS REDES DE CONTROL DEL ESTADO QUÍMICO Y ESTADO CUANTITATIVO DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA

4.5.1. SETENIL (062.001)

4.5.1.1. Estado químico

La masa de agua subterránea cuenta con 4 puntos de control para realizar el seguimiento de su estado químico, uno de ellos incluido en el programa de vigilancia y los tres restantes en el programa de vigilancia y zonas protegidas para abastecimiento (tabla 4.5.1.1.1).

Nº total puntos	RED DE CONTROL ACTUAL				ESTADO QUÍMICO 2010	ZONAS PROTEGIDAS			MASUP. O HUMEDALES ASOCIADOS
	Programa					Aguas consumo humano	Zonas Vulnerables	Zonas Sensibles	
	V	V+O	ZP+V	ZP					
4	1	-	3	-	No concluyente	Sí	No	No	No

Tabla 4.5.1.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Setenil (062.001)

Durante los trabajos de *Adecuación de las masas de agua subterránea de la cuenca del Guadalete-Barbate a los requerimientos de la DMA* (diciembre 2008), el estado químico de esta masa de agua se definió como *no concluyente* debido a la escasez de datos; esta calificación obligaría a establecer una red de control operativo.

La estación de control AA00010117 se encuentra muy cerca del afloramiento carbonatado de la Sierra de Carrasco. En este caso sería necesario verificar la naturaleza (pozo, sondeo, manantial) y estado del punto, ya que probablemente el agua captada proceda de la sierra y no de las calcarenitas miocenas que constituyen la masa de agua subterránea de Setenil.

Por otra parte, se propone que uno de los puntos de la red de control actual, codificado como AA00010001 y actualmente incluido en el programa de control de vigilancia y de zonas protegidas por abastecimiento (ZP+V), se cambie al programa de control operativo puesto que en este punto se han detectado concentraciones de nitratos por encima de la norma de calidad (50 mg/l). Además, se propone la inclusión de 2 nuevos puntos de control, uno de los cuales se considera prioritario (tabla 4.5.1.1.2 y figura 4.5.1).

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				MOTIVOS	PRIORITARIO
		NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		PROGRAMA		
			X	Y			
1. Cambio del programa de vigilancia al programa operativo	Al oeste de Setenil	AA00010001	303192	4080809	V+O	Masa de agua no definida en buen estado químico, y punto de control con concentraciones de nitrato superiores a 50 mg/l	Sí
2. Nuevo punto de control	Al este de Setenil	GVIG000728	308299	4083044	V+O	Zona del acuífero sin ningún punto de control	Sí
		GVIG002659	306038	4081915			
		GVIG005040	308903	4080439			
		GVIG005044	308398	4082969			
3. Nuevo punto de control	Al oeste de Alcalá del Valle	GVIG002650	304685	4089021	V+O	Zona del acuífero sin ningún punto de control	No
		GVIG002676	304071	4086750			
		GVIG002678	304957	4088619			
		GVIG005271	304776	4087521			

Tabla 4.5.1.1.2. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de la masa de agua subterránea Setenil (062.001)

4.5.1.2. Estado cuantitativo

Únicamente se dispone de un punto de control piezométrico, ubicado en la zona centro-oriental de la masa. Por este motivo se propone incluir dos puntos ubicados en los sectores delimitados en la figura 4.5.1.

En el sector norte existen varios sondeos que forman parte de la red piezométrica del IGME en los que se recomienda realizar una revisión y diagnóstico del estado actual, con objeto de evaluar su inclusión en

la red de control. El más apropiado, por su ubicación, es el punto 1543-5-0006, ya que presenta la menor cota. En el sector noroccidental no se tiene información suficiente sobre puntos de agua, por lo que se propone la construcción de un piezómetro nuevo o bien, actualizar el inventario de puntos de agua de la zona con objeto de localizar nuevos sondeos representativos del nivel freático.

ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				
	NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		TIPO	FUENTE
		X	Y		
Sector norte	1543-5-0006	306822	4086255	Sondeo	IGME
Sector noroccidental	Punto nuevo	-	-	Sondeo/Piezómetro	-

Tabla 4.5.1.2.1. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea Setenil (062.001)

4.5.2. SIERRA DE LÍBAR (062.002)

4.5.2.1. Estado químico

La masa de agua subterránea cuenta actualmente con un solo punto de control para realizar el seguimiento de su estado químico (tabla 4.5.2.1.1), si bien este punto se localiza fuera de los límites de la masa (a unos 800 m de su borde occidental). De confirmarse que dicho punto no es representativo ni de la masa de agua subterránea Sierra de Líbar (062.002) ni de la masa de agua Sierra de Grazalema-Prado del Rey (062.004, situada algo más al oeste), tal como parece deducirse de la ubicación del punto respecto a la localización de las formaciones permeables identificadas en estas masas de agua, se podría proponer su eliminación de la red de control de calidad de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate (tabla 4.5.2.1.2).

RED DE CONTROL ACTUAL					ESTADO QUÍMICO 2010	ZONAS PROTEGIDAS			MASUP. O HUMEDALES ASOCIADOS
Nº total puntos	Programa					Aguas consumo humano	Zonas Vulnerables	Zonas Sensibles	
	V	V+O	ZP+V	ZP					
1	1	-	-	-	Buen estado	No	No	No	No

Tabla 4.5.2.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Sierra de Líbar (062.002)

De acuerdo con diferentes estudios hidrogeológicos realizados en la zona durante los últimos años, es sabido que gran parte de los recursos hídricos de esta masa de agua son transferidos subterráneamente hacia la masa de agua 060.044. Sierra de Líbar, definida en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Por este motivo se propone que el seguimiento del estado químico de la masa de agua 062.002. Sierra de Líbar se realice a través de la red de seguimiento establecida para el control de la masa de agua subterránea definida en la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, codificada como 060.044 (tabla 4.5.2.1.2).

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				MOTIVOS	PRIO- RITA- RIO
		NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		PRO- GRA- MA		
			X	Y			
1. Nuevo punto de control	Borde oriental de la Sierra de Líbar	P.06.44.001-B (punto control masa de agua 060.044)	299525	4067425	V	Masa de agua sin ningún punto de control	Sí
		C.06.44.001-B (punto control masa de agua 060.044)	299050	4065700			
		Manantial de Jimera de Líbar (punto control propuesto masa de agua 060.044)	296198	4060317			
2. Eliminar punto de control	Al oeste de la masa	AA00010123	290450	4065350	-	Fuera de masa y no representativo	Sí

Tabla 4.5.2.1.2. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de la masa de agua subterránea Sierra de Líbar (062.002)

4.5.2.2. Estado cuantitativo

En la actualidad, la masa de agua subterránea 062.002. Sierra de Líbar carece de estaciones de seguimiento operativas. Asimismo, aunque históricamente se han inventariado una serie de puntos de control (pozos o sondeos), éstos no se han considerado representativos, pues probablemente capten acuíferos colgados, tal y como se deduce de la escasa profundidad a la que se localiza el nivel estático en sectores donde el espesor de la zona no saturada se estima en más de 100 metros.

Por otra parte, al igual que se recoge en el apartado 4.5.2.1, debido a la continuidad hidrogeológica que presenta el acuífero de la Sierra de Líbar se recomienda evaluar el estado cuantitativo de la masa de agua 062.002 a través del seguimiento hidrométrico de las principales surgencias identificadas en el sector oriental del acuífero (060.044). Asimismo, sería conveniente incorporar los datos piezométricos registrados en las estaciones de seguimiento localizadas en el borde sureste de la masa de agua subterránea 060.044. Sierra de Líbar (en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas).

4.5.3. SIERRA DE LÍJAR (062.003)

4.5.3.1. Estado químico

La red de control de calidad de la masa de agua subterránea está constituida por dos puntos, ambos utilizados para la captación de agua destinada al abastecimiento de las localidades de Algodonales y Coripe (tabla 4.5.3.1.1 y figura 4.5.3). Esta red de control se considera adecuada, por lo que no se recomienda ninguna modificación o mejora.

RED DE CONTROL ACTUAL					ESTADO QUÍMICO 2010	ZONAS PROTEGIDAS			MASUP. O HUMEDALES ASOCIADOS
Nº total puntos	Programa					Aguas consumo humano	Zonas Vulnerables	Zonas Sensibles	
	V	V+O	ZP+V	ZP					
2	-	-	2	-	Buen estado	Sí	No	No	No

Tabla 4.5.3.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Sierra de Líjar (062.003)

4.5.3.2. Estado cuantitativo

Se cuenta con dos manantiales como puntos de control hidrométrico, en ambos casos situados en el borde meridional de la masa de agua subterránea. Al considerarse insuficientes, se propone la inclusión del manantial codificado como 1443-2-0004, situado en el extremo noreste, el cual drena la mitad norte del acuífero carbonatado de la Sierra de Líjar. De esta forma, se considera posible controlar el estado cuantitativo global de la masa de agua.

ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				
	NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		TIPO	FUENTE
		X	Y		
-	1443-2-0004	288845	4090370	Manantial	IGME

Tabla 4.5.3.2.1. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea Sierra de Líjar (062.003)

4.5.4. SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY (062.004)

4.5.4.1. Estado químico

La red de seguimiento del estado químico de esta masa de agua subterránea está constituida por 10 puntos de control: 2 correspondientes al programa de vigilancia, 1 al programa operativo y vigilancia y 7 al programa de vigilancia y de zonas protegidas por abastecimiento (tabla 4.5.4.1.1). Dos de estos puntos de control (AA00010006 y AA00010119) se localizan fuera de los límites de la masa de agua (figura 4.5.4).

RED DE CONTROL ACTUAL					ESTADO QUÍMICO 2010	ZONAS PROTEGIDAS			MASUP. O HUMEDALES ASOCIADOS
Nº total puntos	Programa					Aguas consumo humano	Zonas Vulnerables	Zonas Sensibles	
	V	V+O	ZP+V	ZP					
10	2	1	7	-	Buen estado	Sí	No	Sí	No

Tabla 4.5.4.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Sierra de Grazalema-Prado del Rey (062.004)

El diseño de la red de control de calidad de las aguas subterráneas de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate se hizo sobre la base de una delimitación de masas de agua subterránea anterior a la actualmente vigente, elaborada en el marco del trabajo *Adecuación de las masas de agua subterránea de la cuenca del Guadalete y Barbate a los requerimientos de la Directiva 2000/60/CE (2008)*. Esta redefinición de los límites de las masas de agua subterránea posterior al diseño de la red de seguimiento ha tenido como consecuencia que algunos de los puntos de control establecidos en origen para una determinada masa de agua subterránea, pasen a estar incluidos en otra masa de agua. Esto sucede con uno de los puntos de control de la masa de agua subterránea Sierra de Grazalema-Prado del Rey (062.004), en concreto el situado en su borde occidental (AA00010070), que es además el único incluido en el programa de control operativo (figura 4.5.4). Este punto se estableció para el control del estado químico de la antigua masa de agua subterránea Llanos de Villamartín (05.53). Por otra parte, si se confirma el buen estado químico de la masa de agua Sierra de Grazalema-Prado del Rey (062.004), no sería necesaria mantener una red operativa por lo que se recomienda que dicho punto de control sea transferido al programa de vigilancia.

La mitad occidental de esta masa de agua subterránea presenta un interés hidrogeológico menor que la mitad oriental, motivo por el cual no se propone la inclusión de ningún punto de control adicional en ese sector.

Una pequeña parte del embalse de Los Hurones, declarado zona sensible, queda dentro de la poligonal que define la masa de agua subterránea Sierra de Grazalema-Prado del Rey (062.004), tal como se puede observar en la figura 4.5.4.

Las propuestas de adecuación y mejora de la red de seguimiento del estado químico para la masa de agua subterránea Sierra de Grazalema-Prado del Rey (062.004), se presentan en la tabla 4.5.4.1.2.

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO			MOTIVOS	PRIORITARIO	
		NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM				PROGRAMA
			X	Y			
1. Cambio del programa operativo al programa de vigilancia	Borde occidental de la masa	AA00010070	268560	4077731	V	Masa de agua definida en buen estado químico	Sí
2. Nuevo punto de control	Al oeste de Zahara	Manantial de Bocaleones	285319	4080634	V	Es el principal punto de descarga de la unidad Zafalgar-Labradillo	No
3. Nuevo punto de control	Al este de El Bosque	Manantial de Gorito	282017	4068635	V	Es el principal punto de descarga de la unidad de El Bosque	No
4. Nuevo punto de control	Al norte de Ubrique	Manantial del Hondón	281678	4066805	V	Es el principal punto de descarga visible de la unidad del Hondón	No

Tabla 4.5.4.1.2. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de la masa de agua subterránea Sierra de Grazalema-Prado del Rey (062.004)

4.5.4.2. Estado cuantitativo

La masa de agua subterránea cuenta con un punto de control piezométrico y 7 puntos de control hidrométrico, concentrados en la mitad oriental, donde se localizan la mayor parte de los afloramientos carbonatados.

La propuesta de mejora de la red de control del estado cuantitativo en esta masa pasa por la inclusión de, al menos, un piezómetro en la mitad oeste de la masa de agua, la cual carece de puntos en la actualidad. Concretamente, se considera de especial interés el afloramiento de calcarenitas localizado en el límite oeste (figura 4.5.4). Asimismo, según datos históricos, en dicho afloramiento existen varios sondeos/piezómetros que podrían utilizarse para tal fin; por ejemplo el punto codificado como 1344-4-0001.

ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				
	NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		TIPO	FUENTE
		X	Y		
Afloramiento de calcarenitas en el sector occidental	1344-4-0001	268002	4076409	Sondeo	AAA

Tabla 4.5.4.2.1. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea Sierra de Grazalema-Prado del Rey (062.004)

4.5.5. ARCOS DE LA FRONTERA-VILLAMARTÍN (062.005)

4.5.5.1. Estado químico

La red de seguimiento del estado químico de esta masa de agua subterránea está constituida por 11 puntos de control (tabla 4.5.5.1.1), 3 de los cuales (AA00010013, AA00010071 y AA00010120) están situados fuera de los límites actuales de la masa (figura 4.5.5). Ninguno de estos últimos guarda relación con la delimitación actual de la masa, por lo que se recomienda que sean eliminados de la red de control.

RED DE CONTROL ACTUAL					ESTADO QUÍMICO 2010	ZONAS PROTEGIDAS			MASUP. O HUMEDALES ASOCIADOS
Nº total puntos	Programa					Aguas consumo humano	Zonas Vulnerables	Zonas Sensibles	
	V	V+O	ZP+V	ZP					
11	2	4	5	-	Mal estado	Sí	No	Sí	No

Tabla 4.5.5.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Arcos de la Frontera-Villamartín (062.005)

Uno de los 3 puntos de control situados fuera de los límites de la masa de agua subterránea, codificado como AA00010013, se corresponde con el sondeo de abastecimiento de Puerto Serrano (conocido como El Almendral), el cual capta el acuífero carbonato del Cerro Picacho, situado al este de la captación. Este punto de control no debería formar parte de la red de seguimiento del estado químico de esta masa de agua, si bien se debería incluir en el programa de control de zonas protegidas por abastecimiento (programa ZP; tabla 4.5.5.1.2).

Los otros 2 puntos de control localizados fuera de los límites de la masa, codificados como AA00010071 y AA00010120 e incluidos, respectivamente, en los programas operativo y de vigilancia, deberían

eliminarse de la red de seguimiento ya que no son representativos de la masa de agua subterránea Arcos de la Frontera-Villamartín (062.005) de acuerdo con su delimitación actual (tabla 4.5.5.1.2). Asimismo, debería revisarse la representatividad de los puntos de control AA00010072 y AA00010073 puesto que ambos se emplazan en una posición marginal dentro de la masa de agua actual y además no parece que capten niveles acuíferos importantes dentro del conjunto de la masa de agua (tabla 4.5.5.1.2).

Los embalses de Bornos y Arcos de la Frontera, ambos incluidos en esta masa de agua subterránea, constituyen zonas sensibles (figura 4.5.5). La propuesta de adecuación y mejora de la red de seguimiento del estado químico de esta masa de agua subterránea se presenta en la tabla 4.5.5.1.2.

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				MOTIVOS	PRIORITARIO
		NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		PROGRAMA		
			X	Y			
1. Cambio del programa de vigilancia y zona protegida, al programa de zona protegida	Al este de Puerto Serrano	AA00010013	275539	4089539	ZP	Captación usada para abastecimiento humano, pero situada fuera de masa	Sí
2. Eliminar punto de control	Al oeste de Villamartín	AA00010071	259816	4082052	-	Situado fuera de masa y no representativo	Sí
3. Eliminar punto de control	Al oeste de Bornos	AA00010120	251624	4078183	-	Situado fuera de masa y no representativo	Sí
4. Revisar la representatividad de puntos de control	Al oeste de Bornos	AA00010072	251800	4077770	O+V	Posición marginal dentro de la masa	Sí
		AA00010073	254091	4079990	O+V		
5. Nuevo punto de control	Al este de Arcos de la Frontera	GVIG005038	262550	4070715	O+V	Zona de la masa sin cubrir por la red de control actual	No
6. Nuevo punto de control	Al oeste de Arcos de la Frontera	GVIG005140	244926	4074864	O+V	Zona de la masa sin cubrir por la red de control actual	No
7. Nuevo punto de control	Al oeste de Villamartín	GVIG004952	258862	4082541	O+V	Zona de la masa sin cubrir por la red de control actual	No
		GVIG004962	260211	4085525			
		GVIG005031	257474	4084277			
		GVIG005078	257557	4083688			

Tabla 4.5.5.1.2. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de la masa de agua subterránea Arcos de la Frontera-Villamartín (062.005)

4.5.5.2. Estado cuantitativo

La red de control del estado cuantitativo está constituida por 5 puntos de control piezométrico. Aunque no están repartidos de forma homogénea a lo largo de toda la masa, sí se ubican en las zonas de mayor interés hidrogeológico. No obstante, se propone mejorar la red de control con la inclusión de nuevos puntos de agua, con objeto de abarcar una mayor extensión de la masa de agua. La zona de mayor interés, y que actualmente permanece sin control, está constituida por los afloramientos permeables del sector noreste. En esta zona (figura 4.5.5) se localizan algunos sondeos/piezómetros históricos que podrían utilizarse como puntos de control piezométrico, por ejemplo el punto codificado como 1343-7-0006.

ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				
	NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		TIPO	FUENTE
		X	Y		
Sector noreste	1343-7-0006	267776	4080920	Sondeo	IGME

Tabla 4.5.5.2.1. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea Arcos de la Frontera-Villamartín (062.005)

4.5.6. SIERRA VALLEJA (062.006)

4.5.6.1. Estado químico

Esta masa de agua subterránea cuenta actualmente con un solo punto de control para realizar el seguimiento de su estado químico (tabla 4.5.6.1.1), situado en su borde septentrional, muy cerca del contacto con la masa de agua subterránea Arcos de la Frontera-Villamartín (062.005) (figura 4.5.6). Este punto de control capta calcarenitas del Mioceno, situadas bajo una fina cubierta de glaciares, las cuales se extienden a través de las dos masas de agua subterránea, y aunque ocupa una posición marginal dentro de la masa, se recomienda mantenerlo dentro de la red de control.

RED DE CONTROL ACTUAL					ESTADO QUÍMICO 2010	ZONAS PROTEGIDAS			MASUP. O HUMEDALES ASOCIADOS
Nº total puntos	Programa					Aguas consumo humano	Zonas Vulnerables	Zonas Sensibles	
	V	V+O	ZP+V	ZP					
1	1	-	-	-	No concluyente	No	No	No	No

Tabla 4.5.6.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Sierra Valleja (062.006)

Por otra parte, de confirmarse la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea como *no concluyente*, sería necesario definir una red de control operativo.

En esta masa de agua subterránea no se tiene constancia de la presencia de captaciones destinadas para consumo humano, ni de ningún punto de la red de control histórica.

Por tanto, se propone que el único punto de control de esta masa de agua subterránea pase a formar parte del programa de control operativo, y que se incluya un nuevo punto en el acuífero carbonatado de la Sierra Valleja, preferiblemente un manantial representativo o, en su defecto, un sondeo en el que exista dinámica de aguas (tabla 4.5.6.1.2).

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				MOTIVOS	PRIORITARIO
		NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		PROGRAMA		
			X	Y			
1. Cambio del programa de vigilancia al programa de vigilancia y operativo	Sector septentrional de la masa	AA00010122	254988	4069422	V+O	Masa de agua subterránea no definida en buen estado químico	Sí
2. Nuevo punto de control	Acuífero carbonatado de la Sierra Valleja	-	-	-	V	Es el principal acuífero de la masa de agua y no cuenta actualmente con ningún punto de control	Sí

Tabla 4.5.6.1.2. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de la masa de agua subterránea Sierra Valleja (062.006)

4.5.6.2. Estado cuantitativo

La masa de agua subterránea no dispone de puntos de control del estado cuantitativo en la actualidad. Dada la pequeña extensión de esta masa, así como la relativa escasa importancia de los materiales permeables, se propone incluir un solo punto de control. Así, la zona de mayor interés (figura 4.5.6) se localiza al norte de la masa, donde afloran glaciares del Cuaternario y calcarenitas del Mioceno. Concretamente en este sector existen varios sondeos/piezómetros históricos que podrían incluirse; por ejemplo, el codificado como 1344-5-0031.

ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				
	NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		TIPO	FUENTE
		X	Y		
Sector norte	134450031	251007	4069516	Sondeo	AAA

Tabla 4.5.6.2.1. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea Sierra Valleja (062.006)

4.5.7. SIERRA DE LAS CABRAS (062.007)

4.5.7.1. Estado químico

El seguimiento del estado químico de esta masa de agua subterránea se realiza por medio de 4 puntos de control, 3 de los cuales están incluidos en el programa de vigilancia y 1 en el programa de control de zonas protegidas por abastecimiento (tabla 4.5.7.1.1), este último situado fuera de la poligonal que define la masa de agua subterránea (figura 4.5.7).

RED DE CONTROL ACTUAL					ESTADO QUÍMICO 2010	ZONAS PROTEGIDAS			MASUP. O HUMEDALES ASOCIADOS
Nº total puntos	Programa					Aguas consumo humano	Zonas Vulnerables	Zonas Sensibles	
	V	V+O	ZP+V	ZP					
4	3	-	-	1	Buen estado	Sí	Sí	No	No

Tabla 4.5.7.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Sierra de las Cabras (062.007)

El sector occidental de esta masa de agua está incluido dentro de la zona vulnerable “Valle del Guadalete”.

El principal punto de descarga del acuífero de la Sierra de las Cabras, el manantial de El Tempul, forma parte de la red de seguimiento del estado químico de esta masa de agua, si bien dentro del programa de control de zonas protegidas por abastecimiento (ZP). Por este motivo se propone que este punto de control, que es el más representativo de los 4 que constituyen la red de seguimiento, se incluya también en el programa de control de vigilancia (tabla 4.5.7.1.2).

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				MOTIVOS	PRIORITARIO
		NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		PROGRAMA		
			X	Y			
1. Cambio del programa de zona protegida (ZP) al programa de vigilancia y zona protegida (ZP+V)	Borde septentrional de la masa	AA00010043 (Manantial de El Tempul)	260962	4058232	ZP+V	Constituye el principal punto de descarga del acuífero carbonatado	Sí

Tabla 4.5.7.1.2. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de la masa de agua subterránea Sierra de las Cabras (062.007)

4.5.7.2. Estado cuantitativo

La red de control del estado cuantitativo de esta masa cuenta con 4 sondeos y un manantial. Se considera que estos puntos son suficientemente representativos del estado cuantitativo de la masa de agua, en especial el manantial, por lo que no se propone incluir más puntos de control.

4.5.8. ALUVIAL DEL GUADALETE (062.008)

4.5.8.1. Estado químico

La red de seguimiento del estado químico de esta masa de agua subterránea está constituida por 3 puntos de control incluidos en el programa de vigilancia y operativo (tabla 4.5.8.1.1 y figura 4.5.8). De confirmarse el buen estado químico de la masa, no sería necesaria el mantenimiento de una red de control operativa.

RED DE CONTROL ACTUAL					ESTADO QUÍMICO 2010	ZONAS PROTEGIDAS			MASUP. O HUMEDALES ASOCIADOS
Nº total puntos	Programa					Aguas consumo humano	Zonas Vulnerables	Zonas Sensibles	
	V	V+O	ZP+V	ZP					
3	-	3	-	-	Buen estado	No	Sí	No	No

Tabla 4.5.8.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Aluvial del Guadalete (062.008)

Esta masa de agua subterránea puede dividirse en dos sectores:

- ✓ Aluvial del Guadalete: sector oeste de la masa de agua, constituido fundamentalmente por los materiales aluviales y las terrazas fluviales del río Guadalete, junto con arenas pliocuaternarias.
- ✓ Llanos del Sotillo: sector oriental de la masa, caracterizado por la presencia de arenas y cantos pliocuaternarios.

Por otra parte, en esta masa de agua subterránea se localiza la laguna de las Quinientas, y en sus proximidades, la laguna de Medina (figura 4.5.8). La primera de ellas ocupa una posición marginal dentro de la masa de agua y se asienta sobre un sustrato margoso, hechos que parecen descartar la existencia de aportes subterráneos desde el acuífero hacia el humedal. La laguna de Medina, por su parte, se localiza fuera de la masa de agua, aunque parte de la reserva natural que la protege queda dentro. Los materiales permeables que constituyen la masa de agua subterránea no están en contacto directo con la laguna, ya que ésta se encuentra rodeada por materiales de baja permeabilidad (arcillas y margocalizas). Así pues, la laguna de Medina tampoco constituye un humedal dependiente de las aguas subterráneas.

Prácticamente toda la masa de agua subterránea está incluida en la zona vulnerable a la contaminación por nitratos del “Valle del Guadalete” (figura 4.5.8).

La propuesta de adecuación y mejora de la red de seguimiento del estado químico de la masa de agua subterránea se presenta en la tabla 4.5.8.1.2.

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				MOTIVOS	PRIORITARIO
		NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		PROGRAMA		
			X	Y			
1. Cambio del programa de vigilancia y operativo (V+O) al programa de vigilancia (V)	Los tres puntos de la red de control actualmente operativa	-	-	-	V	Masa de agua subterránea definida en buen estado químico	Sí
2. Nuevo punto de control	Sector oriental de la masa (al norte de El Chaparrito)	CA05000165	245196	4061418	V	Sector de la masa de agua sin cubrir por la red de control actual, incluida en la zona vulnerable	No
		GVIG000436	242993	4062879			
		GVIG004749	239903	4060096			
3. Nuevo punto de control	Sector oriental de la masa (al sur de El Chaparrito)	GVIG004772	237782	4056258	V	Sector de la masa de agua sin cubrir por la red de control actual, incluida en la zona vulnerable	No

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				MOTIVOS	PRIORITARIO
		NOMBRE/CÓDIGO	COORD. UTM		PROGRAMA		
			X	Y			
4. Nuevo punto de control	Zona central de la masa de agua	GVIG002602	234734	4056474	V	Sector de la masa de agua sin cubrir por la red de control actual, incluida en la zona vulnerable	Sí
		GVIG004763	237240	4057660			
5. Uno o dos nuevos puntos de control	Al sureste de Jerez de la Frontera	GVIG004724	227496	4059851	V	Sector de la masa de agua sin cubrir por la red de control actual, incluida en la zona vulnerable	Sí

Tabla 4.5.8.1.2. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de la masa de agua subterránea Aluvial del Guadalete (062.008)

4.5.8.2. Estado cuantitativo

En esta masa de agua subterránea existen actualmente dos puntos de control piezométrico, situados en los sectores central y occidental. Por tanto, se propone completar la red de control del estado cuantitativo en el sector oriental, tal y como se muestra en la figura 4.5.8, con uno o dos puntos de medida del nivel piezométrico. Con ello se controlaría el nivel del acuífero plioceno que aflora ampliamente al este del aluvial del Guadalete. En la zona propuesta existen numerosos sondeos de control piezométrico, pertenecientes a las redes del IGME y de la Agencia Andaluza del Agua, por lo que se recomienda la revisión y diagnóstico de los mismos e inclusión en la red de control de aquellos puntos que se consideren representativos; por ejemplo, el que presenta mejor registro histórico es el sondeo codificado como 1345-1-0026.

ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				
	NOMBRE/CÓDIGO	COORD. UTM		TIPO	FUENTE
		X	Y		
Sector este	1345-1-0026	247320	4059557	Sondeo	IGME

Tabla 4.5.8.2.1. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea Aluvial del Guadalete (062.008)

4.5.9. JEREZ DE LA FRONTERA (062.009)

4.5.9.1. Estado químico

El seguimiento del estado químico de la masa de agua subterránea se realiza por medio de 7 estaciones de seguimiento (tabla 4.5.9.1.1), dos de las cuales se encuentran fuera de los límites de la masa (figura 4.5.9), si bien una de ellas queda fuera apenas por unos metros.

RED DE CONTROL ACTUAL					ESTADO QUÍMICO 2010	ZONAS PROTEGIDAS			MASUP. O HUMEDALES ASOCIADOS
Nº total puntos	Programa					Aguas consumo humano	Zonas Vulnerables	Zonas Sensibles	
	V	V+O	ZP+V	ZP					
7	2	5	-	-	Mal estado	No	Sí	No	Sí

Tabla 4.5.9.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Jerez de la Frontera (062.009)

El punto de control AA00010095, localizado en el casco urbano de Jerez de la Frontera, queda claramente fuera de los límites de la masa de agua subterránea, motivo por el cual se recomienda que sea eliminado de la red de control del estado químico (tabla 4.5.9.1.2). El punto de control AA00010050, por su parte, se localiza en el borde sur de la masa de agua, muy cerca del contacto con afloramientos de margas de baja permeabilidad. Además, según recoge el Atlas hidrogeológico de la provincia de Cádiz (Instituto Geológico y Minero de España y Diputación de Cádiz, 2005), en esta zona el flujo de agua subterránea se dirige hacia el Norte, por lo que recomendamos se verifique la representatividad de este punto en lo relativo al control del estado químico de la masa de agua subterránea (tabla 4.5.9.1.2).

Toda la masa de agua subterránea, a excepción del casco urbano de Jerez, está incluida en la zona vulnerable a la contaminación por nitratos del “Valle del Guadalete” (figura 4.5.9).

Entre las presiones -inventariadas- a las que está sometida esta masa de agua subterránea, destaca el núcleo urbano de Jerez de la Frontera, su zona industrial y aeropuerto.

Por su parte la masa de agua superficial Arroyo de Santiago (11654), la única identificada sobre la masa de agua subterránea, recibe aportes subterráneos del acuífero.

La propuesta de adecuación y mejora de la red de seguimiento del estado químico de la masa de agua subterránea Jerez de la Frontera (062.009), se presenta en la tabla 4.5.9.1.2.

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				MOTIVOS	PRIORITARIO
		NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		PROGRAMA		
			X	Y			
1. Eliminar punto de control	Casco urbano de Jerez de la Frontera	AA00010095	218715	4065269	V	Situado fuera de masa	Sí
2. Revisar la representatividad de puntos de control	Borde sur de la masa de agua	AA00010050	223093	4061763	O+V	Posición marginal dentro de la masa	Sí
3. Nuevo punto de control	Sector central de la masa de agua	GVIG004734	227467	4069079	O+V	Comprobar el efecto del aeropuerto de Jerez en la calidad química de la masa de agua. Además, desarrollo de agricultura de regadío e incluido en la zona vulnerable	No
		GVIG005065	226338	4068745			
4. Nuevo punto de control	Al este de Jerez de la Frontera	GVIG004907	224568	4066240	V	Comprobar la posible incidencia de Jerez de la Frontera y su zona industrial en la calidad química de la masa de agua	No
		GVIG004910	223900	4064724			

Tabla 4.5.9.1.2. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de la masa de agua subterránea Jerez de la Frontera (062.009)

4.5.9.2. Estado cuantitativo

Para esta masa de agua subterránea se dispone de 5 puntos de control piezométrico, los cuales, dada la extensión y homogeneidad del acuífero, se pueden considerar suficientes para el control del estado cuantitativo.

4.5.10. SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-PUERTO DE SANTA MARÍA (062.010)

4.5.10.1. Estado químico

Esta masa de agua subterránea cuenta con 11 puntos de control para realizar el seguimiento de su estado químico, 7 de los cuales están incluidos en el programa de control operativo (tabla 4.5.10.1.1).

RED DE CONTROL ACTUAL					ESTADO QUÍMICO 2010	ZONAS PROTEGIDAS			MASUP. O HUMEDALES ASOCIADOS
Nº total puntos	Programa					Aguas consumo humano	Zonas Vulnerables	Zonas Sensibles	
	V	V+O	ZP+V	ZP					
11	4	7	-	-	Mal estado	No	Sí	No	No

Tabla 4.5.10.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María (062.010)

Una parte considerable de la superficie total de la masa de agua está incluida en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos “Valle del Guadalquivir” y “Valle del Guadalete” (figura 4.5.10); asimismo, los 11 puntos de control están situados en el interior de alguna de estas zonas vulnerables.

Al norte del Puerto de Santa María se identifican tres lagunas que constituyen el Complejo Endorreico del Puerto de Santa María, declarado Reserva Natural (figura 4.5.10):

- ✓ Laguna Salada: es la única de las tres definida como masa de agua superficial (su código identificativo es 520021), si bien está situada fuera de los límites de la masa de agua subterránea.
- ✓ Laguna Chica: situada fuera de masa de agua subterránea.
- ✓ Laguna Juncosa: es la única de las tres situada dentro de los límites de la masa de agua subterránea.

Estas lagunas se asientan sobre margas blancas y limos del Mioceno superior (“albarizas”), si bien el sustrato debe corresponder a materiales triásicos ya que afloran en sectores próximos.

Teniendo en cuenta, por un lado, la posición de estas lagunas en relación con la masa de agua subterránea Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María (062.010), y por otro, su ubicación sobre los materiales de baja permeabilidad, puede descartarse la dependencia de estos humedales respecto a las aguas subterráneas de esta masa de agua.

Se propone la inclusión de dos nuevos puntos de control en la red de seguimiento del estado químico de esta masa de agua subterránea, si bien ninguno de ellos se considera prioritario (tabla 4.5.10.1.2).

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				MOTIVOS	PRIORITARIO
		NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		PROGRAMA		
			X	Y			
1. Nuevo punto de control	Al noroeste de El Puerto de Santa María	-	-	-	V	Sector del acuífero sin cubrir, incluido en la zona vulnerable, que podría estar alimentando a la masa de agua superficial Arroyo del Gallo (11922)	No
2. Nuevo punto de control	Al norte de Rota	GVIG004663	199137	4059751	V	Evaluar la posible incidencia de la base naval de Rota, incluido su aeropuerto, en la calidad química de la masa de agua subterránea	No

Tabla 4.5.10.1.2. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de la masa de agua subterránea Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María (062.010)

4.5.10.2. Estado cuantitativo

La masa de agua subterránea cuenta con un número de puntos de control piezométrico suficiente, 16 en total, cuya distribución se puede considerar más o menos homogénea. Por este motivo, no se propone la inclusión de nuevos puntos de control.

4.5.11. PUERTO REAL (062.011)

4.5.11.1. Estado químico

El seguimiento del estado químico de esta masa de agua subterránea se realiza mediante 3 puntos de control, todos ellos incluidos en el programa de control de vigilancia y operativo (tabla 4.5.11.1.1).

RED DE CONTROL ACTUAL					ESTADO QUÍMICO 2010	ZONAS PROTEGIDAS			MASUP. O HUMEDALES ASOCIADOS
Nº total puntos	Programa					Aguas consumo humano	Zonas Vulnerables	Zonas Sensibles	
	V	V+O	ZP+V	ZP					
3	-	3	-	-	Mal estado	No	Sí	Sí	No

Tabla 4.5.11.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Puerto Real (062.011)

El sector más septentrional de la masa de agua subterránea está incluido en la zona vulnerable a la contaminación por nitratos del "Valle del Guadalete", mientras que una pequeña porción de su extremo suroccidental está incluida en la zona sensible de la "Bahía de Cádiz" (figura 4.5.11).

La propuesta de adecuación y mejora de la red de seguimiento del estado químico de esta masa de agua subterránea se presenta en la tabla 4.5.11.1.2.

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				MOTIVOS	PRIORITARIO
		NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		PROGRAMA		
			X	Y			
1. Nuevo punto de control	Sector más septentrional de la masa de agua	-	-	-	V+O	Zona declarada vulnerable a la contaminación por nitratos de origen agrícola	Sí
2. Nuevo punto de control	Al este de Puerto Real	GVIG004760	217326	4047806	V	Zona de la masa de agua sin cubrir por la red de control actual, con desarrollo de agricultura	No
		GVIG004761	216520	4047554			
		GVIG005006	216937	4047617			
		GVIG004755	218320	4049285			
		GVIG004773	219914	4049295			
		GVIG004777	219115	4048519			
3. Nuevo punto de control	Zona central de la masa de agua	GVIG004750	219767	4046307	V+O	Zona de la masa de agua sin cubrir por la red de control actual, con desarrollo de agricultura	No
		GVIG004753	220679	4044487			
		GVIG004830	222671	4043652			
		GVIG005058	223809	4045713			
4. Nuevo punto de control	Al norte de Chiclana de la Frontera	GVIG005059	218938	4037662	V	Zona de la masa de agua sin cubrir por la red de control actual, con desarrollo de agricultura	No
		GVIG005972	219196	4038702			
		GVIG004689	220612	4038534			
		GVIG004887	220523	4039647			
		GVIG005056	220727	4040567			
		GVIG005980	219475	4040360			

Tabla 4.5.11.1.2. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de la masa de agua subterránea Puerto Real (062.011)

4.5.11.2. Estado cuantitativo

La masa de agua presenta 3 puntos de control del estado cuantitativo, agrupados en la mitad sur. Por tanto, se considera necesario incluir al menos un punto de control en el sector septentrional delimitado en la figura 4.5.11. Dentro de este sector, se propone la inclusión de los sondeos históricos codificados como 1245-5-0046 y 1245-5-0047, otorgando preferencia al primero de ellos.

ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				
	NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		TIPO	FUENTE
		X	Y		
Sector norte	1245-5-0046	218289	4049501	Sondeo	AAA
	1245-5-0047	221516	4052065	Sondeo	AAA

Tabla 4.5.11.2.1. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea Puerto Real (062.011)

4.5.12. CONIL DE LA FRONTERA (062.012)

4.5.12.1. Estado químico

El seguimiento del estado químico de esta masa de agua subterránea se lleva a cabo por medio de 5 puntos de control (tabla 4.5.12.1.1).

RED DE CONTROL ACTUAL					ESTADO QUÍMICO 2010	ZONAS PROTEGIDAS			MASUP. O HUMEDALES ASOCIADOS
Nº total puntos	Programa					Aguas consumo humano	Zonas Vulnerables	Zonas Sensibles	
	V	V+O	ZP+V	ZP					
5	2	2	1	-	Mal estado	Sí	Sí	No	No

Tabla 4.5.12.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Conil de la Frontera (062.012)

Algunos sectores de esta masa de agua subterránea están incluidos en la zona vulnerable a la contaminación por nitratos de “Vejer-Barbate” (figura 4.5.12).

Por otra parte, en el interior e inmediaciones de la masa de agua subterránea se localizan dos humedales:

- ✓ Laguna de la Paja: situada al sur de Chiclana de la Frontera, pero fuera de los límites de la masa de agua subterránea (figura 4.5.12). De acuerdo con el estudio “Definición del contexto hidrogeológico de humedales andaluces. II. Lagunas de Cádiz”, elaborado por J. Benavente, F. Moral y M. Rodríguez para la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, la laguna no recibe aportes subterráneos, de modo que se descarta la conexión entre ésta y la masa de agua subterránea Conil de la Frontera (062.012).
- ✓ Laguna de Campano: esta pequeña laguna, de sólo 3,5 Ha de superficie y que carece de figura de protección, está situada en la zona central de la masa de agua subterránea Conil de la Frontera (figura 4.5.12). Aunque no se dispone de información relativa a su funcionamiento hidrogeológico, el hecho de que se asiente sobre los materiales permeables del acuífero hace posible que parte de su alimentación hídrica pueda producirse a través de aportes subterráneos.

Se propone la inclusión de 3 nuevos puntos de control, uno de los cuales se considera prioritario (tabla 4.5.12.1.2).

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				MOTIVOS	PRIORITARIO
		NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		PROGRAMA		
			X	Y			
1. Nuevo punto de control	Al norte de Conil de la Frontera	GVIG004813	221432	4024527	V+O	Sector de la masa de agua declarado vulnerable a la contaminación por nitratos	Sí
		GVIG004818	220360	4023789			
		GVIG004828	220919	4023310			
		GVIG004895	219907	4022912			
		GVIG004896	219317	4024752			
		GVIG004898	219595	4024063			

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO			PRO-GRAMA	MOTIVOS	PRIORITARIO
		NOMBRE/CÓDIGO	COORD. UTM				
			X	Y			
2. Nuevo punto de control	Zona costera de la masa, al suroeste de Chiclana de la Frontera	GVIG004925	214703	4030251	V	Control de la intrusión marina	No
		GVIG005909	215559	4029049			
		GVIG000034	215332	4028612			
		GVIG001255	215126	4030128			
3. Nuevo punto de control	Zona costera de la masa, al noroeste de Conil de la Frontera	-	-	-	V	Control de la intrusión marina	No

Tabla 4.5.12.1.2. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de la masa de agua subterránea Conil de la Frontera (062.012)

4.5.12.2. Estado cuantitativo

Actualmente la masa de agua subterránea dispone de 4 puntos de control del estado cuantitativo, si bien tres de ellos se agrupan en el sector occidental, junto a la costa, lo que en la práctica limita el control de la masa de agua a sólo dos sectores. Por este motivo se considera necesario incluir varios puntos de control en estas zonas: sectores norte y sur respectivamente (figura 4.5.12). En el sector norte se podrían incluir los sondeos codificados por el IGME como 1246-5-0011 y 1246-5-0074 (siempre y cuando se verifique su buen estado actual), pues disponen de una serie histórica completa. En el sector sur, por el contrario, no se han identificado sondeos con registros amplios, por lo que, en principio, se podría seleccionar cualquier punto localizado dentro del área delimitada que permita la medida de un nivel representativo. Entre éstos, se propone el punto 1247-1-0036, pues presenta buena ubicación dentro del acuífero.

ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				
	NOMBRE/CÓDIGO	COORD. UTM		TIPO	FUENTE
		X	Y		
Sector norte	1246-5-0011	220520	4031371	Sondeo	IGME
	1246-5-0074	217837	4032424	Sondeo	IGME
Sector sur	1247-1-0036	220335	4022026	Sondeo	AAA

Tabla 4.5.12.2.1. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea Conil de la Frontera (062.012)

4.5.13. BARBATE (062.013)

4.5.13.1. Estado químico

La red de seguimiento del estado químico de la masa de agua subterránea está constituida por 11 puntos de control, dos de los cuales están situados fuera de los límites actuales de la masa de agua (tabla 4.5.13.1.1 y figura 4.5.13). Uno de estos puntos, codificado como AA00010083, se localiza en el

acuífero de interés local “La Muela” (062.2.03), por lo que se recomienda que se mantenga activo. En lo que respecta al otro punto de control situado fuera de masa, codificado como AA00010059, se recomienda su eliminación de la red de control de calidad (tabla 4.5.13.1.2).

RED DE CONTROL ACTUAL					ESTADO QUÍMICO 2010	ZONAS PROTEGIDAS			MASUP. O HUMEDALES ASOCIADOS
Nº total puntos	Programa					Aguas consumo humano	Zonas Vulnerables	Zonas Sensibles	
	V	V+O	ZP+V	ZP					
11	1	7	3	-	Mal estado	Sí	Sí	No	Sí

Tabla 4.5.13.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Barbate (062.013)

La masa de agua subterránea Barbate (062.013) está incluida casi en su totalidad en la zona vulnerable a la contaminación por nitratos de “Vejer-Barbate”, dentro de la cual se localizan todos los puntos de control excepto uno.

De acuerdo con la información recogida en el Atlas hidrogeológico de la provincia de Cádiz (Instituto Geológico y Minero de España y Diputación de Cádiz, 2005), existen descargas subterráneas desde el acuífero hacia los ríos Barbate y Salado de Conil.

En la tabla 4.5.13.1.2 se sintetiza la propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de la masa de agua subterránea: eliminar los dos puntos de control situados fuera de masa -si bien uno de ellos se debería incorporar a la red de control del acuífero de interés local de La Muela (062.2.03)-, e incluir uno nuevo al este de Vejer de la Frontera.

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				MOTIVOS	PRIORITARIO
		NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		PROGRAMA		
			X	Y			
1. Eliminar punto de control	Al noroeste de Vejer de la Frontera	AA00010083	232037	4018388	V+O	Punto de control situado fuera de masa. Se recomienda, no obstante, mantenerlo para el control del estado químico del acuífero de interés local “La Muela” (062.2.03)	Sí
2. Eliminar punto de control	Al oeste de Vejer de la Frontera	AA00010059	226869	4014644	V+O	Punto de control situado fuera de masa	Sí
2. Nuevo punto de control	Al este de Vejer de la Frontera	-	-	-	V	Sector de la masa de agua declarada vulnerable a la contaminación por nitrato, con desarrollo de agricultura de regadío y que previsiblemente alimenta a la masa de agua superficial Río Barbate (11907)	No

Tabla 4.5.13.1.2. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de la masa de agua subterránea Barbate (062.013)

4.5.13.2. Estado cuantitativo

La masa de agua subterránea de Barbate cuenta con 7 puntos de control piezométrico para la evaluación del estado cuantitativo, los cuales cubren la mayor parte del área comprendida por dicha masa, a excepción del sector costero occidental. Por tanto, sería recomendable incluir un punto adicional para el control piezométrico en este sector (figura 4.5.13). Según el inventario de puntos de control históricos disponible, existen pocos sondeos en el sector seleccionado, si bien se podría incluir el codificado como 1247-6-0008, por su ubicación.

ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				
	NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		TIPO	FUENTE
		X	Y		
Sector costero occidental	1247-6-0008	223978	4014433	Sondeo	AAA

Tabla 4.5.13.2.1. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea Barbate (062.013)

4.5.14. BENALUP (062.014)

4.5.14.1. Estado químico

El seguimiento del estado químico de esta masa de agua subterránea se realiza por medio de 3 puntos de control, uno de los cuales está incluido en el programa de control operativo (tabla 4.5.14.1.1).

RED DE CONTROL ACTUAL					ESTADO QUÍMICO 2010	ZONAS PROTEGIDAS			MASUP. O HUMEDALES ASOCIADOS
Nº total puntos	Programa					Aguas consumo humano	Zonas Vulnerables	Zonas Sensibles	
	V	V+O	ZP+V	ZP					
3	1	1	1	-	Mal estado	Sí	Sí	No	No

Tabla 4.5.14.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Benalup (062.014)

Gran parte de la masa de agua está incluida en la zona vulnerable a la contaminación por nitratos de “Vejer-Barbate”, dentro de la cual se ubican los tres puntos de control (figura 4.5.14).

La red de control del estado químico actualmente operativa en esta masa de agua subterránea se considera adecuada, por lo que no se considera necesario proponer ninguna modificación o mejora.

4.5.14.2. Estado cuantitativo

Se dispone de 3 puntos de control piezométrico, repartidos homogéneamente por la superficie de la masa de agua, por lo que, dada la pequeña extensión de la misma, se pueden considerar suficientes.

En cualquier caso, sería interesante considerar la inclusión del punto codificado como 1246-8-0015, ya que se ubica en el sector central de la masa -carente de control- y dispone de un registro histórico bastante completo.

ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				
	NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		TIPO	FUENTE
		X	Y		
-	1246-8-0015	242280	4027400	Sondeo	IGME

Tabla 4.5.14.2.1. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea Benalup (062.014)

4.6. SÍNTESIS DE LOS TRABAJOS DE REVISIÓN Y ADECUACIÓN DE LAS REDES DE CONTROL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

4.6.1. ESTADO QUÍMICO

En la tabla 4.6.1.1 se presenta un resumen de la propuesta de adecuación y mejora de la red de control del *estado químico* para cada una de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

CÓDIGO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA	Nº DE PUNTOS DE CONTROL					CAMBIO VIGILANCIA/ OPERATIVO*
		ACTUAL	PROPUESTOS			ACTUAL+ PROPUESTOS	
			Prioritarios	No Prioritarios	Eliminar		
062.001	Setenil	4	1	1	-	6	Sí
062.002	Sierra de Líbar	1	1	-	1	1	-
062.003	Sierra de Líjar	2	-	-	-	2	-
062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	10	-	3	-	13	Sí
062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	11	-	3	2	12	Sí
062.006	Sierra Valleja	1	1	-	-	2	Sí
062.007	Sierra de las Cabras	4	-	-	-	4	Sí
062.008	Aluvial del Guadalete	3	2	2	-	7	Sí
062.009	Jerez de la Frontera	7	-	2	1	8	-
062.010	Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María	11	-	2	-	13	-
062.011	Puerto Real	3	1	3	-	7	-
062.012	Conil de la Frontera	5	1	2	-	8	-
062.013	Barbate	11	-	1	2	10	-
062.014	Benalup	3	-	-	-	3	-
TOTAL		76	7	19	6	96	-

* En esta columna se señalan aquellas masas de agua subterránea en las que se ha propuesto un cambio en la asignación de los puntos de control al programa de vigilancia o al programa operativo.

Tabla 4.6.1.1. Síntesis de la propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

La red de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate está constituida por un total de 81 puntos de control, y no de 76 tal como se indica en la tabla 4.6.1.1. Los 5 puntos de control restantes corresponden con captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano, situadas en terreno no catalogado como masa de agua subterránea, pero incluidas en la red de seguimiento del estado químico dentro del programa de control de zonas protegidas por abastecimiento (programa “ZP”).

4.6.2. ESTADO CUANTITATIVO

En la tabla 4.6.2.1 se presenta un resumen de la propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado cuantitativo para cada una de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

CÓDIGO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA	Nº DE PUNTOS DE CONTROL			
		ACTUAL	PROPUESTOS		ACTUAL+PROPUESTOS
			Piezométricos	Hidrométricos	
062.001	Setenil	1	2	0	3
062.002	Sierra de Líbar	0	0	0	0
062.003	Sierra de Líjar	2	0	1	3
062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	8	1	0	9
062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	5	1	0	6
062.006	Sierra Valleja	0	1	0	1
062.007	Sierra de las Cabras	5	0	0	5
062.008	Aluvial del Guadalete	2	1	0	3
062.009	Jerez de la Frontera	5	0	0	5
062.010	Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María	16	0	0	16
062.011	Puerto Real	3	2	0	5
062.012	Conil de la Frontera	4	3	0	7
062.013	Barbate	7	1	0	8
062.014	Benalup	3	1	0	4
TOTAL		61	13	1	75

Tabla 4.6.2.1. Síntesis de la propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado cuantitativo de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

La red de seguimiento del estado cuantitativo de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate está constituida por un total de 63 puntos de control, y no de 61 tal como se indica en la tabla 4.6.2.1. Los 2 puntos de control restantes se corresponden con estaciones de seguimiento situadas en el acuífero de interés local 062.2.03 - La Muela.

5. ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE REFERENCIA, NIVELES BÁSICOS Y VALORES UMBRAL. DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS Y SOSTENIDAS AL AUMENTO Y DEFINICIÓN DE LOS PUNTOS DE PARTIDA DE LAS INVERSIONES DE TENDENCIAS

5.1. INTRODUCCIÓN

El establecimiento de “niveles de referencia”, “niveles básicos” y “valores umbral” se ha llevado a cabo en cumplimiento con las disposiciones establecidas en la Directiva 2006/118/CE, aplicando las metodologías descritas en la *Guidance on Groundwater Chemical Status and Trend Assessment* y Proyecto BRIDGE (*Background Criteria for the Identification of Groundwater Thresholds*).

Asimismo, la *Guía nº 18. Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias*, ha sido empleada como documento de referencia para el establecimiento de criterios de evaluación del estado de las aguas subterráneas e identificación de tendencias significativas desde el punto de vista medioambiental. De este modo, el punto de partida establecido en la Directiva 2006/118/CE para la inversión de tendencias coincide con el momento en que la concentración del contaminante alcance un porcentaje del valor umbral o norma de calidad, considerando por defecto el 75%.

5.2. TRABAJOS REALIZADOS

El establecimiento de “niveles de referencia”, “niveles básicos” y “valores umbral”, se ha llevado a cabo en cumplimiento con los requerimientos establecidos en la Directiva 2006/118/CE, y aplicando las metodologías descritas en los siguientes documentos de referencia:

- ✓ *Establecimiento de valores umbral en cumplimiento de la Directiva 2006/118/CE. Propuesta de criterios y procedimiento.*
- ✓ *Establecimiento de valores umbral en las masas de agua subterránea en riesgo químico, identificadas en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Guadiana.*
- ✓ *Guía nº 18. Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias.*
- ✓ *Guidance on Groundwater Chemical Status and Trend Assessment.*
- ✓ *Proyecto BRIDGE (Background Criteria for the Identification of Groundwater Thresholds).*
- ✓ *Real Decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.*

5.2.1. ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE REFERENCIA

La Directiva 2006/118/CE, en su artículo 2, define *nivel de referencia* como la *concentración de una sustancia o valor de un indicador en una masa de agua subterránea, correspondiente a condiciones no sometidas a alteraciones antropogénicas o sometidas a alteraciones mínimas, en relación con condiciones inalteradas.*

Los niveles de referencia se han establecido a partir de los datos históricos disponibles y han sido utilizados posteriormente para el establecimiento de los valores umbral. La utilización de estos datos históricos se ha restringido exclusivamente al establecimiento de niveles de referencia.

De este modo, aplicando la metodología recomendada en el Proyecto BRIDGE se ha utilizado el valor del Percentil 90 obtenido a partir de todos los datos registrados en los puntos de control de la masa de agua¹ que no hayan estado afectados por contaminación humana, siempre y cuando exista un número limitado de muestras (menos de 60), o cuando no se hayan podido excluir los datos influenciados por impactos antrópicos. Por el contrario, cuando existe un número elevado de muestras (más de 60) y se tenga la certeza de que los datos no están influenciados por impactos antrópicos, se ha utilizado el percentil 97,7.

Finalmente, en aquellos casos en los que no se dispone de información suficiente o fiable, para establecer los niveles de referencia, se evaluarán las tipologías acuíferas.

5.2.1.1. Agregación de los datos

Las redes de control del estado químico identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, son:

- ✓ Redes del IGME (2008)
- ✓ IGME-CEDEX
- ✓ DGA-MMA

Tras un proceso de revisión, filtrado y unificación de los datos contenidos en las diferentes bases de datos facilitadas por los técnicos del Instituto Geológico y Minero de España, Dirección General del Agua, así como por los responsables de planificación de la Agencia Andaluza del Agua, se ha obtenido:

- Red de control del estado químico:

Origen datos	Nº Estaciones	Nº Muestras
IGME-CEDEX*	461	2.555
REDES IGME (2008)	43	1.316
DGA-MMA**	16	26
TOTAL	520	3.897

* Ha requerido de un filtrado de los datos de partida, considerando exclusivamente aquellos puntos pertenecientes a la red de calidad, por ser los únicos en los que se dispone de coordenadas (XY).

** Esta base de datos incluye, entre otros, los puntos de control identificados en las REDES IGME (2008) e IGME-CEDEX. Por lo tanto, de la base de datos DGA-MMA solamente se han incluido aquellos puntos que no estuvieran contemplados en las otras redes.

¹ Los datos registrados en los puntos de control de la masa de agua, requieren de un filtrado previo, eliminando aquellos valores que se consideren 'anómalos o erróneos'.

- Red de control de la intrusión:

Origen datos	Nº Estaciones	Nº Muestras
REDES IGME (2008)	36 *	995

* Algunas estaciones de la red de intrusión son coincidentes con las de la red de control del estado químico; REDES IGME (2008).

Tras un laborioso proceso de revisión y filtrado de los datos registrados en la base de datos correspondientes a la red diseñada y controlada por el Instituto Geológico y Minero de España, destacar dos particularidades:

- En dicha base de datos no queda constancia de las unidades en las que se expresa cada uno de los parámetros. Por este motivo, tras la revisión de los valores registrados, y dado que éstos se encuentran en el mismo orden de magnitud que los reflejados en las bases de datos del IGME-CEDEX, se han aplicado las mismas unidades.
- La base de datos del Instituto Geológico y Minero de España (2008) contiene, entre otros, varias tablas independientes en las que se recogen las mediciones correspondientes a las redes de calidad e intrusión. Asimismo, ambas tablas, se han cumplimentado aplicando diferentes criterios. Así:
 - En la tabla correspondiente a la red de calidad, figuran 3 tipos de valores:
 - ✓ Valores positivos
 - ✓ Valores cero
 - ✓ Sin valor
 - En la tabla correspondiente a la red de intrusión, figuran 2 tipos de valores:
 - ✓ Valores positivos
 - ✓ Valores cero

A la vista de los datos contenidos en estas tablas se ha considerado que, en el caso de la red de calidad, un valor cero significa que se ha realizado una medida del parámetro, pero que su concentración es inferior al límite de detección y un parámetro sin valor, significa que dicho parámetro no ha sido medido. Por otro lado, en el caso de la red de intrusión, un valor cero significa que no se ha realizado medida para determinado parámetro.

Tras el proceso de revisión y filtrado de los datos, éstos se han agrupado en función de su ámbito geográfico y temporal.

5.2.1.1.1. Límites geográficos de las masas de agua subterránea

En primer lugar se ha realizado un cruce por localización espacial, en entorno GIS, entre los puntos que constituyen las diferentes redes de control y los límites de las masas de agua subterránea identificadas en el ámbito de la demarcación.

De este modo, se obtiene una selección de aquellos puntos considerados representativos de cada masa de agua subterránea. Asimismo, se han descartado aquellos puntos localizados fuera de los límites de las masas, ya que no se dispone de información suficiente para valorar si estos puntos son

representativos o no, de una masa. Como resultado de la discretización espacial, se han obtenido los siguientes resultados:

▪ Red de control del estado químico (calidad): Número de estaciones/muestras por masa

CÓDIGO MASA	NOMBRE MASA	IGME-CEDEX	IGME	DGA-MMA*	TOTAL MASA
062.001	SETENIL	34/62	-	1/2	35/64
062.002	SIERRA DE LÍBAR	2/2	-	-	2/2
062.003	SIERRA DE LÍJAR	8/19	-	-	8/19
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL	45/136	-	3/6	48/142
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA-	42/193	7/144	3/5	52/342
062.006	SIERRA VALLEJA	-	-	-	0/0
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	4/22	-	-	4/22
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	12/13	-	2/3	14/16
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	28/58	1/22	1/1	30/81
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-SANTA	98/1.015	17/707	2/3	117/1.725
062.011	PUERTO REAL	51/146	-	1/1	52/147
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	92/337	2/52	2/3	96/392
062.013	BARBATE	35/502	12/373	1/2	48/877
062.014	BENALUP	10/50	4/35	-	14/85
TOTAL		461/2.555	43/1.333	16/26	520/3.914

* Esta base de datos incluye, entre otros, los puntos de control identificados en las REDES IGME (2008) e IGME-CEDEX. Por lo tanto, de la base de datos DGA-MMA solamente se han incluido aquellos puntos que no estuvieran contemplados en las otras redes.

▪ Red de control de la intrusión: Número de estaciones/muestras por masa

CÓDIGO MASA	NOMBRE	IGME	TOTAL MASA
062.001	SETENIL	-	0/0
062.002	SIERRA DE LÍBAR	-	0/0
062.003	SIERRA DE LÍJAR	-	0/0
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY	-	0/0
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA-VILLAMARTÍN	-	0/0
062.006	SIERRA VALLEJA	-	0/0



CÓDIGO MASA	NOMBRE	IGME	TOTAL MASA
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	-	0/0
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	-	0/0
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	-	0/0
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-SANTA MARÍA	15/463	15/463
062.011	PUERTO REAL	2/81	2/81
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	7/164	7/164
062.013	BARBATE	12/287	12/287
062.014	BENALUP	-	0/0
TOTAL		36/995	36/995

5.2.1.1.2. Establecimiento de series temporales representativas

El siguiente paso en el proceso de discretización ha sido el establecimiento del rango temporal de muestreo representativo para cada masa de agua subterránea, a partir del cual se han determinado los niveles de referencia.

Como punto de partida, se ha establecido un criterio general aplicable para todas las masas de agua subterránea, basado en la selección de los datos de muestreo más antiguos registrados en los puntos de control identificados en cada masa. Asimismo, se ha realizado un seguimiento temporal de los parámetros mayoritarios, así como de aquellos que han contribuido a la identificación de una masa como en riesgo, siempre y cuando se cumplan dos requisitos:

- Que los datos registrados en los puntos de control considerados representativos de una masa, tengan una continuidad temporal. Así, para aquellas masas en las que se dispone de una densidad de puntos suficiente, se considera una serie mínima de tres años, y en aquellas masas en las que se dispone de menor número de datos, al menos un año (para el rango seleccionado). Por lo tanto, aunque los datos analíticos más antiguos disponibles son los correspondientes a las décadas de los 60's y 70's, estos datos no se han considerado ya que, frecuentemente, no presentan continuidad temporal, sino series aisladas.
- Que los resultados de los análisis de dichas muestras sean representativos de la masa, de forma que no presenten valores medios anormalmente elevados, con respecto a otros rangos temporales históricos registrados en la misma masa.

En aquellas masas de agua subterránea en las que los datos de muestreo más antiguos incumplen estas premisas, se ha optado por establecer una serie temporal posterior. Asimismo, dentro de una misma masa, puede ocurrir que el intervalo de muestreo considerado sea diferente para un parámetro u otro.

En la tabla adjunta se presenta un resumen de las series temporales consideradas en cada masa de agua subterránea identificada en la demarcación, así como el número de estaciones y muestras disponibles para el establecimiento de niveles de referencia:

CÓDIGO MASA	NOMBRE MASA	SERIE TEMPORAL	IGME-CEDEX	IGME	TOTAL MASb
062.001	SETENIL	1980-1984	16/27	-	16/27
062.002	SIERRA DE LÍBAR	1983	2/2	-	2/2
062.003	SIERRA DE LÚJAR	1981	5/5	-	5/5
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY	1980-1984	41/90	-	41/90
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA-VILLAMARTÍN	1980-1984	13/38	-	13/38
062.006	SIERRA VALLEJA	-	-	-	0/0
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	1996-1999	3/10	-	3/10
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	1982-1984	9/9	-	9/9
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	1993-1997	1/9	-	1/9
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-SANTA MARÍA	1981-1984	16/76	8/61	24/137
062.011	PUERTO REAL	1981-1984	6/24	2/13	8/37
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	1981-1984	12/73	1/11	13/84
062.013	BARBATE	1981-1984	20/113	1/1	21/114
062.014	BENALUP	1991-1994	6/19	-	6/19
TOTAL			150/495	12/86	162/581

5.2.1.2. Criterios de representatividad del muestreo

Para el establecimiento de los niveles de referencia es necesario disponer de un registro analítico representativo para cada uno de los parámetros considerados. Por este motivo, se ha procedido a la evaluación de todas las muestras consideradas en las series temporales anteriormente seleccionadas. .

A partir de estos datos, se ha comprobado que es necesario el establecimiento de una serie de criterios mínimos, que sirvan para el cálculo de los niveles de referencia (que han sido aplicados a la totalidad de los parámetros), con el fin de identificar la representatividad de sus respectivos análisis disponibles a la hora de establecer dichos niveles de referencia.

Para que el registro de datos sea considerado representativo, se han establecido tres tipos de criterios:

- ✓ **Criterio temporal:** los resultados analíticos correspondientes a los parámetros considerados en cada una de las masas de agua subterránea deberán contener registro, al menos, durante tres años diferentes.
- ✓ **Criterio cuantitativo:** los resultados analíticos correspondientes a los parámetros considerados en cada una de las masas de agua subterránea deberán disponer de un número de muestras ≥ 5 .



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



- ✓ Criterio cualitativo: los resultados analíticos correspondientes a los parámetros considerados en cada una de las masas de agua subterránea no deben mostrar indicios de influencia antrópica.

Si, para un parámetro considerado, no se satisfacen todos y cada uno de estos criterios, el registro analítico no se ha considerado representativo y por tanto, no se ha establecido nivel de referencia.

Sin embargo, en varias masas de agua subterránea localizadas próximas a la línea de costa, en riesgo por intrusión, se ha observado que para el periodo temporal seleccionado, el rango de valores considerado es muy amplio; (por ejemplo, valores de conductividad para el mismo periodo, entre 600 y 6.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). No obstante, esto puede deberse a que determinadas estaciones reflejan los efectos de la intrusión, pero no se puede determinar, debido a las grandes variaciones registradas en parámetros tales como conductividad y cloruros a lo largo del registro analítico disponible, si la intrusión se debe a procesos antrópicos o naturales, o incluso, si se está analizando agua proveniente de diferentes acuíferos.

Por tanto, al no disponer de un registro histórico, representativo y fiable de la evolución hidroquímica en estas masas, que no esté afectado por procesos de intrusión, no se han establecido niveles de referencia para el parámetro conductividad eléctrica.

En relación a la concentración del ión cloruro y relación cloruro/bicarbonato, al igual que ocurre con la conductividad eléctrica, se ha observado que para las masas identificadas en riesgo por intrusión, los datos históricos presentan una elevada heterogeneidad. Por este motivo, no ha sido posible establecer niveles de referencia para dichos parámetros.

A pesar no haber podido establecer niveles de referencia de un modo riguroso, se han seleccionado aquellos rangos de valores considerados para cada parámetro, en las masas de agua subterránea en riesgo por intrusión, con objeto de establecer un orden de magnitud aproximado para cada indicador.

CÓDIGO MASA	NOMBRE MASA	NIVEL DE REFERENCIA		
		Cloruros (mg/l)	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Relación Cl/ HCO_3
062.010	SANÚCAR-CHIPIONA-ROTA-SANTA MARÍA	1.595	6.000	11,3
062.011	PUERTO REAL	444	1.980	2,3
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	815,9	2.990	4,4
062.013	BARBATE	252	1.495	1

5.2.1.3. Revisión de antecedentes

Como punto de partida se han considerado los 'valores' de referencia establecidos para las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, en el marco de estudios previos, entre los que destacan los trabajos de *Adecuación de las masas de agua subterránea de la cuenca del Guadalete y Barbate a los requerimientos de la Directiva 2000/60/CE (2008)*.

Por tanto, para el establecimiento de niveles de referencia en la demarcación se ha revisado la información disponible referente a datos históricos con el fin de, bien confirmar la validez los valores de referencia expuestos previamente, o bien establecer unos niveles de referencia más representativos y acordes con los criterios de evaluación del estado químico de las aguas subterráneas con arreglo a la Directiva 2006/118/CE.

5.2.1.4. Análisis estadístico

Con el objetivo de aplicar la metodología expuesta con anterioridad para el establecimiento de niveles de referencia en aquellas masas de agua subterránea en las que no se han estimado o bien, requieren de una revisión, se ha desarrollado un procedimiento de análisis estadístico de los datos de acuerdo con la metodología propuesta en el proyecto BRIDGE. De este modo, el análisis estadístico se ha realizado en base a percentiles, y no a valores medios, con el fin de evitar sesgos derivados de la presencia de valores extremos.

Los percentiles se han calculado aplicando la metodología propuesta en el proyecto BRIDGE, en la cual se recomienda utilizar el valor del percentil 90 obtenido a partir de todos los datos registrados en los puntos de control de la masa de agua que no hayan estado afectados por contaminación humana, siempre y cuando exista un número limitado de muestras (menos de 60) o cuando no se hayan podido excluir los datos influenciados por impactos antrópicos.

Por el contrario, cuando exista un número elevado de muestras (más de 60) y se tenga la certeza de que los datos no están influenciados por impactos antrópicos, se propone utilizar el percentil 97,7.

El procedimiento estadístico realizado, siguiendo las pautas establecidas en el proyecto BRIDGE, y en consonancia con la metodología desarrollada en otras demarcaciones hidrográficas de carácter intra e intercomunitario, es el siguiente:

- ✓ Nº Total Estaciones
- ✓ Nº Total Muestras
- ✓ Valor Medio
- ✓ Mediana
- ✓ Percentil 90
- ✓ Percentil 97,7

Asimismo, este análisis se ha realizado de manera individualizada para cada masa de agua subterránea y cada parámetro.

5.2.1.5. Origen natural/antrópico de los parámetros analizados

Como criterio general y puesto que, en base a los datos disponibles, no se ha podido determinar con claridad el origen natural/antrópico de determinados parámetros, se ha estimado oportuno establecer como nivel de referencia para la totalidad de los parámetros analizados el valor del percentil 90; propuesto por el Proyecto BRIDGE para aquellos casos en los que haya número limitado de muestras o no se hayan podido excluir los datos influenciados por impactos antrópicos.

De manera adicional, se han tenido en cuenta las recomendaciones recogidas en el proyecto BRIDGE, el cual propone un criterio basado en la concentración de nitratos para discriminar los datos afectados por contaminación humana de los de origen natural, basado en el valor **NO₃ > 10 mg/l**. De igual modo, en el caso práctico nº 3 incluido en la Guía nº 18. Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la

evaluación de tendencias, se propone un criterio adicional para la detección de influencias antrópicas, en el cual, además de utilizar la concentración de $\text{NO}_3 > 10 \text{ mg/l}$, se utiliza la concentración de cloruros, **Cl > 200 mg/l** como valor a partir del cual se considera que la muestra está influenciada por la acción antrópica. No obstante este criterio no se ha tenido en cuenta, ya que el quimismo de las aguas subterráneas analizadas en la zona referida en el caso práctico de la Guía nº 18, no se puede comparar con el que presentan las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

Por los motivos anteriormente expuestos parece evidente que el establecimiento de niveles de referencia para el caso de los nitratos, se ha tratado de manera particular. En primer lugar, y siguiendo la recomendación propuesta en el Proyecto BRIDGE para el caso específico de los nitratos, se excluyeron todas aquellas muestras que presentaban una concentración $>10 \text{ mg/l}$. Sin embargo, tras el proceso de filtrado, el porcentaje de muestras restantes no ha considerado representativo y por tanto, este criterio, con carácter restrictivo, no se ha aplicado durante el establecimiento de niveles de referencia.

De este modo, el procedimiento general ha consistido en establecer el valor del percentil 90 basado en la totalidad de las muestras para, posteriormente, aplicar las recomendaciones del Proyecto BRIDGE. Así, los niveles de referencia, para el caso de los nitratos, se han establecido en base a:

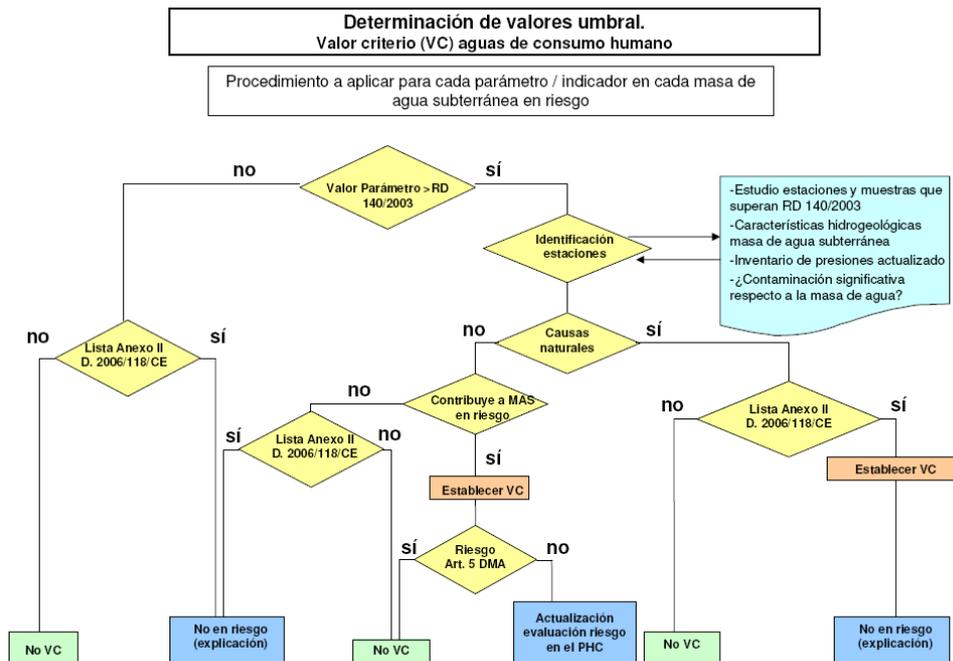
- Si el percentil 90 del total de muestras es inferior a 10 mg/l , se establece como nivel de referencia el percentil 90.
- Si el percentil 90 del total de las muestras es superior a 10 mg/l , se establece como nivel de referencia el valor de 10 mg/l .

De esta forma, y con el objetivo de establecer unos valores que no estén influenciados antrópicamente, el nivel de referencia establecido para la concentración de nitratos siempre será $\leq 10 \text{ mg/l}$.

5.2.2. ESTABLECIMIENTO DE VALORES UMBRAL

En cumplimiento de las disposiciones establecidas en la Directiva 2006/118/CE se han establecido valores umbral en aquellas masas de agua subterránea identificadas en riesgo químico y para aquellos contaminantes o grupos de contaminantes que han contribuido a dicha caracterización. Asimismo, se han teniendo en cuenta las directrices y relación mínima de contaminantes contempladas en el anexo II de dicha Directiva.

El esquema seguido para la determinación de los valores umbral, facilitado por el Área de Recursos Subterráneos (ARS) de la Dirección General del Agua, es el siguiente:



5.2.2.1. Masas de agua subterránea y parámetros analizados

De acuerdo con las disposiciones recogidas en el apartado A del Anejo II de la Directiva 2006/118/CE, se han establecido los valores umbral para todos los contaminantes que, con arreglo a la caracterización efectuada en conformidad con el artículo 5 de la Directiva 2000/60/CE, determinan aquellas masas o grupos de masas de agua subterránea en riesgo de no alcanzar un buen estado químico *teniendo en cuenta*, además, las directrices recogidas en el artículo 3 de la Directiva 2006/118/CE, así como la relación mínima de contaminantes contempladas en el apartado B del Anexo II de dicha Directiva:

Sustancias o iones o indicadores presentes de forma natural y/o como resultado de actividades humanas	Sustancias sintéticas artificiales	Parámetros indicativos de salinización u otras intrusiones ⁽¹⁾
Arsénico	Tricoloroetileno	Conductividad
Cadmio	Tetracloroetileno	⁽¹⁾ Por lo que se refiere a las concentraciones salinas resultantes de actividades humanas, los Estados miembros podrán optar por establecer valores umbral bien para el cloruro y el sulfato, bien para la conductividad.
Plomo		
Mercurio		
Amonio		
Cloruro		
Sulfato		

Tabla 5.2.2.1.1. Anexo II. Parte B de la Directiva 2006/118/CE. Lista mínima de contaminantes y sus indicadores para los que los Estados miembros deben establecer valores umbral de acuerdo con lo dispuesto en el Art. 3

En la Guía nº 18. Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias, se recoge una nota explicativa acerca de los parámetros recogidos en la tabla anterior.

“Teniendo en cuenta...” no significa que la determinación de valores umbral para todos los parámetros del Anexo II.B sea obligatoria. Asimismo, es obligatorio asignar valores umbral para otras sustancias/parámetros que no están en la lista, pero que contribuyen a que la masa de agua subterránea esté en riesgo.

Por este motivo solamente se han establecido valores umbral para aquellos parámetros que hayan contribuido a la clasificación de una determinada masa de agua como en riesgo. Como excepción, destacar el establecimiento de valor umbral para:

- Determinados parámetros para los que se hayan registrado concentraciones actuales elevadas, aunque en un principio, estos parámetros no contribuyeron a la identificación del riesgo. Este es el caso de la concentración de nitratos registrada en las masas de agua subterránea codificadas como 062.001, 062.007 y 062.011.

Seguidamente, para discriminar los parámetros indicadores de contaminación que han sido determinantes en los trabajos de identificación del riesgo, se han tenido en cuenta los resultados obtenidos en los trabajos de identificación de presiones y evaluación de impactos realizados en cumplimiento con el artículo 5 de la Directiva 2000/60/CE, así como los resultados de los trabajos derivados de la caracterización adicional.

En la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, las masas de agua subterránea identificadas en riesgo así como los parámetros indicadores utilizados para el establecimiento de dicho riesgo, sobre los que se han establecido valores umbral, se han extraído del *Estudio de las repercusiones de la actividad humana en el estado de las aguas subterráneas* elaborado en el año 2008 en el marco de los trabajos de *Adecuación de las masas de agua subterránea de la cuenca del Guadalete y Barbate a los requerimientos de la Directiva 2000/60/CE*.

Código masa	Nombre masa	Riesgo	Tipo de impacto	Parámetros determinantes en la identificación del riesgo
062.001	SETENIL	En estudio	Puntual	-
062.002	SIERRA DE LÍBAR	Nulo	-	-
062.003	SIERRA DE LÍJAR	Nulo	-	-
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY	Nulo	-	-
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA-VILLAMARTÍN	En estudio	Difusa	Nitratos, conductividad
062.006	SIERRA VALLEJA	En estudio	Difusa	Nitratos, conductividad
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	Nulo	-	-
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	Seguro	Difusa, puntual	Nitratos, conductividad

Código masa	Nombre masa	Riesgo	Tipo de impacto	Parámetros determinantes en la identificación del riesgo
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	Seguro	Difusa, puntual	Nitratos, conductividad
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-PTO. SANTA MARÍA	Seguro	Difusa, puntual, intrusión	Nitratos, conductividad, cloruros, Cl/HCO ₃
062.011	PUERTO REAL	En estudio	Puntual, intrusión	Conductividad, cloruros, Cl/HCO ₃
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	Seguro	Difusa, puntual, intrusión	Nitratos, conductividad, cloruros, Cl/HCO ₃
062.013	BARBATE	Seguro	Difusa, puntual, intrusión	Nitratos, conductividad, cloruros, Cl/HCO ₃
062.014	BENALUP	Seguro	Difusa, puntual	Nitratos, conductividad

Los parámetros identificados en dicho estudio como indicadores del impacto asociado a cada fuente de contaminación, en las masas de agua subterránea identificadas en riesgo, son:

- **Contaminación difusa:** El parámetro hidroquímico considerado como indicador de impacto por contaminación difusa es la concentración en nitratos, cuyo valor umbral coincide con la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l).

Adicionalmente, en aquellos casos en los que la concentración de nitratos no resultó determinante, se realizó un análisis de tendencias de la conductividad eléctrica. Por este motivo, se ha estimado oportuno establecer valor umbral para este parámetro.

- **Contaminación puntual:** Los resultados del análisis de presiones por fuentes de contaminación puntual fueron directamente utilizados para la evaluación del riesgo asociado a este tipo de presiones. De esta forma, aquellas masas de agua subterránea sometidas a presiones significativas fueron evaluadas como masas de agua subterránea con riesgo en estudio, y aquellas masas sometidas a presiones no significativas o no sometidas a presiones puntuales, fueron catalogadas como fuera de riesgo.

Por tanto, para este tipo de contaminación, al no disponer de parámetros indicadores, no es posible establecer valores umbral.

- **Contaminación por intrusión:** Los parámetros utilizados como indicadores de impacto por intrusión han sido el anión cloruro, la conductividad eléctrica y la relación iónica cloruros/bicarbonato.

5.2.2.2. Establecimiento de los valores umbral

En cumplimiento con el procedimiento recogido en la Guía nº 18, [...] “cuando se determinen los valores umbral, deberán considerarse dos tipos de criterios: criterios medioambientales y criterios de uso. Los Estados miembros establecerán el valor umbral medioambiental utilizando una comparación entre los niveles de referencia (NR) y el valor criterio (VC). El valor criterio es una concentración de un contaminante, que sin tener en cuenta ninguna concentración natural de referencia, en caso de ser superada puede resultar en el incumplimiento de uno o más de los criterios de buen estado. Los VC deben tener en cuenta la evaluación de riesgo y las funciones de las aguas subterráneas”.

Cuando se comparan los niveles de referencia con los valores criterio, pueden presentarse dos casuísticas:

- ✓ *Caso 1: El NR es menor que el VCI (valor criterio de intrusión). En ese caso, los Estados miembros definirán los valores umbral según sus estrategias nacionales y una evaluación de riesgo, permitiendo que se establezca un valor umbral por encima del nivel de referencia, siempre que pueda justificarse claramente.*
- ✓ *Caso 2: El NR es mayor que el VCI. En ese caso, el valor umbral debe ser igual al nivel de referencia.*

En cumplimiento con estas premisas, a continuación se definen los criterios aplicados:

- Criterios de uso

Se ha aplicado la metodología propuesta por el Área de Recursos Subterráneos (ARS) de la Dirección General del Agua, la cual propone la definición de los valores umbral en función de criterios de uso. En concreto, ésta se ha centrado en el uso de agua para consumo humano (ACH), considerándose los valores paramétricos a los que hace referencia el *Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano (BOE 45/2003, de 21 de febrero)*.

- Criterios medioambientales

En aquellas masas de agua subterránea en riesgo químico asociado a procesos de intrusión, se ha aplicado, de manera adicional, el criterio medioambiental incluido en la Guía nº 18, en cual dispone que *“el valor umbral pertinente para la salinización u otras intrusiones será el nivel de referencia para los parámetros clave, puesto que es el valor medioambiental más adecuado que se puede usar cuando se examina si se ha producido alguna intrusión provocada por las actividades humanas.”*

Sin embargo, tras el análisis de los datos disponibles, no ha sido posible establecer valor umbral según criterios medioambientales, al no poder diferenciar los valores afectados antrópicamente de los que no lo están.

Por los motivos anteriormente expuestos, se han establecido valores umbral en función de criterios de uso para todos los parámetros e indicadores de contaminación que hayan contribuido a la identificación del riesgo en las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación, independiente del origen de la fuente de contaminación.

De manera adicional se ha establecido un valor umbral (orientativo) en función de criterios medioambientales, para todos los parámetros e indicadores de contaminación que hayan resultado determinantes en la evaluación del riesgo *por intrusión*.

En las masas de agua subterránea que presentan riesgo *en estudio*, se ha establecido el valor umbral correspondiente en función del tipo de impacto identificado (asociado a contaminación puntual o intrusión).

De manera adicional se ha establecido valor umbral para aquellos parámetros que, aún no habiendo resultado determinantes en la evaluación del riesgo, se ha recomendado su seguimiento al presentar valores elevados.

5.2.2.3. Parámetros con normas de calidad específicas: Nitratos y plaguicidas

El artículo 3 de la Directiva 2006/118/CE establece los criterios para la evaluación del estado químico de las aguas subterráneas [...] *A efectos de la evaluación del estado químico de una masa de agua subterránea [...] los Estados miembros utilizarán los criterios siguientes:*

(a) las normas de calidad de las aguas subterráneas recogidas en el Anexo I;

(b) Los valores umbral que establezcan los Estados miembros de conformidad con el procedimiento descrito en la parte A del Anexo II [...].”

Por tanto, para aquellos parámetros que dispongan de una norma de calidad específica (nitratos y plaguicidas), no se han establecido valores umbral, ya que para estos parámetros deberán considerarse los valores paramétricos incluidos en las normas de calidad y que se presentan resumidos en el Anexo I de la directiva 2006/118/CE:

Contaminante	Normas de calidad
Nitratos	50 mg/l
Sustancias activas de los plaguicidas, incluidos los metabolitos y los productos de degradación y reacción que sean pertinentes ⁽¹⁾	0,1 µg/l
	0,5 µg/l (total) ⁽²⁾
⁽¹⁾ Se entiende por “plaguicidas” los productos fitosanitarios y los biocidas definidos en el artículo 2 de la Directiva 91/414/CEE y el artículo 2 de la Directiva 98/8/CE, respectivamente.	
⁽²⁾ Se entiende por “total” la suma de todos los plaguicidas concretos detectados y cuantificados en el procedimiento de seguimiento, incluidos los productos de metabolización, los productos de degradación y los productos de reacción.	

Tabla 5.2.2.3.1. Normas de calidad de las aguas subterráneas. Anexo I de la Directiva 2006/118/CE

5.2.3. ESTABLECIMIENTO DE NIVELES BÁSICOS

De acuerdo con las disposiciones recogidas en la Directiva 2006/118/CE, el nivel básico de un parámetro corresponde al “*valor medio medido por lo menos durante los años de referencia 2007 y 2008 sobre la base de los programas de control aplicados con arreglo al artículo 8 de la Directiva 2000/60/CE o, en el caso de sustancias identificadas después de los citados años de referencia, durante el primer periodo para el que se disponga de un periodo representativo de datos de control*”.

La información de partida utilizada para el establecimiento de niveles básicos se ha basado en los datos registrados en los programas de control aplicados con arreglo al artículo 8 de la Directiva 2000/60/CE a partir de los cuales, se ha pretende obtener una aproximación a los niveles básicos exigidos por la Directiva 2006/118/CE. Asimismo, tras el análisis de la información disponible, se vuelve a poner de manifiesto las carencias existentes en relación con los programas de seguimiento, lo que imposibilita dar un cumplimiento riguroso a las pautas marcadas en dicha Directiva.

El establecimiento de niveles básicos se ha realizado siguiendo la metodología más adecuada, en función de la información disponible, y utilizando como documento de referencia la Guía nº 18. *Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias.*

5.2.3.1. Discretización de datos

El establecimiento de los niveles básicos se ha realizado en base a los datos registrados en las estaciones integradas en la *Red de control de seguimiento químico* establecida con arreglo al artículo 8 de la Directiva 2000/60/CE. Las tareas de discretización se han centrado en dos aspectos:

5.2.3.1.1. Límites geográficos de las masas de agua subterránea

Se ha realizado un cruce por localización espacial entre la cobertura de puntos pertenecientes a las redes de control y los límites de las masas de agua subterránea, considerando representativos solamente aquellos puntos localizados dentro del perímetro de la masa.

5.2.3.1.2. Selección de registros analíticos adaptada a la Directiva 2006/118/CE

El siguiente paso en el proceso de discretización ha sido el establecimiento del rango temporal de muestreo adecuado para cada masa de agua subterránea. De este modo, siguiendo las directrices marcadas por la Directiva 2006/118/CE, los niveles básicos se establecerán en base a los años de referencia 2007 y 2008, como mínimo, por lo que se han excluido los análisis realizados con anterioridad a dicha fecha, (año 2006).

Sin embargo, debido a un registro de datos insuficiente, no siempre que ha sido posible considerar los datos relativos a los años 2007 y 2008 para cada masa de agua y cada parámetro. En este caso se ha procedido del siguiente modo:

1. Datos 2007-2008: esta selección se ha realizado cuando existe, al menos, un análisis del parámetro durante los años (2007 y 2008), para el conjunto de puntos considerados.
2. Datos 2008-2009: esta selección se ha realizado cuando no se cumplen las condiciones establecidas en el supuesto 1, pero se dispone, al menos, de un análisis del parámetro durante los años (2008 y 2009), para el conjunto de puntos considerados.
3. Datos 2007 y 2009: esta selección se ha realizado cuando se incumplen los supuestos 1 y 2, pero se dispone, al menos, de un análisis del parámetro para los años 2007 y 2009.

En aquellos casos en los que para una determinada masa de agua subterránea o parámetro, se incumplen los tres supuestos, no se ha establecido nivel básico.

Por otra parte, aunque para el establecimiento de niveles básicos no se hayan establecido criterios de representatividad en función de la densidad de muestras, se ha considerado que los valores medios calculados a partir de un registro inferior a 5 muestras, son poco representativos.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las series temporales seleccionadas en cada masa de agua, así como el número de estaciones y muestras considerado para el establecimiento de los niveles básicos:

Código masa	Nombre masa	Serie temporal	Estaciones/Muestras
062.001	SETENIL	2007-2008	4/11
062.002	SIERRA DE LÍBAR	- *	- *
062.003	SIERRA DE LÚJAR	2008-2009	1/4
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY	2007-2008	7/18
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA-VILLAMARTÍN	2007-2008	5/17
062.006	SIERRA VALLEJA	- *	- *
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	- *	- *
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	2007 y 2009	3/11
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	2007 y 2009	5/14
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-SANTA MARÍA	2007-2008	5/15
062.011	PUERTO REAL	2007-2008	2/5
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	2007-2008	3/7
062.013	BARBATE	2007-2008	8/14
062.014	BENALUP	2008-2009	3/7
TOTAL			46/123

* No se ha establecido nivel básico a falta de un registro analítico representativo

5.3. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presenta una tabla sintética en la que se recogen los resultados obtenidos tras la aplicación de las metodologías propuestas en los apartados 5.2.1, 5.2.2 y 5.2.3 del presente documento. Debido a la gran cantidad de datos procesados, en esta tabla solamente se han representado aquellos parámetros contaminantes o indicadores de contaminación que han resultado determinantes en la evaluación de las masas en riesgo: cloruros, conductividad y nitratos. Asimismo, en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate se han incluido los datos relativos a la relación cloruro/bicarbonato, al considerarse éste como un indicador de contaminación por intrusión (durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea).

Paralelamente, para la consulta de los resultados relativos a aquellos parámetros que no contribuyeron a la evaluación del riesgo, se invita al interesado a consultar las tablas dinámicas generadas al efecto en el marco del presente trabajo (adjuntas a la memoria).



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



Código masa	Nombre masa	Parámetro	Nivel de Referencia	Valor Umbral (ACH)	Valor Umbral (Intrusión)	Nivel Básico
062.001	SETENIL	Cloruros	84,40	C	D	32,95
		Conductividad	A	C	D	633,64
		Nitratos	10,00	H	D	19,22
		Relac. Cl/HCO ₃	0,46	C	D	4,93
062.002	SIERRA DE LÍBAR	Cloruros	A	B	D	L
		Conductividad	A	B	D	L
		Nitratos	A	B	D	L
		Relac. Cl/HCO ₃	A	B	D	L
062.003	SIERRA DE LÚJAR	Cloruros	A	B	D	14,84
		Conductividad	A	B	D	499,75
		Nitratos	A	B	D	2,63
		Relac. Cl/HCO ₃	A	B	D	0,07
062004	SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY	Cloruros	60,00	B	D	116,89
		Conductividad	602,00	B	D	839,61
		Nitratos	10,00	B	D	10,14
		Relac. Cl/HCO ₃	0,41	B	D	0,44
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA-VILLAMARTÍN	Cloruros	206,50	F	D	91,19
		Conductividad	820,60	820,6-2.500	D	721,94
		Nitratos	10,00	H	D	44,72
		Relac. Cl/HCO ₃	1,11	F	D	0,73
062.006	SIERRA VALLEJA	Cloruros	A	F	D	L
		Conductividad	A	E	D	L
		Nitratos	A	H	D	L
		Relac. Cl/HCO ₃	A	F	D	L
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	Cloruros	63,50	B	D	L
		Conductividad	978,50	B	D	L
		Nitratos	3,00	H	D	L
		Relac. Cl/HCO ₃	0,45	B	D	L
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	Cloruros	A	J	D	319,10
		Conductividad	A	E	D	1.674,91
		Nitratos	A	H	D	31,80
		Relac. Cl/HCO ₃	A	J	D	1,61
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	Cloruros	221,00	J	D	481,99
		Conductividad	1.549,00	1.549-2.500	D	2.682,21
		Nitratos	10,00	H	D	146,57
		Relac. Cl/HCO ₃	4,41	J	D	2,75
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-PTO. SANTA MARÍA	Cloruros	K	E	E	987,55
		Conductividad	K	E	E	3.796,73
		Nitratos	10,00	H	G	179,16
		Relac. Cl/HCO ₃	K	E	E	5,90



Código masa	Nombre masa	Parámetro	Nivel de Referencia	Valor Umbral (ACH)	Valor Umbral (Intrusión)	Nivel Básico
062.011	PUERTO REAL	Cloruros	K	E	E	173,00
		Conductividad	K	E	E	1.071,00
		Nitratos	10,00	H	I	55,88
		Relac. Cl/HCO ₃	K	E	E	0,99
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	Cloruros	K	E	E	73,30
		Conductividad	K	E	E	710,00
		Nitratos	10,00	H	G	20,06
		Relac. Cl/HCO ₃	K	E	E	0,48
062.013	BARBATE	Cloruros	K	E	E	221,94
		Conductividad	K	E	E	1.259,71
		Nitratos	10,00	H	G	57,42
		Relac. Cl/HCO ₃	K	E	E	1,29
062.014	BENALUP	Cloruros	62,50	J	D	40,51
		Conductividad	683,80	683,8-2.500	D	603,29
		Nitratos	10,00	H	D	65,56
		Relac. Cl/HCO ₃	0,73	J	D	0,23

- A No se establece NR a falta de un número de registros analíticos representativo
- B No se establece VU debido a que la masa de agua subterránea no está identificada como en riesgo
- C No se establece VU ya que para el riesgo asociado a fuentes de contaminación puntual, se carece de parámetros indicadores de contaminación
- D No se establece VU porque la masa de agua subterránea no presenta riesgo por intrusión salina
- E No se establece VU porque no se dispone de NR
- F No se establece VU porque no es un parámetro indicador de contaminación difusa
- G No se establece VU porque no es un parámetro indicador de contaminación por intrusión
- H No requiere el establecimiento del VU ya que le aplica una norma de calidad específica (Anejo I de 2006/118/CE)
- I No se establece VU porque no es un parámetro indicador de contaminación por intrusión o contaminación puntual
- J No se establece VU porque no es un parámetro indicador de contaminación difusa ni contaminación puntual
- K No se establece NR ya que no se dispone de un registro histórico representativo del estado original de la masa de agua subterránea (sin procesos de intrusión)
- L No se establece NB a falta de un registro analítico representativo

Tabla 5.3.1. Resultados obtenidos: niveles de referencia, niveles básicos y valores umbral

5.4. DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS Y SOSTENIDAS AL AUMENTO Y DEFINICIÓN DE LOS PUNTOS DE PARTIDA DE LAS INVERSIONES DE TENDENCIAS

5.4.1. PARÁMETROS ANALIZADOS

En conformidad con el apartado 2.4.4. del Anexo V de la Directiva 2000/60/CE y del artículo 5.1. de la Directiva 2006/118/CE, se han determinado las tendencias significativas y sostenidas al aumento de las concentraciones de los contaminantes, grupos de contaminantes o indicadores de contaminación, detectada en las masas y grupos de masas de agua subterránea evaluadas en riesgo de no alcanzar un buen estado químico.

Para la definición de los puntos de partida de las inversiones de tendencias se han seguido las directrices recogidas en la Guía nº 18. Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias, en la que se dispone que “*el punto de partida de la inversión de tendencias se establecerá en relación con las normas de calidad de las aguas subterráneas recogidas en el Anexo I de la Directiva 2006/118/CE y/o los valores umbral establecidos en el artículo 3 para parámetros que supongan un riesgo para la masa de agua subterránea. Se considera, por consiguiente, que debe realizarse una evaluación de las tendencias y de la inversión de éstas para los parámetros que representen un riesgo para la masa de agua subterránea*”.

Por tanto, la determinación de tendencias y el establecimiento de los puntos de partida de las inversiones de tendencias se ha realizado para aquellos parámetros que hayan contribuido a la clasificación de las masas en riesgo. Para ello, los parámetros analizados han sido los siguientes:

- ✓ Cloruros
- ✓ Conductividad
- ✓ Nitratos
- ✓ Relación Cloruro/Bicarbonato GB

Tal y como se propone en la Guía nº 18. *Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias* para la evaluación del estado químico, se han sustituido los valores registrados inferiores al Límite de Cuantificación (LC) por valores iguales a la mitad del LC (LC/2).

No obstante, se han identificado 5 muestras en las que la concentración en nitratos registrada es inferior al límite de cuantificación. En este caso, el valor aplicado es el siguiente:

Rango temporal	LC (mg/l)	Nº Muestras afectadas	Estaciones	Resultado del análisis (mg/l)	Sustituido por LC/2 (mg/l)
Hasta 2002	1	5	AA00010098 (5)	0	0,5

5.4.2. DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS Y SOSTENIDAS AL AUMENTO

Los datos analíticos disponibles corresponden con los registrados en los puntos de muestreo que integran las redes de seguimiento de control de vigilancia y operativo, establecidas en el año 2006, así como los datos históricos registrados en dichas estaciones, con anterioridad al establecimiento de estas redes.

De este modo, tal y como se indica en la Guía nº 18. Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias, “*la evaluación de tendencias y de la inversión de las tendencias se basará en los datos obtenidos en los controles de vigilancia y operativo en los distintos puntos de control. Esta determinación de tendencias se llevará a cabo por primera vez en 2009, si es posible, y teniendo en cuenta los datos recopilados con anterioridad al ciclo en curso del Plan Hidrológico de Cuenca (PCH), a fin de permitir una evaluación fiable de las tendencias e informar sobre las mismas en el primer PHC (anexo IV A, 2.a,ii y anexo IV A,3)*”.

En la siguiente tabla se sintetizan los registros analíticos empleados para la determinación de tendencias significativas y sostenidas al aumento en las masas de agua subterránea clasificadas en riesgo (obtenidos en los controles de vigilancia y operativo de la red de seguimiento, así como en los datos históricos previos al establecimiento de dicha red):

CÓDIGO MASA	NOMBRE MASA	SERIE TEMPORAL	ESTACIONES/ MUESTRAS
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA-VILLAMARTÍN	1977-2009	8 / 99
062.006	SIERRA VALLEJA	2009	1/1
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	2005-2009	3/18
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	1982-2009	5/36
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-SANTA MARÍA	1983-2009	9/172
062.011	PUERTO REAL	1982-2009	3/64
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	2005-2009	5/20
062.013	BARBATE	1982-2009	9/63
062.014	BENALUP	1994-2009	3/13
TOTAL			46/486

Por otra parte, la evolución temporal de dichos registros analíticos se ha comparado con los niveles básicos y los valores paramétricos relativos a normas de calidad, teniendo en cuenta, siempre que exista disponibilidad, las concentraciones de referencia naturales (niveles de referencia) y los valores umbral. La determinación de tendencias para los casos en los que no ha sido posible el establecimiento de niveles de referencia y valores umbral se ha evaluado en función del valor criterio basado en aguas de consumo humano (ACH) recogido en el RD 140/03.

Para el desarrollo de dicho análisis se han generado una serie de gráficos de evolución, en los cuales se ha representado de manera individualizada cada parámetro, en relación a cada estación y cada masa de agua subterránea. Asimismo, en dichos gráficos se han añadido los valores correspondientes a los niveles de referencia, valores umbral o normas de calidad, así como los niveles básicos establecidos para cada caso.

Existen determinados casos en los que el valor umbral obtenido no se corresponde con un valor fijo, sino a un rango entre dos valores: por un lado, el Nivel de Referencia (NR) como límite inferior del rango, y por otro, el Valor Criterio (VC) como límite superior del rango; (en este caso, el VC se ha basado en los valores paramétricos de calidad de aguas de consumo humano establecidos según el RD 140/03). Cuando esto ocurre, se ha establecido como valor umbral, a efectos de la evaluación de tendencias, el correspondiente al VC por encontrarse éste dentro de los límites permitidos según los criterios de uso establecidos.

Sólo para aquellos casos en los que una determinada masa de agua subterránea presenta *riesgo por intrusión*, se ha procurado establecer como valor umbral el obtenido mediante criterios medioambientales, por ser el más restrictivo. Finalmente, tras el análisis de los datos disponibles en masas de agua en riesgo por intrusión, no ha sido posible establecer un valor umbral según criterios medioambientales, ya que los datos resultan insuficientes.

5.4.3. PUNTO DE PARTIDA DE INVERSIÓN DE TENDENCIAS

Según se recoge en la Guía nº 18. Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias, "los estados miembros definirán el punto de partida de las inversiones de tendencia de manera que se puedan invertir las tendencias en el tiempo para evitar un (futuro) incumplimiento de los objetivos medioambientales pertinentes. Este punto de partida se definirá como porcentaje de la norma de calidad de las aguas subterráneas o del valor umbral correspondiente, y se notificará en el PHC."

Por tanto, en cumplimiento con dichas premisas, el punto de partida de inversión de tendencias se ha definido como un porcentaje de la norma de calidad o valor umbral referente a cada parámetro, tomando como referencia el porcentaje considerado por defecto en el punto 1 del apartado B del Anexo 5 de la Directiva 2006/118/CE, igual al 75%.

En el siguiente gráfico se resumen los factores que se han tenido en cuenta en la determinación de tendencias significativas e inversión de tendencias, según la metodología propuesta en la Guía nº 18.

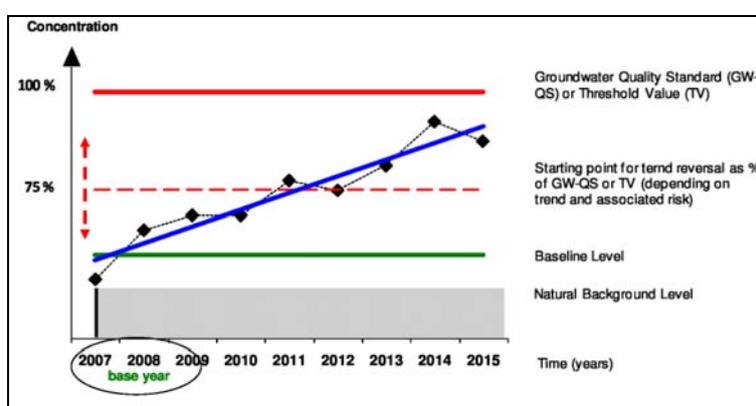


Figura 5.4.3.1. Elementos de la evaluación e inversión de tendencias

5.4.4. CONCLUSIONES DE LA DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS Y DEFINICIÓN DE LOS PUNTOS DE PARTIDA DE LAS INVERSIONES DE TENDENCIAS

El procedimiento empleado se basa en la representación gráfica de la evolución registrada para cada parámetro que haya contribuido a la clasificación en riesgo de las masas de agua subterránea. En dicho gráfico se han representado, por un lado, las líneas estáticas correspondientes a los respectivos niveles de referencia, valores umbral y niveles básicos considerados en cada caso, y por otro, las curvas de evolución correspondientes al promedio anual de los análisis para cada punto de control.

A continuación se comentan los resultados obtenidos en relación con la determinación de tendencias significativas y sostenidas al aumento y definición de los puntos de partida de las inversiones de tendencias para la totalidad de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

- **062.001. Setenil**

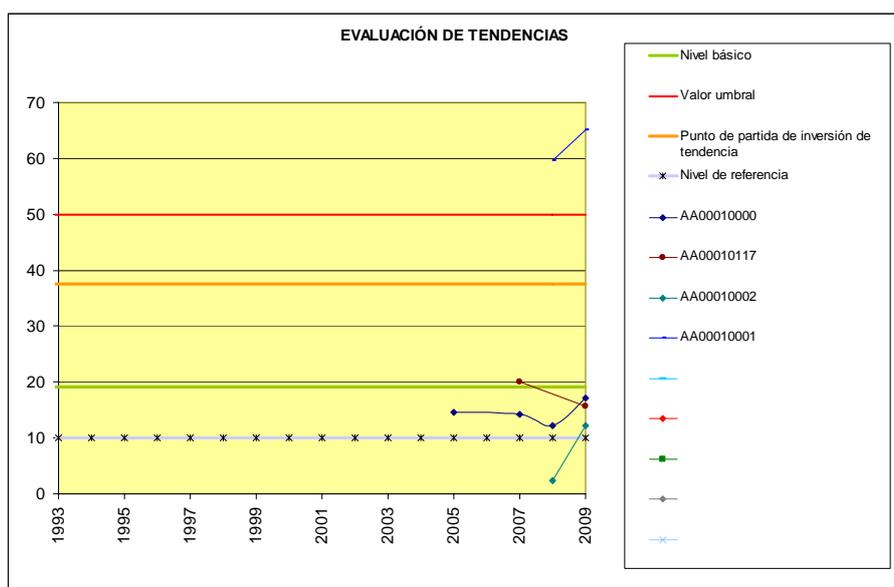
Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas

masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea 062.001 se evalúe como *riesgo en estudio* por contaminación puntual.

Asimismo, debido a la escasez de datos hidroquímicos relativos a la presencia de contaminantes (hidrocarburos, aceites, coliformes, etc.) asociados a las presiones puntuales consideradas durante los trabajos de caracterización adicional, la evaluación de esta presión se llevó a cabo mediante la aplicación de herramientas GIS, considerando la extensión o superficie de la masa afectada por fuentes de contaminación puntual: canteras, graveras, depuradoras de aguas residuales, gasolineras y vertederos, respecto a la superficie total de la masa.

Por tanto, como no se definieron parámetros indicadores de contaminación puntual, no ha sido posible evaluar las tendencias de la masa de agua subterránea para este tipo de contaminación. No obstante, se ha procurado determinar las tendencias con respecto a la concentración de nitratos, ya que en la red de seguimiento se han detectado concentraciones superiores a la norma de calidad expuesta en la Directiva 2006/118/CE para este parámetro.

- **Nitratos:** ninguna de las 4 estaciones de la red de seguimiento dispone de datos históricos previos al año 2005, por lo que, debido a la escasez de datos, no ha sido posible realizar una determinación fiable de las tendencias para este parámetro. El siguiente gráfico agrupa las curvas de tendencia de los 8 puntos de control identificados en la masa:



El valor umbral para este parámetro, establecido según la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE para la concentración de nitratos, es de 50 mg/l, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 37,5 mg/l (75 % del valor umbral). Por otra parte, el nivel básico presenta un valor de 19,22 mg/l.

A continuación se detalla brevemente la situación de los puntos de control de la masa con respecto a la concentración de nitratos: 3 de los 4 puntos de control (AA00010000, AA00010002 y AA00010117) presentan promedios actuales por debajo del punto de partida de inversión de tendencias, con valores entre 12,3 y 17,1 mg/l en los registros más recientes (2009).

Aunque debido a la escasez de datos no se puede determinar una tendencia, no se prevé un riesgo inmediato de alcanzar el punto de partida de inversión tendencias (37,5 mg/l). No obstante, se recomienda un seguimiento de dichas estaciones en un futuro con el fin de determinar una tendencia y prever un programa de medidas adecuado.

El punto de control AA00010001 presenta, en cambio, un promedio de nitratos en 2009 de 65 mg/l, superando así el valor umbral establecido para este parámetro (50 mg/l). Por este motivo, debería producirse un descenso de dichos valores en el futuro, hasta obtener valores inferiores al punto de partida de inversión de tendencias (37,5 mg/l) o, como mínimo al valor umbral (50 mg/l).

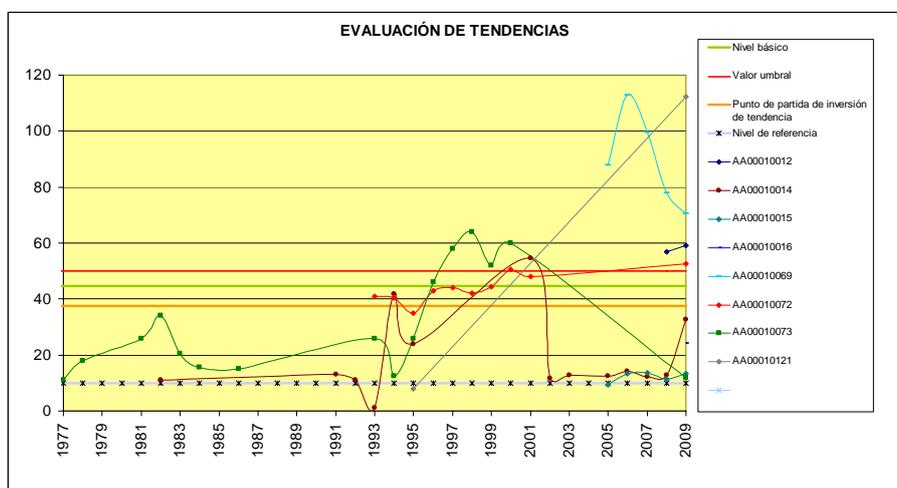
▪ **062.002. Sierra de Líbar; 062.003. Sierra de Líjar; 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey**

Las masas de agua subterránea identificadas en la zona de cabecera de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate se consideran fuera de riesgo o sin riesgo, por lo que no han requerido determinación de tendencias significativas.

▪ **062.005. Arcos de la Frontera - Villamartín**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea 062.005 presenta *riesgo* por contaminación difusa, en base a los valores de conductividad y concentración de nitratos.

- **Nitratos:** de las 8 estaciones de la red de seguimiento, sólo 5 disponen de datos históricos previos al establecimiento de la red, por lo que la determinación de tendencias se ha basado principalmente en los últimos registros. El siguiente gráfico agrupa las curvas de tendencia para los 8 puntos de control identificados en la masa de agua.



El valor umbral para este parámetro, establecido según la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE para la concentración de nitratos, es de 50 mg/l, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 37,5 mg/l (75 % del valor umbral).

El nivel básico presenta un valor de 45 mg/l, motivo por el cual la masa se ha clasificado como en mal estado químico para este parámetro.

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la masa de agua, con respecto a la concentración de nitratos:

AA00010073: localizado al noroeste de la masa, presenta un registro de datos desde el año 1977 hasta 2009, con valores que oscilan entre 11 y 64 mg/l. En el último año en el que se dispone de registro (2009), presenta un valor de 12 mg/l. En el gráfico de evolución se observa un ascenso de los valores desde el año 1977 hasta 1998, momento en el cual se supera el valor umbral en un 30 %. A partir de este momento se invierte la tendencia, descendiendo la concentración de nitratos paulatinamente hasta la actualidad. Actualmente no parece que exista riesgo inminente de alcanzar el punto de partida de inversión de tendencia (37,5 mg/l).

AA00010014: localizado al noroeste de la masa, muy próximo al punto anterior, presenta disponibilidad de datos desde el año 1982 hasta 2009, con valores que oscilan entre 1 y 54,5 mg/l. En el último año en el que se dispone de registro (2009), presenta un valor de 33 mg/l. La línea de evolución de dicho punto refleja un descenso de la concentración de nitratos entre los años 1982 y 1993, un ascenso posterior entre 1993 y 2000, llegando a superar el valor umbral en éste último. Entre 2000 y 2009, aunque no figuran datos intermedios, se observa un descenso de nitratos desde 60 hasta 12 mg/l, por lo que se deduce que el punto de control analizado se encuentra actualmente fuera de peligro de alcanzar el punto de partida de inversión de tendencia (37,5 mg/l).

AA00010072: localizado al oeste de la masa, próximo a los puntos anteriores, presenta disponibilidad de datos desde el año 1993 hasta 2009, con valores que oscilan desde 35 y 53 mg/l. Este último es el valor más alto registrado en la estación, y corresponde al dato más reciente (2009). La línea de regresión de la curva de evolución indica una tendencia ascendente de la concentración de nitratos. Actualmente, la concentración de nitratos se encuentra ligeramente por encima del valor umbral, por lo que se recomienda invertir la tendencia en este punto hasta reducir la concentración por debajo del punto de partida de inversión de tendencia (37,5 mg/l).

AA00010121: localizado al suroeste de la masa, tan sólo presenta disponibilidad de datos de los años 1995 y 2009, con 8 y 112 mg/l respectivamente. Por lo tanto, la línea de regresión de la curva de evolución indica una fuerte tendencia hacia el incremento de la concentración de nitratos, pero resulta poco fiable debido a la escasez de datos intermedios. En cualquier caso, los datos actuales muestran una concentración muy superior al valor umbral, por lo que se recomienda reducir dicha concentración por debajo del punto de partida de inversión de tendencia (37,5 mg/l).

AA00010015: localizado al suroeste de la masa, presenta disponibilidad de datos desde 2005 hasta 2009, con valores que oscilan entre 9,5 y 13 mg/l, este último correspondiente al dato más reciente (2009). La escasez de datos disponibles hace suponer que la determinación de tendencias sea poco fiable. Asimismo, aunque se observa una ligera tendencia al aumento de la concentración por nitratos, no se prevé riesgo inminente de alcanzar el punto de partida de inversión de tendencia (37,5 mg/l).

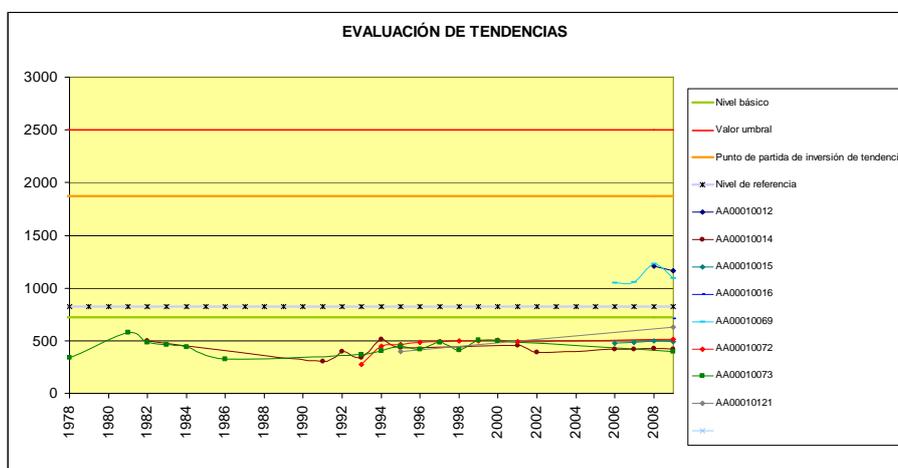
AA00010069: localizado al este de la masa, presenta disponibilidad de datos desde 2005 hasta 2009, con valores que oscilan entre 112,8 y 70,5 mg/l, éste último correspondiente al dato más reciente (2009). escasez de datos disponibles hace suponer que la determinación de tendencias sea poco fiable. No obstante, puede apreciarse que desde el año 2006 hasta la actualidad (2009), los niveles se han reducido notablemente desde 112,8 hasta 70,5 mg/l, por lo que se recomienda continuar la tendencia actual hasta descender el nivel de nitratos por debajo del punto de partida de inversión de tendencia (37,5 mg/l).

De los 2 puntos de control restantes (AA00010012 y AA00010016) los datos más antiguos disponibles corresponden al año 2008, por lo que la evaluación de tendencias en dichos puntos presenta baja fiabilidad. No obstante, uno de estos puntos (AA00010012) presenta promedios actuales por encima del valor umbral, con 59 mg/l, por lo que se recomienda reducir dicha concentración por debajo del punto de partida de inversión de tendencia (37,5 mg/l).

El punto de control AA00010016 sólo presenta un análisis de nitratos, que corresponde al año 2009, con un valor de 24,25 mg/l, por lo que actualmente no se encuentra en situación crítica con respecto a dicho parámetro.

Se recomienda, no obstante, realizar un seguimiento de ambas estaciones para validar la tendencia y prever las medidas oportunas.

- **Conductividad eléctrica:** de las 8 estaciones de la red de seguimiento, sólo 4 disponen de datos históricos previos al establecimiento de la red, por lo que la determinación de tendencias estará basada principalmente en estas últimas. El siguiente gráfico agrupa las curvas de tendencia de los 8 puntos de control de la masa:



El valor umbral para este parámetro, establecido según el RD 140/03, es de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 1.875 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (75 % del valor umbral).

El nivel básico presenta un valor de 722 $\mu\text{S}/\text{cm}$, motivo por el cual la masa se ha clasificado como en buen estado químico para este parámetro.

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la masa de agua subterránea, con respecto a la conductividad eléctrica:

AA00010073: localizado al noroeste de la masa, presenta disponibilidad de datos desde el año 1978 hasta 2009, con valores que oscilan entre 575 y 325 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El último año registrado (2009) presenta un valor de 397 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La línea de regresión de la curva indica una notable estabilidad a lo largo del tiempo, presentando una leve tendencia creciente, aunque sin riesgo de alcanzar el punto de partida de inversión de tendencia (1.875 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

AA00010014: localizado al noroeste de la masa, muy próximo al punto anterior, presenta disponibilidad de datos desde el año 1991 hasta 2009, con valores oscilantes entre 304 y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el último año

en el que se dispone de registro (2009), presenta un valor de 417 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La línea de regresión de la curva de evolución indica una notable estabilidad a lo largo del tiempo, llegando a presentar una leve tendencia negativa. Por tanto, actualmente no presenta riesgo de alcanzar el punto de partida de inversión de tendencia (1.875 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

AA00010072: localizado al oeste de la masa, próximo a los puntos anteriores, presenta disponibilidad de datos desde el año 1993 hasta 2009, con valores que oscilan entre 276 a 513 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este último es el valor más alto registrado en la estación, y corresponde al dato más reciente (2009). La línea de regresión de la curva de evolución indica una tendencia hacia el incremento de la conductividad eléctrica, por lo que, aun presentando un ascenso lento y no presentar riesgo inmediato de alcanzar el punto de partida de inversión de tendencia (1.875 $\mu\text{S}/\text{cm}$), se recomienda continuar su vigilancia.

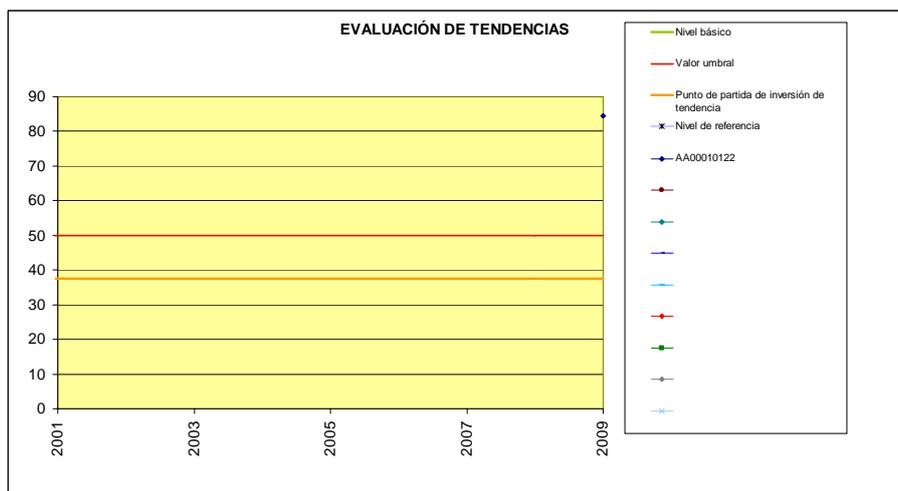
AA00010121: localizado al suroeste de la masa, tan sólo presenta disponibilidad de datos de los años 1995 y 2009, con valores de 400 y 632 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente. Por lo tanto, la línea de regresión de la curva de evolución indica una tendencia hacia el incremento de la conductividad eléctrica, pero resulta poco fiable debido a la escasez de datos intermedios. Se recomienda continuar el seguimiento de dicha estación, con objeto de verificar dicha tendencia.

De los 4 puntos de control restantes (*AA00010012*, *AA00010015*, *AA00010016* y *AA00010069*) sólo se disponen datos desde el año 2006, por lo que la evaluación de tendencias en dichos puntos es poco fiable. No obstante, se ha observado que todos los puntos presentan promedios anuales por debajo del punto de partida de inversión de tendencia, siendo los puntos *AA00010012* y *AA00010069* los que presentan los promedios actuales más elevados de la masa, 1.161 y 1.193 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, por lo que se recomienda el individualizado focalizado de ambos puntos.

- **062.006. Sierra Valleja**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea 062.006 presenta *riesgo* por contaminación difusa, en base a los valores de conductividad y concentración de nitratos.

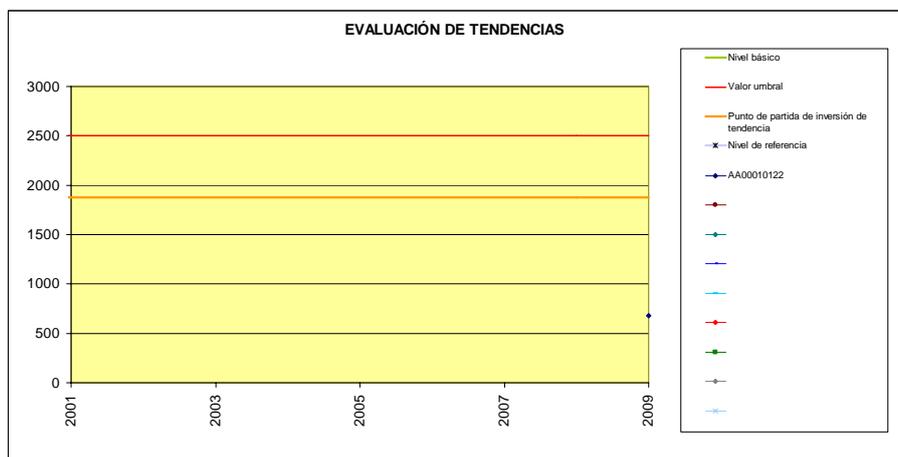
- **Nitratos**: se dispone de un análisis de nitratos, con fecha de marzo de 2009, el cual supera la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l), ya que presenta una concentración en nitratos de 85 mg/l. No obstante, aunque no ha sido posible la determinación de la tendencia para este parámetro, se representa en el siguiente gráfico la situación del análisis con respecto al valor umbral:



Debido a la escasez de datos no ha sido posible el establecimiento de nivel de referencia y nivel básico para este parámetro. El valor umbral para este parámetro, establecido según la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE para la concentración de nitratos es de 50 mg/l, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 37,5 mg/l (75 % del valor umbral).

La concentración de nitratos registrado en la muestra disponible se encuentra muy por encima del umbral establecido, motivo por el cual la masa ha sido clasificada en mal estado químico. Aunque no se puede determinar la tendencia para este parámetro, resulta obvio recomendar un descenso de la concentración por debajo del punto de partida de inversión de tendencias (37,5 mg/l).

- **Conductividad eléctrica:** en la masa 062.006 se ha identificado una estación de seguimiento en la que se ha analizado la conductividad eléctrica en una ocasión (marzo de 2009), por lo que resulta imposible la determinación de la tendencia para este parámetro. En el siguiente gráfico se representa la situación del análisis con respecto al valor umbral:



Debido a la escasez de datos no ha sido posible el establecimiento de nivel de referencia y nivel básico para este parámetro. El valor umbral para este parámetro, establecido según el RD 140/03, es de 2.500 µS/cm, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 1.875 µS/cm (75 % del valor umbral).

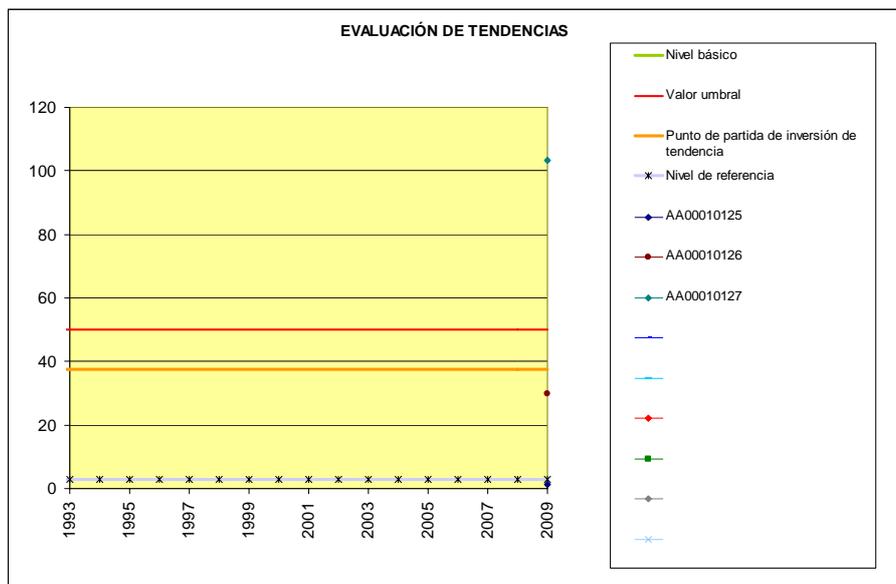
El valor de conductividad eléctrica registrado en la muestra disponible se encuentra por debajo del valor umbral establecido, por lo que, en base a la información de dicho análisis, la estación no presenta riesgo actual por conductividad eléctrica. No obstante, se recomienda el seguimiento de dicha estación con objeto de determinar la tendencia y prever con antelación una inversión en la misma (en caso de ser necesario).

▪ **062.007. Sierra de las Cabras**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea 062.007 se identifique como fuera de riesgo.

Sin embargo, tras el análisis estadístico de los datos registrados en las redes de control operativo y de vigilancia durante el periodo de Planificación Hidrológica 2006/09, se han detectado concentraciones de nitratos (para el año 2009) superiores a la norma de calidad establecida en la Directiva 2006/118/CE. Por este motivo, se ha procedido a evaluar el estado químico de la masa de agua subterránea, en relación con este indicador.

- **Nitratos:** en la masa 062.007 se han identificado 3 estaciones con análisis de nitratos, con un total de 3 muestras correspondientes al año 2009; una por estación. Debido a la insuficiencia de datos, no ha sido posible la determinación de tendencias en esta masa. En el siguiente gráfico se representan los datos de las 3 estaciones:



El valor umbral considerado para este parámetro, establecido según la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE para la concentración de nitratos, es de 50 mg/l, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 37,5 mg/l (75 % del valor umbral).

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control identificado en la masa, con respecto a la concentración de nitratos:

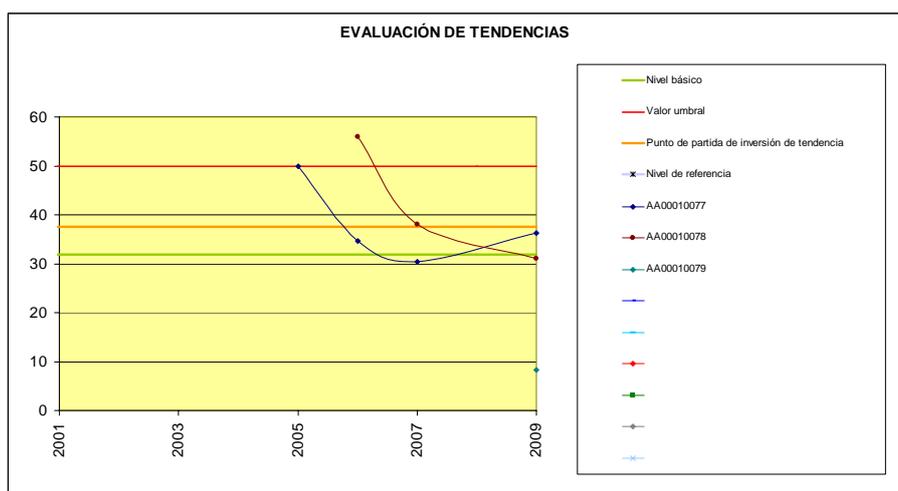
De los 3 puntos de control, 2 de ellos (AA00010125 y AA00010126) presentan valores de 1,3 y 29,8 mg/l respectivamente, por lo que son inferiores al punto de partida de inversión de tendencias (37,5 mg/l). Se recomienda un seguimiento de ambas estaciones para evitar y mitigar posibles ascensos en la concentración de nitratos.

Por el contrario, el punto AA00010127 se encuentra en una situación más crítica, con un valor de nitratos de 103 mg/l. Se recomienda adoptar las medidas necesarias para reducir la concentración de nitratos en esta estación.

▪ 062.008. Aluvial del Guadalete

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea presenta *riesgo* por contaminación puntual y difusa.

- **Nitratos**: en la masa de agua subterránea 062.008 se localizan 3 estaciones de control con análisis de nitratos, y los datos más antiguos disponibles son los relativos al año 2005. Por lo tanto, la determinación de tendencias en esta masa presenta un grado de fiabilidad bajo. En el siguiente gráfico se representan los datos de las 3 estaciones:



El valor umbral considerado para este parámetro, establecido según la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE para la concentración de nitratos, es de 50 mg/l, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 37,5 mg/l (75 % del valor umbral).

El nivel básico corresponde a 31,80 mg/l, por lo que la masa ha sido clasificada como en buen estado químico, aunque se recomienda su seguimiento, por la proximidad de este valor al punto de inversión de tendencias. A falta de un registro analítico representativo, no ha sido posible el establecimiento de nivel de referencia para este parámetro.

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la masa de agua subterránea, con respecto a la concentración de nitratos:

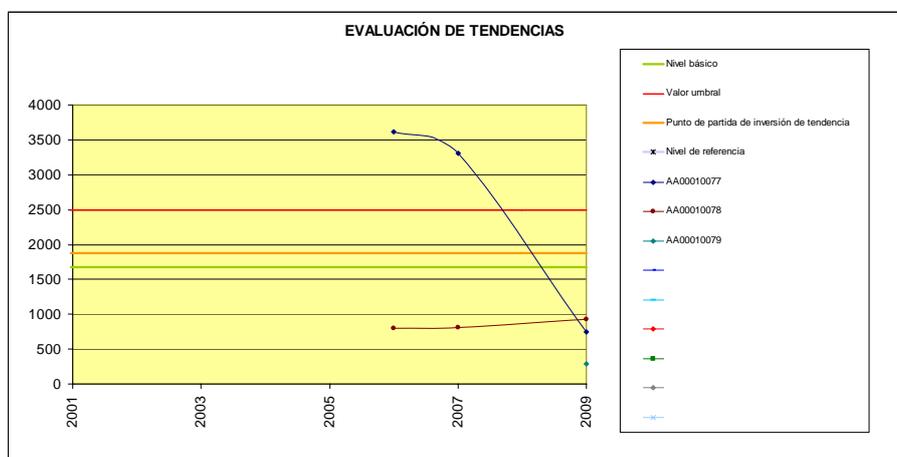
AA00010077: localizado al oeste de la masa, presenta disponibilidad de datos durante los años 2005 y 2009, con valores que oscilan entre 30 y 50 mg/l. La última muestra disponible (2009) presenta un valor

de 36 mg/l. La línea de regresión de la curva indica, a rasgos generales, un descenso prolongado, desde los 50 mg/l en 2005 (alcanzando el valor umbral) hasta los 30 mg/l en 2007. Sin embargo, en las 2 últimas medidas se ha registrado un ascenso de la concentración de 30 a 36 mg/l. Por este motivo, y por la proximidad del último valor registrado al punto de partida de inversión de tendencias (37,5 mg/l), se recomienda la reducción de la concentración de nitratos.

AA00010078: localizado al este de la masa, presenta disponibilidad de datos durante los años 2006 y 2009, con promedios anuales que oscilan entre 56 mg/l (año 2006, por encima del valor umbral) y 31 mg/l (2009). La línea de regresión de la curva indica, por tanto, un descenso de la concentración de nitratos en el intervalo de tiempo registrado. Tras el análisis de los datos se observa que la concentración de nitratos desciende hasta estar por debajo del punto de partida de inversión de tendencias, por lo que no se prevé un riesgo actual de alcanzar concentraciones mayores. No obstante, y teniendo en cuenta la escasez de datos y la proximidad de los mismos al punto de partida de inversión de tendencias, se recomienda un seguimiento continuado de la estación con objeto de evitar que los valores se incrementen en el futuro.

AA00010079: localizado al este de la masa, muy próximo al punto anterior, tan sólo presenta disponibilidad de datos para el año 2009, con un promedio anual de 31 mg/l. La determinación de tendencias para esta estación, por tanto, no ha podido realizarse. Destacar, no obstante, que, a la vista del análisis correspondiente al año 2009, no se prevé, a priori, un riesgo inminente de alcanzar el punto de partida de inversión de tendencia (37,5 mg/l), aunque sería recomendable el seguimiento de la evolución de los nitratos en esta estación, con objeto de determinar una tendencia para este parámetro.

- **Conductividad eléctrica:** en la masa 062.008 se han identificado 3 estaciones con análisis de conductividad eléctrica, y los datos más antiguos disponibles son los relativos al año 2006. Por lo tanto, la determinación de tendencias para esta masa de agua presenta una fiabilidad bastante baja. En el siguiente gráfico se representan los datos de las 3 estaciones:



El valor umbral para este parámetro, establecido según el RD 140/03, es de 2.500 µS/cm, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 1.875 µS/cm (75 % del valor umbral). El nivel básico se sitúa en 1.675 µS/cm, muy próximo al punto de partida de inversión de tendencias. A falta de un registro analítico representativo, no ha sido posible el establecimiento de nivel de referencia para este parámetro.

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la masa de agua subterránea con respecto a la conductividad eléctrica:

AA00010077: localizado al oeste de la masa, presenta disponibilidad de datos entre los años 2006 y 2009, con valores entre 3.613 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 752 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente. La línea de regresión de la curva indica, por tanto, un notable descenso a lo largo del tiempo. Los promedios de los años 2006 y 2007 reflejan valores muy superiores al valor umbral, pero el dato más reciente (2009) cataloga la estación como fuera de peligro y sin riesgo de alcanzar el punto de partida de inversión de tendencia (1.875 $\mu\text{S}/\text{cm}$). No obstante, se recomienda el seguimiento de esta estación para confirmar la tendencia.

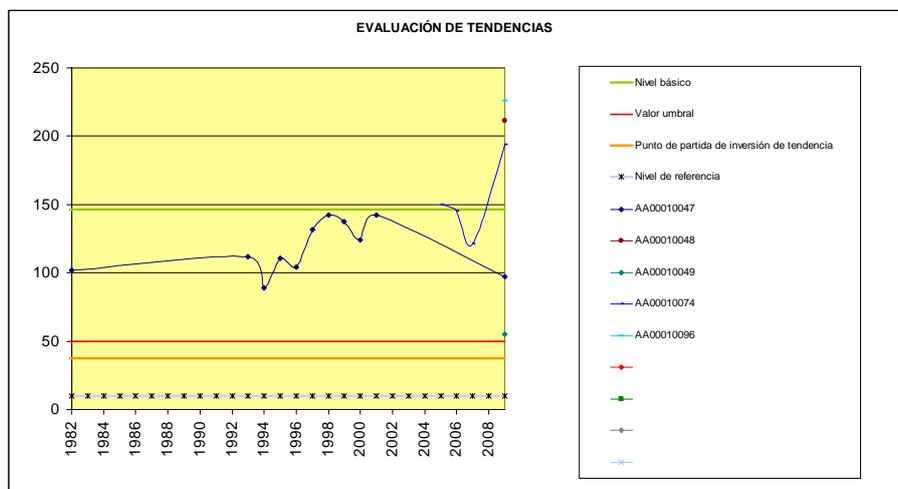
AA00010078: localizado al este de la masa, presenta disponibilidad de datos entre los años 2006 y 2009, con promedios anuales que oscilan entre 797 y 924 $\mu\text{S}/\text{cm}$, este último correspondiente al dato más reciente (2009). La línea de regresión de la curva indica un leve ascenso de la conductividad a lo largo del tiempo, presentando una leve tendencia positiva. Si esta tendencia se mantiene en el futuro, podría alcanzarse el punto de partida de inversión de tendencia (1.875 $\mu\text{S}/\text{cm}$), por lo que se recomienda el seguimiento de esta estación en relación a este parámetro.

AA00010079: localizado al este de la masa, muy próximo al punto anterior, tan sólo presenta registro de datos para el año 2009, con un promedio anual de 287 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La determinación de tendencias para esta estación, por tanto, no se ha realizado. Cabe decir, no obstante, que, a la vista del análisis disponible no se prevé, a priori, un riesgo inminente de alcanzar el punto de partida de inversión de tendencia (1.875 $\mu\text{S}/\text{cm}$), aunque se recomienda el seguimiento de esta estación, con objeto de determinar una tendencia para este parámetro.

▪ **062.009. Jerez de la Frontera**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea se encuentra *en riesgo* por contaminación puntual y difusa. En función de la disponibilidad de datos hidroquímicos se ha procedido a la evaluación del estado químico, en base a los dos parámetros considerados como indicadores de contaminación difusa: conductividad eléctrica y nitratos.

- **Nitratos:** de las 5 estaciones identificadas en la red de seguimiento, tan sólo una de ellas dispone de datos históricos previos al establecimiento de la red, por lo que la determinación de tendencias se ha basado en los datos registrados en esta estación. El siguiente gráfico reúne los datos correspondientes para los 5 puntos de control de la masa:



El valor umbral considerado para este parámetro, establecido según la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE para la concentración de nitratos, es de 50 mg/l, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 37,5 mg/l (75 % del valor umbral).

El nivel básico corresponde a 146,5 mg/l, valor que triplica al valor umbral, por lo que la masa ha sido clasificada como en mal estado químico.

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la situación de la masa de agua subterránea, con respecto a la concentración de nitratos:

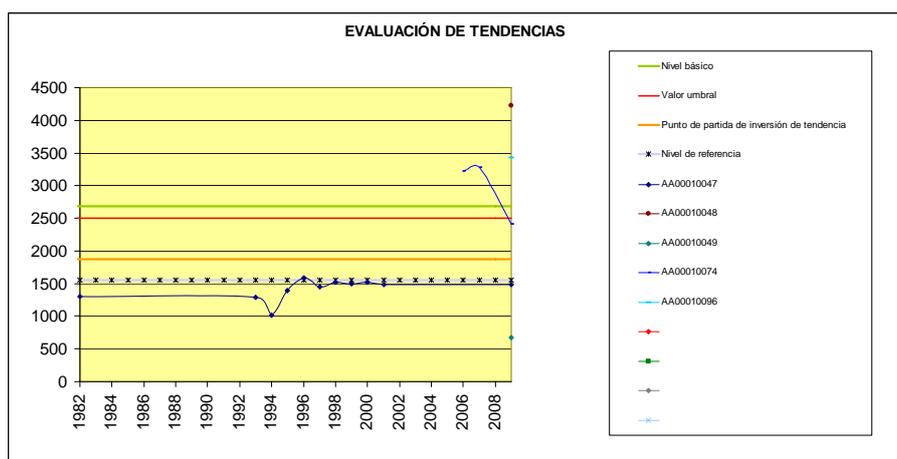
AA00010047: localizado al oeste de la masa, presenta disponibilidad de datos entre los años 1982 y 2009, con valores que oscilan entre 89 y 142 mg/l. Durante el último año en el que se dispone de registro (2009), presenta un valor de 97 mg/l. Tanto los datos históricos como los actuales, muestran promedios anuales muy superiores al valor umbral. Asimismo, aunque los registros más recientes indican un descenso respecto a años anteriores, la línea de regresión de la curva indica un ascenso a lo largo del tiempo. En cualquier caso, se recomienda aplicar las medidas necesarias para reducir la concentración de nitratos en el entorno de esta estación.

De los 4 puntos de control restantes (*AA00010048*, *AA00010049*, *AA00010074* y *AA00010096*), no existen registros suficientes para la realización de la evaluación de tendencias.

No obstante, destacar que todos ellos presentan promedios anuales por encima del valor umbral; uno de los puntos de control (*AA00010049*) apenas supera el valor umbral, pero el resto alcanzan promedios actuales entre 194 y 226 mg/l. Por este motivo, se recomienda adoptar las medidas necesarias para la reducción en la concentración de nitratos.

En cualquier caso, se recomienda el seguimiento de todos ellos en el futuro, con el fin de determinar su tendencia y prever las actuaciones pertinentes necesarias en cada caso.

- **Conductividad eléctrica**: de las 5 estaciones de la red de seguimiento, tan sólo una de ellas dispone de datos históricos previos al establecimiento de la red, por lo que la determinación de tendencias se ha basado principalmente en esta estación. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados para los 5 puntos de control de la masa:



El valor umbral para este parámetro, establecido según el RD 140/03, es de 2.500 µS/cm, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 1.875 µS/cm (75 % del valor umbral).

El nivel básico presenta un valor de 2.682 $\mu\text{S}/\text{cm}$, motivo por el cual la masa se ha clasificado en mal estado químico respecto a este parámetro.

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la situación de la masa de agua subterránea, con respecto a la conductividad eléctrica:

AA00010047: localizado al este de la masa, presenta disponibilidad de datos desde el año 1982 hasta 2009, con valores que oscilan entre 1.014 y 1.593 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Durante el último año en el que se dispone de registro (2009), presenta un valor de 1.480 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La línea de regresión de la curva indica, a rasgos generales, un ascenso de la conductividad a lo largo del tiempo, presentando una tendencia creciente. No obstante, se ha observado que las mayores oscilaciones se registran entre los años 1994 y 1996, presentando a partir de este momento una mayor estabilidad. Basándonos en la línea de tendencia entre los años 1998 y 2009, no se prevé un incremento notable de la concentración en un futuro próximo. Asimismo, se recomienda el seguimiento de esta estación para validar estas hipótesis.

De los 4 puntos de control restantes (*AA00010048*, *AA00010049*, *AA00010074* y *AA00010096*), no existen registros suficientes para la realización de la evaluación de tendencias. No obstante, destacar que 3 de los 4 puntos presentan promedios anuales por encima del punto de partida de inversión de tendencia (por lo que resulta imprescindible adoptar las medidas necesarias para reducir estos niveles de conductividad), siendo el punto de control *AA00010049* el único que presenta valores inferiores. En cualquier caso, se recomienda el seguimiento de todos ellos en el futuro, con objeto de determinar su tendencia y prever las actuaciones pertinentes.

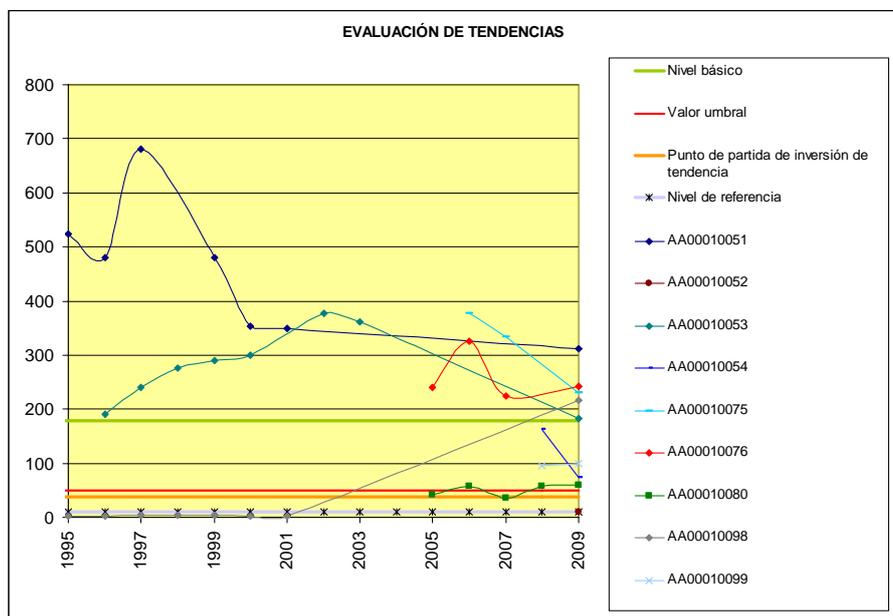
▪ **062.010. Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea se encuentra *en riesgo* por contaminación puntual y difusa, así como por intrusión marina. En función de la disponibilidad de datos hidroquímicos se ha procedido a la evaluación del estado químico, en base a los dos parámetros considerados como indicadores de contaminación difusa: conductividad eléctrica y nitratos, y en base a la concentración del anión cloruro y relación iónica cloruros/bicarbonatos, como indicadores de la intrusión.

Para ello, se han establecido niveles de referencia para los parámetros indicadores considerados para la identificación del riesgo por contaminación difusa, y riesgo por intrusión (conductividad, concentración del anión cloruro y relación iónica cloruros/bicarbonatos). Sin embargo, tras el análisis estadístico de los datos, los indicadores considerados para la identificación del riesgo por intrusión han sido descartados, debido a la escasez de datos históricos no afectados por intrusión registrados en las estaciones de seguimiento. De este modo, para la evaluación del estado químico, al no disponer de niveles de referencia para dichos parámetros, se han cotejado los niveles básicos estimados según el Valor Criterio (VC) relativo a criterios de uso (utilizado para el establecimiento de valores umbral), según dispone el RD 140/03.

Se ha comprobado que los 6 puntos de control que superan el valor criterio de cloruros y conductividad se localizan próximos a la costa, mientras que los 3 puntos que no lo superan se localizan en zonas del interior. Por tanto, se recomienda realizar un análisis sectorizado, destinando un mayor porcentaje de recursos a la zona costera.

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos en 9 estaciones de la red de seguimiento, de las cuales sólo se disponen de datos históricos previos a 2005 en 3 de ellas. Por lo tanto, la determinación de tendencias se ha basado principalmente en estas estaciones. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 9 puntos de control de la masa:



El valor umbral considerado para este parámetro, establecido según la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE para la concentración de nitratos, es de 50 mg/l, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 37,5 mg/l (75 % del valor umbral).

El nivel básico corresponde a 179 mg/l, superando en más de tres veces al valor umbral, por lo que la masa ha sido clasificada en mal estado químico respecto a este parámetro.

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la situación de la masa de agua subterránea, con respecto a la concentración de nitratos:

AA00010051: localizado al norte de la masa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo de años 1995 y 2009, con valores que oscilan entre 680 y 312 mg/l; éste último correspondiente al promedio anual más reciente (2009). Tanto los datos históricos como los actuales, muestran promedios anuales muy superiores al valor umbral. Aunque los registros más recientes indican un descenso respecto a años anteriores y la línea de regresión de la curva indica un descenso a lo largo del tiempo, es necesario un descenso de la concentración de nitratos más acusado ya que, de lo contrario, seguiría presentando riesgo en un futuro.

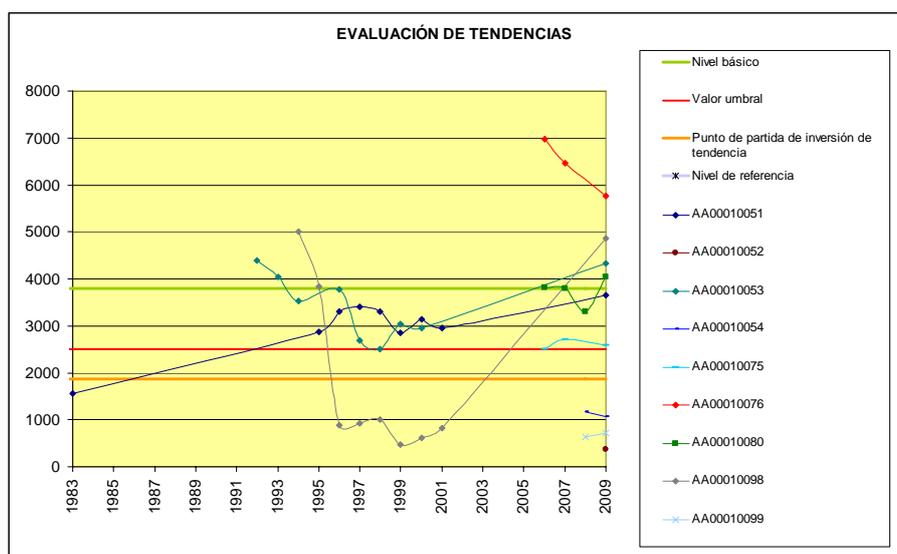
AA00010053: localizado hacia el centro de la masa y muy próximo a la costa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo de años 1996 y 2009, con valores que oscilan entre 377 y 182 mg/l; éste último correspondiente al promedio anual más reciente (2009). Tanto los datos históricos como los actuales, muestran promedios anuales muy superiores al valor umbral. A la vista de los resultados obtenidos, se podrían diferenciar 2 líneas de tendencia: una ascendente, para el periodo 1996 y 2002, con valores que oscilan entre 190 hasta 377 mg/l, y otra descendente, desde 2002 hasta la actualidad, con valores que oscilan entre 377 y 182 mg/l, registrados en 2009. Se deduce, a priori, que la concentración de nitratos

actualmente tiende a disminuir, pero sería recomendable acelerar este proceso hasta hacer descender los valores por debajo del punto partida de inversión de tendencias (37,5 mg/l).

AA00010098: localizado hacia el norte de la masa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo 1994 y 2009, con valores que oscilan entre 0,75 y 216 mg/l; éste último correspondiente al promedio anual más reciente (2009). Todos los datos históricos disponibles (1994-2001), presentan promedios anuales muy reducidos (entre 0,75 y 3,5 mg/l). Desde 2001 a 2009 no existe registro de datos, pero el valor registrado en 2009 muestra claras evidencias de una tendencia ascendente en la concentración de nitratos. Se recomienda, por tanto, invertir la tendencia hasta hacer descender los valores por debajo del punto partida de inversión de tendencias (37,5 mg/l).

En los 6 puntos de control restantes sólo se dispone de datos a partir de 2005. No obstante, se recomienda adoptar las medidas necesarias para reducir la concentración de nitratos en los puntos AA00010054, AA00010075, AA00010076, AA00010080 y AA00010099, ya que presentan un promedio actual comprendido entre 60,5 y 242 mg/l (por encima del valor umbral establecido). El único punto de control en el que se ha registrado un valor por debajo del punto de partida de inversión de tendencias es el AA00010052, con 11 mg/l. En cualquier caso, se recomienda el seguimiento continuado en el entorno de estos puntos, con el fin de determinar la tendencia y prever las actuaciones necesarias en cada caso.

- **Conductividad eléctrica:** se ha analizado el contenido en nitratos en 9 estaciones de la red de seguimiento, de las cuales sólo se disponen de datos históricos previos a 2006 en 3 de ellas. Por este motivo, la determinación de tendencias se ha basado principalmente en estas estaciones. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 9 puntos de control identificados en la masa:



El valor umbral para este parámetro, establecido según el RD 140/03, es de 2.500 µS/cm, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 1.875 µS/cm (75 % del valor umbral). El nivel básico presenta un valor de 3.797 µS/cm, motivo por el cual la masa se ha clasificado en mal estado químico para este parámetro.

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la situación de la masa de agua subterránea, con respecto a la conductividad eléctrica:

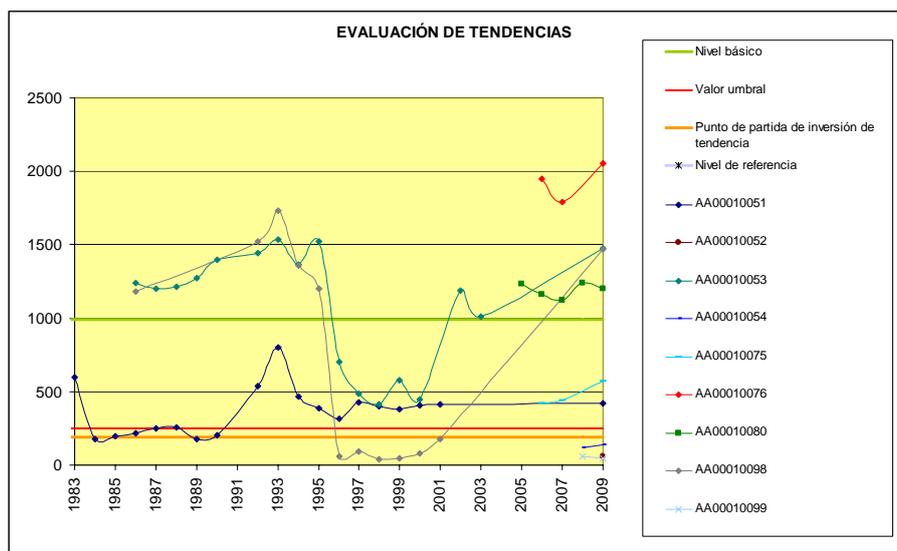
AA00010051: localizado al norte de la masa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo de años 1983 y 2009, con promedios anuales que oscilan entre 1.563 y 3.655 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. La línea de tendencia indica un ascenso progresivo de la conductividad a lo largo del tiempo, y todos los datos posteriores al año 1995 muestran valores superiores al valor umbral, incrementando su valor hasta 2009. Se considera necesario invertir la tendencia hasta alcanzar valores inferiores al punto de partida de inversión de tendencia (1.875 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ya que, de lo contrario, la masa continuará en riesgo.

AA00010053: localizado hacia el centro de la masa y muy próximo a la costa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo de años 1992 y 2009, con valores que oscilan entre 2.507 y 4.385 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Tanto los datos históricos como los actuales muestran promedios anuales muy superiores al valor umbral. A la vista de los resultados obtenidos, se podrían diferenciar 2 líneas de tendencia: una descendente, entre 1992 y 1998, con valores que oscilan entre 4.385 y 2.507 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y otra ascendente, desde 1998 hasta la actualidad, con valores que oscilan entre 2.507 hasta los 4.335 $\mu\text{S}/\text{cm}$ registrados en 2009. Se observa, por tanto, que durante una serie de años existe una tendencia a la baja, pero posteriormente esta tendencia se invierte, hasta alcanzar valores extremos. Por este motivo resulta necesario invertir la tendencia ascendente, hasta registrar valores inferiores al punto de partida de inversión de tendencia (1.875 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ya que, de lo contrario, la masa continuará presentando riesgo.

AA00010098: localizado hacia el norte de la masa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo de años 1994 y 2009, con valores que oscilan entre 480 y 5.009 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A la vista de los resultados, se podrían diferenciar 2 líneas de tendencia: una descendente, entre 1992 y 1999, con valores que oscilan entre 5.009 hasta 480 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y otra ascendente, desde 1999 hasta la actualidad, con valores que oscilan desde los 480 hasta los 4.860 $\mu\text{S}/\text{cm}$ registrados en 2009. Al igual que en la estación anterior, se constata que durante una serie de años existe una tendencia a la baja, pero posteriormente esta tendencia se invierte, hasta alcanzar valores extremos. Por este motivo resulta necesario invertir la tendencia ascendente, hasta registrar valores inferiores al punto de partida de inversión de tendencia (1.875 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ya que, de lo contrario, la masa continuará presentando riesgo.

En los 6 puntos de control restantes sólo se dispone de datos a partir de 2006. No obstante, se recomienda adoptar las medidas necesarias para reducir la conductividad en los puntos *AA00010075*, *AA00010076* y *AA00010080* por presentar promedios actuales entre 2.556 y 5.770 $\mu\text{S}/\text{cm}$, superiores todos ellos al valor umbral establecido para la masa.

- **Concentración del anión cloruro**: al igual que para la conductividad eléctrica, en la masa de agua subterránea 062.010 se han identificado 9 estaciones en las que se dispone de análisis de cloruros. De todas ellas, sólo existen datos históricos previos a 2005 en 3 de ellas, por lo que la determinación de tendencias se ha basado principalmente en estas últimas. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 9 puntos de control de la masa:



El valor umbral para este parámetro, establecido según el RD 140/03, es de 250 mg/l, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias se establece en 187,5 mg/l (75 % del valor umbral).

El nivel básico presenta un valor de 988 mg/l, motivo por el cual la masa de agua subterránea se ha clasificado en mal estado químico para este parámetro.

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la situación de la masa de agua subterránea, con respecto a la concentración de cloruros:

AA00010051: localizado al norte de la masa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo 1983 y 2009, con promedios anuales que oscilan entre 175 y 803 mg/l. La línea de tendencia indica un ascenso progresivo en la concentración de cloruros a lo largo del tiempo, mostrando una gran estabilidad en el periodo 1984-1990, en el cual se registran los valores más bajos (entre 175 y 256 mg/l). Posteriormente, en el año 1993, se alcanza el máximo registrado en esta estación (803 mg/l), pero vuelve a descender hasta los 300-400 mg/l, manteniendo esa tendencia hasta 2009. En cualquier caso, se recomienda reducir la concentración de cloruros al encontrarse, actualmente, por encima del valor umbral.

AA00010053: localizado hacia el centro de la masa y muy próximo a la costa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo de años 1986 y 2009, con valores que oscilan entre 416 y 1.532 mg/l. Tanto los datos históricos como los actuales muestran promedios anuales muy superiores al valor umbral. A la vista de los resultados, se podrían diferenciar 3 líneas de tendencia: una primera ascendente, entre 1986 y 1993, con valores que oscilan entre 1.200 y 1.532 mg/l; una segunda descendente, desde 1995 hasta 1998, con una reducción de la concentración desde 1.532 hasta 416 mg/l; y una tercera línea ascendente, entre 1998 y 2009, con un aumento en la concentración desde 416 a 1.475 mg/l (2009).

Durante los últimos años se observa que la tendencia es ascendente y además, teniendo en cuenta que actualmente prácticamente se sextuplica el valor umbral, se recomienda adoptar las medidas necesarias para reducir los valores por debajo del punto de partida de inversión de tendencias (187,5 mg/l).

AA00010098: localizado hacia el norte de la masa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo de años 1986 y 2009, con valores que oscilan entre 41,5 y 1.733 mg/l. A la vista de los resultados, y al igual que en la estación anterior, se podrían diferenciar 3 líneas de tendencia: una primera ascendente, entre 1986 y 1993, con valores que oscilan entre 1.180 y 1.773 mg/l; una segunda descendente, desde

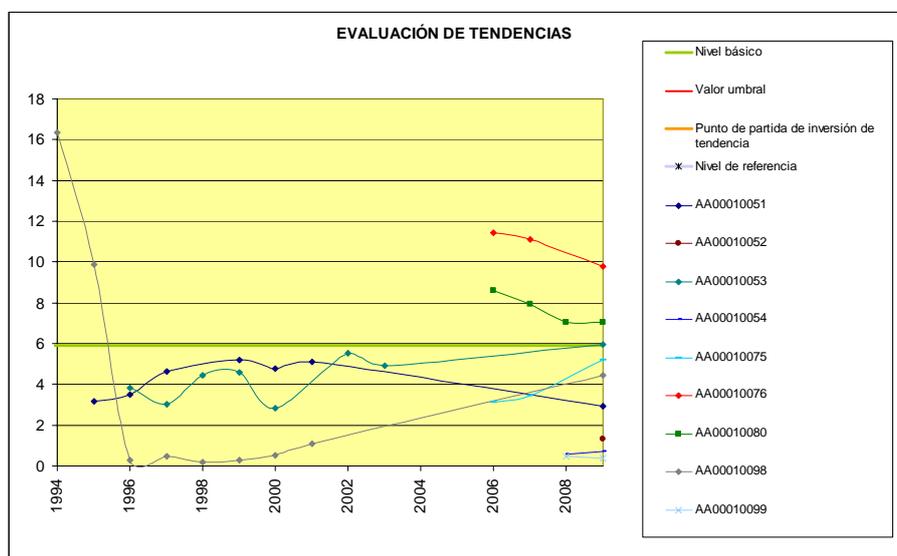
1993 hasta 1998, con una reducción de la concentración desde los 1.733 hasta los 41,5 mg/l; y una tercera línea ascendente entre 1998 y 2009, con un aumento en la concentración de 41,5 a 1.475 mg/l (2009). Durante los últimos años se observa que la tendencia es ascendente y además, teniendo en cuenta que actualmente prácticamente se sextuplica el valor umbral, se recomienda adoptar las medidas necesarias para reducir los valores por debajo del punto de partida de inversión de tendencias (187,5 mg/l).

En rasgos generales, se aprecia un comportamiento similar en las 3 estaciones. Todas ellas presentan valores máximos de cloruros en el año 1993, aumentando este valor con la proximidad al mar (AA00010053 y AA00010098). Asimismo, en estas 2 estaciones se ha observado que los valores más bajos se registraron entre los años 1996 y 2000, momento a partir del cual aumentaron exponencialmente hasta alcanzar los valores actuales.

En los 6 puntos de control restantes sólo se dispone de datos a partir de 2005. No obstante, se recomienda adoptar las medidas necesarias para reducir la concentración de cloruros en los puntos AA00010075, AA00010076 y AA00010080 por presentar promedios actuales entre 573 y 2.050 $\mu\text{S}/\text{cm}$, superiores todos ellos al valor umbral establecido para esta masa.

Por otra parte, los puntos en los que se registran valores por debajo del punto de partida de inversión de tendencias son los codificados como AA00010052, AA00010054, AA00010099. En cualquier caso, se recomienda el seguimiento de todos ellos, con objeto de determinar su tendencia y prever las actuaciones necesarias en cada caso.

- **Relación iónica cloruros/bicarbonatos:** en la masa 062.010 se han identificado 9 estaciones en las que se dispone de datos. De todas ellas, sólo existen datos históricos previos a 2006 en 3 de ellas, por lo que la determinación de tendencias se ha basado principalmente en estas últimas. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 9 puntos de control de la masa:



El nivel básico establecido para la relación iónica cloruros/bicarbonatos, es de 5,9. No obstante, no ha podido establecerse nivel de referencia ni valor umbral para este parámetro, ya que no se dispone de un registro histórico representativo de la masa en condiciones inalteradas (sin intrusión).

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la situación de la masa de agua subterránea, con respecto a la relación iónica cloruros/bicarbonatos:

AA00010051: localizado al norte de la masa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo de años 1995 y 2009, con promedios anuales que oscilan entre 2,94 y 5,19. La línea de tendencia indica un ascenso pausado entre los años 1995 y 1999. Posteriormente, entre los años 1995 y 2009 se produce una tendencia descendente, llegando a registrarse actualmente el mínimo histórico de la estación (2,94).

AA00010053: localizado hacia el centro de la masa y muy próximo a la costa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo de años 1996 y 2009, con valores que oscilan entre 2,81 y 5,96 (para el año 2009). La línea de tendencia indica un ascenso progresivo de la relación a lo largo del tiempo, registrándose en 2009 el valor máximo para esta estación (5,96).

AA00010098: localizado hacia el norte de la masa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo de años 1994 y 2009, con valores comprendidos entre 0,19 y 16,34. En base a los registrados, se diferencian 2 líneas de tendencia: una descendente entre los años 1994 y 1996, y otra ascendente desde 1996 hasta la actualidad, momento en el que se registra un valor de relación iónica cloruros/bicarbonatos de 4,43.

En los 6 puntos de control restantes sólo se dispone de datos a partir de 2006; por este motivo no ha sido posible determinar las tendencias para dichas estaciones, en relación con este parámetro.

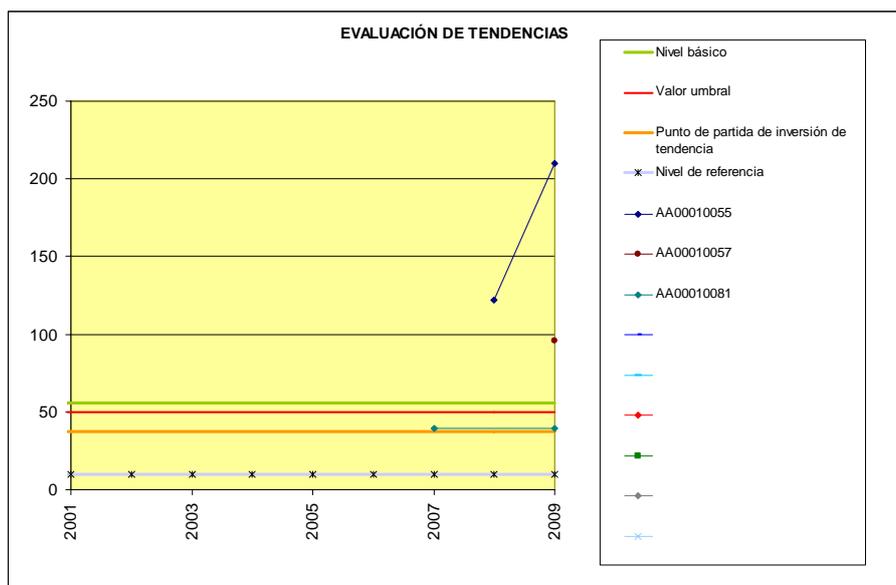
▪ 062.011. Puerto Real

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea se encuentra *en riesgo* por contaminación puntual, así como por intrusión marina. En función de la disponibilidad de datos hidroquímicos se ha procedido a la evaluación del estado químico, en base a los parámetros: conductividad eléctrica, concentración del anión cloruro y relación iónica cloruros/bicarbonatos, como indicadores de la intrusión.

De manera adicional se ha evaluado el estado químico de la masa de agua en relación con el contenido de nitratos, ya que en la red de seguimiento se han detectado concentraciones que superan la norma de calidad establecida en la Directiva 2006/118/CE.

Tras el análisis estadístico de los datos, los indicadores considerados para la identificación del riesgo por intrusión (conductividad eléctrica, concentración del anión cloruro, y relación iónica cloruros/bicarbonatos), han sido descartados, debido a la escasez de datos históricos no afectados por intrusión. De este modo, para la evaluación del estado químico, al no disponer de niveles de referencia para dichos parámetros, se han cotejado los niveles básicos estimados según el Valor Criterio (VC) relativo a criterios de uso (utilizado para el establecimiento de valores umbral), según dispone el RD 140/03.

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos en 3 estaciones de la red de seguimiento, pero no se dispone de datos históricos previos al año 2007. Por lo tanto, debido a la escasez de datos, no ha sido posible la evaluación de tendencias. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 3 puntos de control identificados en la masa:



El valor umbral considerado para este parámetro, establecido según la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE para la concentración de nitratos, es de 50 mg/l, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 37,5 mg/l (75 % del valor umbral).

El nivel básico corresponde a 55,88 mg/l, por lo que se considera que la masa presenta mal estado químico en relación con la concentración de nitratos.

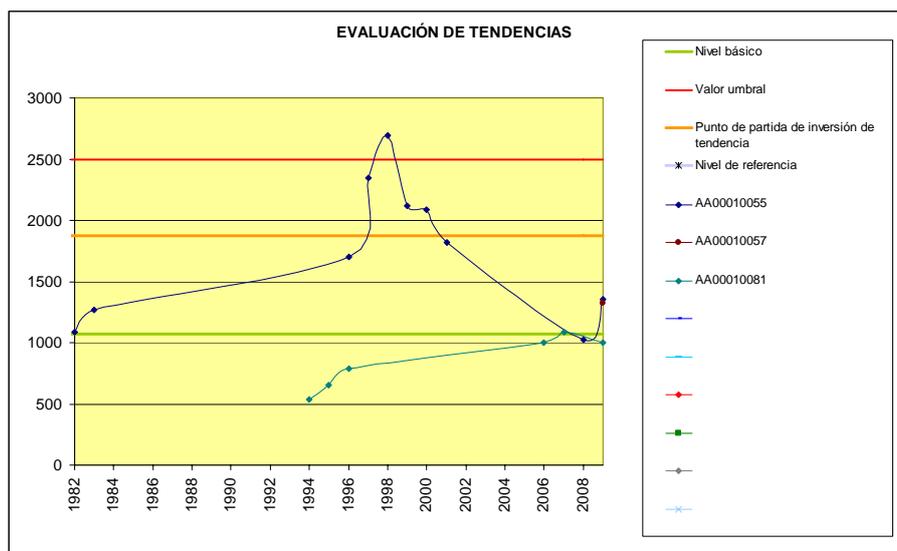
A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la situación de la masa de agua subterránea, con respecto a la concentración de nitratos:

De los 3 puntos de control identificados en la masa, sólo uno de ellos (AA00010081) presenta promedios inferiores al valor umbral establecido. Sin embargo, el valor registrado durante 2007 y 2009 (próximo a 39,5 mg/l), indica que se ha superado el punto de partida de inversión de tendencias (37,5 mg/l).

Las otras 2 estaciones representativas, AA00010057 y AA00010055, presentan promedios anuales superiores el valor umbral, con 95,9 y 209,7 mg/l respectivamente. Sin embargo, debido a la escasez de datos no ha podido establecerse una tendencia para dichas estaciones, si bien, en cualquier caso, resulta necesario reducir esta concentración hasta alcanzar valores inferiores al punto de partida de inversión de tendencias (37,5 mg/l).

Se recomienda un seguimiento continuado de todas las estaciones de la red, con el fin de proceder a la evaluación de tendencias de un modo riguroso.

- **Conductividad eléctrica:** en la masa de agua subterránea codificada como 062.011 se han identificado 3 estaciones, aunque solamente en 2 se han registrado datos históricos; por este motivo, la evaluación de tendencias se ha basado en estas últimas. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 3 puntos de control identificados en esta masa:



El valor umbral para este parámetro, establecido según el RD 140/03, es de 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 1.875 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (75 % del valor umbral). Asimismo, el nivel básico presenta un valor de 1.071 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que esta masa presenta buen estado químico respecto a este parámetro.

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la situación de la masa de agua subterránea, con respecto a la conductividad eléctrica:

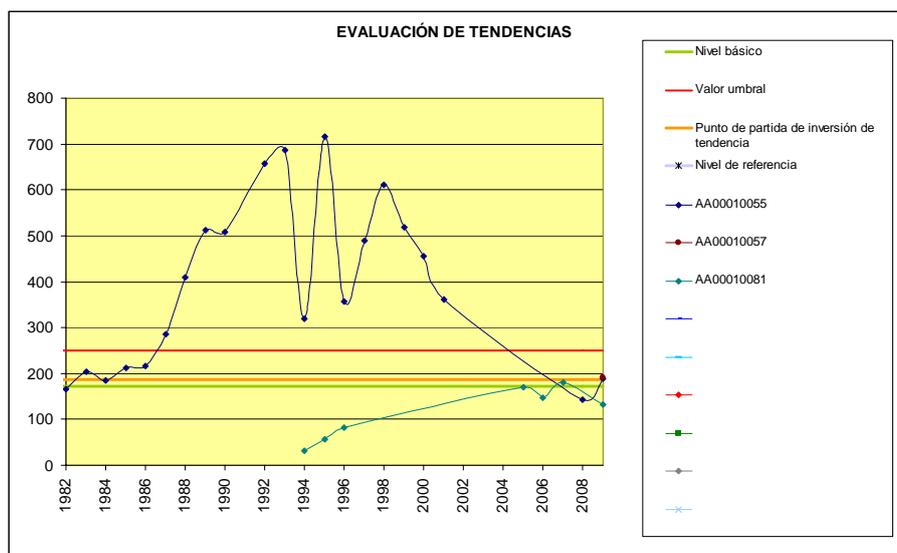
AA00010055: localizado hacia el norte de la masa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo de años 1982 y 2009, con valores que oscilan entre 1.024 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 2.696 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En base a los datos registrados se podrían diferenciar 2 líneas de tendencia: una ascendente, desde 1982 a 1998, con valores que oscilan entre 1.087 y 2.696 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y otra descendente entre 1998 y 2009, en la que se reducen los valores de conductividad hasta 1.024 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2008. Posteriormente, en 2009, se aprecia un ligero ascenso con respecto al año anterior. Por este motivo, y aunque la estación no presenta un riesgo actual para este parámetro, se recomienda el seguimiento de la misma con objeto de controlar el posible incremento de este parámetro.

AA00010081: localizado hacia el centro de la masa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo de años 1994 y 2009, con valores que oscilan entre 537 y 1.083 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los datos registrados indican una línea de tendencia ascendente a lo largo de todo el periodo registrado, llegando en 2007 a registrar el valor máximo (1.083 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Posteriormente, se produce un descenso, hasta registrar 1.003 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La inversión de tendencias a partir del año 2007 ha hecho que la masa se encuentre fuera de riesgo, si bien, se recomienda el seguimiento de de este parámetro.

AA00010057: localizado al sur de la masa, sólo presenta datos relativos al año 2009; por este motivo no ha podido evaluarse la tendencia. No obstante, cabe decir que el valor promedio para el año 2009 es de 1.324 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que actualmente no alcanza el punto de partida de inversión de tendencia. Igualmente, se recomienda el seguimiento continuado de la estación con el fin de determinar la tendencia de la misma con respecto a la conductividad y aplicar las medidas necesarias.

- **Concentración del anión cloruro:** al igual que para la conductividad eléctrica, en la masa de agua subterránea 062.011 se han identificado 3 estaciones en las que se dispone de análisis de cloruros. De todas ellas, sólo existe disponibilidad de datos históricos en 2 de ellas, por lo que la determinación de

tendencias se ha basado en estas últimas. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 3 puntos de control identificados en la masa:



El valor umbral para este parámetro, establecido según el RD 140/03, es de 250 mg/l, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias se establece en 187,5 mg/l (75 % del valor umbral).

Asimismo el nivel básico presenta un valor de 173 mg/l, por lo que se considera que la masa presenta buen estado químico respecto a este parámetro.

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la situación de la masa de agua subterránea, con respecto a la concentración de cloruros:

AA00010055: localizado hacia el norte de la masa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo de años 1982 y 2009, con valores que oscilan entre 143 y 715 mg/l. A la vista de los datos registrados, se podrían identificar 2 líneas de tendencia: una ascendente desde 1982 a 1995, con valores que oscilan entre 167 y 715 mg/l, y otra descendente, entre 1995 y 2009, en la que se reducen los valores de cloruros hasta 143 mg/l (2008). En 2009, en cambio, se aprecia un ligero ascenso con respecto al año anterior, llegando hasta una concentración de 191 mg/l. Por este motivo, y puesto que la estación sobrepasa actualmente el punto de partida de inversión de tendencias, se recomienda adoptar las medidas necesarias para reducir la concentración de cloruros, y evitar así aproximarse al valor umbral establecido (250 mg/l).

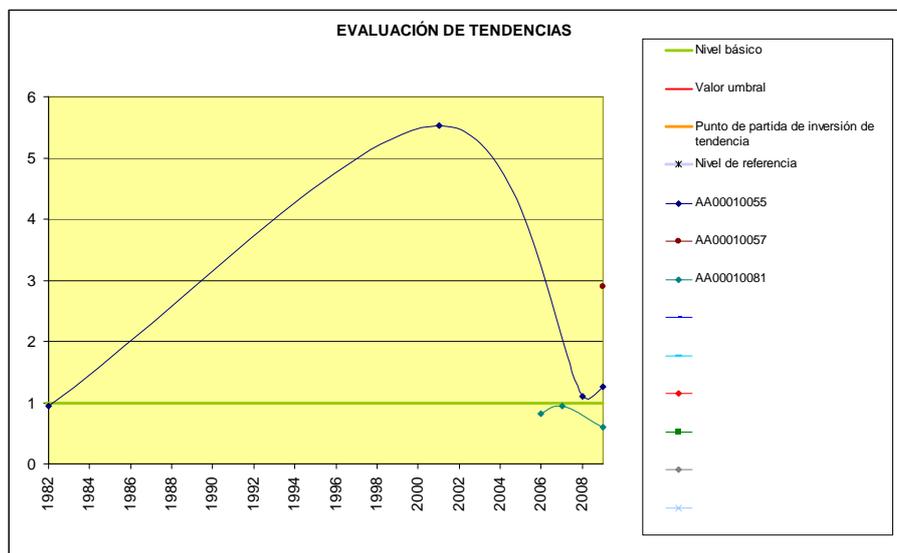
AA00010081: localizado hacia el centro de la masa, presenta disponibilidad de datos durante el periodo de años 1994 y 2009, con valores que oscilan entre 32 y 181 mg/l. A la vista de los datos registrados, se identifica una línea de tendencia ascendente a lo largo de todo el periodo registrado, llegando en 2007 a su valor máximo (181 mg/l); para luego presentar un leve descenso hasta 132 mg/l. No obstante, se recomienda el seguimiento de la concentración de cloruros en esta estación para evitar tendencias ascendentes.

AA00010057: localizado al sur de la masa, sólo se dispone de datos relativos al año 2009, por lo que no ha podido evaluarse la tendencia. No obstante, el valor promedio estimado para el año 2009 es de 191 mg/l, por lo que actualmente esta estación se encuentra por encima del punto de partida de inversión de tendencia y precisa de las medidas necesarias para la reducción de la concentración de este

parámetro igualmente, se recomienda un seguimiento continuado de su evolución con el fin de determinar la tendencia de la misma con respecto a la concentración en cloruros.

- **Relación iónica cloruros/bicarbonatos:** no se ha podido determinar la tendencia para este parámetro indicador por 2 motivos: no disponer de nivel de referencia ni valor umbral y no disponer de datos suficientes para realizar una evaluación de tendencias con un grado de fiabilidad aceptable.

El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 3 puntos de control identificados en esta masa:



El nivel básico establecido para la relación iónica cloruros/bicarbonatos es de 0,99. Asimismo, los promedios actuales, relativos al año 2009, oscilan entre 0,60 y 5,53 (registrado en la estación AA00010055).

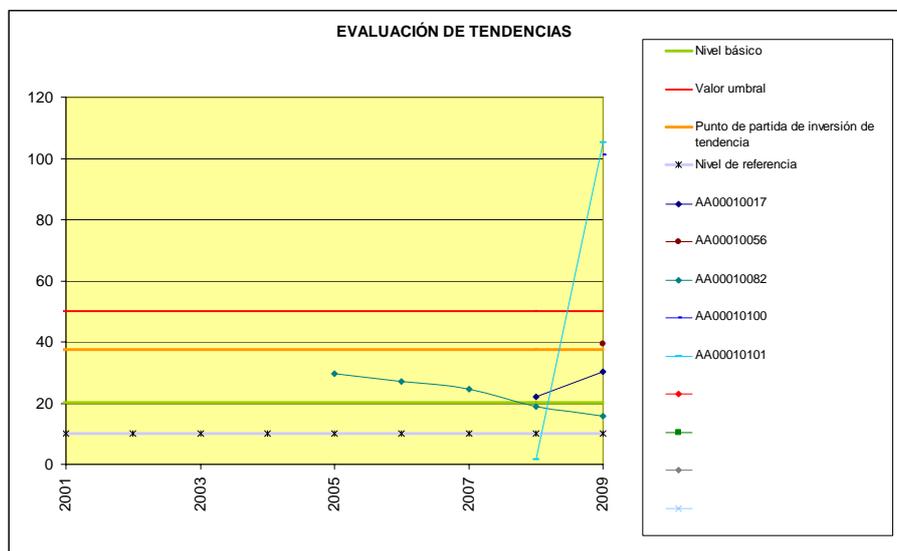
▪ 062.012. Conil de la Frontera

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea se encuentra *en riesgo* por contaminación puntual y difusa, así como por intrusión marina. En función de la disponibilidad de datos hidroquímicos se ha procedido a la evaluación del estado químico, en base a los dos parámetros considerados como indicadores de contaminación difusa: conductividad eléctrica y nitratos, y en base a la concentración del anión cloruro y relación iónica cloruros/bicarbonatos, como indicadores de la intrusión.

Para ello, se han establecido niveles de referencia para los parámetros indicadores considerados para la identificación del riesgo por contaminación difusa, y riesgo por intrusión (conductividad, concentración del anión cloruro y relación iónica cloruros/bicarbonatos). Sin embargo, tras el análisis estadístico de los datos, los indicadores considerados para la identificación del riesgo por intrusión han sido descartados, debido a la escasez de datos históricos no afectados por intrusión registrados en las estaciones de seguimiento. De este modo, para la evaluación del estado químico, al no disponer de niveles de referencia para dichos parámetros, se han cotejado los niveles básicos estimados según el Valor Criterio

(VC) relativo a criterios de uso (utilizado para el establecimiento de valores umbral), según dispone el RD 140/03.

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos en 5 estaciones de la red de seguimiento, si bien no se dispone de datos históricos previos al año 2005; por este motivo, no ha sido posible la evaluación de tendencias. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 5 puntos de control identificados en la masa:



El valor umbral considerado para este parámetro, establecido según la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE para la concentración de nitratos, es de 50 mg/l, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 37,5 mg/l (75 % del valor umbral).

El nivel básico establecido corresponde a una concentración 20 mg/l, por debajo del valor umbral, pero dado que el valor promedio (actual) en 2 de las 5 estaciones supera dicho valor, la masa de agua subterránea presenta mal estado químico respecto a este parámetro.

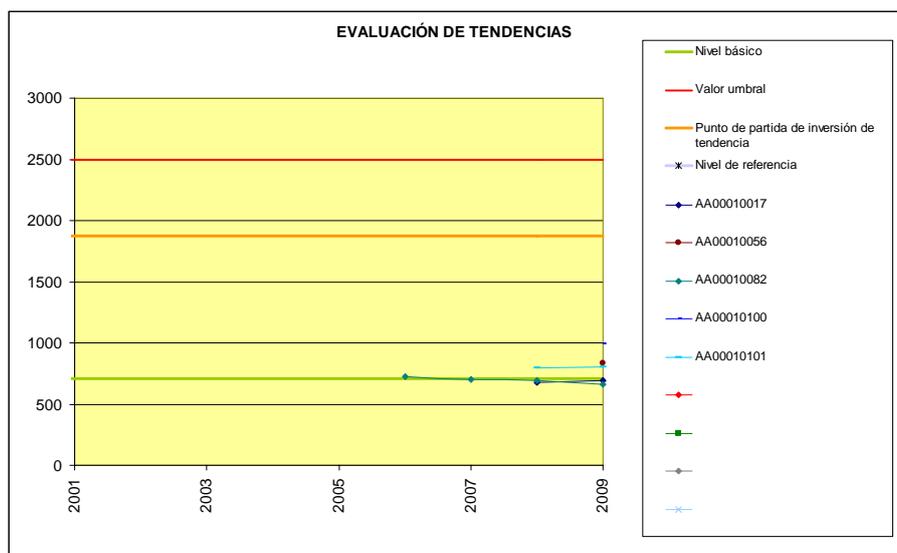
A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la situación de la masa de agua subterránea, con respecto a la concentración de nitratos:

AA00010082: localizado al sur de la masa, presenta desde 2005 hasta 2009, presentando una línea de tendencia descendente, desde 29,5 a 15,7 mg/l. Por tanto, actualmente no se prevé un ascenso hacia el punto de partida de inversión de tendencias. No obstante, se recomienda un seguimiento continuado de la estación, con el fin de confirmar que el descenso de la concentración de nitratos continúa.

Los otros 4 puntos de control restantes presentan, como máximo, registros durante 2 años (2008 y 2009). No obstante se ha comprobado que la estación **AA00010017** se encuentra por debajo del punto de partida de inversión de tendencias, con un promedio de 30 mg/l en 2009 (estado crítico), mientras que las estaciones **AA00010056**, **AA00010100** y **AA00010101** superan el punto de partida de inversión de tendencias, con concentraciones de nitratos de hasta 105 mg/l. Para estos últimos se recomienda adoptar las medidas necesarias para la reducción de nitratos.

- **Conductividad eléctrica:** en la masa de agua subterránea codificada como 062.012 se han identificado 5 estaciones, pero no hay registro de datos históricos previos al año 2006 en ninguna de ellas. Por este

motivo, no ha sido posible la evaluación de tendencias. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 5 puntos de control identificados en la masa de agua subterránea:

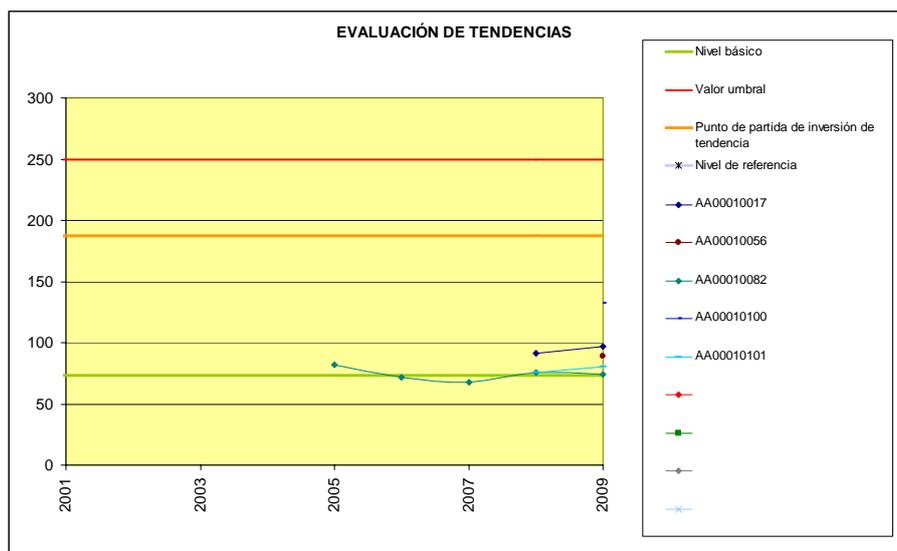


El valor umbral para este parámetro, establecido según el RD 140/03, es de 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 1.875 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (75 % del valor umbral). Asimismo el nivel básico presenta un valor de 710 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y, ninguno de los promedios actuales de las 5 estaciones supera este valor.

Los 5 puntos de control presentan promedios actuales (en 2009) que oscilan entre 665 y 993 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que, a la vista de los datos disponibles, no se prevé riesgo de superar el valor umbral en ninguno de ellos. Además, los datos disponibles anteriores a 2009, aunque son escasos, indican una estabilidad de la conductividad a lo largo del periodo muestreado. Por lo tanto, se considera que la masa de agua subterránea presenta buen estado químico para este parámetro.

En cualquier caso, se recomienda realizar un seguimiento de todos ellos, con el fin de determinar tendencias y prever con antelación las medidas oportunas.

- **Concentración del anión cloruro:** se ha analizado la concentración de cloruros en 5 estaciones de la red de seguimiento pero, en ninguna de ellas, se han registrado datos históricos previos al año 2005. Por este motivo, no ha sido posible la evaluación de tendencias. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 5 puntos de control identificados en la masa de agua:

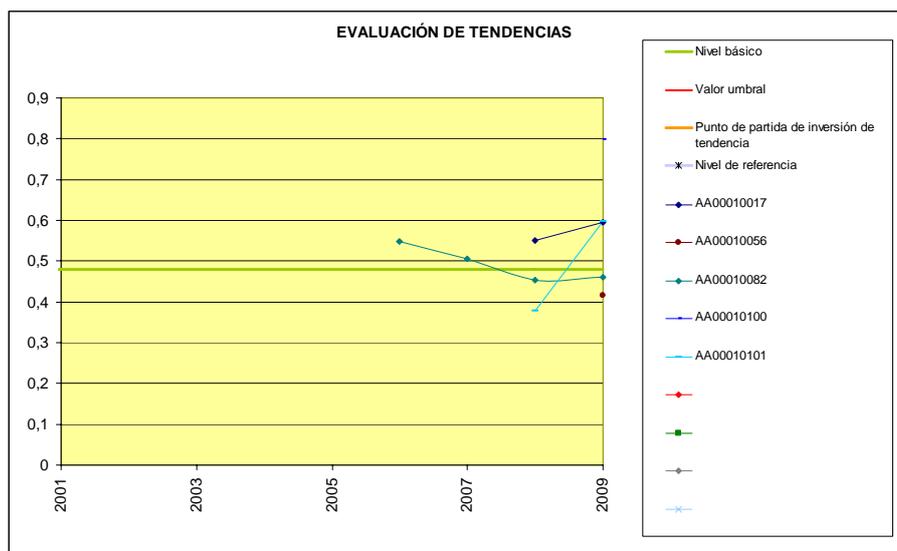


El valor umbral para este parámetro, establecido según el RD 140/03, es de 250 mg/l, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 187,5 mg/l (75 % del valor umbral).

Asimismo, el nivel básico presenta un valor de 73,3 mg/l por lo que se ha considerado que la masa de agua presenta buen estado químico respecto a este parámetro.

Los 5 puntos de control presentan promedios actuales (para 2009) que oscilan entre 74 y 132 mg/l, por lo que, a la vista de los datos disponibles, y de igual manera que para la conductividad, no se prevé riesgo de superar el valor umbral en ninguno de ellos. Además, los datos disponibles anteriores a 2009, aunque son escasos, indican una estabilidad del contenido en cloruros a lo largo del periodo muestreado. Conviene, no obstante, realizar un seguimiento de todos ellos con el fin de determinar tendencias y prever con antelación las medidas oportunas.

- **Relación iónica cloruros/bicarbonatos:** se ha analizado la relación iónica en 5 estaciones de la red de seguimiento, en las que no se han registrado datos históricos previos al año 2006. Por este motivo y debido a la ausencia de nivel de referencia y valor umbral para este parámetro, no ha sido posible la evaluación de tendencias. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 5 puntos de control identificados en la masa de agua:



Los 5 puntos de control presentan promedios actuales en la relación iónica cloruros/bicarbonatos (para el año 2009) comprendidos entre 0,41 y 0,80; por otra parte, el nivel básico presenta un valor de 0,48. Debido a la escasez de un número registros representativos no se ha evaluado la tendencia.

Por tanto, se recomienda un seguimiento continuado de la evolución de este parámetro en las 5 estaciones, con el fin de prever las actuaciones pertinentes.

▪ **062.013. Barbate**

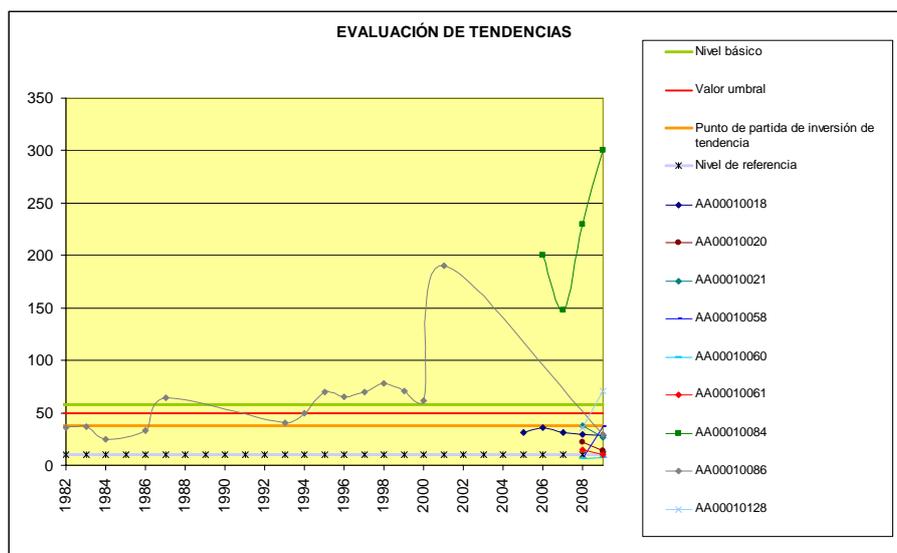
Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea se encuentra *en riesgo* por contaminación puntual y difusa, así como por intrusión marina.

En función de la disponibilidad de datos hidroquímicos se ha procedido a la evaluación del estado químico, en base a los dos parámetros considerados como indicadores de contaminación difusa: conductividad eléctrica y nitratos, y en base a la concentración del anión cloruro y relación iónica cloruros/bicarbonatos, como indicadores de la intrusión.

Para ello, se han establecido niveles de referencia para los parámetros indicadores considerados para la identificación del riesgo por contaminación difusa, y riesgo por intrusión (conductividad, concentración del anión cloruro y relación iónica cloruros/bicarbonatos). Sin embargo, tras el análisis estadístico de los datos, los indicadores considerados para la identificación del riesgo por intrusión han sido descartados, debido a la escasez de datos históricos no afectados por intrusión registrados en las estaciones de seguimiento. De este modo, para la evaluación del estado químico, al no disponer de niveles de referencia para dichos parámetros, se han cotejado los niveles básicos estimados según el Valor Criterio (VC) relativo a criterios de uso (utilizado para el establecimiento de valores umbral), según dispone el RD 140/03.

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos en 9 estaciones de la red de seguimiento, aunque sólo se dispone de datos históricos previos al año 2005 en una de ellas; por este motivo, la evaluación

de tendencias se ha basado exclusivamente en base a los datos registrados en esta estación. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 9 puntos de control de la masa:



El valor umbral para este parámetro, establecido según la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE para la concentración de nitratos, es de 50 mg/l, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 37,5 mg/l (75 % del valor umbral). Los promedios actuales en 2 de las 9 estaciones superan dicho valor umbral, por lo que se considera que la masa de agua presenta mal estado químico para este parámetro.

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la situación de la masa de agua subterránea, con respecto a la concentración de nitratos:

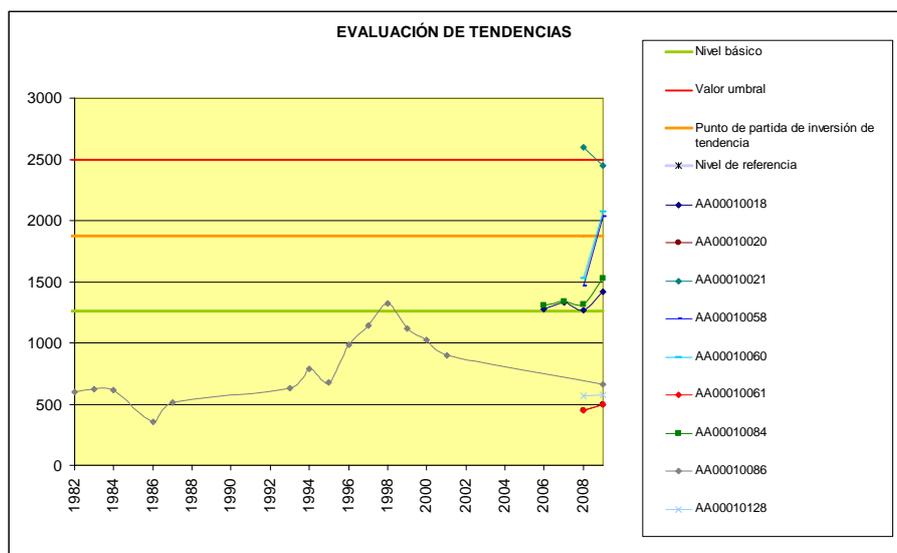
AA00010086: localizado al este de la masa, presenta datos durante el periodo 1982 hasta 2009, con valores que oscilan entre 25 y 190 mg/l (máximo registrado en 2001). A la vista de los resultado, se observa una primera línea de tendencia ascendente entre 1982 y 2000, rango temporal en el que se supera el valor umbral. Sin embargo, en 2001 se produce un ascenso brusco de la concentración de nitratos hasta los 190 mg/l, dato que triplica el valor umbral establecido. Entre 2001 y 2009 no existe registro de datos, pero el promedio para 2009 indica que los valores se han reducido hasta colocarse por debajo del punto de partida de inversión de tendencias.

Por lo tanto, siempre y cuando se continúe confirmando esta tendencia, se considera que la estación no presenta riesgo de alcanzar el valor umbral.

Por otra parte, en las 8 estaciones identificadas en la masa en las que no se dispone de datos históricos previos al año 2005, se observa un valor promedio actual inferior al punto de partida de inversión de tendencias, por lo que se cree que no presentan riesgo actual en cuanto a la concentración de nitratos, a excepción de las estaciones AA00010128 y AA00010084, que presentan valores de nitratos entre 70,6 y 300 mg/l, respectivamente. Por este motivo, se recomienda adoptar las medidas necesarias para reducir este valor en el entorno de las estaciones, especialmente en la segunda, puesto que sextuplica al valor umbral establecido para la masa.

- **Conductividad eléctrica:** se ha analizado la conductividad eléctrica en 9 estaciones de la red de seguimiento, aunque sólo se dispone de datos históricos previos al año 2006 en una de ellas; por este

motivo la evaluación de tendencias se ha basado exclusivamente en esta estación. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 9 puntos de control identificados en la masa:



El valor umbral para este parámetro, establecido según el RD 140/03, es de 2.500 µS/cm, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 1.875 µS/cm (75 % del valor umbral). Asimismo, el nivel básico presenta un valor de 1.260 µS/cm, por lo que se ha considerado que la masa presenta buen estado químico respecto a este parámetro.

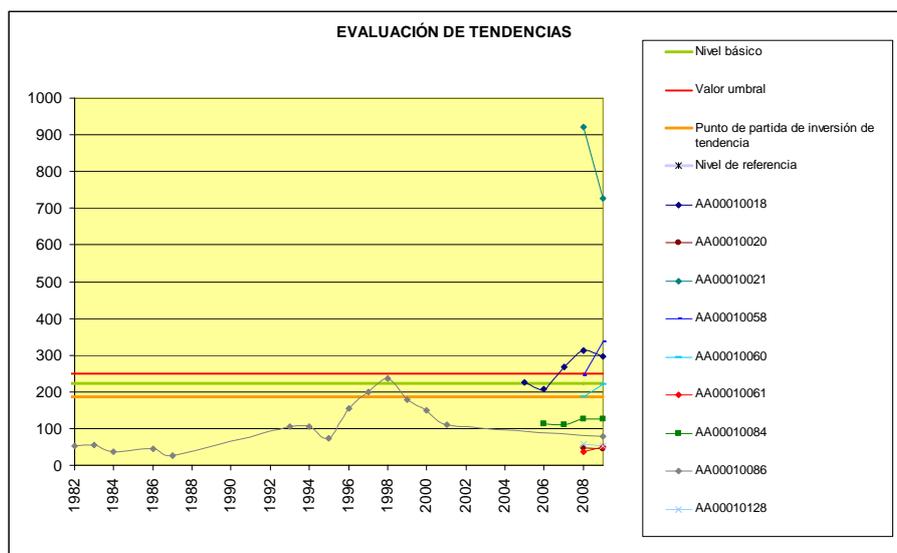
A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la situación de la masa de agua subterránea, con respecto a la conductividad eléctrica:

AA00010086: localizado al este de la masa, presenta datos desde 1982 hasta 2009, con valores comprendidos entre 351 y 1.324 µS/cm (máximo registrado en 1998). A la vista de los resultados obtenidos, se intuye una primera línea de tendencia ascendente entre 1982 y 1998, cuyo máximo no llega a superar el valor umbral. En dicho año se produce una inversión de tendencias, descendiendo el promedio anual hasta la actualidad, donde alcanza los 664 µS/cm; por este motivo, se ha considerado que no presenta riesgo de alcanzar el punto de partida de inversión de tendencia. A pesar de no disponer datos entre los años 2001 y 2009, se deduce que la conductividad (actualmente) presenta una tendencia a la baja, por lo que, siempre y cuando se confirme esta tendencia en el futuro, la estación no presenta riesgo de alcanzar el valor umbral. Se recomienda realizar un seguimiento continuado en el entorno de la estación, con el fin de confirmar la tendencia prevista o, en caso contrario, prever las medidas oportunas.

Por otra parte, en las 8 estaciones identificadas en la masa en las que no se dispone de datos históricos previos al año 2006, se ha observado que el valor promedio actual es inferior al valor umbral establecido si bien, existen 3 estaciones cuyos valores superan el punto de partida de inversión de tendencia (**AA00010021**, **AA00010058**, **AA00010060**). Por este motivo, se recomienda adoptar las medidas necesarias para reducir este valor en el entorno de las estaciones, al correr el riesgo de superar el valor umbral establecido para la masa.

- **Concentración del anión cloruro:** se ha analizado la concentración de cloruros en 9 estaciones de la red de seguimiento, aunque sólo se dispone de datos históricos previos al año 2005 en una de ellas; por

este motivo, la evaluación de tendencias se ha basado exclusivamente en base a los datos registrados en esta estación. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 9 puntos de control de la masa:



El valor umbral para este parámetro, establecido según el RD 140/03, es de 250 mg/l, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 187,5 mg/l (75 % del valor umbral).

Asimismo, el nivel básico presenta un valor de 222 mg/l, por lo que se ha considerado que la masa presenta mal estado químico respecto a este parámetro; además, en 3 de las estaciones, se supera el valor umbral establecido.

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la situación de la masa de agua subterránea, con respecto a la concentración de cloruros:

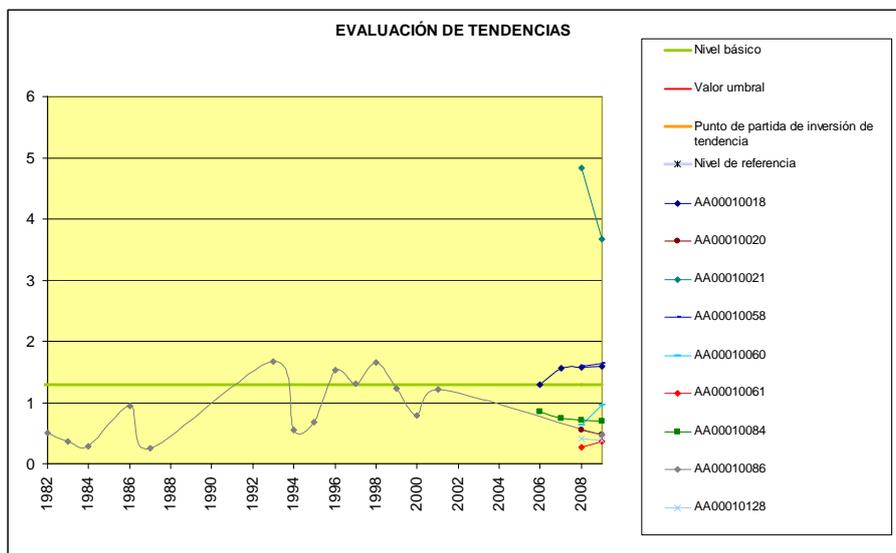
AA00010086: localizado al este de la masa, presenta datos desde 1982 hasta 2009, con valores que oscilan entre 25 y 237 mg/l (máximo registrado en 1998). A la vista de los resultados registrados, se observa una primera línea de tendencia ascendente entre 1982 y 1998, cuyo máximo se aproximó al valor umbral, alcanzando los 237 mg/l. En dicho año se produce una inversión en la tendencia, descendiendo los promedios anuales progresivamente hasta la actualidad, donde alcanza los 80 mg/l; por este motivo, se confirma que no presenta riesgo de alcanzar el punto de partida de inversión de tendencia. A pesar de no disponer datos entre los años 2001 y 2009, se deduce que la concentración de cloruros (actualmente) presenta una tendencia a la baja, por lo que, siempre y cuando se mantenga esta tendencia, la estación no presenta riesgo de alcanzar el valor umbral.

No obstante, se recomienda realizar un seguimiento de la estación con el fin de confirmar la tendencia prevista o, en caso contrario, prever las medidas oportunas.

Por otra parte, en 4 de las 8 estaciones identificadas en la masa en las que no se dispone de datos históricos previos al año 2005, se han observado valores promedios actuales inferiores al punto de partida de inversión de tendencias, y no presentan riesgo actual en cuanto a la concentración de cloruros (AA00010020, AA00010061, AA00010084 y AA00010128), presentando valores entre 49 y 125 mg/l. De las 4 estaciones restantes, una supera el punto de partida de inversión de tendencia, con 222 mg/l, y en peligro de superar el valor umbral en un futuro (AA00010060). En las 3 estaciones restantes, se registran valores superiores al valor umbral, oscilando entre 298 y 728 mg/l (AA00010018,

AA00010021 y AA00010058). Para estas 4 estaciones se recomienda, por tanto, adoptar las medidas necesarias para reducir la concentración de cloruros por debajo del punto de partida de inversión de tendencia.

- **Relación iónica cloruros/bicarbonatos:** se ha analizado la relación iónica en 9 estaciones de la red de seguimiento, aunque sólo existe registro de datos históricos previos a 2006 en 1 de ellas; por este motivo, la determinación de tendencias se ha basado principalmente en dicha estación. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 9 puntos de control identificados en la masa:



El nivel básico estimado para la relación iónica cloruros/bicarbonatos es de 1,29. Por otra parte, al no haber podido establecerse el nivel de referencia y valor umbral para este parámetro, la tendencia de las estaciones ha sido evaluada sin tener en cuenta estos niveles. Así:

AA00010086: localizado al este de la masa, presenta datos desde 1982 hasta 2009, con valores que oscilan entre 0,26 y 1,67 mg/l. Los datos registrados indican 2 líneas de tendencia: una ascendente entre los años 1982 y 1998, y otra descendente desde 1998 hasta la actualidad, momento en el que se registra un valor de relación iónica cloruros/bicarbonatos de 0,47. A la vista de los resultados obtenidos, se confirma que la estación muestra la misma tendencia a lo largo del tiempo que para los parámetros conductividad y cloruros.

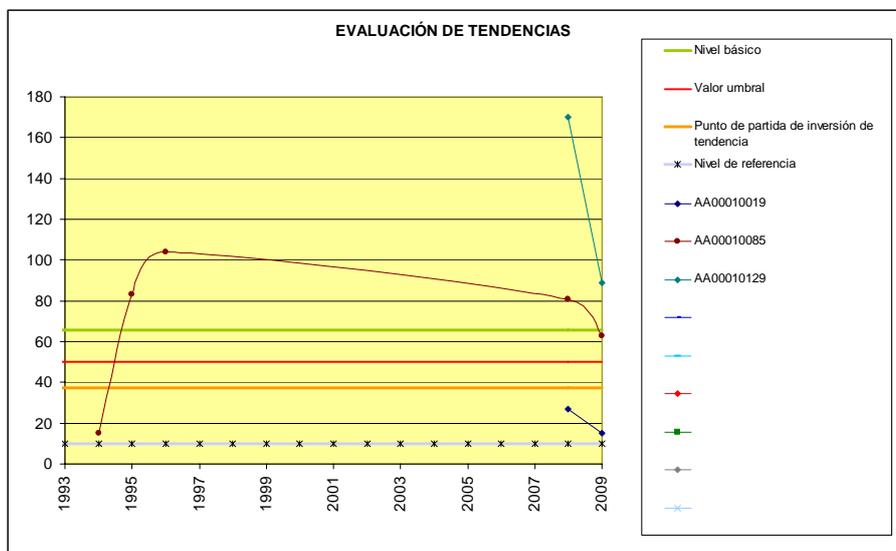
En los 8 puntos restantes sólo se ha registrado datos desde 2006. Al no disponer de nivel de referencia y valor umbral para este parámetro, no ha sido posible determinar las tendencias para dichas estaciones.

▪ **062.014. Benalup**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas.

El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea se encuentra *en riesgo* por contaminación puntual y difusa. En función de la disponibilidad de datos hidroquímicos se ha procedido a la evaluación del estado químico, en base a los dos parámetros considerados como indicadores de contaminación difusa: conductividad eléctrica y nitratos.

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos en 3 estaciones de la red de seguimiento, pero sólo se dispone de datos históricos previos al año 2008 en una de ellas; por este motivo, la evaluación de tendencias se ha basado exclusivamente en esta estación. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 3 puntos de control identificados en la masa:



El valor umbral para este parámetro, establecido según la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE para la concentración de nitratos, es de 50 mg/l, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 37,5 mg/l (75 % del valor umbral). Los promedios actuales en 2 de las 3 estaciones superan dicho valor umbral, por lo que se considera que la masa presenta en mal estado químico respecto a este parámetro.

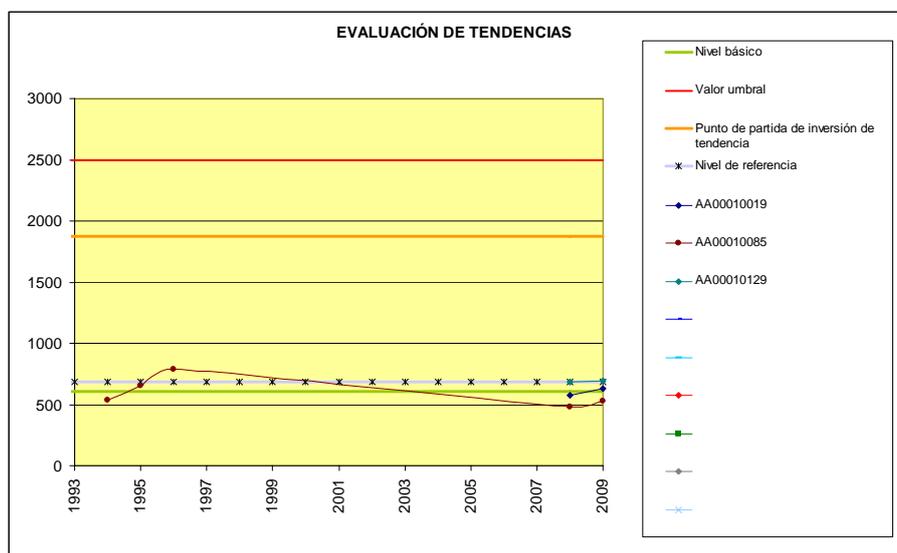
A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la situación de la masa de agua subterránea, con respecto a la concentración de nitratos:

AA00010085: localizado al norte de la masa, presenta datos desde 1994 hasta 2009, con valores comprendidos entre 15 y 104 mg/l. A la vista de los resultados, se observa una primera línea de tendencia ascendente entre 1994 y 1996, aumentando bruscamente la concentración de nitratos desde el mínimo hasta el máximo histórico registrado en la estación (de 15 a 104 mg/l); duplicando el valor umbral. Entre los años 1996 y 2008 no existe registro de datos, por lo que la determinación de tendencias en esta estación presenta un bajo grado de confianza. No obstante, los promedios anuales actuales indican una tendencia a la baja respecto al año 1996, alcanzando los 63 mg/l en 2009. Por lo tanto, se recomienda comprobar si se mantiene la tendencia prevista hasta reducir la concentración de nitratos por debajo del punto de partida de inversión de tendencias (37,5 mg/l).

En las otras 2 estaciones identificadas en la masa no se dispone de datos históricos previos al año 2005, por lo que no ha sido posible determinar las tendencias de las mismas. No obstante, cabe decir que la estación **AA00010019** presenta promedios actuales inferiores al punto de partida de inversión de tendencias, y no presenta riesgo actual en cuanto a la concentración de nitratos. Por el contrario, en la estación **AA00010129** se han registrado promedios actuales por encima del valor umbral, con 89 mg/l en 2009, por lo que resulta necesario adoptar las medidas necesarias para reducir la concentración por debajo del punto de partida de inversión de tendencias (37,5 mg/l).

Se recomienda el seguimiento continuado en el entorno de las 3 estaciones con objeto de determinar una tendencia fiable en cuanto a la concentración de nitratos y proponer así un programa de medidas preventivas adecuado a las necesidades reales de la zona.

- **Conductividad eléctrica:** se ha analizado la conductividad eléctrica en 3 estaciones de la red de seguimiento, aunque sólo se dispone de datos históricos previos al año 2008 en una de ellas; por este motivo la evaluación de tendencias se ha basado exclusivamente en esta estación. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 3 puntos de control identificados en la masa:



El valor umbral para este parámetro, establecido según el RD 140/03, es de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que el punto de partida de inversión de tendencias deberá establecerse en 1.875 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (75 % del valor umbral). El nivel básico presenta un valor de 603 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y, dado que ninguna de las estaciones presenta promedios actuales superiores al valor umbral, se considera que la masa de agua presenta buen estado químico respecto a este parámetro.

A continuación se detalla brevemente la situación de cada punto de control representativo de la situación de la masa de agua subterránea, con respecto a la conductividad eléctrica:

AA00010085: localizado al norte de la masa, presenta datos desde 1994 hasta 2009, con valores comprendidos entre 484 y 784 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A la vista de los resultados, y aunque el grado de fiabilidad es bajo debido a la escasez de datos, se observa una primera línea de tendencia ascendente entre 1994 y 1996, con un incremento la conductividad desde 537 hasta 784 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Entre los años 1996 y 2008 no existe registro de datos, pero los promedios anuales actuales indican una tendencia descendente respecto a 1996, alcanzando los 526 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2009. Por lo tanto se ha considerado que, actualmente, la estación no presenta riesgo de alcanzar el punto de partida de inversión de tendencias.

Las otras 2 estaciones identificadas en la masa no disponen de datos históricos previos al año 2008, por lo que no ha sido posible determinar las tendencias de las mismas. No obstante, cabe decir que ambas estaciones, **AA00010019** y **AA00010129** presentan promedios actuales por debajo del punto de partida de inversión de tendencias, con un valor de 630 y 695 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Por este motivo, se considera que no presentan riesgo actual con respecto al valor umbral.

Finalmente, recomendar un seguimiento continuado en el entorno de estas 3 estaciones con el fin de determinar una tendencia fiable respecto a este parámetro y proponer así, un programa de medidas adecuado a las necesidades reales de la zona.

6. INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN, DE ACUERDO AL APARTADO 2.5 DEL ANEXO V DE LA DIRECTIVA 2000/60/CE, DEL ESTADO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

6.1. INTRODUCCIÓN

A partir de los resultados obtenidos en los programas de seguimiento establecidos en conformidad con el artículo 8 de la Directiva 2000/60/CE se interpretará y presentará, de acuerdo al apartado 2.5. del anexo V de la citada Directiva, el estado de las aguas subterráneas.

La *Guía nº 18. Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias*, se ha considerado el documento de referencia para el establecimiento de criterios de evaluación del estado de las aguas subterráneas e identificación de tendencias significativas desde el punto de vista medioambiental.

Asimismo, para la evaluación del estado cuantitativo, se ha seguido la metodología propuesta tanto en la *Guía nº 18*, como en los *Informes de Coyuntura Anuales elaborados por el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (MARM, 2008)*.

6.2. TRABAJOS REALIZADOS

6.2.1. EVALUACIÓN DEL ESTADO QUÍMICO

Una vez establecidos, con arreglo a la Directiva 2006/118/CE, los niveles de referencia, niveles básicos y valores umbral, se ha procedido a la evaluación del estado químico de aquellas masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate que estén en riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, con respecto a los contaminantes que hayan contribuido a dicha clasificación.

Para la evaluación del estado químico y de tendencias de las masas de agua subterráneas, se han tenido en cuenta los valores registrados en la red de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas definida en virtud del artículo 8 de la Directiva 2000/60/CE, cuyos resultados se han comparado con los valores umbral establecidos y las normas de calidad para nitratos y plaguicidas establecidas en la Directiva 2006/118/CE, como se explica gráficamente en la siguiente figura.

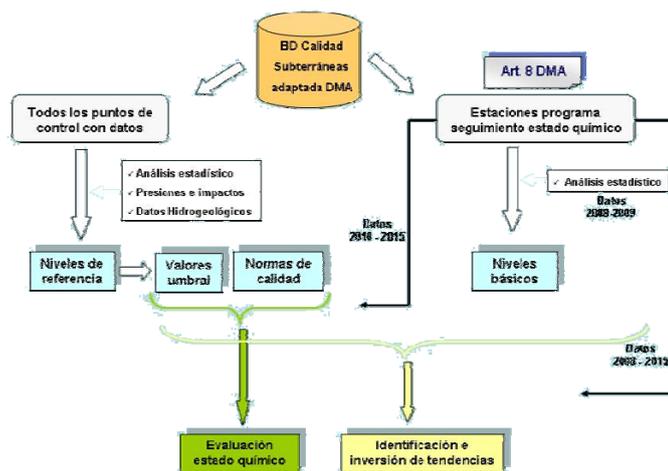


Figura 6.2.1.1. Metodología aplicada durante la evaluación del estado químico

Asimismo, según recoge la Guía nº 18, las masas de agua subterránea que hayan sido catalogadas como fuera de riesgo o sin riesgo, automáticamente se consideran en buen estado químico; [...] *En conformidad con el apartado 1 del Anexo III de la Directiva 2006/118/CE, la evaluación del estado sólo debe llevarse a cabo en masas de agua subterránea que se hayan identificado como masas en riesgo y en relación con el receptor y cada uno de los contaminantes que contribuyen a esa caracterización de la masa de agua subterránea. Las masas de agua subterránea que no están en riesgo se clasifican automáticamente como masas en buen estado.*

Por otra parte, en el apartado 2.4.5. del anexo V de la Directiva 2000/60/CE se estipulan las siguientes especificaciones para el procedimiento de evaluación del estado químico de las aguas subterráneas: [...] *Al evaluar el estado, los resultados de cada punto de control en una masa de agua subterránea se globalizarán para la totalidad de la masa. Sin perjuicio de las Directivas correspondientes, para que una masa de agua subterránea alcance un buen estado, en lo referente a los parámetros químicos para los que se han fijado normas de calidad medioambiental en la legislación comunitaria, se calculará el valor promedio de los resultados del control obtenidos en cada punto de la masa o grupo de masas y, de acuerdo con el artículo 17, dichos valores promedio se utilizarán para demostrar la conformidad con el buen estado químico de las aguas subterráneas.*

Tal y como se propone en la Guía nº 18. *Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias* para la evaluación del estado químico, se han sustituido los valores registrados inferiores al *Límite de Cuantificación (LC)* por valores iguales a la mitad del LC ($LC/2$).

6.2.1.1. Agregación de los datos

Según las directrices expuestas en el apartado anterior y tomando como punto de partida los datos registrados en las redes de control operativo y de vigilancia existentes en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, durante el periodo de Planificación Hidrológica 2006/09, se ha obtenido el valor promedio de cada parámetro analizado en cada uno de los puntos de control, el cual ha sido contrastado con el valor umbral o norma de calidad correspondiente a cada parámetro.

De esta manera se ha calculado, para cada masa de agua subterránea catalogada en riesgo, el número de puntos de control cuyo valor promedio supera al valor umbral (o norma de calidad) más restrictivo, en relación a los contaminantes que han contribuido a dicha clasificación.

En aquellos casos en los que el valor umbral (VU) obtenido no corresponde a un valor fijo, sino que está comprendido en un rango de valores, los cuales se corresponden, por un lado, al *nivel de referencia* (NR) como límite inferior del rango, y por otro lado, al *valor criterio* (VC) como límite superior del rango², se ha establecido como valor umbral, a efectos de la evaluación de tendencias, el correspondiente al valor criterio (VC), al encontrarse éste dentro de los límites permitidos según los criterios de uso establecidos y ser el valor menos restrictivo³.

Por el contrario, en aquellos casos en que una determinada masa de agua subterránea se haya catalogado en riesgo por intrusión, se ha procurado establecer como valor umbral el obtenido mediante criterios medioambientales, por ser el más restrictivo.

Finalmente, tras el análisis de los datos correspondientes a masas de agua subterránea en riesgo por intrusión, no ha sido posible establecer valores umbral según criterios medioambientales, debido a la dificultad de identificar aquellos registros o valores históricos que no están afectados antrópicamente.

Igualmente, existen ciertos parámetros para los que no ha sido posible establecer niveles de referencia y valores umbral, debido a la ausencia de un registro analítico representativo. En este caso, los valores promedio de los puntos de control se han comparado con el VC correspondiente al RD 140/2003.

Una vez identificado el número de puntos de control cuyo promedio supera el valor umbral o norma de calidad correspondiente, se ha procedido al análisis pormenorizado de cada parámetro por masa de agua subterránea, con el fin de evaluar el estado químico de las mismas.

Como criterio general se ha establecido la premisa de que una masa de agua subterránea se considera en MAL ESTADO QUÍMICO cuando, tras su evaluación, se confirma que al menos uno de los parámetros que contribuyeron a la identificación de la masa como en riesgo de no cumplir con los objetivos medioambientales dispuestos en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, supera el límite establecido.

6.2.2. EVALUACIÓN DEL ESTADO CUANTITATIVO

La Directiva 2000/60/CE dispone en el apartado 2.1.2. del anexo V que *se alcanzará un buen estado cuantitativo de las aguas subterráneas cuando el nivel piezométrico de la masa de agua subterránea sea tal, que la tasa media anual de extracción a largo plazo no rebase los recursos disponibles de aguas subterráneas. Por tanto, el nivel piezométrico no está sujeto a alteraciones antropogénicas que puedan tener como consecuencia no alcanzar los objetivos de calidad medioambiental especificados en el*

² En la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, el VC se ha establecido en base a los valores paramétricos de calidad de aguas de consumo humano recogidos en el RD 140/2003.

³ A modo de ejemplo, comentar que en la masa de agua subterránea 062.009. Jerez de la Frontera sólo se ha establecido valor umbral de conductividad según criterios de uso, ya que esta masa de agua subterránea no se ha identificado en riesgo por intrusión y, por tanto, no precisa la aplicación de criterios medioambientales. De este modo, el valor umbral establecido corresponde al rango 1.549-2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que para la determinación del análisis de tendencias se ha establecido el valor menos restrictivo, es decir, 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

artículo 4 para las aguas superficiales asociadas, cualquier empeoramiento del estado de tales aguas, cualquier perjuicio significativo a ecosistemas terrestres asociados que dependan directamente de la masa de agua subterránea, ni a alteraciones de la dirección del flujo temporales, o continuas en un área limitada, causadas por cambios en el nivel, pero no provoquen salinización u otras intrusiones, y no indiquen una tendencia continua y clara de la dirección del flujo inducida antropogénicamente que pueda dar lugar a tales intrusiones.

A continuación se describe la metodología empleada para la evaluación del estado cuantitativo de aquellas masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate en las que se dispone de un registro piezométrico representativo.

6.2.2.1. Agregación de los datos

Para la evaluación del estado cuantitativo de las masas de agua subterránea se ha utilizado la información registrada en diversas bases de datos correspondientes a las redes de control diseñadas por el Instituto Geológico y Minero de España y la Agencia Andaluza del Agua.

Tras un laborioso proceso de unificación, filtrado y revisión de estos datos, se han obtenido los siguientes resultados:

Origen datos	Puntos de control: Piezómetros/Manantiales	Medidas
IGME	521	15.633
AAA	1.861	7.025
TOTAL	2.382	22.658

Durante la etapa de filtrado y revisión de los datos se ha procedido a eliminar todos aquellos datos que están duplicados o bien, se hayan considerado anómalos (atribuible a errores cometidos durante el proceso de medición o tratamiento de los datos).

Asimismo, aquellas medidas de valor igual a cero, han requerido de un análisis individualizado, diferenciando entre las medidas correspondientes a manantiales y las correspondientes a pozos o sondeos. De este modo, en el caso de los *manantiales*, un valor igual a cero es indicativo de que el manantial está seco y por tanto, el nivel piezométrico es inferior a la cota topográfica a la que se encuentra dicho punto. En este caso, el valor cero ha sido eliminado. Por el contrario, en el caso de las medidas registradas en *piezómetros* o *sondeos*, se ha considerado que un valor cero se debe a la ausencia de medida en esa fecha, eliminando este valor o bien, que el nivel piezométrico coincide con la superficie del terreno (artesiano), en cuyo caso, los valores sí han sido considerados; en estos casos, ha resultado de vital importancia un análisis completo de la serie (constatando la presencia de posibles surgencias históricas).

Tras el proceso de revisión y filtrado de los datos, éstos se han agrupado en función de su ámbito geográfico y temporal.

6.2.2.1.1. Límites geográficos de las masas de agua subterránea

Para la realización de los trabajos a los que hace referencia el presente apartado se ha realizado un cruce por localización espacial, en entorno GIS, entre la cobertura de puntos que constituyen las redes

de control operativas y los límites de las masas de agua subterránea. De este modo, se han seleccionado aquellos puntos que se encuentran comprendidos dentro del perímetro de la masa de agua subterránea, ya que no se dispone de información suficiente para valorar si los puntos localizados fuera de estos límites, son representativos de las masas de agua objeto de estudio. Así, el registro de medidas considerado es el siguiente:

Origen datos	Medidas
IGME	14.172
AAA	5.827
TOTAL	19.999

Tras el análisis de la información disponible se ha constatado que existen determinadas masas en las que no existe ningún punto perteneciente a las redes de control o bien, estos puntos no presentan densidad suficiente como para considerar representativos de toda la masa los datos piezométricos registrados. Este es el caso de las masas de agua subterránea codificadas como 062.001, 062.002, 062.003, 062.004, 062.006, 062.008, 062.011 y 062.012, en las que no ha sido posible realizar una evaluación del estado cuantitativo.

6.2.2.1.2. Selección de piezómetros representativos

Una vez discriminados, en entorno GIS, los puntos de control que se consideran representativos de cada masa, se ha establecido un criterio temporal mínimo, de obligado cumplimiento para la correcta evaluación del estado cuantitativo de las masas de agua subterránea. De este modo, tras el análisis individualizado de la serie histórica registrada en cada punto, solamente se han considerado aquellos puntos que:

- ✓ Presentan datos piezométricos actuales: relativos al año 2008 o, en su defecto, al 2007; (indicativos de la situación actual).
- ✓ Presentan datos piezométricos históricos: ya que sin éstos, es imposible realizar una evaluación de la tendencia de la piezometría, tanto a nivel global (masa de agua subterránea), como individual (piezómetro).

En la tabla adjunta se comprueba el resultado obtenido tras el proceso de revisión y filtrado de los datos disponibles, del cual deriva la posibilidad o no, de evaluar el estado cuantitativo de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación.

CÓDIGO MASA	NOMBRE MASA	EVALUACIÓN DEL ESTADO	OBSERVACIONES
062.001	SETENIL	NO	Disponibilidad de un piezómetro con datos actuales,
062.002	SIERRA DE LÍBAR	NO	No hay disponibilidad de datos actuales
062.003	SIERRA DE LÚJAR	NO	No hay disponibilidad de datos actuales
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY	NO	Disponibilidad de un piezómetro con datos actuales, pero no existe registro histórico

CÓDIGO MASA	NOMBRE MASA	EVALUACIÓN DEL ESTADO	OBSERVACIONES
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA-VILLAMARTÍN	SI	Disponibilidad de tres piezómetros con datos actuales y datos históricos
062.006	SIERRA VALLEJA	NO	No hay disponibilidad de datos actuales
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	SI	Disponibilidad de cuatro piezómetros con datos
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	NO	Disponibilidad de dos piezómetros con datos
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	SI	Disponibilidad de ocho piezómetros con datos
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-SANTA MARÍA	SI	Disponibilidad de siete piezómetros con datos actuales y datos históricos
062.011	PUERTO REAL	NO	Disponibilidad de tres piezómetros con datos
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	NO	Disponibilidad de cuatro piezómetros con datos
062.013	BARBATE	SI	Disponibilidad de cinco piezómetros con datos
062.014	BENALUP	SI	Disponibilidad de seis piezómetros con datos

De acuerdo con los resultados contemplados en la tabla anterior, para aquellas masas de agua subterráneas en las que existen datos piezométricos suficientes, se ha procedido a evaluar el estado cuantitativo de la masa atendiendo a:

- ✓ La *evolución piezométrica* registrada en cada uno de los puntos de control representativos
- ✓ El *índice de llenado (iLL)* estimado, para aquellos acuíferos identificados en la masa de agua subterránea que dispongan de suficientes puntos de control representativos
- ✓ El *índice de extracción (I.E.)* estimado para cada masa de agua subterránea

A continuación se describe la metodología establecida para la estimación de los índices de llenado y extracción.

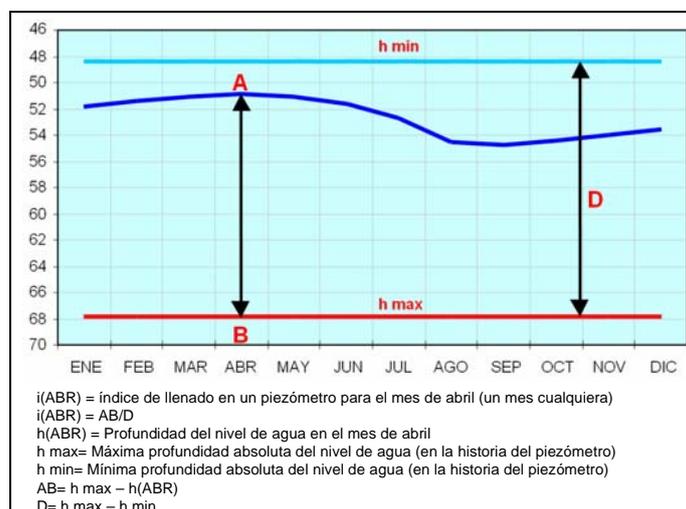
✓ **Establecimiento del índice de llenado (iLL)**

El *índice de llenado medio mensual* de aquellos acuíferos identificados en la masa de agua subterránea en los que existen puntos de control de la red operativa, se ha estimado a partir de los datos piezométricos registrados, de acuerdo con la metodología propuesta en los *Informes de Coyuntura Anuales elaborados por el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (2008)*. Estos informes sintetizan la información facilitada en los Informes de Coyuntura mensuales del año 2008, analizando a su vez los datos globales del ejercicio y su comparación con los resultados del ejercicio anterior.

El índice de llenado mensual corresponde a un porcentaje que compara la situación de la masa de agua subterránea en un mes, con la situación de máximo embalse conocido (nivel piezométrico más alto, que corresponde a un índice de llenado del 100%), y la situación de mínimo embalse conocido (nivel piezométrico más bajo, que corresponde a un índice de llenado del 0%).

En primer lugar se ha definido el índice de llenado mensual por piezómetro. Para ello se han utilizado los datos de profundidad del nivel freático registrados en los piezómetros de control representativos⁴.

De este modo, el índice de llenado de un piezómetro en un mes corresponde a la profundidad máxima del piezómetro reflejada en el registro histórico, menos la medida del piezómetro en el mes para el que se está calculando el índice de llenado, partido por la diferencia entre la profundidad máxima y mínima recogidas en el registro histórico. En la figura adjunta se sintetiza gráficamente el procedimiento a seguir para la estimación del iLL.



Posteriormente se ha establecido el índice de llenado de todos y cada uno de los piezómetros representativos considerados en cada masa de agua subterránea, para todos los meses que integran su serie histórica.

Una vez establecidos los índices de llenado por piezómetro, se ha calculado la media de los índices de cada mes, obteniendo el índice de llenado mensual por masa de agua subterránea.

$$I(\text{ABR}) = \text{índice de llenado en la MASA para el mes de abril}$$

$$I(\text{ABR}) = \text{MEDIA DE LA SUMA DE TODOS LOS } i(\text{ABR})$$

$$I(\text{ABR}) = i(\text{ABR})_1 + i(\text{ABR})_2 + \dots + i(\text{ABR})_n / n$$

Seguidamente, con los índices de llenado mensuales estimados considerando desde el primer dato registrado en el año 2006 hasta el valor piezométrico más reciente disponible, se ha elaborado un gráfico de evolución para cada masa de agua subterránea. En este gráfico, la envolvente del área obtenida representa la evolución del llenado o vaciado de acuíferos, mes a mes, durante el periodo 2006/2008.

El *índice de llenado* es un valor orientativo que presenta una serie de limitaciones inherentes al método de cálculo, pues depende tanto de causas naturales (tasa de recarga) como de causas antrópicas (extracciones) y por tanto, su establecimiento no es determinante para definir el estado cuantitativo de

⁴ Para la estimación del iLL no se han tenido en cuenta los datos registrados en manantiales, ya que estos valores se corresponden con el caudal aforado (no con las variaciones de profundidad del nivel freático) y por tanto, no son válidos para obtener porcentajes de embalse mensual con respecto a un máximo y un mínimo -piezométrico- histórico.

una masa de agua subterránea. No obstante, este índice puede resultar muy útil durante el proceso de evaluación del estado cuantitativo, pues complementa y valida los valores del índice de extracción estimados, así como la evolución piezométrica supuesta para cada masa de agua subterránea.

✓ **Establecimiento del índice de extracción (I.E.)**

El I.E. se define como el porcentaje de extracción respecto al volumen de recursos disponibles y se considera como un claro indicador a la hora de analizar la presión por sobreexplotación en una masa de agua subterránea.

Por este motivo, y con objeto de validar las conclusiones derivadas tras la estimación de los índices de llenado en aquellas masas de agua subterránea en las que se dispone de datos suficientes, se han revisado y mejorado los índices de extracción estimados en los trabajos de *Adecuación de las masas de agua subterránea de la cuenca del Guadalete y Barbate a los requerimientos de la directiva 2000/60/CE (Tragsatec, 2008)* y en la *Revisión del estado de cumplimiento de los objetivos medioambientales de las masas de agua subterránea de las Cuencas Atlánticas Andaluzas (INFRAECO-DENGA, 2008)*, a partir de los datos de *extracción y recarga* estimados en el marco del presente trabajo. En este sentido, debe señalarse que el volumen de recursos extraídos mediante bombeo se ha estimado a partir de los datos de consumo facilitados por los gestores supramunicipales de abastecimiento y diferentes comunidades de regantes, de los datos obtenidos tras la caracterización económica de los usos del agua, del registro de concesiones de aguas para el aprovechamiento de las aguas subterráneas, así como de los datos de explotación registrados en el Programa Alberca.

6.3. RESULTADOS OBTENIDOS

6.3.1. RESULTADOS OBTENIDOS TRAS LA EVALUACIÓN DEL ESTADO QUÍMICO

A continuación se recogen los resultados obtenidos tras la evaluación del estado químico de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

▪ **062.001. Setenil**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea 062.001 se evalúe como *riesgo en estudio* por contaminación puntual.

Asimismo, debido a la escasez de datos hidroquímicos relativos a la presencia de contaminantes (hidrocarburos, aceites, coliformes, etc.) asociados a las presiones puntuales consideradas durante los trabajos de caracterización adicional, la evaluación de esta presión se llevó a cabo mediante la aplicación de herramientas GIS, considerando la extensión o superficie de la masa afectada por fuentes de contaminación puntual: canteras, graveras, depuradoras de aguas residuales, gasolineras y vertederos, respecto a la superficie total de la masa.

Por este motivo, al no haber podido definir parámetros indicadores para la contaminación puntual, no ha sido posible evaluar el estado químico de la masa 062.001 para este tipo de contaminación.

No obstante, a partir de los datos disponibles, se ha procedido a evaluar el estado químico de la masa de agua subterránea en relación con el contenido en nitratos, ya que en la red de seguimiento se han

detectado concentraciones superiores a la norma de calidad contemplada en la Directiva 2006/118/CE para este parámetro.

- **Nitratos:** se ha analizado la concentración de nitratos en 4 estaciones de la red de seguimiento, contando con un total de 22 analíticas. Asimismo, el valor promedio de la concentración de nitratos registrado en la zona centro de la masa, (63,7 mg/l en la estación AA00010001), supera la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l), lo que constituye el 25% del total de las estaciones. En el resto de estaciones no se han registrado concentraciones de nitratos muy elevadas, comprendiendo valores medios entre 9,8 y 18,7 mg/l.

Teniendo en cuenta que la norma de calidad solamente se supera en una de las estaciones y además, lo hace en un porcentaje no muy elevado, que la distribución de las 4 estaciones es representativa para el total de la masa y que en dicha masa se identificó impacto por presiones puntuales y no por difusas, se ha estimado que existe un riesgo (por nitratos) localizado en el entorno de la estación AA00010001, pero que no es extrapolable para el total de la masa. Por este motivo, y teniendo en cuenta que no se disponen de parámetros indicadores de contaminación puntual, se considera que la evaluación del estado químico para la masa de agua subterránea 062.001. Setenil, NO ES CONCLUYENTE.

En cualquier caso, se recomienda un seguimiento continuado en el entorno de la estación AA00010001, con objeto de controlar la evolución hidroquímica de las aguas, con especial atención a la concentración de nitratos.

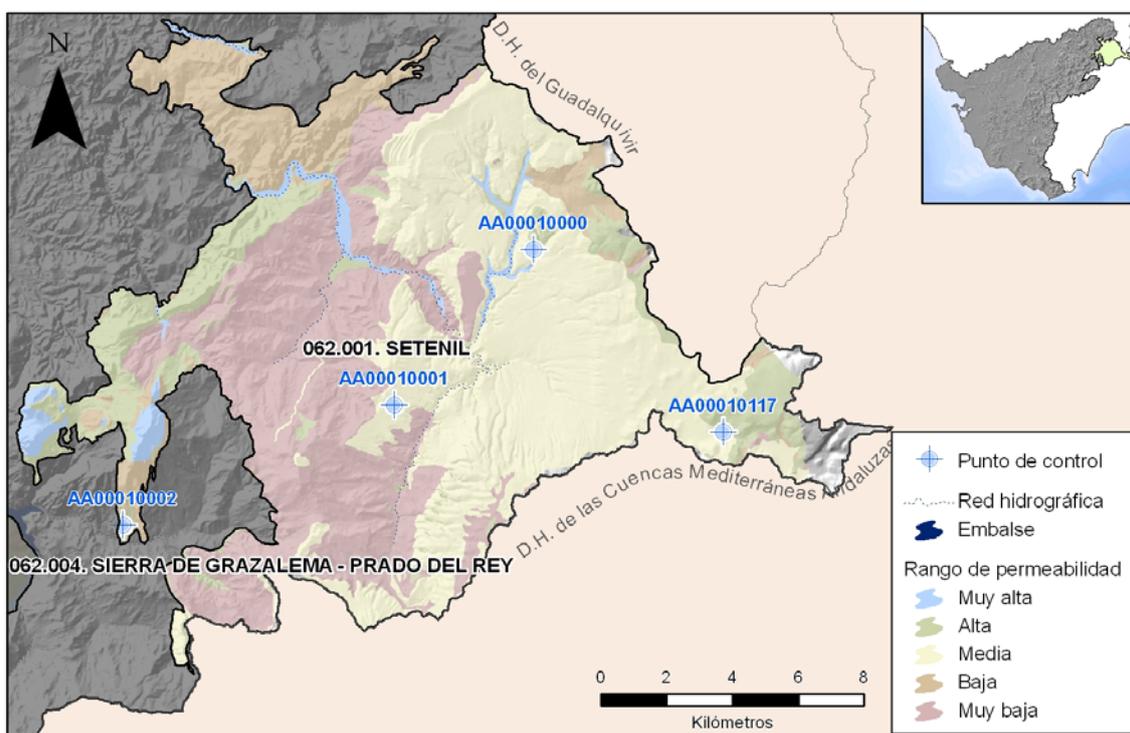


Figura 6.3.1.1. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea 062.001

- **062.002. Sierra de Líbar; 062.003. Sierra de Líjar; 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey**

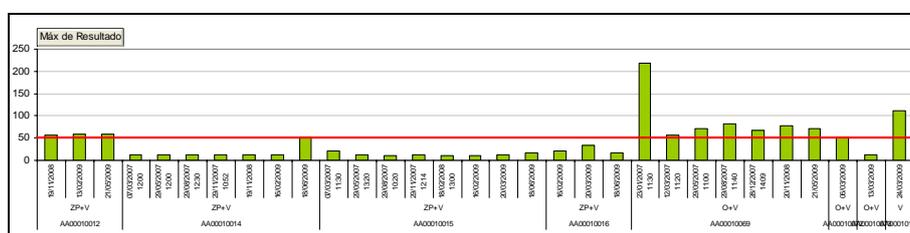
Las masas de agua subterránea identificadas en la zona de cabecera de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate se consideran fuera de riesgo o sin riesgo, por lo que, en cumplimiento con lo estipulado en la *Guía nº 18. Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias*, éstas se han clasificado automáticamente como en BUEN ESTADO.

- **062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea 062.005 se identifique *en riesgo* por contaminación difusa, en base a los valores de conductividad y concentración de nitratos.

- **Conductividad eléctrica:** se ha analizado la conductividad eléctrica en 8 estaciones de la red de seguimiento, contando con un total de 31 analíticas. Tras el análisis estadístico de los datos se ha comprobado que ningún valor promedio supera el valor umbral (2500 µS/cm), por lo que se ha considerado que la masa de agua subterránea presenta un buen estado químico con respecto a este parámetro.

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos en 8 estaciones de la red de seguimiento, contando con un total de 31 analíticas. Tras el análisis estadístico de los datos se ha comprobado que el valor promedio de la concentración de nitratos registrado en 4 de las estaciones supera la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l), lo que constituye el 50% del total de las estaciones. Asimismo, las estaciones en las que se ha superado la norma de calidad se encuentran distribuidas a lo largo de toda la masa de agua subterránea, por lo que ésta se considera en mal estado respecto a la concentración de nitratos.



Dado que uno de los parámetros indicadores de contaminación difusa (concentración de nitratos) determina que la masa de agua subterránea está en mal estado respecto a dicho indicador, tras la evaluación del estado global de la masa, se considera que presenta MAL ESTADO QUÍMICO.

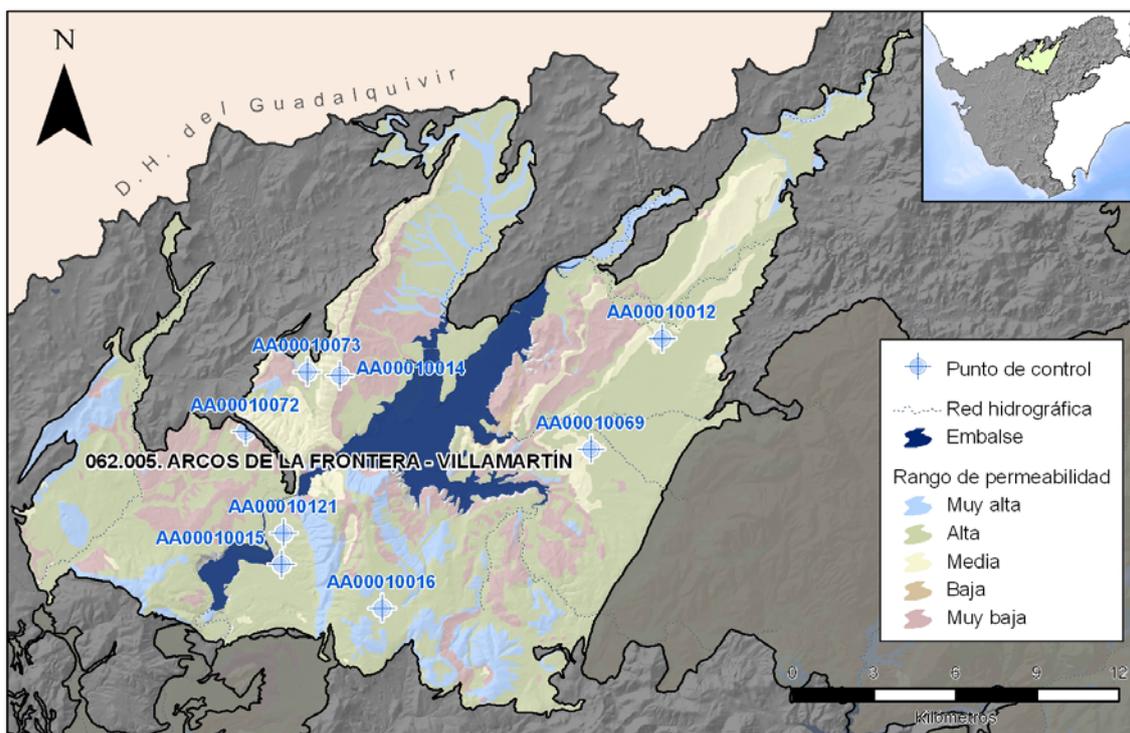


Figura 6.3.1.2. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea 062.005

- **062.006. Sierra Valleja**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea 062.005 se identifique *en riesgo* por contaminación difusa, en base a los valores de conductividad y concentración de nitratos.

- **Conductividad eléctrica:** en la masa 062.006 solamente se dispone de una estación de seguimiento en la que se ha analizado (puntualmente) la conductividad eléctrica. Asimismo, el valor de conductividad eléctrica registrado no supera en valor umbral establecido (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), por lo que se ha considerado que la masa de agua subterránea presenta un buen estado químico con respecto a este parámetro.

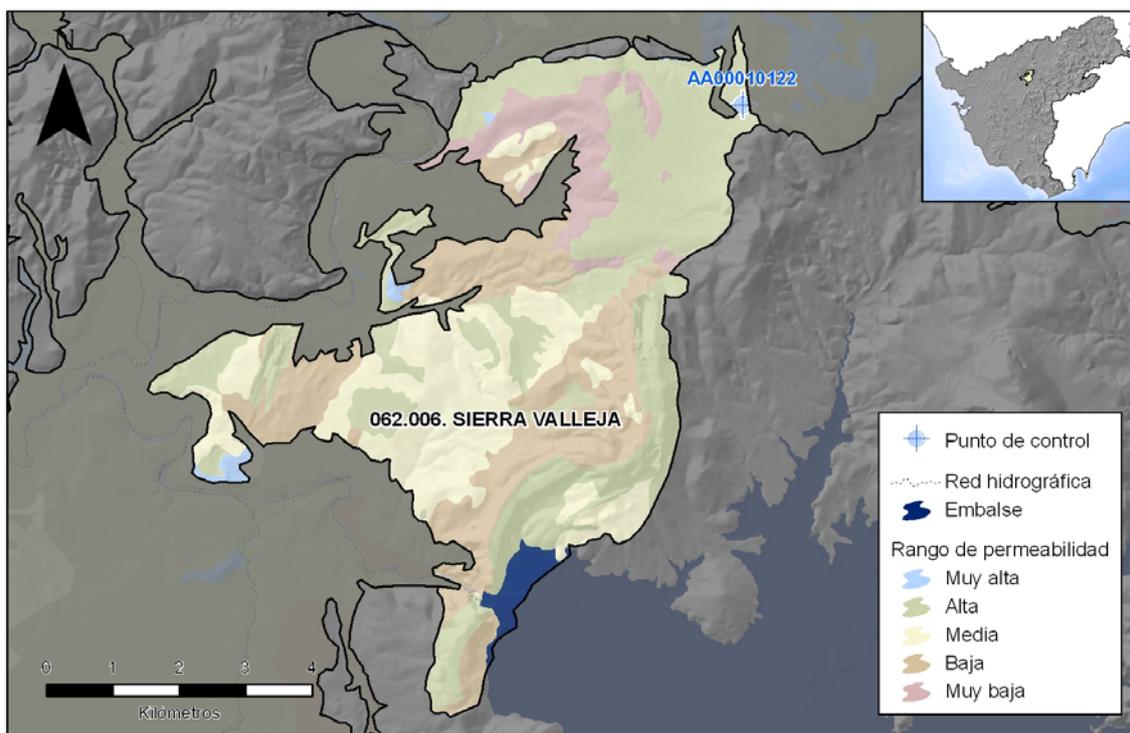
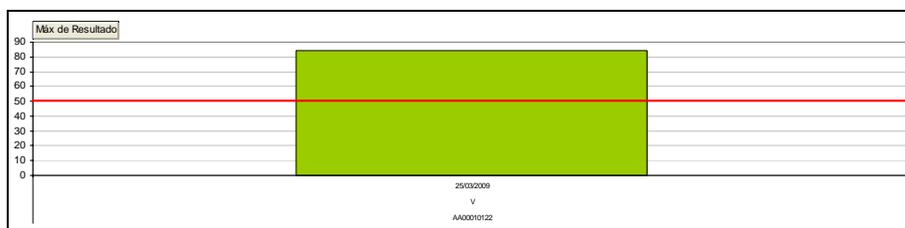


Figura 6.3.1.3. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea 062.006

- **Nitratos:** al igual que ocurre con el parámetro anterior, para la concentración de nitratos solamente se ha registrado una medida puntual, que supera la norma de calidad establecida en la Directiva 2006/118/CE. En base a este valor, se considera que la masa presenta un mal estado químico con respecto a este parámetro.



Dado que no se dispone de información relativa a la profundidad de la estación, características constructivas y acuíferos captados, no es posible discriminar si el análisis hidroquímico es representativo de los materiales de cobertera (aluvial) o de las formaciones infra-adyacentes. Por este motivo, al considerar que la red de control del estado químico operativa en la masa 062.006 es insuficiente, se considera que la evaluación del estado químico para la masa de agua subterránea 062.006, Setenil, NO ES CONCLUYENTE.

▪ **062.007. Sierra de las Cabras**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea 062.007 se identifique como fuera de riesgo.

Sin embargo, tras el análisis estadístico de los datos registrados en las redes de control operativo y de vigilancia durante el periodo de Planificación Hidrológica 2006/09, se han detectado concentraciones de nitratos (para el año 2009) superiores a la norma de calidad establecida en la Directiva 2006/118/CE. Por este motivo, se ha procedido a evaluar el estado químico de la masa de agua subterránea, en relación con este indicador.

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos en 3 estaciones de la red de seguimiento, contando con un total de 3 analíticas para al año 2009 (una por estación). Tras el análisis estadístico de los datos se ha comprobado que en la estación AA00010127 se duplica el valor establecido en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l), registrando una concentración de 103,7 mg/l. No obstante, el número de datos disponible es insuficiente, por lo que se considera que la masa de agua subterránea 062.007. presenta BUEN ESTADO QUÍMICO.

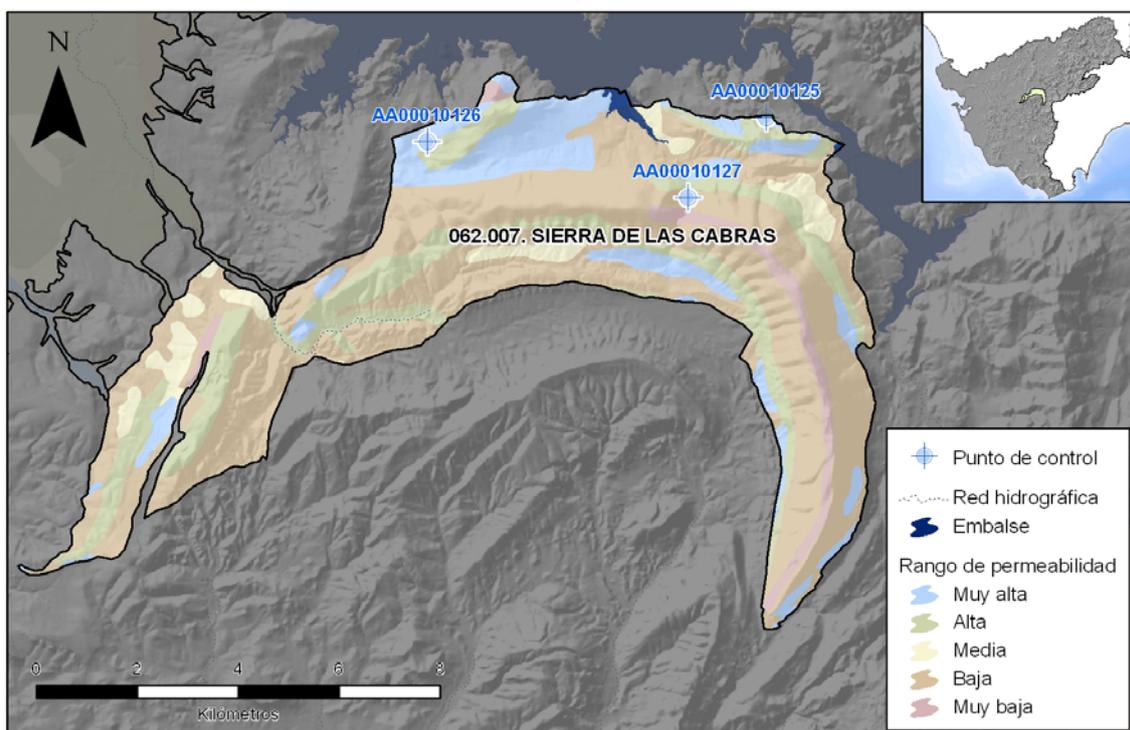
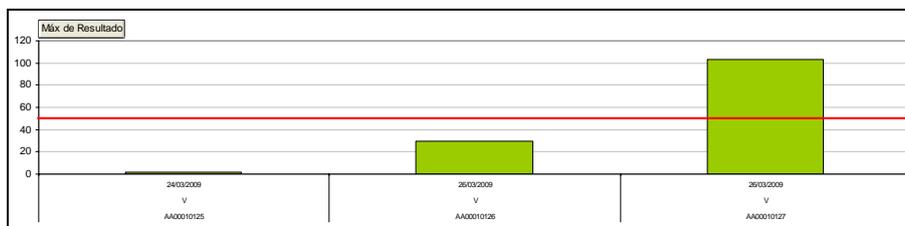


Figura 6.3.1.4. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea 062.007

En cualquier caso, se recomienda un seguimiento continuado en el entorno de la estación AA00010127, con objeto de controlar la evolución hidroquímica de las aguas, con especial atención a la concentración de nitratos.



▪ **062.008. Aluvial del Guadalete**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea se encuentra *en riesgo* por contaminación puntual y difusa. En función de la disponibilidad de datos hidroquímicos se ha procedido a la evaluación del estado químico, en base a los dos parámetros considerados como indicadores de contaminación difusa: conductividad eléctrica y nitratos.

- **Conductividad eléctrica:** en la masa de agua subterránea del Aluvial del Guadalete se han identificado 3 estaciones de seguimiento en las que se dispone de valores de conductividad.

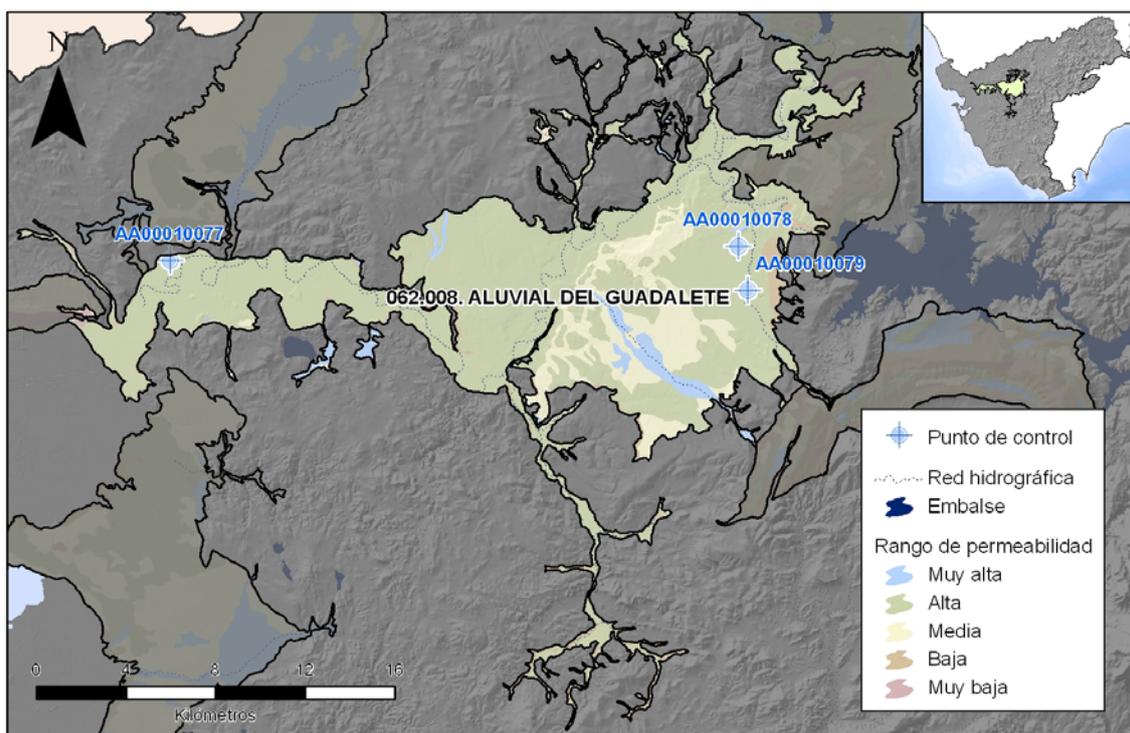
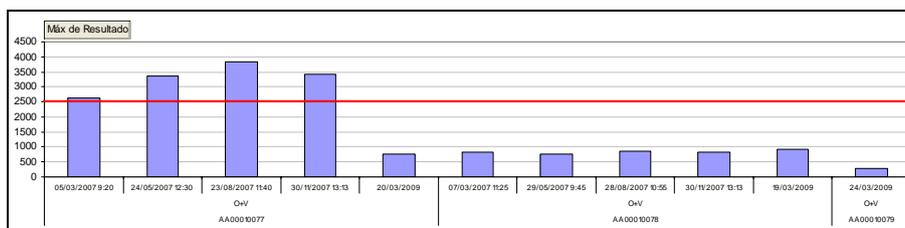
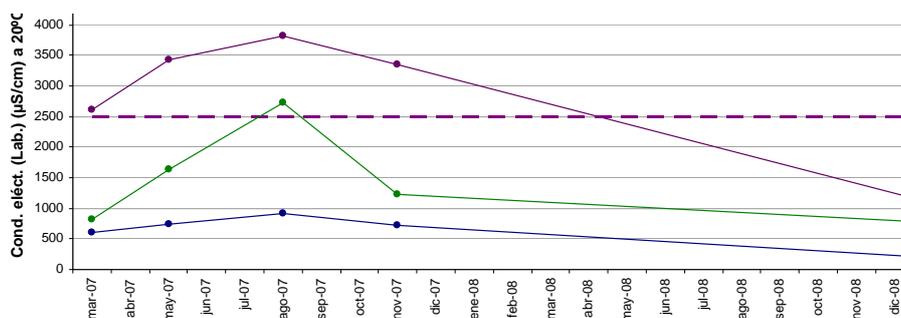


Figura 6.3.1.5. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea 062.008

Tras el análisis estadístico de los datos se ha comprobado que el valor promedio calculado en la estación AA00010077, supera el valor umbral establecido (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Sin embargo, como puede observarse en el gráfico de evolución hidroquímica adjunto, los valores de conductividad eléctrica (así como la concentración del anión cloruro y nitrato) presentan una tendencia descendente en el periodo considerado, hasta situarse por debajo del valor umbral en los análisis más recientes. Por este motivo se ha considerado que, aunque el valor promedio correspondiente al parámetro de conductividad eléctrica supere el valor umbral establecido, los análisis más reciente muestran que la masa de agua subterránea presenta buen estado químico con respecto a este parámetro.



- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos en 3 estaciones de la red de seguimiento, contando con un total de 11 analíticas. Tras el análisis estadístico de los datos se ha comprobado que el valor promedio de la concentración de nitratos registrada en las 3 estaciones de seguimiento, es inferior a la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l), por lo que se considera que la masa de agua subterránea presenta un buen estado químico con respecto a este parámetro.

A la vista de los resultados obtenidos tras el análisis estadístico de los datos registrados en las redes de control, se considera que la masa de agua subterránea 062.008. Aluvial del Guadalete, presenta BUEN ESTADO QUÍMICO.

▪ **062.009. Jerez de la Frontera**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea se encuentra *en riesgo* por contaminación puntual y difusa. En función de la disponibilidad de datos hidroquímicos se ha procedido a la evaluación del estado químico, en base a los dos parámetros considerados como indicadores de contaminación difusa: conductividad eléctrica y nitratos.

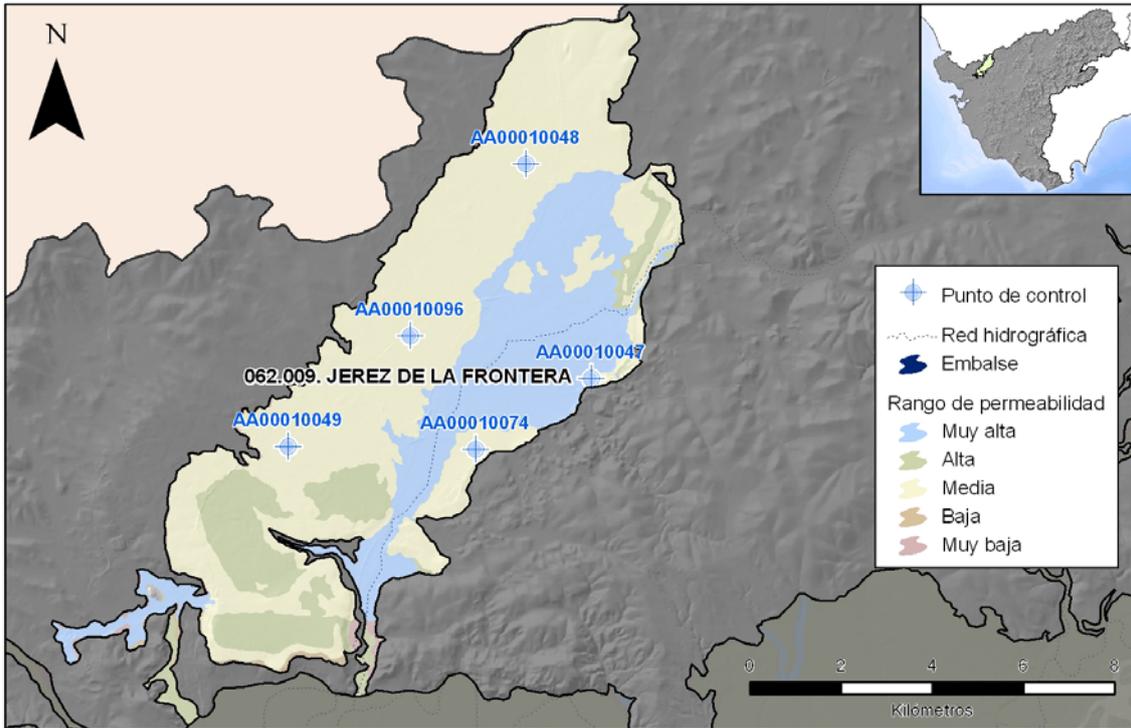
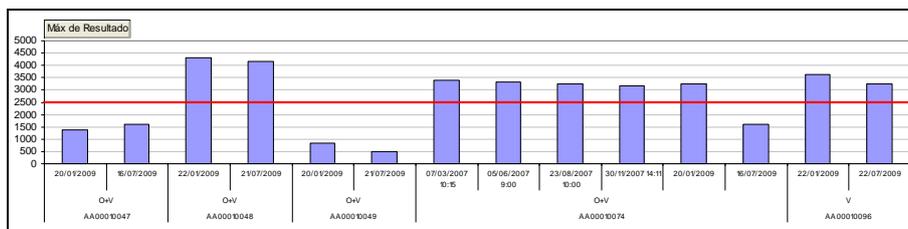
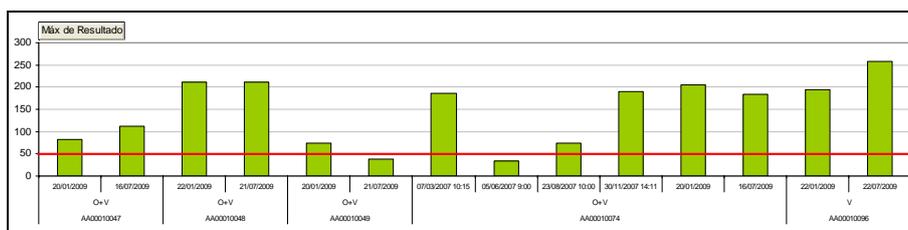


Figura 6.3.1.6. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea 062.009

- **Conductividad eléctrica:** en la masa 062.009 se han identificado 5 estaciones de seguimiento en las que se dispone de análisis de conductividad eléctrica. El valor promedio de tres de estas estaciones supera el valor umbral establecido (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo que representa el 60% del total de estaciones. Asimismo, se ha comprobado que los puntos en los que se supera el valor establecido en la norma de calidad se encuentran distribuidos a lo largo de toda la masa, por lo que se considera que la masa de agua subterránea se encuentra en mal estado químico con respecto a este parámetro.



- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos en 5 estaciones de la red de seguimiento, contando con un total de 14 analíticas. Tras el análisis estadístico de los datos, se ha comprobado que el valor promedio de nitratos registrado en las 5 estaciones supera la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l), llegando a cuadruplicarse en 2 de estas estaciones (AA00010048 y AA00010096). Por los motivos anteriormente expuestos, se considera que la masa de agua subterránea presenta un mal estado químico con respecto a este parámetro.



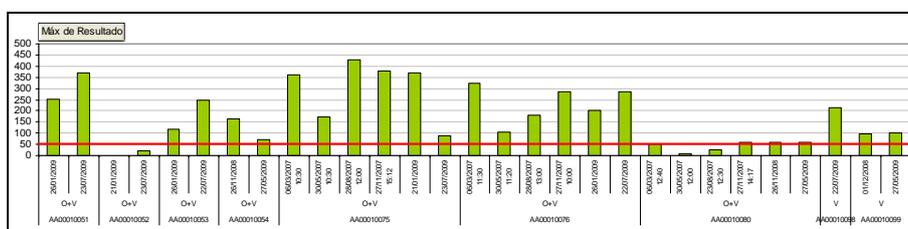
A la vista de los resultados obtenidos tras el análisis estadístico de los datos registrados en las redes de control, se considera que la masa de agua subterránea 062.009. Jerez de la Frontera, presenta MAL ESTADO QUÍMICO.

▪ **062.010. Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María**

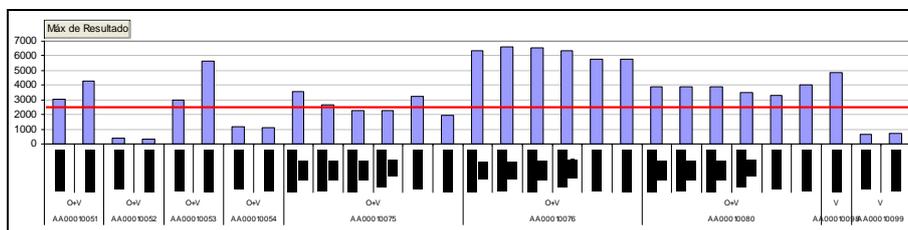
Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea se encuentra *en riesgo* por contaminación puntual y difusa, así como por intrusión marina. En función de la disponibilidad de datos hidroquímicos se ha procedido a la evaluación del estado químico, en base a los dos parámetros considerados como indicadores de contaminación difusa: conductividad eléctrica y nitratos, y en base a la concentración del anión cloruro y relación iónica cloruros/bicarbonatos, como indicadores de la intrusión.

Para ello, se han establecido niveles de referencia para los parámetros indicadores considerados para la identificación del riesgo por contaminación difusa, y riesgo por intrusión (conductividad, concentración del anión cloruro y relación iónica cloruros/bicarbonatos). Sin embargo, tras el análisis estadístico de los datos, los indicadores considerados para la identificación del riesgo por intrusión han sido descartados, debido a la escasez de datos históricos no afectados por intrusión registrados en las estaciones de seguimiento. De este modo, para la evaluación del estado químico, al no disponer de niveles de referencia para dichos parámetros, se han cotejado los niveles básicos estimados según el Valor Criterio (VC) relativo a criterios de uso (utilizado para el establecimiento de valores umbral), según dispone el RD 140/03.

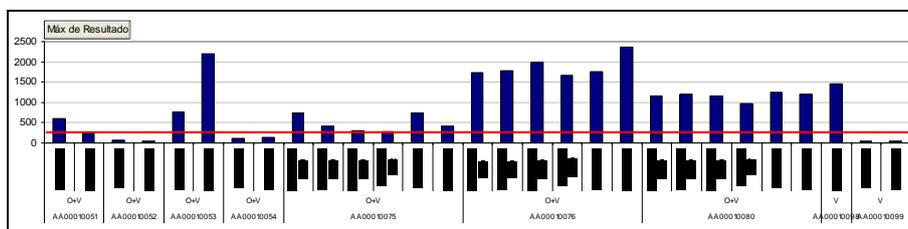
- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos en 9 estaciones de la red de seguimiento, contando con un total de 29 analíticas. Tras el análisis estadístico de los datos se ha comprobado que el valor promedio de nitratos en 7 de las 9 estaciones supera la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l), llegando a sextuplicarse la norma de calidad en una de las estaciones. Por los motivos anteriormente expuestos, se considera que la masa de agua subterránea presenta un mal estado químico con respecto a este parámetro.



- **Conductividad eléctrica:** en la masa 062.010 se han identificado 9 estaciones de seguimiento en las que se dispone de análisis de conductividad eléctrica. El valor promedio de 6 de las estaciones supera el valor criterio establecido (VC del RD 140/03 = 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo cual constituye el 67% del total de las estaciones e indica que la masa de agua subterránea presenta mal estado químico con respecto a este parámetro.



- **Concentración del anión cloruro:** en la masa de agua subterránea 062.010 se han identificado 9 estaciones en las que se dispone de análisis de cloruros. El valor promedio de 6 de las estaciones supera el valor criterio utilizado (VC del RD 140/03 = 250 mg/l), lo que constituye el 67% del total de las estaciones e indica que la masa de agua subterránea presenta mal estado químico con respecto a este parámetro.



- **Relación iónica cloruros/bicarbonatos:** tras el análisis estadístico de los datos disponibles no ha podido definirse el nivel de referencia para este parámetro (a falta de un registro histórico representativo de las condiciones naturales de la masa), y por tanto, no ha podido evaluarse el estado químico de la masa de agua subterránea con respecto a la relación cloruros/bicarbonatos.

No obstante se ha comprobado que en 6 estaciones de control se supera el valor criterio establecido para los parámetros: cloruros y conductividad, y que estos puntos se localizan (geográficamente) en las zonas más próximas a la costa; mientras que las 3 estaciones en las que no se supera el VC, se localizan en zonas del interior. Por este motivo se recomienda el seguimiento continuado de la evolución hidroquímica de las aguas subterráneas en el sector localizado próximo al límite de costa, (en el entorno de estas 6 estaciones).

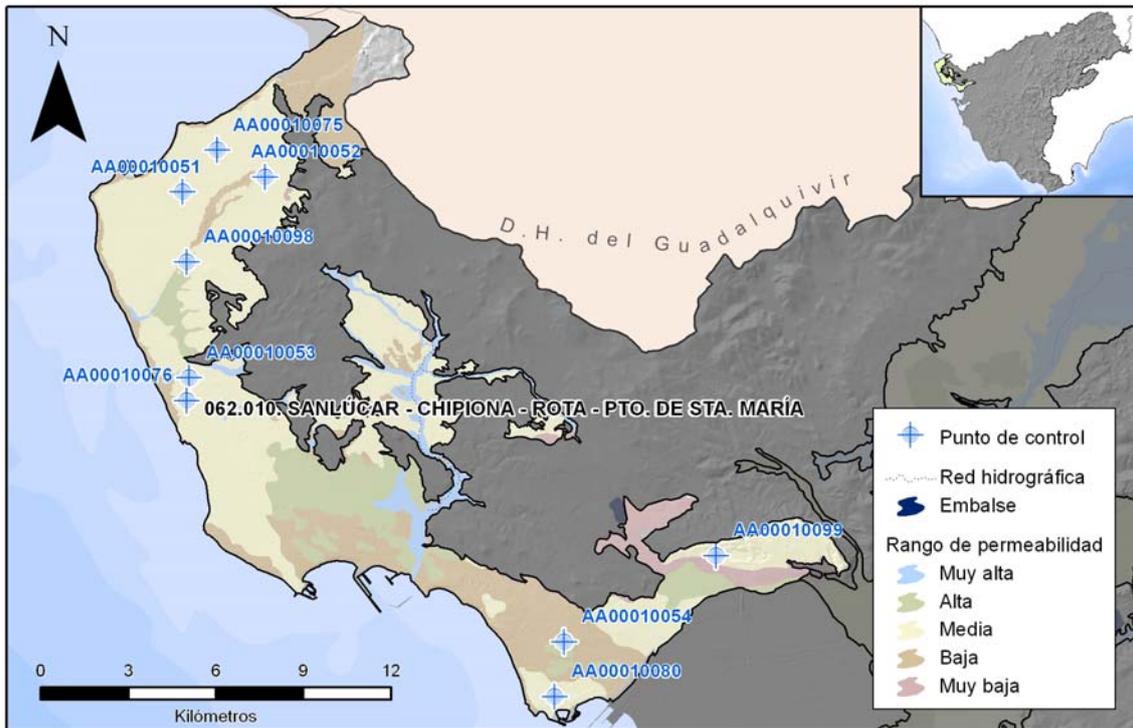


Figura 6.3.1.7. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea 062.010

A la vista de los resultados obtenidos, se considera que la masa de agua subterránea 062.010. Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María, presenta MAL ESTADO QUÍMICO (respecto al contenido en nitratos, cloruros y conductividad eléctrica).

▪ **062.011. Puerto Real**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea se encuentra *en riesgo* por contaminación puntual, así como por intrusión marina. En función de la disponibilidad de datos hidroquímicos se ha procedido a la evaluación del estado químico, en base a los parámetros: conductividad eléctrica, concentración del anión cloruro y relación iónica cloruros/bicarbonatos, como indicadores de la intrusión.

De manera adicional se ha evaluado el estado químico de la masa de agua en relación con el contenido de nitratos, ya que en la red de seguimiento se han detectado concentraciones que superan la norma de calidad establecida en la Directiva 2006/118/CE.

Tras el análisis estadístico de los datos, los indicadores considerados para la identificación del riesgo por intrusión (conductividad eléctrica, concentración del anión cloruro, y relación iónica cloruros/bicarbonatos), han sido descartados, debido a la escasez de datos históricos no afectados por intrusión. De este modo, para la evaluación del estado químico, al no disponer de niveles de referencia para dichos parámetros, se han cotejado los niveles básicos estimados según el Valor Criterio (VC) relativo a criterios de uso (utilizado para el establecimiento de valores umbral), según dispone el RD 140/03.

- **Conductividad eléctrica:** en la masa de agua subterránea 062.011 se han identificado 3 estaciones de control en las que se dispone de análisis de conductividad eléctrica, contando con un total de 10 datos analíticos. El valor promedio de las 3 estaciones es inferior al valor criterio considerado (VC del RD 140/03 = 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo que indica que la masa presenta buen estado químico con respecto a este parámetro.

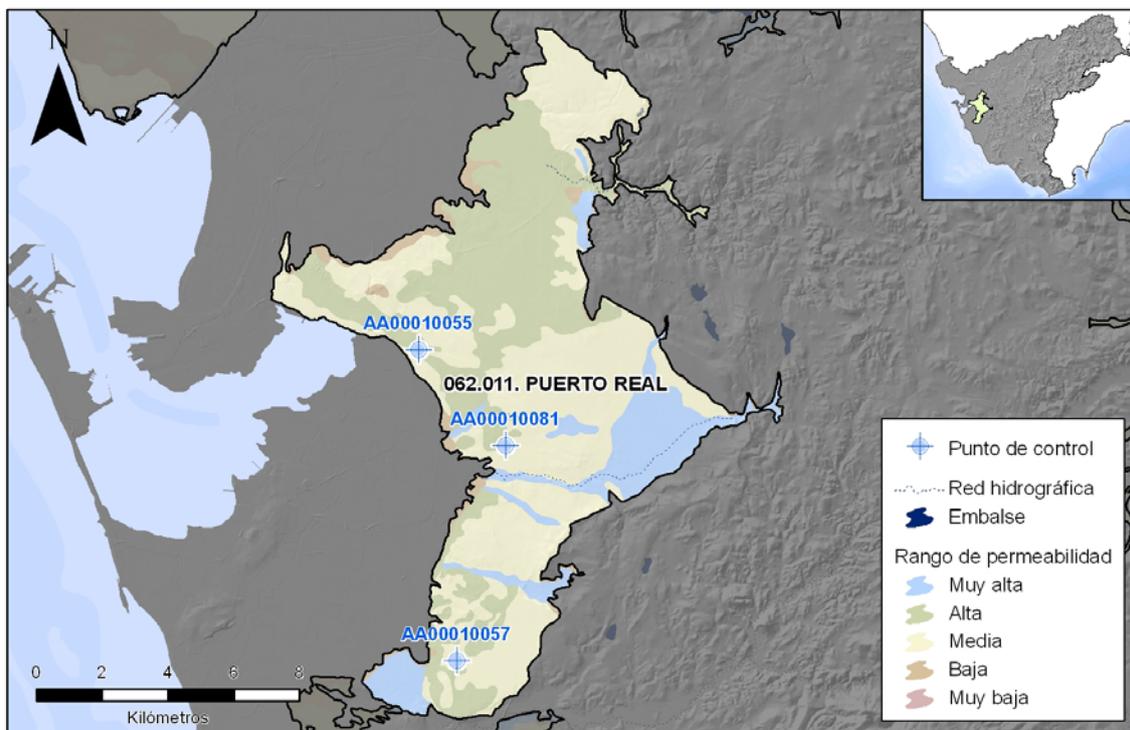


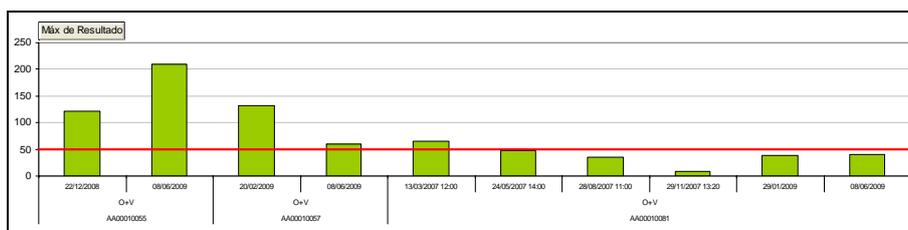
Figura 6.3.1.8. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea 062.011

- **Concentración del anión cloruro:** al igual que con la conductividad eléctrica, en la masa de agua subterránea 062.011 se han identificado 3 estaciones con análisis de cloruros.

El valor promedio de las 3 estaciones es inferior el valor criterio utilizado (VC del RD 140/03 = 250 mg/l) e indica que la masa presenta buen estado químico con respecto a este parámetro.

- **Relación iónica cloruros/bicarbonatos:** tras el análisis estadístico de los datos disponibles no ha podido definirse el nivel de referencia para este parámetro (a falta de un registro histórico representativo de las condiciones naturales de la masa), y por tanto, no ha podido evaluarse el estado químico de la masa de agua subterránea con respecto a la relación cloruros/bicarbonatos.

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos registrado en las 3 estaciones que constituyen la red de seguimiento, contando con un total de 10 analíticas. El valor promedio para la concentración de nitratos en 2 de las estaciones supera la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l), llegando a triplicarse este valor establecido en una de las estaciones (AA00010055). Por este motivo, se considera que la masa de agua subterránea presenta mal estado químico con respecto a este parámetro.



A la vista de los resultados obtenidos, se considera que la masa de agua subterránea 062.011. Puerto Real, presenta MAL ESTADO QUÍMICO.

▪ **062.012. Conil de la Frontera**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea se encuentra *en riesgo* por contaminación puntual y difusa, así como por intrusión marina. En función de la disponibilidad de datos hidroquímicos se ha procedido a la evaluación del estado químico, en base a los dos parámetros considerados como indicadores de contaminación difusa: conductividad eléctrica y nitratos, y en base a la concentración del anión cloruro y relación iónica cloruros/bicarbonatos, como indicadores de la intrusión.

Para ello, se han establecido niveles de referencia para los parámetros indicadores considerados para la identificación del riesgo por contaminación difusa, y riesgo por intrusión (conductividad, concentración del anión cloruro y relación iónica cloruros/bicarbonatos). Sin embargo, tras el análisis estadístico de los datos, los indicadores considerados para la identificación del riesgo por intrusión han sido descartados, debido a la escasez de datos históricos no afectados por intrusión registrados en las estaciones de seguimiento. De este modo, para la evaluación del estado químico, al no disponer de niveles de referencia para dichos parámetros, se han cotejado los niveles básicos estimados según el Valor Criterio (VC) relativo a criterios de uso (utilizado para el establecimiento de valores umbral), según dispone el RD 140/03.

- **Conductividad eléctrica:** en la masa de agua subterránea 062.012 se han identificado 5 estaciones de control en las que se dispone de análisis de conductividad eléctrica. Tras el análisis estadístico de los datos, el valor promedio obtenido en las 5 estaciones es inferior al valor criterio utilizado (VC del RD 140/03 = 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo que indica que la masa presenta buen estado químico con respecto a este parámetro.

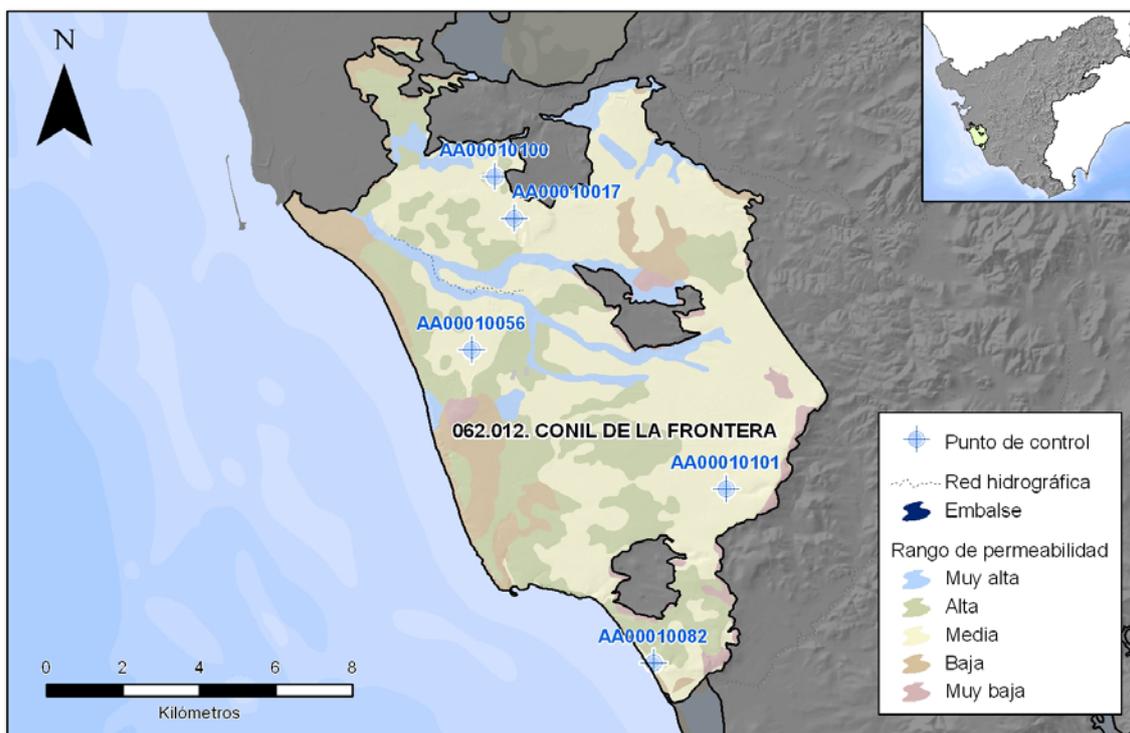
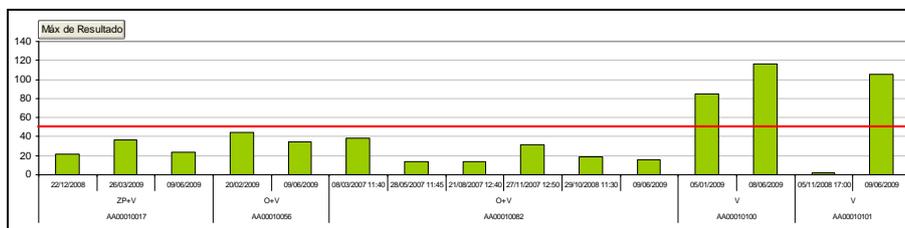


Figura 6.3.1.9. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea 062.012

- **Concentración del anión cloruro:** al igual que con la conductividad eléctrica, en la masa de agua subterránea 062.012 se han identificado 5 estaciones con análisis de cloruros. El valor promedio de las 5 estaciones es inferior al valor criterio utilizado (VC del RD 140/03 =250 mg/l), lo que indica que la masa presenta buen estado químico con respecto a este parámetro.

- **Relación iónica cloruros/bicarbonatos:** tras el análisis estadístico de los datos disponibles no ha podido definirse el nivel de referencia para este parámetro (a falta de un registro histórico representativo de las condiciones naturales de la masa), y por tanto, no ha podido evaluarse el estado químico de la masa de agua subterránea con respecto a la relación cloruros/bicarbonatos.

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos registrado en 5 estaciones de la red de seguimiento, contando con un total de 15 analíticas. El valor promedio obtenido para la concentración de nitratos en 2 de las 5 estaciones supera la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l), llegando a duplicarse este valor en una de las estaciones. Por este motivo, se considera que la masa de agua subterránea presenta mal estado químico con respecto a este parámetro.



A la vista de los resultados obtenidos, se considera que la masa de agua subterránea 062.012. Conil de la Frontera, presenta MAL ESTADO QUÍMICO.

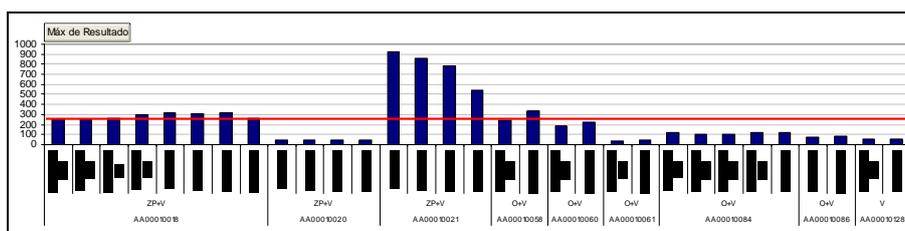
▪ 062.013. Barbate

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea se encuentra *en riesgo* por contaminación puntual y difusa, así como por intrusión marina. En función de la disponibilidad de datos hidroquímicos se ha procedido a la evaluación del estado químico, en base a los dos parámetros considerados como indicadores de contaminación difusa: conductividad eléctrica y nitratos, y en base a la concentración del anión cloruro y relación iónica cloruros/bicarbonatos, como indicadores de la intrusión.

Para ello, se han establecido niveles de referencia para los parámetros indicadores considerados para la identificación del riesgo por contaminación difusa, y riesgo por intrusión (conductividad, concentración del anión cloruro y relación iónica cloruros/bicarbonatos). Sin embargo, tras el análisis estadístico de los datos, los indicadores considerados para la identificación del riesgo por intrusión han sido descartados, debido a la escasez de datos históricos no afectados por intrusión registrados en las estaciones de seguimiento. De este modo, para la evaluación del estado químico, al no disponer de niveles de referencia para dichos parámetros, se han cotejado los niveles básicos estimados según el Valor Criterio (VC) relativo a criterios de uso (utilizado para el establecimiento de valores umbral), según dispone el RD 140/03.

- **Conductividad eléctrica:** en la masa de agua subterránea 062.013 se han identificado 9 estaciones de control en las que se dispone de datos analíticos. Tras el análisis estadístico de los datos, el valor promedio obtenido en las 9 estaciones es inferior al valor criterio utilizado (VC del RD 140/03 = 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo que indica que la masa presenta buen estado químico con respecto a este parámetro.

- **Concentración del anión cloruro:** al igual que con la conductividad eléctrica, en la masa de agua subterránea 062.013 se han identificado 9 estaciones con análisis de cloruros. El valor promedio obtenido en 3 de las estaciones es superior al valor criterio utilizado (VC del RD 140/03 = 250 mg/l), lo que indica que la masa presenta mal estado químico con respecto a este parámetro.



Como puede observarse en la figura adjunta, no existe una relación -espacial- evidente entre las estaciones cuyo valor promedio de cloruros supera el valor umbral y su proximidad a la costa. Este hecho, sumado a que las estaciones cuyo valor promedio de cloruros supera el valor umbral, no superan el valor umbral de conductividad, parece indicar que las elevadas concentraciones de cloruros registradas en estas estaciones no están asociadas (exclusivamente) a fenómenos de intrusión.

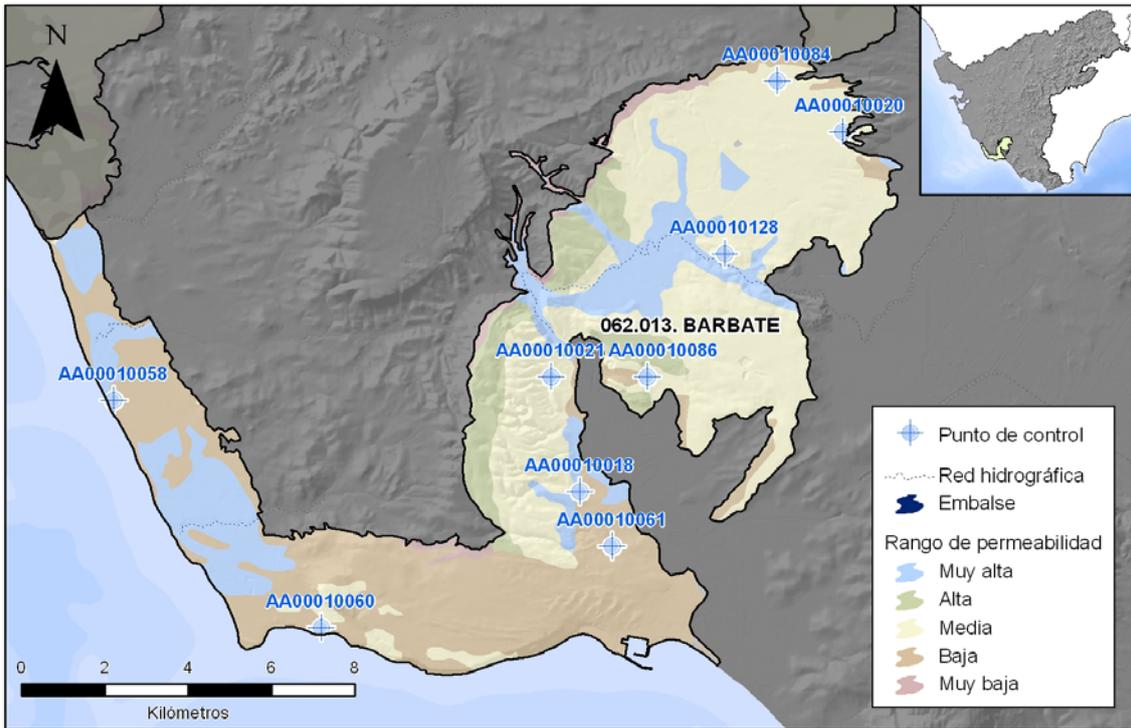
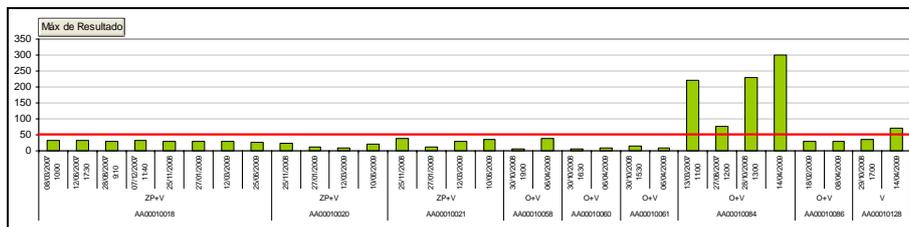


Figura 6.3.1.10. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea 062.013

- **Relación iónica cloruros/bicarbonatos:** tras el análisis estadístico de los datos disponibles no ha podido definirse el nivel de referencia para este parámetro (a falta de un registro histórico representativo de las condiciones naturales de la masa), y por tanto, no ha podido evaluarse el estado químico de la masa de agua subterránea con respecto a la relación cloruros/bicarbonatos.

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos registrado en 9 estaciones de la red de seguimiento, contando con un total de 30 analíticas. El valor promedio obtenido para la concentración de nitratos en 2 de las 9 estaciones supera la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l), llegando a sextuplicarse este valor en una de las estaciones. Por este motivo, se considera que la masa de agua subterránea presenta mal estado químico con respecto a este parámetro.



A la vista de los resultados obtenidos, se considera que la masa de agua subterránea 062.013. Barbate, presenta MAL ESTADO QUÍMICO.

▪ **062.014. Benalup**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, en dichas masas. El resultado de estos trabajos establece que la masa de agua subterránea se encuentra *en riesgo* por contaminación puntual y difusa. En función de la disponibilidad de datos hidroquímicos se ha procedido a la evaluación del estado químico, en base a los dos parámetros considerados como indicadores de contaminación difusa: conductividad eléctrica y nitratos.

- **Conductividad eléctrica:** en la masa de agua subterránea 062.014 se han identificado 3 estaciones de control en las que se dispone de datos analíticos. Tras el análisis estadístico de los datos, el valor promedio obtenido en las 3 estaciones es inferior al valor criterio utilizado (VC del RD 140/03 = 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo que indica que la masa presenta buen estado químico con respecto a este parámetro.

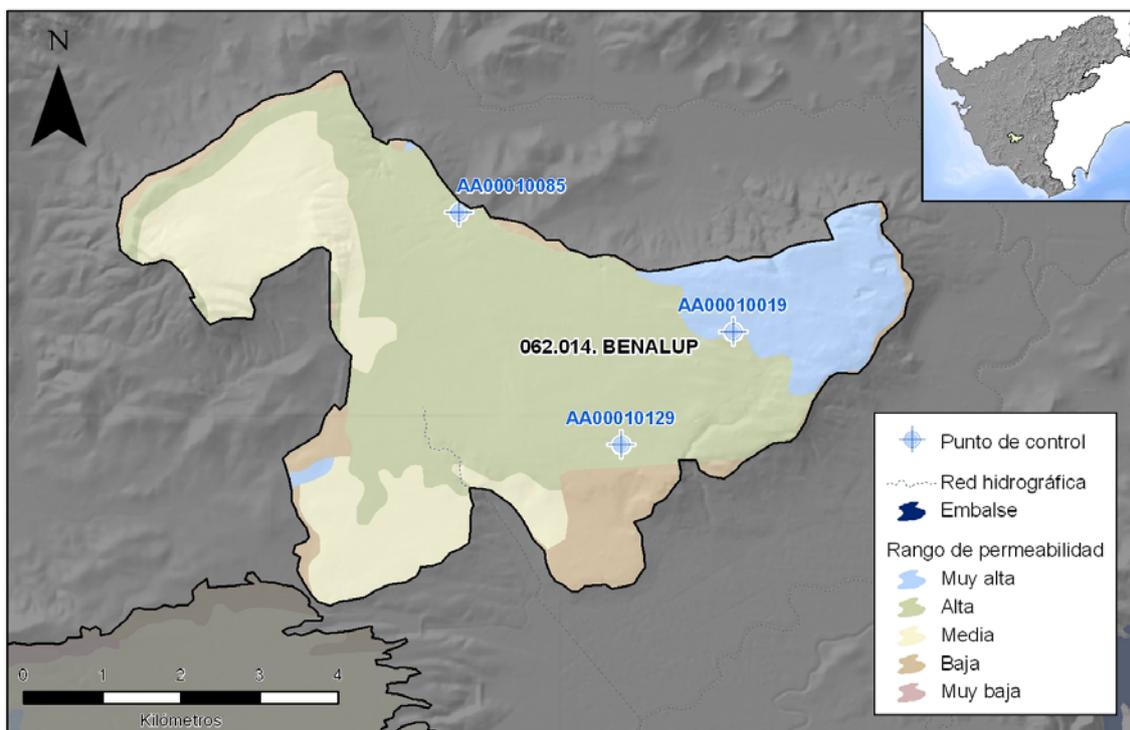
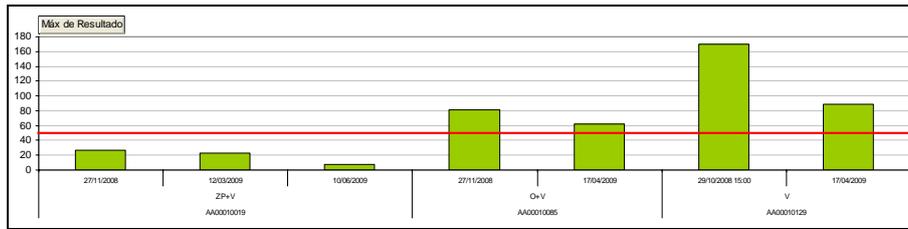


Figura 6.3.1.11. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea 062.014

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos registrado en 3 estaciones de la red de seguimiento, contando con un total de 7 analíticas.

El valor promedio obtenido para la concentración de nitratos en 2 de las 3 estaciones supera la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l), llegando a duplicarse este valor en una de las estaciones. Por este motivo, se considera que la masa de agua subterránea presenta mal estado químico con respecto a este parámetro.



A la vista de los resultados obtenidos, se considera que la masa de agua subterránea 062.014. Benalup, presenta MAL ESTADO QUÍMICO.

6.3.2. RESULTADOS OBTENIDOS TRAS LA EVALUACIÓN DEL ESTADO CUANTITATIVO

A continuación se recogen los resultados obtenidos tras la evaluación del estado cuantitativo de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

Asimismo, para cada masa de agua subterránea evaluada se incluye una serie de gráficos sintéticos en los que se describe brevemente:

- ✓ El número de piezómetros representativos considerados
- ✓ Porcentaje estimado para el índice de llenado entre octubre de 2006 y septiembre de 2007
- ✓ Tendencia general del índice de llenado a lo largo del periodo analizado
- ✓ Diferencia de llenado porcentual entre el final del año hidrológico (septiembre) y el inicio (octubre), para cada año hidrológico

▪ 062.001. Setenil

Tras el análisis estadístico de los datos se ha comprobado que solamente se dispone de datos piezométricos actuales en uno de los piezómetros (3294), perteneciente a la red de control de la Agencia Andaluza del Agua, pero en dicho piezómetro no se han registrado datos históricos. Por lo tanto, debido a la escasez de datos piezométricos registrados en las redes de control operativas, no ha podido evaluarse el estado cuantitativo de la masa.

▪ 062.002. Sierra de Líbar

Tras el análisis estadístico de los datos se ha comprobado que solamente se dispone de datos piezométricos en dos piezómetros si bien, estos datos fueron registrados en octubre de 1983. Por lo tanto, debido a la escasez de datos piezométricos registrados en las redes de control operativas, no ha podido evaluarse el estado cuantitativo de la masa.

▪ 062.003. Sierra de Lijar

Tras el análisis estadístico de los datos se ha comprobado que solamente se dispone de datos piezométricos en tres piezómetros si bien, el registro más reciente se corresponde con la campaña de noviembre de 2002, y no se dispone de datos anteriores al año 2000. Por lo tanto, debido a la escasez de datos piezométricos registrados en las redes de control operativas, no ha podido evaluarse el estado cuantitativo de la masa.

▪ **062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey**

Tras el análisis estadístico de los datos se ha comprobado que solamente se dispone de datos piezométricos actuales en uno de los piezómetros (3295), perteneciente a la red de control de la Agencia Andaluza del Agua, pero en dicho piezómetro no se han registrado datos históricos. Por lo tanto, debido a la escasez de datos piezométricos registrados en las redes de control operativas, no ha podido evaluarse el estado cuantitativo de la masa.

▪ **062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín**

Interpretación por piezómetros

Para la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 062.005 se ha utilizado la evolución del nivel piezométrico registrada en las 3 estaciones de control identificadas en la tabla adjunta, ya que éstas presentan disponibilidad de información piezométrica tanto reciente como histórica.

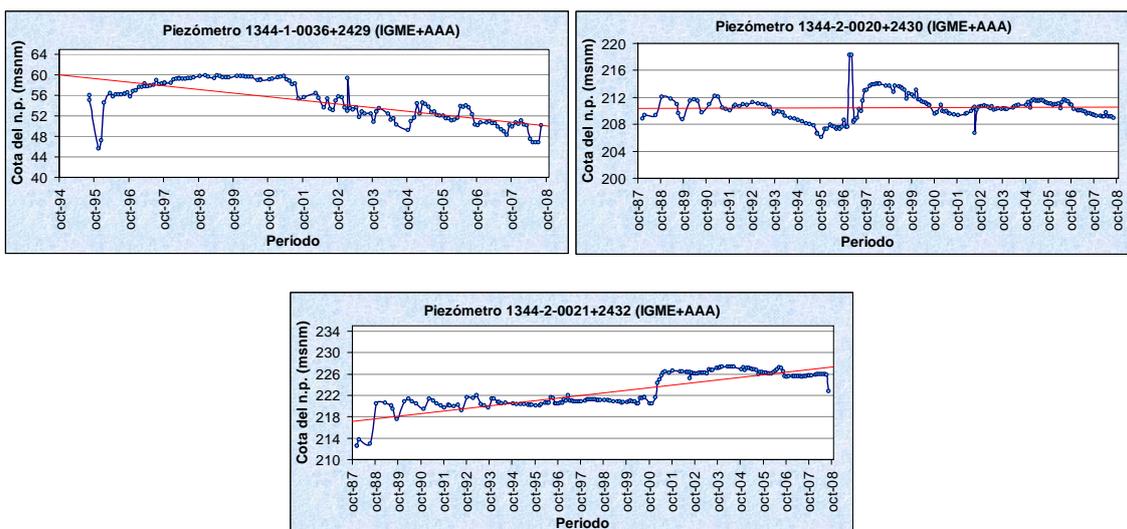
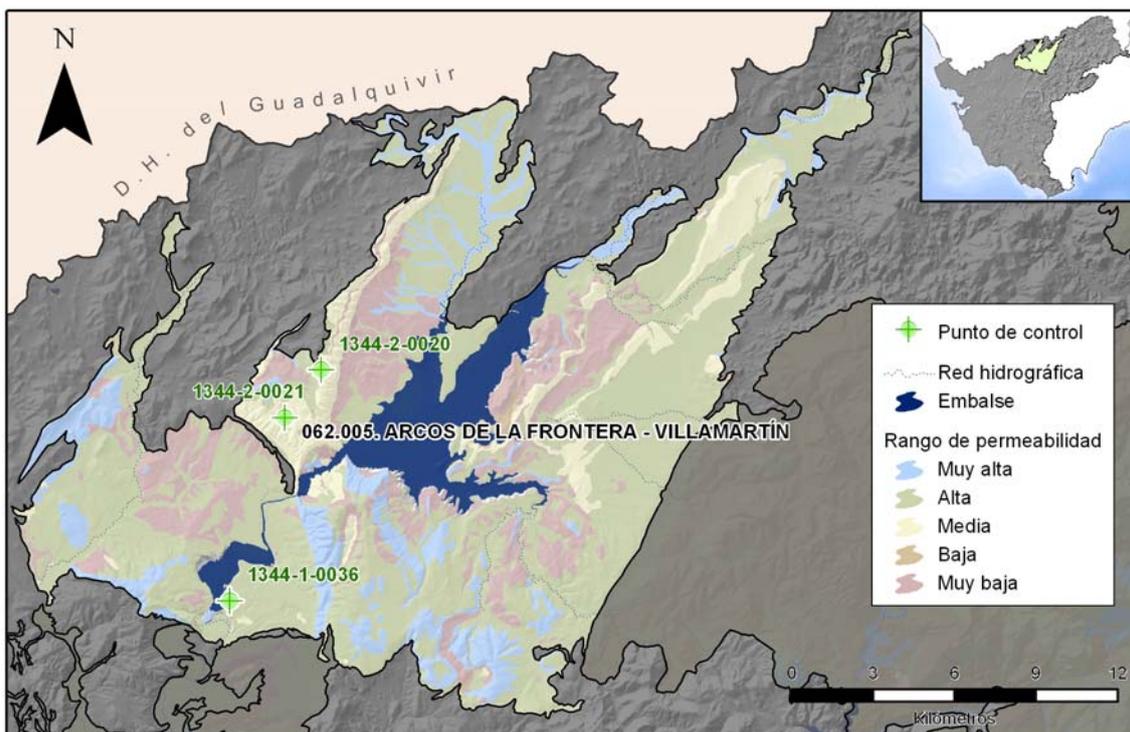
Se ha comprobado que estos tres piezómetros pertenecen tanto a la red de control del IGME (aportando datos históricos), como a la red de la Agencia Andaluza del Agua (que aporta datos actuales). De este modo, agregando y unificando la información disponible en las bases de datos correspondientes a cada una de estas redes, se ha obtenido un registro piezométrico suficiente para estimar el valor del índice de llenado.

IGME	134410036	134420020	134420021
	8/95 - 12/07	12/87 - 12/07	12/87 - 12/07
AAA	2429	2430	2432
	2/02 - 08/08	2/02 - 08/09	2/02 - 08/10
IGME- AAA	134410036 - 2429	134420020 - 2430	134420021 - 2432
	8/95 - 8/08	12/87 - 08/08	12/87 -08/08
Cota	81	278	249
Profundidad	380	132	90
H Máx (m)	37,9	64,7	39
H Mín (m)	23,52	52,55	24,19
Diferencia (m)	14,38	12,15	14,81
iLL (más reciente)	31,4%	23,7%	68,7%

- H máx.: profundidad máxima del nivel piezométrico registrada
- H mín.: profundidad mínima del nivel piezométrico registrada
- iLL.: Índice de llenado estimado

En la figura adjunta se puede observar:

- ✓ Localización y evolución piezométrica de los piezómetros considerados



(*). Las evoluciones temporales se han elaborado a partir de los datos piezométricos registrados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), que alcanzan hasta diciembre de 2007, y por la Agencia Andaluza del Agua (AAA), que comienzan en enero de 2008. Cada uno de estos Organismos asignó su propio código identificativo a estas estaciones de seguimiento, de ahí la duplicidad de códigos.

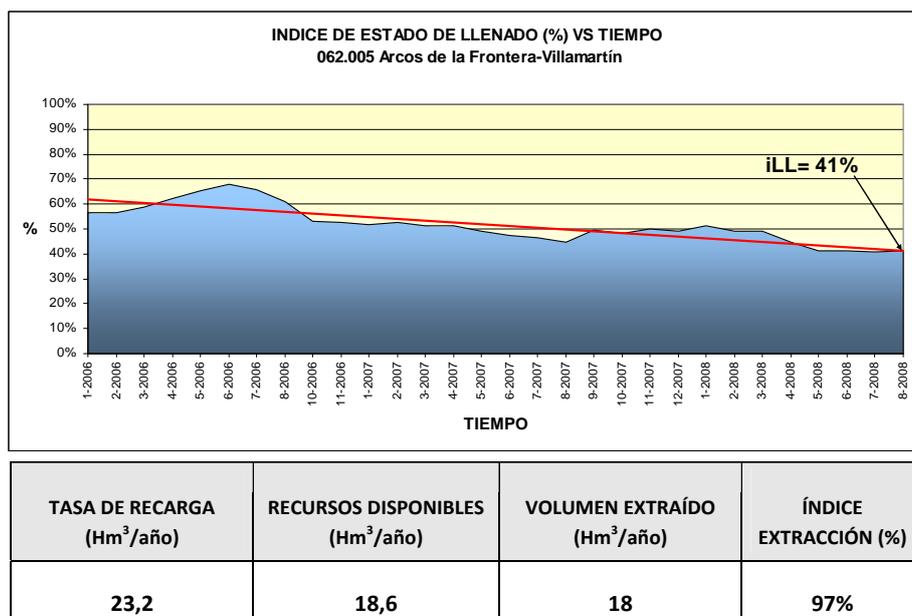
Figura 6.3.2.1. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 062.005. Evolución piezométrica registrada en dichos puntos

A pesar de no conocer las características constructivas de los piezómetros así como el acuífero captado por cada uno de ellos, se ha considerado, a la vista de los niveles freáticos registrados y mapas de isopiezas consultados, que los tres piezómetros son representativos del acuífero detrítico-carbonatado del mioceno (Arcos-Bornos-Espera), compuesto principalmente por calizas arenosas, areniscas y arenas.

Asimismo, se ha observado que existen divergencias importantes entre el índice de llenado más reciente estimado para piezómetros cercanos, por lo que, a partir de la información disponible, no se pueden identificar problemas de explotación de tipo sectorial, sino de carácter puntual (como es el caso de los piezómetros 134420020-2430 y 134410036-2429).

Interpretación por masa de agua subterránea

En la figura adjunta se representa la evolución del índice de llenado 'supuesto', para el conjunto de la masa de agua subterránea, como resultado del promedio del índice de llenado estimado para los 3 piezómetros.



Como puede observarse en el gráfico adjunto, el índice de llenado más reciente (agosto de 2008) es del 41%, y presenta una tendencia decreciente.

Por otro lado, si comparamos el índice de llenado y su evolución, con un índice de extracción estimado para la masa del 97%, parece evidente que el elevado volumen de extracciones con respecto a los recursos disponibles podría estar íntimamente relacionado con el descenso generalizado del nivel freático en determinados sectores de la masa de agua.

A la vista de los resultados obtenidos, se considera que la masa de agua subterránea 062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín presenta MAL ESTADO CUANTITATIVO.

No obstante, cabe destacar que la diferencia de llenado porcentual estimada entre el final del año hidrológico más reciente del que se disponen de datos (septiembre 2007) y el inicio (octubre del 2006), es de un 3%, por lo que considera que la tendencia descendente se está atenuando durante los últimos años. Asimismo, para confirmar esta hipótesis, se recomienda el seguimiento continuado del nivel en todos los puntos de la red de control operativo, así como la revisión y adecuación de la propia red.

- **062.006. Sierra Valleja**

Tras el análisis estadístico de los datos se ha comprobado que se dispone de medidas piezométricas registradas en 13 piezómetros si bien, las más recientes, corresponden a la campaña de abril de 1994.

Por lo tanto, debido a la ausencia de datos piezométricos actuales, no ha podido evaluarse el estado cuantitativo de la masa.

▪ **062.007. Sierra de las Cabras**

Interpretación por piezómetros

Para la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 062.007 se ha utilizado la evolución del nivel piezométrico registrada en las 4 estaciones de control identificadas en la tabla adjunta, ya que éstas presentan disponibilidad de información piezométrica tanto reciente como histórica.

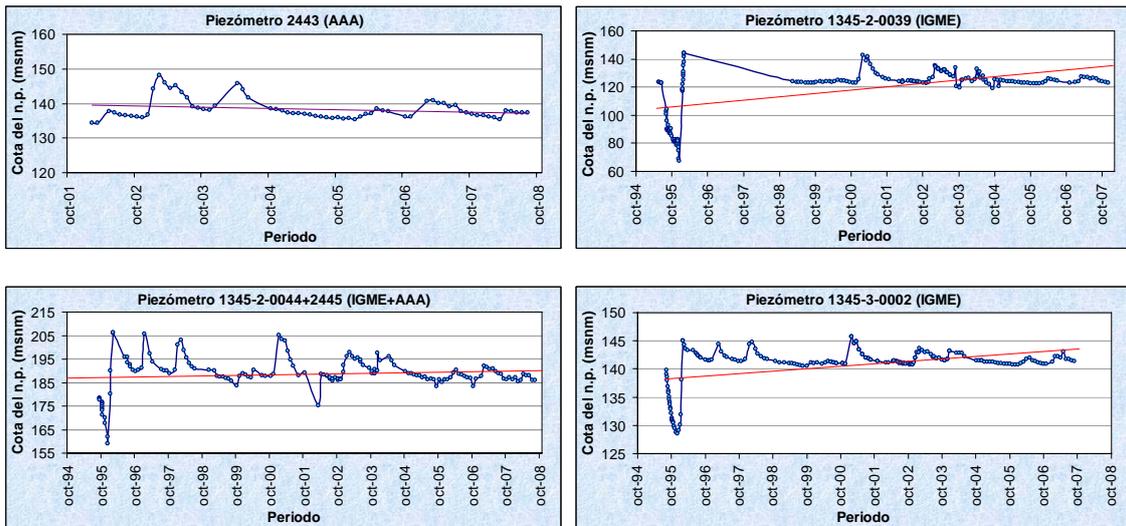
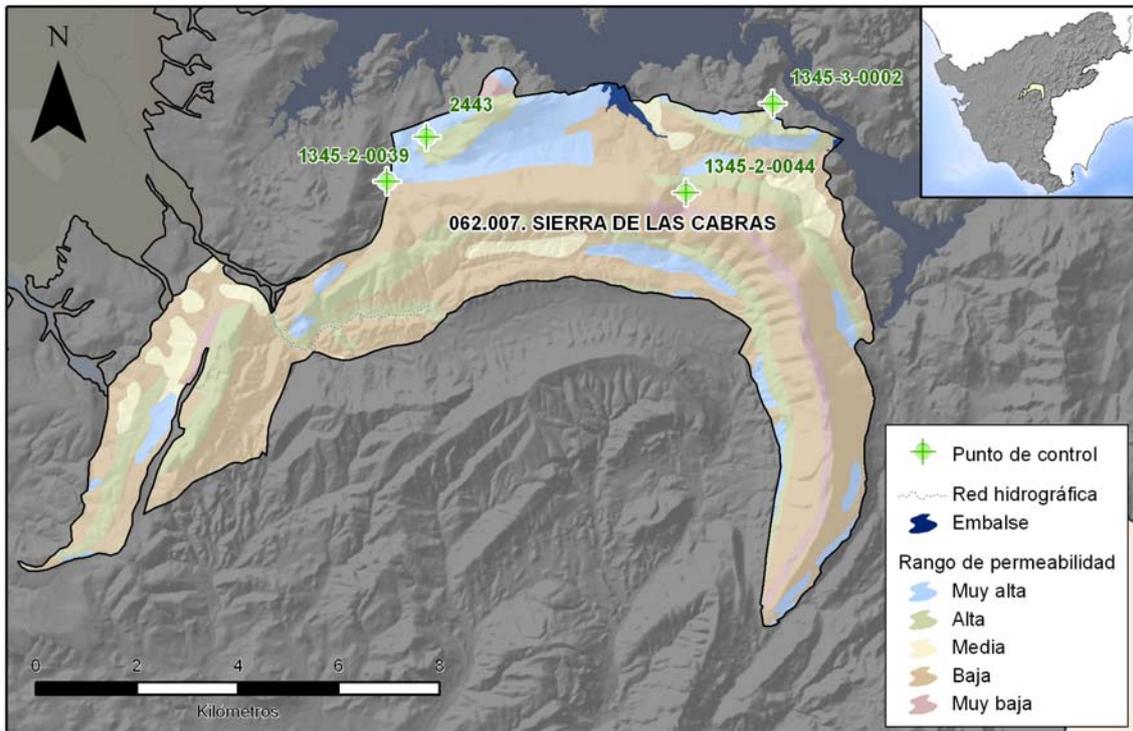
Se ha comprobado que estos cuatro piezómetros pertenecen tanto a la red de control del IGME (aportando datos históricos), como a la red de la Agencia Andaluza del Agua (que aporta datos actuales). De este modo, agregando y unificando la información disponible en las bases de datos correspondientes a cada una de estas redes, se ha obtenido un registro piezométrico suficiente para estimar el valor del índice de llenado.

IGME	134520039	134520044	134530002	-
	5/95 - 12/07	9/95 - 8/08	8/95 - 9/07	-
AAA	-	2445	-	2443
	-	2/02 - 08/08	-	2/02 - 8/08
IGME- AAA	-	134520044 - 2445	-	-
	-	9/95 - 8/08	-	-
Cota	152,1	150	130	168
Profundidad	168	100	130	251
H Máx (m)	81,82	47,085	21,09	37,47
H Mín (m)	12,375	1,445	4,2	23,5
Diferencia (m)	69,445	45,64	16,89	13,97
iLL más reciente	70,8%	55,6%	74,5%	21,6%

- H máx.: profundidad máxima del nivel piezométrico registrada
- H mín.: profundidad mínima del nivel piezométrico registrada
- iLL.: Índice de Llenado estimado

En la figura adjunta se puede observar:

- ✓ Localización y evolución piezométrica de los piezómetros considerados



(*) Las evoluciones temporales se han elaborado a partir de los datos piezométricos registrados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y, en algunos piezómetros, éstos se han completado con las medidas registradas por la Agencia Andaluza del Agua (AAA).

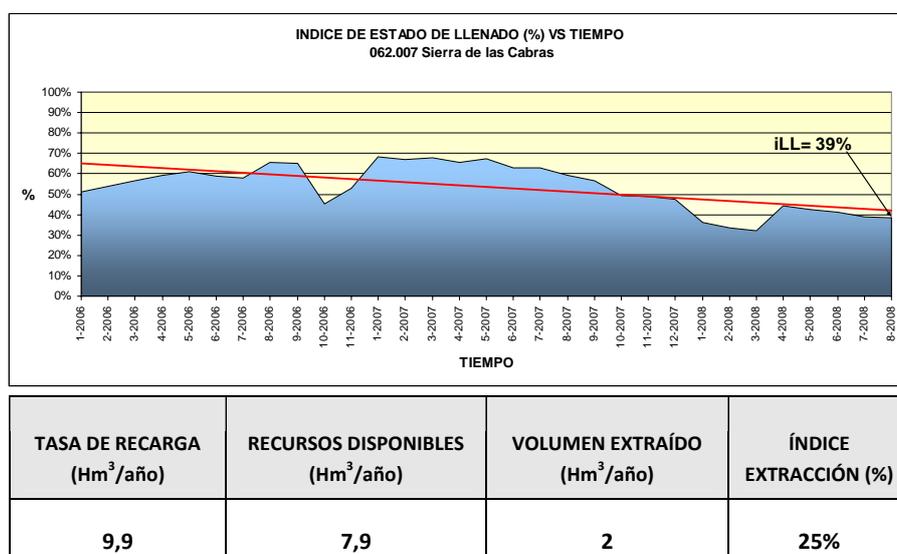
Figura 6.3.2.2. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 062.007. Evolución piezométrica registrada en dichos puntos

A pesar de no conocer las características constructivas de los piezómetros así como el acuífero captado por cada uno de ellos, se ha considerado, a la vista de los niveles freáticos registrados y mapas de isopiezas consultados, que los cuatro piezómetros son representativos del acuífero carbonatado jurásico de Sierra de las Cabras, compuesto principalmente por calizas y dolomías.

Asimismo, se ha observado que el nivel registrado en los piezómetros sufre una fuerte variación estacional, con una estabilización interanual. Esto hace que los índices de llenado más recientes sean superiores al 50%, exceptuando el del piezómetro 2443, que muestra un índice de llenado de 21,6%. Este bajo índice de llenado es debido al importante ascenso de niveles registrado durante los periodos enero/julio de 2003 y abril/junio de 2004, en los que se registra el máximo histórico en este piezómetro. Además, el hecho de que este ascenso de niveles este registrado en todos los piezómetros, induce a pensar que esta subida de niveles este ocasionada por un periodo de pluviometría elevada.

Interpretación por masa de agua subterránea

En la figura adjunta se representa la evolución del índice de llenado ‘supuesto’, para el conjunto de la masa de agua subterránea, como resultado del promedio del índice de llenado estimado para los 4 piezómetros.



Como puede observarse en el gráfico adjunto, el índice de llenado más reciente (agosto de 2008) es del 39%, y presenta una tendencia decreciente.

Sin embargo, tras el análisis estadístico de los datos se observa que la disminución del índice de llenado de la masa no está generada por un vaciado de la misma, asociado a captaciones de aguas subterráneas (bombeos), sino a la existencia de registros históricos del nivel freático muy superiores a los actuales, que se corresponden con periodos de elevada recarga.

Asimismo, el índice de extracción estimado para el conjunto de la masa (25%), evidencia que el volumen de agua subterránea extraída mediante bombeos con respecto a los recursos disponibles estimados, es reducido, lo que justifica la estabilización interanual de niveles y confirma la hipótesis de que el descenso del índice de llenado de la masa no se debe a razones antrópicas, sino a la recarga natural de la masa.

A la vista de los resultados obtenidos, se considera que la masa de agua subterránea 062.007. Sierra de las Cabras, presenta BUEN ESTADO CUANTITATIVO.

- **062.008. Aluvial de Guadalete**

Tras el análisis estadístico de los datos se ha comprobado que solamente se dispone de datos piezométricos actuales en dos piezómetros pertenecientes a la red de control de la Agencia Andaluza del Agua (3269 y 3270), pero estos piezómetros no cuentan con un registro histórico. Por lo tanto, debido a la escasez de datos piezométricos registrados en las redes de control operativas, no ha podido evaluarse el estado cuantitativo de la masa.

- **062.009. Jerez de la Frontera**

Interpretación por piezómetros

Para la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 062.009 se ha utilizado la evolución del nivel piezométrico registrada en las 8 estaciones de control identificadas en la tabla adjunta, ya que éstas presentan disponibilidad de información piezométrica tanto reciente como histórica. Asimismo, se ha comprobado que 4 de estos piezómetros pertenecen tanto a la red de control del IGME (aportando datos históricos), como a la red de la Agencia Andaluza del Agua (que aporta datos actuales).

De este modo, agregando y unificando la información disponible en las bases de datos correspondientes a cada una de estas redes, se ha obtenido un registro piezométrico suficiente para estimar el valor del índice de llenado.

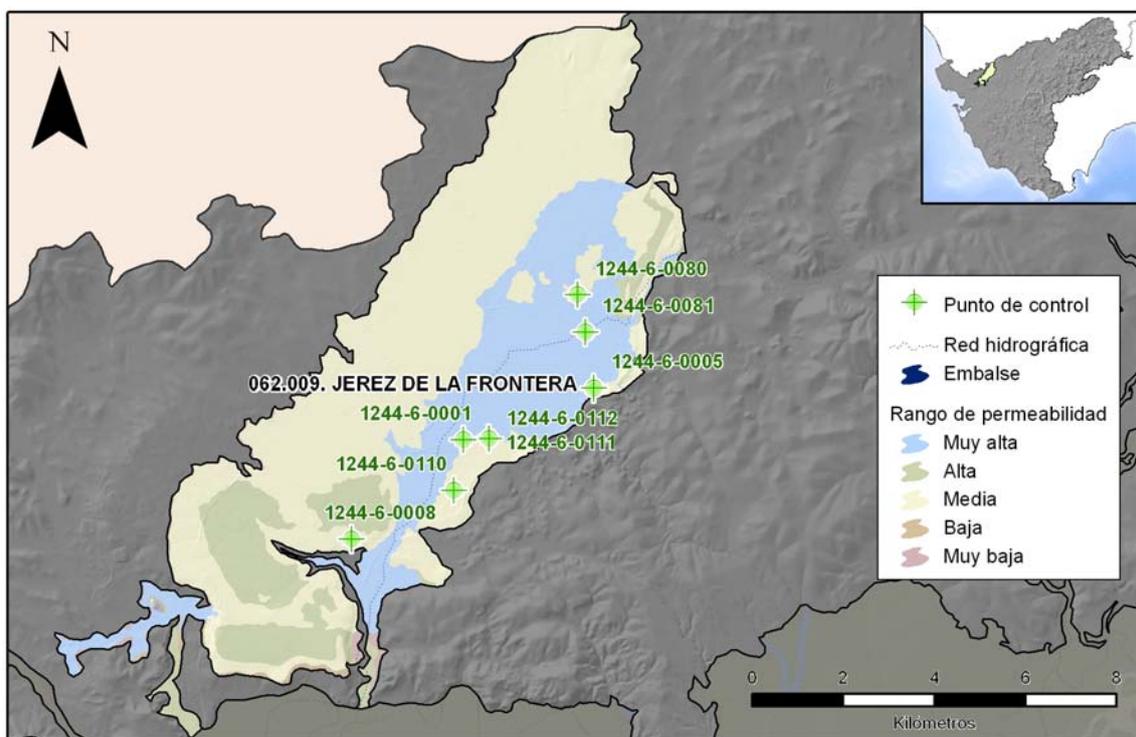
IGME	124460001	124460005	124460008	124460080
	4/68 - 12/07	1/67 - 10/07	1/67 - 12/07	5/95 - 12/07
AAA	2433	-	2436	2434
	2/02 - 8/08	-	3/02 - 8/08	2/02 - 8/08
IGME- AAA	124460001 - 2433	-	124460008 - 2436	124460080 - 2434
	4/68 - 8/08	-	1/67 - 8/08	5/95 - 8/08
Cota	15	33,9	32	18
Profundidad	200	17	20	30
H Máx (m)	40,51	15,45	12,8	3,03
H Mín (m)	0,35	1,99	8,14	0,19
Diferencia (m)	40,16	13,46	4,66	2,84
iLL más reciente	89,1%	73,1%	19,9%	98,2%

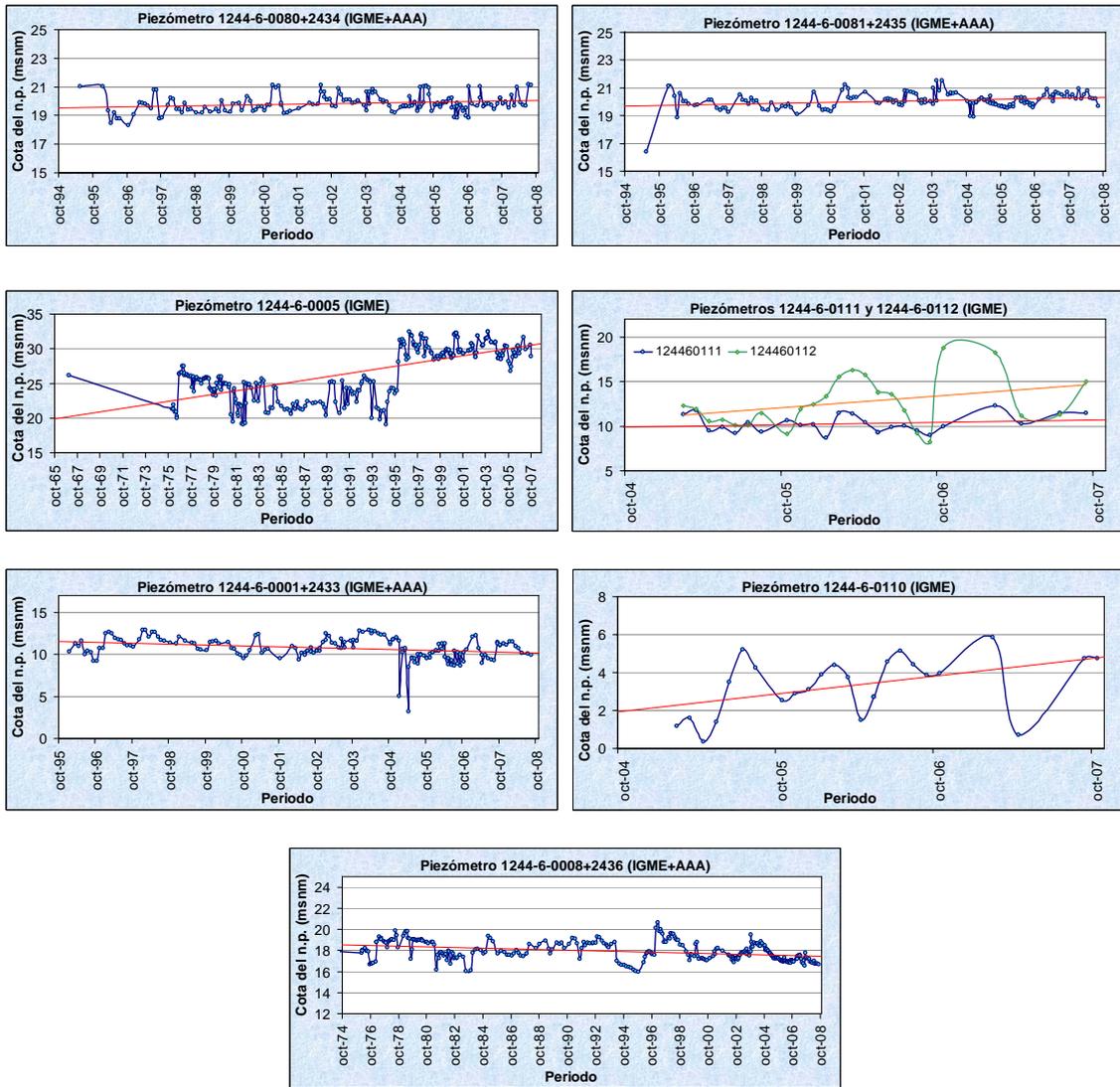
	124460081	124460110	124460111	124460112
IGME	5/95 - 12/07	2/05 - 10/07	2/04 - 10/07	2/05 - 9/07
AAA	2435	-	-	-
	2/02 - 8/08	-	-	-
IGME- AAA	124460081 - 2435	-	-	-
	5-95 - 8/08	-	-	-
Cota	19	20	19	20
Profundidad	38	-	-	-
H Máx (m)	6,43	16,37	10,28	10,75
H Mín (m)	1,3	10,89	6,69	0,22
Diferencia (m)	5,13	5,48	3,59	10,53
iLL más reciente	64,7%	80,1%	76,3%	64,1%

- H máx.: profundidad máxima del nivel piezométrico registrada
- H mín.: profundidad mínima del nivel piezométrico registrada
- iLL.: Índice de llenado estimado

En la figura adjunta se puede observar:

- ✓ Localización y evolución piezométrica de los piezómetros considerados





(*) Las evoluciones temporales se han elaborado a partir de los datos piezométricos registrados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y, en algunos piezómetros, éstos se han completado con las medidas registradas por la Agencia Andaluza del Agua (AAA).

Figura 6.3.2.3. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 062.009. Evolución piezométrica registrada en dichos puntos

A pesar de no conocer las características constructivas de los piezómetros así como el acuífero captado por cada uno de ellos, se ha considerado, a la vista de los niveles freáticos registrados y mapas de isopiezas consultados, que los ocho piezómetros son representativos del acuífero detrítico Plioceno-Pliocuatrnario-Cuatrnario de Jerez de la Frontera, compuesto por arenas, areniscas y limos.

En los gráficos de evolución del nivel correspondientes a cada piezómetro se observan variaciones estacionales correspondientes a periodos de recarga y estiaje, y una tendencia general ascendente, exceptuando los piezómetros:

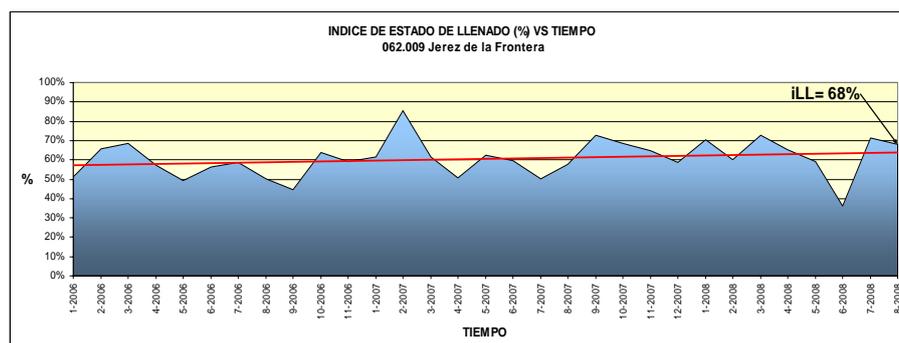
- 124460001-2433: muestra una tendencia decreciente, ya que el máximo histórico corresponde a la medición más antigua registrada en este piezómetro. A pesar de ello, el nivel más reciente representa un índice de llenado del 89%.

- 124460008-2436: muestra una tendencia ligeramente. Además, el nivel más reciente representa un índice de llenado del 20%.

El resto de los piezómetros analizados muestran un estado de llenado actual, considerando éste como el índice de llenado más reciente, superior al 65% con respecto a la situación de máximo almacenamiento registrada.

Interpretación por masa de agua subterránea

En la figura adjunta se representa la evolución del índice de llenado 'supuesto', para el conjunto de la masa de agua subterránea, como resultado del promedio del índice de llenado estimado para los 8 piezómetros.



TASA DE RECARGA (Hm ³ /año)	RECURSOS DISPONIBLES (Hm ³ /año)	VOLUMEN EXTRAÍDO (Hm ³ /año)	ÍNDICE EXTRACCIÓN (%)
9,3	7,4	1,2	16%

Como puede observarse en el gráfico adjunto, el índice de llenado más reciente (agosto de 2008) es del 68%, y presenta una tendencia ascendente.

Al mismo tiempo, si tenemos en cuenta la relación existente entre el volumen de recursos extraídos frente a los recursos disponibles, con un índice de extracción estimado para el conjunto de la masa del 16%, se considera que la masa de agua subterránea 062.009. Jerez de la Frontera presenta BUEN ESTADO CUANTITATIVO. No obstante, a la vista de los resultados obtenidos, se recomienda llevar a cabo un seguimiento continuado de la evolución del nivel en el entorno del piezómetro 124460008-2436, ya que en éste se ha constatado una tendencia generalizada al descenso que podría ser indicativa de un impacto por sobreexplotación en este sector de la masa de agua.

- **062.010. Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María**

Interpretación por piezómetros

Para la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 062.010 se ha utilizado la evolución del nivel piezométrico registrada en las 7 estaciones de control identificadas en la tabla adjunta, ya que éstas presentan disponibilidad de información piezométrica tanto reciente como histórica. Asimismo, se ha comprobado que 5 de estos piezómetros pertenecen tanto a la red de control del IGME (aportando datos históricos), como a la red de la Agencia Andaluza del Agua (que aporta datos actuales).

De este modo, agregando y unificando la información disponible en las bases de datos correspondientes a cada una de estas redes, se ha obtenido un registro piezométrico suficiente para estimar el valor del índice de llenado.

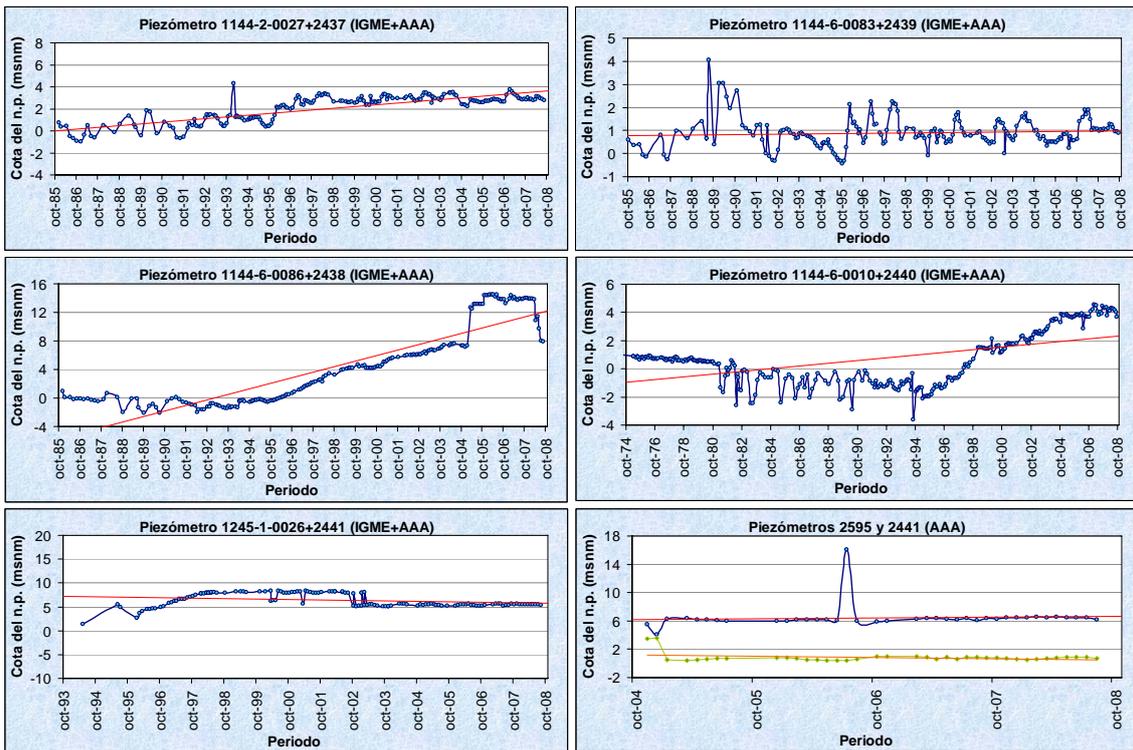
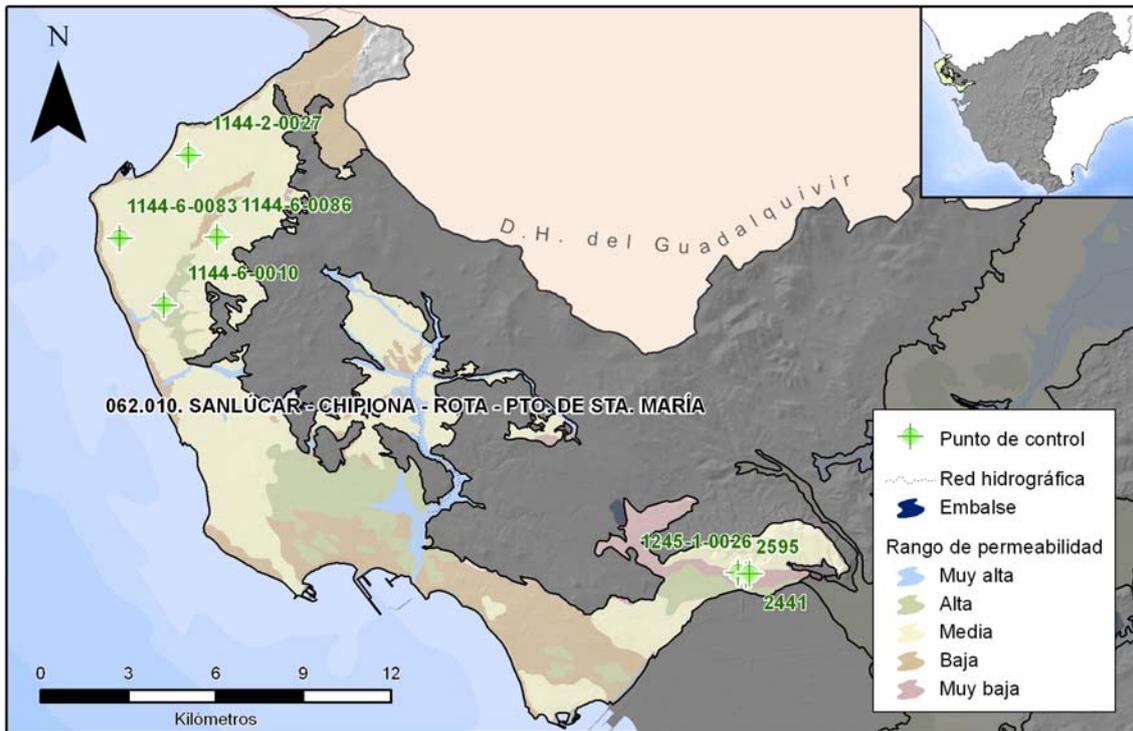
IGME	114420027	114460086	114460083	114460010
	12/85 - 9/08	12/85 - 12/07	10/85 - 9/08	11/66 - 9/08
AAA	2437	2438	2439	2440
	12/85 - 8/08	12/85 - 8/08	2/02 - 8/08	2/85 - 8/08
IGME- AAA	114420027-2437	114460086-2438	114460083-2439	114460010-2440
	12/85 - 9/08	12/85 - 8/08	10/85 - 9/08	11/66 - 9/08
Cota	9,33	16,05	5,87	10,32
Profundidad	18	37	13	-
H Máx (m)	8,59	17,02	10,78	11,73
H Mín (m)	3,32	0,4	1	3,54
Diferencia (m)	5,27	16,62	9,78	8,19
iLL más reciente	69,2%	60,4%	77,8%	89,4%

IGME	-	-	124510026
	-	-	5/94 - 12/07
AAA	2441	2595	-
	2/02 - 8/08	11/04-8/08	-
IGME- AAA	-	-	-
	-	-	-
Cota	9	0	23
Profundidad	284	-	-
H Máx (m)	20,13	21,04	30,31
H Mín (m)	16,98	9,07	16,88
Diferencia (m)	3,15	11,97	13,43
iLL más reciente	9,2%	17,7%	78,9%

- H máx.: profundidad máxima del nivel piezométrico registrada
- H mín.: profundidad mínima del nivel piezométrico registrada
- iLL.: Índice de llenado estimado

En la figura adjunta se puede observar:

- ✓ Localización y evolución piezométrica de los piezómetros considerados



(*) Las evoluciones temporales se han elaborado a partir de los datos piezométricos registrados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y por la Agencia Andaluza del Agua (AAA). Cada uno de estos Organismos asignó su propio código identificativo a estas estaciones de seguimiento, de ahí la duplicidad de códigos.

Figura 6.3.2.4. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 062.010. Evolución piezométrica registrada en dichos puntos

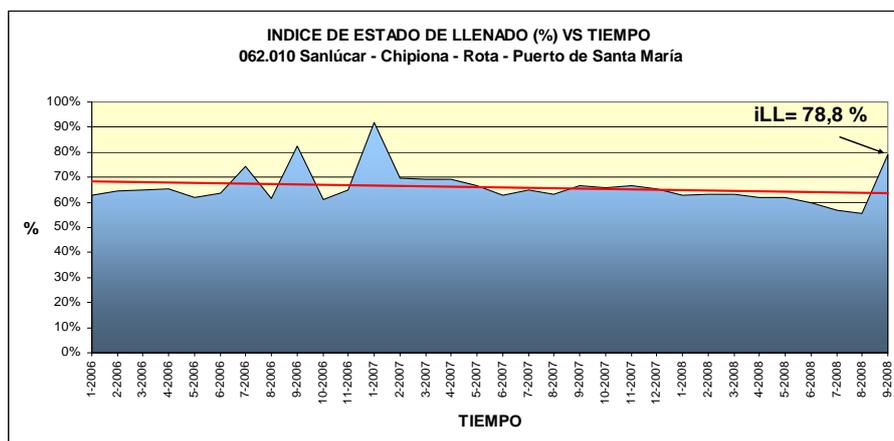
A pesar de no conocer las características constructivas de los piezómetros así como el acuífero captado por cada uno de ellos, se ha considerado, a la vista de los niveles freáticos registrados y mapas de isopiezas consultados, que:

- Los piezómetros codificados como 114420027-2437, 14460086-24381 y 114460010-2440, son representativos del acuífero detrítico del Mioceno-Plioceno-Cuaternario.
- Los piezómetros codificados como 2441, 2595 y 124510026 son representativos del sistema acuífero de Rota-Sanlúcar-Chipiona, pero al desconocer las características constructivas de los piezómetros, es imposible identificar la unidad acuífera captada por cada uno de ellos.

No obstante, la evolución del nivel registrada en los piezómetros muestra una tendencia ascendente a lo largo de toda la serie si bien, esta tendencia, resulta ser más acusada en los piezómetros localizados en el sector NE de la masa.

Interpretación por masa de agua subterránea

En la figura adjunta se representa la evolución del índice de llenado ‘supuesto’, para el conjunto de la masa de agua subterránea, como resultado del promedio del índice de llenado estimado para los 7 piezómetros.



TASA DE RECARGA (Hm ³ /año)	RECURSOS DISPONIBLES (Hm ³ /año)	VOLUMEN EXTRAÍDO (Hm ³ /año)	ÍNDICE EXTRACCIÓN (%)
17	11,9	1,1	9%

Como puede observarse en el gráfico adjunto, el índice de llenado más reciente (septiembre de 2008) es del 78,8%, lo cual supera el estado de llenado medio de la masa de agua a lo largo de su registro histórico. Al mismo tiempo, si tenemos en cuenta la relación existente entre el volumen de recursos extraídos frente a los recursos disponibles, con un índice de extracción estimado para el conjunto de la masa del 9%, y que la evolución del nivel muestra una tendencia generalizada al ascenso, se considera que la masa de agua subterránea 062.010. Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María presenta BUEN ESTADO CUANTITATIVO.

- **062.011. Puerto Real**

Tras el análisis estadístico de los datos se ha comprobado que solamente se dispone de datos piezométricos actuales en tres piezómetros pertenecientes a la red de control de la Agencia Andaluza

del Agua (3282, 3283 y 3284), pero estos piezómetros no cuentan con un registro histórico. Por lo tanto, debido a la escasez de datos piezométricos registrados en las redes de control operativas, no ha podido evaluarse el estado cuantitativo de la masa.

- **062.012. Conil de la Frontera**

Tras el análisis estadístico de los datos se ha comprobado que solamente se dispone de datos piezométricos actuales en cuatro piezómetros pertenecientes a la red de control de la Agencia Andaluza del Agua (3285, 3286, 3287 y 3288), pero estos piezómetros no cuentan con un registro histórico. Por lo tanto, debido a la escasez de datos piezométricos registrados en las redes de control operativas, no ha podido evaluarse el estado cuantitativo de la masa.

- **062.013. Barbate**

Interpretación por piezómetros

Para la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 062.013 se ha utilizado la evolución del nivel piezométrico registrada en las 5 estaciones de control identificadas en la tabla adjunta, ya que éstas presentan disponibilidad de información piezométrica tanto reciente como histórica. Asimismo, se ha comprobado que 1 de estos piezómetros pertenece tanto a la red de control del IGME (aportando datos históricos), como a la red de la Agencia Andaluza del Agua (que aporta datos actuales).

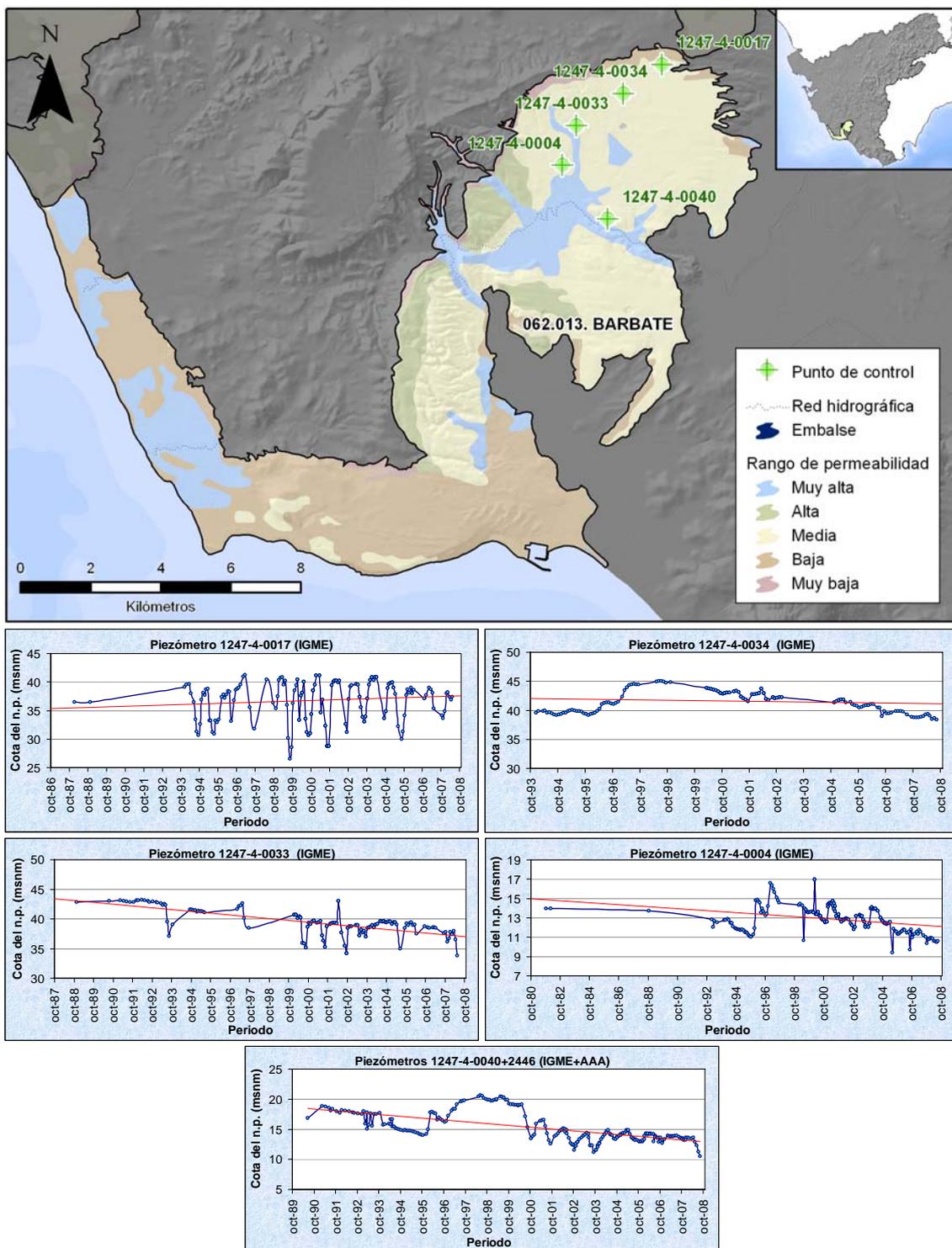
De este modo, agregando y unificando la información disponible en las bases de datos correspondientes a cada una de estas redes, se ha obtenido un registro piezométrico suficiente para estimar el valor del índice de llenado.

IGME	124740004	124740017	124740033	124740034	124740040
		10/81 - 7/08	11/81 - 5/08	11/88 - 4/08	11/88 - 8/08
AAA	-	-	-	-	2446
	-	-	-	-	2/02 - 8/08
IGME- AAA	-	-	-	-	124740040-2446
	-	-	-	-	6/90 - 8/08
Cota	10	45	56	54	23
Profundidad	30	70	92	87	35
H Máx (m)	13,48	32	24,66	38	15,4
H Mín (m)	5,95	7,16	15,19	13,89	5,25
Diferencia (m)	7,53	24,84	9,47	24,11	10,15
iLL más reciente	15,4%	84,3%	0,0%	72,3%	0,7%

- H máx.: profundidad máxima del nivel piezométrico registrada
- H mín.: profundidad mínima del nivel piezométrico registrada
- iLL.: Índice de llenado estimado

En la figura adjunta se puede observar:

- ✓ Localización y evolución piezométrica de los piezómetros considerados



(*) Las evoluciones temporales se han elaborado a partir de los datos piezométricos registrados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y, en el caso del piezómetro 1247-4-0040, éstos se han completado con las medidas registradas por la Agencia Andaluza del Agua (AAA). No obstante, el código asignado para este punto por parte de la Agencia, es el 2446.

Figura 6.3.2.5. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 062.013. Evolución piezométrica registrada en dichos puntos

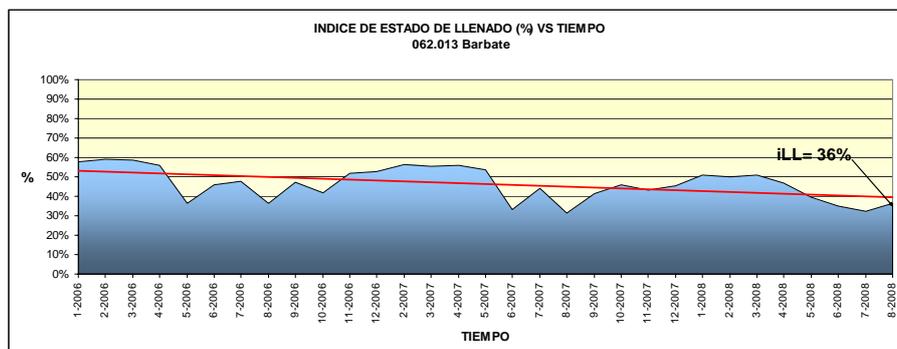
A pesar de no conocer las características constructivas de los piezómetros así como el acuífero captado por cada uno de ellos, se ha considerado, a la vista de los niveles freáticos registrados y mapas de isopiezas consultados, que los cinco piezómetros son representativos del acuífero detrítico Mioceno Superior-Pliocuaternario-Cuaternario de Barbate, constituido principalmente por calcarenitas, arenas y arcillas.

En los gráficos de evolución del nivel correspondientes a cada piezómetro se observan variaciones estacionales correspondientes a periodos de recarga y estiaje, y una tendencia general descendente. Asimismo, las últimas medidas se corresponden con la situación de llenado mínima registrada a lo largo de la serie (iLL=0%; iLL=15%; iLL=0,7%), exceptuando el piezómetro:

- 124740017: muestra una tendencia histórica ascendente, con un índice de llenado actual del 84%.

Interpretación por masa de agua subterránea

En la figura adjunta se representa la evolución del índice de llenado ‘supuesto’, para el conjunto de la masa de agua subterránea, como resultado del promedio del índice de llenado estimado para los 5 piezómetros.



TASA DE RECARGA (Hm ³ /año)	RECURSOS DISPONIBLES (Hm ³ /año)	VOLUMEN EXTRAÍDO (Hm ³ /año)	ÍNDICE EXTRACCIÓN (%)
17,8	13,5	14,1	104%

Como puede observarse en el gráfico adjunto, el índice de llenado más reciente (agosto de 2008) es del 36% y presenta una tendencia claramente descendente, al igual que se observaba en los cinco piezómetros.

Al mismo tiempo, si tenemos en cuenta la relación existente entre el volumen de recursos extraídos frente a los recursos disponibles, con un índice de extracción estimado para el conjunto de la masa del 104%, y que la evolución del nivel muestra una tendencia generalizada al descenso, se considera que la masa de agua subterránea 062.013. Barbate presenta MAL ESTADO CUANTITATIVO (*).

(*) Sin embargo, como puede observarse en el mapa de situación de las estaciones de control respecto al conjunto de la masa, los piezómetros en los que se ha basado la evaluación del estado cuantitativo de la masa no se distribuyen homogéneamente sino que se concentran en el sector nororiental de la masa;

por lo tanto, siendo rigurosos, la evaluación del estado sería aplicable solamente a este sector (y no sería extrapolable al resto de la masa).

▪ **062.014. Benalup**

Interpretación por piezómetros

Para la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 062.014 se ha utilizado la evolución del nivel piezométrico registrada en las 6 estaciones de control identificadas en la tabla adjunta (pertenecientes a la red del IGME), ya que éstas presentan disponibilidad de información piezométrica tanto reciente como histórica.

	124680007	124680011	124680015	124740023	124740024	124740035
IGME	11/88 - 8/08	11/88 - 8/08	11/88 - 8/08	11/81 - 8/08	9/80 - 8/08	11/88 - 8/08
AAA	-	-	-	-	-	-
Cota	95	85	78	57	36	60
Profundidad	84	80	112	50	50	75
H Máx (m)	11,87	20,01	11,49	10	9,76	6,82
H Mín (m)	0,6	3,44	0,15	0,1	1,4	0,97
Diferencia (m)	11,27	16,57	11,34	9,9	8,36	5,85
iLL más reciente	54,1%	0,0%	0,0%	75,3%	49,0%	20,5%

- H máx.: profundidad máxima del nivel piezométrico registrada
- H mín.: profundidad mínima del nivel piezométrico registrada
- iLL.: Índice de llenado estimado

En la figura adjunta se puede observar:

- ✓ Localización y evolución piezométrica de los piezómetros considerados

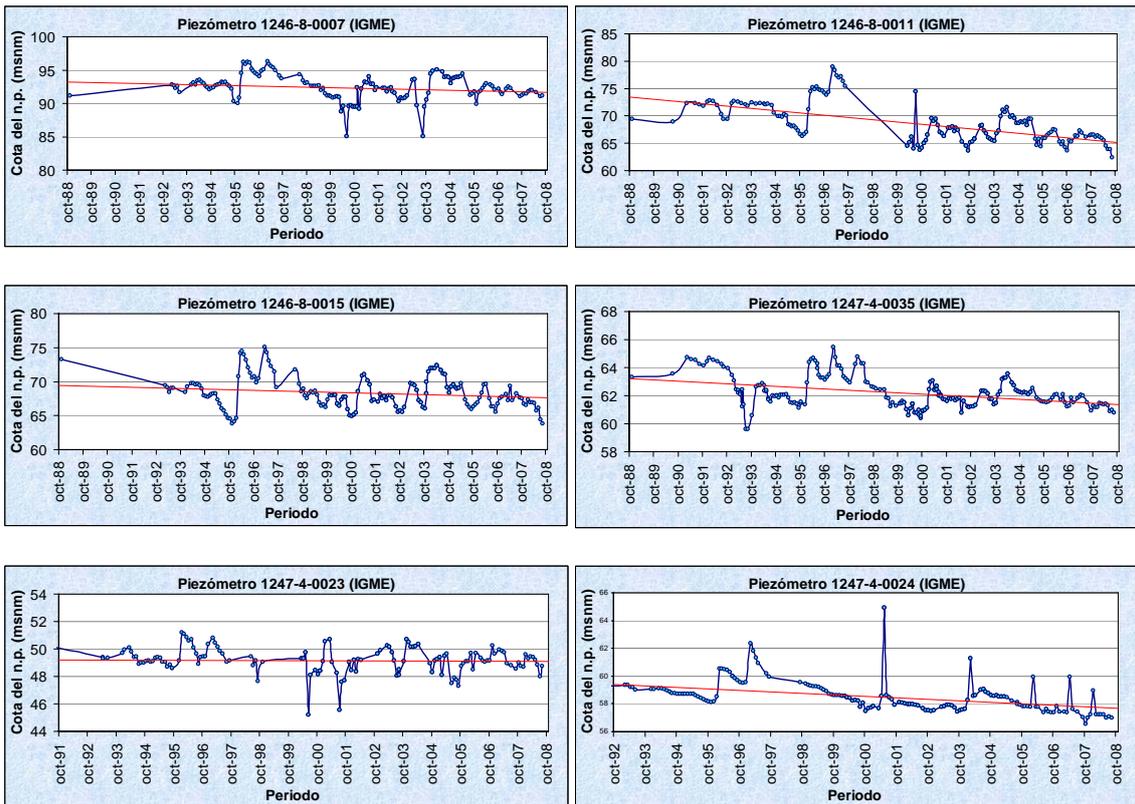
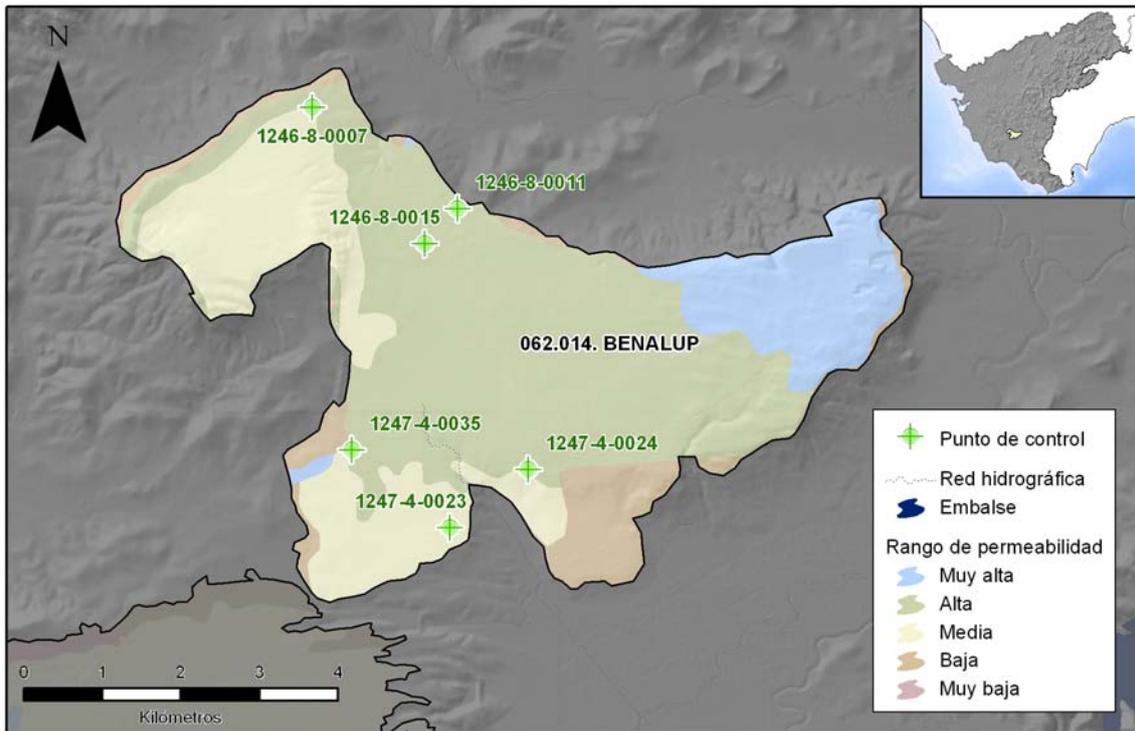


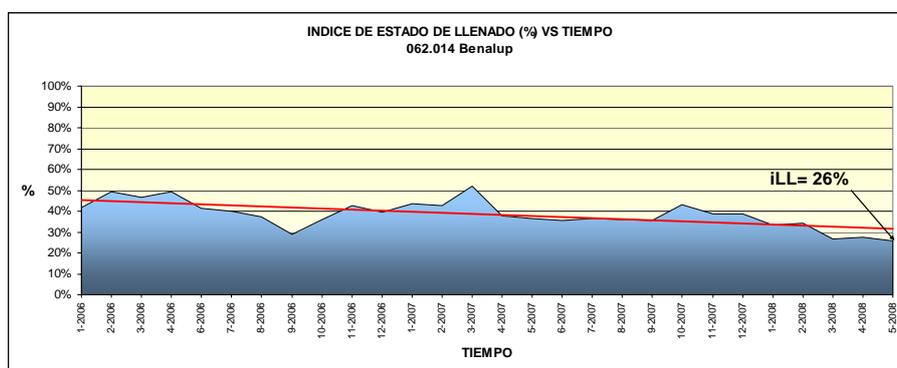
Figura 6.3.2.6. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 062.014. Evolución piezométrica registrada en dichos puntos

A pesar de no conocer las características constructivas de los piezómetros así como el acuífero captado por cada uno de ellos, se ha considerado, a la vista de los niveles freáticos registrados y mapas de isopiezas consultados, que los seis piezómetros son representativos del acuífero detrítico Mioceno Superior-Pliocuatrnario-Cuatrnario de Benalup, constituido principalmente por calcarenitas y arenas.

En los gráficos de evolución del nivel correspondientes a cada piezómetro se observan variaciones estacionales correspondientes a periodos de recarga y estiaje, y una tendencia general descendente. Asimismo, las últimas medidas se corresponden con la situación de llenado mínima o media, registrada a lo largo de la serie (iLL=0%, iLL=0%; iLL=21%; iLL=49%, iLL=54%, iLL=75%).

Interpretación por masa de agua subterránea

En la figura adjunta se representa la evolución del índice de llenado ‘supuesto’, para el conjunto de la masa de agua subterránea, como resultado del promedio del índice de llenado estimado para los 6 piezómetros.



TASA DE RECARGA (Hm ³ /año)	RECURSOS DISPONIBLES (Hm ³ /año)	VOLUMEN EXTRAÍDO (Hm ³ /año)	ÍNDICE EXTRACCIÓN (%)
4,6	3,9	5,1	131%

Como puede observarse en el gráfico adjunto, el índice de llenado más reciente (mayo de 2008) es del 26% y presenta una tendencia claramente descendente, al igual que se observaba en los seis piezómetros considerados.

Al mismo tiempo, si tenemos en cuenta la relación existente entre el volumen de recursos extraídos frente a los recursos disponibles, con un índice de extracción estimado para el conjunto de la masa del 131%, y que la evolución del nivel muestra una tendencia generalizada al descenso, se considera que la masa de agua subterránea 062.014. Benalup presenta MAL ESTADO CUANTITATIVO por sobreexplotación.

6.4.1. ESTADO QUÍMICO

El anexo V de la Directiva 2000/60/CE establece una serie de pautas relativas al modo en que los Estados miembros deben presentar el resultado de la evaluación del *estado químico* y *estado cuantitativo* de las aguas subterráneas en los planes hidrológicos de cuenca. Por lo que respecta al primero (apartados 2.2.5 y 2.5 del anexo V), *los Estados miembros deben incluir un mapa con el resultado de la evaluación del estado químico codificado de acuerdo a los siguientes colores:*

- ✓ Buen estado químico: verde
- ✓ Mal estado químico: rojo

En estos mapas, además, deben identificarse mediante puntos negros aquellas masas de agua subterránea en las que se haya identificado una tendencia significativa y sostenida al aumento de la concentración de cualquier contaminante debida a las repercusiones de la actividad humana, y con un punto azul aquellas en las que se haya demostrado la inversión de una tendencia.

Estas mismas exigencias están recogidas en otros apartados de la Directiva 2000/60/CE (punto 4.2 de la parte A del anexo VII), de la Directiva 2006/118/CE (punto 4 del artículo 4 y punto 5 del Anexo III), del Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica (punto 3 del artículo 33) y de la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica (apartado 5.2.6.2).

La Directiva 2006/118/CE, por medio de su anexo III, requiere a su vez la identificación en esos mapas de todas las estaciones de seguimiento en las que se supere alguna norma de calidad (NC) o valor umbral (VU), cuando ello proceda y sea viable, sin especificar, a diferencia del caso anterior, el código de colores que se debe utilizar.

La Instrucción de Planificación Hidrológica añade un requisito más en lo referente a la presentación del estado químico de las aguas subterráneas (apartado 5.2.6.2), relativo a la elaboración de mapas específicos en los que se indique el cumplimiento o incumplimiento del buen estado químico según la concentración de:

- ✓ Nitratos
- ✓ Plaguicidas
- ✓ Otros contaminantes, seleccionados de entre los incluidos en el listado mínimo de contaminantes del anexo II de la Directiva 2006/118/CE

En la figura 6.4.1.1 se presenta el resultado de la *evaluación del estado químico* de las aguas subterráneas de la Demarcación de acuerdo con la simbología estipulada en la Directiva 2000/60/CE. Como puede observarse, se han incluido asimismo aquellos puntos de control en los que se supera alguna norma de calidad (NC) o valor umbral (VU), acompañados de su correspondiente código identificativo.

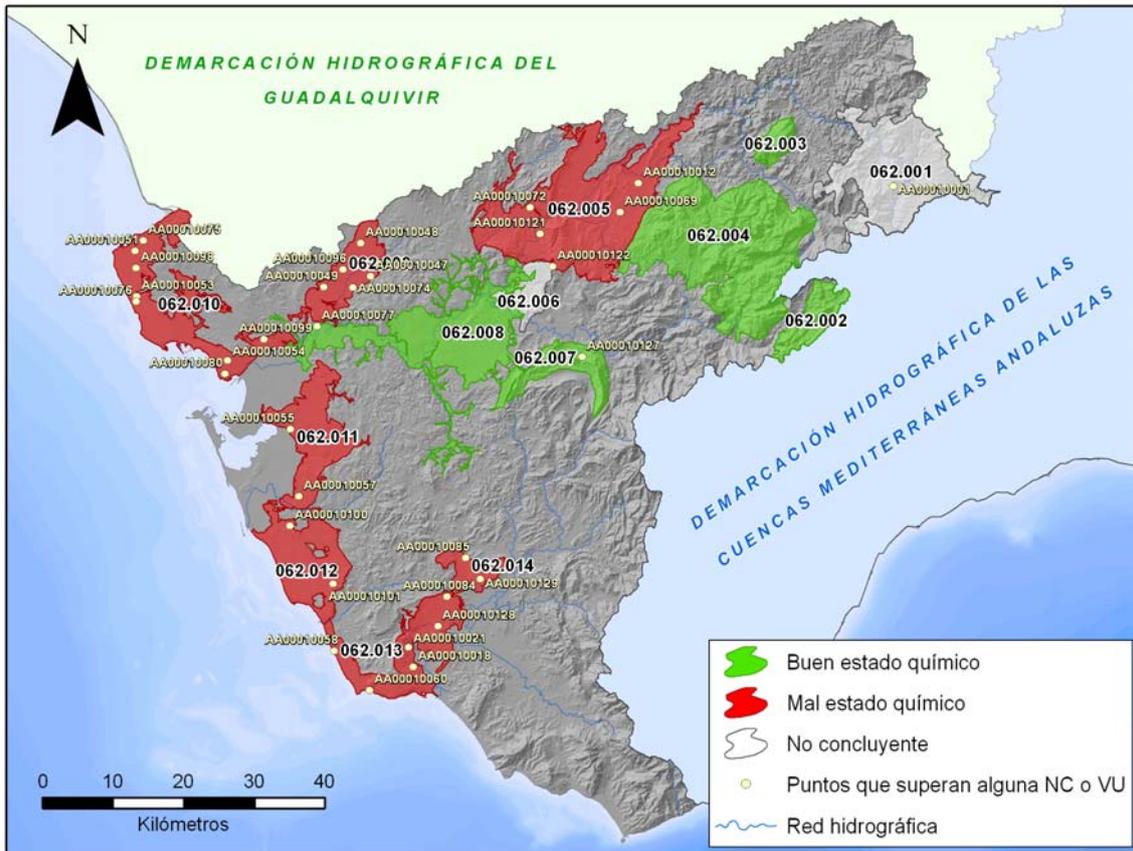


Figura 6.4.1.1. Resultado de la evaluación del estado químico de las aguas subterráneas

Como podemos observar en la figura anterior, son cinco las masas de agua subterránea que presentan *buen estado químico* (062.002, 062.003, 062.004, 062.007 y 062.008), siete las que presentan *mal estado químico* (062.005, 062.009, 062.010, 062.011, 062.012, 062.013 y 062.014), y dos en las que la evaluación del estado no ha sido concluyente debido a la escasez de datos disponibles (062.001 y 062.006).

Por otra parte, en el Capítulo 5 de la presente memoria se ha realizado una evaluación de las tendencias significativas y sostenidas al aumento de la concentración de contaminantes en las aguas subterráneas de la demarcación. De los resultados obtenidos se puede interpretar que ninguna masa de agua subterránea está sometida a una tendencia de tales características ni a una inversión de tendencias, motivo por el cual no se han señalado en el mapa de la figura anterior. Este resultado se debe, por un lado, a la escasez de datos disponibles en un elevado porcentaje de estaciones de seguimiento, cuyas series temporales no cubren más de 2-3 años, y, por lo que respecta a la estaciones con un registro histórico más amplio, a la ausencia de tendencias temporales ascendentes que conlleven a alcanzar una concentración de contaminante superior a la norma de calidad o valor umbral correspondiente.

En la figura 6.4.1.2 se muestra el resultado de la evaluación del estado químico en función de la *concentración de nitratos* que, como puede observarse, coincide con la evaluación 'global' del estado químico presentada en la figura 6.4.1.1.

Por el contrario, no ha sido posible elaborar un mapa con el resultado de la evaluación del estado químico en función de la *concentración de plaguicidas* debido a que éstos no forman parte del grupo de parámetros o contaminantes responsables de que alguna masa de agua subterránea de la demarcación

haya sido catalogada en riesgo. No obstante, en la figura 6.4.1.3 se presenta un mapa de la demarcación en el que se identifican aquellas masas de agua subterránea en las que se ha identificado la presencia de plaguicidas.

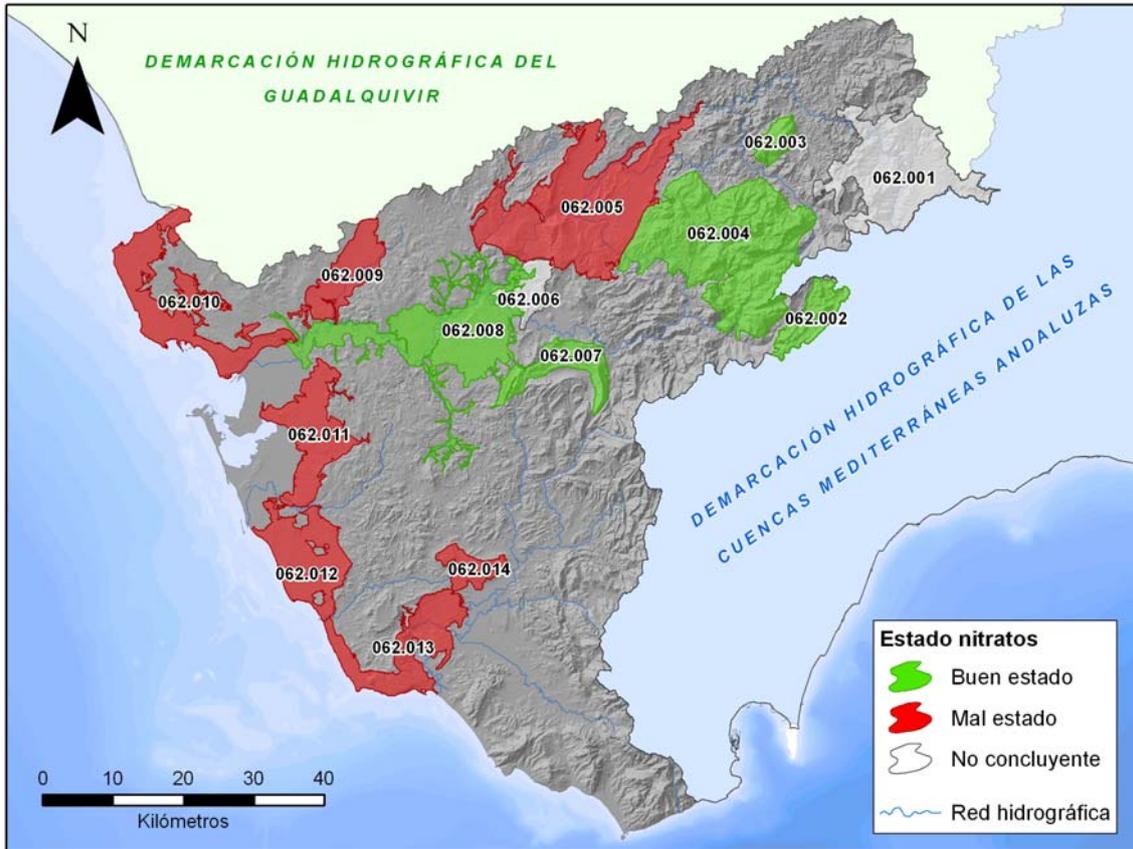


Figura 6.4.1.2. Cumplimiento o incumplimiento del buen estado químico según la concentración de nitratos

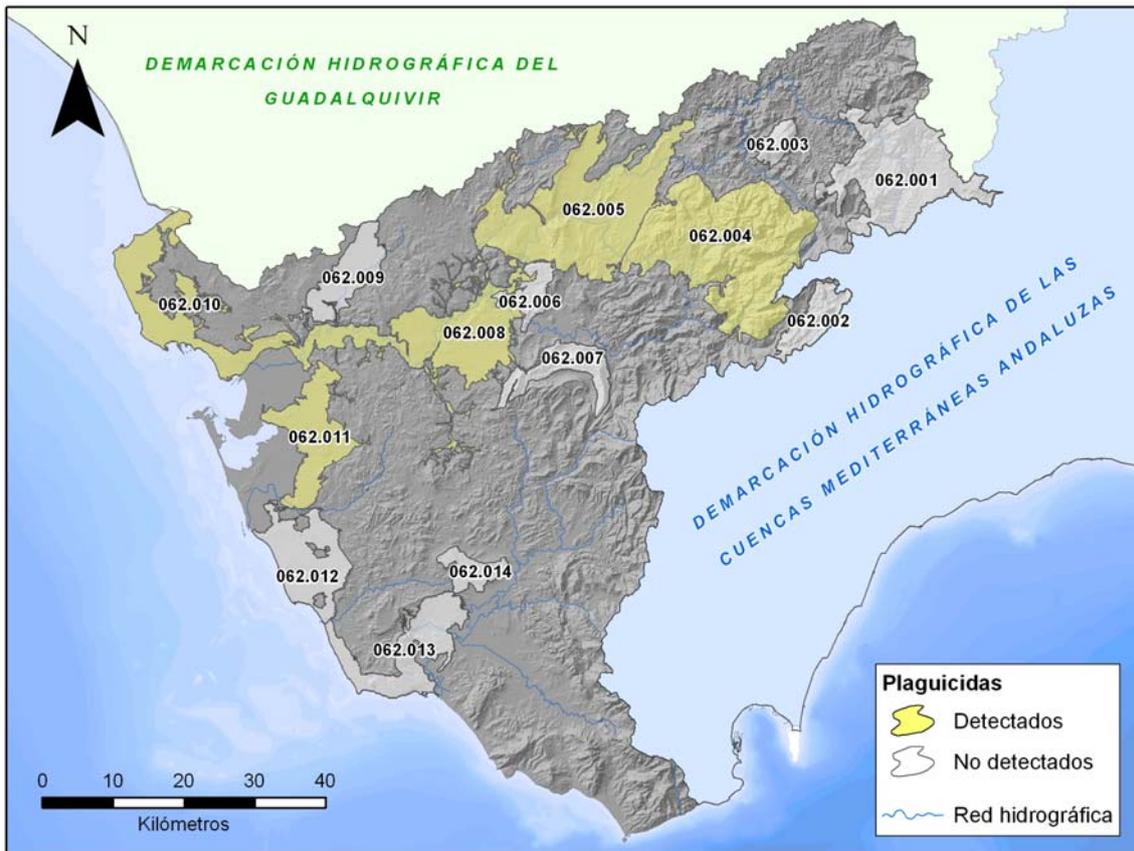


Figura 6.4.1.3. Masas de agua subterránea en las que se ha detectado la presencia de plaguicidas

Por último, en la figura 6.4.1.4 se presenta el resultado de la evaluación del estado químico según la concentración de los contaminantes incluidos en la parte B del anexo II de la Directiva 2006/118/CE: arsénico, cadmio, plomo, mercurio, amonio, cloruro, sulfato, tricloroetileno, tetracloroetileno y conductividad eléctrica. El resultado obtenido han sido diez masas de agua subterránea que presentan buen estado químico y cuatro las que presentan mal estado químico, en relación a la concentración de estos contaminantes.

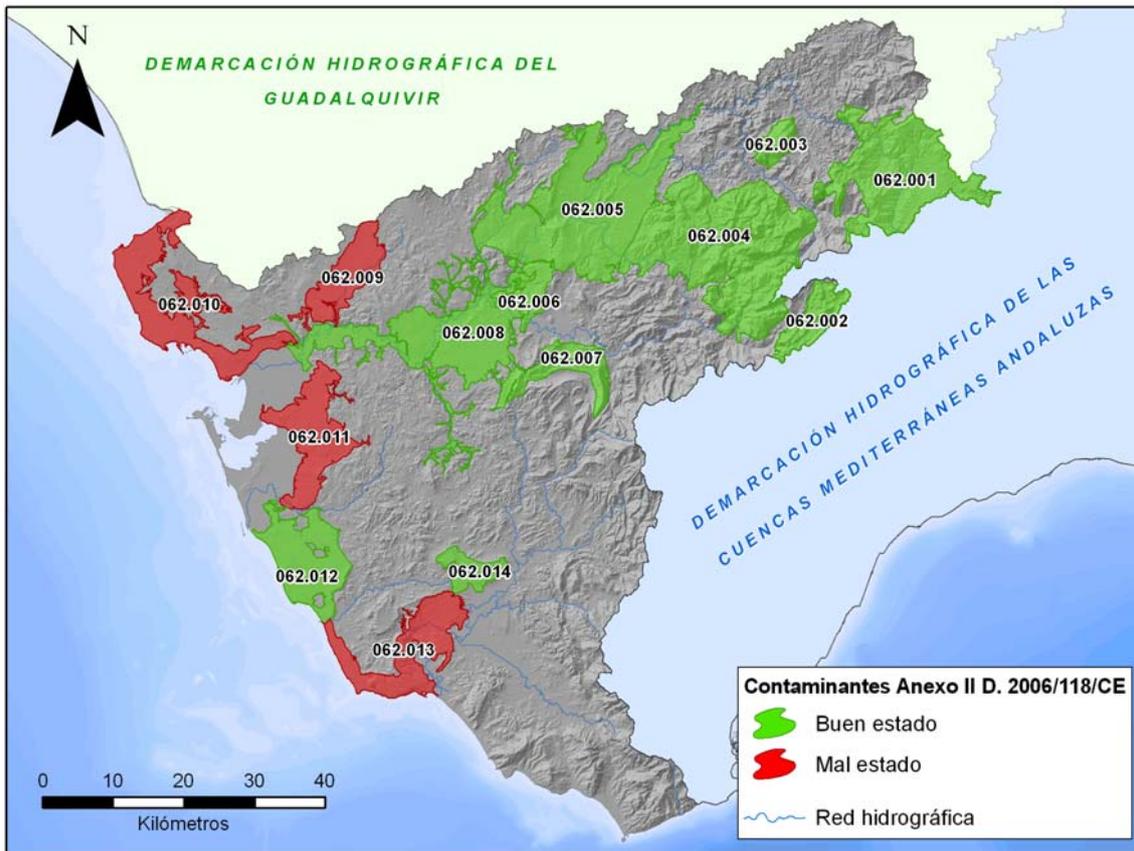


Figura 6.4.1.4. Cumplimiento o incumplimiento del buen estado químico según la concentración de los contaminantes incluidos en el anexo II de la Directiva 2006/118/CE

6.4.2. ESTADO CUANTITATIVO

Las instrucciones relativas a la presentación del *estado cuantitativo* de las aguas subterráneas se encuentran recogidas en los apartados 2.2.4 y 2.5 del anexo V de la Directiva 2000/60/CE, y se limitan a la elaboración de un mapa en el que se muestre el resultado de la evaluación del estado cuantitativo por medio de la siguiente simbología:

- ✓ Buen estado cuantitativo: verde
- ✓ Mal estado cuantitativo: rojo

Este mismo requisito está recogido en otros apartados de la propia Directiva 2000/60/CE (punto 4.2 de la parte A del anexo VII), del Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica (punto 3 del artículo 33) y de la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica (apartado 5.2.6.1).

En la figura 6.4.2.1 se presenta el resultado de la evaluación del *estado cuantitativo* de las aguas subterráneas de la demarcación, codificado por colores tal como establece la Directiva 2000/60/CE. Así, tres masas de agua subterránea presentan buen estado cuantitativo (062.007, 062.009 y 062.010), tres masas presentan mal estado cuantitativo (062.005, 062.013 y 062.014), en tanto que en las ocho restantes (062.001, 062.002, 062.003, 062.004, 062.006, 062.008, 062.011 y 062.012) los datos disponibles no han sido suficientes para determinar su estado cuantitativo (figura 6.4.2.1).

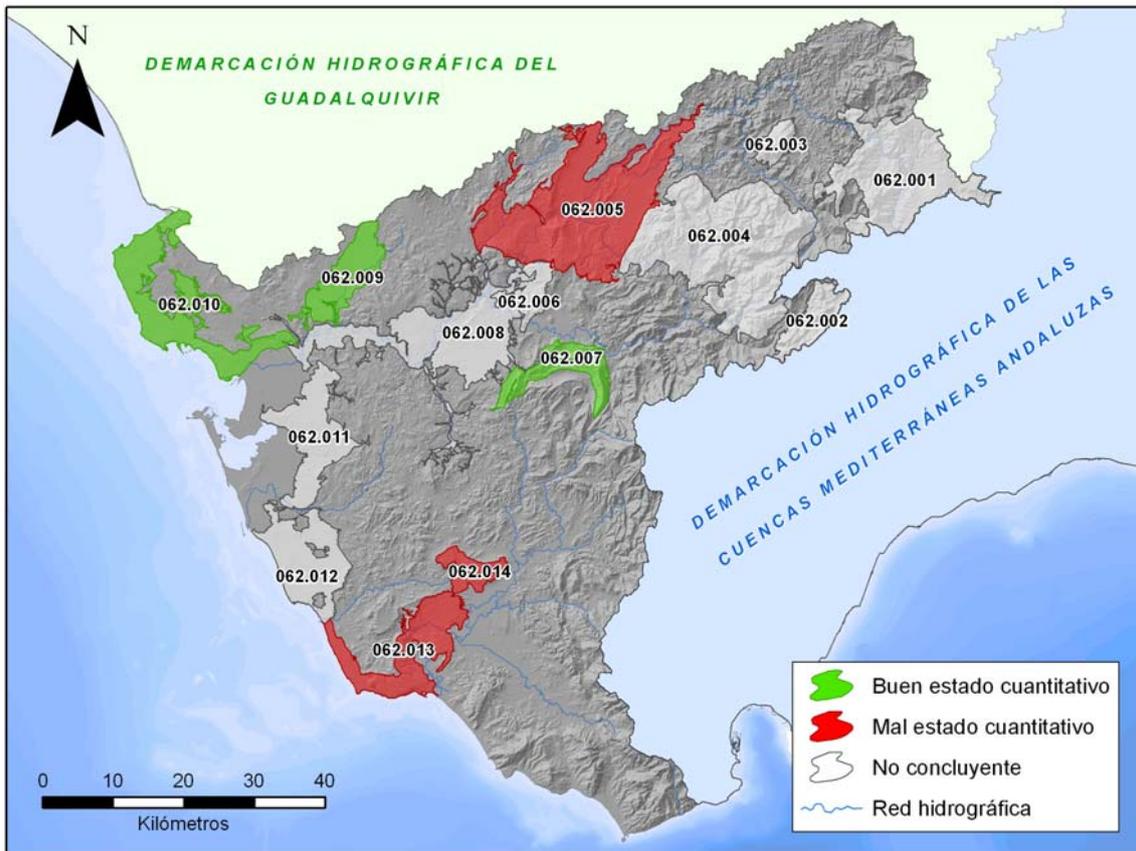


Figura 6.4.2.1. Resultado de la evaluación del estado cuantitativo de las aguas subterráneas

7. ESTIMACIÓN DE BALANCES HIDROLÓGICOS EN MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE NATURALEZA DETRÍTICA, MIXTA Y CARBONATADA

7.1. INTRODUCCIÓN

El planteamiento de un balance hidrológico clásico supone un procedimiento indirecto para evaluar las extracciones de agua subterránea de un acuífero. Se trata de un método de estimación especialmente indicado para acuíferos de gran extensión y abundantes explotaciones de agua subterránea, cuyo volumen y condiciones de contorno son conocidos.

La ecuación general del balance está basada en el *principio de conservación de la masa de Lavossier*, por el cual, la diferencia entre el volumen de agua que entra y sale del acuífero entre dos fechas, coincide con la variación en el almacenamiento.

Asimismo, los términos de la ecuación general del balance hídrico están sujetos a errores de medición, interpretación, estimación y evaluación, por lo que es lógico obtener un “error de cierre”; *Entradas - Salidas = Variación de almacenamiento ± Error*.

Este término (el valor que cierra el balance) resulta difícil de obtener por otros métodos, y representa (según SAMPER, 1999) “el fundamento del método tradicional de obtención de la recarga a partir del balance de agua en un acuífero entre dos fechas determinadas en las cuales se conocen los restantes flujos de entrada y salida”. Obviamente hay que tener en cuenta que existen otros errores en la evaluación del resto de componentes, que habrá que considerar a la hora de estimar el balance.

Para mejorar la precisión de los resultados, éstos deben ser contrastados con otros métodos indirectos, tales como estudios hidrogeológicos de detalle, evaluación de la calidad hidroquímica de las aguas y su evolución, posibles afecciones a otros acuíferos y puntos de descarga naturales.

7.2. TRABAJOS REALIZADOS

7.2.1. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA

Con objeto de determinar el orden de magnitud de las diferentes componentes del balance, calibrar los resultados obtenidos y evaluar tendencias, se han revisado todos aquellos documentos que pudiesen incluir información de interés en el análisis, diseño y ejecución de la actividad.

Entre las diversas fuentes de información consultadas, han resultado de especial interés los documentos enunciados en el anexo 1.

Asimismo, como punto de partida para la *estimación de balances hidrológicos en las masas de agua subterránea de naturaleza detrítica, mixta y carbonatada* identificadas en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se han recopilado y/o generado las coberturas digitales recogidas en la tabla sintética 7.2.1.1.

N	TIPO	GEOMETRÍA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FUENTE
1	Shapefile	Puntual	CAPT_GB	Captaciones de agua subterránea	AAA
2	Shapefile	Poligonal	DEM_GB	Demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate	AAA
3	Ráster	Píxel	INFILT_GB	Infiltración media anual para el periodo 1940/41-2005/06 (SIMPA)	CEDEX
4	Shapefile	Poligonal	LITO_GB	Cartografía litoestratigráfica, E.:1:200.000	IGME
5	Shapefile	Poligonal	MASb_GB	Masas de agua subterránea	AAA
6	Ráster	Píxel	MOS_GB	Mosaico de la cartografía geológica, E.:1:50.000	IGME/TTEC
7	Shapefile	Poligonal	PERM_GB	Cartografía de permeabilidad, E.:1:200.000	IGME
8	Shapefile	Lineal	RIOS	Red hidrográfica	CAA/ICA
9	Shapefile	Poligonal	UUHH	Unidades Hidrogeológicas	ITGE

Tabla 7.2.1.1. Relación de coberturas de partida empleadas para la estimación de balances hidrológicos en las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

7.2.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Una vez revisada la información bibliográfica se ha procedido a clasificar las masas de agua subterránea, en base a su naturaleza. De este modo se concluye que, de un total de 14 masas identificadas, 8 presentan una naturaleza (eminentemente) *detrítica*, 4 masas presentan una naturaleza (eminentemente) *carbonatada* y el resto, 2 masas, se consideran *mixtas*.

CÓDIGO	NOMBRE	SUPERFICIE (km ²)	NATURALEZA
062.001	SETENIL	223,0	Mixta
062.002	SIERRA DE LÍBAR	48,9	Carbonatada
062.003	SIERRA DE LÚJAR	24,2	Carbonatada
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA - PRADO DEL REY	361,2	Carbonatada
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA - VILLAMARTÍN	330,2	Detrítica
062.006	SIERRA VALLEJA	37,1	Mixta
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	63,8	Carbonatada
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	225,3	Detrítica
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	75,8	Detrítica
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-PUERTO DE STA. MARIA	153,9	Detrítica
062.011	PUERTO REAL	114,1	Detrítica
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	115,3	Detrítica
062.013	BARBATE	115,7	Detrítica
062.014	BENALUP	32,6	Detrítica

Tabla 7.2.2.1. Clasificación de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, en base a su naturaleza

A continuación se describe la metodología empleada para calcular y/o estimar las diferentes componentes del balance hidrológico en las 14 masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

Por un lado, las componentes correspondientes a la recarga por infiltración del agua de lluvia y a los retornos de regadío se han calculado a partir de metodologías específicas desarrolladas en el marco de los trabajos de Adecuación de las masas de agua subterránea de la cuenca del Guadalete y Barbate a los requerimientos de la Directiva 2000/60/CE (2008), si bien, estas metodologías han requerido de un proceso de revisión y mejora, con objeto de optimizar la información suministrada por el Modelo de Simulación Precipitación-Aportaciones SIMPA(2). Asimismo, para la estimación de la recarga por infiltración del agua de lluvia en masas de agua subterránea de naturaleza carbonata (así como en la parte correspondiente de las mixtas), se ha utilizado el método APLIS; (ver apartado 7.2.2.1.).

Por otro lado, el volumen de recursos extraídos mediante bombeo se ha estimado a partir de los datos de consumo facilitados por los gestores supramunicipales de abastecimiento y diferentes comunidades de regantes, de los datos obtenidos tras la caracterización económica de los usos del agua, del registro de concesiones de aguas para el aprovechamiento de las aguas subterráneas, así como de los datos de explotación registrados en el Programa ALBERCA. No obstante, la 'escasa' fiabilidad de estos datos condiciona que los cálculos obtenidos sobre los volúmenes de extracción de aguas subterráneas a los que están sometidas las distintas masas, presenten un elevado grado de incertidumbre.

Finalmente, el resto de componentes del balance se han obtenido tras la consulta, filtrado y revisión de los datos disponibles por parte de expertos, ya que las importantes carencias de información y el alto grado de incertidumbre existente sobre la calidad de los datos recopilados con anterioridad a la realización del presente estudio, así como sobre el funcionamiento hidrogeológico de determinados sistemas, han obligado a adecuar las metodologías desarrolladas a estas limitaciones y han puesto de manifiesto la necesidad de mejorar el diseño e implantación de dispositivos de control y seguimiento del estado cuantitativo y cualitativo de las aguas subterráneas.

7.2.2.1. Recarga por infiltración del agua de lluvia

La metodología empleada para calcular la componente de recarga asociada a la infiltración del agua de lluvia ha variado en función de la naturaleza detrítica o carbonatada de la masa de agua subterránea, motivado por el hecho de que los procesos que controlan la infiltración en cada una de ellas son muy diferentes.

En primer lugar se ha procedido a clasificar las masas de agua subterránea en base a su naturaleza, diferenciando entre detríticas y carbonatadas. Asimismo, en las masas de agua subterránea de naturaleza mixta se ha segregado, en entorno GIS, la parte detrítica y la carbonatada, aplicando posteriormente una metodología específica para cada sector, en función de su naturaleza.

A continuación se describe, en primer lugar, la metodología específica empleada en las masas de agua subterránea de naturaleza *detrítica* (y en la parte homóloga de las masas *mixtas*), y posteriormente en las masas de agua subterránea de naturaleza *carbonatada* (así como en la parte correspondiente de las masas *mixtas*).

7.2.2.1.1. Masas de agua subterránea de naturaleza detrítica

Para el cálculo de la recarga por infiltración del agua de lluvia en las masas de agua subterránea de naturaleza detrítica así como en la parte correspondiente de las masas mixtas, se ha utilizado el Modelo

de Simulación Precipitación-Aportaciones SIMPA(2) elaborado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX y la Subdirección General de Planificación Hidrológica de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Este modelo suministra datos de precipitación, evapotranspiración, escorrentía e infiltración para todo el ámbito nacional, en formato ráster, con una resolución de 1.000x1.000 m y para distintos periodos de tiempo. Define la infiltración como la fracción de agua de lluvia que, habiendo penetrado en el suelo, acaba llegando al acuífero, y asume que el tiempo de paso por la zona no saturada es inferior al intervalo de tiempo de simulación.

Para el cálculo de la recarga por infiltración del agua de lluvia se ha utilizado el ráster correspondiente al valor medio anual de infiltración para el periodo 1940/1941-2005/2006. El procedimiento seguido, en entorno GIS, ha sido el siguiente:

- ✓ Suavizado del ráster original reduciendo el tamaño de celda de 1.000x1.000 metros a 50x50 metros, utilizando para ello una interpolación de tipo bilineal
- ✓ Transformación del ráster a puntos
- ✓ Interpolación de la capa de puntos mediante el método *Kriging*, cuyo resultado es una superficie continua. Asimismo, para que esta superficie cubra toda la extensión de la masa de agua subterránea, incluyendo aquellas zonas donde el SIMPA no aporta ningún dato, se ha realizado una extrapolación de los valores de infiltración
- ✓ Recorte de la capa resultante según los límites actuales de cada masa de agua subterránea

Seguidamente, el valor medio de infiltración obtenido para cada masa de agua subterránea (en mm/año) se ha multiplicado por su superficie, con el fin de obtener la recarga por infiltración de agua de lluvia, expresada en hm³/año.

Finalmente, en aquellas masas de agua subterránea en cuyo interior se han cartografiado amplios afloramientos de materiales de baja permeabilidad ha sido necesario realizar una modificación del procedimiento general descrito en párrafos anteriores, con objeto de evitar una sobrestimación de esta componente de recarga. Esta modificación ha consistido en una ponderación de los valores de infiltración en función del grado de permeabilidad de los materiales aflorantes, de acuerdo con la equivalencia presentada en la tabla 7.2.2.1.1.1. Las categorías de permeabilidad consideradas son las recogidas en el 'Mapa litoestratigráfico y de permeabilidad de España' a escala 1:200.000, editado por el Instituto Geológico y Minero de España y el Ministerio de Medio Ambiente (2006).

Como puede observarse en la tabla de equivalencias, se ha considerado que en los materiales de permeabilidad muy alta la infiltración es del 100%, en tanto que en los de permeabilidad muy baja, la infiltración es prácticamente nula.

PERMEABILIDAD	FACTOR DE PONDERACIÓN
Muy alta	1
Alta	0,8
Media	0,5
Baja	0,2
Muy baja	0

Tabla 7.2.2.1.1.1. Equivalencia entre la permeabilidad de los materiales y el factor de ponderación de la infiltración considerado

Las únicas masas de agua subterránea en las que la recarga por infiltración del agua de lluvia se ha obtenido aplicando la modificación del procedimiento general han sido las codificadas como 062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín y 062.006. Sierra Valleja, ya que presentan amplios afloramientos de materiales de permeabilidad baja y muy baja. Asimismo, el factor de ponderación medio obtenido en cada una de ellas ha sido de 0,65 y 0,49, respectivamente.

7.2.2.1.2. Masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada

Para el cálculo de la recarga por infiltración del agua de lluvia en las masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada así como en la parte correspondiente de las mixtas, se ha utilizado el método APLIS.

Este método fue diseñado en el marco del proyecto desarrollado por el IGME-GHUMA (2003), de título *Estudios metodológicos para la estimación de la recarga en diferentes tipos de acuíferos carbonatados: aplicación a la Cordillera Bética*.

El objetivo de este método se centra en desarrollar un procedimiento sencillo que permita estimar la tasa de recarga en acuíferos carbonatados asociada a la infiltración del agua de lluvia (expresada como porcentaje de la precipitación) mediante la combinación de diferentes variables: geológicas y geográficas, y establecer el reparto zonal de la recarga en estos acuíferos.

Posteriormente se han propuesto unas modificaciones del método APLIS (Marín, 2009) que suponen una mejora en la aplicabilidad y salvan algunas limitaciones que presentaba el método APLIS en su versión original. Estas modificaciones son:

- ✓ La homogenización de la variable *pendiente*, que pasa de 9 a 10 clases
- ✓ La creación de una clase nueva, de valor intermedio, para la variable *formas de infiltración preferencial*
- ✓ La incorporación de un *factor de corrección* (F_h), dependiente de las características hidrogeológicas de los materiales aflorantes en superficie

Esta modificación del método ha sido aplicada de forma satisfactoria en varios estudios y por tanto, se ha empleado durante la estimación de la componente de recarga asociada a la infiltración del agua de lluvia en las masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada (así como en la parte correspondiente de las mixtas), en el marco del presente trabajo.

- **Descripción de las variables consideradas en el método APLIS modificado**

La estimación de la recarga tiene un marcado carácter cuantitativo. Sin embargo, parte de las variables que se utilizan en este método para su estimación, son de naturaleza cualitativa: litología, zona preferencial de infiltración, suelo y características hidrogeológicas y, por ello, deben transformarse en valores ordinales para su posterior tratamiento. Las variables que contempla el método APLIS modificado son:

- ✓ Altitud (**A**)
- ✓ Pendiente (**P**)
- ✓ Litología (**L**)
- ✓ Formas de Infiltración preferencial (**I**)
- ✓ Suelo (**S**)
- ✓ Características hidrogeológicas: factor de corrección (**F_h**)

A cada variable se le ha asignado un valor comprendido entre 1 y 10 y, generalmente, sigue una progresión aritmética. De este modo, el valor 1 indica la mínima incidencia de los valores de esa variable en la recarga del acuífero, mientras que el valor 10 expresa la máxima influencia en la recarga.

La puntuación de la variable Altitud sigue una progresión aritmética y considera que, conforme aumenta la altitud, aumenta la precipitación y la recarga del acuífero. Así:

ALTITUD (A)	PUNTUACIÓN
> 2.700 m	10
2.400-2.700 m	9
2.100-2.400 m	8
1.800-2.100 m	7
1.500-1.800 m	6
1.200-1.500 m	5
900-1.200 m	4
600-900 m	3
300-600 m	2
≤300 m	1

Tabla 7.2.2.1.2.1. Puntuación asignada a los valores de la variable altitud

Las puntuaciones asignadas a la variable Pendiente disminuyen conforme aumenta la pendiente, es decir, a mayor pendiente, mayor escorrentía y menor recarga del acuífero. Así:

PENDIENTE (P)	PUNTUACIÓN
≤ 3 %	10
(3 - 5]	9
(5 - 10]	8
(10 - 15]	7
(15 - 20]	6
(20 - 30]	5
(30 - 45]	4
(45 - 65]	3
(65 - 100]	2
> 100	1

Tabla 7.2.2.1.2.2. Puntuación asignada a los valores de la variable pendiente

La asignación de puntuaciones a la variable Litología se efectúa en función de criterios hidrogeológicos relacionados con la permeabilidad de los materiales: grado de fracturación y/o karstificación. Así:

LITOLOGÍA (L)	PUNTUACIÓN
Calizas y dolomías karstificadas	10 - 9
Calizas y dolomías fracturadas o ligeramente karstificadas	8 - 7
Calizas y dolomías fisuradas	6 - 5
Arenas y gravas, coluviones	4
Conglomerados	3
Rocas plutónicas y metamórficas	2
Esquistos, pizarras, limos, arcillas	1

Tabla 7.2.2.1.2.3. Puntuación asignada a los valores de la variable litología

La variable Infiltración considera tres clases o tipologías y hace referencia a la existencia o no de formas de absorción y a la capacidad potencial de infiltración. Así:

FORMAS DE INFILTRACIÓN PREFERENCIAL (I)	PUNTUACIÓN
Alto desarrollo de las formas de infiltración preferencial	10
Desarrollo moderado de las formas de infiltración preferencial	5
Escaso desarrollo o ausencia de las formas de infiltración preferencial	1

Tabla 7.2.2.1.2.4. Puntuación asignada a los valores de la variable zonas de infiltración preferencial

En el caso de la variable Suelo las distintas clases se agrupan en función de las características de espesor y textura de sus horizontes, que a su vez, están relacionadas con la permeabilidad del mismo.

SUELOS (S)	PUNTUACIÓN
Leptosoles	10
Arenosoles y Xerosoles	9
Regosoles calcáreos y Fluvisoles	8
Regosoles eútricos, dístricos y Solonchaks	7
Cambisoles	6
Cambisoles eútricos	5
Histosoles y Luvisoles	4
Luvisoles crómicos	3
Planosoles	2
Vertisoles	1

Tabla 7.2.2.1.2.5. Puntuación asignada a las clases de la variable suelo

El coeficiente de corrección de la recarga (F_h) tiene en cuenta la capacidad del terreno de dejar pasar el agua en la vertical. Permite distinguir entre aquellos materiales que tienen características acuíferas, ya sea por su litología, porosidad o grado de alteración y fracturación que presentan, de otros materiales que no presentan estas características acuíferas.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LOS MATERIALES QUE AFLORAN (F_h)	PUNTUACIÓN
Características acuíferas	1
Otros	0,1

Tabla 7.2.2.1.2.6. Puntuación asignada al coeficiente de corrección en base a las características hidrogeológicas del medio

Finalmente, el algoritmo utilizado para estimar el porcentaje de recarga es el siguiente:

$$R = [(A + P + 3L + 2I + S) / 0,9] F_h$$

Una vez estimada la de recarga, ésta se representa agrupada en cinco intervalos regulares, a cada uno de los cuales se le asigna una categoría según el porcentaje de lluvia que recarga el acuífero.

INTERVALO	CLASE DE RECARGA
≤ 20 %	Muy Baja
20 - 40 %	Baja
40 - 60 %	Moderada
60 - 80 %	Alta
> 80 %	Muy Alta

Tabla 7.2.2.1.2.7. Categorías del porcentaje de recarga del acuífero

Una de las ventajas que presenta el método APLIS, es que permite obtener el mapa distribuido de la tasa recarga para un área de estudio determinada. De este modo, se puede estimar la tasa de recarga para cada una de las unidades espaciales analizadas.

Así, a partir del mapa distribuido de la tasa de recarga obtenido tras aplicar el método APLIS en las masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada (así como en la parte correspondiente de las masas mixtas), y del mapa de isoyetas elaborado a partir de la precipitación media registrada en el Modelo de Simulación Precipitación-Aportaciones SIMPA(2) para la serie histórica 1970-2005, se ha estimado, en entorno GIS, el volumen de agua de lluvia que se infiltra en el acuífero por unidad de superficie y de tiempo. De este modo, se ha obtenido la recarga específica (m³/m²) y los recursos medios anuales asociados a la infiltración del agua de lluvia que precipita directamente sobre los afloramientos carbonatados identificados en cada una de las masas de agua subterránea objeto de estudio.

Asimismo, hay que tener en cuenta que algunos acuíferos presentan recursos hídricos alóctonos, que deberán considerarse en la cifra final de recursos disponibles. Este es el caso de la masa de agua subterránea: Sierra de Líbar (062.002).

7.2.2.2. Recarga por retornos de regadío

La componente de recarga correspondiente a los retornos por regadío se ha estimado a partir de los tipos de cultivos existentes sobre la superficie de cada masa de agua subterránea y de la dotación de riego media estimada para cada uno de ellos. La metodología empleada, que ha sido la misma para las masas de agua subterránea de naturaleza detrítica, carbonatada y mixta, se expone a continuación.

En primer lugar se ha considerado que en aquellas superficies ocupadas por cultivos cuyo riego se acomete por goteo, la componente de recarga correspondiente a este factor es nula (ver tabla 7.2.2.2.1).

Al resto de cultivos, cuyo riego se realiza por gravedad o aspersión, se les ha asignado una dotación neta media, a partir de la cual se ha estimado la dotación bruta mediante la aplicación de un coeficiente de penalización del 25% (ver tabla 7.2.2.2.2).

CULTIVOS	RIEGO POR GOTEO
Algodón	
Arroz	
Cultivos Bioenergéticos	
Biodiesel	
Bietanol	
Cereales grano de invierno	
Cítricos	X
Cultivos forestales	
Cultivos forrajeros	



CULTIVOS	RIEGO POR GOTEO
Flores y plantas ornamentales	X
Frutales de fruto carnoso no cítricos	X
Frutales de fruto seco	X
Hortalizas aire libre	X
Hortícolas protegidos	X
Leguminosas grano	X
Maíz	
Oleaginosas	
Olivar	X
Patata	
Remolacha	
Viñedo	X
Vivero	X

Tabla 7.2.2.2.1. Cultivos cuya tipología de riego dominante se acomete por goteo

CULTIVOS	DOTACIÓN POR CULTIVO (m ³ /ha/año)	
	NETA (media)	BRUTA
Algodón	7.500	10.000,00
Arroz	10.500	14.000,00
Biodiesel	3.600	4.800,00
Bietanol	5.600	7.466,67
Cereales grano de invierno	2.100	2.800,00
Cultivos forestales	4.400	5.866,67
Cultivos forrajeros	7.900	10.533,33
Maíz	6.200	8.266,67
Oleaginosas	4.000	5.333,33
Patata	3.200	4.266,67
Remolacha	4.400	5.866,67

Tabla 7.2.2.2.2. Dotaciones brutas estimadas para cultivos cuyo riego se acomete por gravedad y aspersión

Como la cobertura de usos del suelo disponible, que permitirá obtener superficies de regadío en función del tipo de cultivo, corresponde a la actualización I&CLC2000 del CORINE Land Cover, a partir de los datos anteriores se ha estimado una dotación bruta (m³/ha/año) para cada una de las clases individualizadas durante los trabajos de fotointerpretación de terrenos regados realizada en el marco de dicho proyecto.

La primera consideración metodológica asume que las superficies ocupadas por cultivos cuyo riego se acomete por goteo no aportan retornos (o éstos se suponen insignificantes). Por este motivo, y debido a que las clases de usos del suelo identificadas en el CORINE Land Cover agrupan cultivos regados por goteo, gravedad y aspersión, ha sido necesario estimar una demanda bruta para cada clase a partir de las dotaciones destinadas únicamente a riego por gravedad y aspersión (ver tabla 7.2.2.2.3).

Clases de Usos del Suelo destinados a regadío 2000 I&CLC2000		DOTACIONES BRUTAS ESTIMADAS (m ³ /ha/año)	
		Todos los tipos	Gravedad y aspersión
REGADÍO	Cultivos de regadío herbáceos	7.638,10	5.866,67
	Cultivos de regadío. Otros	5.133,34	2.933,34
	Arrozales	14.000,00	14.000,00



Clases de Usos del Suelo destinados a regadío 2000 I&CLC2000		DOTACIONES BRUTAS ESTIMADAS (m ³ /ha/año)	
		Todos los tipos	Gravedad y aspersión
	Frutales	4.888,89	0,00
	Olivares	2.666,67	0,00
REGADÍO	Anuales asociados con permanentes	2.800,00	2.800,00
	Mosaicos de cultivos	8.933,33	0,00
	Agrícola pero con vegetación natural	5.866,67	5.866,67
MIXTO	Secano y regadío	4.355,56	3.200,00

Tabla 7.2.2.3. Dotaciones brutas estimadas para las clases de usos del suelo destinadas a regadío según el I&CLC2000 del CORINE Land Cover

Una vez estimadas las dotaciones brutas destinadas a riego por gravedad y aspersión para cada clase de usos del suelo individualizadas para terrenos de regadío en el proyecto Corine Land Cover, se ha procedido, mediante el empleo de herramientas en entorno GIS, a obtener una aproximación del volumen de agua destinado para este tipo de regadíos en cada masa de agua subterránea.

Para estimar el porcentaje de agua de riego que retorna al acuífero se han tenido en cuenta dos variables: la tipología edáfica del suelo y el grado de permeabilidad de los materiales de la zona no saturada sobre los que se desarrollan las prácticas de regadío. De esta forma, y atendiendo a otros estudios y trabajos de similar naturaleza, se han obtenido los valores reflejados en las tablas adjuntas.

SUELOS EDÁFICOS	
TIPOLOGÍA	% ZNS
Arenosoles	25%
Cambisoles	20%
Fluvisoles	25%
Litosoles	30%
Luvisoles	15%
Planosoles	10%
Regosoles	20%
Solonchaks	5%
Vertisoles	5%

AFLORAMIENTOS	
PERMEABILIDAD	COEFICIENTE CORRECTOR
Muy alta	1
Alta	0,8
Media	0,6
Baja	0,4
Muy baja	0,2

Tabla 7.2.2.4. Valores estimados del porcentaje de agua destinada a regadío que retorna al acuífero

Como puede observarse, en la tabla situada a la izquierda se estima el porcentaje de agua de riego que, en función de la tipología edáfica, alcanza la zona no saturada (ZNS), y en la situada a la derecha, el factor de corrección a aplicar debido a retornos por flujos hipodérmicos y almacenamiento en acuíferos



colgados. La estimación de este último coeficiente se ha basado en el grado de permeabilidad de los afloramientos.

7.2.2.3. Resto de componentes del balance

El resto de componentes del balance hidrológico estimado para las masas de agua subterránea de naturaleza detrítica, mixta y carbonatada identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, tanto las correspondientes a entradas en el sistema (infiltración de la escorrentía superficial, aportes laterales, recarga artificial/inducida y otros), como a salidas (manantiales, volumen de recursos subterráneos extraídos mediante bombeo en aquellas masas en las que no se dispone de datos de explotación, ríos ganadores, descargas laterales o hacia el mar), se han obtenido tras la consulta, filtrado y revisión de los datos disponibles por parte de expertos, ya que las importantes carencias de información y el alto grado de incertidumbre existente sobre la calidad de los datos recopilados con anterioridad a la realización del presente estudio, así como sobre el funcionamiento hidrogeológico de determinados sistemas, han obligado a adecuar las metodologías desarrolladas a estas limitaciones y han puesto de manifiesto la necesidad de mejorar el diseño e implantación de dispositivos de control y seguimiento del estado cuantitativo y cualitativo de las aguas subterráneas.

Del mismo modo, la escasez de datos así como la incertidumbre existente sobre la calidad de los mismos, ha derivado en que:

- ✓ La falta de información relativa a la morfología tridimensional de los acuíferos (cartografías de isopacas, isobatas, etc.) no ha permitido, pese a existir datos (escasos) sobre parámetros hidráulicos, calcular las reservas totales de los sistemas acuíferos que constituyen las distintas masas de agua subterránea.
- ✓ Los datos piezométricos registrados a partir de las redes de seguimiento del estado cuantitativo de las aguas subterráneas actualmente operativas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, no han permitido elaborar cartografías de isopiezas ‘fiables’ en determinadas masas de agua subterránea.
- ✓ El bajo grado de conocimiento sobre el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos y su interrelación con los sistemas de superficie asociados, imposibilitan aportar cálculos sobre direcciones y tasas de intercambio de flujos entre las masas de agua subterránea y los sistemas de superficie asociados, ni datos suficientes para calcular la tasa media anual de recarga global a largo plazo.
- ✓ La ‘escasa’ fiabilidad de los datos de explotación disponibles, tanto en el apartado relacionado con extracciones de aguas subterráneas incluido en el informe relativo a los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE (2005), estimaciones que derivan principalmente de los resultados de la Revisión de las Normas de Explotación de las unidades hidrogeológicas realizada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Confederación hidrográfica del Guadalquivir (CHG), así como en estudios posteriores, condiciona que los cálculos obtenidos sobre los volúmenes de extracción de aguas subterráneas a los que están sometidas las distintas masas, presenten un elevado grado de incertidumbre.

Con el propósito de poder acometer con las máximas garantías los requerimientos estipulados, en materia de aguas subterráneas, en las Directivas 2000/60/CE y 2006/118/CE, Orden ARM/2656/2008, Texto Refundido de la Ley de Aguas y demás disposiciones legales vigentes, se recomienda la puesta en funcionamiento de controles de calidad sobre los datos de explotación, así como la revisión y adecuación de los programas de seguimiento del estado (químico y cuantitativo) de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación.

7.3. RESULTADOS OBTENIDOS

En la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate se han calculado o estimado las diferentes componentes del balance hidrológico (entradas y salidas), en un total de 14 masas de agua subterránea: 8 de naturaleza detrítica, 4 de naturaleza carbonatada y el resto, 2 masas, de naturaleza mixta.

En el sector detrítico de la masa de agua subterránea de naturaleza mixta codificada como 062.001. Setenil, el valor de recarga por infiltración del agua de lluvia obtenido a partir de los datos suministrados por el modelo SIMPA(2), incluso cuando éste ha sido ponderado por el rango de permeabilidad de los afloramientos, es notablemente superior al asignado a esta componente de recarga en el marco de trabajos previos. Así, por ejemplo, se ha obtenido un valor de 16,5 hm³/año empleando los datos del modelo SIMPA(2) frente a los: 6 hm³/año recogidos en el Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga (IGME-DPM, 2007), los 5 hm³/año considerados en el estudio de *Delimitación y síntesis de las características de las unidades hidrogeológicas intercuencas* (DGOH-ITGE, 1993) y los 10 hm³/año estimados para el conjunto del acuífero Setenil-Ronda (en el cual se incluyen las masas de agua subterránea 062.001. Setenil y 060.042. Depresión de Ronda), recogidos en la *Norma de Explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.63 Setenil-Ronda* (CHG, 1994). A la vista de la disparidad de valores contemplados en los diferentes estudios, se ha aplicado un factor de corrección de 0,68 a la tasa de recarga obtenida mediante la aplicación directa del método SIMPA(2).

Del mismo modo, el valor de precipitación media considerado finalmente para la masa de agua subterránea de naturaleza mixta codificada como 062.006. Sierra Valleja (igual a 780 mm/año⁵), no se corresponde con el valor obtenido mediante la aplicación directa de los datos suministrados por el modelo SIMPA(2), 659 mm/año, ya que este valor no refleja la precipitación media real de la zona.

Una vez estimada la recarga y los volúmenes de extracción de aguas subterráneas a los que están sometidas las distintas masas identificadas en la demarcación, se ha procedido a calcular el recurso disponible y el índice de explotación para cada masa.

Según dispone la Orden ARM/2656/2008, el recurso disponible de aguas subterráneas se define como el valor medio interanual de la tasa de recarga total de la masa de agua subterránea, menos el flujo interanual medio requerido para conseguir los objetivos de calidad ecológica para el agua superficial asociada, para evitar cualquier disminución significativa en el estado ecológico de tales aguas y cualquier daño significativo a los ecosistemas terrestres asociados. En la práctica, como norma general, se ha asumido que el recurso disponible equivale al 80% del valor de la recarga.

No obstante, en determinadas masas de agua subterránea se ha reducido este porcentaje a la hora de calcular el recurso disponible, puesto que:

- En las masas de agua subterránea costeras se ha considerado que un porcentaje de recursos disponibles superior al 70-75%, podría inducir procesos de intrusión marina por sobreexplotación en determinados sectores próximos a la costa.
- En otros casos, el valor de los recursos disponibles se ha reducido de forma coherente con el funcionamiento hidrogeológico de determinadas masas de agua subterránea, con presencia de flujos subterráneos y transferencias laterales hacia otras masas o bien, debido a la presencia de masas de agua

⁵ Valor extraído del Atlas hidrogeológico de la provincia de Cádiz (IGME-Diputación de Cádiz, 2005).

superficiales o ecosistemas terrestres dependientes de los recursos subterráneos de la masa. En este caso, el valor del recurso disponible estimado depende del comportamiento hidráulico de cada masa:

- ✓ 062.002. Sierra de Líbar: Estudios previos han constatado que los recursos hídricos subterráneos de esta masa de agua se transfieren prácticamente en su totalidad hacia la masa de agua subterránea 060.044. Sierra de Líbar, definida en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Por otro lado, este acuífero presenta una karstificación incipiente, que conlleva la presencia de flujos subterráneos con velocidades de hasta 100 m/h, lo cual dificulta el aprovechamiento de estos recursos. Por todo ello, el volumen de recursos disponibles de la masa de agua subterránea 062.002 debe considerarse prácticamente nulo.
- ✓ 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey: Los recursos hídricos subterráneos de los acuíferos que constituyen esta masa de agua alimentan, en mayor o menor medida, los embalses de Zahara, Los Hurones, Bornos-Arcos y Guadalcacín, de los cuales depende gran parte del suministro de agua para uso urbano, agrícola e industrial de la zona occidental de la provincia de Cádiz. Por otro lado, estos acuíferos presentan un valor ambiental elevado al localizarse dentro de los límites del Parque Natural de la Sierra de Grazalema. Por todo ello, se considera conveniente reducir los recursos disponibles a un 40% de la recarga.

Finalmente, una vez estimados los recursos disponibles para cada masa de agua subterránea, se ha calculado el índice de extracción, el cual viene definido como el porcentaje de extracción respecto al volumen de recursos disponibles. En las tablas sintéticas 7.3.1 y 7.3.2 se presenta una estimación de las principales componentes que definen el balance hidrológico en las masas de agua subterránea de naturaleza detrítica, mixta y carbonatada, identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, así como los recursos disponibles e índice de explotación obtenidos para cada masa de agua subterránea.

Código	Nombre de la masa	Naturaleza	ENTRADAS (hm ³ /año)					SALIDAS (hm ³ /año)				
			Infiltración Escorrentía	Recarga lateral	Retornos regadío	Otros	TOTAL	Bombeos	Manantiales	Ríos, arroyos y mar	Descarga lateral	Otros
062.001	Setenil	Mixta	15,8	2	0,2	-	18	3,5	14,5	-	-	18
062.002	Sierra de Líbar	Carbonatada	35,4	-	-	-	38,7	-	-	-	38,7	38,7
062.003	Sierra de Lijar	Carbonatada	6,2	-	-	-	6,2	1,7	4,5	-	-	6,2
062.004	Sierra de Grazalema-Prado del Rey	Carbonatada	91,4	-	0,1	-	91,5	6,8	84,7	-	-	91,5
062.005	Arcos de la Frontera-Villamartín	Detrítica	20,8	-	2,4	-	23,2	18	0,3	4,9	-	23,2
062.006	Sierra Valleja	Mixta	3,2	-	0,5	-	3,7	-	-	3,7	-	3,7
062.007	Sierra de las Cabras	Carbonatada	9,9	-	-	-	9,9	2	7,9	-	-	9,9
062.008	Aluvial del Guadalete	Detrítica	17,5	-	9,8	-	27,3	7,3	-	20	-	27,3
062.009	Jerez de la Frontera	Detrítica	6,2	-	3,1	-	9,3	1,2	-	8,1	-	9,3
062.010	Sanlúcar-Chipiona-Rota-Pto. de Sta. María	Detrítica	13,8	-	2,2	1 ¹	17	1,1	-	15,9	-	17
062.011	Puerto Real	Detrítica	8,8	-	1,3	0,7 ¹	10,8	1,8	-	9	-	10,8
062.012	Conil de la Frontera	Detrítica	10,8	-	0,7	0,3 ¹	11,8	5,2	-	6,6	-	11,8
062.013	Barbate	Detrítica	13,2	1,5	2,4	0,7 ¹	17,8	14,1	-	3,7	-	17,8
062.014	Benalup	Detrítica	4,3	-	0,3	-	4,6	5,1	-	-	-	5,1

¹: Pérdidas de la red de abastecimiento urbano

Tabla 7.3.1. Balance hidrológico estimado para las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

CÓDIGO	NOMBRE	RECARGA (hm ³ /año)	VOLUMEN EXTRAÍDO (hm ³ /año)	RECURSOS DISPONIBLES (hm ³ /año)	ÍNDICE DE EXPLOTACIÓN (%)
062.001	Setenil	18	3,5	14,4	24%
062.002	Sierra de Líbar	38,7	0	(-) ²	0%
062.003	Sierra de Lijar	6,2	1,7	5,0	34%
062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	91,5	6,8	36,6	19%
062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	23,2	18	18,6	97%
062.006	Sierra Valleja	3,7	0	3,0	0%
062.007	Sierra de las Cabras	9,9	2	7,9	25%
062.008	Aluvial del Guadalete	27,3	7,3	21,8	33%
062.009	Jerez de la Frontera	9,3	1,2	7,4	16%
062.010	Sanlúcar-Chipiona-Rota-Pto. de Sta. María	17	1,1	11,9	9%
062.011	Puerto Real	10,8	1,8	7,6	24%
062.012	Conil de la Frontera	11,8	5,2	8,3	63%
062.013	Barbate	17,8	14,1	13,5	104%
062.014	Benalup	4,6	5,1	3,9	131%

²: Los recursos hídricos de la MASb. 062.002 - Sierra de Líbar son transferidos en su totalidad a la D.H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (MASb. 060.044 - Sierra de Líbar)

Tabla 7.3.2. Estimación de los recursos disponibles e índice de explotación, en las masas de agua subterránea identificadas en la D.H. del Guadalete y Barbate

8. DEFINICIÓN DE EMPLAZAMIENTOS FAVORABLES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SONDEOS DE ABASTECIMIENTO EN PERÍODOS DE SEQUÍA EN LA COMARCA DE LA SIERRA DE CÁDIZ

8.1. INTRODUCCIÓN

Los municipios incluidos en este estudio se localizan en la región conocida como la *comarca de la Sierra de Cádiz*, ubicada en el extremo occidental de la Cordillera Penibética y compuesta, a su vez, por otras subsierras: Sierra de Zafalgar, Sierra del Endrinal y Sierra del Pinar.

En concreto, las localidades y pedanías incluidas son: Olvera, Torre Alháquime, Setenil de las Bodegas, Ubrique, Algodonales, El Gastor, Zahara de la Sierra, Puerto Serrano, Prado del Rey, Villamartín, El Bosque, Benamahoma (Grazalema), Bornos, Coto de Bornos (Bornos), Espera y Arcos de la Frontera.

Asimismo, el objetivo de estos trabajos se centra en identificar áreas hidrogeológicamente favorables para la captación de aguas subterráneas que puedan ser aprovechadas durante periodos de sequía para el abastecimiento de dichas poblaciones. Posteriormente, con anterioridad a la ejecución de los sondeos deberá realizarse un estudio hidrogeológico de detallado en cada una de las áreas identificadas, con objeto de definir y concretar los emplazamientos, así como las características constructivas de los sondeos.

8.2. TRABAJOS REALIZADOS

8.2.1. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA

Con anterioridad al inicio de los trabajos se ha realizado un estudio bibliográfico de todos aquellos documentos, informes técnicos, comunicaciones y artículos científicos que pudiesen incluir información de interés en el análisis, diseño y ejecución de la actividad, en relación con las características y funcionamiento hidrogeológico de los principales acuíferos identificados en la *comarca de la Sierra de Cádiz*, así como el grado de explotación que soportan actualmente.

8.2.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Una vez identificadas las poblaciones objeto de estudio, éstas se han agrupado en diferentes *subsistemas de abastecimiento*, atendiendo a criterios de proximidad geográfica, demandas, fuentes de suministro e infraestructuras existentes. Así, se han diferenciado los siguientes subsistemas:

- ✓ **Subsistema 1. Olvera, Torre Alháquime y Setenil de las Bodegas**
- ✓ **Subsistema 2. Ubrique**
- ✓ **Subsistema 3. Algodonales - El Gastor - Zahara - Puerto Serrano - Prado del Rey - Villamartín - El Bosque - Benamahoma - Coto de Bornos - Bornos – Espera**
 - *Subsistema 3.1.* Algodonales, El Gastor y Zahara de la Sierra (Bocaleones)
 - *Subsistema 3.2.* El Bosque y Benamahoma (Grazalema)
 - *Subsistema 3.3.* Villamartín, Puerto Serrano y Prado del Rey
 - *Subsistema 3.4.* Bornos, Coto de Bornos (Bornos) y Espera
- ✓ **Subsistema 4. Arcos de la Frontera**

Una vez agrupados los diferentes municipios en subsistemas de abastecimiento se han seleccionado, en entorno GIS, aquellas zonas consideradas hidrogeológicamente favorables para la captación de aguas subterráneas, de cara al futuro emplazamiento de sondeos de investigación y/o captación de aguas subterráneas. Los sectores delimitados responden a los criterios geológicos-hidrogeológicos, a priori, más favorables.

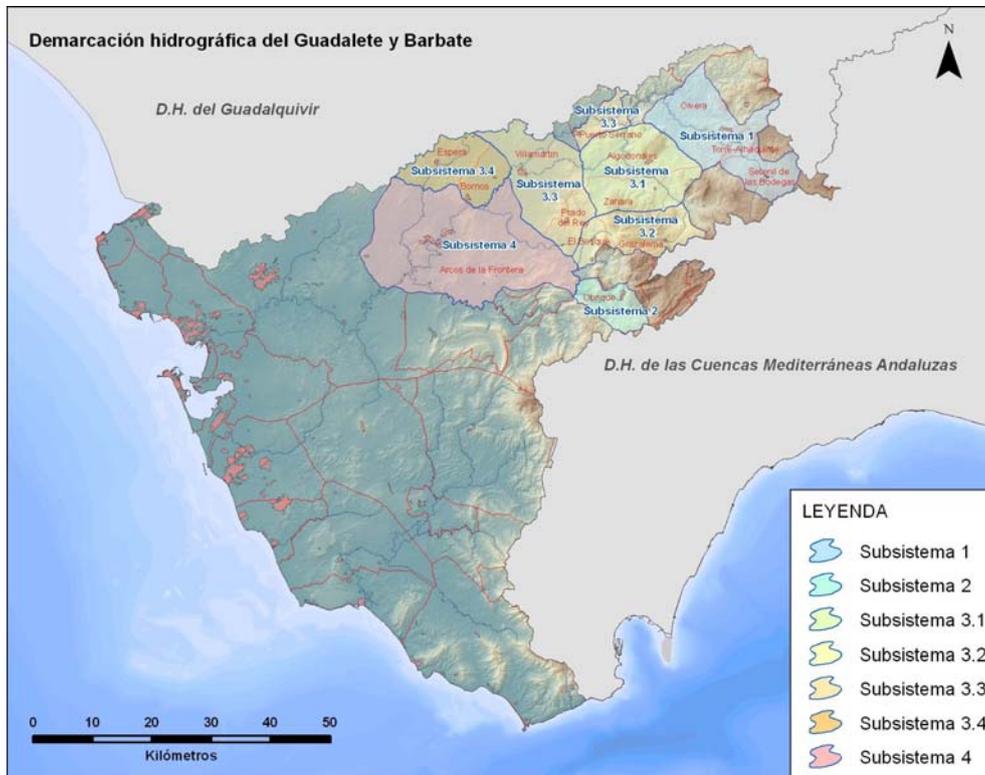


Figura 8.2.2.1. Localización de los subsistemas de abastecimiento identificados

Las áreas seleccionadas se localizan mayoritariamente en el ámbito de las masas de agua subterránea codificadas como 062.001. Setenil y 062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín, de naturaleza eminentemente detrítica y, en menor medida, sobre masas de naturaleza carbonatada, 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey.

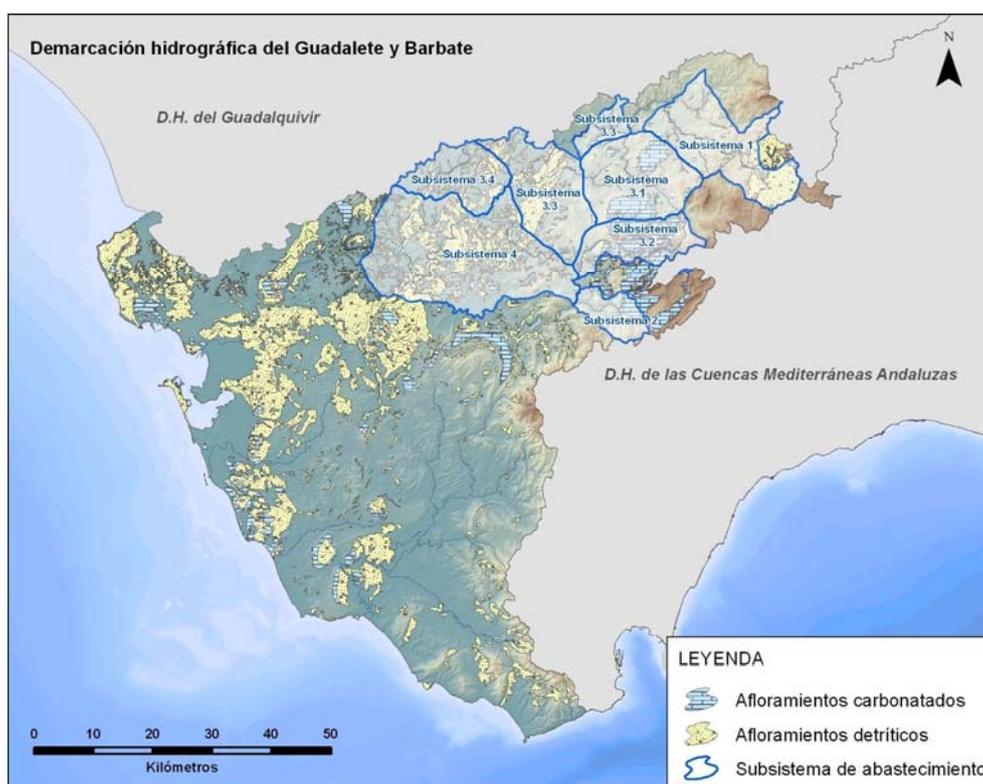


Figura 8.2.2.2. Localización de los subsistemas de abastecimiento identificados sobre cartografía geológica: afloramientos detríticos y carbonatados

Por otra parte hay que destacar que, en la mayoría de los casos, estas masas de agua subterránea ya soportan el abastecimiento actual de diversos municipios incluidos o no en estos trabajos, mediante el bombeo de agua en sondeos o por derivaciones en algunos de los manantiales existentes en las masas carbonatadas. Por tanto, deberá tenerse en cuenta que la entrada en funcionamiento (eventual) de captaciones adicionales, en muchos casos puede afectar a los abastecimientos o concesiones actualmente existentes y/o al régimen y funcionamiento natural de los manantiales, tanto más, cuanto menor sea la distancia al manantial o captación previa y mayor el caudal extraído en los nuevos sondeos. Estos aspectos deberán tenerse en cuenta en el estudio hidrogeológico detallado que deberá realizarse, previo al emplazamiento de los sondeos. Este estudio deberá incluir una estimación de la demanda y de cómo se cubre ésta actualmente, junto con una previsión de la demanda para las próximas décadas.

Una vez identificados los subsistemas de abastecimiento, así como las zonas con mayor potencial acuífero, se ha llevado a cabo una campaña de campo con objeto de verificar, in situ, la naturaleza de las formaciones aflorantes, principales estructuras asociadas y presencia de captaciones de abastecimiento -previas- en el entorno.

8.3. RESULTADOS OBTENIDOS

El resultado de estos trabajos ha consistido en la identificación y posterior delimitación de varias zonas hidrogeológicamente favorables para la captación de aguas subterráneas en los diferentes subsistemas de abastecimiento considerados en el apartado 8.2.2. En la figura adjunta se muestra la localización de estas zonas favorables.

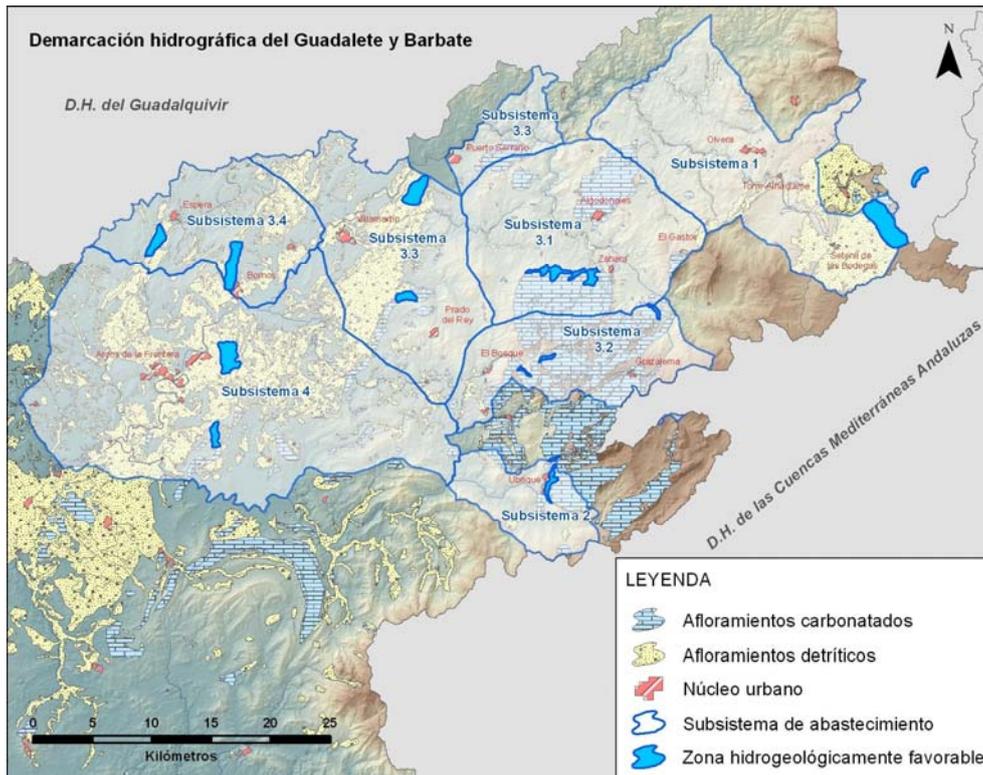


Figura 8.3.1. Localización de las zonas hidrogeológicamente favorables para la captación de aguas subterráneas en la comarca de la Sierra de Cádiz

A continuación se realiza una breve descripción de los subsistemas de abastecimiento considerados así como de las áreas hidrogeológicamente favorables para la captación de aguas subterráneas identificadas en cada uno de ellos.

➤ **SUBSISTEMA 1. OLVERA, TORRE ALHÁQUIME Y SETENIL DE LAS BODEGAS**

Los municipios de Olvera, Torre Alháuquime y Setenil de las Bodegas se encuentran situados en el extremo nororiental de la provincia de Cádiz, próximos a las provincias de Málaga y Sevilla. Los dos primeros núcleos de población se abastecen actualmente de aguas subterráneas procedentes de los acuíferos detríticos de Setenil y Montecorto, y de la parte meridional del acuífero carbonatado de la Sierra de Cañete. No obstante, Olvera también se abastece del acuífero carbonatado de la Sierra de Algodonales-Líjar.

Por otra parte, Setenil de las Bodegas se abastece de los acuíferos detríticos de Setenil y Montecorto y del acuífero carbonatado de las Sierras de Blanquilla y Merinos (englobadas en la masa de agua subterránea codificada como 060.043. Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla), en la vecina provincia de Málaga.

Las principales masas de agua subterránea identificadas en el entorno de estos municipios son: en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, la masa 062.001. Setenil; en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, las masas 060.042. Depresión de Ronda y 060.043. Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla, a las que habría que unir la secuencia arenoso-limosa y conglomerática del Mioceno superior de la formación Gastor (situada en el borde de la depresión de Ronda) y la masa de agua 060.041. Sierra de Cañete Sur (de naturaleza carbonatada).

Las dos primeras masas de agua subterránea, codificadas como 062.001 y 060.042, se denominan conjuntamente como *detrítico de la Depresión de Ronda* y ocupan una superficie aproximada de 340 km² entre las provincias de Málaga y Cádiz. En conjunto, están constituidas por un paquete muy potente y heterogéneo de calcarenitas, areniscas, conglomerados, limos y arcillas del Mioceno, con frecuentes cambios laterales entre las litologías anteriores. La potencia total de estos materiales es variable, encontrando los mayores espesores (de hasta 400 m) hacia el sur de la cuenca. Debido a la gran variedad litológica y a los cambios laterales de facies, estos acuíferos se comportan como un sistema complejo y heterogéneo, permeable por porosidad intergranular, fisuración y karstificación (en las calcarenitas y conglomerados), con características de acuíferos libres, aunque en algunas zonas pueden comportarse como un sistema multicapa.

Los valores de transmisividad obtenidos en estos acuíferos están comprendidos entre 300 y 6.000 m²/día. La alimentación se produce por infiltración directa del agua de lluvia sobre los afloramientos permeables y por transferencia subterránea de recursos hídricos procedentes de las masas de agua carbonatadas situadas al Este. La descarga natural de la masa 060.042. Depresión de Ronda se realiza principalmente a través del río Guadiaro, en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, y del río Trejo en los acuíferos de Setenil y Montecorto (demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate). A esta descarga habría que sumar la relacionada con los bombeos para uso agrícola y urbano.

La Sierra de Cañete, con una superficie total de 55 km² (51 km² en la provincia de Málaga), administrativamente se encuentra compartida entre dos masas de agua subterránea: 062.001. Setenil y 060.041. Sierra de Cañete Sur. Esta última presenta una superficie aproximada de afloramientos carbonatados permeables de 42 km². El acuífero está constituido por los materiales carbonatados jurásicos de la unidad de la Sierra de Cañete, caracterizados por una serie de dolomías, calizas y calizas margosas de 850 m de espesor; la base impermeable del acuífero está constituida por arcillas del Trías.

Los límites de esta masa de agua subterránea vienen definidos por margas y margocalizas del Cretácico, de naturaleza menos permeable, y por arcillas del Flysch, que confinan el acuífero en algunos sectores. El borde suroccidental se hunde bajo los materiales detríticos miocenos de la depresión de Ronda.

La característica hidrogeológica fundamental de la Sierra de Cañete es la fragmentación de los afloramientos de rocas carbonatadas jurásicas, debido a la estructura geológica y a una tectónica compartimentada, de complejas interrelaciones. Dos de estos compartimentos están representados en la provincia de Cádiz: el compartimento de la Atalaya y el de Alcalá del Valle.

Los recursos hídricos de la Sierra de Cañete proceden exclusivamente de la infiltración de las precipitaciones y ascienden a un total de 14,1 hm³/año, de los cuales, 3,1 hm³/año corresponden a la provincia de Cádiz. Por lo que respecta a las salidas controlables, se estima un volumen aproximado de 14,6 hm³/año, la mayoría asociado a la descarga natural de los distintos compartimentos y 2,9 hm³/año a extracciones por bombeos.

El extremo sur de la sierra, vertiente a la cuenca del río Guadalete y coincidente con el compartimento hidrogeológico de Alcalá del Valle, soporta el abastecimiento de las poblaciones de Alcalá del Valle, Olvera y Torre Alháuquime y actualmente presenta un ligero déficit hidrológico.

Los recursos hídricos de las masas de agua subterránea 060.041. Sierra de Cañete Sur, 060.042. Depresión de Ronda y 062.001. Setenil presentan, en general, características hidroquímicas muy parecidas. En general sus facies son bicarbonatadas-cálcicas, aunque pueden ser bicarbonatadas-

sulfatadas cálcico-magnésica en el caso de las aguas de la depresión de Ronda. La mineralización varía de débil a media, con valores de conductividad eléctrica de 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el agua de la Sierra de Cañete, 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el sector de Setenil y 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el área de Ronda. Los contenidos medios en nitratos de estas aguas están comprendidos entre 10 y 25 mg/l.

A partir de la información disponible acerca de los acuíferos identificados en las proximidades de los municipios de Olvera, Torre Alháuquime y Setenil de las Bodegas, se han seleccionado dos zonas en las inmediaciones de la Sierra de Cañete, a priori favorables para la captación de aguas subterráneas. Ambas zonas deberán estudiarse detalladamente, con objeto de concretar el emplazamiento de los sondeos de investigación y/o captación de aguas subterráneas.

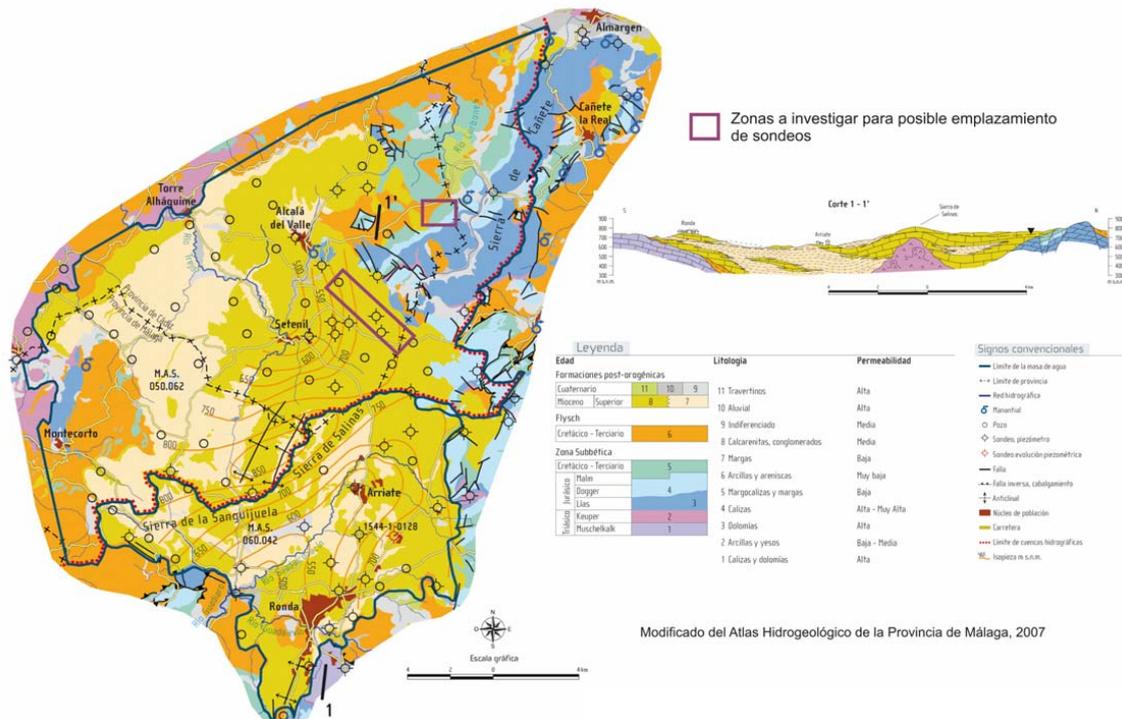


Figura 8.3.2. Localización de zonas hidrogeológicamente favorables para la captación de aguas subterráneas destinadas al abastecimiento humano en el Subsistema 1

- La primera zona favorable se localiza en el límite septentrional de la sierra, en concreto, en el **borde norte del compartimento de La Atalaya**, próxima a una mesa travertínica existente en el entorno. Se trata de una zona en la que se hunde el flanco occidental del antiforme de la Sierra de Cañete, formado por dolomías, calizas y margocalizas, bajo las arcillas del Flysch. Este compartimento es el más extenso y menos explotado de la Sierra de Cañete (24 km²) y descarga, a cota 670-680 m.s.n.m., por los manantiales más caudalosos de la zona: Ojo de la Laguna (caudal medio de 37,6 l/s, con importante descenso en estiaje), Cortijo Grande (caudal medio de 13,6 l/s y frecuentes desecaciones estivales) y Pleito (caudal medio de 7,5 l/s), entre otros.



Imagen 8.3.1. Zona noroccidental del borde de la Sierra de Cañete: compartimento de la Atalaya. Al fondo afloran los materiales carbonatados del Jurásico

- La segunda zona favorable identificada se localiza sobre los **materiales miocenos de la depresión de Ronda, al suroeste de la Sierra de Cañete.**

Estos materiales se encuentran en conexión hidrogeológica con las rocas carbonatadas del compartimento de Alcalá del Valle. El flujo subterráneo, desde las dolomías y calizas jurásicas hacia los materiales detríticos de la masa de agua de Setenil, está influenciado actualmente por la explotación que se realiza en esta zona para cubrir el abastecimiento de Alcalá del Valle, Olvera y Torre Alháquime (aproximadamente $1,2 \text{ hm}^3/\text{año}$). No obstante, el balance hidrológico de la depresión de Ronda se supone excedentario, por lo que las entradas o recursos se estiman superiores a las explotaciones por bombeo.

Por este motivo se considera viable aumentar el aprovechamiento, de manera ordenada y controlada, del agua subterránea almacenada en los materiales miocenos. Asimismo, la ubicación de la captación debería alejarse del borde de la Sierra de Cañete para no aumentar la explotación que ésta soporta, aunque hacia el centro de la depresión de Ronda las características hidrogeológicas (permeabilidad y transmisividad) son menos favorables y presentan menor interés como acuífero al aumentar la fracción arcilloso-margosa en la secuencia litológica.

➤ SUBSISTEMA 2. UBRIQUE

El municipio de Ubrique se sitúa en el sector noreste de la provincia de Cádiz, limítrofe con la de Málaga. Actualmente el abastecimiento de esta población se satisface a partir de los recursos hídricos - subterráneos- procedentes de la Sierra de Grazalema.

La masa de agua subterránea Sierra de Grazalema-Prado del Rey constituye uno de los principales acuíferos -potenciales- de la zona. Está formada, principalmente, por una potente serie de dolomías, calizas y margocalizas (de unos 700 m de espesor), de edad Jurásico a Cretácico inferior. Estos materiales constituyen acuíferos permeables por fisuración y karstificación y están limitados en la base por niveles arcillosos del Triásico superior que actúan como sustrato impermeable del acuífero.

Los límites laterales de esta masa de agua subterránea vienen definidos por las propias arcillas triásicas, margas y margocalizas del Cretácico y por arcillas del Flysch, todos ellos materiales de baja permeabilidad. Debido a la compleja estructura geológica que presentan estas sierras, se han podido diferenciar varios sistemas hidrogeológicos en el macizo de Grazalema:

- ✓ *Sistema de Zafalgar-Labradillo*
- ✓ *Sistema de Pinar-Monte Prieto*
- ✓ *Sistema de El Bosque*
- ✓ *Sistema de la Sierra de la Silla*
- ✓ *Sistema de la Sierra del Endrinal*
- ✓ *Sistema de El Hondón*
- ✓ *Sistema de Ubrique*

De todos ellos, el *sistema de Ubrique* es el que se encuentra más cercano a la localidad de la que toma su nombre.

Los recursos hídricos de la masa de agua 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey proceden de la infiltración directa del agua de lluvia que cae sobre los afloramientos permeables, además del agua de escorrentía que se filtra por los sumideros kársticos. Las salidas se realizan principalmente por medio de las descargas naturales a través de manantiales y en menor medida, a través de los bombeos de la zona. Un volumen considerable se corresponde con los recursos hídricos bombeados en las captaciones ubicadas en los sistemas del Hondón, Sierra del Endrinal y Ubrique. A estos caudales de agua hay que añadir los recursos procedentes de los últimos sistemas, que se drenan lateralmente hacia otras masas de agua.

Las aguas subterráneas de los diferentes sistemas identificados en la masa 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey presentan facies bicarbonatada-cálcica, dada la naturaleza calcárea de los materiales acuíferos, y de baja mineralización, con conductividades eléctricas medias próximas a los 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El importante desarrollo de la karstificación que presentan en superficie los materiales aflorantes pone de manifiesto un elevado grado de vulnerabilidad frente a la contaminación, especialmente en los sumideros kársticos de las zonas endorreicas. No obstante, la mayor parte del área de recarga se sitúa en zonas de difícil acceso y con escaso desarrollo de actividades potencialmente contaminantes, por lo que el riesgo de deterioro de la calidad del agua se considera relativamente bajo. De momento no se observan problemas en la calidad química del agua y los contenidos medios en nitratos son bajos.

Sin embargo pueden existir otros problemas de calidad ligados, de modo natural, a altos contenidos en sulfatos, sobre todo, en aquellas zonas en las que se encuentra próximo el contacto entre los materiales

carbonatados y el sustrato triásico. Por tanto, y exceptuando las concentraciones elevadas de sulfatos en algunos puntos, estas aguas presentan buena calidad química y son aptas para consumo humano.

A partir de la información disponible acerca de los acuíferos identificados en las proximidades del municipio de Ubrique, se proponen dos áreas hidrogeológicamente favorables, a investigar posteriormente y, en su caso, emplazar sondeos de investigación y/o captación de aguas subterráneas.

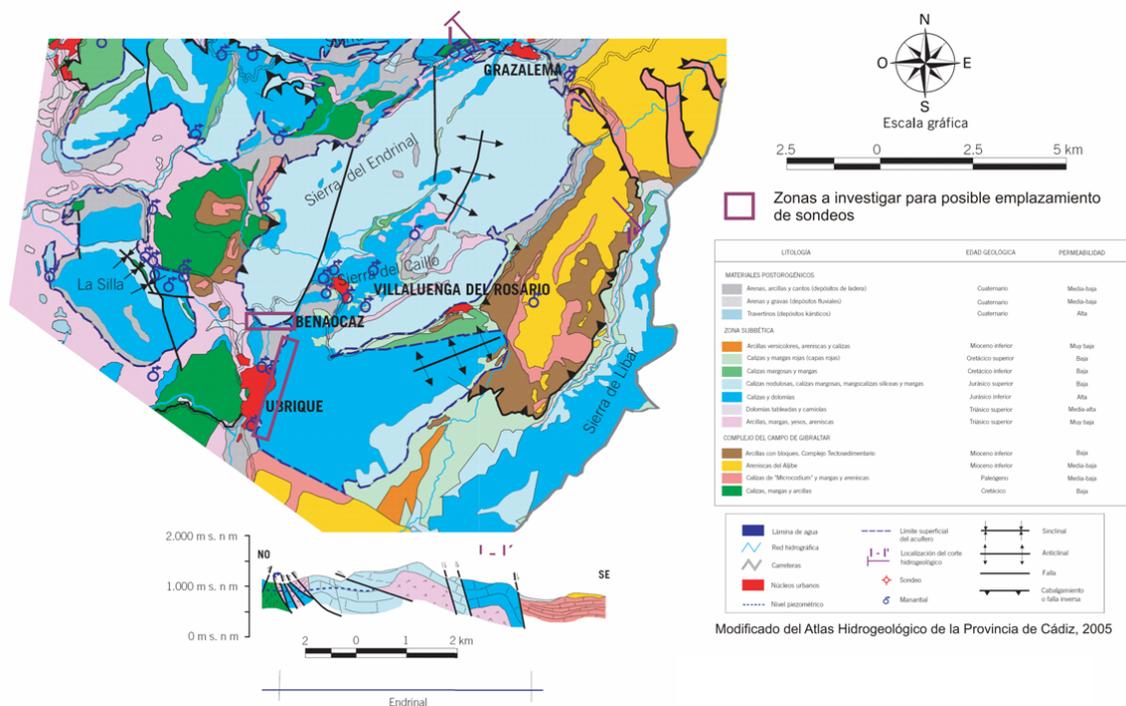


Figura 8.3.3. Localización de zonas hidrogeológicamente favorables para la captación de aguas subterráneas destinadas al abastecimiento humano en el Subsistema 2

Las dos áreas identificadas en las inmediaciones de la localidad de Ubrique son:

- La primera zona favorable identificada se localiza en el **borde occidental del sistema de Ubrique**, en concreto, sobre las calizas aflorantes en las proximidades de la población. La estructura geológica que presentan las dolomías y calizas jurásicas en este lugar corresponde con un pliegue anticlinal, de dirección N70E, que ha sido afectado por fallas normales y posteriormente cubierto por coluviales cuaternarios.

Presenta una extensión aproximada de 24 km² de superficie permeable, además de las aportaciones hídricas generadas por la escorrentía superficial del polje de Villaluenga del Rosario. La descarga se realiza por medio de numerosos manantiales existentes en las inmediaciones de Ubrique, situados a cotas topográficas comprendidas entre 350 y 400 m.s.n.m.

No obstante en este sector se han identificado varios sondeos de abastecimiento previos por lo que, de emplazarse uno nuevo, habría que estudiar detalladamente la posible afección entre captaciones así como el grado de explotación actual de los recursos subterráneos disponibles.



Imagen 8.3.2. Zona sureste del sector meridional de la Sierra del Endrinal en las inmediaciones de la localidad de Ubrique

- La segunda zona favorable identificada se localiza en las proximidades de Ubrique, al norte de la localidad, **en el extremo suroccidental del sistema del Hondón** sobre los afloramientos de calizas jurásicas.

Este sistema presenta 17 km² de afloramientos permeables muy karstificados que se disponen en estructura subtabular o de escaso buzamiento, muy uniforme, y afectado por fallas normales de dirección N30E.

La descarga se realiza principalmente a través del manantial del Hondón, situado a unos 430 m.s.n.m. y con caudales medios superiores a 100 l/s. A diferencia de los otros compartimentos hidrogeológicos este sistema presenta, a priori, un bajo grado de aprovechamiento por parte de los municipios cercanos, por lo que parece adecuado proponer esta zona como lugar preferente para una exploración más detallada y, en su caso, la captación eventual de aguas subterráneas en condiciones de sequía.



Imagen 8.3.3. Zona noroeste del sector occidental de la Sierra del Endrinal en las inmediaciones de la localidad de Ubrique

➤ **SUBSISTEMA 3. ALGODONALES - EL GASTOR - ZAHARA - PUERTO SERRANO - PRADO DEL REY - VILLAMARTÍN - EL BOSQUE - BENAMAHOMA - COTO DE BORNOS - BORNOS – ESPERA**

- *Subsistema 3.1.* Algodonales, El Gastor y Zahara de la Sierra (Bocaleones)
- *Subsistema 3.2.* El Bosque y Benamahoma (Grazalema)
- *Subsistema 3.3.* Villamartín, Puerto Serrano y Prado del Rey
- *Subsistema 3.4.* Bornos, Coto de Bornos (Bornos) y Espera

▪ **Subsistema 3.1. Algodonales, El Gastor y Zahara de la Sierra (Bocaleones)**

Los municipios de Algodonales, El Gastor y Zahara de la Sierra se localizan en el extremo nororiental de la provincia de Cádiz, próximos a la de Málaga. Estas localidades se abastecen exclusivamente de recursos subterráneos procedentes de los acuíferos de la Sierra de Grazalema, excepto el municipio de El Gastor, el cual también se abastece de un sondeo localizado fuera de los límites de la masa de agua subterránea, en la sierra de Lagarín.

Las masas de agua subterránea identificadas en el entorno de estos municipios son, por un lado, la masa 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey, a la que habría que sumar la secuencia arenoso-limosa y conglomerática de la formación Gastor (incluida en la masa 062.001. Setenil). Asimismo, como ya se ha comentado con anterioridad, en la masa 062.004 se han identificado varios sistemas potencialmente explotables que se localizan próximos a los municipios de Algodonales, Zahara de la Sierra y El Gastor,

como son *Zafalgar-Labradillo* y *Pinar-Monte Prieto*, así como el acuífero carbonatado de la Sierra de Lijar (062.003).

El sistema de la Sierra de Lijar se ubica en el extremo septentrional de la Sierra de Grazalema, al norte de la localidad de Algodonales, y presenta una superficie aproximada de 15 km². La serie carbonatada jurásica presenta una estructura plegada consistente en un anticlinal tumbado, con vergencia hacia el NO, en cuyo núcleo afloran las dolomías del Jurásico inferior. Todo el macizo se encuentra tectónicamente sobre materiales arcillosos triásicos que se consideran la base impermeable y definen los límites del sistema. Dentro de éste se pueden diferenciar dos sectores: Algodonales y Lijar, con superficies de recarga equivalentes (7,5 km²), separados entre sí por la charnela anticlinal del domo de Lijar. Los recursos hídricos de la Sierra de Lijar proceden exclusivamente de la infiltración directa de las precipitaciones y ascienden a un total de 6,2 hm³/año, mientras que la mayoría de las salidas corresponden a la descarga natural del sistema (4,5 hm³/año) a través de manantiales y, en menor medida, a las extracciones y bombeos (1,7 hm³/año). Actualmente este sistema soporta el abastecimiento de las poblaciones de Algodonales y parte de Olvera y Coripe.

El sistema de Zafalgar-Labradillo, con una superficie de 46 km², es el más septentrional de los acuíferos identificados en la masa de agua subterránea de Sierra de Grazalema-Prado del Rey. Los afloramientos permeables están constituidos por dolomías y calizas del Jurásico, con un espesor aproximado de 600 m y una estructura general en forma de anticlinal abierto.

Los materiales suprayacentes, de edad Cretácico inferior y carácter menos permeable, delimitan lateralmente el sistema por los bordes septentrional, occidental y nororiental. El límite sur y sureste, de naturaleza tectónica, está constituido por una estrecha franja de arcillas triásicas que separan este sistema del situado inmediatamente al sur (*Pinar-Monte Prieto*). La recarga se produce por infiltración directa del agua de lluvia mientras que el drenaje del sistema se realiza por su borde septentrional, a través de un grupo de manantiales entre los que destacan las surgencias de Bocaleones, situadas a cota 400 m.s.n.m y con caudales medios superiores a 300 l/s. Estas surgencias abastecen al municipio de Zahara de la Sierra, y parcialmente a El Gastor. En conjunto los recursos hídricos renovables en este sistema son del orden de 13 hm³/año y, actualmente, no está sometido a una explotación excesiva.

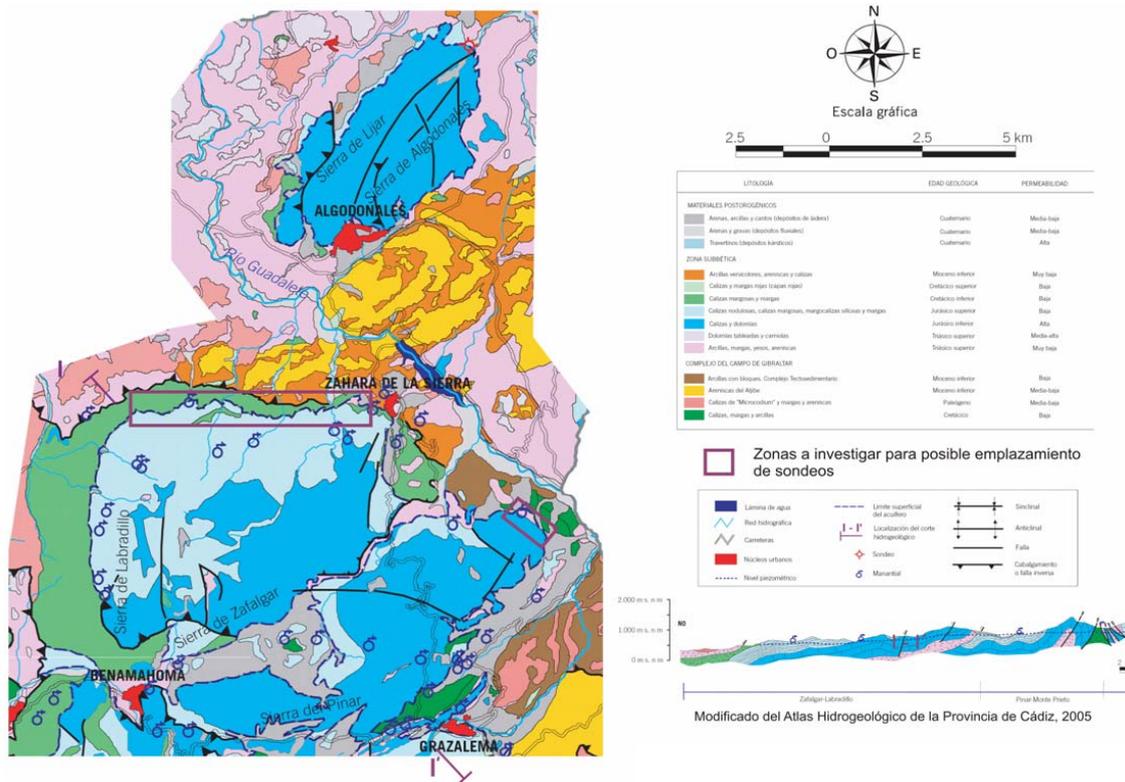
El sistema de la Sierra de Pinar-Monte Prieto presenta una superficie aproximada de 37 km² y se localiza inmediatamente al sur del anterior, en el núcleo de la Sierra de Grazalema. La serie estratigráfica de los materiales permeables está constituida por 900 metros de materiales carbonatados pertenecientes al jurásico, estructurados en un gran antiforame y afectados por fallas inversas de dirección N50E entre las que destacan las situadas en el Corredor del Boyar.

La base impermeable del sistema la conforman las arcillas triásicas, en tanto que los límites superficiales quedan definidos por las fallas inversas anteriormente mencionadas que ponen en contacto los materiales carbonatados con arcillas y margas de baja permeabilidad. Los recursos hídricos de la Sierra de Pinar-Monte Prieto proceden exclusivamente de la infiltración de las precipitaciones y ascienden a un total de 19 hm³/año. La descarga se produce de forma natural a través de manantiales, entre los que destacan la surgencia de Arroyomolinos (cota 430 m.s.n.m. y caudal medio de 150 l/s) y el manantial de Los Cachones (cota 530 m.s.n.m. y caudal medio de 200 l/s). Por su parte, las extracciones mediante bombeos son escasas.

Como ya se ha comentado, la calidad química del agua en estos compartimentos o sistemas es apropiada para el consumo humano, dada la baja mineralización y las bajas concentraciones de

sustancias contaminantes. No obstante, el importante desarrollo de la karstificación que presentan los materiales aflorantes pone de manifiesto un elevado grado de vulnerabilidad frente a la contaminación.

A partir de la información disponible acerca de los acuíferos identificados en las proximidades de los municipios de Algodonales, El Gastor y Zahara de la Sierra, se proponen dos áreas hidrogeológicamente favorables para la captación de aguas subterráneas, a investigar posteriormente y, en su caso, emplazar sondeos de investigación y/o captación.



Las dos áreas identificadas, ambas en las inmediaciones de Zahara de la Sierra, son las siguientes:

- El **borde septentrional del sistema Zafalgar-Labradillo** presenta unas características hidrogeológicas favorables para una exploración más detallada, de cara a la futura construcción de sondeos de captación de aguas subterráneas destinadas al abastecimiento.

Los materiales carbonatados identificados en esta zona presentan un suave buzamiento hacia el norte, sin presencia de fallas importantes. La cota de surgencia de los principales mananciales se encuentra a unos 400 m.s.n.m., coincidente con la cota del contacto concordante entre los materiales acuíferos y las margas cretácicas a lo largo de todo el borde norte del sistema. La explotación mediante bombes de los recursos hídricos es escasa, por lo que los mananciales funcionan en régimen natural. Este hecho deberá tenerse en cuenta a la hora de definir el emplazamiento definitivo de los sondeos, con objeto de minimizar posibles afecciones a los mananciales.

- La segunda zona favorable se localiza en el **borde nororiental del sistema de la Sierra de Pinar-Monte Prieto**. En concreto, se trata de un área en la que se produce el cierre periclinal de los materiales carbonatados bajo las margas y margocalizas cretácicas. Este contacto estratigráfico está afectado por algunas fallas normales y, a su vez, recubierto por sedimentos cuaternarios de pie de monte. La cota topográfica del contacto se sitúa en torno a 500 y 600 m.s.n.m.

Además, como ya se ha comentado con anterioridad, este sistema presenta un bajo grado de explotación si bien, se encuentra más distante de los núcleos urbanos a abastecer.



Imagen 8.3.4. Zona noroeste del sector oriental de la Sierra de Pinar- Monte Prieto. En primer plano los materiales margosos y al fondo, los materiales carbonatados acuíferos

▪ Subsistema 3.2. El Bosque y Benamahoma (Grazalema)

El municipio de El Bosque y la pedanía de Benamahoma (en el término municipal de Grazalema) se sitúan en la parte oriental de la provincia de Cádiz. El abastecimiento actual de estas poblaciones se realiza mediante diversas captaciones de aguas subterráneas que se nutren del acuífero carbonatado de la Sierra de Grazalema.

Ambos núcleos de población se encuentran comprendidos dentro de la masa de agua subterránea 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey. Como se ha comentado con anterioridad, en ella se reconocen varios sistemas hidrogeológicos potencialmente explotables próximos al municipio de El Bosque y al núcleo urbano de Benamahoma, como son: *Sierras de Zafalgar-Labradillo*, *Pinar-Monte Prieto* y el acuífero de *El Bosque*. Las características y el funcionamiento hidrogeológico general de los dos primeros sistemas se describen en el apartado anterior, correspondiente al subsistema de abastecimiento 3.1. Algodonales, El Gastor y Zahara de la Sierra (Bocaleones).

En cuanto al sistema de El Bosque, está situado en el borde occidental de la Sierra de Grazalema, al Este de la localidad que le da nombre, y cuenta con una superficie aproximada de 16 km². Desde un punto de vista geológico, los materiales permeables que se observan en este sistema están formados por dolomías y calizas de Jurásico inferior-medio y presentan una complejidad tectónica muy acusada. El sustrato impermeable lo constituye, por un lado, un potente paquete de margas y margocalizas del Cretácico inferior que está cabalgado, en el borde noroeste, por los materiales carbonatados. Hacia el Este, la superficie cabalgante se sitúa directamente encima de las arcillas del Trías, o incluso, en el borde oriental, encima de los materiales margosos del Jurásico medio y del Flysch del Corredor del Boyar. En el borde sur y suroccidental, el límite está determinado por los afloramientos de arcillas triásicas.

La recarga se produce por infiltración directa del agua de lluvia y por transferencias laterales desde el sistema de la Sierra de Pinar-Monte Prieto. Las salidas se realizan por el extremo occidental y por el borde oriental del sistema, a través de manantiales y descargas a los ríos. Destacan, en el borde occidental, las surgencias de El Quejigo y Vihuelo, con caudales medios de 25 l/s, y situadas a cotas de 280 y 330 m.s.n.m. respectivamente. En el borde oriental se encuentran los manantiales de Benamahoma, situado a 450 m.s.n.m. y caudal medio superior a 350 l/s, y la surgencia de El Gorito, con un caudal medio de 50 l/s y situado a cota 570 m.s.n.m. Estos caudales tan elevados solamente se explican si se admite la transferencia de recursos hídricos desde el vecino sistema de Pinar-Monte Prieto. En conjunto, los recursos medios ascienden a 16 hm³/año de los cuales, sólo una pequeña parte (aproximadamente unos 0,2 hm³/año) son bombeados para el abastecimiento de El Bosque.

La calidad química del agua de este sistema y del resto de sistemas identificados en la masa de agua 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey, es apta para el consumo humano, dada la baja mineralización y las bajas concentraciones de sustancias contaminantes. No obstante, existe un elevado grado de vulnerabilidad frente a la contaminación como consecuencia del importante desarrollo de la karstificación que presentan en superficie los materiales acuíferos que constituyen estos sistemas.

A partir de la información disponible acerca de los acuíferos identificados en las proximidades del municipio de El Bosque, se proponen dos áreas hidrogeológicamente favorables para la captación de aguas subterráneas, a investigar posteriormente y, en su caso, emplazar sondeos de investigación y/o captación.



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



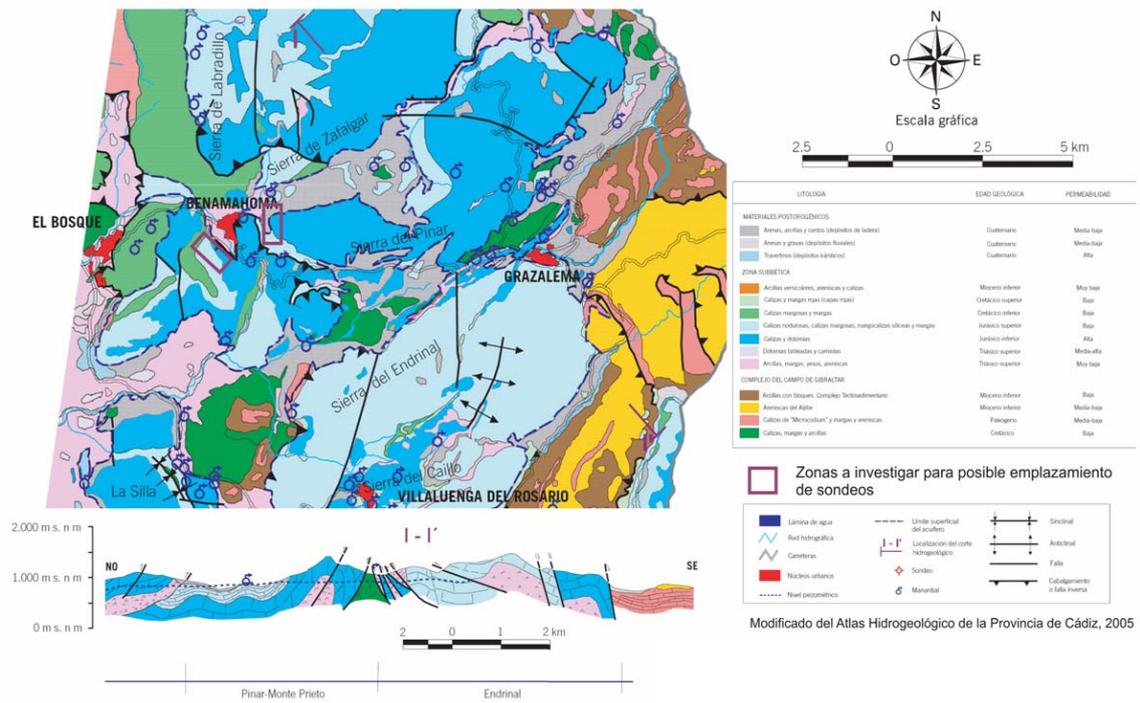


Figura 8.3.5. Localización de zonas hidrogeológicamente favorables para la captación de aguas subterráneas destinadas al abastecimiento humano en el Subsistema 3.2

Las dos áreas identificadas, ambas en las inmediaciones de Benamahoma, son las siguientes:

- La primera zona se localiza al **suroeste del pueblo de Benamahoma**, sobre los afloramientos de dolomías. En esta zona se observa el contacto estratigráfico entre las dolomías y calizas-margocalizas, ambos materiales de edad jurásica. El buzamiento es moderado, entre 40 y 50° hacia el suroeste, y la cota topográfica de este punto oscila en torno a los 500 m.s.n.m. En conjunto, estos afloramientos corresponden al flanco noreste del pliegue sinclinal de la Sierra de Albaracín.

Además, como se ha comentado con anterioridad, este sistema presenta un bajo grado de explotación, por lo que parece adecuado proponer esta zona como potencialmente favorable para una exploración más detallada.



Imagen 8.3.5. Zona oriental de la Sierra de El Bosque-Albarracín, en las proximidades de Benamahoma.
En primer término se observa el contacto entre los materiales margosos y carbonatados acuíferos

- En segundo lugar se propone **un área situada escasos kilómetros al Este de Benamahoma**, dentro del sistema de la Sierra del Pinar-Monte Prieto. En esta zona afloran las dolomías brechoides del Jurásico inferior que forman parte del extremo occidental del antiformal de la Sierra del Pinar. Los materiales carbonatados están recubiertos por depósitos de pie de monte y próximos a los contactos mecánicos que separan este sistema de los de El Bosque, al suroeste, y Zafalgar-Labradillo, inmediatamente al norte. La cota topográfica de la zona se sitúa en torno a 700 y 800 m.s.n.m.

Las captaciones son escasas y el acuífero funciona en régimen natural, localizándose aquí alguna de las principales surgencias de la zona como, por ejemplo, el manantial de Los Cachones. Esta surgencia se encuentra a unos 527 m.s.n.m. y presenta un caudal medio de 200 l/s. Las características hidrogeológicas del entorno resultan favorables para llevar a cabo una exploración detallada si bien, debido al desnivel topográfico, los posibles emplazamientos podrían resultar de difícil acceso.



Imagen 8.3.6. Zona occidental de la Sierra de Pinar- Monte Prieto, en las proximidades de Benamahoma.
Al fondo se observan los materiales carbonatados acuíferos

▪ **Subsistema 3.3. Villamartín, Puerto Serrano y Prado del Rey**

Las localidades de Villamartín, Puerto Serrano y Prado del Rey están situadas en la zona norte de la provincia de Cádiz. Cada una de estas poblaciones dispone de una fuente de abastecimiento diferente: el núcleo urbano de Villamartín se abastece de los recursos hídricos subterráneos procedentes de los acuíferos, de naturaleza eminentemente detrítica, diferenciados en la masa de agua 062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín. Por otra parte, Puerto Serrano se abastece del acuífero carbonatado del Cerro Picacho, situado al Este de dicha localidad y, por último, las necesidades hídricas de Prado del Rey se satisfacen a partir de los recursos subterráneos procedentes de la masa de agua 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey.

Las características hidrogeológicas y el funcionamiento hídrico de los diferentes sistemas acuíferos identificados en la masa de agua 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey se han comentado en apartados anteriores.

Por lo que respecta a la masa de agua 062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín, ocupa buena parte de las campiñas serranas de la provincia de Cádiz, de Jerez-Arcos y de las vegas y valles fluviales del Guadalete. Desde el punto de vista hidrogeológico, los materiales que presentan cierto interés acuífero se pueden agrupar en dos clases, atendiendo a la naturaleza y edad de los mismos: afloramientos carbonatados mesozoicos y materiales detríticos postorogénicos.

Los principales afloramientos de materiales carbonatados aparecen en dos posiciones geográficas diferenciadas: al sureste y al noreste. En ambos casos la permeabilidad es alta, por fisuración y karstificación, y presentan un carácter libre.

Los *afloramientos carbonatados del sureste* forman una estrecha banda de calizas y dolomías sobre los que se disponen materiales cretácicos de baja permeabilidad que limitan al acuífero. El conjunto carbonatado está en contacto directo con los materiales detríticos postorogénicos en su extremo occidental, lo que permite la conexión hidráulica; su superficie permeable es de unos 7 km². Los *afloramientos carbonatados del noreste* tienen una extensión de 15 km² y están aislados entre sí, con respecto al resto del acuífero detrítico. Se disponen a modo de isleos tectónicos sobre las arcillas triásicas, donde destacan el Cerro Picacho y la Sierra de La Nava. En todos los casos el sustrato impermeable está constituido por materiales arcillosos del Trías. Los valores de transmisividad están comprendidos entre 100 y 700 m²/día.

Los *materiales detríticos postorogénicos* son permeables por porosidad intergranular y, en conjunto, presentan un carácter libre, excepto las calizas arenosas miocenas que se encuentran confinadas bajo afloramientos margosos del Mioceno superior. La superficie total permeable es de unos 102 km². Los valores de transmisividad obtenidos en estos materiales están comprendidos entre 90 y 900 m²/día.

La alimentación de esta masa de agua subterránea se produce principalmente por infiltración directa del agua de lluvia, aunque en menor medida, y sólo en el caso de los materiales cuaternarios, existe un aporte adicional por infiltración del agua procedente de la escorrentía superficial de los arroyos que discurren de Este a Oeste.

El conjunto de afloramientos carbonatados jurásicos del sureste se recargan a partir del agua de lluvia y su drenaje natural se dirige hacia los materiales cuaternarios, ya que no se ha identificado ningún manantial en esta zona. Las salidas de agua en ambas formaciones acuíferas se producen por bombeo, a través de manantiales efímeros y por drenaje subterráneo hacia el río Guadalete. El flujo subterráneo se realiza de noreste a suroeste.

Las aguas subterráneas del acuífero presentan una dureza elevada y una mineralización moderada, con valores de conductividad eléctrica del orden de 900 µS/cm. En general, las aguas procedentes de los materiales carbonatados son aptas para abastecimiento, mientras que las de materiales detríticos pueden contener elevadas concentraciones en sulfatos y además, se han detectado valores de nitratos que exceden el límite máximo establecido en la legislación vigente (RD 140/2003), especialmente en las inmediaciones de Puerto Serrano. Las aguas presentan facies hidroquímicas diversas; así, en el entorno de Puerto Serrano predominan las facies bicarbonatadas-sulfatadas cálcicas-magnésicas, mientras que en el sector de Villamartín son de tipo cloruradas-sulfatadas cálcico-sódicas. En los materiales carbonatados encontramos facies claramente bicarbonatadas-cálcicas o cálcico-magnésicas.

El principal problema de contaminación detectado es por exceso de nitratos (procedentes del uso de fertilizantes) y de plaguicidas en el agua. Esto ha hecho que se abandonen, progresivamente, algunas captaciones utilizadas para abastecimiento y que, en la actualidad, los núcleos urbanos de Villamartín y Puerto Serrano se abastezcan principalmente de los sectores carbonatados del sureste y noreste. La explotación del agua de los materiales detríticos queda relegada para uso agrícola, industrial u otros usos.

A partir de la información disponible acerca de los acuíferos identificados en las proximidades de los municipios de Villamartín, Puerto Serrano y Prado del Rey, se proponen dos áreas hidrogeológicamente



Imagen 8.3.7. Vista de los afloramientos carbonatados jurásicos próximos a Prado del Rey

Esta franja de dolomías y calizas del Jurásico inferior, con 200 m de espesor, representa el único flanco aflorante de un pliegue sinclinal. En general, los estratos de estos materiales están inclinados hacia el sureste por lo que el emplazamiento de los sondeos debería realizarse en la margen oriental de esta banda, con objeto de conseguir la mayor productividad posible.

Actualmente en esta zona existen varios sondeos de captación de aguas subterráneas para el abastecimiento del municipio de Villamartín. Por este motivo, previamente a la construcción de un nuevo deberá evaluarse la disponibilidad 'real' de recursos hídricos del acuífero, respetando los aprovechamientos actuales. Asimismo, la nueva captación deberá emplazarse a cierta distancia con los sondeos preexistentes, con objeto de minimizar las posibles interferencias entre captaciones.

- La segunda zona favorable se localiza sobre los **materiales detríticos pliocenos existentes entre las localidades de Villamartín y Puerto Serrano**. En este área existe un pliegue sinclinal de dirección N40E que deja en su núcleo niveles de arenas y calcarenitas del Plioceno con cierto interés hidrogeológico. La potencia total aproximada de estas formaciones es de unos 80 m. A muro de estos materiales yacen niveles de margas grises del Mioceno superior, que constituyen el sustrato impermeable.



Imagen 8.3.8. Vista de los afloramientos detríticos pliocenos existentes entre Villamartín y Puerto Serrano

▪ **Subsistema 3.4. Bornos, Coto de Bornos (Bornos) y Espera**

Los municipios de Bornos, junto con su pedanía Coto de Bornos, y Espera, se localizan en el extremo norte de la provincia de Cádiz, próximos a la de Sevilla. Estas localidades se abastecen actualmente de los recursos hídricos procedentes de la masa de agua subterránea 062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín.

Esta masa de agua se sitúa en la cuenca media-alta del río Guadalete y ocupa casi la totalidad del término municipal de Bornos, una parte significativa del término de Arcos de la Frontera y Villamartín. La superficie total aproximada de la masa de agua es de unos 330 km².

Los materiales que conforman el acuífero pueden dividirse en dos grupos, en función de sus características litológicas y comportamiento hidrogeológico:

- Los materiales carbonatados de edad mesozoica afloran al sur de la masa de agua y constituyen los relieves de Sierra Valleja y Sierra de Aznar. El primero forma una banda de unos 6 km de largo por 500 m de ancho, con 3 km² de superficie permeable, mientras que la segunda tiene 2,5 km² de área. Se trata de acuíferos libres con alta permeabilidad por fisuración y karstificación. Sobre ellos, se disponen las formaciones cretácicas de baja permeabilidad. Este conjunto está en contacto directo con el embalse del Guadalcazín y con las formaciones detríticas identificadas en la masa de agua.
- Los materiales detríticos postorogénicos engloban toda la serie terciaria y cuaternaria, incluidos los aluviales actuales. Se trata de materiales detríticos permeables por porosidad intergranular y que, en conjunto, presentan un carácter libre excepto los materiales miocenos basales confinados bajo afloramientos margosos. Su superficie permeable es de 65 km² y su espesor

- La primera zona favorable se localiza **entre las poblaciones de Bornos y Coto de Bornos**, al Oeste del embalse existente en la localidad.



Imagen 8.3.9. Vista de los afloramientos detríticos miocenos (al fondo) y de las margas de la misma edad (en primer plano), identificados en las inmediaciones de Bornos

En este lugar afloran margas grises del Mioceno superior que buzan suavemente hacia el este-sureste. Inmediatamente, bajo estos sedimentos de carácter poco permeable, subyace una formación arenosa calcarenítica de la misma edad, y con una potencia aproximada de 100 m.

Estos materiales constituyen el acuífero inferior de la masa de agua 062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín el cual satisface, en parte, las necesidades hídricas del municipio de Arcos de la Frontera. La estructura general de estos sedimentos, en el entorno, es la del flanco oriental de un anticlinal.

- La segunda zona favorable a investigar se localiza al Oeste del punto anterior, concretamente **al sur del pueblo de Espera, muy cerca del cauce conocido como arroyo Salado**. En este sector afloran margas arenosas del Mioceno superior que se disponen, de manera concordante, sobre las formaciones arenosas calcareníticas contemporáneas.

Al igual que en el caso anterior, estos materiales constituyen el acuífero más relevante de la zona, y al estar parcialmente confinado, existe menor probabilidad de contaminación agrícola. Desde el punto de vista estructural estos sedimentos están ligeramente plegados y la zona propuesta, para estudiar más en detalle, se localiza en el núcleo de un pliegue sinclinal.



Imagen 8.3.10. Vista de los afloramientos detríticos miocenos (al fondo) y de las margas de la misma edad (en primer plano), situados al sur de Espera

➤ SUBSISTEMA 4. ARCOS DE LA FRONTERA

El municipio de Arcos de la Frontera se localiza en el sector centro-septentrional de la provincia de Cádiz, en la *comarca conocida como Sierra de Cádiz*. El abastecimiento actual de esta población se satisface mediante la captación de parte de los recursos subterráneos de la masa 062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín.

Con anterioridad se han comentado las características hidrogeológicas, funcionamiento hídrico y calidad química del agua de este acuífero por lo que, en este apartado, únicamente se describen las dos zonas favorables identificadas, que podrían ser objeto de un estudio más detallado para la futura construcción de sondeos de investigación y/o captación de aguas subterráneas.

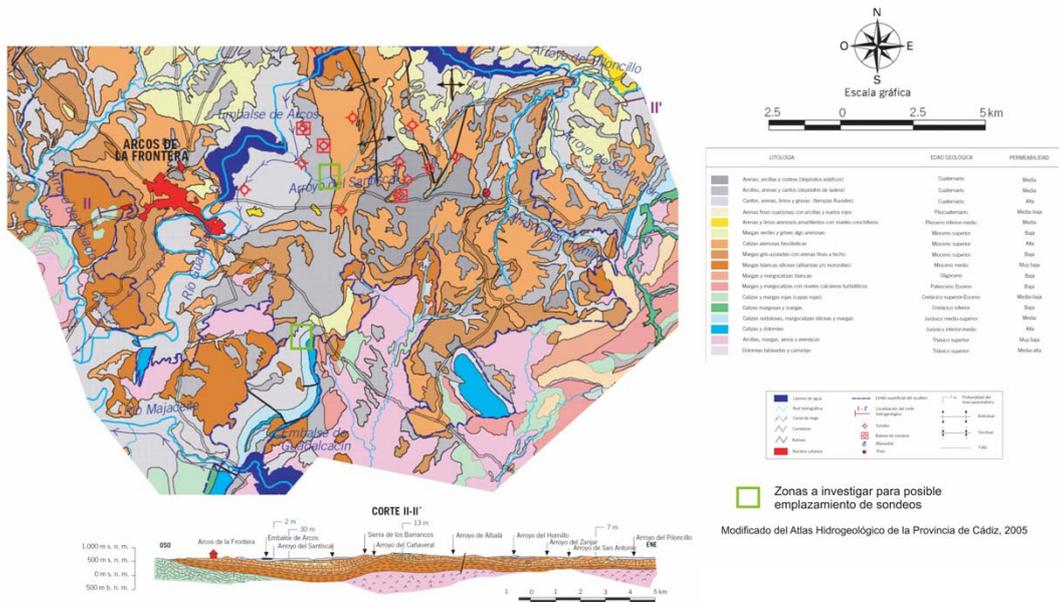


Figura 8.3.8. Localización de zonas hidrogeológicamente favorables para la captación de aguas subterráneas destinadas al abastecimiento humano en el Subsistema 4

- La primera zona se localiza al sureste del municipio de Arcos de la Frontera, en las estribaciones de Sierra Valleja. En este punto los afloramientos carbonatados del Jurásico inferior, con una potencia aproximada de 200 m, constituyen el único flanco aflorante de un pliegue sinclinal. En el extremo sur de estos materiales se encuentra la presa de Guadalcaín, en contacto directo con los afloramientos carbonatados.



Imagen 8.3.11. Vista de los afloramientos carbonatados jurásicos (al fondo) y de las margas y margocalizas cretácicas (en primer plano) identificadas en Sierra Valleja.

- La segunda zona favorable se localiza sobre los **materiales detríticos del acuífero de Arcos de la Frontera-Villamartín**. En concreto, el área a explorar se localiza al Este de Arcos de la Frontera, próxima a la urbanización El Santiscal y a escasos kilómetros, al norte, de la carretera A-372.

Desde un punto de vista geológico en esta zona afloran sedimentos cuaternarios tipo glacia, depositados de modo discordante sobre calcarenitas bioclásticas. Estos últimos materiales son los que aparecen en el Tajo de Arcos de la Frontera y constituyen la formación acuífera más importante de la región. La estructura es sencilla y consiste, básicamente, en el flanco oriental de un pliegue sinclinal muy suave.

La elección de este emplazamiento presenta ciertos inconvenientes, entre los que destaca la alta densidad de sondeos y el elevado índice de explotación al que está sometido el acuífero en cuestión.



Imagen 8.3.12. Vista de los afloramientos detríticos miocenos (en primer término) y de los depósitos cuaternarios (en segundo plano), situados en las cercanías de Arcos de la Frontera

En el anexo 7, anejo a la memoria, se incluyen las fichas descriptivas de las zonas hidrogeológicamente favorables identificadas en las diferentes zonas (subsistemas) objeto de estudio.

9. PROPUESTA DE TRABAJOS PARA LA MEJORA DEL CONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 062.004. SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY

9.1. INTRODUCCIÓN

La correcta implementación de la Directiva 2000/60/CE (Directiva Marco del Agua) en lo que respecta a las aguas subterráneas, requiere disponer de un conocimiento adecuado sobre el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos que constituyen las diferentes masas de agua subterránea identificadas en la Demarcación, que permita gestionarlas eficazmente y dar cumplimiento a los requisitos recogidos en la DMA de un modo eficiente. Esta exigencia queda reflejada en el artículo 5 de la Directiva, en el que se solicita a los Estados miembros la realización de un análisis de las características de la demarcación hidrográfica, en el cual debe incluirse una caracterización inicial de las masas de agua subterránea definidas. Esta caracterización inicial, que tendrá que ser revisada y actualizada en el año 2013 y cada 6 años a partir de entonces, debe contener, entre otras, una descripción de las principales características del acuífero o acuíferos que constituyen la masa de agua. Por otro lado, en aquellas masas de agua subterránea en las que sea necesario realizar una caracterización adicional, deben existir datos suficientes para calcular la tasa media anual de recarga a largo plazo.

Por otra parte, en el apartado 2.1.2 del anexo V de la DMA se define el buen estado cuantitativo de una masa de agua subterránea como el estado que ésta presenta cuando la tasa media anual de extracción a largo plazo no supera los recursos disponibles de agua subterránea. Resulta evidente, pues, que para evaluar el estado cuantitativo de las masas de agua subterránea es necesario disponer de un valor 'fiable' de recursos disponibles en cada una de ellas.

9.2. OBJETO Y ALCANCE DE LA PROPUESTA

Los trabajos de identificación y caracterización de las masas de agua subterránea llevados a cabo en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, han puesto de manifiesto el alto grado de incertidumbre existente en relación con el funcionamiento hidrogeológico y posible conexión hidráulica entre los distintos sistemas acuíferos que constituyen la masa de agua subterránea 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey, así como el volumen 'real' de recursos hídricos disponibles.

La evaluación de los recursos hídricos más significativa de los acuíferos que integran la masa de agua subterránea fue realizada por la Dirección General de Obras Hidráulicas en el año 1988. La recarga natural del sistema carbonatado se produce por infiltración directa del agua de lluvia, en gran parte a través de las abundantes formas kársticas localizadas a lo largo de la superficie del acuífero. Precisamente, en el conjunto de relieves de las sierras del Endrinal-Hondón-Ubrique, donde existe el mayor desarrollo de formas kársticas, se han registrado salidas por debajo de las esperadas (DGOH, 1998; Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz, 2005), aspecto que podría involucrar una transferencia de recursos importante hacia el acuífero de la Sierra de Líbar, localizado en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Concretamente, se citan volúmenes de unos 17 hm³/año. Sin embargo, basándonos en datos actualizados sobre el balance hidrogeológico del acuífero de la Sierra de Líbar (Jiménez et al, 2004; Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga, 2007), no se aprecia la existencia de dichas transferencias laterales desde el acuífero de la Sierra de Grazalema.

Asimismo, los caudales drenados por estos sistemas constituyen gran parte de las aportaciones del río Guadalete, regulado aguas abajo por una serie de embalses de superficie, de los que depende el suministro de agua para uso urbano, agrícola e industrial de buena parte de los municipios localizados en la provincia de Cádiz. Por lo tanto, es fundamental precisar el volumen de recursos hídricos disponibles, así como cuantificar las posibles transferencias, si las hay, hacia otros acuíferos limítrofes.

9.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

La masa de agua subterránea codificada como 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey, constituye uno de los principales acuíferos de la zona. Está constituida, principalmente, por una potente serie de dolomías, calizas y margocalizas (de unos 700 m de espesor), de edad Jurásico a Cretácico inferior. Estos materiales constituyen acuíferos permeables por fisuración y karstificación y están limitados en la base por niveles arcillosos del Triásico superior que actúan como sustrato impermeable del acuífero.

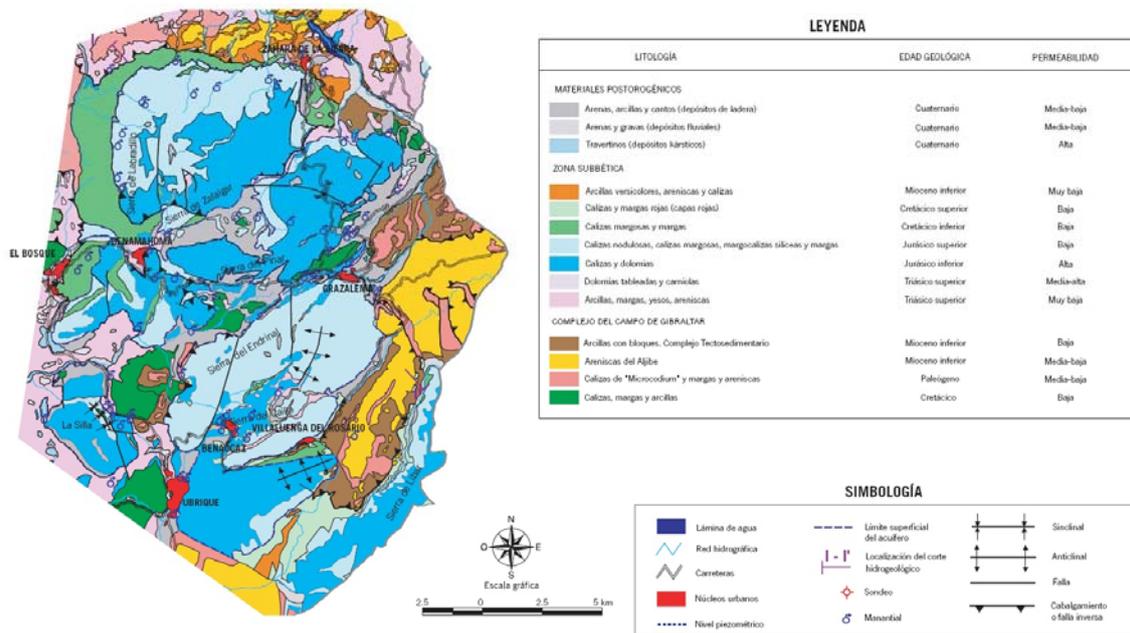


Figura 9.3.1. Mapa geológico del área de estudio (modificado del Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz)

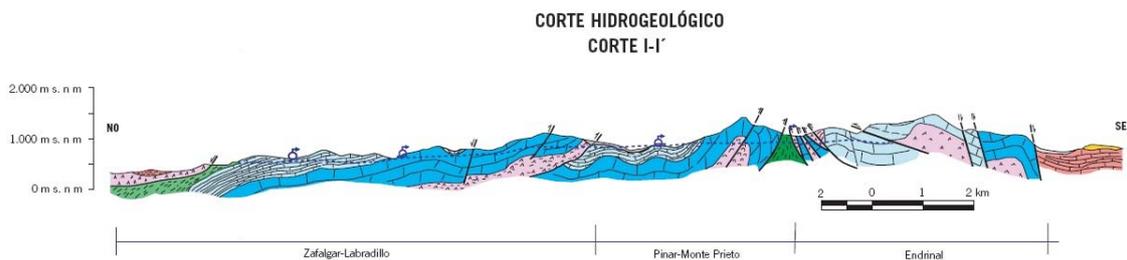


Figura 9.3.2. Corte geológico del área de estudio (Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz)

Los límites laterales de esta masa de agua subterránea vienen definidos por las arcillas triásicas, margas y margocalizas del Cretácico y arcillas del Flysch, todos ellos materiales de baja permeabilidad. Tras el estudio de la compleja estructura geológica que presentan estas sierras (figura 9.3.2) se han podido diferenciar, de forma preliminar, varios sistemas hidrogeológicos en el macizo de Grazalema:

- ✓ 1. Sistema de Zafalgar-Labradillo
- ✓ 2. Sistema de El Bosque
- ✓ 3. Sistema de Pinar-Monte Prieto
- ✓ 4. Sistema de la Sierra de la Silla
- ✓ 5. Sistema de El Hondón
- ✓ 6. Sistema de la Sierra del Endrinal
- ✓ 7. Sistema de Ubrique

Los recursos hídricos de esta masa de agua subterránea proceden de la infiltración directa del agua de lluvia que cae sobre los afloramientos permeables, además del agua de escorrentía que se infiltra por los sumideros kársticos. Las salidas se realizan principalmente por medio de descargas naturales a través de manantiales y, en menor medida, a través de los bombeos existentes en la zona.

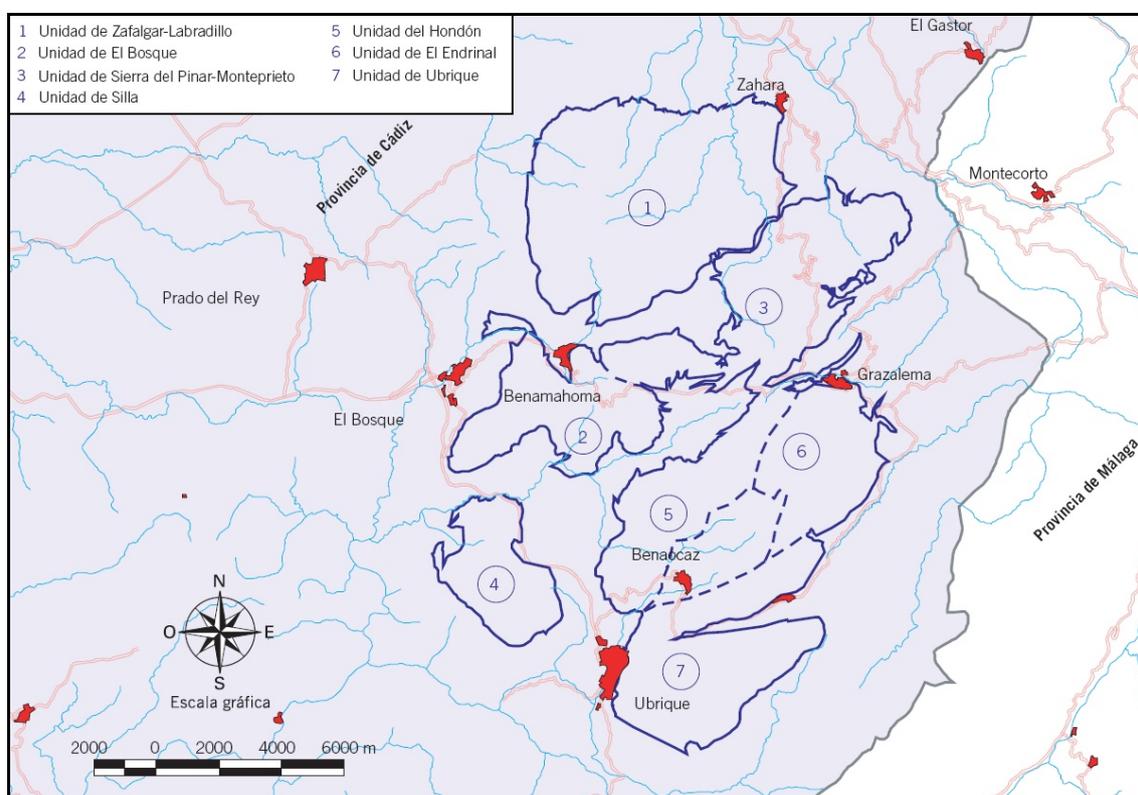


Figura 9.3.3. Sistemas o compartimentos hidrogeológicos diferenciados en la masa de agua 062.004 (modificado del Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz)

Algunos de los puntos de descarga más relevantes identificados en esta masa son: el manantial del Hondón, que drena el sistema homónimo con un caudal superior a 100 l/s, las surgencias del río Bocaleones, que drenan el sistema de Zafalgar-Labradillo con caudales del orden de 300 l/s, los manantiales de Arroyomolinos y los Cachones, en el sistema de la Sierra de Pinar-Monte Prieto, con 150 y 200 l/s respectivamente, el manantial de Benamahoma, que drena el sistema de El Bosque con un caudal de 350 l/s, y el manantial de Benafeliz, de unos 200 l/s, situado en el sistema de Ubrique.

Asimismo, las aguas subterráneas de los diferentes sistemas hidrogeológicos identificados en la masa de agua presentan, en general, facies bicarbonatada-cálcica dada la naturaleza calcárea de los materiales acuíferos, y de baja mineralización, con conductividades eléctricas medias próximas a los 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El importante desarrollo de la karstificación que presentan en superficie los materiales aflorantes pone de manifiesto un elevado grado de vulnerabilidad frente a la contaminación, especialmente en los sumideros kársticos de las zonas endorreicas. No obstante, la mayor parte del área de recarga se sitúa en zonas de difícil acceso y con escaso desarrollo de actividades potencialmente contaminantes, por lo que el riesgo de deterioro de la calidad natural del agua se considera relativamente bajo.

9.4. TRABAJOS PROPUESTOS

9.4.1. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se realizará un estudio bibliográfico de todos aquellos documentos que puedan incluir información de interés para el análisis, diseño y ejecución de los trabajos, prestando especial atención a los informes y artículos científicos de temática geológica e hidrogeológica.

Paralelamente y con el propósito de acometer esta tarea con las máximas garantías, se establecerán los contactos pertinentes con aquellos organismos (públicos o particulares) que pudieran facilitar información al respecto.

9.4.2. REVISIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA EXISTENTE, ELABORACIÓN DE UNA CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA DE DETALLE Y DELIMITACIÓN DE LOS COMPARTIMENTOS HIDROGEOLÓGICOS

La revisión de la cartografía geológica existente es parte fundamental de cualquier estudio hidrogeológico en zonas con cierta complejidad estructural. Ello permite delimitar con mayor precisión los límites hidrogeológicos que compartimentan el acuífero, lo que redundará en un mejor ajuste de la cuantía de los recursos hídricos disponibles y las reservas estimadas en cada sector. Para llevar a cabo dicho objetivo, se efectuará una campaña de campo en la que se constatará la bondad de la cartografía geológica existente, en este caso, el Mapa Geológico Nacional a escala 1:50000 (MAGNA) y, en caso de considerarse necesario, se modificarán aquellas estructuras con relevancia hidrogeológica cuya representación en cartografía sea mejorable.

Se consideran especialmente interesantes los bordes del acuífero y su posible continuidad en profundidad bajo materiales poco permeables. Es importante conocer con la mayor exactitud posible la geometría del acuífero en dichos puntos, puesto que ello determinaría las posibles transferencias laterales de recursos hacia otras unidades hidrogeológicas. Asimismo, existen estructuras geológicas identificadas en el ámbito de la masa de agua que podrían compartimentar la unidad en varios sistemas hidrogeológicos independientes, lo cual se considera relevante de cara a la gestión de sus recursos.

9.4.3. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Se dispone de varias bases de datos con información relativa a los puntos de agua identificados en el ámbito de la masa aunque, tras un análisis preliminar de la misma, se han identificado discordancias entre la información contenida en cada banco de datos. Por lo tanto, se recomienda revisar y actualizar las bases de datos disponibles, realizar una campaña de campo para localizar y verificar la operatividad de estos puntos, así como evaluar la representatividad de los mismos respecto al conjunto del acuífero.

La realización de este apartado requiere una labor intensiva de campo, en la cual se determinará la naturaleza y posición del punto, así como otros datos de interés, como pueden ser su utilización, estado, caudal, nivel piezométrico, etc.

9.4.4. MUESTREOS

Una vez completados los apartados anteriores, se procederá a seleccionar los puntos de muestreo más relevantes para la realización del estudio. Básicamente se controlarán, a priori, manantiales y sondeos aunque igualmente, es indispensable el muestreo de agua de lluvia, ya que es el origen de los recursos hídricos objeto de estudio. Este apartado supone, además, el grueso de la investigación, ya que es necesario disponer de un volumen de datos suficientemente amplio (y fiable) para obtener resultados concluyentes.

- **Muestreo del agua de lluvia**

Un muestreo de agua de lluvia representativo requiere la presencia de estaciones de medida con una densidad suficiente -al menos cinco- repartidas estratégicamente a lo largo del área de estudio, de manera que complementen los datos de precipitación actualmente disponibles. Dichas estaciones estarán dotadas de un sistema de recogida de agua de precipitación que permita al técnico de campo la toma muestral y la medida *in situ* de los parámetros hidroquímicos estándar. Cada muestra constará de un recipiente para el análisis de los componentes químicos mayoritarios y otro para el análisis de la composición isotópica. Cabe destacar la importancia del análisis del ión cloruro del agua de lluvia, ya que la relación entre las concentraciones del mismo en el agua meteórica y en los manantiales permite obtener tasas de infiltración efectivas, dato de gran valor a la hora de evaluar los recursos de los que dispone el acuífero.

Asimismo, es de especial interés que cada estación esté dotada de un sistema de medida de la cantidad de lluvia, ya sea mediante pluviómetros o pluviógrafos, con objeto de precisar la precipitación en el área de estudio. La periodicidad de muestreo dependerá de las precipitaciones, aunque no se estima necesario superar la frecuencia semanal durante los periodos de lluvia.

- **Muestreo de manantiales**

Los manantiales constituyen los puntos de agua más representativos del acuífero, y como tales, su muestreo debe ser prioritario. Para llevar a cabo esta tarea se seleccionarán aquellas surgencias que se consideren más relevantes. Como norma general se priorizan aquellas que presentan un caudal significativo, o bien son elementales desde el punto de vista del abastecimiento humano. El protocolo de toma de datos en cada manantial implica un muestreo hidroquímico e hidrodinámico del mismo. Para ello, se tomará una muestra de agua de forma periódica, consistente en dos recipientes separados para análisis químicos e isotópicos, respectivamente. Igualmente, se efectuarán medidas *in situ* de parámetros hidroquímicos comunes, como la conductividad eléctrica, temperatura y pH del agua. El análisis de los datos hidroquímicos e isotópicos del agua del manantial permite evaluar aspectos como la calidad del agua o el comportamiento hidrogeológico del sistema drenado, lo cual aporta una idea global sobre las características hidrogeológicas del acuífero en ese punto. Además, es posible, mediante la comparación con la composición del agua de lluvia, obtener parámetros como la tasa de infiltración efectiva o la velocidad de flujo.

Las medidas de carácter hidrodinámico consistirán, básicamente, en la realización de aforos directos mediante micromolinetes, con el fin de calcular el caudal instantáneo del manantial. Análogamente se realizarán aforos en aquellos cauces o ríos cuyas aguas provengan de la descarga subterránea del acuífero. Los datos de caudal, al igual que los datos hidroquímicos, permiten avanzar en el conocimiento del comportamiento hidrogeológico del sistema, por lo que el análisis conjunto de ambas fuentes de información resulta óptimo para evaluar el funcionamiento del acuífero. Por otro lado, la integración del conjunto de datos de caudal (hidrometría) permite obtener el volumen de agua que drena el sistema de forma natural, el cual constituye, generalmente, la mayor parte de los recursos hídricos disponibles.

La frecuencia de muestreo, en este caso, deberá ser de 2-3 meses durante periodos de estiaje, mientras que en épocas de lluvias importantes podría ser semanal, dependiendo de la representatividad del punto muestreado.

- **Muestreo de pozos y sondeos**

De forma paralela al muestreo de manantiales y agua de lluvia, se realizará un control de los pozos, sondeos, piezómetros y galerías existentes en el área de estudio. El objeto de estos trabajos se centra en la toma de datos piezométricos, indispensables para obtener una aproximación a la orientación de los flujos regionales de agua subterránea, así como otros parámetros, tales como las variaciones del nivel de agua, porosidad eficaz y/o variación de almacenamiento. Eventualmente se podrá controlar el estado hidroquímico de las aguas subterráneas en aquellos sondeos en los que sea posible tomar una muestra de agua representativa.

Por último, se recopilará toda la información disponible relativa al caudal extraído en las diferentes captaciones identificadas, para lo cual será necesario contactar con el personal/organismo responsable. También se realizará una búsqueda documental del estado actual e histórico de los aprovechamientos y tipología de usuarios, medidas de gestión hídrica que ya se hayan aplicado, o que esté proyectado aplicar.

La periodicidad de las mediciones que se realicen debería ser coincidente con la de los manantiales.

9.4.5. ANÁLISIS QUÍMICOS E ISOTÓPICOS

Las muestras recogidas durante la fase de muestreo de campo deberán ser enviadas a laboratorios especializados para su análisis. Dicha labor se realizará paralelamente a la etapa de muestreo, con objeto de garantizar el buen estado de las muestras. Asimismo, los componentes químicos a analizar son los de tipo mayoritario, puesto que la analítica de dichas especies es simple y económica, y ofrece información suficiente para los objetivos que se persiguen. Adicionalmente podrán realizarse análisis bacteriológicos, que permitan, junto con la información hidroquímica, determinar la calidad del agua para consumo humano, industrial, etc.

Los análisis isotópicos de las muestras de agua, tanto de lluvia como de manantiales y sondeos, permiten determinar las altitudes medias de recarga, así como los posibles vínculos entre zonas de recarga y descarga. Esto redundará en una mayor precisión a la hora de establecer el funcionamiento hidrogeológico de los distintos sistemas.

9.4.6. ENSAYO DE TRAZADORES

Se trata de una técnica que permite establecer conexiones hidrogeológicas y velocidades de flujo mediante la inyección de sustancias artificiales dentro del acuífero. Con ello, es posible determinar la ubicación de las zonas de alimentación de manantiales, así como el tiempo de tránsito de las aguas de recarga. Igualmente, resulta útil a la hora de evaluar la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero.

En el caso del presente estudio, puede resultar particularmente interesante como medio para verificar la existencia de transferencias subterráneas hacia masas de agua limítrofes como, por ejemplo, la Sierra de Líbar.

La ejecución de un ensayo de este tipo requiere de una minuciosa planificación, pues se necesitan equipos de personal perfectamente coordinados para la recogida de las muestras de agua necesarias, durante el tiempo que dura el ensayo. Las muestras recolectadas deben ser analizadas en laboratorios especializados, con el fin de obtener las concentraciones de la sustancia empleada como trazador.

9.4.7. CAMPAÑAS DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Las técnicas geofísicas son apropiadas en terrenos donde se quiere obtener información precisa de la distribución litológica y la estructura en profundidad, con la ventaja de ser mucho más asequibles económicamente que una perforación directa. Ello permite invertir los recursos disponibles en un mayor número de puntos de muestreo, para así conseguir una gran cantidad de información con la que, por ejemplo, ubicar sondeos con mayores garantías.

Entre las técnicas más usadas, destacan los sondeos eléctricos verticales (SEV) y los sondeos electromagnéticos en el dominio de tiempo (SEDT). Existen otras técnicas, como la tomografía eléctrica, perfiles sísmicos, georadar, gravimetría, etc... que son ampliamente utilizadas en diversos ámbitos de la geología, pero que aquí son de difícil aplicación, debido a factores como el coste, la capacidad de penetración en el subsuelo, la disponibilidad de los equipos, etc...

Los SEV's más utilizados son de tipo "Schlumberger". Se trata de un dispositivo consistente en un par de electrodos móviles dispuestos simétricamente respecto de un punto central, donde se registran medidas de la resistividad del terreno (figura 9.4.7.1). A mayor distancia entre dichos electrodos, mayor es la profundidad de medida. De esta manera, aumentando la distancia entre los electrodos de forma progresiva, se pueden obtener curvas de resistividad de los materiales en profundidad. La interpretación de dichas curvas permite inferir las litologías infrayacentes, así como su espesor. Incluso es posible detectar la posición del nivel freático, por el contraste de resistividad que se produce entre la zona saturada y no saturada del acuífero.

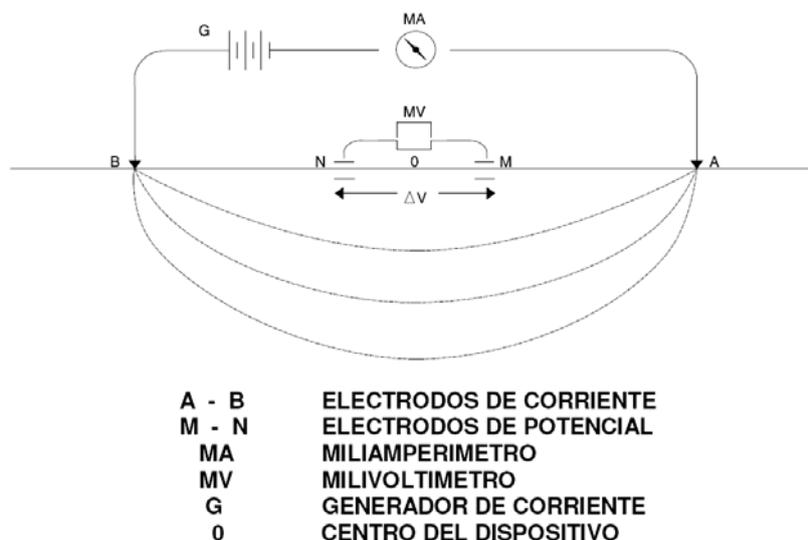


Figura 9.4.7.1. Disposición básica de un sondeo eléctrico vertical

En el caso de los SEDT's, también se miden resistividades, aunque de forma diferente. Son realizados con una unidad trasmisora unida a un circuito conductor (espira grande ó bobina) que recibe y manda la señal a una unidad receptora. Entonces, al inyectar una corriente constante en el alambre transmisor se produce un campo magnético primario estable en el subsuelo.

Cuando se corta de forma instantánea la corriente que circula por la bobina transmisor (por tanto se corta a su vez el campo magnético existente) se produce, según la ley de Faraday, una inducción electromagnética de corrientes eléctricas parásitas en el subsuelo. Estas corrientes, fluyen en trayectorias cerradas en el subsuelo y migran en profundidad y lateralmente, mientras que su intensidad disminuye conforme pasa el tiempo, lo que genera a su vez un campo magnético secundario transitorio decreciente en la superficie. Este campo secundario induce en el receptor un voltaje variable en el tiempo. La forma en que decae el voltaje contiene la información sobre la resistividad del subsuelo, puesto que la magnitud y distribución de las corrientes inducidas dependen de la resistividad. La interpretación de las curvas de resistividad obtenidas dan lugar, de forma análoga a los SEV's, al perfil litológico del terreno.

Dentro del área de estudio, existen varias zonas donde sería de gran utilidad el uso de estas técnicas geofísicas. De todas estas zonas, quizá una de las de mayor interés sería la comprendida entre las sierras del Endrinal y Líbar. Se trata de una serie de afloramientos de rocas poco permeables (flysch, margas y margocalizas) que, presumiblemente, se sitúan sobre un paquete de calizas penibéticas que podría suponer la continuidad hidrogeológica entre los dos macizos carbonatados mencionados. El uso de los métodos geofísicos permitiría determinar la presencia en el subsuelo de dicho paquete carbonatado, así como su profundidad, con el objetivo de seleccionar las zonas más favorables para ubicar posibles piezómetros de control. Con ello, se podrían aportar datos sobre la hipotética transferencia de recursos hídricos a la que hacen referencia algunos investigadores.

Otros puntos de interés en los que aplicar los métodos geofísicos son los afloramientos de materiales poco permeables del cretácico, bajo los cuales deben situarse las calizas acuíferas, en el sector norte del área de estudio. De igual forma, serían de gran ayuda en el caso de planificar sondeos cerca de los manantiales del sector de Ubrique y Benamahoma, ya que, según se deduce de la estructura geológica en dichas zonas, las arcillas y yesos triásicos parecen estar a poca profundidad. No sería deseable

alcanzar los materiales triásicos en una perforación, si se quieren evitar posibles problemas de calidad del agua.

9.4.8. EJECUCIÓN DE PIEZÓMETROS DE INVESTIGACIÓN

En la última fase de campo, y con toda la información que se haya podido recabar –en especial la procedente de las campañas de cartografía geológica y geofísica-, se procederá a identificar aquellos puntos donde resulte particularmente interesante ubicar un piezómetro de investigación. Una de las zonas de mayor interés es, como se ha mencionado anteriormente, la comprendida entre las sierras de Líbar y el Endrinal. Dada la extensión de dicho sector, es conveniente realizar una primera aproximación mediante técnicas geofísicas, con la que poder obtener información más precisa, de cara a optimizar los recursos disponibles para la construcción de los piezómetros.

9.4.9. TRABAJO DE GABINETE

Una vez que se dispone de información suficiente, ha de realizarse el tratamiento de la misma. Ello incluye el estudio de los datos meteorológicos disponibles y el estudio de la recarga mediante los métodos de Tornthwaite, Kessler, Coutagne, APLIS y/o balance de cloruros, lo que permitirá obtener la cantidad de recursos hídricos anuales de los que dispone el acuífero. Una vez estimada la recarga, se realizarán los balances hidrogeológicos pertinentes. Los resultados del balance, junto con los datos obtenidos en las fases previas del estudio -geología de superficie, ensayos de trazador, análisis isotópicos e hidroquímicos, piezometría- deben aportar la información necesaria para establecer las hipótesis que expliquen satisfactoriamente el funcionamiento hidrogeológico de la masa de agua.

9.4.10. REDACCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS Y EDICIÓN DE CARTOGRAFÍAS E INFORME FINAL

Se procederá a la redacción y edición de un informe final que describa y sintetice los resultados obtenidos durante las actividades realizadas, así como las conclusiones finales que se desprenden del estudio, las cuales deben dar respuesta a las cuestiones planteadas en los objetivos de partida. En este informe se incluirá la información y cartografías generadas durante la realización de los trabajos.

10. ELABORACIÓN DE UNA CARTOGRAFÍA DE VULNERABILIDAD NATURAL A LA CONTAMINACIÓN EN LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA IDENTIFICADAS EN LA DEMARCACIÓN

10.1. INTRODUCCIÓN

La Directiva 2000/60/CE determina en el artículo 4 que los Estados miembros deberán aplicar las medidas necesarias para evitar o limitar la entrada de contaminantes en las aguas subterráneas y evitar el deterioro del estado de todas las masas de agua subterránea. Esto implica fijar objetivos y criterios sobre la conservación de la calidad y la protección frente a la contaminación y el deterioro de las aguas subterráneas.

En virtud de los requerimientos establecidos en la DMA y sin perjuicio de lo dispuesto en la Sección VI del Título I del Reglamento de la Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, la Ley de Aguas para Andalucía (Ley 9/2010, de 30 de julio), establece por medio de su artículo 6 los siguientes objetivos medioambientales en materia de aguas:

- a) Prevenir el deterioro del estado de todas las masas de agua, superficiales, subterráneas y de las zonas protegidas, y, en su caso, restaurarlas con objeto de alcanzar el buen estado ecológico de las mismas. Para ello se definirán, implementarán y garantizarán los caudales ambientales necesarios para la conservación o recuperación del buen estado ecológico de las masas de agua.
- b) Conseguir un uso racional y respetuoso con el medio ambiente, que asegure a largo plazo el suministro necesario de agua en buen estado, de acuerdo con el principio de prudencia y teniendo en cuenta los efectos de los ciclos de sequía y las previsiones sobre el cambio climático.
- c) Reducir progresivamente la contaminación procedente de los vertidos o usos que perjudiquen la calidad de las aguas en la fase superficial o subterránea del ciclo hidrológico.
- d) Compatibilizar la gestión de los recursos naturales con la salvaguarda de la calidad de las masas de agua y de los ecosistemas acuáticos.
- e) Integrar en las políticas sectoriales y la planificación urbanística la defensa del dominio público hidráulico, la prevención del riesgo y las zonas inundables.
- f) Y en general los establecidos en el artículo 80 de la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.

La zonificación del territorio, basada en la caracterización del medio físico, constituye una herramienta fundamental para la implantación de medidas de protección de los recursos de agua subterránea. La actividad primordial de dicha zonificación consiste en la elaboración de mapas temáticos en los que se diferencien porciones de territorio con características homogéneas en relación con determinados aspectos cuantitativos del acuífero. Uno de estos aspectos es la *vulnerabilidad del acuífero a la contaminación*, que puede ser definida como la susceptibilidad a la alteración de la calidad de las aguas subterráneas por causas antrópicas. Asimismo, se puede distinguir entre vulnerabilidad intrínseca y específica: la vulnerabilidad *intrínseca* es la susceptibilidad del agua subterránea a la contaminación

generada por la actividad humana en función de las características geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas de un área pero independientemente de la naturaleza del contaminante, mientras que la vulnerabilidad *específica* es la susceptibilidad del agua subterránea a un contaminante o grupo de contaminantes concreto en función de las propiedades de éstos y sus relaciones con los componentes de la vulnerabilidad intrínseca.

En la actualidad existe una gran variedad de métodos para evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, si bien muchos de ellos consisten en modelos de superposición cartográfica basados en la combinación de mapas de diversos atributos de un área concreta. Estos métodos emplean variables o parámetros con un rango definido y dividido en intervalos jerárquicos. A cada intervalo se le asigna un valor o puntuación, que refleja un grado relativo de susceptibilidad a la contaminación.

Con el propósito de mejorar el conocimiento en materia de caracterización de acuíferos y evaluación de la vulnerabilidad natural a la contaminación en las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, se ha procedido a la elaboración de estas cartografías temáticas. Los mapas de vulnerabilidad obtenidos ofrecen una visión general de las distintas zonas de vulnerabilidad existentes, es decir, suponen una primera aproximación al grado de vulnerabilidad de un territorio, siendo recomendable su utilización únicamente para planteamientos regionales.

10.2. TRABAJOS REALIZADOS

10.2.1. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA

Con anterioridad al inicio de los trabajos se ha realizado un estudio bibliográfico de todos aquellos documentos que pudiesen incluir información de interés en el análisis, diseño y ejecución de la actividad, en relación con las características y funcionamiento hidrogeológico de las masas de agua subterránea, unidades hidrogeológicas y sistemas acuíferos identificados. Además, se han recopilado las coberturas geográficas de base y usos del suelo actualizados, inventario de presiones, red hidrográfica principal y secundaria, modelo digital de elevaciones, pluviometría, así como mapas temáticos de hidrogeología.

10.2.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

La metodología a emplear para la génesis de estas cartografías varía en función de la naturaleza de las masas de agua subterránea. Así, en las masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada se ha empleado el método COP, desarrollado por el Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga en el marco de la Acción Europea COST 620 sobre vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos carbonatados.

En las masas de agua subterránea de naturaleza detrítica se ha utilizado la cartografía de vulnerabilidad natural a la contaminación generada en el marco de los trabajos de *Adecuación de las masas de agua subterránea de la cuenca del Guadalete-Barbate a los requerimientos de la Directiva 2000/60/CE* (Tragsatec, 2008).

Asimismo, en las masas de agua subterránea de naturaleza mixta se ha segregado, en entorno GIS, la parte detrítica y la carbonatada, aplicando posteriormente la metodología específica para cada sector en función de su naturaleza (COP para la zona carbonatada y DRASTIC para la detrítica).

Con objeto de aplicar la metodología adecuada en cada una de las masas de agua identificadas en la demarcación, en primer lugar se ha procedido a la clasificación de éstas en función de su naturaleza (predominante). Para ello se ha realizado una revisión de la litología mayoritaria que constituye la masa de agua, basándose en la cartografía del ‘Mapa litoestratigráfico y de permeabilidad de España’ a escala 1:200.000, editada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Ministerio de Medio Ambiente (2006). El resultado de esta clasificación se presenta en la siguiente tabla.

CÓDIGO	NOMBRE	SUPERFICIE	NATURALEZA
062.001	SETENIL	223,0	Mixta
062.002	SIERRA DE LÍBAR	48,9	Carbonatada
062.003	SIERRA DE LÚJAR	24,2	Carbonatada
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA - PRADO DEL REY	361,2	Carbonatada
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA - VILLAMARTÍN	330,2	Detrítica
062.006	SIERRA VALLEJA	37,1	Mixta
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	63,8	Carbonatada
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	225,3	Detrítica
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	75,8	Detrítica
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-PUERTO DE STA. MARIA	153,9	Detrítica
062.011	PUERTO REAL	114,1	Detrítica
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	115,3	Detrítica
062.013	BARBATE	115,7	Detrítica
062.014	BENALUP	32,6	Detrítica

Tabla 10.2.2.1. Clasificación de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, en función de su naturaleza

10.2.2.1. Cartografía de vulnerabilidad natural a la contaminación en masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada (método COP)

La relevancia de los acuíferos carbonatados radica en su amplia distribución espacial, en la potencialidad de ser explotados, en la buena calidad de sus aguas y en un comportamiento hidrogeológico que los diferencia del resto de acuíferos.

Los sistemas kársticos son heterogéneos y anisótropos, por lo que la interpolación y extrapolación de los datos obtenidos en campo es más problemática que en otros acuíferos. Asimismo, cada sistema kárstico presenta un funcionamiento propio, por lo que se considera conveniente disponer de conocimientos previos para realizar la cartografía de vulnerabilidad y zonificar la recarga. La recarga de estos acuíferos puede ser difusa, a través del suelo, o concentrada, a través de sumideros.

El almacenamiento del agua en el *epikarst* (zona de intensa karstificación y elevada permeabilidad cercana a la superficie), incrementa la protección natural y reduce la recarga del acuífero en profundidad, mientras que la concentración de flujo en formas de absorción del epikarst aumenta la vulnerabilidad y la recarga.

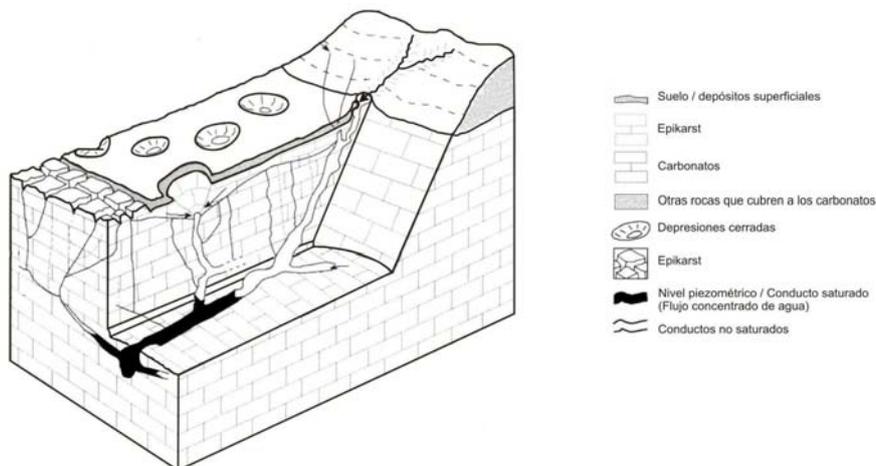


Figura 10.2.2.1.1. Modelo conceptual de un acuífero kárstico (Gunn, 1986)

La estructura y función del epikarst es difícil de evaluar, en parte, debido a que en muchos casos no es visible. Los acuíferos kársticos presentan doble porosidad debido a las fracturas y a los conductos creados por dilución, y es frecuente que exista una triple porosidad debida a la presencia de poros granulares en la matriz. El agua se almacena en los poros o en las fracturas, mientras que en los conductos se drena rápidamente; por tanto, dentro de un mismo sistema kárstico existe un flujo rápido y un flujo lento. Este hecho es muy importante desde el punto de vista de la vulnerabilidad, ya que un mismo contaminante puede ser transportado rápidamente o quedarse almacenado en el acuífero durante un largo periodo de tiempo, en función de las características del acuífero.

Asimismo, el karst se caracteriza por presentar fluctuaciones del nivel piezométrico rápidas y acusadas, que pueden cifrarse en varias decenas de metros. En muchos casos la superficie piezométrica es discontinua y difícil de determinar, y las áreas de recarga de los distintos manantiales que drenan el acuífero carbonatado son, a menudo, extensas y distantes del punto de descarga. Además, generalmente son difíciles de determinar e incluso pueden variar en el tiempo, ya que dependen de las condiciones hidrológicas. Las áreas de recarga de diferentes manantiales pueden llegar a solaparse y un mismo área puede ser vertiente a un manantial o a otro, dependiendo de la posición del nivel piezométrico.

➤ Método COP

El método COP fue desarrollado por el Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (Vías et al. 2002, 2006) para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos carbonatados, a partir de los tres factores indicados por la Acción COST 620 para la cartografía de vulnerabilidad del agua subterránea en acuíferos kársticos. Estos factores son los siguientes:

- **Factor C** (*Flow Concentration*), relativo a las condiciones superficiales para la concentración de flujos de agua que recargan al acuífero
- **Factor O** (*Overlying layers*), que contempla las capas de protección del agua subterránea
- **Factor P** (*Precipitation*), relativo a las características de la precipitación

El método se basa en dos premisas:

- El contaminante se mueve con el agua a través de la zona no saturada (ZNS)
 - El contaminante se infiltra en el acuífero desde la superficie
- **Factor C:** condiciones superficiales para la concentración de flujos de agua que recargan el acuífero

El *factor C* permite estimar el modo en que se produce la recarga del acuífero y cómo ésta modifica la protección natural dada por el *factor O*. Así, en zonas donde se produce una recarga concentrada la protección del acuífero será más reducida que en aquellas zonas donde tiene lugar de forma difusa.

Para evaluar el *factor C* se diferencian dos tipos de escenarios: 1) el primer escenario incluye las cuencas vertientes a un sumidero. En estas áreas la vulnerabilidad del recurso aumenta debido a que un contaminante potencial pasaría directamente desde la superficie hasta la zona saturada, sin estar expuesto a los procesos de atenuación que se producen en la zona no saturada; 2) en el segundo escenario la recarga se produce de forma difusa.

En el primer escenario los parámetros que se utilizan para establecer el valor del *factor C* son los siguientes:

- ✓ Distancia al sumidero (d_h).

Rangos del parámetro d_h (Distancia al sumidero)	Valor de d_h
≤ 500	0
(500 - 1.000]	0,1
(1.000 - 1.500]	0,2
(1.500 - 2.000]	0,3
(2.000 - 2.500]	0,4
(2.500 - 3.000]	0,5
(3.000 - 3.500]	0,6
(3.500 - 4.000]	0,7
(4.000 - 4.500]	0,8
(4.500 - 5.000]	0,9
> 5.000 m	1

Tabla 10.2.2.1.1. Valores asignados al parámetro d_h

- ✓ Distancia a los arroyos vertientes al sumidero (d_s). Tiene en cuenta la distancia, medida perpendicularmente, desde un punto cualquiera de la cuenca al arroyo vertiente.

Rangos del parámetro d_s (Distancia a los arroyos vertientes al sumidero)	Valor de d_s
≤ 10 m	0
(10 - 100]	0,5
> 100 m	1

Tabla 10.2.2.1.2. Valores asignados al parámetro d_s

- ✓ Pendiente y densidad de vegetación (sv), que afectan al régimen de escorrentía/infiltración. Así, a mayor pendiente y menor densidad de vegetación, mayor escorrentía y, por tanto, mayor cantidad de agua que llega al sumidero.

Pendiente (s) \ Vegetación (v)	Pendiente (s)			
	$\leq 8\%$	(8-31%]	(31-76%]	$>76\%$
Alta densidad	1	0,95	0,85	0,75
Baja densidad	1	0,90	0,80	0,75

Tabla 10.2.2.1.3. Valores asignados al parámetro sv , para un escenario tipo 1

El valor del *factor C*, para un escenario tipo 1, se obtiene del producto de los tres parámetros anteriores:

$$\text{Factor } C = d_h \cdot d_s \cdot sv$$

Cuando la recarga se produce de forma difusa, escenario tipo 2, el *factor C* se evalúa a partir de los siguientes parámetros:

- ✓ Formas superficiales (sf). Vienen determinadas por el modelado kárstico en superficie y las características de permeabilidad de la capa superficial.

Geoformas \ Capa superficial	Capa superficial		
	Ausente	Permeable	Impermeable
Karst desarrollado: presencia de dolinas, torcas y lapiaces	0,25	0,5	0,75
Karst en desarrollo o afloramiento superficial afectado por disolución	0,5	0,75	1
Rocas carbonatadas fisuradas	0,75	0,75	1
Ausencia de formas kársticas	1	1	1

Tabla 10.2.2.1.4. Valores asignados al parámetro sf

- ✓ Pendiente y densidad de vegetación (sv) que afectan al régimen de escorrentía/infiltración. En este caso, se contempla de forma opuesta al del escenario 1, ya que, a mayor pendiente y menor densidad de vegetación, mayor escorrentía que fluye hacia fuera del acuífero y, por tanto, la vulnerabilidad disminuye.

Pendiente (s) \ Vegetación (v)	Pendiente (s)			
	≤ 8%	(8-31%]	(31-76%]	>76%
Alta densidad	0,75	0,80	0,90	1
Baja densidad	0,75	0,85	0,95	1

Tabla 10.2.2.1.5. Valores asignados al parámetro sv, para un escenario tipo 2

En este caso, el valor del *factor C* se obtiene como el producto de los dos parámetros anteriores:

$$\text{Factor } C = sf \cdot sv$$

El *factor C* presenta valores que varían entre 0 y 1 y se agrupan en diferentes clases, según la reducción de protección. El valor 0 indica que se reduce toda la protección natural asociada al *factor O*, mientras que el valor 1 indica que las características de la infiltración (C) no afectan a la protección natural ejercida por las variables contempladas por el *factor O*.

Valores del factor C	Reducción de la protección
[0 - 0,2]	Muy alta
(0,2 - 0,4]	Alta
(0,4 - 0,6]	Moderada
(0,6 - 0,8]	Baja
(0,8 - 1]	Muy baja

Tabla 10.2.2.1.6. Clases del *factor C*

- **Factor O:** capas de protección del agua subterránea

La zona no saturada de los acuíferos constituye una protección para el agua subterránea que en ellos se almacena. Tanto el suelo como la litología de la zona no saturada son aspectos a tener en cuenta a la hora de estudiar la protección de las aguas subterráneas.

- ✓ El grado de desarrollo del suelo (variable OS), así como su contenido en microorganismos, lo convierten en un elemento a considerar para la potencial biodegradación de contaminantes, tanto por modificación bioquímica de éstos como por procesos de sorción o intercambio catiónico. Dos aspectos relevantes del suelo para determinar el grado de protección que éste ofrece al agua subterránea son la *textura* y el *espesor*.

Espesor \ Textura	Textura			
	Arcillosa	Limosa	Franca	Arenosa
> 1 m	5	4	3	2
0,5 - 1 m	4	3	2	1
≤ 0,5 m	3	2	1	0

Tabla 10.2.2.1.7. Parámetros y puntuación para la variable suelo (OS)

- ✓ Con respecto a la litología de la zona no saturada (variable OL), se tienen en cuenta tanto las características hidrogeológicas (L_y), principalmente porosidad y conductividad hidráulica, como el grado de fracturación de las capas y el espesor de las mismas. Otro aspecto que se considera en el parámetro OL es el grado de confinamiento (cn) de los distintos sectores del acuífero. De este modo:

$$OL = Li \cdot cn$$

Siendo $Li = \sum (Ly \cdot m)$, donde m es el espesor.

Rangos del parámetro L_y	Valor de (L_y)
Arcillas	1.500
Limos	1.200
Margas y rocas ígneas y metamórficas no fisuradas	1.000
Margocalizas	500
Rocas ígneas y metamórficas fisuradas	400
Brechas y conglomerados no fisurados o cementados	100
Areniscas	60
Brechas y conglomerados no fisurados o escasamente cementados	40
Arenas y gravas	10
Basaltos permeables	5
Rocas carbonatadas fisuradas	3
Rocas karstificadas	1

Tabla 10.2.2.1.8. Valores del parámetro L_y

Rango de valores de $L_y \cdot m$	Valor de protección (Li)
≤ 250 m	1
250 - 1.000	2
1.000 - 2.500	3
2.500 - 10.000	4
> 10.000	5

Características del acuífero	Valor de c_n
Confinado	2
Semi-confinado	1,5
No confinado	1

Tablas 10.2.2.1.9 y 10. Valores asignados a los parámetros L_i y c_n

El valor del *factor O* resulta de la suma de las variables OS y OL . Este valor final se clasifica según la capacidad de protección que ofrece al acuífero.

$$\text{Factor } O = OS + OL$$

Valores del factor O	Capacidad de protección de la zona no saturada (ZNS)
1	Muy baja
2	Baja
(2 - 4]	Moderada
(4 - 8]	Alta
(8 - 15]	Muy alta

Tabla 10.2.2.1.11. Capacidad de protección del agua subterránea en función del *factor O*

▪ **Factor P:** características de la precipitación

El agua de lluvia es el agente que transporta el contaminante hacia el acuífero. A diferencia de los factores C y O , que tienen en cuenta características intrínsecas del acuífero, el *factor P* contempla un aspecto extrínseco como es la lluvia. En este caso, tanto la *cantidad* de agua de precipitación como la *intensidad*, son factores influyentes en la protección del acuífero.

La cantidad de contaminante introducida en el acuífero así como su posible dilución antes de alcanzar el nivel piezométrico o zona saturada, varía en función de la cantidad de agua de lluvia. De este modo se considera que precipitaciones inferiores a 800-1.200 mm/año influyen de forma negativa en la vulnerabilidad, ya que la infiltración del contaminante se ve favorecida. Por el contrario, cuando las precipitaciones son superiores a 800-1.200 mm/año se producen importantes procesos de dilución del contaminante y, por tanto, disminuye la vulnerabilidad.

La variable P_Q (*cantidad de lluvia*) se corresponde con la precipitación media de los años húmedos y se puntúa según los intervalos recogidos en la tabla adjunta.

Intervalos de precipitación (mm/año)	Valor P_Q
> 1.600	0,4
(1.200 - 1.600]	0,3
(800 - 1.200]	0,2
(400 - 800]	0,3
≤ 400	0,4

Tabla 10.2.2.1.12. Valores de la variable P_Q

La variable P_I (*intensidad de la precipitación*) representa la proporción escorrentía/infiltración. Así, precipitaciones muy intensas favorecen la escorrentía y disminuyen la infiltración. La intensidad (P_I) se estima a partir de la precipitación media de los años húmedos y del número de días lluviosos.

Intervalos de intensidad de precipitación (mm/día)	Valor P_I
≤ 10	0,6
(10 - 20]	0,4
> 20	0,2

Tabla 10.2.2.1.13. Valores de la variable P_I

Finalmente, el valor del *factor P* es el resultado de la suma de los dos parámetros anteriores:

$$\text{Factor } P = P_Q + P_I$$

Este factor puede variar entre 0,4 (modificación máxima de la protección) y 1 (no modifica la protección asignada por el *factor O*).

Valores del factor P	Reducción de la protección
[0,4 - 0,5]	Muy alta
0,6	Alta
0,7	Moderada
0,8	Baja
[0,9 - 1]	Muy baja

Tabla 10.2.2.1.14. Clases del *factor P*

▪ **Índice de vulnerabilidad intrínseca del método COP**

Del producto de los factores C, O y P obtenidos, resulta el índice de vulnerabilidad intrínseca del método COP. Este índice varía entre 0 y 15: valores próximos a 0 son representativos de una vulnerabilidad máxima (mínima protección), mientras que los valores cercanos a 15 corresponden a una situación de mínima vulnerabilidad (máxima protección). El índice COP se agrupa en 5 clases que representan los diferentes grados de vulnerabilidad considerados.

$$\text{ÍNDICE COP} = C \cdot O \cdot P$$

Intervalos del índice COP	Clases de vulnerabilidad del acuífero
[0 - 0,5]	Muy alta
(0,5 - 1]	Alta
(1 - 2]	Moderada
(2 - 4]	Baja
(4 - 15]	Muy baja

Tabla 10.2.2.1.15. Clases de vulnerabilidad natural a la contaminación establecidas según el índice COP

➤ **Fuentes de información, recopilación, análisis y tratamiento de los datos y capas de información**

Los mapas de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de las aguas subterráneas se basan en el análisis de las variables del medio físico. En el marco de estos trabajos, y siguiendo las directrices del método COP, las variables del medio físico consideradas han sido:

- ✓ Litología de la zona no saturada (ZNS)
- ✓ Suelo: espesor y textura
- ✓ Cobertura vegetal
- ✓ Pendiente
- ✓ Morfología kárstica superficial
- ✓ Precipitación: cantidad de lluvia y número de días con registro de precipitación
- ✓ Espesor de la zona no saturada
- ✓ Grado de confinamiento

Asimismo, las principales fuentes de información consultadas para la evaluación de los diferentes factores incluidos en este método, han sido:

- **Factor C:** condiciones superficiales para la concentración de flujos de agua que recargan al acuífero

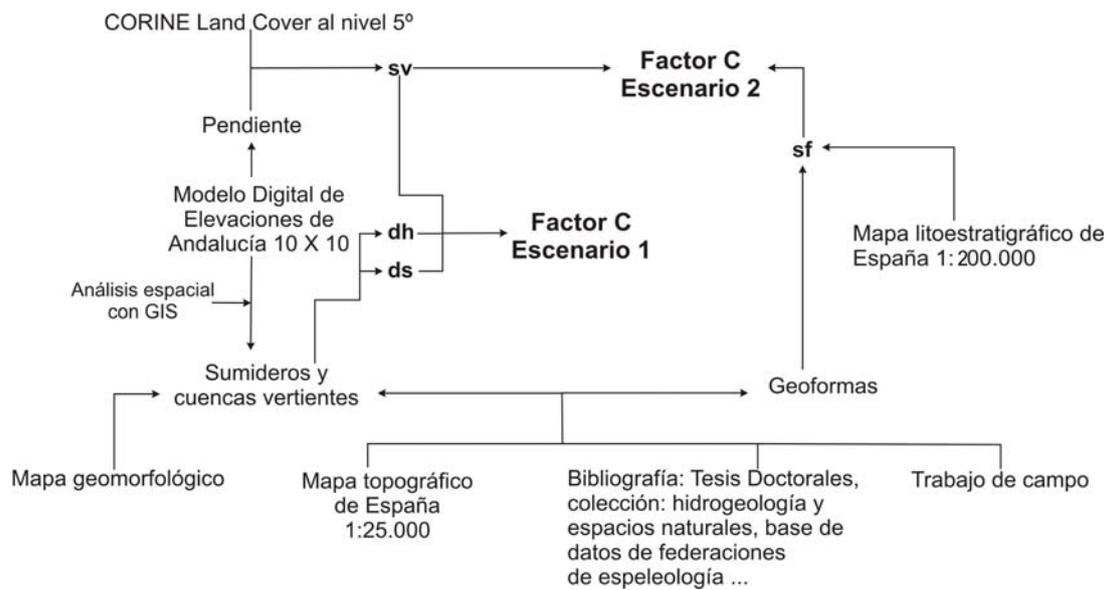


Figura 10.2.2.1.2. Esquema conceptual de la metodología empleada y principales fuentes de información consultadas para la evaluación del factor C

- *Uso del Territorio (Ocupación del suelo)*

La cartografía temática utilizada ha sido la actualización 2000 I&CLC2000 del CORINE Land Cover (Instituto Geográfico Nacional - Ministerio de Fomento). El mayor grado de detalle que permite esta cartografía, el nivel 5, distingue 85 clases de ocupación del suelo, las cuales fueron revisadas y actualizadas en noviembre de 2001 de cara a la generación del CLC2000-España. En esta cartografía sólo se representan polígonos mayores de 25 Ha, excepto los núcleos urbanos y láminas de agua que aparecen independientemente del tamaño.

- *Pendiente*

A partir de los ficheros ASCII obtenidos del Modelo Digital del Terreno editado por la Junta de Andalucía en el año 2005, con Golden Software SURFER 8 se ha elaborado un Modelo Digital de Pendientes para las demarcaciones hidrográficas andaluzas de carácter intracomunitario con un salto de malla de 10x10 m en formato .grd.

Este fichero ha sido exportado a ASCII para, con ArcGIS 9.3, ser transformado en ráster y posteriormente reclasificado en los intervalos definidos para el factor *pendiente*.

- *Formas kársticas en superficie*

La geomorfología kárstica constituye un aspecto básico de la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en acuíferos carbonatados. La cartografía y estudios existentes sobre las formas kársticas es muy escasa si bien, en el marco de estos trabajos, se han recopilado una serie de documentos elaborados en el marco de diferentes tesis doctorales relacionadas con el desarrollo de procesos kársticos superficiales en las siguientes masas de agua subterránea:

- ✓ Sierra de Líbar
- ✓ Sector sureste de Sierra de Grazalema

En ocasiones ha sido necesario un proceso de digitalización y georreferenciación de estos mapas geomorfológicos.

- *Sumideros kársticos*

La aplicación del método COP requiere identificar los sumideros kársticos así como conocer su localización de la forma más precisa posible, con objeto de delimitar el área vertiente. La identificación y localización de estos sumideros kársticos resulta laboriosa y ha requerido, en algunos casos, trabajos de campo complementarios. Asimismo, las principales fuentes de información consultadas han sido:

- ✓ Mapa geomorfológico 1:1.000.000 elaborado por el IGME
- ✓ Base de datos publicada en la Web de la Sociedad Española de Espeleología (<http://www.sedeck.org/web/>)
- ✓ Bases de datos facilitadas por diferentes asociaciones de espeleología regionales
- ✓ Red hidrográfica de España a escala 1:25.000. A partir de esta red se han rastreado todos los flujos de agua superficiales endorreicos, con objeto de localizar el emplazamiento de posibles sumideros

- *Otras formas exokársticas*

En este grupo de formas kársticas se incluyen las formas endorreicas sin sumidero kárstico (dolinas y uvalas) y los campos de lapiaz. La información relacionada con estas formas del modelado se ha extraído de los mapas geomorfológicos mencionados anteriormente. Por otra parte, a partir de las depresiones identificadas en el mapa topográfico de España, a escala 1:25.000, se ha generado una cobertura en la que se representan las principales dolinas existentes en las masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada.

- *Arroyos vertientes a sumideros*

La información relacionada con los arroyos vertientes a sumideros se ha extraído del mapa topográfico de España, a escala 1:25.000, del mapa topográfico de Andalucía, a escala 1:10.000 y de los mapas geomorfológicos mencionados con anterioridad.

La delimitación de la cuenca vertiente al arroyo, que en última instancia vierte al sumidero, se ha realizado mediante el análisis de los mapas topográficos y con la ayuda de las herramientas de análisis espacial de ArcGIS.

- **Factor O:** capas de protección del agua subterránea

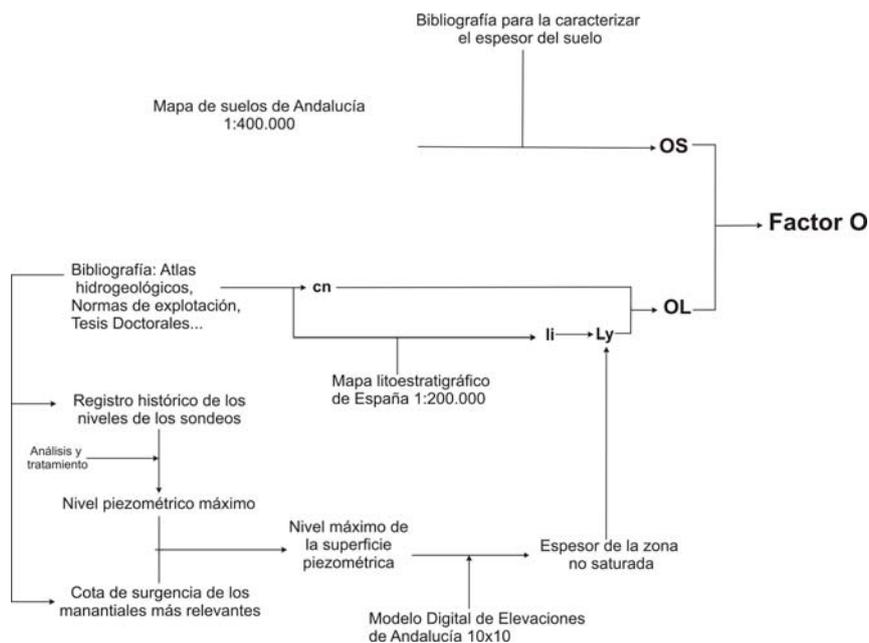


Figura 10.2.2.1.3. Esquema conceptual de la metodología empleada y principales fuentes de información consultadas para la evaluación del factor O

- **Litología**

La capa de información geográfica que se ha utilizado para evaluar las variables relacionadas con la litología ha sido el ‘Mapa litoestratigráfico y de permeabilidad de España’ a escala 1:200.000, editado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Ministerio de Medio Ambiente (2006).

Durante el análisis pormenorizado de esta cartografía se ha observado que presenta diversos errores, en algunos casos derivados de la escala y, en otros, de la interpretación del medio físico. En la medida de lo posible estos errores han sido corregidos, siempre y cuando se trate de reinterpretar la litología existente. Así, para verificar las litologías representadas en el mapa litoestratigráfico se han utilizado los mapas geológicos de la serie MAGNA, a escala 1:50.000, así como las cartografías actualizadas incluidas en los atlas hidrogeológicos más recientes.

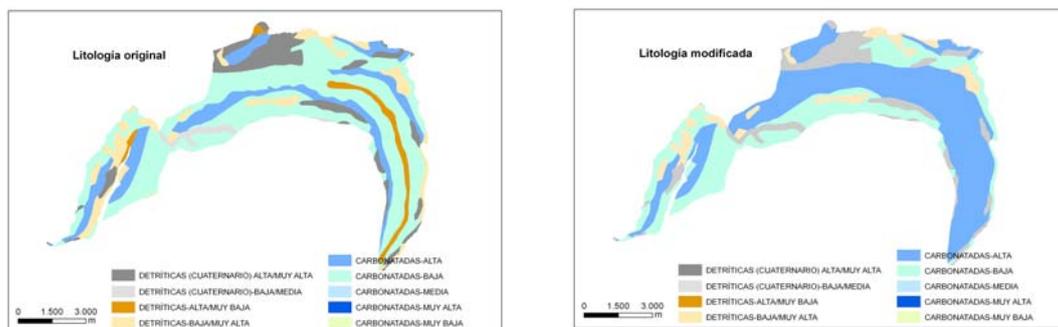


Figura 10.2.2.1.4. Corrección de errores identificados en el mapa litoestratigráfico de España E.:1:200.000, de acuerdo con la cartografía de la serie MAGNA (E.: 1:50.000), para la MASb. 062.007

o *Suelo*

El método COP tiene en cuenta dos aspectos relacionados con el suelo (*espesor y textura*) que afectan a su permeabilidad y, por tanto, a su capacidad de protección del agua subterránea frente a posibles episodios de contaminación.

Las fuentes de información cartográfica utilizadas han sido el Mapa de Suelos de Andalucía, a escala 1:400.000, editado por la Consejería de Agricultura y Pesca y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Sevilla, 1998) y, para aquellas zonas en las que se ha trabajado en el marco del Proyecto LUCDEME, se ha empleado la cartografía edafológica a escala 1:100.000.

Demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate	
Código	Nombre de la MASb.
062.001	Setenil
062.002	Sierra de Líbar

Tabla 10.2.2.1.16. Listado de masas de agua subterráneas en las que se ha utilizado el mapa edafológico elaborado en el marco del proyecto LUCDEME (E.: 1:100.000)

Además, con objeto de valorar los suelos con el mejor criterio posible se ha recurrido a consultar aquellas fuentes bibliográficas donde se describen las principales características de los suelos (*textura, profundidad, comportamiento frente a la desecación, porcentaje de arcilla, etc.*). A partir de la información recabada se ha valorado el suelo en relación con su *textura y espesor*.

o *Grado de confinamiento*

Para determinar si una masa de agua subterránea presenta sectores confinados o semiconfinados se han tenido en cuenta los siguientes factores: naturaleza de las formaciones geológicas identificadas, edad, series estratigráficas, estructura geológica y geometría del acuífero.

La capa de información geográfica que se ha utilizado para evaluar las variables relacionadas con el grado de confinamiento ha sido el 'Mapa litoestratigráfico y de permeabilidad de España' a escala 1:200.000, editado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Ministerio de Medio Ambiente (2006), así como la cartografía geológica de la serie MAGNA (a escala 1:50.000).

o *Espesor de la zona no saturada (ZNS)*

Para estimar el espesor de la ZNS se ha determinado la cota piezométrica en los puntos de agua (pozos, sondeos y manantiales) incluidos en las diferentes bases de datos consultadas:

- ✓ Base de datos AGUAS, de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas. Instituto Geológico y Minero de España.
- ✓ Base de datos facilitada por la Dirección General del Agua. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- ✓ Base de datos facilitada por la Agencia Andaluza del Agua.

El procedimiento seguido para estimar la cota piezométrica en cada punto de agua (*pozo o sondeo*), ha sido el siguiente:

1. Unificar los datos de profundidad del nivel piezométrico procedentes de los diferentes bancos de datos consultados, eliminando aquellos registros que se consideran anómalos o erróneos.
2. Seleccionar los puntos de agua localizados en el interior de las masas de agua subterránea y aquellos puntos que, aún situándose fuera de los límites de una masa de agua subterránea, se consideran representativos de la misma.
3. Revisar las series históricas registradas en cada piezómetro.
4. Calcular la profundidad media y mínima del nivel piezométrico.
5. Representar gráficamente las series de medidas históricas eliminando aquellas que correspondan a niveles dinámicos, datos históricos discordantes con la situación actual del acuífero y aquellos que no se ajusten con la tendencia global de la serie (ascensos y/o descensos bruscos que se produzcan de forma puntual, errores de medida, etc.).
6. Recalcular la profundidad media y mínima del nivel piezométrico.
7. Comprobar la bondad de los datos relativos a la cota absoluta de cada punto recogidos en las diferentes bases de datos consultadas. En numerosos casos esta cota ha sido corregida, asignándole el valor obtenido a partir del Modelo Digital del Terreno editado por la Junta de Andalucía en el año 2005, con un salto de malla de 10x10 m.
8. Finalmente, una vez conocida la cota topográfica y la profundidad mínima alcanzada por el nivel piezométrico en cada punto, se ha obtenido la cota piezométrica máxima o, dicho de otro modo, el menor espesor de la zona no saturada (situación en la que el acuífero es más vulnerable a la contaminación).

Por otro lado, en el caso de los *manantiales* se ha procedido al filtrado de los datos de partida de acuerdo con dos factores: *cota de surgencia* y *caudal*. De este modo, aquellos manantiales que presentan caudales insignificantes y/o una cota piezométrica muy dispar respecto a otros puntos cercanos en los que se han registrado caudales elevados, se han desestimado al considerarse puntos poco representativos del drenaje global de la masa de agua subterránea o bien, representativos de niveles 'colgados' respecto al nivel piezométrico regional.

Una vez filtrada la información de partida se han trazado, en entorno GIS, los mapas de isopiezas (o cotas piezométricas en su defecto), para las masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada.

Entre las diferentes aplicaciones de análisis tridimensional que ofrece el software ArcGIS 9.3, se ha empleado la herramienta '*topo to raster*' ya que ésta permite interpolar a partir de puntos, líneas y polígonos. Además, se pueden incorporar -al modelo de interpolación- isopiezas previamente generadas mediante métodos convencionales así como la cota piezométrica de cada punto.

Finalmente, el espesor de la ZNS se ha obtenido restando la superficie piezométrica a la superficie topográfica generada a partir del Modelo Digital de Elevaciones de Andalucía (10x10). Considerando el espesor mínimo de la zona no saturada (cota piezométrica máxima), cuando el acuífero es más vulnerable, simulamos la situación más desfavorable desde el punto de vista de la protección del acuífero frente a un episodio de contaminación.

- **Factor P:** características de la precipitación

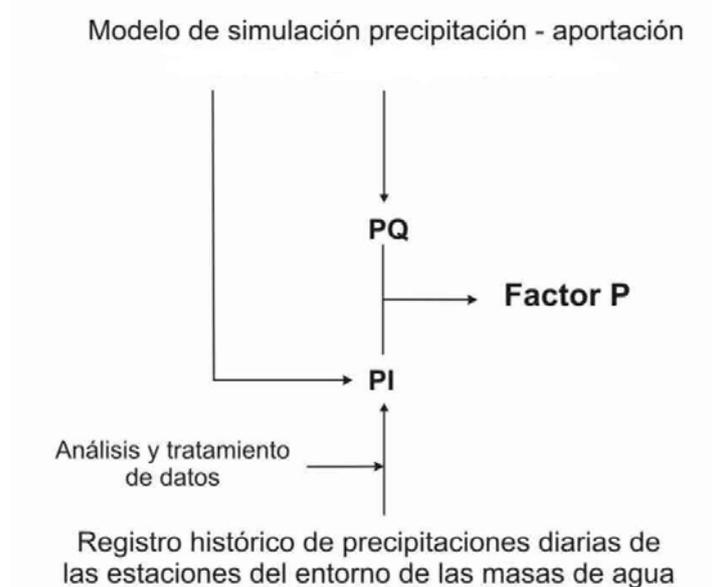


Figura 10.2.2.1.5. Esquema conceptual de la metodología empleada y principales fuentes de información consultadas para la evaluación del factor P

- *Cantidad de lluvia*

La información relativa a la cantidad de agua de lluvia se ha extraído del Modelo de Simulación Precipitación-Escorrentía SIMPA(2), elaborado por el Centro de Estudios Hidrográficos y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

Este modelo ofrece una estimación de la precipitación mensual durante el periodo de simulación considerado para cada una de las celdas (tamaño 1.000x1.000 m) en las que se discretizó el territorio nacional. El procedimiento de interpolación seguido para desarrollar el modelo de simulación precipitación-escorrentía tuvo en cuenta los datos registrados en más de 5.000 estaciones meteorológicas operativas en España (Estrela et al., 1999).

Con objeto de depurar los resultados obtenidos así como las salidas gráficas asociadas, previamente al tratamiento de los datos de precipitación se ha procedido a reducir el tamaño de celda, siendo necesario convertir la cobertura ráster a formato de puntos y posteriormente interpolar (de puntos a ráster) con un tamaño de celda de 10x10 m.

A partir de los datos de precipitación mensual se ha estimado la precipitación anual para la serie histórica 1970-2005. Aunque el modelo SIMPA(2) ofrece valores de precipitación anteriores a esta fecha, éstos se han desestimado con objeto de que el período seleccionado sea comparable al utilizado en el caso de la variable intensidad.

- *Intensidad de la lluvia*

Para estimar la intensidad de la lluvia es necesario conocer el número de días de lluvia por año. Para ello, y en primer lugar, se ha solicitado a la Agencia Estatal de Meteorología un listado que recoja las estaciones pluviométricas localizadas en la zona objeto de estudio y, a la Agencia Andaluza del Agua, el número de datos pluviométricos registrados. Posteriormente se ha realizado un filtrado de las

estaciones pluviométricas seleccionando únicamente los años hidrológicos completos, desestimando aquellos que presentan meses sin registro. A partir de los datos restantes se ha obtenido el número de días con lluvia acontecidos en años hidrológicos completos y el número medio de días con lluvia al año para cada estación.

Con objeto de disponer de una superficie distribuida que cubra toda el área de estudio, los datos puntuales de días de lluvia se han interpolado mediante el método *kriging*.

Finalmente, la capa de información correspondiente a la variable intensidad de la lluvia, resulta de dividir la precipitación media anual entre el número de días con lluvia.

➤ **Elaboración de mapas temáticos**

La base de la elaboración de los mapas temáticos radica en el análisis espacial mediante la superposición cartográfica de las distintas coberturas asociadas a cada factor COP, en formato vectorial o ráster. Dicha superposición se realiza en el entorno de un Sistema de Información Geográfica y, como resultado, se obtiene la zonificación cartográfica del territorio o distribución espacial en áreas a las que se asignan diferentes grados de vulnerabilidad.

Los valores del índice de vulnerabilidad COP varían entre 0 y 15. Estos valores se agrupan en cinco clases, correspondientes a los distintos grados de vulnerabilidad considerados.

- ✓ Muy alta
- ✓ Alta
- ✓ Moderada
- ✓ Baja
- ✓ Muy baja

Para la representación cartográfica de las clases finales se ha utilizado una gama cromática según la cual, los colores más próximos a rojo indican el mayor grado de vulnerabilidad y los colores próximos a azul representan el menor grado.

FACTOR C		FACTOR O		FACTOR P		INDICE DE VULNERABILIDAD	
Reducción de la protección	Valor factor C	Capacidad de protección de la ZNS	Valor factor O	Reducción de la protección	Valor factor P	Clases de vulnerabilidad del acuífero	Valor COP
Muy alta	(0-0,2]	Muy alta	1	Muy alta	(0,4-0,5]	Muy alta	(0-0,5]
Alta	(0,4-0,4]	Alta	2	Alta	0,6	Alta	(0,5-1]
Moderada	(0,4-0,6]	Moderada	(2-4]	Moderada	0,7	Moderada	(1-2]
Baja	(0,6-0,8]	Baja	(4-8]	Baja	0,8	Baja	(2-4]
Muy baja	(0,8-1]	Muy baja	(8-15]	Muy baja	[0,9-1]	Muy baja	(4-15]

Tabla 10.2.2.1.17. Escala cromática utilizada para la representación del grado de vulnerabilidad

10.2.2.2. Cartografía de vulnerabilidad natural a la contaminación en masas de agua subterránea de naturaleza detrítica (método DRASTIC reducido)

Las masas de agua subterránea de naturaleza detrítica comprenden aquellas cuya litología está constituida fundamentalmente por sedimentos detríticos, así como las constituidas por materiales metapelíticos y otros materiales de baja permeabilidad.

➤ **Método DRASTIC**

El método DRASTIC fue desarrollado por Aller et al. en 1987 y patrocinado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés). Se trata de un método empírico que trata de sistematizar la determinación del potencial de los contaminantes para alcanzar la zona saturada. Esta metodología es denominada así por los siete factores que se tienen en cuenta para la determinación de la vulnerabilidad y su nombre es un acrónimo que responde a las iniciales, en inglés, de las variables utilizadas. Estos factores son:

- Profundidad del agua subterránea (*Depth*)
- Tasa de recarga (*Recharge*)
- Tipo de acuífero (*Aquifer media*)
- Tipo de suelo (*Soil media*)
- Pendiente (*Topography*)
- Impacto de la zona no saturada (*Impact of the vadose zone media*)
- Conductividad hidráulica (Hydraulic Conductivity of the aquifer)

El método asume tres premisas:

- El contaminante es introducido sobre la superficie del terreno
- El contaminante es trasladado al agua subterránea por precipitación
- El contaminante es móvil en el agua

El índice DRASTIC resulta de la suma de estos siete parámetros:

$$D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w = \text{Contaminación Potencial}$$

Donde los subíndices *r* y *w* significan factor de 'clasificación' y factor de 'ponderación' respectivamente.

Este método provee una forma simple de asignar la susceptibilidad de ciertas áreas a la contaminación. Los factores de clasificación se establecen del 1 al 10, mientras los factores de ponderación varían según el parámetro implicado.

A continuación se presentan los factores de clasificación asignados a cada variable en función del valor correspondiente.

- *Profundidad del agua (D)*

<i>Profundidad (m)</i>	<i>Clasificación D_r</i>
30	1
23 - 30	2
15 - 23	3
9 - 15	5
4,5 - 9	7
1,5 - 4,5	9
< 1,5	10

Factor de Ponderación $D_w = 5$

- *Recarga Neta (R)*

<i>Recarga (mm)</i>	<i>Clasificación R_r</i>
0 - 51	1
51 - 102	3
102 - 178	6
178 - 254	8
254	9

Factor de Ponderación $R_w = 4$

- *Medio acuífero (A)*

<i>Tipo de acuífero</i>	<i>Rango de clasificación A_r</i>
Lutita masiva	1 - 3
Metamórfica/Ígnea	2 - 5
Metamórfica/Ígnea meteorizada	3 - 5
Till glacial	4 - 6
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	5 - 9
Arenisca masiva	4 - 9
Arena o grava	4 - 9
Basaltos	2 - 10
Calizas kársticas	9 - 10

Factor de Ponderación $A_w = 3$

- *Tipo de suelo (S)*

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Clasificación S_r</i>
Arcilla no expansiva y desagregada	1
Suelo orgánico	2
Franco-arcilloso	3
Franco-limoso	4
Franco	5
Franco-arenoso	6
Arcilla expansiva y/o agregada	7
Turba	8
Arena	9
Grava	10
Delgado o ausente	10

Factor de Ponderación $S_w = 3$

- *Pendiente (T)*

<i>Pendiente (%)</i>	<i>Clasificación T_r</i>
18	1
12 - 18	3
6 - 12	5
2 - 6	9
0 - 2	10

Factor de Ponderación $T_w = 1$

- *Impacto de la zona no saturada (I)*

<i>Tipo de medio</i>	<i>Rango de clasificación I_r</i>
Arcillas, margas y limos (A)	1 - 2
Esquistos/pizarras (B)	2 - 5
Calizas y dolomías, y yesos (C)	2 - 7
Areniscas (D)	4 - 8
Alternancia de calizas, areniscas, arcillas, margas y calizas margosas (E)	4 - 8

Arenas y gravas con contenido en arcilla (F)	4 - 8
Rocas metamórficas e ígneas (G)	2 - 8
Arenas, gravas y conglomerados (H)	6 - 9
Basaltos (I)	2 - 10
Calizas y dolomías karstificadas (J)	8 - 10

Factor de Ponderación $I_w = 4$

- *Conductividad Hidráulica (C)*

<i>Conductividad Hidráulica</i>	<i>Clasificación C_r</i>
Muy baja	2
Baja	4
Media	6
Alta	8
Muy alta	10

Factor de Ponderación $C_w = 3$

Foster y Skinner (1995) opinan que el método DRASTIC genera un índice de vulnerabilidad de significado poco claro como consecuencia de la interacción de demasiados parámetros con ponderaciones dudosas. Por otra parte, en el estudio MOPTMA-CE (1994) se indica que la consideración de siete factores para evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos requiere de un conocimiento muy profundo de la zona de estudio.

Por este motivo, dada la escasez de datos, en el marco de los trabajos de *Adecuación de las masas de agua subterránea de la cuenca del Guadalete-Barbate a los requerimientos de la Directiva 2000/60/CE* (Tragsatec, 2008) se consideraron los siguientes factores:

- Profundidad del agua subterránea (***Depth***)
- Tasa de recarga (***Recharge***)
- Tipo de suelo (***Soil media***)
- Pendiente (***Topography***)
- Impacto de la zona no saturada (***Impact of the vadose zone media***)
- *Conductividad Hidráulica (Hydraulic Conductivity of the aquifer)*

➤ **Elaboración de mapas temáticos**

La base de la elaboración de los mapas temáticos radica en el análisis espacial mediante la superposición cartográfica de las distintas coberturas asociadas a cada uno de los factores DRASTIC considerados, en formato vectorial o ráster. Dicha superposición se realiza en el entorno de un Sistema de Información Geográfica y, como resultado, se obtiene la zonificación cartográfica del territorio o distribución espacial en áreas a las que se asignan diferentes grados de vulnerabilidad.

En el marco de estos trabajos los valores considerados para cada índice de vulnerabilidad DRASTIC (reducido a 6 factores), se han extraído del estudio de *Adecuación de las masas de agua subterránea de la cuenca del Guadalete-Barbate a los requerimientos de la Directiva 2000/60/CE*. Estos valores se han agrupado en intervalos regulares a los que se asigna un índice DRASTIC tal y como se muestra en la tabla adjunta.

Rango	Índice DRASTIC	
20-38	1	
38-56	2	
56-74	3	
74-92	4	
92-110	5	
110-128	6	
128-146	7	
146-164	8	
164-182	9	
182-200	10	

Tabla 10.2.2.2.1. Intervalos considerados para la asignación del índice DRASTIC y gama cromática utilizada

Para la representación cartográfica de las clases finales se ha utilizado una gama cromática según la cual los colores próximos a rojo indican el mayor grado de vulnerabilidad y los colores próximos a azul representan el menor grado.

Para las masas mixtas, con objeto de realizar una cartografía de vulnerabilidad única para toda la masa, los 10 intervalos de vulnerabilidad (DRASTIC) se han agrupado en 5, coincidiendo con los intervalos obtenidos tras la aplicación del método COP en los sectores carbonatados de estas masas de agua mixtas.

Rango	Valor DRASTIC	Clases de vulnerabilidad	
20-56	1 - 2	Muy Baja	
56-92	3 - 4	Baja	
92-128	5 - 6	Moderada	
128-164	7 - 8	Alta	
164-200	9 - 10	Muy Alta	

Tabla 10.2.2.2.2. Agrupación de rangos y valores del índice de vulnerabilidad para masas de agua subterránea de naturaleza mixta

10.3. RESULTADOS OBTENIDOS

La cartografía de vulnerabilidad resultante representa una primera aproximación al grado de vulnerabilidad natural a la contaminación existente en el ámbito de la demarcación.

En la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate se han identificado un total de 4 masas de agua subterránea de naturaleza *carbonatada*, 8 de naturaleza *detrítica* y el resto, 2 masas, presentan naturaleza *mixta* (con un sector carbonatado y un sector detrítico).

En líneas generales se observa cómo, en las masas de agua subterránea de naturaleza *carbonatada* (o sector carbonatado de las masas mixtas), la clase de vulnerabilidad dominante es *muy alta*, seguida de *moderada*. Por el contrario, en las masas de agua subterránea de naturaleza *detrítica* (o sector detrítico de las masas mixtas), la clase de vulnerabilidad dominante es *moderada*.

En la tabla 10.3.1 se puede observar un resumen estadístico del resultado final obtenido tras el proceso de elaboración de la cartografía de vulnerabilidad en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate. En dicha tabla se muestra la superficie de cada masa de agua subterránea, catalogada en función de su atribución a cada clase de vulnerabilidad.

Es preciso matizar que, en estas superficies, no se ha incluido la extensión ocupada por las aguas superficiales identificadas en el ámbito de cada masa de agua subterránea. De este modo se puede obtener una visión general de las extensiones resultantes para las cinco clases de vulnerabilidad consideradas, así como su proporción relativa en cada masa de agua subterránea.

Código	Nombre	Tipo	Superficie (km ²)					Superficie (%)					Total (km ²)*
			MA	A	M	B	MB	MA	A	M	B	MB	
062.001	SETENIL	M	9,17	24,95	132,63	44,11	12,18	4,11	11,18	59,46	19,78	5,46	223,0
062.002	SIERRA DE LÍBAR	C	26,93	18,04	1,41	2,02	0,53	55,04	36,87	2,89	4,12	1,08	48,9
062.003	SIERRA DE LÚJAR	C	0,00	5,11	15,72	3,07	0,25	0,00	21,16	65,10	12,70	1,05	24,2
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA - PRADO DEL REY	C	115,00	47,01	107,64	80,95	9,95	31,90	13,04	29,85	22,45	2,76	361,2
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA - VILLAMARTÍN	D	0,00	23,51	176,15	78,36	25,14	0,00	7,76	58,10	25,85	8,29	330,2
062.006	SIERRA VALLEJA	M	0,00	3,70	21,98	7,86	3,00	0,00	10,12	60,15	21,51	8,22	37,1
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	C	1,09	13,13	19,78	24,69	4,77	1,71	20,69	31,17	38,91	7,52	63,8
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	D	0,00	73,55	111,97	36,12	1,68	0,00	32,94	50,14	16,17	0,75	225,3
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	D	0,46	31,93	40,67	2,70	0,00	0,61	42,14	53,68	3,56	0,01	75,8
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-PUERTO DE STA. MARIA	D	0,00	22,23	107,55	22,72	0,65	0,00	14,52	70,22	14,83	0,43	153,9
062.011	PUERTO REAL	D	0,04	29,24	74,46	10,13	0,20	0,03	25,63	65,28	8,88	0,17	114,1
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	D	1,09	39,63	67,41	6,73	0,33	0,95	34,41	58,52	5,84	0,28	115,3

Código	Nombre	Tipo	Superficie (km ²)					Superficie (%)					Total (km ²)*
			MA	A	M	B	MB	MA	A	M	B	MB	
062.013	BARBATE	D	3,75	20,90	56,66	32,09	2,27	3,24	18,07	48,98	27,74	1,96	115,7
062.014	BENALUP	D	0,00	1,29	15,97	15,24	0,08	0,00	3,94	49,02	46,78	0,26	32,6

Total	MA	A	M	B	MB	MA	A	M	B	MB	Total (km ²)*
	157,54	354,22	950,02	366,79	61,05	8,34	18,75	50,28	19,41	3,23	1.921,1

Tipo (o naturaleza de la MASb.): C: Carbonatada; D: Detrítica; M: Mixta

Clase de vulnerabilidad: MA: muy alta; A: alta; M: moderada; B: baja; MB: muy baja

(*) Incluye el área o extensión ocupada por aguas superficiales (lagos, lagunas y embalses)

Tabla 10.3.1. Superficie estimada para cada clase de vulnerabilidad, por masa de agua subterránea

Por otra parte, en los diagramas de sectores que se presentan a continuación se muestra de manera gráfica la distribución areal de cada una de las clases de vulnerabilidad obtenidas, en función de la naturaleza de las masas de agua subterránea.

- **Masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada (método COP):**

Como podemos observar en la figura adjunta, en las masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada (o sectores carbonatados de las masas mixtas), las clases de vulnerabilidad dominantes son *muy altas* o *moderadas* (con un 29,5% y un 28,9% respectivamente). Por el contrario, las clases de vulnerabilidad *baja* y *muy baja* solamente representan el 25% de la extensión total considerada.

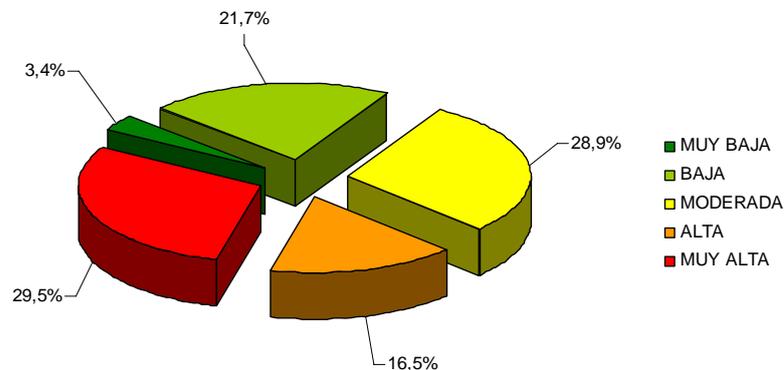


Figura 10.3.1. Distribución areal de las clases de vulnerabilidad natural a la contaminación en masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada

- **Masas de agua subterránea de naturaleza detrítica (método DRASTIC reducido):**

Como podemos observar en las figuras adjuntas, en las masas de agua subterránea de naturaleza detrítica (o sectores detríticos de las masas mixtas), la clase de vulnerabilidad claramente dominante es *moderada* (con un 58,3% respecto a la extensión total considerada). Por el contrario, en estas masas de agua la clase de vulnerabilidad *muy alta* se ve reducida (frente al resultado obtenido para las masas de naturaleza carbonatada), a un 0,4%, lo cual es indicativo de las características intrínsecas y el comportamiento hidrogeológico tan dispar que presentan unos acuíferos frente a otros, en función de su naturaleza y de los procesos erosivos dominantes.

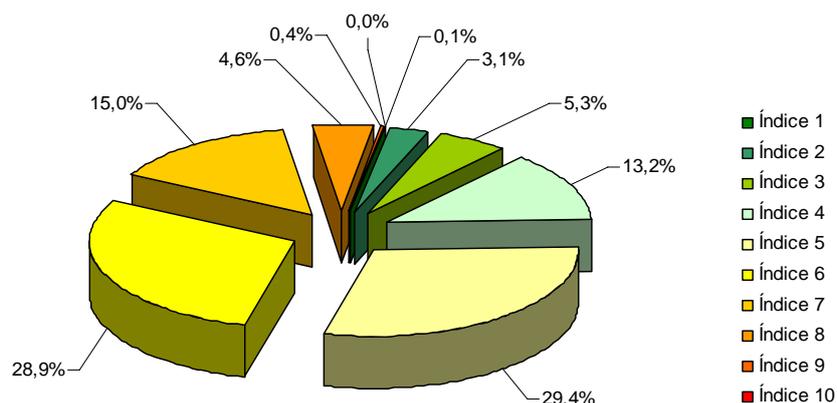


Figura 10.3.2. Distribución areal de los índices de vulnerabilidad DRASTIC obtenidos en masas de agua subterránea de *naturaleza detrítica*

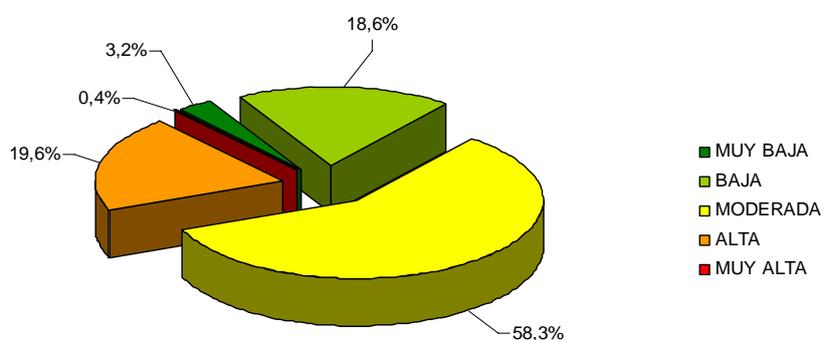


Figura 10.3.3. Distribución areal de las clases de vulnerabilidad natural a la contaminación en masas de agua subterránea de *naturaleza detrítica*

Finalmente, tras un análisis de los resultados a escala global podemos observar cómo en el sector oriental de la demarcación se obtienen vulnerabilidades más elevadas. Este hecho puede estar relacionado, entre otros factores, con la influencia que ejerce la precipitación en la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación y, en el caso concreto de las masas 062.001. Setenil (sector oriental-carbonatado), 062.002. Sierra de Líbar y 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey, con el alto grado de karstificación desarrollado sobre las formaciones carbonatadas que constituyen estas masas (factores C y O del método COP).

Comparativamente, se puede comprobar cómo las masas de agua subterránea 062.003. Sierra de Lijar y 062.007. Sierra de las Cabras, constituidas igualmente por materiales carbonatados mesozoicos e incluidas en las serranías de cabecera, presentan un grado de vulnerabilidad menor, con predominio de las clases *moderada* y *baja*, respectivamente.

Por otra parte, en las masas de agua subterránea localizadas en la zona centro -*cuenca media del Guadalete*- o en el borde occidental -*acuíferos costeros de la costa atlántica de Cádiz*-, la distribución de la vulnerabilidad presenta un patrón homogéneo, con predominio de la vulnerabilidad *moderada*.

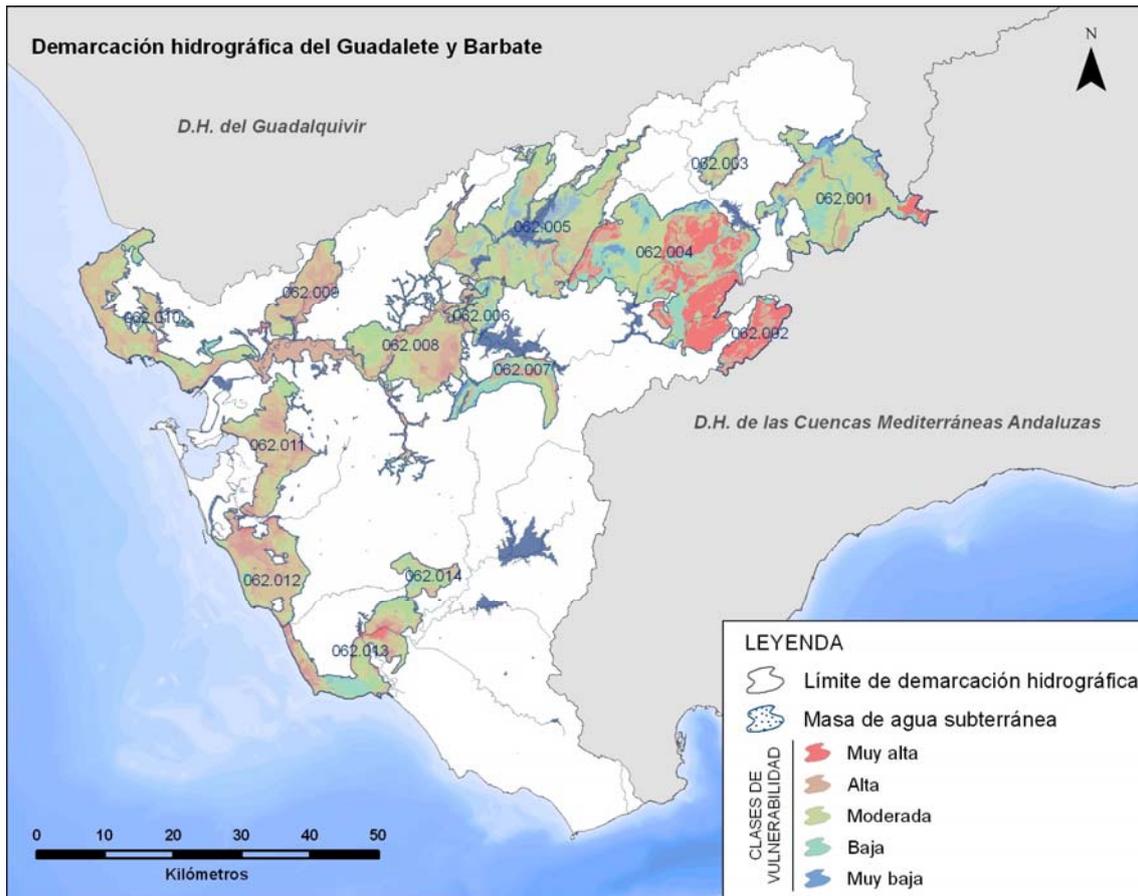


Figura 10.3.4. Cartografía de vulnerabilidad natural a la contaminación en el ámbito de la demarcación

Con objeto de visualizar gráficamente la distribución geográfica, en el eje de abscisas se ha representado la coordenada X del centroide de cada una de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación, en orden creciente (esto es, de Oeste a Este). Por su parte, en el eje de ordenadas se representan, porcentualmente, las clases de vulnerabilidad consideradas (Muy baja; Baja; Moderada; Alta y Muy alta).

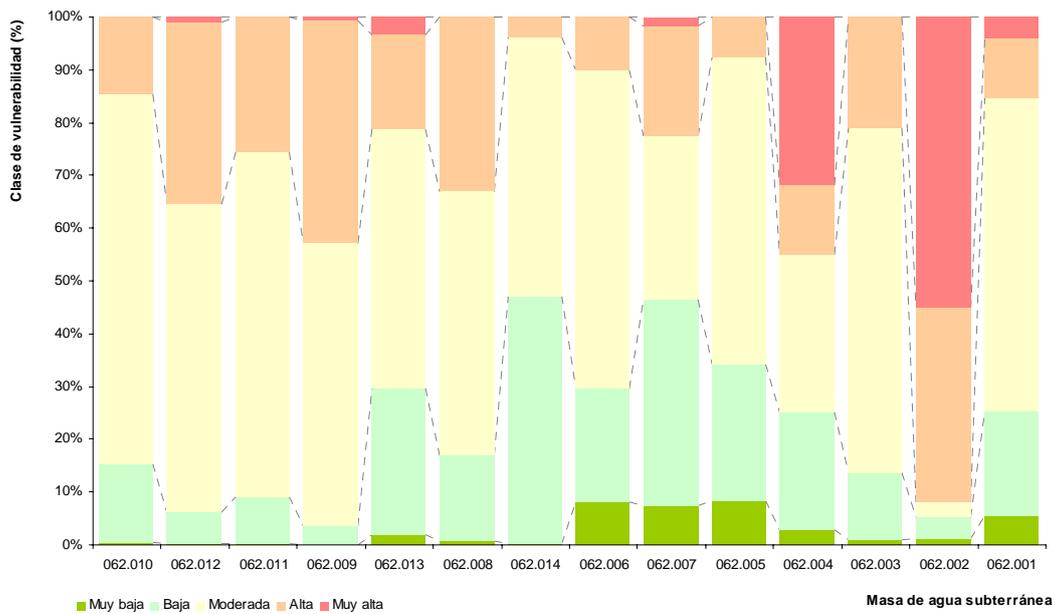


Figura 10.3.5. Distribución porcentual de las clases de vulnerabilidad en las masas de agua subterránea identificadas en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

11. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA COMPARTIDAS ENTRE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS LIMÍTROFES

11.1. INTRODUCCIÓN

La entrada en vigor de la Directiva 2000/60/CE (Directiva Marco del Agua) en diciembre del año 2000 establece la *masa de agua subterránea* como unidad geográfica de referencia para la gestión de las aguas subterráneas en el marco comunitario.

La DMA define en su artículo 2 el término masa de agua subterránea como *un volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos*. Esta definición, sin embargo, no viene acompañada de ninguna aclaración acerca del procedimiento o de los criterios que han de seguirse para llevar a cabo la identificación y posterior delimitación de las masas de agua subterránea, lo cual convierte la aplicación práctica de este término en una de las tareas más complejas de entre las requeridas por la DMA.

Con el fin de orientar a los Estados miembros en el proceso de delimitación de las masas de agua subterránea, la Comisión Europea elaboró en el marco de la estrategia común de implementación (*Common Implementation Strategy*) un documento guía -el número 2 de una serie de 26 que se han publicado hasta la fecha- en el que se aclara el concepto de masa de agua subterránea y se establecen una serie de pautas y recomendaciones para llevar a cabo su delimitación, de forma coherente con las exigencias y filosofía de la Directiva.

En el caso concreto de España este documento guía se completó con un manual elaborado por la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, denominado *Criterios para la identificación y delimitación de masas de agua subterránea*, en el que, basándose en las recomendaciones plasmadas en el documento guía de la Comisión Europea, se establecen una serie de indicaciones para delimitar las masas de agua subterránea en nuestro país.

La primera delimitación de masas de agua subterránea realizada en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate se plasmó en el *Informe Resumen de los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua* elaborado por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, que fue remitido a la Comisión Europea en el año 2005. El resultado fue la identificación de 13 masas de agua subterránea, cuya distribución se observa en la figura adjunta.

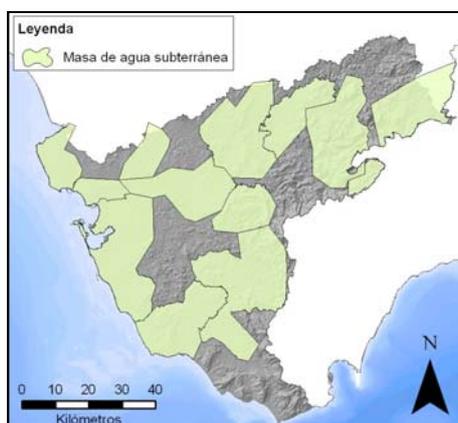


Figura 11.1.1. Masas de agua subterránea definidas en la D.H. del Guadalete y Barbate (año 2005)

En 2008, una vez transferida la gestión de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate a la Junta de Andalucía, se llevó a cabo una redefinición de las masas de agua subterránea que supuso, además de un incremento del número de masas identificadas (de 13 a 14), un cambio significativo de sus límites (figura 11.1.2).

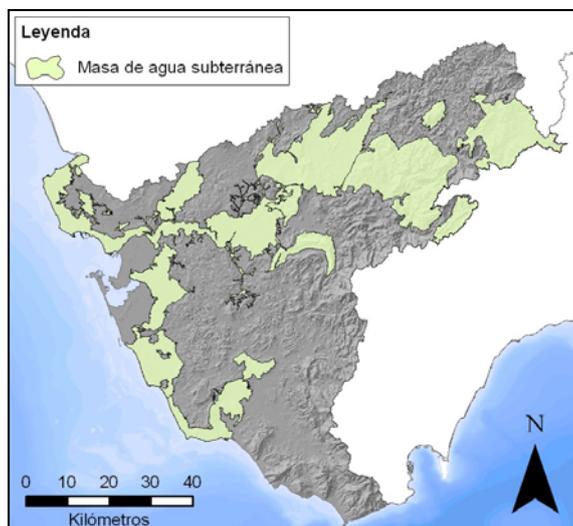


Figura 11.1.2. Masas de agua subterránea definidas en la D.H. del Guadalete y Barbate (año 2008)

Al igual que en el resto de demarcaciones hidrográficas (inter e intracomunitarias), la delimitación de masas de agua subterránea se llevó a cabo de modo que ninguna de ellas sobrepasara los límites de su correspondiente demarcación. Ello supuso que, en algunos casos, se delimitasen varias masas de agua subterránea en un único acuífero ya que éste se extiende a través del territorio incluido en dos o más demarcaciones limítrofes. Este hecho contradice, al menos aparentemente, el contenido del artículo 3 de la DMA, que señala que *en caso de que las aguas subterráneas no correspondan plenamente a ninguna cuenca hidrográfica en particular, se especificarán e incluirán en la demarcación hidrográfica más próxima o más apropiada*. A pesar de ello, la interpretación por la que ha optado la Administración española ha sido la de declarar una masa de agua subterránea diferenciada en cada demarcación hidrográfica, considerando que esta inclusión es la más apropiada desde el punto de vista de una gestión eficaz de los recursos hídricos.

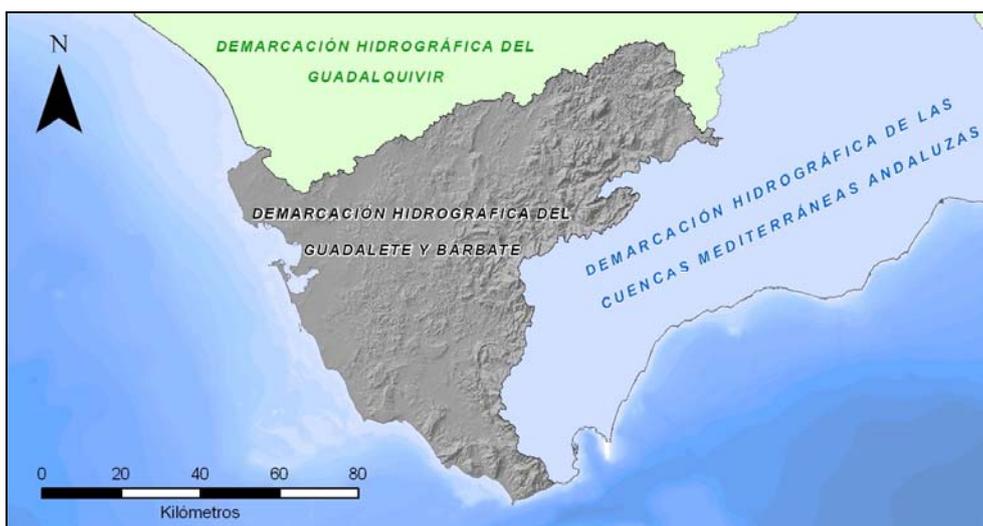


Figura 11.1.3. Demarcaciones hidrográficas limítrofes con la D.H. del Guadalete y Barbate

El objetivo de este capítulo se centra en identificar las masas de agua subterránea *compartidas* existentes en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate. Esto es, aquellas que se definieron en acuíferos cuya extensión sobrepasa los límites de la demarcación y que actualmente limitan con masas de agua subterránea definidas en alguna de las dos demarcaciones limítrofes (Guadalquivir y Cuencas Mediterráneas Andaluzas), con las cuales comparten, en mayor o menor medida, recursos hídricos subterráneos (figura 11.1.3). Estas masas de agua subterránea *compartidas* representan, por tanto, sectores de un mismo acuífero entre los cuales existen o podrían existir transferencias laterales de agua.

11.2. BASE NORMATIVA

11.2.1. DIRECTIVA MARCO DEL AGUA (DIRECTIVA 2000/60/CE)

A pesar de las numerosas referencias a las masas de agua subterránea que contiene esta Directiva, ninguno de sus artículos recoge de manera explícita la obligación de realizar su delimitación. No obstante, la necesidad de comprobar en las masas de agua subterránea varias de las exigencias de la DMA, tales como el cumplimiento de los objetivos medioambientales, el establecimiento de los programas de seguimiento o el análisis de presiones e impactos, entre otras, requiere necesariamente de su previa identificación y delimitación.

La interpretación que hace la Directiva respecto de la asignación de las aguas subterráneas compartidas entre dos o más demarcaciones hidrográficas se recoge en su artículo 3, en el que se establece que estas aguas *se especificarán e incluirán en la demarcación hidrográfica más próxima o más apropiada*.

11.2.2. LEY DE AGUAS

En el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, aún no se hace referencia al concepto *masa de agua subterránea* dado el poco tiempo transcurrido entre la entrada en vigor de la DMA (diciembre de 2000) y la fecha de publicación de este Real Decreto (julio de 2001). El término *masa de agua subterránea* es introducido en el ordenamiento jurídico español mediante la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social, por la que se modifica el texto refundido de la Ley de Aguas con objeto de que ésta incorpore la DMA.

La definición de *masa de agua subterránea* contenida en la Ley 62/2003 coincide con la de la DMA. Sin embargo, el contenido del artículo 3 de la Directiva referente a la asignación de las aguas subterráneas compartidas entre demarcaciones distintas varía ligeramente, en el sentido de que permite que dichas aguas sean incluidas en masas de agua subterránea diferentes, una por demarcación: *Los acuíferos que no correspondan plenamente a ninguna demarcación en particular, se incluirán en la demarcación más próxima o más apropiada, pudiendo atribuirse a cada una de las demarcaciones la parte de acuífero correspondiente a su respectivo ámbito territorial [...]*.

11.2.3. REGLAMENTO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

El Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica (modificado parcialmente por el Real Decreto 1161/2010, de 17 de septiembre), define el término *masa de agua subterránea* de manera idéntica a la DMA y la Ley de Aguas. A diferencia de estas últimas, no obstante, el Reglamento de Planificación Hidrológica contiene un artículo dedicado

específicamente a la identificación y delimitación de masas de agua subterránea (artículo 9), en el que se precisa la forma en que las distintas autoridades de demarcación deben identificar sus respectivas masas de agua subterránea. En concreto, este artículo establece, por un lado, que en cada demarcación hidrográfica se deben identificar las masas de agua subterránea comprendidas íntegramente en su territorio, y por otro que, aparte de esta delimitación, debe elaborarse una propuesta de masas de agua subterránea compartidas con otras demarcaciones, que será incluida en los planes hidrológicos de cuenca y que será tenida en cuenta en el Plan Hidrológico Nacional para su delimitación y caracterización.

11.2.4. INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

La Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica, incluye también la definición de *masa de agua subterránea* (apartado 1.2, definición número 43), así como un listado de criterios que pretenden guiar a los organismos de cuenca en el proceso de identificación y delimitación de las masas de agua subterránea, tales como el uso de las unidades hidrogeológicas como punto de partida para delimitar las masas de agua o los límites impermeables como primer criterio de delimitación.

11.2.5. LEY DE AGUAS PARA ANDALUCÍA

Esta norma, recientemente aprobada mediante la Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas para Andalucía, contiene también la definición de *masa de agua subterránea* (artículo 4, definición número 15), pero no hace ninguna referencia al procedimiento de identificación y delimitación de las masas de agua subterránea o a la asignación de las aguas subterráneas compartidas entre demarcaciones hidrográficas distintas.

11.3. TRABAJOS REALIZADOS

11.3.1. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA

Con anterioridad al inicio de los trabajos se ha realizado un estudio bibliográfico de todos aquellos documentos que pudiesen incluir información de interés en el análisis, diseño y ejecución de la actividad, en relación con las características y funcionamiento hidrogeológico de las masas de agua subterránea 'compartidas' identificadas en la demarcación. Además, se han recopilado las coberturas geográficas de base, red hidrográfica principal y secundaria, así como mapas temáticos de hidrogeología.

11.3.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

El procedimiento que se ha seguido para identificar las masas de agua subterránea compartidas de la demarcación del Guadalete y Barbate ha sido el siguiente:

1. Identificación de las masas de agua subterránea limítrofes: el primer paso ha consistido en la identificación de las masas de agua subterránea que, habiendo sido definidas en demarcaciones hidrográficas diferentes, presentan algún contacto en común.

2. Análisis de cada pareja de masas de agua subterránea limítrofes: mediante este análisis se ha pretendido clasificar en dos grupos las masas de agua subterránea limítrofes identificadas en la etapa anterior: las que se consideran *compartidas*, entendiéndose como tales aquellas que representan sectores diferentes dentro de un mismo acuífero cuyos recursos hídricos están compartidos entre las dos masas de agua, y las que no lo son. Los criterios que se han utilizado para calificar como *compartidas* dos masas de agua subterránea limítrofes han sido básicamente dos:

- Unidades hidrogeológicas compartidas: la inclusión de una masa de agua subterránea en el listado de unidades hidrogeológicas compartidas del anexo I del Plan Hidrológico Nacional (Ley 10/2001, de 5 de julio), se ha considerado un factor determinante a la hora de calificarla de *compartida*.
- Recursos hídricos compartidos: para que dos masas de agua subterránea se consideren *compartidas* se ha considerado condición sine qua non que sus recursos hídricos estén compartidos, es decir, que exista o, con la información disponible, se considere de una manera razonada que pueda existir una transferencia de recursos subterráneos de una masa hacia la otra. Los criterios que se han tenido en cuenta para realizar esta valoración han sido los siguientes:
 - ✓ Permeabilidad de los materiales que afloran en la zona de contacto entre las dos masas de agua subterránea limítrofes.
 - ✓ Distribución de las cotas piezométricas del acuífero (mapa de isopiezas) o, en su defecto, direcciones y sentido del flujo subterráneo.
 - ✓ Coincidencia del límite actual entre las dos masas de agua subterránea con una divisoria hidrogeológica.
 - ✓ Existencia de transferencias laterales de agua subterránea de una masa a la otra.

La información necesaria para realizar este análisis se ha obtenido principalmente de la consulta de informes, comunicaciones y otros documentos (atlas hidrogeológicos, por ejemplo) en los que se describen las características hidrogeológicas de los acuíferos que constituyen las diferentes masas de agua subterránea (en el anexo 1 se presenta un listado de los documentos consultados). También se ha empleado el 'Mapa litoestratigráfico y de permeabilidad de España' a escala 1:200.000, editado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y el Ministerio de Medio Ambiente (2006), y los mapas geológicos de España a escala 1:50.000 de la serie MAGNA editados por el IGME.

3. Estimación de los recursos hídricos compartidos: en aquellas masas de agua subterránea compartidas en las que ha sido posible, se ha realizado una estimación cuantitativa de los recursos hídricos que son transferidos de una masa a otra; en las masas de agua en las que no ha sido posible realizar esta estimación, se ha intentado valorar el volumen total de recursos compartidos entre las dos masas de agua subterránea, con independencia del destino de dichos recursos. El objetivo perseguido con ello ha sido facilitar la gestión de estas masas de agua subterránea compartidas en lo que respecta a la distribución o asignación de sus respectivos recursos hídricos subterráneos.

11.3.3. MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA LIMÍTROFES

En la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate se han definido 14 masas de agua subterránea (figura 11.1.2), de las cuales sólo dos limitan con masas de agua subterránea definidas en alguna de las demarcaciones hidrográficas limítrofes (Guadalquivir o Cuencas Mediterráneas Andaluzas; figura 11.1.3). En la tabla 11.3.3.1 se muestra un listado con estas dos masas de agua subterránea, con indicación de las masas limítrofes y en la figura 11.3.3.1, la posición que ocupa cada una de ellas.

MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA (D.H. Guadalete y Barbate)		MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA (DD.HH. limítrofes)		
Código	Nombre MASb.	Código	Nombre MASb.	Demarcación
062.001	Setenil	060.042	Depresión de Ronda	Cuencas Mediterráneas Andaluzas
		060.043	Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla	
		05.72	Sierra de Cañete	Guadalquivir
062.002	Sierra de Líbar	060.044	Sierra de Líbar	Cuencas Mediterráneas Andaluzas

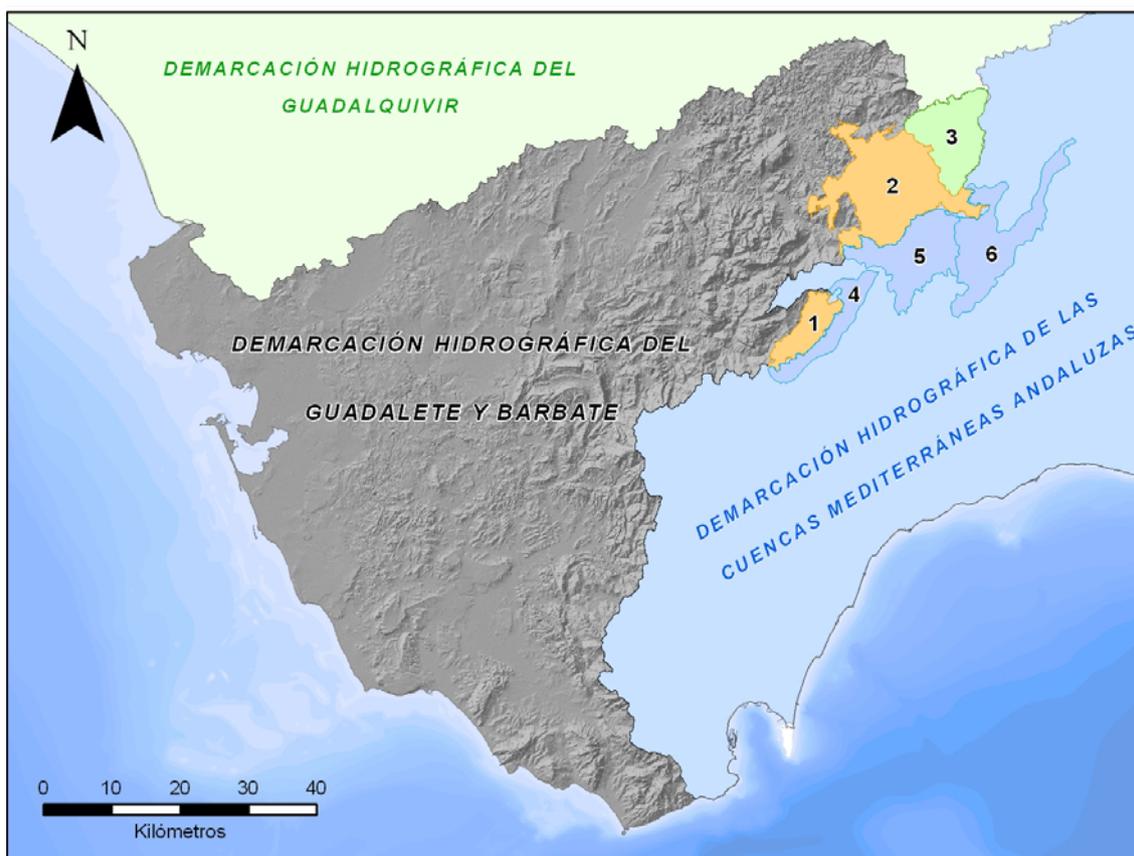
Tabla 11.3.3.1. Masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate que limitan con masas de agua subterránea definidas en demarcaciones hidrográficas adyacentes

Los criterios que se han considerado para calificar de 'limítrofes' dos masas de agua subterránea han sido los siguientes:

- ✓ Que las masas de agua subterránea estén en contacto
- ✓ Que la longitud de dicho contacto sea significativa respecto al perímetro de las masas de agua subterránea
- ✓ Que dicha zona de contacto esté constituida por materiales permeables, de modo que no pueda descartarse la existencia de transferencias laterales de agua entre las masas de agua subterránea limítrofes

De las dos masas de agua subterránea limítrofes identificadas en la demarcación del Guadalete y Barbate (tabla y figura 11.3.3.1), solamente la Sierra de Líbar está incluida en el listado de unidades hidrogeológicas compartidas del Plan Hidrológico Nacional (Ley 10/2001, de 5 de julio) ⁶.

⁶ El Plan Hidrológico Nacional considera acuíferos compartidos los que, estando situados en ámbitos territoriales de dos o más Planes Hidrológicos de cuenca, se enumeran en su anexo I.



D. H. del Guadalete y Barbate

1. 062.002 Sierra de Líbar
2. 062.001 Setenil

D. H. del Guadalquivir

3. 05.72 Sierra de Cañete

D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas

4. 060.044 Sierra de Líbar
5. 060.042 Depresión de Ronda
6. 060.043 Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla

Figura 11.3.3.1. Localización de las masas de agua subterránea limítrofes identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

11.4. RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado se ha procedido a analizar de manera individualizada cada pareja de masas de agua subterránea limítrofes identificadas en el apartado anterior, con objeto de avanzar en el conocimiento de aquellas que se consideren *compartidas*. Una vez identificadas, se ha realizado un análisis de cada una de ellas con el fin de precisar, en la medida de lo posible, la cuantía de las transferencias laterales entre cada par de masas de agua subterránea compartidas; si esto no es posible, el volumen de recursos que comparten, y si no, al menos el sentido del flujo subterráneo entre ambas. En definitiva, con esta actividad se pretende aportar datos que faciliten la gestión de las masas de agua subterránea compartidas, especialmente en términos de asignación de recursos hídricos.

11.4.1. SETENIL (062.001)-DEPRESIÓN DE RONDA (060.042)

Las masas de agua subterránea Setenil (demarcación del Guadalete y Barbate, 223 km² de superficie) y Depresión de Ronda (demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, 118 km²) se localizan entre las provincias de Cádiz (sector oriental) y Málaga (sector occidental), y son el resultado de la división del acuífero detrítico de la depresión de Ronda en dos masas de agua subterránea, una por demarcación (números 2 y 5 en la figura 11.3.3.1). Los materiales permeables que las constituyen corresponden a los

depósitos detríticos miocenos del relleno de la depresión de Ronda, calcarenitas y conglomerados fundamentalmente, si bien la masa de agua subterránea 062.001. Setenil incluye además algunos afloramientos de areniscas del mioceno inferior y varios afloramientos carbonatados compuestos por calizas y dolomías jurásicas: el extremo suroeste de la Sierra de Cañete (borde centro-oriental de la masa de agua), la Sierra de Carrasco (en el sector más oriental de la masa) y los hachos de Lagarín y Malaver, situados al sur y sureste de El Gastor respectivamente (figura 11.4.1.1).

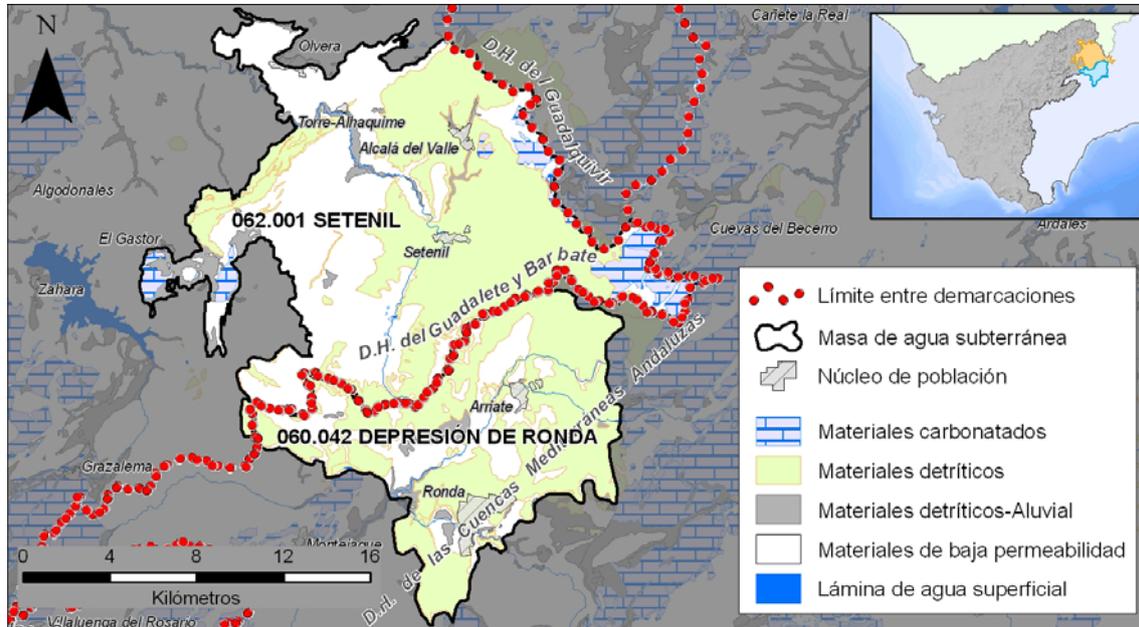


Figura 11.4.1.1. Detalle de las masas de agua subterránea Setenil (062.001) y Depresión de Ronda (060.042)

El límite entre estas dos masas de agua subterránea corresponde a la divisoria hidrográfica entre las demarcaciones mediterránea y atlántica, y coincide en gran medida con una divisoria hidrogeológica relacionada con la elevación del sustrato triásico del acuífero (figura 11.4.1.2.). Así, el agua de lluvia que se infiltra en la masa de agua Depresión de Ronda se dirige con componente sur y este hacia el río Guadiaro, en tanto que la que se infiltra en la masa de agua Setenil se dirige, con componente norte, hacia el río Trejo.

En consecuencia, puede considerarse que no existen transferencias laterales significativas entre ambas masas de agua subterránea y, por tanto, que entre ellas no hay un volumen significativo de recursos hídricos compartidos.

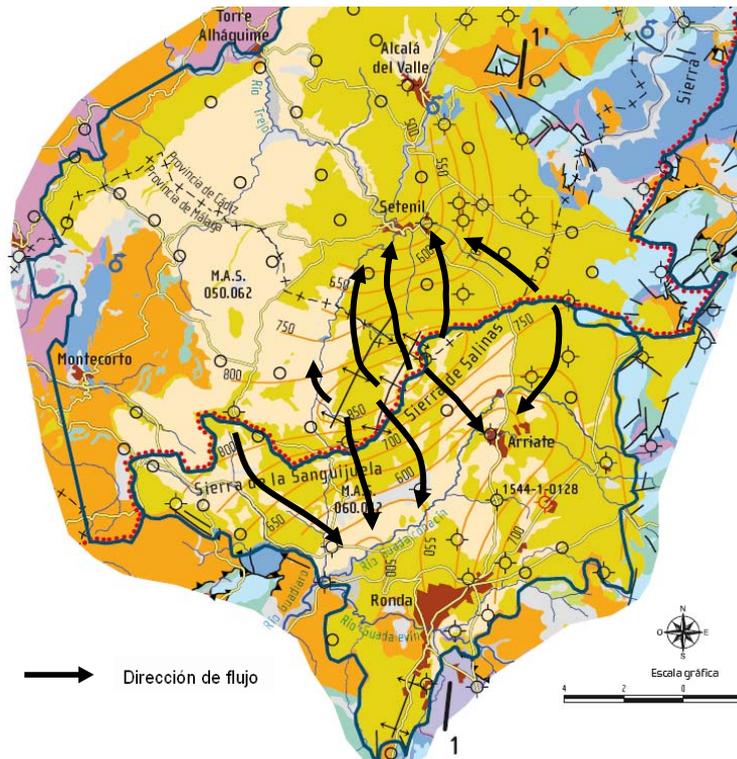


Figura 11.4.1.2. Mapa piezométrico del acuífero de la depresión de Ronda en el que se han señalado las principales direcciones del flujo subterráneo (Fte. Modificado del Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga. IGME-DPM, 2007)

11.4.2. SETENIL (062.001) – SIERRA HIDALGA-MERINOS-BLANQUILLA (060.043)

Estas masas de agua subterránea ocupan los extremos oriental y occidental de las provincias de Cádiz y Málaga, respectivamente (números 2 y 6 en la figura 11.3.3.1). La masa de agua subterránea Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla, incluida en la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, presenta una superficie de 140 km² y está constituida por dolomías y calizas jurásicas que son permeables por fisuración y karstificación. La masa de agua subterránea Setenil, por su parte, se ha definido en la demarcación del Guadalete y Barbate, tiene una extensión de 223 km² y está constituida principalmente por calcarenitas y conglomerados miocenos del relleno de la depresión de Ronda, si bien incluye también algunos afloramientos carbonatados entre los cuales se encuentra la Sierra de Carrasco, que es la que pone en contacto las dos masas de agua que se tratan en este apartado (figura 11.4.2.1).

El contacto entre las masas de agua subterránea Setenil y Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla, que se extiende a lo largo de una distancia próxima a los 16 km, divide en dos varios afloramientos carbonatados que, de acuerdo con la división realizada en el Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga (IGME-DPM, 2007), pertenecen a los compartimentos Sierras de Colorado-Merinos y Llanos de Carrasco.

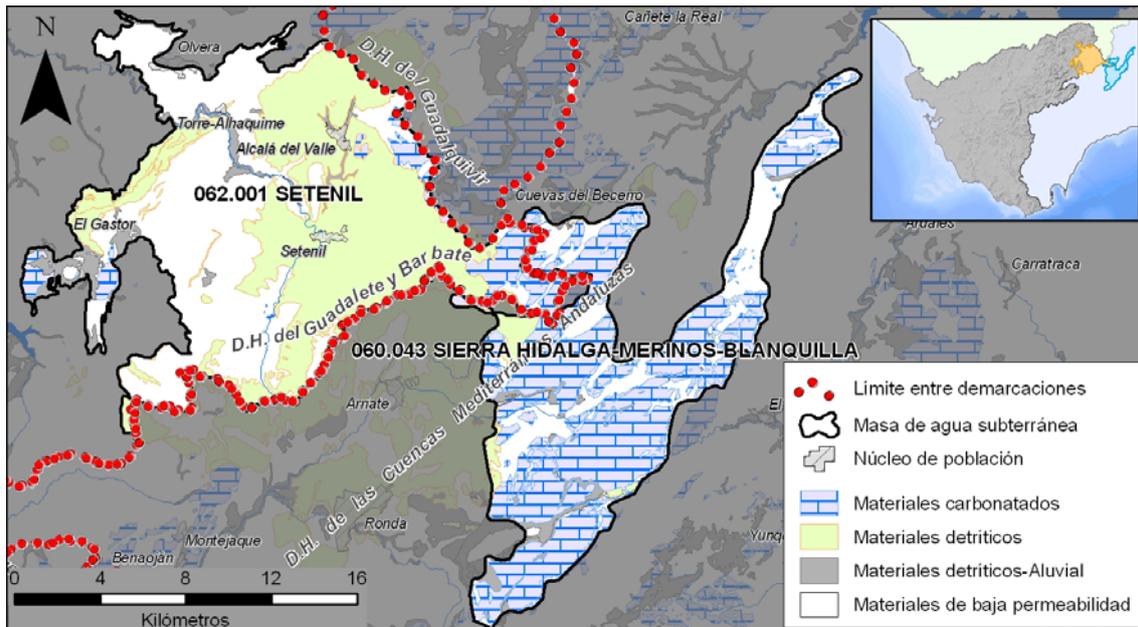


Figura 11.4.2.1. Detalle de las masas de agua subterránea Setenil (062.001) y Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla (060.043)

Los afloramientos carbonatados del compartimento de las Sierras de Colorado-Merinos, incluidos en la masa de agua subterránea Setenil, presentan una superficie de 2,9 km² en los que, considerando una precipitación media de 650 mm/año y un coeficiente de infiltración del 55,3% (estimado mediante el método APLIS), se obtiene una recarga media próxima a 1 hm³/año. Este volumen de agua se descarga a través de los manantiales de Cañamero y Barranco de Palomeras, situados en la cuenca mediterránea, que son los puntos de drenaje natural del compartimento de las Sierras de Colorado-Merinos. Este hecho implica una transferencia de recursos desde la masa de agua subterránea Setenil (demarcación del Guadalete y Barbate) a la masa de agua Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla (demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas) equivalente a las entradas calculadas para el afloramiento carbonatado anterior, esto es, 1 hm³/año.

La distribución de los recursos hídricos del compartimento de los Llanos de Carrasco es más compleja. Las salidas de agua de este compartimento se producen por los manantiales del Carrizal y Fuentezuela, localizados en las proximidades de Cuevas del Becerro (D.H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas; figura 11.4.2.1), cuyo caudal medio conjunto -de acuerdo con los datos incluidos en el Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga- se aproxima a los 65 l/s (2 hm³/año). La superficie de afloramientos permeables de este compartimento incluido en la masa de agua subterránea Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla es de 2,5 km², en los que, utilizando los mismos valores de precipitación media y coeficiente de infiltración anteriores (650 mm/año y 55,3%) se obtienen unas entradas por infiltración de agua de lluvia de 0,9 hm³/año. La diferencia entre las entradas (0,9 hm³/año) y las salidas por manantiales (2 hm³/año) deben atribuirse a una transferencia de recursos desde la masa de agua subterránea Setenil a la masa de agua subterránea Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla, estimable en 1 hm³/año. Esta cifra, sumada a la obtenida previamente para el compartimento de las Sierras de Colorado-Merinos (1 hm³/año), resulta en una transferencia total desde la masa de agua subterránea Setenil (demarcación del Guadalete y Barbate) a la masa de agua subterránea Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla (D.H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas) de aproximadamente 2 hm³/año.

Esta cifra, no obstante, debe considerarse como una primera aproximación al valor real, debido, por un lado, a la incertidumbre de algunos de los datos a partir de los que se ha obtenido (caudal medio de los

manantiales, entre otros), y por otro al escaso conocimiento que se tiene sobre el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos que integran la masa de agua subterránea Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla.

11.4.3. SETENIL (062.001)-SIERRA DE CAÑETE (05.72)

Las masas de agua subterránea Setenil (demarcación del Guadalete y Barbate) y Sierra de Cañete (demarcación del Guadalquivir) se localizan en el límite entre las provincias de Cádiz, Málaga y Sevilla -si bien se extienden sólo por territorio perteneciente a las dos primeras-, en una zona en la que entran en contacto las demarcaciones hidrográficas del Guadalete y Barbate, Cuencas Mediterráneas Andaluzas y Guadalquivir.

La masa de agua subterránea Setenil, de 223 km² de extensión, se ha definido en las calcarenitas y conglomerados del mioceno superior que constituyen el relleno de la depresión de Ronda, si bien incluye otros afloramientos permeables menores entre los que se encuentra el extremo suroccidental de la Sierra de Cañete (figura 11.4.3.1). La masa de agua subterránea Sierra de Cañete, por su parte, tiene una superficie de 107 km² y está formada por la parte del acuífero carbonatado del mismo nombre que queda incluida en la demarcación del Guadalquivir, junto con otros materiales permeables de menor importancia, entre ellos un afloramiento de calcarenitas y conglomerados miocenos similares a los que constituyen la masa de agua subterránea Setenil (figura 11.4.3.1).

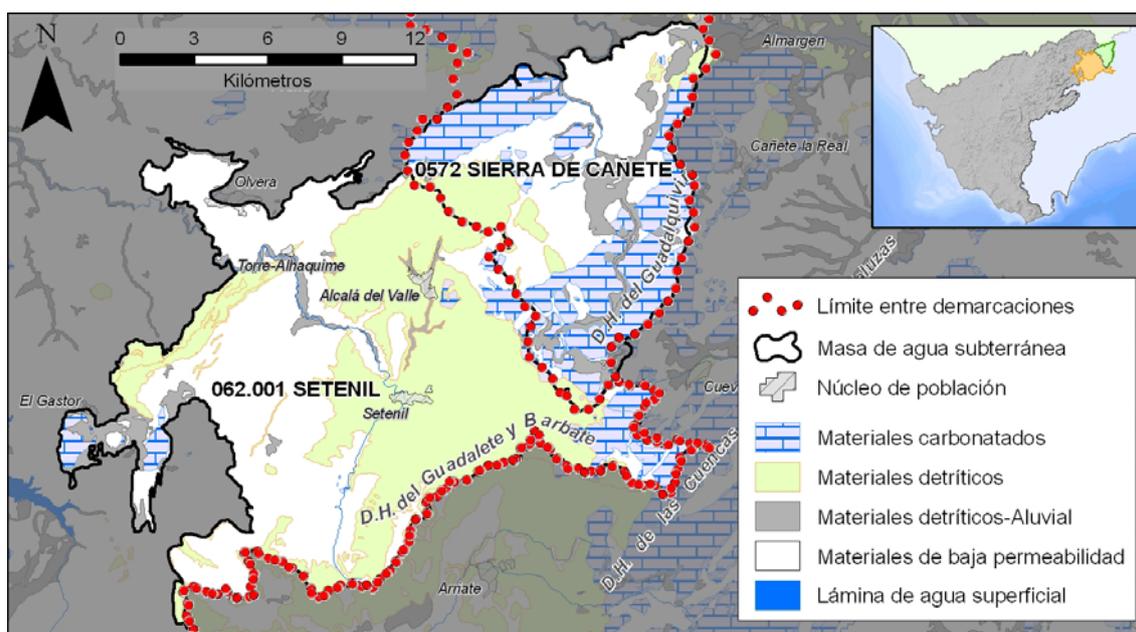


Figura 11.4.3.1. Detalle de las masas de agua subterránea Setenil (062.001) y Sierra de Cañete (05.72)

El contacto entre estas dos masas de agua subterránea (números 2 y 3 en la figura 11.3.3.1) atraviesa tanto las calcarenitas miocenas como las calizas y dolomías jurásicas que forman el acuífero de la Sierra de Cañete, por lo que debe considerarse un límite abierto desde un punto de vista hidrogeológico.

La principal característica hidrogeológica del acuífero de la Sierra de Cañete es su fragmentación en una decena de compartimentos de complejas interrelaciones entre sí (figura 11.4.3.2), de los cuales sólo el de Alcalá del Valle está en contacto con la masa de agua subterránea Setenil. El sector oriental de este compartimento está incluido en la masa de agua subterránea Sierra de Cañete, en tanto que los

afloramientos del sector occidental lo están en la masa de agua subterránea Setenil (figura 11.4.3.1). Sin embargo, toda la descarga del compartimento de Alcalá del Valle se produce hacia la demarcación del Guadalete y Barbate, en concreto a través de los manantiales de Alcalá del Valle y de los bombeos para abastecimiento de esta localidad, Olvera y Torre Alháquime (figura 11.4.3.1). Por consiguiente, el agua de lluvia que se infiltra en los afloramientos carbonatados de este compartimento situados en la cuenca del Guadalquivir (cuya superficie es de 1,4 km²) son transferidos en último término a la masa de agua subterránea Setenil. Considerando una precipitación media de 700 mm/año y un coeficiente de infiltración del 47,9% (estimado mediante el método APLIS), se puede cuantificar dicha transferencia en unos 0,5 hm³/año.

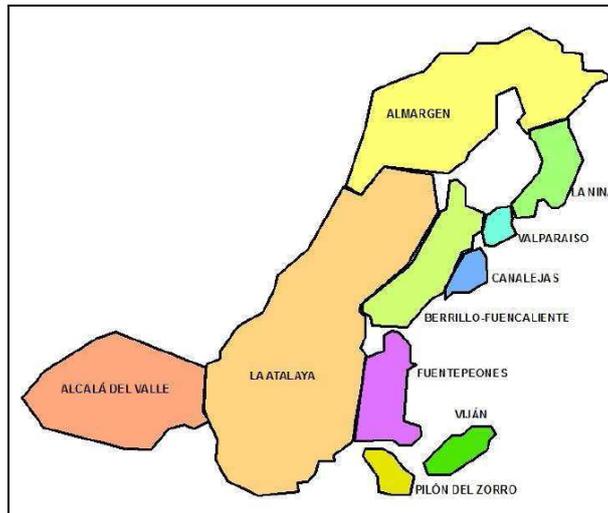


Figura 11.4.3.2. Compartimentos definidos en el acuífero de la Sierra de Cañete (Fte. Estudio Hidrogeológico de la Sierra de Cañete. Consejería de Obras Públicas y Transportes, 2002)

Por lo que respecta al afloramiento de calcarenitas miocenas incluido en la masa de agua subterránea Sierra de Cañete (figura 11.4.3.1), no se conoce el destino de sus recursos, si bien no puede descartarse que finalmente se drenen hacia la masa de agua subterránea Setenil. No obstante, el volumen de recursos de este afloramiento es previsiblemente tan pequeño (inferior a 0,5 hm³/año) que puede considerarse prácticamente nulo frente a los recursos totales de la masa de agua subterránea 062.001. Setenil.

11.4.4. SIERRA DE LÍBAR (062.002)-SIERRA DE LÍBAR (060.044)

El acuífero carbonatado de la Sierra de Líbar está situado en la divisoria de las demarcaciones hidrográficas del Guadalete y Barbate y de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, motivo por el cual se dividió en dos masas de agua subterránea, una por demarcación (números 1 y 4 en la figura 11.3.3.1), a las cuales se les asignó el mismo nombre (Sierra de Líbar) pero diferente código (figura 11.4.4.1). La Sierra de Líbar está incluida en el listado de unidades hidrogeológicas compartidas del Plan Hidrológico Nacional.

Estas dos masas de agua subterránea, que presentan una superficie similar (49 km² la incluida en la cuenca del Guadalete y Barbate y 57 km² la definida en la vertiente mediterránea), integran en realidad un único acuífero cuya recarga se produce por infiltración tanto del agua de lluvia (a través de los afloramientos carbonatados) como de parte de la escorrentía superficial que discurre hacia las simas o sumideros kársticos existentes en el entorno. Las salidas de agua se producen principalmente a través

de varios manantiales, todos ellos situados en la vertiente mediterránea del acuífero, como son: Cueva del Gato, Benaoján, Jimera de Líbar y Charco del Moro. La posición de estos puntos de descarga ha permitido considerar, tradicionalmente, tres direcciones de flujo: una principal hacia el Nordeste y dos menores hacia el Este y Sur, hecho corroborado por un ensayo de trazadores realizado en 2002 (figura 11.4.4.2).

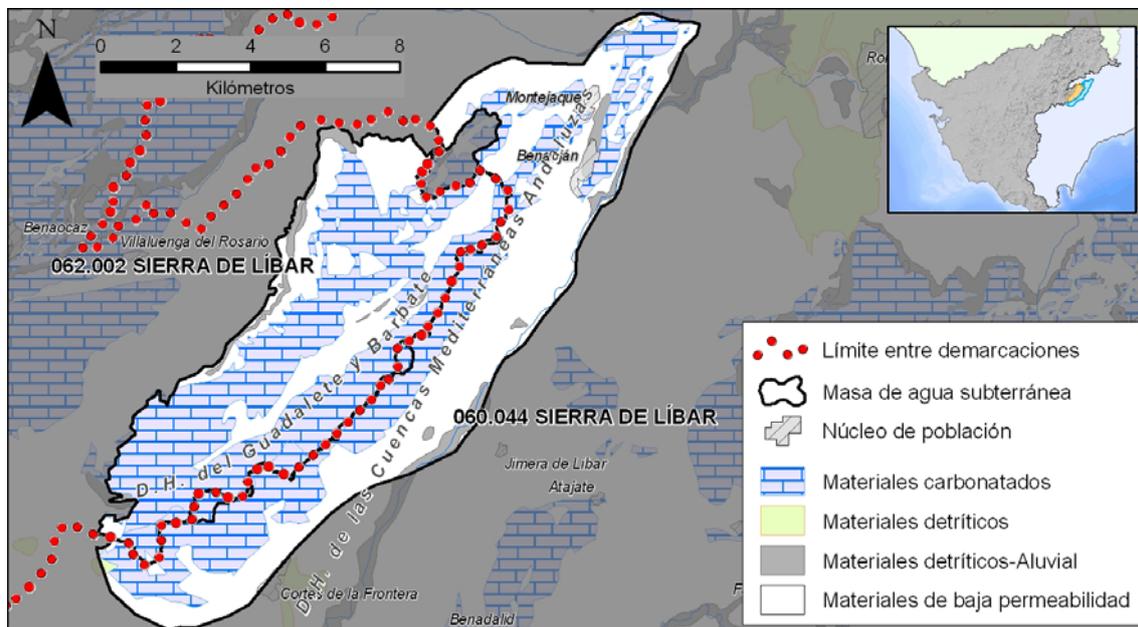


Figura 11.4.4.1. Detalle de las masas de agua subterránea 062.002 y 060.044, Sierra de Líbar

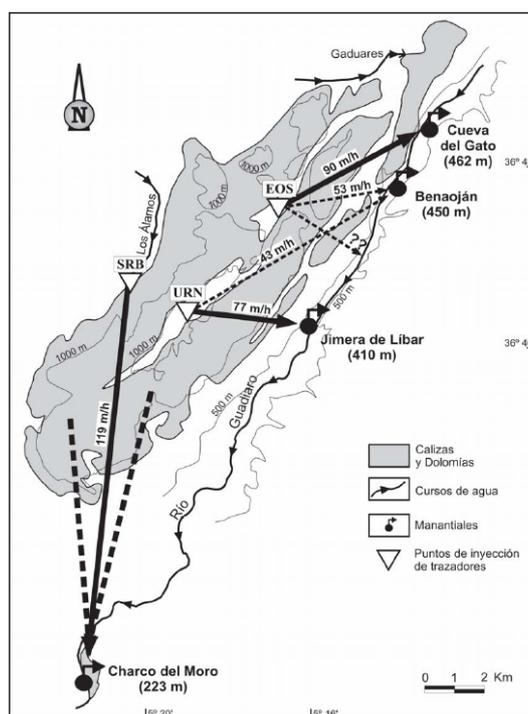


Figura 11.4.4.2. Principales direcciones de flujo en el acuífero de la Sierra de Líbar (Fte. Precisiones sobre el funcionamiento hidrodinámico y la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero kárstico de la Sierra de Líbar (provincias de Málaga y Cádiz, Sur de España) a partir de un ensayo de trazadores. Andreo et al., 2004)

De todo lo anterior se deduce que entre las dos masas de agua subterránea definidas en el acuífero de la Sierra de Líbar existe, no sólo continuidad hidrogeológica, sino transferencia de recursos desde la parte del acuífero situada en la cuenca del Guadalete y Barbate hacia la situada en las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Todas las salidas del acuífero de la Sierra de Líbar (en su conjunto), equivalentes a las entradas y cuantificables en unos 100 hm³/año, se drenan hacia la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (masa de agua subterránea 060.044), a pesar de que aproximadamente la mitad de la infiltración de agua de lluvia sobre los afloramientos permeables y la recarga en los sumideros kársticos de los poljes se produzcan en la cuenca hidrográfica del Guadalete y Barbate (masa de agua subterránea 062.002). Así pues, los recursos hídricos de esta última son transferidos prácticamente en su totalidad a la masa de agua subterránea 060.044 por medio de flujos subterráneos que pueden alcanzar velocidades de flujo elevadas (hasta 100 m/h), lo que hace que, en la práctica, los recursos aprovechables o 'explotables' en la masa de agua subterránea definida en la cuenca del Guadalete y Barbate puedan ser considerados prácticamente nulos. De este modo, los recursos hídricos estimados para el acuífero de la Sierra de Líbar en su conjunto (unos 100 hm³/año) deberían asignarse a la masa de agua subterránea definida en la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (060.044).



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



12. DOCUMENTO DE SÍNTESIS

12.1. TRABAJOS REALIZADOS

La primera tarea acometida en el marco de estos trabajos (**capítulo 1**) ha consistido en la recopilación bibliográfica de todos aquellos documentos de diferente naturaleza (informes técnicos, libros, guías metodológicas, textos jurídicos, comunicaciones científicas, memorias, tesinas, etc.), que se han considerado necesarios para el correcto cumplimiento de los objetivos establecidos en cada una de las actividades a desarrollar. Asimismo, en el anexo 1 se presenta un listado con todos los documentos recopilados, con indicación del autor, título, año de elaboración o publicación, tipo de documento y referencia al archivo en formato .pdf (*portable document format*) en el que se presenta.

Por otro lado se han recopilado las coberturas digitales de base (masas de agua subterránea y superficial, red hidrográfica, zonas vulnerables y sensibles, humedales, modelo digital de elevaciones, cartografía de permeabilidad, geológica e hidrogeológica, usos y tipo de suelo), utilizadas tanto para la realización de análisis estadísticos con información georreferenciada, como para la elaboración de las diferentes salidas gráficas incluidas en la memoria y anexos.

Del mismo modo, para la ejecución de algunas de las actividades, tales como la evaluación del estado de las aguas subterráneas o la revisión de los programas de seguimiento, ha sido necesaria la recopilación y consulta de información relativa a la profundidad del nivel piezométrico en pozos y sondeos, caudal registrado en manantiales o quimismo de las aguas.

El **capítulo 2** de la memoria se centra en la protección de las aguas subterráneas destinadas al consumo humano, para lo cual se han llevado a cabo las siguientes tareas:

- ✓ *Delimitación de perímetros* que protejan las captaciones de agua subterránea destinadas al consumo humano que proporcionen un promedio de más de 10 m³ diarios o que abastecen a más de cincuenta personas, y cuya explotación se localiza en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea.

- ✓ *Delimitación de zonas de salvaguarda* en aquellas masas de agua subterránea que proporcionan un promedio de más de 100 m³ diarios utilizados para la captación de agua potable, que permitan focalizar en ellas las medidas de protección de aguas subterráneas utilizadas para tal fin.

Para cada captación de agua subterránea destinada al consumo humano y cuya explotación se localiza en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea, se han delimitado dos tipos de perímetros: uno para la protección de la *calidad* y otro para la protección de la *cantidad* del recurso.

La metodología propuesta para la delimitación de perímetros de protección de la calidad depende de la naturaleza de la captación. De este modo, en aquellas captaciones en las que existe drenaje mediante bombeo, es decir, *pozos y sondeos*, la delimitación se ha basado en el *método de Wyssling* (Wyssling, 1979, en Moreno Merino *et al.*, 1991), en tanto que en las captaciones cuyo drenaje se produce por gravedad, es decir, *manantiales y galerías*, el perímetro se ha delimitado siguiendo criterios hidrogeológicos.

El método de Wyssling se basa en el cálculo de la zona de llamada de una captación, es decir, de la parte del área de alimentación en la cual puede apreciarse un descenso piezométrico originado como

consecuencia del bombeo, donde las líneas de corriente se dirigen hacia la captación, y la identificación posterior de las elipses o poligonales delimitadas por isocronas para distintos tiempos de tránsito: 1 día, 50 días y 1.460 días (figura 12.1.1). En dichas elipses se establecerán medidas de protección, más restrictivas cuanto menor sea el tiempo de tránsito considerado. Estas medidas son aditivas, es decir, las zonas interiores, más restrictivas, contemplan todas las medidas fijadas en las zonas exteriores, además de las propias.

Las restricciones recomendadas para cada una de estas zonas, a nivel global, son las siguientes (IGME, 2003):

- **Zona inmediata:** tiempo de tránsito de 1 día. Restricciones absolutas. La zona permanecerá vallada para impedir el acceso de personal no autorizado.
- **Zona próxima:** tiempo de tránsito de 50 días. Restricciones máximas. Enfocada a proteger la captación de la contaminación microbiológica.
- **Zona alejada:** tiempo de tránsito de 4 años (1.460 días). Restricciones moderadas. Permite proteger la captación de contaminantes de larga persistencia.

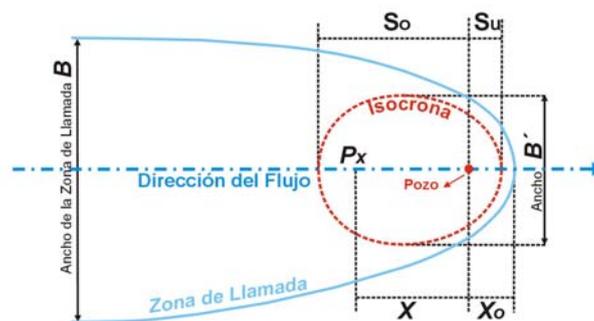


Figura 12.1.1. Determinación de las isocronas mediante la aplicación del método de Wyssling

Por lo que respecta a los perímetros de protección de la cantidad, la metodología empleada para su delimitación también ha dependido de la naturaleza de la captación. En *pozos* y *sondeos* se ha delimitado un área en torno a la captación, de radio variable en función de las características de la misma, así como del comportamiento hidráulico del acuífero captado. Se ha optado por la *fórmula de Jacob* como método para dimensionar dichas áreas de protección, considerando aquel radio cuyo descenso es igual a cero. Con ello se puede delimitar el área teórica donde tendría lugar el descenso del nivel piezométrico como consecuencia del bombeo en la captación.

Para la aplicación de ambos métodos (Wyssling y Jacob) es necesario conocer las características hidráulicas de los acuíferos captados. Por este motivo, previamente a la delimitación de los perímetros, se ha procedido a estimar el valor de los siguientes parámetros:

- i = Gradiente hidráulico
- Q = Caudal bombeado
- K = Conductividad hidráulica
- m_e = Porosidad eficaz
- b = Espesor saturado del acuífero

En el caso de *manantiales* y *galerías* se ha procedido, en primer término, a delimitar el área de alimentación de la captación, la cual se ha considerado, en su conjunto, como perímetro de protección de la cantidad. Esta delimitación se ha realizado mediante criterios hidrogeológicos considerando, entre

otros, los siguientes factores: límites del acuífero captado, cartografía hidrogeológica del entorno de la captación, isopiezas y direcciones de flujo, relación río-acuífero y zonas de emergencia de aguas subterráneas. Dado que las áreas de alimentación de estas captaciones pueden llegar a presentar gran extensión, se plantea la necesidad de realizar una zonación interior aplicando distintos grados de protección en función de la casuística de cada captación.

Para la delimitación de zonas de salvaguarda se ha empleado la metodología desarrollada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), basada en la superposición espacial de capas en un Sistema de Información Geográfica. Concretamente, se parte de la distribución espacial de la cartografía de vulnerabilidad natural a la contaminación y las coberturas de presiones, cuyos valores se reclasifican a componentes binarias para, posteriormente, sumar el resultado. Ello da lugar a cuatro posibles zonas de salvaguarda (tipificadas como A, B, C y D), a las que se asignan distintos grados de restricción tal y como se muestra en la figura adjunta.

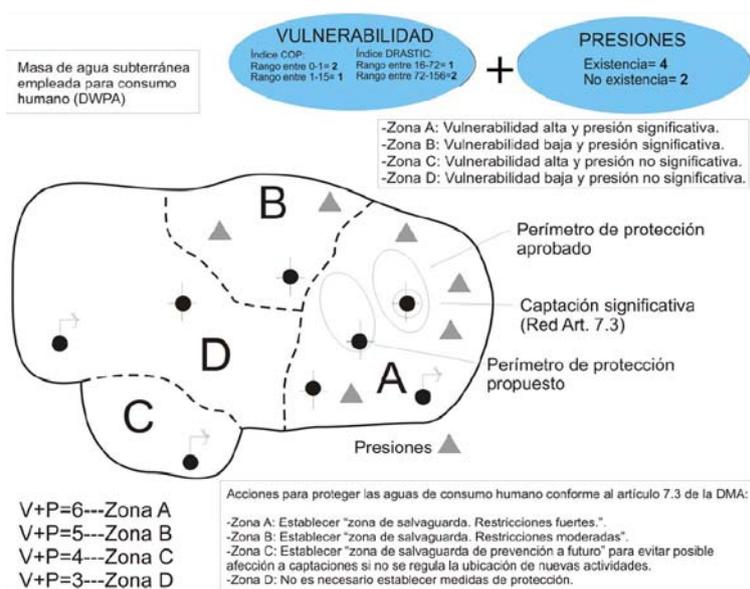


Figura 12.1.2. Metodología empleada para la delimitación de zonas de salvaguarda

La cartografía de vulnerabilidad empleada, generada en el marco de estos trabajos, proviene de la aplicación del método *COP* en el caso de las masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada y del método *DRÁSTIC reducido* en las masas de agua de naturaleza detrítica. Asimismo, las coberturas de presiones utilizadas se han generado a partir de la información recogida en el Plan Hidrológico de la Demarcación (Consejería de Medio Ambiente, 2011).

El resultado final comprende, por tanto, cuatro posibles situaciones de las cuales dependerán las restricciones o medidas a tomar en el futuro, de cara a la gestión de las masas de agua en materia de protección de la calidad del agua para consumo humano.

En un principio la metodología propuesta contempla una serie de medidas a considerar, de un modo genérico, de acuerdo a cada una de las cuatro situaciones posibles:

- Zona A: vulnerabilidad alta y presión significativa. Establecer zonas de salvaguarda con restricciones fuertes.

- **Zona B:** vulnerabilidad baja y presión significativa. Establecer zonas de salvaguarda con restricciones moderadas.
- **Zona C:** vulnerabilidad alta y presión no significativa. Establecer zonas de salvaguarda de prevención a futuro, para evitar posible afección a captaciones si no se regula la ubicación de nuevas actividades.
- **Zona D:** vulnerabilidad baja y presión no significativa. No es necesario establecer medidas de protección.

En el **capítulo 3** se ha llevado a cabo la identificación y delimitación de los acuíferos de interés local existentes en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, entendiéndose como tales aquellos acuíferos que, bien por su pequeño tamaño, bien por suministrar agua para consumo humano en un promedio inferior a los umbrales establecidos en la Directiva Marco del Agua (10 m³ diarios ó 50 personas abastecidas), no han sido definidos como masas de agua subterránea y, en consecuencia, no cuentan con ninguna figura de protección que prevenga cualquier deterioro de su estado químico o cuantitativo.

El procedimiento seguido para la identificación de los acuíferos de interés local se ha basado en el rango de permeabilidad de los afloramientos, en la densidad de captaciones de agua subterránea identificadas, así como en la litología de los materiales aflorantes; en concreto los contactos litológicos en superficie entre materiales permeables y materiales de baja permeabilidad. Para la identificación de aquellos sectores en los que existe una explotación de recursos subterráneos significativa, se ha utilizado la información contenida en diferentes bases de datos: Programa ALBERCA (Inventario de Derechos de Uso de Aguas Subterráneas en España), AGMA (Base de datos de aguas subterráneas del IGME) y CONAGUA, fundamentalmente.

Se han considerado zonas preferentes para la delimitación de acuíferos de interés local aquellos sectores en los que existe una elevada densidad de captaciones emplazadas sobre materiales permeables, o bien cuando, sin existir un elevado número de captaciones de agua subterránea, se ha considerado que los materiales aflorantes presentan un rango de permeabilidad y unas características hidráulicas suficientes como para permitir un flujo significativo de agua subterránea y, por tanto, para que dichas aguas puedan ser explotadas.

En el **capítulo 4** de la memoria se ha procedido a evaluar el grado de representatividad de las estaciones o puntos de control incluidos en los programas de seguimiento del estado químico y estado cuantitativo, actualmente operativos en las masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate. El objeto de esta revisión se centra en identificar las posibles carencias existentes en las redes de control actualmente operativas y realizar diferentes propuestas para su mejora, entre ellas: inclusión de nuevas estaciones de seguimiento en aquellas zonas que presentan una densidad de puntos insuficiente (prestando especial atención a aquellas masas de agua subterránea en las que no existe ninguno), exclusión o sustitución de aquellos que no se consideren representativos y evaluación de la idoneidad del programa de control en el que se incluye cada punto (vigilancia; vigilancia y operativo; vigilancia y zonas protegidas para abastecimiento o zonas protegidas para abastecimiento).

Durante la primera etapa del proceso de revisión y mejora de los programas de seguimiento de las aguas subterráneas se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo de las redes de control actualmente operativas: estado *cuantitativo* y estado *químico*. Con ello se ha pretendido, por un lado, adquirir un conocimiento adecuado del estado actual de las redes de control previamente al proceso de revisión y

mejora y, por otro, identificar las carencias más significativas en su diseño, por ejemplo la ausencia de puntos de control en algunas masas de agua subterránea.

El siguiente paso ha consistido en el establecimiento de los criterios en los que se debe basar el diseño de los programas de seguimiento de las aguas subterráneas. Estos criterios se han obtenido fundamentalmente del contenido y recomendaciones recogidas en el documento Guía nº 15 de la Comisión Europea, sobre el seguimiento de las aguas subterráneas, que fue elaborado en 2007 en el marco de la estrategia común para la implementación de la Directiva Marco del Agua (DMA). En el caso concreto del programa de seguimiento del estado cuantitativo, las dos premisas fundamentales en las que se ha basado su diseño han sido las siguientes:

- ✓ Modelo conceptual de funcionamiento del acuífero.
- ✓ Distribución y características de las presiones.

Se ha propuesto que el seguimiento del estado cuantitativo de las masas de agua subterránea se realice sobre la base de las medidas tomadas en alguno se los siguientes cuatro elementos:

- ✓ Nivel piezométrico en pozos, sondeos y piezómetros.
- ✓ Caudal aforado en manantiales.
- ✓ Caudal aforado en ríos y arroyos en estiaje; (esto es, cuando sus aguas proceden de la descarga de los acuíferos).
- ✓ Nivel del agua registrado en lagos y humedales, cuando éste representa la cota piezométrica del acuífero.

Por lo que respecta a la revisión de la red de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas, los criterios utilizados han sido los siguientes:

- ✓ Existencia de, al menos, un punto de control por masa de agua subterránea.
- ✓ Calificación de la masa de agua respecto al riesgo y al estado químico, de modo que en aquellas definidas *en riesgo* respecto a su estado químico o en mal estado químico, se ha incluido al menos un punto perteneciente a la red de control operativo.
- ✓ Relación proporcional entre el número o concentración de presiones significativas en el ámbito de la masa de agua subterránea y el número de puntos de control necesarios para llevar a cabo el seguimiento de su estado químico.
- ✓ Seguimiento especial de las zonas protegidas de acuerdo con el artículo 6 y el anexo IV de la DMA: durante la revisión y mejora de la red de seguimiento del estado químico se ha prestado una atención especial a las aguas subterráneas destinadas al consumo humano, a aquellos sectores identificados en el ámbito de la masa de agua que hayan sido definidos como zonas vulnerables o sensibles, y a los humedales y masas de agua superficial dependientes de la masa de agua subterránea.
- ✓ Integración, en la medida de lo posible, de las redes de control del estado químico y estado cuantitativo de las aguas subterráneas mediante la elección de los mismos manantiales para realizar ambos controles.
- ✓ Permeabilidad de los materiales.
- ✓ Prioridad de los puntos de control históricos a la hora de proponer ampliaciones de las redes de control actuales.

El objetivo del **capítulo 5** ha sido establecer los niveles de referencia, niveles básicos y valores umbral para cada uno de los contaminantes o indicadores de contaminación responsables de que alguna masa de agua subterránea de la demarcación haya sido definida *en riesgo*, así como identificar las tendencias

significativas y sostenidas al aumento de la concentración de cualquiera de esos contaminantes y definir los puntos de partida de las inversiones de esas tendencias. La definición de los niveles de referencia, niveles básicos, valores umbral, tendencias y puntos de partida de la inversión de tendencias es necesaria para llevar a cabo la evaluación del estado químico de las masas de agua subterránea, que se presenta en el capítulo 6 de esta memoria.

El procedimiento empleado para el establecimiento de los niveles de referencia, niveles básicos y valores umbral se ha basado principalmente en las metodologías descritas en el documento Guía nº 18 de la Comisión Europea (*Guidance on Groundwater Chemical Status and Trend Assessment*) y en las conclusiones del proyecto europeo BRIDGE (*Background Criteria for the Identification of Groundwater Thresholds*), en el que se propone un método aplicable a nivel europeo para el establecimiento de valores umbral en aguas subterráneas.

Antes de proceder al cálculo de los niveles de referencia, niveles básicos y valores umbral, se ha realizado un breve análisis de los parámetros físico-químicos que se están registrando actualmente en la red de seguimiento del estado químico de las masas de agua subterránea de la demarcación del Guadalete y Barbate, con objeto de verificar si se está llevando a cabo el control o no de todos aquellos parámetros para los que la Directiva 2006/118/CE establece la obligatoriedad de establecer valores umbral.

Asimismo se realizan una serie de recomendaciones acerca de la conveniencia de controlar estos parámetros en las diferentes redes de control de las aguas subterráneas.

Los niveles de referencia se han establecido a partir de los datos históricos que no están afectados por la contaminación o alteración derivada de la actividad humana. Para aquellos parámetros químicos con un número de datos no afectados por la actividad humana inferior a 60, o bien, para los que no se han podido excluir los datos influenciados por la actividad humana, el nivel de referencia coincide con el valor del percentil 90 de toda la serie de datos considerada. Por el contrario, en aquellos casos en los que se dispone de un número de datos superior a 60, se ha establecido el valor del percentil 97,7 como nivel de referencia.

No obstante, puesto que no se ha podido determinar con claridad el origen natural o antrópico de muchos de los parámetros físico-químicos analizados, se ha considerado oportuno establecer como nivel de referencia para todos los parámetros el valor del percentil 90.

En el caso concreto del nitrato, la elección del nivel de referencia para cada masa de agua subterránea ha variado ligeramente respecto al resto de parámetros:

- Si el percentil 90 del total de muestras es inferior a 10 mg/l, se ha establecido como nivel de referencia este percentil.
- Si el percentil 90 del total de las muestras es superior a 10 mg/l, se ha establecido como nivel de referencia el valor de 10 mg/l.

De este modo se evita que el nivel de referencia considerado para el nitrato sea > 10 mg/l, valor por encima del cual podría deducirse la existencia de cierta alteración del estado natural de las aguas subterráneas.

Los datos hidroquímicos utilizados para la obtención de los niveles de referencia se han tomado de las redes de control del estado químico del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), del Centro de

Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y de la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente.

Asimismo se han establecido tres criterios diferentes para considerar representativa la serie de datos históricos a partir de la cual se han deducido los niveles de referencia:

- ✓ Criterio temporal: la serie de datos debe contener, al menos, tres años de registro.
- ✓ Criterio cuantitativo: el número de muestras analizadas debe ser igual o superior a cinco.
- ✓ Criterio cualitativo: los resultados analíticos no deben mostrar indicios de influencia derivada de la actividad humana.

En el supuesto de que un determinado parámetro físico-químico no haya satisfecho todos y cada uno de estos criterios, el registro analítico no se ha considerado representativo y, por consiguiente, no se ha establecido nivel de referencia alguno.

Los valores umbral se han establecido para todos los contaminantes que, de acuerdo con los resultados de la caracterización inicial efectuada en cumplimiento del artículo 5 de la Directiva Marco del Agua, determinan que alguna masa de agua subterránea de la demarcación se encuentre en riesgo de no alcanzar un buen estado químico, teniendo en cuenta además la relación mínima de contaminantes contempladas en el apartado B del Anexo II de la Directiva 2006/118/CE, constituida por los siguientes contaminantes e indicadores de contaminación:

Sustancias o iones o indicadores presentes de forma natural y/o como resultado de actividades humanas	Sustancias sintéticas artificiales	Parámetros indicativos de salinización u otras intrusiones ⁽¹⁾
Arsénico	Tricoloroetileno	Conductividad
Cadmio	Tetracloroetileno	⁽¹⁾ Por lo que se refiere a las concentraciones salinas resultantes de actividades humanas, los Estados miembros podrán optar por establecer valores umbral bien para el cloruro y el sulfato, bien para la conductividad.
Plomo		
Mercurio		
Amonio		
Cloruro		
Sulfato		

Tabla 12.1.1. Parte B del anexo II de la Directiva 2006/118/CE. Lista mínima de contaminantes y sus indicadores para los que los Estados miembros deben establecer valores umbral de acuerdo con lo dispuesto en el Art. 3

Para la definición de los valores umbral se han tenido en cuenta criterios de uso, en concreto el uso del agua subterránea para el abastecimiento humano. En consecuencia, para el establecimiento de los valores umbral en aquellas masas de agua subterránea destinadas a tal uso, se han tenido en cuenta los valores paramétricos a los que hace referencia el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano (BOE 45/2003, de 21 de febrero).

En el caso concreto de los *nitratos* y los *plaguicidas*, no se han establecido valores umbral puesto que disponen de normas de calidad ambiental, presentadas en el Anexo I de la Directiva 2006/118/CE.

Los niveles básicos se han calculado a partir de los datos registrados en las estaciones de control que constituyen la red de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas, establecida con arreglo al artículo 8 de la Directiva 2000/60/CE, y cuyo registro cubre los años 2007, 2008 y 2009.

También en el capítulo 5 se han determinado las tendencias significativas y sostenidas al aumento de la concentración de cualquier contaminante responsable del riesgo en alguna masa de agua subterránea de la demarcación. Para ello se han generado gráficos de evolución en los cuales se ha representado, de manera individualizada, cada parámetro en relación a cada estación y masa de agua subterránea. Asimismo, en estos gráficos se han añadido los valores correspondientes a los niveles de referencia, valores umbral y normas de calidad, así como los niveles básicos establecidos en cada caso.

El punto de partida de las inversiones de tendencias se ha definido como el momento en que la concentración del contaminante alcanza un valor equivalente al 75% del valor umbral o norma de calidad correspondiente.

En el **capítulo 6** se lleva a cabo la evaluación del estado químico y del estado cuantitativo de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación. Por lo que respecta a la evaluación del estado químico, se han usado los niveles de referencia, niveles básicos y valores umbral definidos en el capítulo 5, así como los resultados de la evaluación de tendencias incluidas en el mismo capítulo.

Los datos utilizados para realizar esta evaluación proceden de los programas de seguimiento del estado químico y cuantitativo establecidos en virtud del artículo 8 de la Directiva 2000/60/CE.

El documento de referencia utilizado para el establecimiento de los criterios de evaluación del estado químico y la evaluación de tendencias de las aguas subterráneas ha sido el documento Guía nº 18 elaborado por la Comisión Europea (*Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias*), en tanto que para la evaluación del estado cuantitativo se han consultado, además del citado documento guía, los informes de coyuntura anuales elaborados por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2008).

La evaluación del estado químico se ha llevado a cabo únicamente en las masas de agua subterránea de la demarcación que se encuentran en riesgo de no alcanzar los objetivos medioambientales fijados en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, puesto que, de acuerdo con el documento guía de la Comisión Europea mencionado en el párrafo anterior, las masas de agua subterránea calificadas sin riesgo pueden considerarse en *buen estado químico* de manera automática.

El procedimiento seguido para evaluar el estado químico de las masas de agua subterránea ha consistido, de modo general, en la comparación del valor promedio registrado para cada parámetro en cada punto de control de la red de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas, con los valores umbral establecidos en el capítulo 5 y las normas de calidad para nitratos y plaguicidas especificadas en la Directiva 2006/118/CE. Aquellas masas de agua subterránea en las que al menos uno de los parámetros responsables de que se definiera en riesgo supera el límite establecido (ya sea un valor umbral o una norma de calidad), han sido definidas en *mal estado químico*.

Con el objetivo de realizar una evaluación del estado químico de las aguas subterráneas lo más completa posible, también se han analizado las concentraciones de otras sustancias que no corresponden ni a aquellas responsables del riesgo en las masas de agua subterránea de la demarcación, ni a las incluidas en el listado mínimo incluido en el anexo II de la Directiva 2006/118/CE (ver tabla 12.1.1). La finalidad ha sido identificar concentraciones elevadas de alguna de estas sustancias que podrían poner en riesgo el cumplimiento de los objetivos medioambientales en las masas de agua subterránea. El resultado ha

sido, como se muestra más adelante, un listado de sustancias y masas de agua subterránea en las que se recomienda realizar un seguimiento específico durante los próximos años, con objeto de controlar su evolución.

Para la evaluación del estado cuantitativo de las masas de agua subterránea se ha utilizado la información registrada en las bases de datos correspondientes a las redes de control del IGME y de la Agencia Andaluza del Agua, relativa tanto a medidas del nivel piezométrico actuales como históricas.

El estado cuantitativo de las masas de agua subterránea se ha evaluado atendiendo a:

- ✓ La *evolución piezométrica* registrada en cada uno de los puntos de control representativos.
- ✓ El *índice de extracción (I.E.)* estimado para cada masa de agua subterránea.
- ✓ El *índice de llenado (iLL)* estimado, para aquellos acuíferos identificados en la masa de agua subterránea que dispongan de suficientes puntos de control representativos.

Para cada punto de control en el que exista un registro de datos suficiente, se ha elaborado un gráfico de *evolución piezométrica* mediante la representación de la cota piezométrica en función del tiempo, lo cual ha permitido identificar gráficamente las tendencias temporales ascendentes o mantenidas en el tiempo, características en principio de un buen estado cuantitativo, y descendentes, relacionadas en principio con un mal estado cuantitativo.

El *índice de extracción*, por su parte, viene definido como el porcentaje de extracción respecto al volumen de recursos disponibles, y se considera un claro indicador a la hora de analizar la presión por sobreexplotación en una masa de agua subterránea.

El *índice de llenado* mensual corresponde a un porcentaje que compara la situación de la masa de agua subterránea en un mes, con la situación tanto de máximo embalse conocido (nivel piezométrico más alto, que corresponde a un índice de llenado del 100%), como de mínimo embalse conocido (nivel piezométrico más bajo, que corresponde a un índice de llenado del 0%). Una vez calculados los índices de llenado mensuales, se ha elaborado un gráfico de evolución para cada masa de agua subterránea. En este gráfico, la envolvente del área obtenida representa la evolución del llenado o vaciado del acuífero, mes a mes, dato que, junto a los valores del índice de extracción estimados y las tendencias de la evolución piezométrica, han permitido evaluar el estado cuantitativo de cada masa de agua subterránea.

En el **capítulo 7** de la memoria se presenta una aproximación al balance hídrico estimado para las 14 masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

Las componentes de *entrada* consideradas han sido:

- ✓ Infiltración del agua de lluvia
- ✓ Infiltración de la escorrentía de superficie
- ✓ Recarga lateral procedente de masas de agua subterránea limítrofes
- ✓ Retornos de regadío
- ✓ Otros

Por lo que respecta a las componentes de *salida*:

- ✓ Bombes de agua subterránea a través de pozos o sondeos
- ✓ Manantiales
- ✓ Descarga difusa hacia ríos, arroyos o el mar
- ✓ Descarga lateral hacia otras masas de agua subterránea limítrofes
- ✓ Otros

La componente de entrada correspondiente a la *infiltración del agua de lluvia* se ha calculado de manera diferente en función de la naturaleza de la masa de agua subterránea (detrítica o carbonatada), debido a que los procesos que controlan la infiltración en cada una de ellas son diferentes. Por lo que respecta a las primeras, esta componente se ha calculado a partir de una metodología específica desarrollada en el marco de los trabajos de *Adecuación de las masas de agua subterránea de la cuenca del Guadalete y Barbate a los requerimientos de la Directiva 2000/60/CE* (Agencia Andaluza del Agua, 2008).

De este modo, el cálculo de la recarga por infiltración del agua de lluvia en las masas de agua subterránea de naturaleza detrítica, así como en la parte análoga de las masas mixtas (aquellas constituidas por un sector detrítico y otro carbonatado), se ha realizado mediante la aplicación del Modelo de Simulación Precipitación-Aportaciones SIMPA(2), elaborado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX y la Subdirección General de Planificación Hidrológica de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Como información de partida se ha utilizado el ráster correspondiente al valor medio anual de infiltración para el periodo 1940/1941-2005/2006 para, posteriormente (con ayuda de un Sistema de Información Geográfica), seguir un procedimiento que comprende las siguientes fases:

- ✓ Suavizado del ráster original reduciendo el tamaño de celda a 50x50 metros.
- ✓ Transformación del ráster a puntos.
- ✓ Interpolación de la capa de puntos para obtener una superficie continua.
- ✓ Recorte de la capa resultante acorde a los límites actuales de cada masa de agua subterránea.

El valor medio de infiltración obtenido para cada masa de agua subterránea (en mm/año) se ha multiplicado por su superficie, con el fin de obtener la recarga por infiltración de agua de lluvia, expresada en $\text{hm}^3/\text{año}$.

En las masas de agua subterránea en cuyo interior se han identificado amplios afloramientos de materiales de baja permeabilidad se ha incorporado una modificación al método anteriormente descrito, con objeto de evitar la sobrestimación de esta componente de recarga, consistente en una ponderación de los valores de infiltración en función del grado de permeabilidad de los materiales aflorantes.

Para el cálculo de la recarga por infiltración del agua de lluvia en las masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada (así como en la parte análoga de las masas mixtas), se ha aplicado el método APLIS; en concreto una versión revisada que supone una mejora en la aplicabilidad y salva algunas limitaciones que presentaba el método APLIS en su versión original (Marín, 2009). El objetivo de este método se centra en desarrollar un procedimiento sencillo que permita estimar la tasa de recarga en acuíferos carbonatados asociada a la infiltración del agua de lluvia (expresada como porcentaje de la precipitación) mediante la combinación de diferentes variables, y establecer el reparto zonal de la recarga en estos acuíferos.

Las variables que contempla el método APLIS modificado son:

- ✓ Altitud (**A**)
- ✓ Pendiente (**P**)
- ✓ Litología (**L**)
- ✓ Formas de Infiltración preferencial (**I**)
- ✓ Suelo (**S**)
- ✓ Características hidrogeológicas: factor de corrección (**F_n**)

A cada variable se le ha asignado un valor comprendido entre 1 y 10 y, generalmente, sigue una progresión aritmética. De este modo, el valor 1 indica la mínima incidencia de los valores de esa variable en la recarga del acuífero, mientras que el valor 10 expresa la máxima influencia en la recarga. Finalmente, el algoritmo utilizado para estimar el porcentaje de recarga es el siguiente:

$$R = [(A + P + 3L + 2I + S) / 0,9] \cdot F_n$$

Una vez estimada la recarga, ésta se representa agrupada en cinco intervalos regulares, a cada uno de los cuales se le asigna una categoría según el porcentaje de lluvia que recarga el acuífero.

INTERVALO	CLASE DE RECARGA
≤ 20 %	Muy Baja
20 - 40 %	Baja
40 - 60 %	Moderada
60 - 80 %	Alta
> 80 %	Muy Alta

Tabla 12.1.2. Categorías del porcentaje de recarga del acuífero

La componente de recarga correspondiente a los *retornos por regadío* se ha estimado a partir de los tipos de cultivos existentes sobre la superficie de cada masa de agua subterránea y de la dotación de riego media estimada para cada uno de ellos. La metodología empleada, que se desarrolló en el marco de los trabajos de *Adecuación de las masas de agua subterránea de la cuenca del Guadalete y Barbate a los requerimientos de la Directiva 2000/60/CE* (Agencia Andaluza del Agua, 2008), ha sido la misma para todas las masas de agua subterránea, independientemente de su naturaleza.

El *volumen de recursos extraídos mediante bombeo* se ha estimado a partir de los datos de consumo facilitados por los gestores supramunicipales de abastecimiento y diferentes comunidades de regantes, de los datos obtenidos tras la caracterización económica de los usos del agua, del registro de concesiones de aguas para el aprovechamiento de las aguas subterráneas, así como de los datos de explotación registrados en el Programa ALBERCA.

El resto de componentes del balance hídrico, tanto de entrada (*infiltración de la escorrentía de superficie, recarga lateral*) como de salida (*manantiales, descarga hacia ríos, arroyos o el mar, descarga lateral*), se han estimado tras la consulta y revisión de numerosos documentos de diversa naturaleza (atlas hidrogeológicos, comunicaciones y artículos científicos e informes técnicos).

Además de las principales componentes del balance hídrico, en el capítulo 7 se incluye una estimación de los recursos disponibles considerados para cada masa de agua subterránea, entendiéndose como tal el valor medio interanual de la recarga total, menos el flujo interanual medio requerido para conseguir los objetivos de calidad ecológica en las masas de agua superficial y ecosistemas terrestres asociados, así como una estimación del *índice de explotación*, definido como el porcentaje que representa la extracción total respecto al volumen de recursos disponibles.

El objetivo del **capítulo 8** ha sido la identificación de áreas hidrogeológicamente favorables para el emplazamiento de nuevos sondeos de captación de aguas subterráneas, de tal modo que su construcción permita cubrir las necesidades hídricas de algunos municipios localizados en el sector nororiental de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate (en concreto la *comarca de la Sierra de Cádiz*), ya que varias poblaciones emplazadas en este sector presentan dificultades para satisfacer la demanda de agua potable durante periodos de sequía prolongados.

En el **capítulo 9** se presenta una propuesta de trabajos para mejorar el conocimiento hidrogeológico de la masa de agua subterránea 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey, sobre todo en lo que se refiere a los aspectos menos conocidos sobre su funcionamiento hidrogeológico que, al mismo tiempo, dificultan la correcta implementación de la DMA; por ejemplo, precisar el volumen de recursos hídricos disponibles y su posible conexión hidráulica con la masa de agua subterránea 062.002. Sierra de Líbar, entre otros.

Los trabajos que se han propuesto para mejorar el conocimiento de esta masa de agua subterránea son los siguientes:

- ✓ Recopilación bibliográfica. Antecedentes
- ✓ Revisión de la cartografía geológica. Elaboración de una cartografía hidrogeológica de detalle y delimitación de los compartimentos hidrogeológicos
- ✓ Inventario de puntos de agua
- ✓ Muestreos de agua de lluvia, manantiales, pozos y sondeos
- ✓ Análisis químicos e isotópicos
- ✓ Ensayo de trazadores
- ✓ Campañas de prospección geofísica
- ✓ Ejecución de sondeos mecánicos (investigación)
- ✓ Trabajos de gabinete

En el **capítulo 10** de esta memoria se describen los trabajos relativos a la elaboración de la cartografía de vulnerabilidad natural a la contaminación en las masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, así como en la parte carbonatada de las masas mixtas. En este caso no ha sido necesario elaborar una cartografía de vulnerabilidad para las masas de agua subterránea de naturaleza detrítica, puesto que esta tarea se realizó en el marco de los trabajos de Adecuación de las masas de agua subterránea de la cuenca del Guadalete y Barbate a los requerimientos de la Directiva 2000/60/CE (Agencia Andaluza del Agua, 2008), ejecutados por la misma consultora responsable de los trabajos que se describen en esta memoria. No obstante, en el caso de las masas mixtas ha sido necesario segregar, en entorno GIS, la parte detrítica y la carbonatada, aplicando posteriormente la metodología específica para cada sector en función de su naturaleza (COP para la zona carbonatada y DRASTIC para la detrítica) y, posteriormente, unificar las cartografías resultantes.

El procedimiento utilizado para evaluar la vulnerabilidad natural a la contaminación en las masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada ha sido el método COP, desarrollado por el Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (Vías *et al.* 2002) para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos carbonatados a partir de tres factores:

- ✓ Factor C (*flow Concentration*), relativo a las condiciones superficiales para la concentración de flujos de agua que recargan el acuífero.
- ✓ Factor O (*Overlying layers*), que depende de las capas de protección del agua subterránea.
- ✓ Factor P (*Precipitation*), relativo a las características de la precipitación.

El *factor O* depende a su vez de las características del suelo que cubre el acuífero (variable OS), y de la litología de la zona no saturada (variable OL). Mediante la suma de las variables OS y OL se obtiene el valor final del factor O:

$$\text{Factor O} = \text{OS} + \text{OL}$$

El *factor C* permite estimar el modo en que se produce la recarga del acuífero y cómo ésta modifica la protección natural proporcionada por el factor *O*. Así, en zonas donde se produce una recarga concentrada, la protección del acuífero es más reducida que en aquellas zonas donde se produce de forma difusa.

Para evaluar el factor *C* se diferencian dos tipos de escenarios. El escenario tipo-1 incluye las cuencas vertientes a un sumidero, en cuyo caso los parámetros que se utilizan son:

- ✓ Distancia al sumidero (d_h)
- ✓ Distancia a los arroyos vertientes al sumidero (d_s)
- ✓ Pendiente y densidad de vegetación (sv)

Finalmente, el valor del factor *C* para este escenario se obtiene del producto de los tres parámetros anteriores:

$$\text{Factor } C = d_h \cdot d_s \cdot sv$$

El escenario tipo-2 considera una recarga de tipo difuso, en cuyo caso el factor *C* se evalúa a partir de los siguientes parámetros:

- ✓ Formas superficiales (sf), que vienen determinadas por el modelado kárstico en superficie y las características de permeabilidad de la capa superficial.
- ✓ Pendiente y densidad de vegetación (sv).

En este escenario, el valor del factor *C* se obtiene a partir del producto de los dos parámetros anteriores:

$$\text{Factor } C = sf \cdot sv$$

Por último, el *factor P* se ha evaluado en función de las variables P_Q (cantidad de lluvia), evaluada como la precipitación media de los años húmedos, y P_I (intensidad de la precipitación), que se estima a partir de la precipitación media de los años húmedos y del número de días con lluvia.

Finalmente, el valor del factor *P* se obtiene de la suma de los dos parámetros anteriores:

$$\text{Factor } P = P_Q + P_I$$

Del producto de los factores *C*, *O* y *P* resulta el índice de vulnerabilidad intrínseca del método COP.

$$\text{ÍNDICE COP} = C \cdot O \cdot P$$

Este índice varía entre 0 y 15: valores próximos a 0 indican vulnerabilidad máxima (mínima protección), mientras que los valores cercanos a 15 corresponden a la mínima vulnerabilidad (máxima protección).

Intervalos del índice COP	Clases de vulnerabilidad del acuífero	
[0 - 0,5]	Muy alta	
(0,5 - 1]	Alta	
(1 - 2]	Moderada	
(2 - 4]	Baja	
(4 - 15]	Muy baja	

Tabla 12.1.3. Clases de vulnerabilidad natural a la contaminación establecidas según el índice COP

Finalmente, los objetivos planteados en el **capítulo 11** de la memoria son esencialmente dos: en primer lugar, identificar las masas de agua subterránea compartidas existentes en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, esto es, aquellas que se definieron sobre acuíferos cuya extensión sobrepasa los límites de la demarcación y que actualmente están en contacto con masas de agua subterránea definidas en alguna de las dos demarcaciones limítrofes (Cuencas Mediterráneas Andaluzas y/o Guadalquivir), con las cuales comparten recursos hídricos subterráneos; y en segundo lugar, evaluar el modo en que se distribuyen los recursos hídricos compartidos entre las dos masas de agua subterránea limítrofes, o lo que es lo mismo, entre las demarcaciones hidrográficas colindantes.

El procedimiento seguido para cumplir estos objetivos ha sido el siguiente:

1. Identificación de las masas de agua subterránea limítrofes, es decir, aquellas que, habiendo sido definidas en demarcaciones hidrográficas adyacentes, presentan algún contacto en común.
2. Análisis de cada pareja de masas de agua subterránea limítrofes con objeto de identificar las que se consideran compartidas, entendiendo como tales aquellas que representan sectores diferentes dentro de un mismo acuífero, cuyos recursos hídricos están compartidos entre las dos masas de agua. Los criterios que se han utilizado, a su vez, para calificar de compartidas dos masas de agua subterránea limítrofes han sido básicamente dos:
 - a. Listado de unidades hidrogeológicas compartidas incluidas en el anexo I del Plan Hidrológico Nacional (Ley 10/2001, de 5 de julio).
 - b. Que exista, o bien, que con la información disponible se considere razonadamente que pueda existir, una transferencia de recursos subterráneos significativa entre las dos masas de agua subterránea. Los elementos que se han tenido en cuenta para realizar esta valoración han sido los siguientes:
 - i. Permeabilidad de los materiales aflorantes en la zona de contacto entre las dos masas de agua subterránea limítrofes.
 - ii. Distribución de las cotas piezométricas del acuífero o, en su defecto, direcciones y sentido del flujo subterráneo.
 - iii. Coincidencia del límite actual entre las dos masas de agua subterránea con una divisoria hidrogeológica.
 - iv. Existencia de transferencias laterales de agua subterránea de una masa a la otra.
3. Estimación cuantitativa de los recursos hídricos transferidos de una masa a la otra o, en su defecto, valoración del volumen total de recursos compartidos entre las dos masas de agua subterránea, con independencia del 'destino' de dichos recursos (a una u otra masa de agua).

12.2. RESULTADOS OBTENIDOS

12.2.1. DELIMITACIÓN DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN Y ZONAS DE SALVAGUARDA

12.2.1.1. Delimitación de perímetros de protección

Tras la delimitación de los perímetros de protección de la calidad del agua utilizando los métodos descritos en el apartado anterior, se han obtenido un total de 93 recintos, correspondientes a los tiempos de tránsito de 1, 50 y 1.460 días. Tras el proceso de revisión y ajuste de estos perímetros en función de las características hidrogeológicas del medio, su número se ha reducido a 70 debido a que muchos de ellos, especialmente los correspondientes a un tiempo de tránsito de 1.460 días, son coalescentes entre sí. El resultado final se muestra en la tabla 12.2.1.1.1.

		1	50	1.460	Total
Nº de perímetros		29	24	17	70
Área (km ²)	Total	2,600	54,674	96,136	153,41
	Media	0,089	2,278	5,655	-
	Máxima	1,878	39,709	39,709	-
	Mínima	0,000051	0,0027	0,0686	-

Tabla 12.2.1.1.1. Parámetros estadísticos de los perímetros de protección obtenidos

Se han obtenido 29 perímetros de protección para un tiempo de tránsito de 1 día, cuya superficie útil total asciende a unos 2,6 km². El tamaño medio es de unos 90.000 m², aunque este valor se ve fuertemente influenciado por la existencia de varios perímetros, localizados en acuíferos carbonáticos de alta transmisividad y elevada velocidad de flujo, donde ha sido necesaria la delimitación de poligonales de gran tamaño. Si se excluyen dichos perímetros, el tamaño medio se vería reducido a unos 3.000-4.000 m² de media.

Para un tiempo de tránsito de 50 días se han obtenido un total de 24 perímetros, que ocupan una superficie aproximada de 55 km². El tamaño medio es de unos 2,3 km², aunque, al igual que en el caso anterior, la gran extensión de unos pocos recintos localizados sobre acuíferos carbonatados, incrementa la media de un modo considerable. Si se excluyen estos perímetros, el tamaño medio es < 0,1 km².

Por último, los recintos correspondientes a un tiempo de tránsito de 1.460 días, 17 en total, presentan un tamaño medio de 5,7 km² y una superficie total de 96 km².

Ocasionalmente, en acuíferos carbonatados con velocidad de flujo elevada, la distancia correspondiente a un tiempo de tránsito de 4 años supera ampliamente los límites del acuífero, por lo que en la mayoría de los casos, el perímetro de 1.460 días se ha hecho corresponder con los límites físicos del afloramiento permeable. Asimismo, en acuíferos de menor extensión, el perímetro de protección de 50 días ha coincidido en algunos casos con el de 1.460 días.

Las formaciones *carbonatadas* son, con diferencia, la litología que aflora con mayor frecuencia en el ámbito de los perímetros delimitados (tabla 12.2.1.1.2). En el caso de los *flysch*, la superficie relativamente importante que representan se debe a que existe un número de captaciones considerable emplazadas sobre esta litología. Por el contrario, en el caso de las rocas carbonatadas el número de captaciones es menor, aunque este hecho se ve compensado por el mayor tamaño medio de los perímetros delimitados, puesto que las velocidades de flujo en estos acuíferos son muy altas.

Litología	Superficie (km ²)			Superficie (%)			Total (km ²)
	1	50	1.460	1	50	1.460	
Dolomías y calizas	1,1	37,6	53,7	1,2	40,7	58,0	92,5
Margocalizas subbéticas	0,0	4,8	5,0	0,4	48,5	51,0	9,9
Flysch	0,2	3,8	16,4	0,7	18,8	80,5	20,4
Coluvial	0,1	2,7	4,7	1,8	35,9	62,3	7,6
Calcarenitas, conglomerados, arenas y limos marinos	0,6	1,3	11,6	4,4	9,5	86,1	13,4
Aluvial	0,5	4,4	4,7	5,5	45,9	48,7	9,6
Total	2,6	54,7	96,1	1,7	35,6	62,7	153,4

Tabla 12.2.1.1.2. Distribución litológica de los perímetros de protección de la calidad delimitados

El diagrama de sectores representado en la figura 12.2.1.1.1 muestra la proporción areal de cada litología para el caso de los perímetros de protección obtenidos para un tiempo de tránsito de 1 día. Como puede observarse, prácticamente la mitad del área corresponde a *formaciones o acuíferos carbonatados*, seguido de *sedimentos aluviales y materiales marinos del Plioceno*.

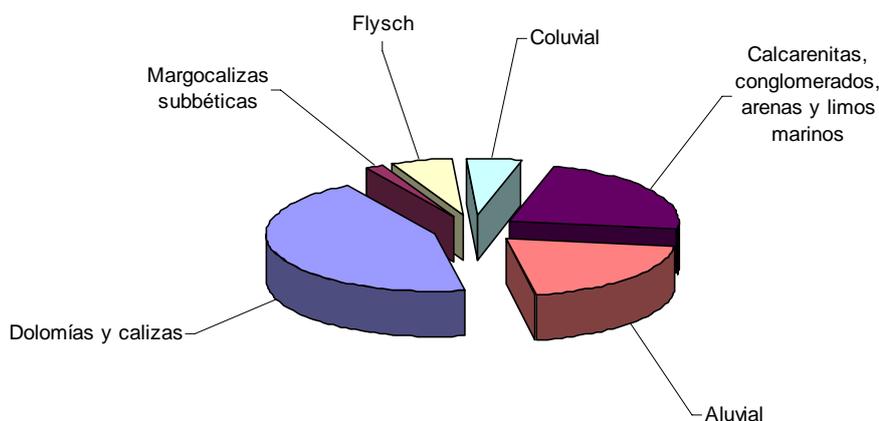


Figura 12.2.1.1.1. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados, para un tiempo de tránsito de 1 día

El diagrama de la figura 12.2.1.1.2, equivalente al de la figura anterior pero para un tiempo de tránsito de 50 días, muestra una proporción de *afloramientos carbonatados* aún mayor respecto a la superficie total de los perímetros delimitados, mientras que otras litologías como los *depósitos aluviales, materiales detríticos marinos o flysch*, son minoritarias.

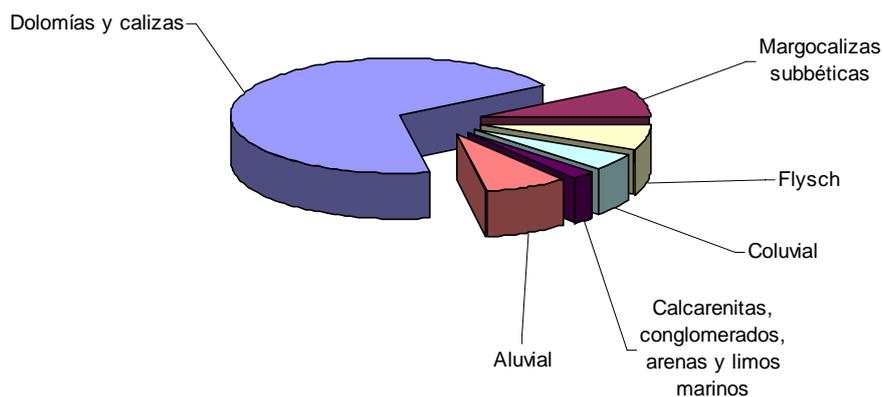


Figura 12.2.1.1.2. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados, para un tiempo de tránsito de 50 días

Finalmente, cuando se representan las superficies de los perímetros de protección delimitados para un tiempo de tránsito de 1.460 días (figura 12.2.1.1.3) se observa, una vez más, que los *afloramientos carbonatados* son claramente dominantes. Destaca, igualmente, el crecimiento de la proporción correspondiente a los *sedimentos marinos del Plioceno* y al *flysch*.

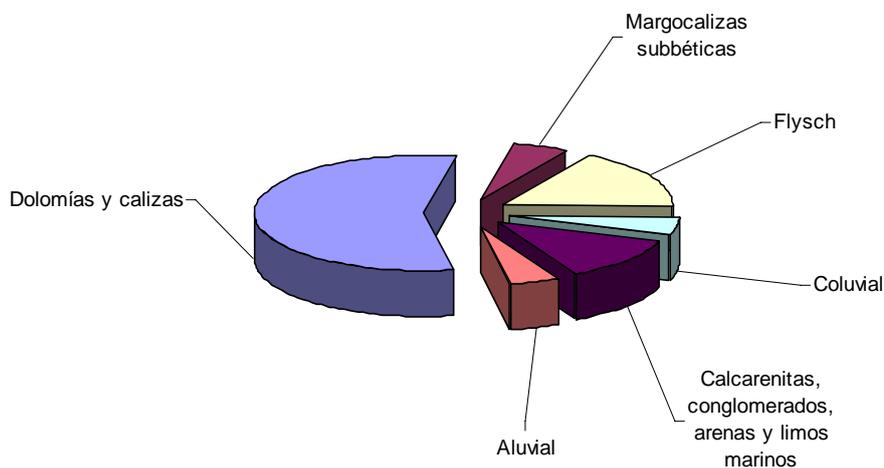


Figura 12.2.1.1.3. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados, para un tiempo de tránsito de 1.460 días

Por lo que respecta a los perímetros de protección de la cantidad, inicialmente se han delimitado un total de 31 perímetros, uno para cada captación, utilizando los métodos descritos en el apartado 12.1. Posteriormente, la revisión de estos perímetros puso de manifiesto que algunos de ellos eran parcialmente coincidentes en el espacio, por lo que, en la medida de lo posible, se han integrado en una sola poligonal que engloba grupos de perímetros coalescentes. Como consecuencia de ello, el número final de perímetros se ha visto reducido a 16 (tabla 12.2.1.1.3), cuyas superficies media y total ascienden a 6,6 y 106,4 km² respectivamente.

Nº de perímetros		16
Área (km²)	Total	106,4
	Media	6,6
	Máxima	39,7
	Mínima	0,85

Tabla 12.2.1.1.3. Parámetros estadísticos de los perímetros de protección delimitados

En la tabla 12.2.1.1.4 y en la figura 12.2.1.1.4 se muestra el área ocupada por el conjunto de los perímetros delimitados en función de la litología aflorante. Tal y como ocurre en el caso de los perímetros de protección de la calidad del agua, las litologías dominantes son los *carbonatos*, con un 54% de la superficie total.

Litología	Superficie (km²)	Superficie (%)
Dolomías y calizas	57,0	53,6
Margocalizas subbéticas	5,1	4,8
Flysch	16,5	15,5
Coluvial	7,4	7,0
Calcarenitas, conglomerados, arenas y limos marinos	15,2	14,3
Aluvial	5,1	4,8
Total	106,4	100,0

Tabla 12.2.1.1.4. Distribución litológica de los perímetros de protección de la cantidad delimitados

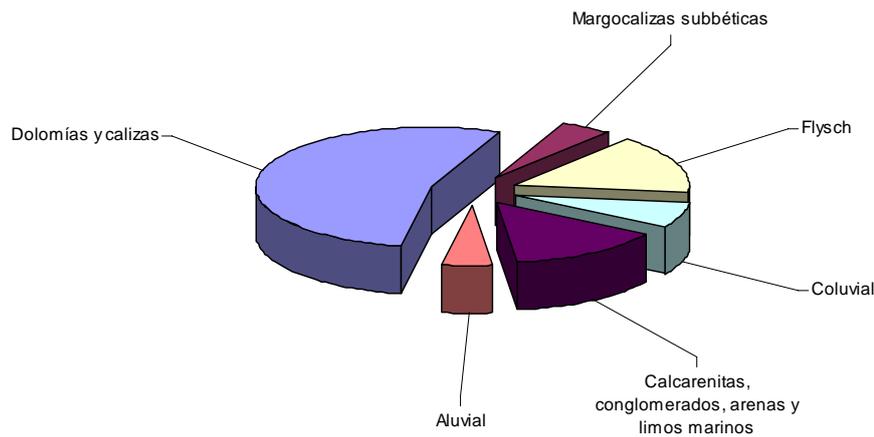


Figura 12.2.1.1.4. Distribución litológica de los perímetros de protección de la cantidad delimitados

Al listado inicial de captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano facilitado por el Servicio de Planificación de la Agencia Andaluza del Agua, se han añadido cuatro puntos singulares inventariados por el IGME en el ámbito de la demarcación del Guadalete y Barbate, en los cuales también se han delimitado zonaciones (perímetros) para la protección de la calidad y cantidad de sus recursos hídricos. Estos puntos singulares o *lugares de interés hidrogeológico*, identificados en el marco del *Plan de conservación, recuperación y puesta en valor de manantiales y lugares de interés hidrogeológico de Andalucía*, se presentan en la tabla 12.2.1.1.5.

Nombre	UTM X(ED50)	UTM Y(ED50)	Provincia	Municipio	Masa de agua subterránea
Manantial Arroyomolinos	288400	4076657	Cádiz	Zahara de la Sierra	MASb. 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey
Nacimiento de Benamahoma	280278	4072129	Cádiz	Grazalema	MASb. 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey
El Hondón	281665	4066801	Cádiz	Benaocaz	MASb. 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey
Ubrique (Grazalema)	281733	4062457	Cádiz	Ubrique	MASb. 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey

Tabla 12.2.1.1.5. Lugares de interés hidrogeológico incorporados al listado de captaciones objeto de estudio

El IGME ha establecido alrededor de cada una de estas captaciones una serie de zonaciones que, al igual que los perímetros de protección de la calidad y de la cantidad, tienen por objeto controlar la extracción de agua subterránea así como las actividades potencialmente contaminantes en el entorno de la captación. La zonación elaborada por el IGME para la protección de la calidad de las aguas consiste en tres sectores (elipses) cuya extensión depende del tiempo de tránsito (ver apartado 2.1.2.2 de la memoria), en tanto que la zona delimitada para la protección de la cantidad se ha dividido, si procede, en varios sectores en función del tipo y grado de restricciones recomendadas; estas subzonas han sido catalogadas como A, B, C y D. En la tabla 12.2.1.1.6 se presenta una breve descripción de las restricciones impuestas en cada una de estas zonas.

TIPO DE ZONA
Zona Tipo A (Restricciones fuertes) La Autoridad competente deberá valorar la viabilidad de NO AUTORIZAR captaciones adiciones ni actividades potencialmente contaminantes.
Zona Tipo B (Limitaciones específicas) Limitaciones específicas condicionantes de volúmenes de explotación, distancias y máxima explotación a añadir a las concesiones ya existentes. Valorar la viabilidad de no autorizar actividades potencialmente contaminantes.
Zona Tipo C (Masa en riesgo de sobreexplotación) No autorizadas captaciones adicionales; valorar la viabilidad de no autorizar actividades potencialmente contaminantes.
Zona Tipo D (Sector de la masa de agua con riesgo de sobreexplotación) No autorizadas captaciones adicionales; valorar la viabilidad de no autorizar actividades potencialmente contaminantes.

Tabla 12.2.1.1.6. Tipología de zonaciones y recomendaciones propuestas en cada zona

Las *rocas carbonatadas* constituyen la litología más frecuente identificada en el ámbito de las zonaciones delimitadas para la protección de la calidad (tabla 12.2.1.1.7). Este hecho resulta coherente con la naturaleza carbonatada de los acuíferos en los que se localizan los cuatro manantiales (Sierra de Grazalema).

Litología	Superficie (km ²)			Superficie (%)		
	1	50	1.460	1	50	1.460
Calcarenitas, arenas, gravas, limos y arcillas (Neógeno)	-	-	0,03	-	-	100,00
Calizas, dolomías y mármoles	0,04	16,45	66,86	0,05	19,74	80,21
Flysch	-	-	0,14	-	-	100,00
Gravas, arenas, arcillas y limos (Cuaternario)	0,04	3,26	14,32	0,23	18,50	81,26
Margas y margocalizas	0,14	4,18	16,95	0,66	19,65	79,69
Total	0,22	23,89	98,30	0,18	19,52	80,30

Tabla 12.2.1.1.7. Distribución litológica de las zonaciones delimitadas para la protección de la calidad en los lugares de interés hidrogeológico

En las figuras 12.2.1.1.5, 12.2.1.1.6 y 12.2.1.1.7 se muestra la distribución de las litologías incluidas en estas zonaciones en función de la superficie que ocupan, para tiempos de tránsito de 1, 50 y 1.460 días respectivamente. Para un tiempo de tránsito de 1 día los materiales predominantes son las *margas* y *margocalizas*, patrón que cambia radicalmente cuando se consideran tiempos de tránsito de 50 y 1.460 días, en los que los *materiales carbonatados* pasan a ser claramente la litología dominante.

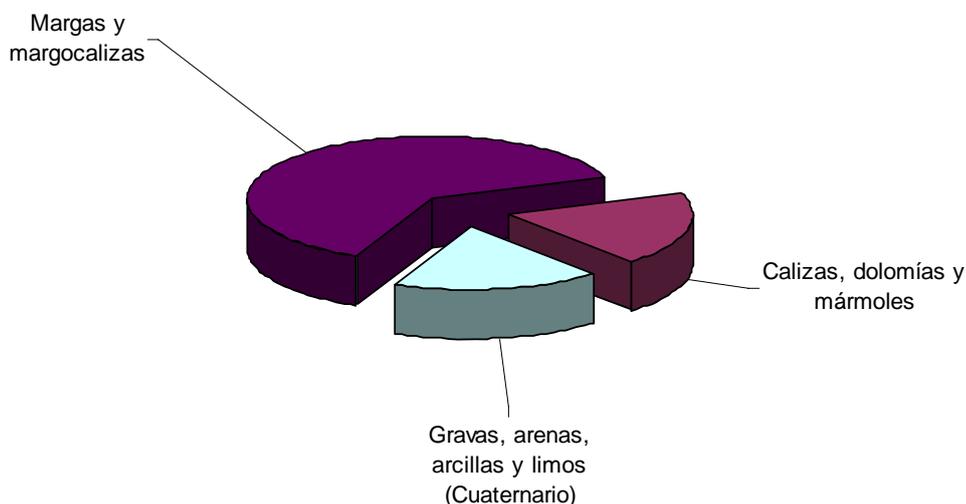


Figura 12.2.1.1.5. Distribución litológica de la zona de protección delimitada, para un tiempo de tránsito de 1 día

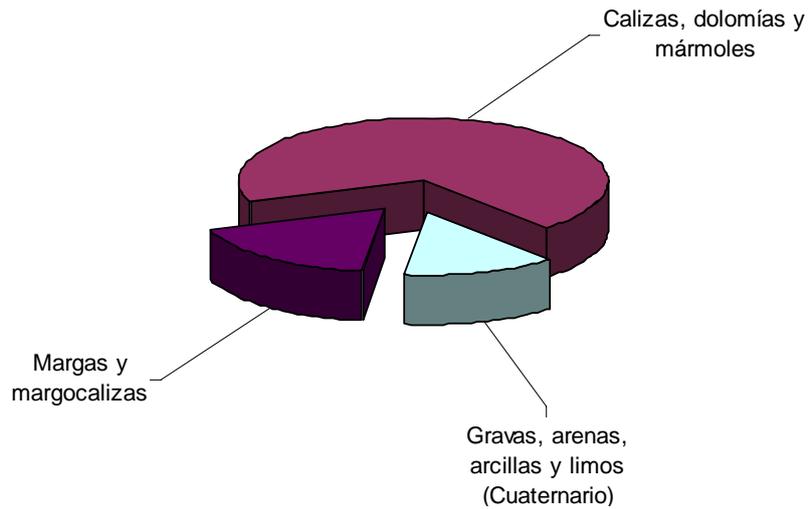


Figura 12.2.1.1.6. Distribución litológica de la zona de protección delimitada, para un tiempo de tránsito de 50 días

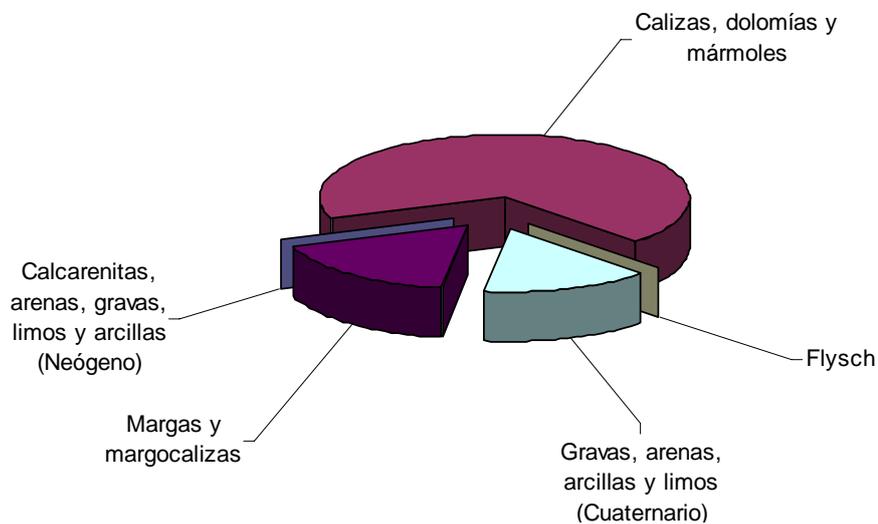


Figura 12.2.1.1.7. Distribución litológica de la zona de protección delimitada, para un tiempo de tránsito de 1.460 días

Por lo que respecta a las zonaciones para la protección de la cantidad en los lugares de interés hidrogeológico, se observa, al igual que en las zonaciones para la protección de la calidad del agua, que las litologías dominantes son las *carbonatadas*, con un 68% del total, seguidas de las *margas y margocalizas* (17%) y de los *depósitos cuaternarios* (15%); (tabla 12.2.1.1.8 y figura 12.2.1.1.8).

Litología	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Calcarenitas, arenas, gravas, limos y arcillas (Neógeno)	0,0	0,0
Calizas, dolomías y mármoles	66,9	68,0
Flysch	0,1	0,1
Gravas, arenas, arcillas y limos (Cuaternario)	14,3	14,6
Margas y margocalizas	17,0	17,2
Total	98,3	100,0

Tabla 12.2.1.1.8. Distribución litológica de las zonaciones para la protección de la cantidad

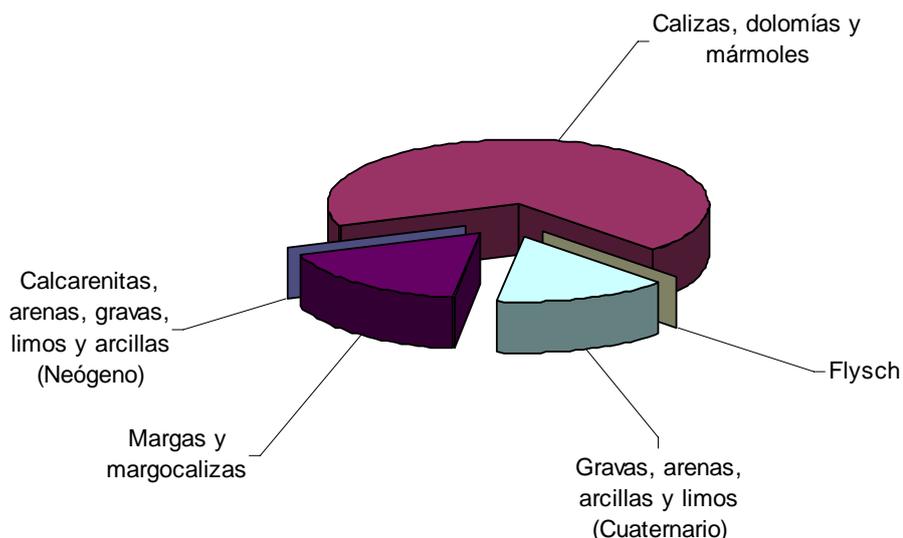


Figura 12.2.1.1.8. Distribución litológica de las zonaciones para la protección de la cantidad

12.2.1.2. Delimitación de zonas de salvaguarda

En la tabla 12.2.1.2.1 se muestra la superficie de cada masa de agua subterránea catalogada en función de su atribución a cada tipo de zona de salvaguarda (A, B, C y D). Hay que recordar que toda la superficie de las masas de agua subterránea se ha incluido en alguna de las cuatro categorías de zonas de salvaguarda, a excepción de la correspondiente a las masas de agua superficial de tipo poligonal (embalses, lagos, lagunas y aguas de transición).

Código	Nombre	Superficie (km ²)				Superficie (%)				Total (km ²)*
		A	B	C	D	A	B	C	D	
062.001	SETENIL	24,0	3,5	143,8	51,7	10,8	1,6	64,5	23,2	223,0
062.002	SIERRA DE LÍBAR	0,0	0,0	45,2	3,7	0,0	0,0	92,3	7,7	48,9
062.003	SIERRA DE LÍJAR	0,0	1,3	5,1	17,7	0,0	5,5	21,0	73,5	24,2
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA - PRADO DEL REY	3,5	6,7	159,8	190,5	1,0	1,9	44,2	52,7	361,2
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA - VILLAMARTÍN	46,2	16,6	154,8	85,6	14,0	5,0	46,9	25,9	330,2
062.006	SIERRA VALLEJA	10,7	2,1	11,5	12,3	28,8	5,6	30,9	33,2	37,1
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	0,4	0,9	13,8	48,4	0,6	1,4	21,7	75,9	63,8
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	119,8	4,5	67,2	31,8	53,2	2,0	29,8	14,1	225,3
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	67,5	0,8	6,0	1,5	89,0	1,1	7,9	1,9	75,8
062.010	SANLÚCAR - CHIPIONA - ROTA - PTO. DE SANTA MARÍA	103,4	15,1	27,0	7,7	67,2	9,8	17,6	5,0	153,9

Código	Nombre	Superficie (km ²)				Superficie (%)				Total (km ²)*
		A	B	C	D	A	B	C	D	
062.011	PUERTO REAL	50,2	2,9	53,8	7,2	44,0	2,5	47,1	6,3	114,1
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	60,2	3,1	48,1	3,8	52,3	2,7	41,7	3,3	115,3
062.013	BARBATE	27,8	5,9	53,7	28,3	24,0	5,1	46,4	24,4	115,7
062.014	BENALUP	6,5	5,6	10,8	9,7	19,9	17,3	33,2	29,6	32,6
Total		520,1	69,0	800,5	499,9	27,1	3,6	41,7	26,0	1.921,1

(*) Incluye el área o extensión ocupada por aguas superficiales

Tabla 12.2.1.2.1. Superficie de las zonas de salvaguarda delimitadas, por masa de agua subterránea

En la figura 12.2.1.2.1 se presenta un mapa de la demarcación con las zonas de salvaguarda delimitadas, distribuidas en función de las cuatro categorías consideradas.

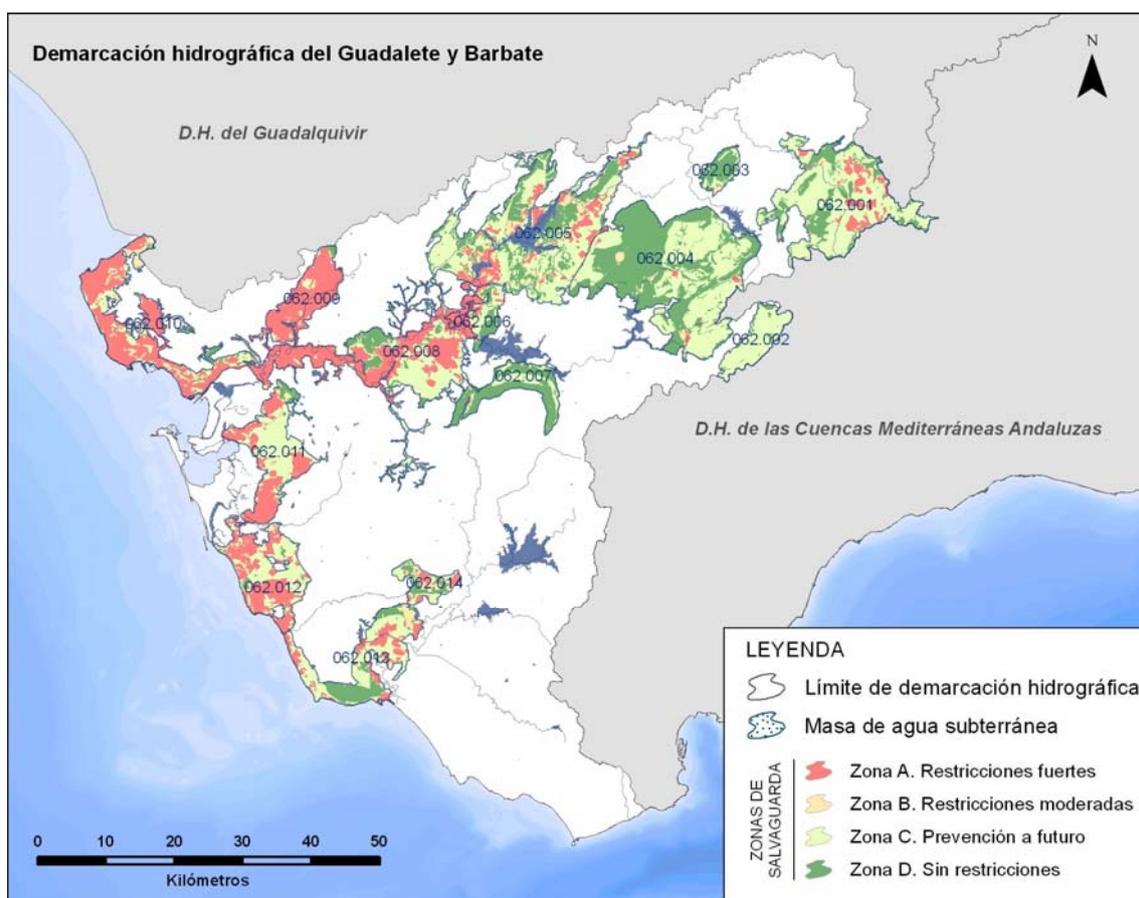


Figura 12.2.1.2.1. Zonas de salvaguarda delimitadas en la D.H. del Guadalete y Barbate

En la tabla 12.2.1.2.2 se muestra la superficie de los cuatro tipos de zonas de salvaguarda delimitadas y su proporción relativa, referidas a las litologías aflorantes.

Litología	Superficie (km ²)				Superficie (%)				Total (km ²)
	A	B	C	D	A	B	C	D	
Calcarenitas, arenas, gravas, limos y arcillas (Neógeno)	86,8	2,8	160,3	24,3	31,7	1,0	58,5	8,9	274,1
Calizas, dolomías y mármoles	4,0	0,7	190,5	41,3	1,7	0,3	80,6	17,5	236,5
Flysch	4,3	2,0	14,3	16,2	11,6	5,3	38,9	44,1	36,8
Gravas, arenas, arcillas y limos (Cuaternario)	298,2	30,4	247,4	120,5	42,8	4,4	35,5	17,3	696,5
Margas y margocalizas	10,3	8,7	45,2	193,5	4,0	3,4	17,5	75,1	257,7
Margas, arenas y limos (Plioceno)	116,5	24,5	142,8	104,1	30,0	6,3	36,8	26,8	387,9
Total	520,1	69,0	800,5	499,9	27,5	3,7	42,4	26,5	1.889,5

Tabla 12.2.1.2.2. Superficie de las zonas de salvaguarda delimitadas respecto a las litologías aflorantes

En las zonas de salvaguarda tipo A (figura 12.2.1.2.2) la litología dominante corresponde a los *sedimentos detríticos cuaternarios*, lo cual no debe sorprender si se tiene en cuenta la elevada vulnerabilidad a la contaminación natural que suelen presentar estos materiales y su disposición, por lo general, en relieves suaves que permiten el desarrollo y proliferación de actividades humanas potencialmente contaminantes, susceptibles de constituir presiones significativas.

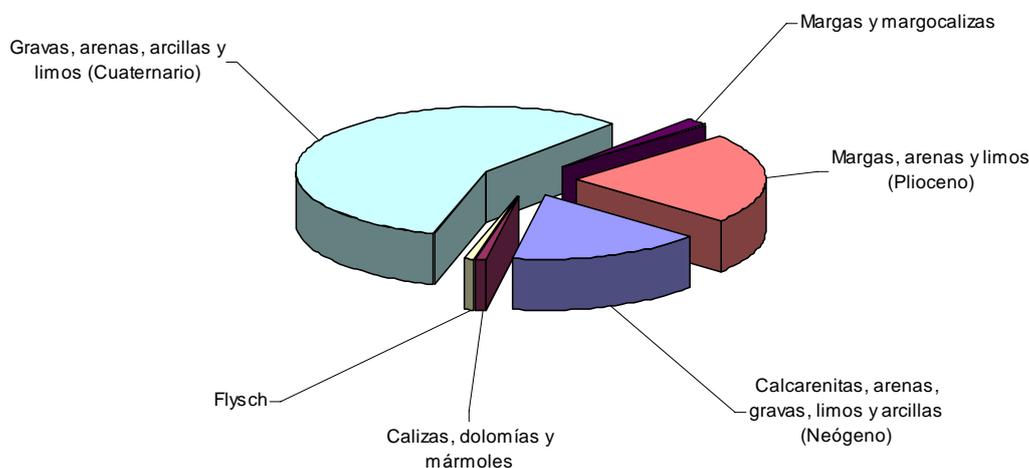


Figura 12.2.1.2.2. Distribución relativa de las litologías en las zonas de salvaguarda tipo A

En la figura 12.2.1.2.3, relativa a las zonas de salvaguarda tipo B, se aprecia que los afloramientos más frecuentes son los *depósitos cuaternarios* y los *materiales marinos margosos del Plioceno*.

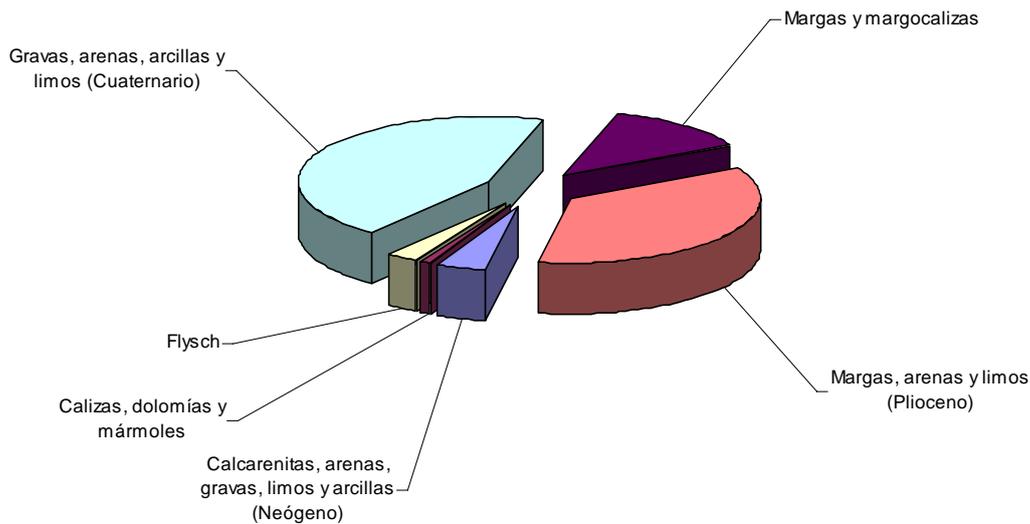


Figura 12.2.1.2.3. Distribución relativa de las litologías en las zonas de salvaguarda tipo B

Por lo que respecta a la distribución litológica de las zonas tipo C (figura 12.2.1.2.4), se observa una distribución más homogénea por lo que respecta a las litologías predominantes, entre las que destacan los *materiales detríticos cuaternarios*, las *calcarenitas neógenas* y los *afloramientos carbonatados*. Ello se debe, por un lado, a que se trata de materiales acuíferos vulnerables a la contaminación, y por otro, a que no son frecuentes en ellos las actividades susceptibles de generar presiones, bien sea por la existencia de un relieve abrupto (en el caso de los carbonatos), o por cuestiones de tipo socioeconómico, como la predominancia de cultivos de secano o la presencia de grandes masas forestales.

Finalmente, en la figura 12.2.1.2.5 se puede observar el predominio de *margas y margocalizas subbéticas* en las zonas de salvaguarda tipo D. Se trata, en este caso, de zonas no sometidas a presiones humanas en las que afloran materiales margosos de baja permeabilidad y baja vulnerabilidad.

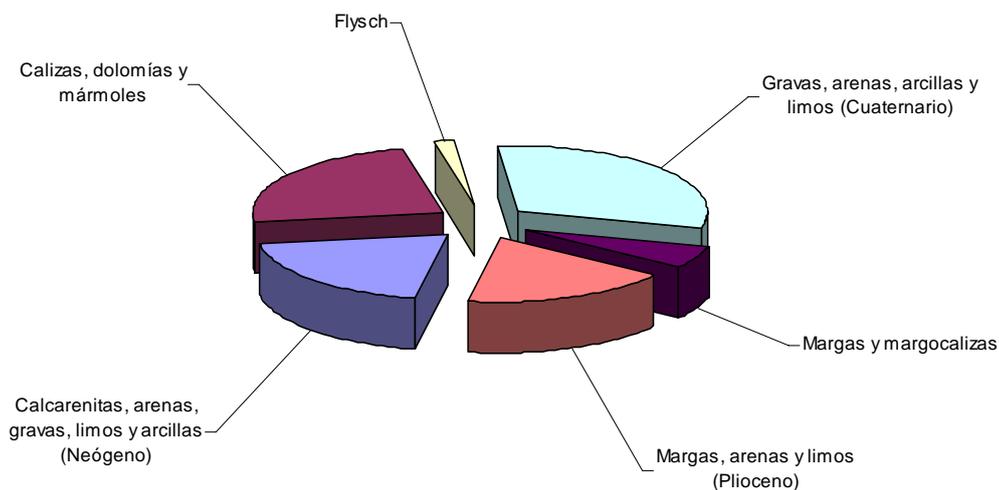


Figura 12.2.1.2.4. Distribución relativa de las litologías en las zonas de salvaguarda tipo C

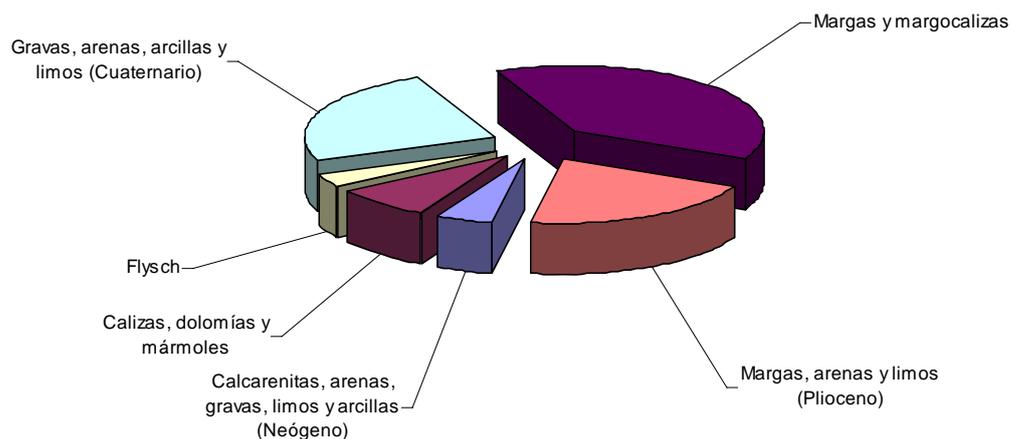


Figura 12.2.1.2.5. Distribución relativa de las litologías en las zonas de salvaguarda tipo D

12.2.2. IDENTIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DE INTERÉS LOCAL

En el ámbito de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate se han identificado y delimitado tres acuíferos de interés local, cuyas principales características se presentan en la tabla 12.2.2.1. La localización de cada uno de ellos se muestra, a su vez, en la figura 12.2.2.1.

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLÓGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.2.01	ALGODONALES	20,16	Areniscas del Mioceno inferior	Detrítico	Porosidad intergranular/	Libre
062.2.02	SIERRA DE AZNAR	3,76	Calizas y dolomías del Jurásico inferior, y carniolas del Triás	Carbonatado	Fisuración/ karstificación	Libre
062.2.03	LA MUELA	8,67	Calcarenitas del Mioceno superior	Detrítico	Porosidad intergranular/	Libre

Tabla 12.2.2.1. Acuíferos de interés local identificados y definidos en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate, con indicación de su extensión, litología, naturaleza y características hidrogeológicas básicas

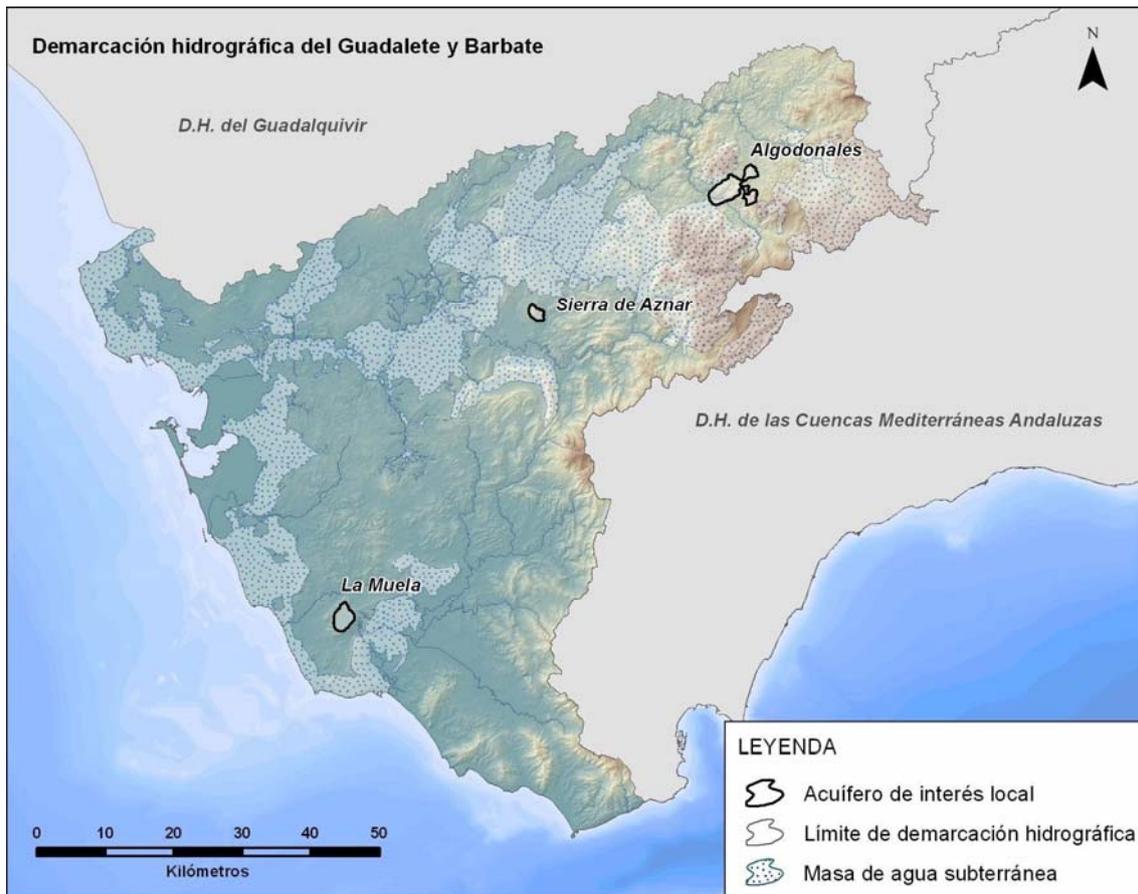


Figura 12.2.2.1. Localización de los acuíferos de interés local identificados en la D.H. del Guadalete y Barbate

A continuación se realiza una breve descripción de las características físicas, geológicas e hidrogeológicas básicas de cada uno de los acuíferos de interés local identificados en la demarcación:

▪ **062.2.01. ALGODONALES**

El acuífero está situado entre las localidades de Algodonales, Zahara y El Gastor. Está constituido por varios afloramientos de areniscas de la Unidad del Aljibe separados por arcillas de baja permeabilidad que impiden la continuidad hidrogeológica (figura 12.2.2.2). Sus límites se corresponden con el contacto litológico de las areniscas con los materiales arcillosos miocenos y triásicos, y con las masas de agua subterránea 062.003. Sierra de Líjar (al Norte) y 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey (al Suroeste).

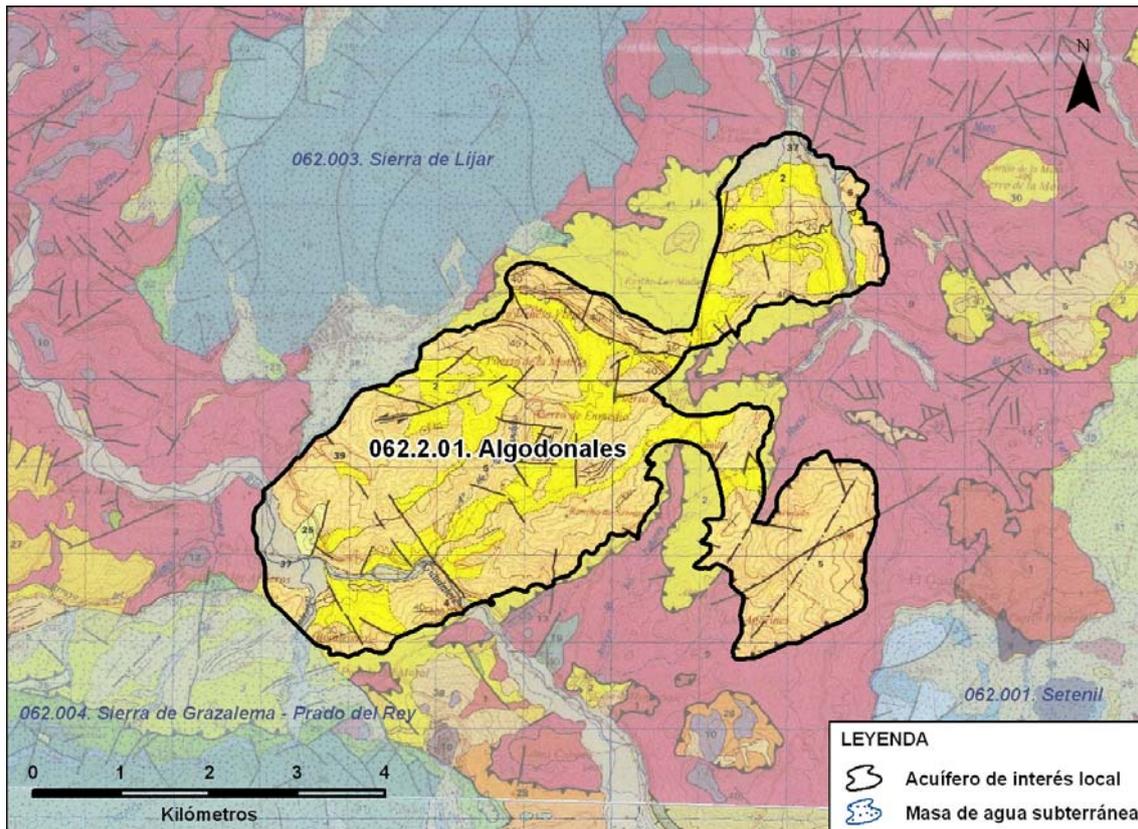


Figura 12.2.2.2. Acuífero de interés local 062.2.01. Algodonales

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.2.01	ALGODONALES	20,16	Areniscas del Mioceno inferior (Unidad del Aljibe)	Detrítico	Porosidad intergranular/ fracturación	Libre

La superficie aflorante de areniscas del Aljibe es de unos 13 km². Si se considera una precipitación media de 760 mm/año (obtenida del Modelo de Simulación Precipitación-Aportaciones SIMPA(2), elaborado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX y la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas) y un coeficiente de infiltración en las areniscas comprendido entre un 5 y un 10%, se obtiene una recarga media anual en el acuífero de 0,5 a 1 hm³/año. No obstante, la más que probable desconexión hidrogeológica que presentan algunos de los afloramientos de areniscas que constituyen el acuífero, sumado a la presencia habitual en este tipo de materiales de numerosos puntos de descarga (manantiales), apuntan hacia un escaso poder de regulación de dichos recursos por parte del acuífero.

▪ **062.2.02. SIERRA DE AZNAR**

El acuífero de la Sierra de Aznar se corresponde con un pequeño afloramiento carbonatado localizado al Sur de la masa de agua subterránea 062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín, constituido principalmente por calizas y dolomías jurásicas (figura 12.2.2.3). Sus límites se han trazado siguiendo el contacto litológico (en superficie) entre las formaciones carbonatadas con los materiales margosos circundantes, de menor permeabilidad.

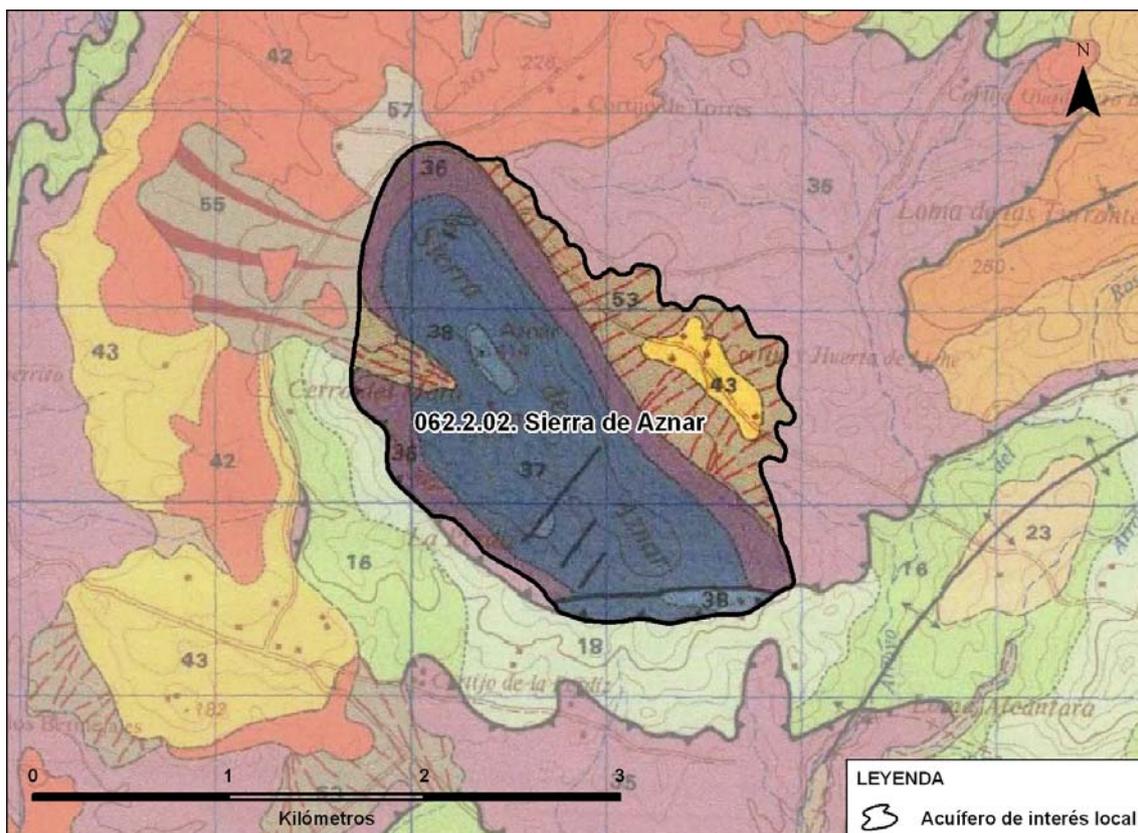


Figura 12.2.2.3. Acuífero de interés local 062.2.02. Sierra de Aznar

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.2.02	SIERRA DE AZNAR	3,76	Calizas y dolomías del Jurásico inferior, y carnioles del Trías	Carbonatado	Fisuración/ karstificación	Libre

Si se considera una precipitación media de 830 mm/año (obtenida del Modelo SIMPA(2)), un coeficiente de infiltración del 40-45% y una superficie de material permeable aproximada de 2,8 km² (equivalente a la superficie de los afloramientos de carnioles triásicas, dolomías y calizas jurásicas), se obtiene una recarga media anual próxima a 1 hm³/año, que debe considerarse equivalente a los recursos medios anuales de este pequeño acuífero de interés local.

▪ **062.2.03. LA MUELA**

Se trata de un afloramiento de calcarenitas miocenas con estructura sinclinal situado al Oeste de la masa de agua subterránea 062.013. Barbate (figura 12.2.2.4), que constituye un acuífero limitado hidrogeológicamente por margas de baja permeabilidad del Mioceno inferior.

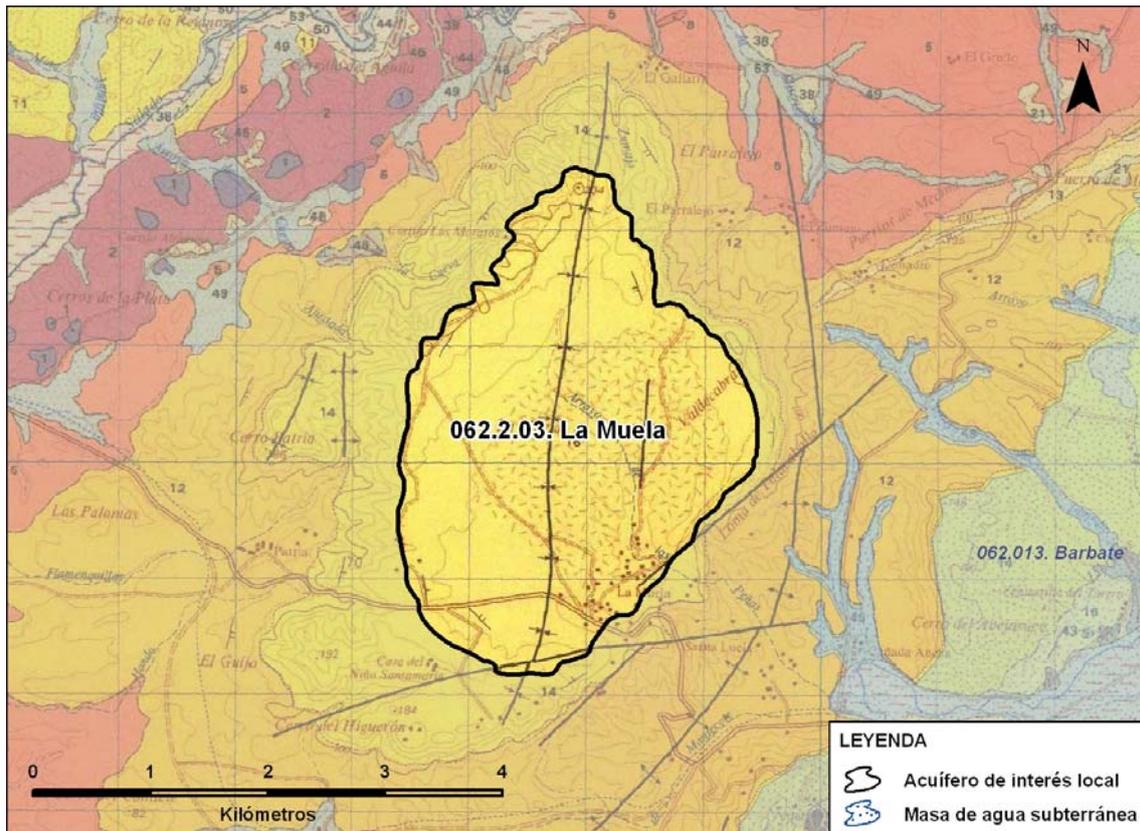


Figura 12.2.2.4. Acuífero de interés local 062.2.03. La Muela

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLÓGIA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.2.03	LA MUELA	8,67	Calcarenitas del Mioceno superior	Detrítico	Porosidad intergranular/fracturación	Libre

Para la estimación de la recarga anual media del acuífero se ha considerado una precipitación media de 720 mm/año (obtenida del Modelo SIMPA(2)), una superficie aflorante de calcarenitas miocenas de 8,67 km² y un coeficiente de infiltración del 15-20%. Con estas variables se obtiene un valor de recarga comprendido entre 0,9 y 1,2 hm³/año.

12.2.3. REVISIÓN Y ADECUACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE LAS AGUAS A LOS MODELOS CONCEPTUALES DEDUCIDOS PARA LOS ACUÍFEROS QUE CONSTITUYEN LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA

En la tabla 12.2.3.1 se presenta la propuesta de adecuación y mejora de la red de control del *estado químico* para cada una de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

CÓDIGO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA	Nº DE PUNTOS DE CONTROL					CAMBIO VIGILANCIA/ OPERATIVO*
		ACTUAL	PROPUESTOS			ACTUAL+ PROPUESTOS	
			Prioritarios	No Prioritarios	Eliminar		
062.001	Setenil	4	1	1	-	6	Sí
062.002	Sierra de Líbar	1	1	-	1	1	-
062.003	Sierra de Líjar	2	-	-	-	2	-
062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	10	-	3	-	13	Sí
062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	11	-	3	2	12	Sí
062.006	Sierra Valleja	1	1	-	-	2	Sí
062.007	Sierra de las Cabras	4	-	-	-	4	Sí
062.008	Aluvial del Guadalete	3	2	2	-	7	Sí
062.009	Jerez de la Frontera	7	-	2	1	8	-
062.010	Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María	11	-	2	-	13	-
062.011	Puerto Real	3	1	3	-	7	-
062.012	Conil de la Frontera	5	1	2	-	8	-
062.013	Barbate	11	-	1	2	10	-
062.014	Benalup	3	-	-	-	3	-
TOTAL		76	7	19	6	96	-

* En esta columna se señalan aquellas masas de agua subterránea en las que se ha propuesto un cambio en la asignación de los puntos de control al programa de vigilancia o al programa operativo.

Tabla 12.2.3.1. Síntesis de la propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

La red actual de seguimiento del estado químico de las masas de agua subterránea de la demarcación está constituida por un total de 76 puntos de control (tabla 12.2.3.1). La propuesta de adecuación y mejora de esta red de seguimiento se ha realizado en forma de:

- ✓ Propuestas para la inclusión de nuevos puntos de control en aquellos sectores del acuífero que no están cubiertos por la red de control actual, o bien que requieren de un mayor control dada la existencia de zonas protegidas (aguas destinadas al consumo humano, zonas vulnerables, zonas sensibles) o de masas de agua superficial asociadas (ríos, lagos, aguas de transición). Los puntos de control propuestos se han clasificado en dos clases, prioritarios y no prioritarios, en función de la representatividad de cada uno de ellos de cara al cumplimiento de las exigencias recogidas en la DMA en lo que respecta al diseño de los programas de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas.
- ✓ Propuestas para la eliminación de puntos de control de la red de seguimiento actual. Se trata, en todos los casos, de puntos de control que cumplen alguna de las siguientes condiciones:
 - Situados fuera de los límites de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica.
 - Emplazados sobre materiales de baja permeabilidad, sin que exista (de acuerdo con la cartografía geológica y la información de tipo hidrogeológico disponible), posibilidad de captar niveles acuíferos.
 - Escasa representatividad para el seguimiento del estado químico de la masa de agua subterránea, por ejemplo, por emplazarse en una posición marginal respecto al ámbito de la masa de agua.

El resultado de la revisión de la red de seguimiento del estado químico de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate ha sido la propuesta de inclusión de 26 nuevos puntos de control, distribuidos de la siguiente manera: 7 de ellos se han considerado *prioritarios* y los 19 restantes *no prioritarios*. Se propone, igualmente, la eliminación de 6 puntos de control de la red actual, ya que se consideran prescindibles. En el supuesto de aceptar esta propuesta de adecuación y mejora en todos sus términos, la red de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas de la demarcación estaría constituida por 96 puntos de control en lugar de los 76 actuales (tabla 12.2.3.1).

En algunas masas de agua subterránea de la demarcación se recomienda, asimismo, cambiar la asignación de los puntos de seguimiento de un programa de control a otro: del de vigilancia al operativo o al contrario (tabla 12.2.3.1). Esto ha sido necesario en los siguientes casos:

- ✓ Masas de agua subterránea definidas en riesgo tras la caracterización inicial llevada a cabo en 2005 en las que, por tanto, se estableció una red de control operativa pero que, posteriormente, en el Plan Hidrológico de Cuenca han sido definidas en buen estado químico, por lo que ya no requieren de esta red.
- ✓ Masas de agua subterránea definidas en 2005 sin riesgo de incumplir los objetivos de la DMA, en las que se estableció, por tanto, una red de control de vigilancia, pero que, posteriormente, en el Plan Hidrológico de Cuenca se considera que muestran mal estado químico, lo que obliga a la implantación de una red de control operativo.

En la tabla 12.2.3.2 se presenta, por su parte, un resumen de la propuesta de adecuación y mejora de la red de control del *estado cuantitativo* para cada una de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate.

CÓDIGO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA	Nº DE PUNTOS DE CONTROL			
		ACTUAL	PROPUESTOS		ACTUAL+ PROPUESTOS
			Piezométricos	Hidrométricos	
062.001	Setenil	1	2	0	3
062.002	Sierra de Líbar	0	0	0	0
062.003	Sierra de Líjar	2	0	1	3
062.004	Sierra de Grazalema - Prado del Rey	8	1	0	9
062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	5	1	0	6
062.006	Sierra Valleja	0	1	0	1
062.007	Sierra de las Cabras	5	0	0	5
062.008	Aluvial del Guadalete	2	1	0	3
062.009	Jerez de la Frontera	5	0	0	5
062.010	Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María	16	0	0	16
062.011	Puerto Real	3	2	0	5
062.012	Conil de la Frontera	4	3	0	7
062.013	Barbate	7	1	0	8
062.014	Benalup	3	1	0	4
TOTAL		61	13	1	75

Tabla 12.2.3.2. Síntesis de la propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado cuantitativo de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

La red actual de seguimiento del estado cuantitativo de las masas de agua subterránea de la demarcación está constituida por un total de 61 puntos de control (tabla 12.2.3.2). La propuesta de mejora y adecuación de esta red ha consistido en la inclusión de 13 nuevos sondeos (puntos de control piezométrico) y de un nuevo manantial (punto de control hidrométrico), de modo que el número total de puntos para el control del estado cuantitativo de las aguas subterráneas pasaría a ser de 75 (tabla 12.2.3.2).

12.2.4. ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE REFERENCIA, NIVELES BÁSICOS Y VALORES UMBRAL. DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS Y SOSTENIDAS AL AUMENTO Y DEFINICIÓN DE LOS PUNTOS DE PARTIDA DE LAS INVERSIONES DE TENDENCIAS

En la tabla 12.2.4.1 se presentan los *niveles de referencia*, *valores umbral* y *niveles básicos* calculados para los contaminantes e indicadores de contaminación responsables de que alguna masa de agua subterránea de la demarcación haya sido definida *en riesgo*: *cloruros*, *conductividad eléctrica* y *nitratos*. Asimismo se ha incluido la *relación iónica cloruro/bicarbonato* puesto que durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea se consideró un indicador de contaminación por intrusión marina.

Código masa	Nombre masa	Parámetro	Nivel de Referencia	Valor Umbral (ACH)	Valor Umbral (Intrusión)	Nivel Básico
062.001	SETENIL	Cloruros	84,40	C	D	32,95
		Conductividad	A	C	D	633,64
		Nitratos	10,00	H	D	19,22
		Relac. Cl/HCO ₃	0,46	C	D	4,93
062.002	SIERRA DE LÍBAR	Cloruros	A	B	D	L
		Conductividad	A	B	D	L
		Nitratos	A	B	D	L
		Relac. Cl/HCO ₃	A	B	D	L
062.003	SIERRA DE LÚJAR	Cloruros	A	B	D	14,84
		Conductividad	A	B	D	499,75
		Nitratos	A	B	D	2,63
		Relac. Cl/HCO ₃	A	B	D	0,07
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY	Cloruros	60,00	B	D	116,89
		Conductividad	602,00	B	D	839,61
		Nitratos	10,00	B	D	10,14
		Relac. Cl/HCO ₃	0,41	B	D	0,44
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA-VILLAMARTÍN	Cloruros	206,50	F	D	91,19
		Conductividad	820,60	820,6-2.500	D	721,94
		Nitratos	10,00	H	D	44,72
		Relac. Cl/HCO ₃	1,11	F	D	0,73
062.006	SIERRA VALLEJA	Cloruros	A	F	D	L
		Conductividad	A	E	D	L
		Nitratos	A	H	D	L
		Relac. Cl/HCO ₃	A	F	D	L
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	Cloruros	63,50	B	D	L
		Conductividad	978,50	B	D	L
		Nitratos	3,00	H	D	L
		Relac. Cl/HCO ₃	0,45	B	D	L



Código masa	Nombre masa	Parámetro	Nivel de Referencia	Valor Umbral (ACH)	Valor Umbral (Intrusión)	Nivel Básico
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	Cloruros	A	J	D	319,10
		Conductividad	A	E	D	1.674,91
		Nitratos	A	H	D	31,80
		Relac. Cl/HCO ₃	A	J	D	1,61
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	Cloruros	221,00	J	D	481,99
		Conductividad	1.549,00	1.549-2.500	D	2.682,21
		Nitratos	10,00	H	D	146,57
		Relac. Cl/HCO ₃	4,41	J	D	2,75
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-PTO. SANTA MARÍA	Cloruros	K	E	E	987,55
		Conductividad	K	E	E	3.796,73
		Nitratos	10,00	H	G	179,16
		Relac. Cl/HCO ₃	K	E	E	5,90
062.011	PUERTO REAL	Cloruros	K	E	E	173,00
		Conductividad	K	E	E	1.071,00
		Nitratos	10,00	H	I	55,88
		Relac. Cl/HCO ₃	K	E	E	0,99
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	Cloruros	K	E	E	73,30
		Conductividad	K	E	E	710,00
		Nitratos	10,00	H	G	20,06
		Relac. Cl/HCO ₃	K	E	E	0,48
062.013	BARBATE	Cloruros	K	E	E	221,94
		Conductividad	K	E	E	1.259,71
		Nitratos	10,00	H	G	57,42
		Relac. Cl/HCO ₃	K	E	E	1,29
062.014	BENALUP	Cloruros	62,50	J	D	40,51
		Conductividad	683,80	683,8-2.500	D	603,29
		Nitratos	10,00	H	D	65,56
		Relac. Cl/HCO ₃	0,73	J	D	0,23

- A No se establece NR a falta de un número de registros analíticos representativo
- B No se establece VU debido a que la masa de agua subterránea no está identificada como en riesgo
- C No se establece VU ya que para el riesgo asociado a fuentes de contaminación puntual, se carece de parámetros indicadores de contaminación
- D No se establece VU porque la masa de agua subterránea no presenta riesgo por intrusión salina
- E No se establece VU porque no se dispone de NR
- F No se establece VU porque no es un parámetro indicador de contaminación difusa
- G No se establece VU porque no es un parámetro indicador de contaminación por intrusión
- H No requiere el establecimiento del VU ya que le aplica una norma de calidad específica (Anejo I de 2006/118/CE)
- I No se establece VU porque no es un parámetro indicador de contaminación por intrusión o contaminación puntual
- J No se establece VU porque no es un parámetro indicador de contaminación difusa ni contaminación puntual
- K No se establece NR ya que no se dispone de un registro histórico representativo del estado original de la masa de agua subterránea (sin procesos de intrusión)
- L No se establece NB a falta de un registro analítico representativo

Tabla 12.2.4.1. Niveles de referencia, valores umbral y niveles básicos calculados para los parámetros cloruro, conductividad eléctrica, nitrato y relación cloruro/bicarbonato en cada una de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

Por lo que respecta al nivel de referencia del ión *nitrate*, en las masas de agua subterránea en las que ha sido posible su establecimiento por disponer de un número suficiente de datos, el resultado ha sido en todos los casos una concentración igual o inferior a 10 mg/l (tabla 12.2.4.1). Los niveles de referencia para el *cloruro* han variado entre 60 y 221 mg/l, para la *conductividad eléctrica* entre 602 y 1.549 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y para la *relación cloruro/bicarbonato* entre 0,41 y 4,41, si bien en algunas masas de agua no se han podido establecer NR debido a la ausencia de un registro histórico representativo.

Solamente se han establecido valores umbral para el parámetro *conductividad eléctrica*, con valores límite comprendidos entre 684 y 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tabla 12.2.4.1), ya que para el resto de parámetros o bien se dispone de una norma de calidad ambiental (caso del ión *nitrate*), de modo que no es necesario el establecimiento de un valor umbral, o bien no se ha establecido porque la masa de agua no está en riesgo, porque no se ha podido establecer un nivel de referencia o porque no se trata de un parámetro indicador de contaminación difusa (caso del *cloruro* y de la *relación iónica cloruro/bicarbonato*).

Por lo que se refiere a los niveles básicos, en el caso del *cloruro* están comprendidos entre 15 y 988 mg/l, para la *conductividad eléctrica* entre 500 y 3.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para el *nitrate* entre 2,6 y 179 mg/l y para la *relación cloruro/bicarbonato* entre 0,07 y 5,9 (tabla 12.2.4.1). No obstante, para todos ellos ha habido casos en que no ha sido posible establecer un valor de nivel básico debido a la ausencia de un registro analítico representativo.

Por otra parte, en la tabla 12.2.4.2 se presentan los valores propuestos para el nivel de referencia, el valor umbral y el nivel básico estimado para 8 componentes químicos adicionales, para los que la Directiva 2006/118/CE establece la obligatoriedad de establecer valores umbral independientemente de que sean responsables o no del riesgo en alguna masa de agua subterránea. Estos parámetros son: *arsénico, cadmio, plomo, mercurio, amonio, sulfato, tricloroetileno y tetracloroetileno*.

En algunos casos no ha sido posible asignar un valor debido a la ausencia de un registro analítico representativo (campos con la letra *B*). Por lo que respecta al *tricloroetileno* y *tetracloroetileno*, se les ha asignado un nivel de referencia igual a cero al tratarse de sustancias sintéticas artificiales (tabla 12.2.4.2).

Código masa	Nombre masa	Parámetro	Nivel de Referencia	Valor umbral (ACH)	Nivel Básico
062.001	SETENIL	Arsénico	<0,005 (A)	0,01	0
		Cadmio	B	0,005	0
		Plomo	<0,01 (A)	0,025	0
		Mercurio	<0,001 (A)	0,001	0
		Amonio	B	0,5	0,02
		Sulfato	168	250	42,3
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	0
		Tetracloroetileno	0 (C)		B
062.002	SIERRA DE LÍBAR	Arsénico	B	0,01	B
		Cadmio	B	0,005	B
		Plomo	B	0,025	B
		Mercurio	B	0,001	B
		Amonio	B	0,5	B
		Sulfato	B	250	B
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	B
		Tetracloroetileno	0 (C)		B

Código masa	Nombre masa	Parámetro	Nivel de Referencia	Valor umbral (ACH)	Nivel Básico
062.003	SIERRA DE LÍJAR	Arsénico	B	0,01	0
		Cadmio	B	0,005	0
		Plomo	B	0,025	0
		Mercurio	B	0,001	0
		Amonio	B	0,5	0
		Sulfato	B	250	B
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	0
		Tetracloroetileno	0 (C)		B
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY	Arsénico	<0,005 (A)	0,01	0
		Cadmio	<0,005 (A)	0,005	0
		Plomo	<0,01 (A)	0,025	0
		Mercurio	<0,001 (A)	0,001	0
		Amonio	0,31	0,5	0,03
		Sulfato	82	250	80,4
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	0
		Tetracloroetileno	0 (C)		B
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA-VILLAMARTÍN	Arsénico	<0,005 (A)	0,01	0
		Cadmio	<0,005 (A)	0,005	0
		Plomo	B	0,025	0,0004
		Mercurio	<0,001 (A)	0,001	0
		Amonio	0,14	0,5	0,02
		Sulfato	267	300	44,1
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	0
		Tetracloroetileno	0 (C)		B
062.006	SIERRA VALLEJA	Arsénico	B	0,01	B
		Cadmio	B	0,005	B
		Plomo	B	0,025	B
		Mercurio	B	0,001	B
		Amonio	B	0,5	B
		Sulfato	B	250	B
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	B
		Tetracloroetileno	0 (C)		B
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	Arsénico	<0,005 (A)	0,01	B
		Cadmio	<0,005 (A)	0,005	B
		Plomo	B	0,025	B
		Mercurio	<0,001 (A)	0,001	B
		Amonio	B	0,5	B
		Sulfato	78,4	250	B
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	B
		Tetracloroetileno	0 (C)		B
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	Arsénico	B	0,01	0,001
		Cadmio	B	0,005	0
		Plomo	B	0,025	0
		Mercurio	B	0,001	0,00005
		Amonio	B	0,5	0,1
		Sulfato	B	250	201,2



Código masa	Nombre masa	Parámetro	Nivel de Referencia	Valor umbral (ACH)	Nivel Básico
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	0
		Tetracloroetileno	0 (C)		B
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	Arsénico	<0,005 (A)	0,01	0
		Cadmio	<0,005 (A)	0,005	0
		Plomo	<0,01 (A)	0,025	0
		Mercurio	<0,001 (A)	0,001	0
		Amonio	B	0,5	0,01
		Sulfato	276,8	300	618,4
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	0
		Tetracloroetileno	0 (C)		B
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-PTO. SANTA MARÍA	Arsénico	<0,005 (A)	0,01	0
		Cadmio	<0,005 (A)	0,005	0,0003
		Plomo	B	0,025	0
		Mercurio	<0,001 (A)	0,001	0
		Amonio	0,21	0,5	0,04
		Sulfato	B	250	320,5
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	0
		Tetracloroetileno	0 (C)		B
062.011	PUERTO REAL	Arsénico	B	0,01	0
		Cadmio	B	0,005	0
		Plomo	B	0,025	0
		Mercurio	B	0,001	0
		Amonio	B	0,5	0,01
		Sulfato	B	250	60,9
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	0
		Tetracloroetileno	0 (C)		B
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	Arsénico	B	0,01	0
		Cadmio	B	0,005	0
		Plomo	B	0,025	0
		Mercurio	B	0,001	0
		Amonio	B	0,5	0,03
		Sulfato	B	250	62,2
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	0
		Tetracloroetileno	0 (C)		B
062.013	BARBATE	Arsénico	<0,005 (A)	0,01	0,0005
		Cadmio	<0,005 (A)	0,005	0
		Plomo	B	0,025	0
		Mercurio	<0,001 (A)	0,001	0
		Amonio	0,16	0,5	0,04
		Sulfato	B	250	110,4
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	0
		Tetracloroetileno	0 (C)		B
062.014	BENALUP	Arsénico	B	0,01	0
		Cadmio	B	0,005	0
		Plomo	B	0,025	0
		Mercurio	B	0,001	0



Código masa	Nombre masa	Parámetro	Nivel de Referencia	Valor umbral (ACH)	Nivel Básico
		Amonio	0,52	1	0,08
		Sulfato	43,4	250	13,8
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	0
		Tetracloroetileno	0 (C)		B

- A Valor obtenido a partir de muestras que, por su fecha de recogida, podrían presentar influencia antrópica, pero que muestran en todos los casos concentraciones inferiores al límite de detección
- B No se establece ningún valor a falta de un registro analítico representativo
- C Al tratarse de sustancias sintéticas artificiales, el NR debe ser necesariamente cero

* Las concentraciones de los diferentes parámetros están expresadas en mg/l.

Tabla 12.2.4.2. Niveles de referencia, valores umbral y niveles básicos calculados para los ocho parámetros adicionales incluidos en la parte B del anexo II de la Directiva 2006/118/CE

El procedimiento seguido para establecer los valores umbral en estas sustancias se ha basado en criterios de uso, en concreto en el del agua destinada al consumo humano. Así, los valores paramétricos incluidos en el *Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano* (BOE 45/2003, de 21 de febrero), se han utilizado para el establecimiento de dichos valores umbral.

La identificación de las tendencias sostenidas al aumento de la concentración de contaminantes sólo se ha realizado en las masas de agua subterránea de la demarcación identificadas *en riesgo*. Para el desarrollo de este análisis se han generado una serie de gráficos de evolución, en los cuales se ha representado de manera individualizada cada parámetro que haya contribuido a la clasificación en riesgo de las masas de agua subterránea, en relación a cada estación y cada masa de agua subterránea. Asimismo, en dichos gráficos se han añadido, por un lado, los valores correspondientes a los niveles de referencia, valores umbral (o normas de calidad) y los niveles básicos establecidos para cada caso, y por otro las curvas de evolución correspondientes al promedio anual de los análisis para cada punto de control.

12.2.5. INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN, DE ACUERDO AL APARTADO 2.5 DEL ANEXO V DE LA DIRECTIVA 2000/60/CE, DEL ESTADO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

En la tabla 12.2.5.1 se presentan los resultados obtenidos tras la evaluación del estado químico de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación.

Son 5 las masas de agua subterránea de la demarcación que presentan *buen estado químico*, 7 masas las que presentan *mal estado químico* y 2 en las que no se ha podido determinar su estado químico debido a la escasez de datos disponibles.

Tal y como se recoge en la Guía nº 18 elaborada por la Comisión Europea (2009) sobre el estado de las aguas subterráneas y la evaluación de tendencias, las masas de agua subterránea que tras la caracterización inicial se definieron *sin riesgo* de incumplir los objetivos de la DMA, pueden calificarse automáticamente en buen estado químico.

Los parámetros físico-químicos responsables del mal estado químico de estas masas de agua son el nitrato (en 7 masas de agua subterránea), la conductividad eléctrica (en 2 masas) y el cloruro (también en 2 masas).

La razón de que el estado químico de las masas de agua subterránea 062.001. Setenil y 062.006. Sierra Valleja haya sido definido como *no concluyente* (tabla 12.2.5.1) se debe, en primer caso, al carácter local del mal estado químico (sólo se observa en una de las cuatro estaciones de control analizadas), y en el segundo, a la escasa representatividad de los datos a partir de los cuales se debe deducir el estado químico de la masa (un único análisis químico).

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALETE Y BARBATE									
Código MASb.	Nombre MASb.	Riesgo	Tipo de Riesgo	Parámetro	Nº de estaciones que superan el VU o NC	Nº total de estaciones	Nº total de análisis	%superación (estaciones)	Estado de la MASb.
062.001	SETENIL	REE	Puntual	Cloruros	-	-	-	-	NO CONCLUYENTE
				Conductividad	-	-	-	-	
				Nitratos	1	4	22	25%	
				Relac. Cl/HCO ₃	-	-	-	-	
062.002	SIERRA DE LÍBAR	RN		Cloruros	-	-	-	-	BUEN ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	-	-	-	-	
				Nitratos	-	-	-	-	
				Relac. Cl/HCO ₃	-	-	-	-	
062.003	SIERRA DE LÚJAR	RN		Cloruros	-	-	-	-	BUEN ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	-	-	-	-	
				Nitratos	-	-	-	-	
				Relac. Cl/HCO ₃	-	-	-	-	
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY	RN		Cloruros	-	-	-	-	BUEN ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	-	-	-	-	
				Nitratos	-	-	-	-	
				Relac. Cl/HCO ₃	-	-	-	-	
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA-VILLAMARTÍN	REE	Difusa	Cloruros	-	-	-	-	MAL ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	0	8	31	0%	
				Nitratos	4	8	31	50%	
				Relac. Cl/HCO ₃	-	-	-	-	
062.006	SIERRA VALLEJA	REE	Difusa	Cloruros	-	-	-	-	NO CONCLUYENTE
				Conductividad	0	1	1	0%	
				Nitratos	1	1	1	100%	
				Relac. Cl/HCO ₃	-	-	-	-	
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	RN		Cloruros	-	-	-	-	BUEN ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	-	-	-	-	
				Nitratos	1	3	3	33%	
				Relac. Cl/HCO ₃	-	-	-	-	
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	RS	Difusa y puntual	Cloruros	-	-	-	-	BUEN ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	1	3	11	33%	
				Nitratos	0	3	11	0%	
				Relac. Cl/HCO ₃	-	-	-	-	
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	RS	Difusa y puntual	Cloruros	-	-	-	-	MAL ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	3	5	14	60%	
				Nitratos	5	5	14	100%	



DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUALETE Y BARBATE									
Código MASb.	Nombre MASb.	Riesgo	Tipo de Riesgo	Parámetro	Nº de estaciones que superan el VU o NC	Nº total de estaciones	Nº total de análisis	%superación (estaciones)	Estado de la MASb.
				Relac. Cl/HCO ₃	-	-	-	-	
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-SANTA MARÍA	RS	Difusa, puntual e intrusión	Cloruros	6	9	29	67%	MAL ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	6	9	29	67%	
				Nitratos	7	9	29	78%	
				Relac. Cl/HCO ₃	-	-	-	-	
062.011	PUERTO REAL	REE	Puntual e intrusión	Cloruros	0	3	10	0%	MAL ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	0	3	10	0%	
				Nitratos	2	3	10	67%	
				Relac. Cl/HCO ₃	-	-	-	-	
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	RS	Difusa, puntual e intrusión	Cloruros	0	5	15	0%	MAL ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	0	5	15	0%	
				Nitratos	2	5	15	40%	
				Relac. Cl/HCO ₃	-	-	-	-	
062.013	BARBATE	RS	Difusa, puntual e intrusión	Cloruros	3	9	31	33%	MAL ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	0	9	30	0%	
				Nitratos	2	9	30	22%	
				Relac. Cl/HCO ₃	-	-	-	-	
062.014	BENALUP	RS	Difusa y puntual	Cloruros	-	-	-	-	MAL ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	0	3	7	0%	
				Nitratos	2	3	7	67%	
				Relac. Cl/HCO ₃	-	-	-	-	
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN BUEN ESTADO									5 de 14
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN MAL ESTADO									7 de 14
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA CUYO ESTADO NO SE HA PODIDO DETERMINAR									2 de 14

Tabla 12.2.5.1. Resultado de la evaluación del estado químico en las masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

Los resultados de la evaluación del estado cuantitativo de las masas de agua subterránea de la demarcación se muestran en la tabla 12.2.5.2.

Las masas de agua subterránea con un *buen estado cuantitativo* son 3 (062.007. Sierra de las Cabras, 062.009. Jerez de la Frontera y 062.010. Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María) y las definidas en *mal estado*, también 3 (062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín, 062.013. Barbate y 062.014. Benalup); en las 8 masas de agua subterránea restantes se ha considerado que *no se dispone de datos suficientes para su determinación* (tabla 12.2.5.2).

En las masas de agua subterránea evaluadas en buen estado cuantitativo el *índice de explotación estimado* está comprendido entre el 9% y el 25%, en tanto que en las masas de agua definidas en mal estado cuantitativo este índice presenta valores que varían entre el 97% y el 131%. En las masas de agua en las que no ha sido posible determinar el estado cuantitativo, el índice de explotación estimado presenta valores comprendidos entre el 0% y el 63% (tabla 12.2.5.2).

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADELETE Y BARBATE							
Código MASb.	Nombre MASb.	Índice de explotación estimado (%)	Nº de piezómetros disponibles para la evaluación	Índice de llenado enero 2006 (%)	Índice de llenado más reciente (%)*	Diferencia entre el ILL (enero 2006) y el ILL más reciente*	Estado de la masa de agua subterránea
062.001	SETENIL	24%	A				No se dispone de datos suficientes para su determinación
062.002	SIERRA DE LÍBAR	0%	A				No se dispone de datos suficientes para su determinación
062.003	SIERRA DE LÚJAR	34%	A				No se dispone de datos suficientes para su determinación
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY	19%	A				No se dispone de datos suficientes para su determinación
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA-VILLAMARTÍN	97%	3	56%	41%	-15%	MAL ESTADO CUANTITATIVO
062.006	SIERRA VALLEJA	0%	A				No se dispone de datos suficientes para su determinación
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	25%	4	51%	39%	-13%	BUEN ESTADO CUANTITATIVO
062.008	ALUVIAL DEL GUADELETE	33%	A				No se dispone de datos suficientes para su determinación
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	16%	8	51%	68%	17%	BUEN ESTADO CUANTITATIVO
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-PUERTO DE SANTA Mª.	9%	7	63%	79%	16%	BUEN ESTADO CUANTITATIVO
062.011	PUERTO REAL	24%	A				No se dispone de datos suficientes para su determinación
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	63%	A				No se dispone de datos suficientes para su determinación
062.013	BARBATE	104%	5	58%	36%	-21%	MAL ESTADO CUANTITATIVO
062.014	BENALUP	131%	6	39%	26%	-14%	MAL ESTADO CUANTITATIVO
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN BUEN ESTADO							3 de 14
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN MAL ESTADO							3 de 14
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA CUYO ESTADO NO SE HA PODIDO DETERMINAR							8 de 14
(*) En todos los casos el índice de llenado más reciente corresponde al calculado a partir de los datos de agosto del 2008, exceptuando en la masa codificada como 062.010 que hace referencia al mes de septiembre de 2008.							
(A). No se dispone de un registro reciente representativo, por lo que no se ha podido evaluar el estado cuantitativo de la masa de agua subterránea.							

Tabla 12.2.5.2. Resultado de la evaluación del estado cuantitativo en las masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

12.2.6. ESTIMACIÓN DE BALANCES HIDROLÓGICOS EN MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE NATURALEZA DETRÍTICA, MIXTA Y CARBONATADA

Se han estimado las diferentes componentes del balance hidrológico (entradas y salidas) en las 14 masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate: 8 de naturaleza detrítica, 4 de naturaleza carbonatada y el resto, 2 masas, de naturaleza mixta. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 12.2.6.1.

Las componentes de entrada consideradas han sido la *infiltración del agua de lluvia*, la *infiltración de la escorrentía superficial*, la *recarga lateral* procedente de acuíferos adyacentes, los *retornos de regadío* y

otros (en esta última categoría se han incluido las componentes de entrada que no corresponden a ninguna de las anteriores). Por lo que respecta a las salidas, las componentes consideradas han sido los *bombes* de agua en pozos y sondeos, las salidas por *manantiales*, las *descargas directas hacia cauces* de agua superficial (ríos y arroyos) o el *mar*, las *descargas laterales* hacia masas de agua subterráneas adyacentes y *otros*, en el que, al igual que antes, se han incluido aquellas componentes de salida que no corresponden a ninguna de las anteriores.

Una vez estimado el balance hídrico de las distintas masas identificadas en la demarcación, se ha procedido a calcular el *recurso disponible* y el *índice de explotación* para cada masa, cuyos resultados se presentan en la tabla 12.2.6.2.

Según dispone la Orden ARM/2656/2008, el recurso disponible de aguas subterráneas se define como el valor medio interanual de la tasa de recarga total de la masa de agua subterránea, menos el flujo interanual medio requerido para conseguir los objetivos de calidad ecológica para el agua superficial asociada, para evitar cualquier disminución significativa en el estado ecológico de tales aguas y cualquier daño significativo a los ecosistemas terrestres asociados. En la práctica, como norma general, se ha asumido que el recurso disponible equivale al 80% del valor de la recarga. No obstante, en determinadas masas de agua subterránea se ha reducido este porcentaje a la hora de calcular el recurso disponible, puesto que:

- En las masas de agua subterránea costeras se ha considerado que un porcentaje de recursos disponibles superior al 70-75%, podría inducir procesos de intrusión marina por sobreexplotación en determinados sectores próximos a la costa.
- En otros casos, el valor de los recursos disponibles se ha reducido de forma coherente con el funcionamiento hidrogeológico de determinadas masas de agua subterránea, con presencia de flujos subterráneos y transferencias laterales hacia otras masas o bien, debido a la presencia de masas de agua superficiales o ecosistemas terrestres dependientes de los recursos subterráneos de la masa. En este caso, el valor del recurso disponible estimado depende del comportamiento hidráulico de cada masa:
 - ✓ 062.002. Sierra de Líbar: Estudios previos han constatado que los recursos hídricos subterráneos de esta masa de agua se transfieren prácticamente en su totalidad hacia la masa de agua subterránea 060.044. Sierra de Líbar, definida en la demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas. Por otro lado, este acuífero presenta una karstificación incipiente, que conlleva la presencia de flujos subterráneos con velocidades de hasta 100 m/h, lo cual dificulta el aprovechamiento de estos recursos. Por todo ello, el volumen de recursos disponibles de la masa de agua subterránea 062.002 debe considerarse prácticamente nulo.
 - ✓ 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey: Los recursos hídricos subterráneos de los acuíferos que constituyen esta masa de agua alimentan, en mayor o menor medida, los embalses de Zahara, Los Hurones, Bornos-Arcos y Guadalcaçín, de los cuales depende gran parte del suministro de agua para uso urbano, agrícola e industrial de la zona occidental de la provincia de Cádiz. Por otro lado, estos acuíferos presentan un valor ambiental elevado al localizarse dentro de los límites del Parque Natural de la Sierra de Grazalema. Por todo ello, se considera conveniente reducir los recursos disponibles a un 40% de la recarga.



Unión Europea

Fondo Europeo de Desarrollo Regional



Código	Nombre de la masa	Naturaleza	ENTRADAS (hm ³ /año)					SALIDAS (hm ³ /año)					TOTAL
			Infiltración Escorrentía	Recarga lateral	Retornos regadío	Otros	TOTAL	Bombeos	Manantiales	Ríos, arroyos y mar	Descarga lateral	Otros	
062.001	Setenil	Mixta	15,8	2	0,2	-	18	3,5	14,5	-	-	-	18
062.002	Sierra de Líbar	Carbonatada	35,4	3,3	-	-	38,7	-	-	-	38,7	-	35,4
062.003	Sierra de Lijar	Carbonatada	6,2	-	-	-	6,2	1,7	4,5	-	-	-	6,2
062.004	Sierra de Grazaalema-Prado del Rey	Carbonatada	91,4	-	0,1	-	91,5	6,8	84,7	-	-	-	91,4
062.005	Arcos de la Frontera-Villamartín	Detrítica	20,8	-	2,4	-	23,2	18	0,3	4,9	-	-	20,8
062.006	Sierra Valleja	Mixta	3,2	-	0,5	-	3,7	-	-	3,7	-	-	3,7
062.007	Sierra de las Cabras	Carbonatada	9,9	-	-	-	9,9	2	7,9	-	-	-	9,9
062.008	Aluvial del Guadalete	Detrítica	17,5	-	9,8	-	27,3	7,3	-	20	-	-	17,5
062.009	Jerez de la Frontera	Detrítica	6,2	-	3,1	-	9,3	1,2	-	8,1	-	-	6,2
062.010	Sanlúcar-Chipiona-Rota-Pto. de Sta. María	Detrítica	13,8	-	2,2	1 ¹	17	1,1	-	15,9	-	-	13,8
062.011	Puerto Real	Detrítica	8,8	-	1,3	0,7 ¹	10,8	1,8	-	9	-	-	10,8
062.012	Conil de la Frontera	Detrítica	10,8	-	0,7	0,3 ¹	11,8	5,2	-	6,6	-	-	10,8
062.013	Barbate	Detrítica	13,2	1,5	2,4	0,7 ¹	17,8	14,1	-	3,7	-	-	13,2
062.014	Benalup	Detrítica	4,3	-	0,3	-	4,6	5,1	-	-	-	-	4,3

¹: Pérdidas de la red de abastecimiento urbano

Tabla 12.2.6.1. Balance hidrológico estimado para las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

CÓDIGO	NOMBRE	RECARGA (hm ³ /año)	VOLUMEN EXTRAÍDO (hm ³ /año)	RECURSOS DISPONIBLES (hm ³ /año)	ÍNDICE DE EXPLOTACIÓN (%)
062.001	Setenil	18	3,5	14,4	24%
062.002	Sierra de Líbar	38,7	0	(-) ²	0%
062.003	Sierra de Lijar	6,2	1,7	5,0	34%
062.004	Sierra de Grazaalema - Prado del Rey	91,5	6,8	36,6	19%
062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	23,2	18	18,6	97%
062.006	Sierra Valleja	3,7	0	3,0	0%
062.007	Sierra de las Cabras	9,9	2	7,9	25%
062.008	Aluvial del Guadalete	27,3	7,3	21,8	33%
062.009	Jerez de la Frontera	9,3	1,2	7,4	16%
062.010	Sanlúcar-Chipiona-Rota-Pto. de Sta. María	17	1,1	11,9	9%
062.011	Puerto Real	10,8	1,8	7,6	24%
062.012	Conil de la Frontera	11,8	5,2	8,3	63%
062.013	Barbate	17,8	14,1	13,5	104%
062.014	Benalup	4,6	5,1	3,9	131%

²: Los recursos hídricos de la MASb. 062.002 - Sierra de Líbar son transferidos en su totalidad a la D.H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (MASb. 060.044 - Sierra de Líbar)

Tabla 12.2.6.2. Estimación de los recursos disponibles e índice de explotación en las masas de agua subterránea definidas en la demarcación del Guadalete y Barbate

12.2.7. DEFINICIÓN DE EMPLAZAMIENTOS FAVORABLES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SONDEOS DE ABASTECIMIENTO EN PERÍODOS DE SEQUÍA EN LA COMARCA DE LA Sª DE CÁDIZ

El primer paso ha consistido en la agrupación de las poblaciones objeto de estudio en diferentes *subsistemas de abastecimiento*, atendiendo a criterios de proximidad geográfica, demandas, fuentes de suministro e infraestructuras existentes. Así, se han diferenciado los siguientes subsistemas (figura 12.2.7.1):

- ✓ **Subsistema 1. Olvera, Torre Alháuquime y Setenil de las Bodegas**
- ✓ **Subsistema 2. Ubrique**
- ✓ **Subsistema 3. Algodonales - El Gastor - Zahara - Puerto Serrano - Prado del Rey - Villamartín - El Bosque - Benamahoma - Coto de Bornos - Bornos - Espera**
 - *Subsistema 3.1.* Algodonales, El Gastor y Zahara de la Sierra (Bocaleones)
 - *Subsistema 3.2.* El Bosque y Benamahoma (Grazalema)
 - *Subsistema 3.3.* Villamartín, Puerto Serrano y Prado del Rey
 - *Subsistema 3.4.* Bornos, Coto de Bornos (Bornos) y Espera
- ✓ **Subsistema 4. Arcos de la Frontera**

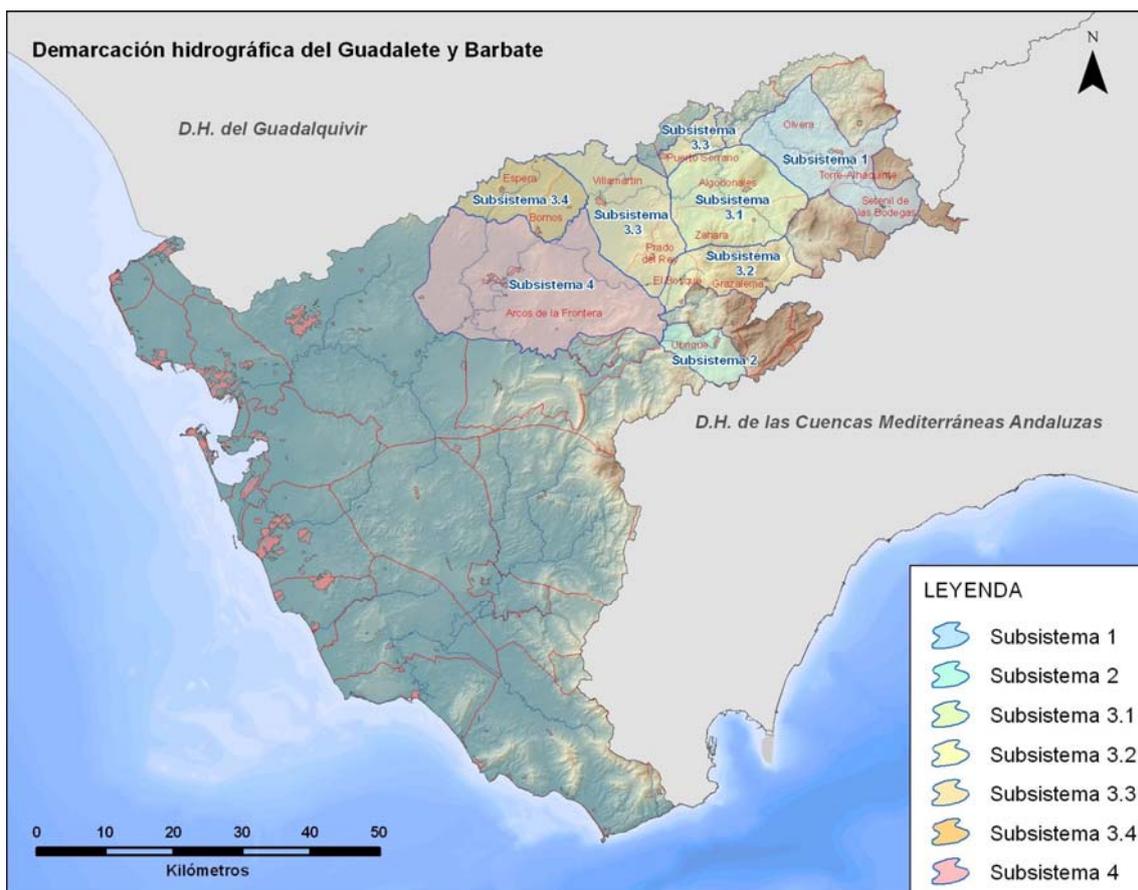


Figura 12.2.7.1. Localización de los subsistemas de abastecimiento identificados

Una vez agrupados los diferentes municipios en subsistemas de abastecimiento, se han seleccionado aquellas zonas consideradas hidrogeológicamente favorables para la captación de aguas subterráneas. Los sectores delimitados responden a los criterios geológicos-hidrogeológicos, a priori, más favorables. El resultado ha sido la identificación y posterior delimitación de varias zonas hidrogeológicamente favorables para la captación de aguas subterráneas en los diferentes subsistemas de abastecimiento considerados. En la figura 12.2.7.2 se muestra la localización de estas zonas favorables.

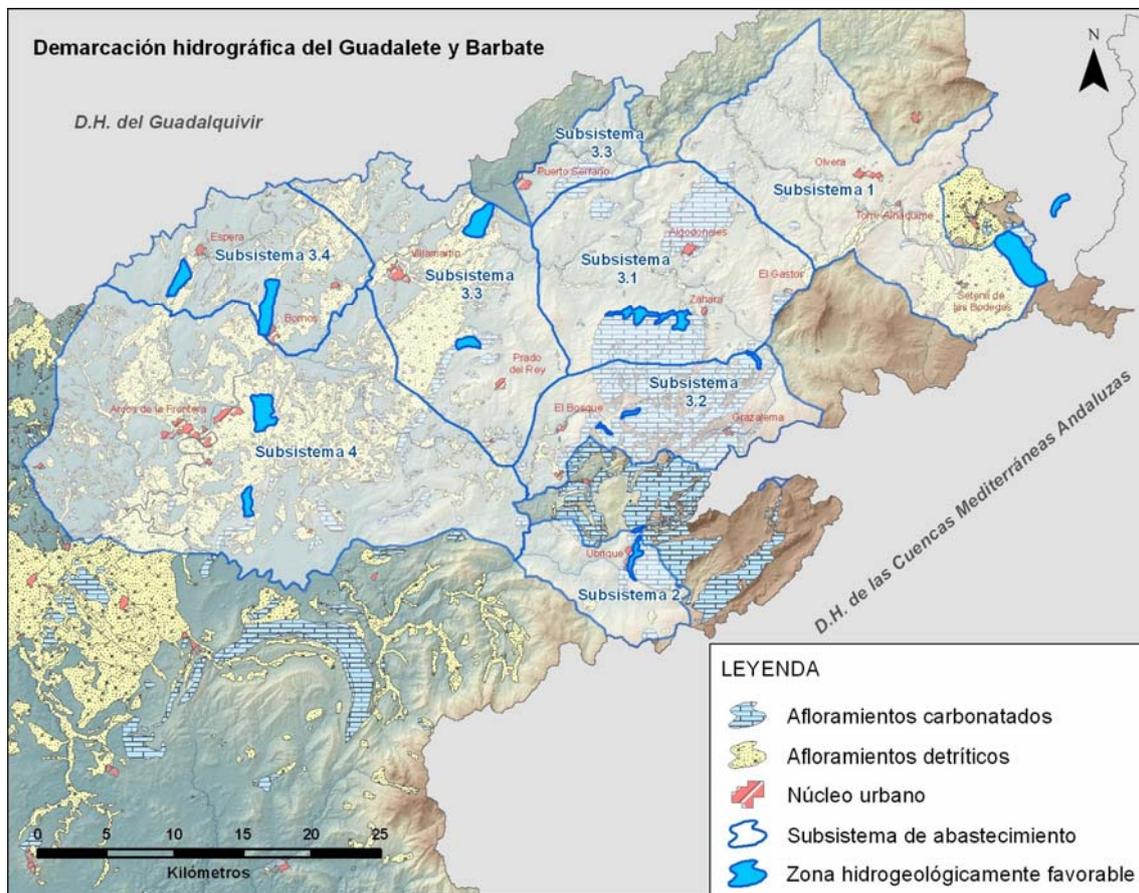


Figura 12.2.7.2. Localización de las zonas hidrogeológicamente favorables para la captación de aguas subterráneas en la comarca de la Sierra de Cádiz

En el Subsistema 1, correspondiente a los municipios de Olvera, Torre Alhámide y Setenil de las Bodegas, se han seleccionado dos zonas favorables para la captación de aguas subterráneas localizadas en las inmediaciones de la Sierra de Cañete; una de ellas en el límite septentrional de la sierra, en concreto en el borde norte del compartimento de La Atalaya, y la otra sobre los materiales miocenos de la depresión de Ronda, al suroeste de la Sierra de Cañete.

En el Subsistema 2, definido en el municipio de Ubrique, se proponen dos áreas hidrogeológicamente favorables: una en el borde occidental del sistema de Ubrique, en concreto sobre las calizas aflorantes en las proximidades de la población, y la otra al norte de esa misma localidad, en el extremo suroccidental del sistema del Hondón, sobre los afloramientos de calizas jurásicas.

Se han propuesto igualmente dos áreas favorables para la captación de aguas subterráneas en el Subsistema 3.1, correspondiente a los municipios de Algodonales, El Gastor y Zahara de la Sierra: el borde septentrional del sistema Zafalgar-Labradillo y el borde nororiental del sistema de la Sierra de

Pinar-Monte Prieto, ambos emplazados sobre los materiales carbonatados que afloran en las inmediaciones de la localidad de Zahara de la Sierra.

Las zonas propuestas para el emplazamiento de nuevos sondeos de captación en el Subsistema 3.2 (El Bosque y Benamahoma) son también dos: una situada al suroeste del pueblo de Benamahoma, sobre los afloramientos de dolomías, y la otra en un área situada a escasos kilómetros al este de Benamahoma, en el ámbito del sistema de la Sierra del Pinar-Monte Prieto, donde afloran dolomías brechoides del Jurásico inferior.

En el Subsistema 3.3, correspondiente a los municipios de Villamartín, Puerto Serrano y Prado del Rey, se proponen otros dos sectores: el afloramiento carbonatado mesozoico del sureste y los materiales detríticos pliocenos existentes entre las localidades de Villamartín y Puerto Serrano.

La primera zona favorable que se propone para el Subsistema 3.4 (Bornos, Coto de Bornos y Espera) se localiza entre las poblaciones de Bornos y Coto de Bornos, al oeste del embalse existente en dicha localidad, donde, bajo las margas grises del Mioceno superior aflorantes, subyace una formación arenosa calcarenítica de la misma edad que presenta una potencia próxima a los 100 m. La segunda zona favorable se localiza al oeste de la anterior, concretamente al sur del pueblo de Espera, donde afloran margas arenosas del Mioceno superior que se disponen, de manera concordante, sobre las formaciones arenosas calcareníticas contemporáneas.

Por último, en el Subsistema 4, definido en el municipio de Arcos de la Frontera, se han identificado otras dos zonas favorables: una situada al sureste del municipio de Arcos de la Frontera, en las estribaciones del acuífero carbonatado de Sierra Valleja, y otra al este de Arcos de la Frontera, concretamente sobre materiales detríticos (sedimentos cuaternarios tipo glaciares depositados de modo discordante sobre calcarenitas bioclásticas) que forman parte del acuífero de Arcos de la Frontera-Villamartín.

12.2.8. PROPUESTA DE TRABAJOS PARA LA MEJORA DEL CONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 062.004. SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY

Los trabajos que se han propuesto para avanzar en el conocimiento del funcionamiento hidrogeológico de la masa de agua subterránea 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey se enumeran a continuación:

1. Recopilación bibliográfica
2. Revisión de la cartografía geológica existente, elaboración de una cartografía hidrogeológica de detalle y delimitación de los compartimentos hidrogeológicos
3. Inventario de puntos de agua
4. Muestreos
 - a. Muestreo del agua de lluvia
 - b. Muestreo de manantiales
 - c. Muestreo de pozos y sondeos
5. Análisis químicos e isotópicos
6. Ensayo de trazadores
7. Campañas de prospección geofísica
8. Ejecución de piezómetros de investigación
9. Trabajo de gabinete

12.2.9. CARTOGRAFÍA DE VULNERABILIDAD NATURAL A LA CONTAMINACIÓN EN MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE NATURALEZA DETRÍTICA, MIXTA Y CARBONATADA

En la tabla 12.2.9.1 se muestra la distribución de la superficie de cada masa de agua subterránea en función de la clase de vulnerabilidad a la que ha sido asignada, expresada tanto en extensión (km²) como en porcentaje.

Código	Nombre	Tipo	Superficie (km ²)					Superficie (%)					Total (km ²)*
			MA	A	M	B	MB	MA	A	M	B	MB	
062.001	SETENIL	M	9,17	24,95	132,63	44,11	12,18	4,11	11,18	59,46	19,78	5,46	223,0
062.002	SIERRA DE LÍBAR	C	26,93	18,04	1,41	2,02	0,53	55,04	36,87	2,89	4,12	1,08	48,9
062.003	SIERRA DE LÚJAR	C	0,00	5,11	15,72	3,07	0,25	0,00	21,16	65,10	12,70	1,05	24,2
062.004	SIERRA DE GRAZALEMA - PRADO DEL REY	C	115,00	47,01	107,64	80,95	9,95	31,90	13,04	29,85	22,45	2,76	361,2
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA - VILLAMARTÍN	D	0,00	23,51	176,15	78,36	25,14	0,00	7,76	58,10	25,85	8,29	330,2
062.006	SIERRA VALLEJA	M	0,00	3,70	21,98	7,86	3,00	0,00	10,12	60,15	21,51	8,22	37,1
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	C	1,09	13,13	19,78	24,69	4,77	1,71	20,69	31,17	38,91	7,52	63,8
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	D	0,00	73,55	111,97	36,12	1,68	0,00	32,94	50,14	16,17	0,75	225,3
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	D	0,46	31,93	40,67	2,70	0,00	0,61	42,14	53,68	3,56	0,01	75,8
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-PUERTO DE STA. MARIA	D	0,00	22,23	107,55	22,72	0,65	0,00	14,52	70,22	14,83	0,43	153,9
062.011	PUERTO REAL	D	0,04	29,24	74,46	10,13	0,20	0,03	25,63	65,28	8,88	0,17	114,1
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	D	1,09	39,63	67,41	6,73	0,33	0,95	34,41	58,52	5,84	0,28	115,3
062.013	BARBATE	D	3,75	20,90	56,66	32,09	2,27	3,24	18,07	48,98	27,74	1,96	115,7
062.014	BENALUP	D	0,00	1,29	15,97	15,24	0,08	0,00	3,94	49,02	46,78	0,26	32,6
Total			157,54	354,22	950,02	366,79	61,05	8,34	18,75	50,28	19,41	3,23	1.921,1

Tipo (o naturaleza de la MASb.): C: Carbonatada; D: Detrítica; M: Mixta

Clase de vulnerabilidad: MA: muy alta; A: alta; M: moderada; B: baja; MB: muy baja

(*) Incluye el área o extensión ocupada por aguas superficiales (lagos, lagunas y embalses)

Tabla 12.2.9.1. Superficie estimada para cada clase de vulnerabilidad, por masa de agua subterránea

Aproximadamente un tercio (29,5%) de la superficie total de las masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada identificadas en la demarcación (incluyendo el sector carbonatado de las masas mixtas) presenta una vulnerabilidad natural a la contaminación *muy alta* (figura 12.2.9.1). Este valor contrasta con el correspondiente a una vulnerabilidad de clase *muy baja*, de tan sólo un 3,4%. La mitad

de la superficie de estas masas de agua subterránea (50,6%) muestra una vulnerabilidad *baja* o *moderada*, y el 16,5% restante, *alta* (figura 12.2.9.1).

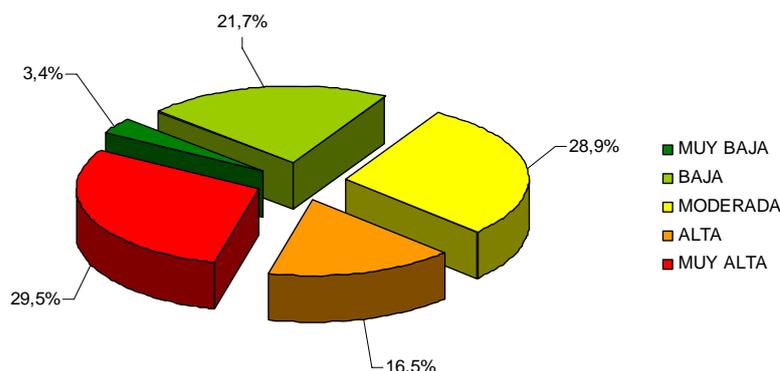


Figura 12.2.9.1. Distribución areal de las clases de vulnerabilidad natural a la contaminación en masas de agua subterránea de *naturaleza carbonatada*

Más de la mitad (58,3%) de la superficie total de las masas de agua subterránea de naturaleza detrítica (incluyendo el sector detrítico de las masas mixtas) presenta una vulnerabilidad natural a la contaminación *moderada* (figura 12.2.9.2). Las clases de vulnerabilidad extremas, *muy alta* y *muy baja*, se ven escasamente representadas (la suma de ambas representa solamente el 3,6% de la superficie total), en tanto que el resto se reparte a partes iguales entre las zonas con vulnerabilidad *alta* (19,6%) y *baja* (18,6%); (figura 12.2.9.2).

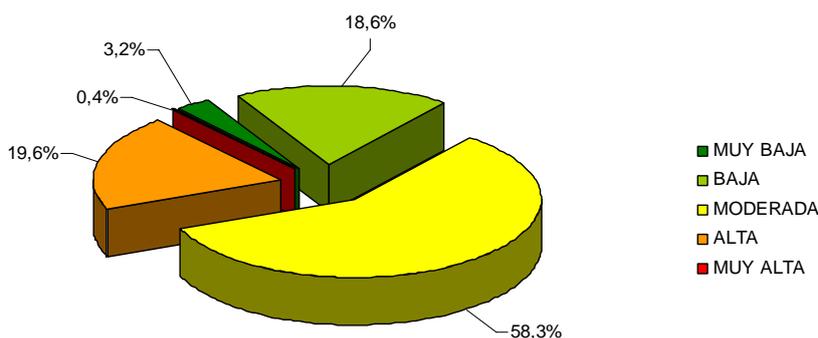


Figura 12.2.9.2. Distribución areal de las clases de vulnerabilidad natural a la contaminación en masas de agua subterránea de *naturaleza detrítica*

En la figura 12.2.9.3 se presenta un mapa de la demarcación con las masas de agua subterránea definidas y la distribución de las clases de vulnerabilidad en el ámbito de cada una de ellas. Se observa que las vulnerabilidades *muy altas* (zonas de color rojo) se concentran en los acuíferos carbonatados situados en el sector nororiental de la demarcación: masas de agua subterránea 062.002. Sierra de Líbar, 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey y los afloramientos carbonatados identificados en la masa de agua subterránea 062.001. Setenil. En las otras dos masas de agua subterránea carbonatadas identificadas en la demarcación, Sierra de las Cabras (062.007) y Sierra de Líjar (062.003), las vulnerabilidades a la contaminación obtenidas han sido sensiblemente más bajas, con un predominio de las clases *moderada* y *baja*. Esta diferencia se debe principalmente al grado de karstificación que presentan las formaciones carbonatadas, más acusado en las masas de agua subterránea situadas en la zona nororiental de la demarcación.

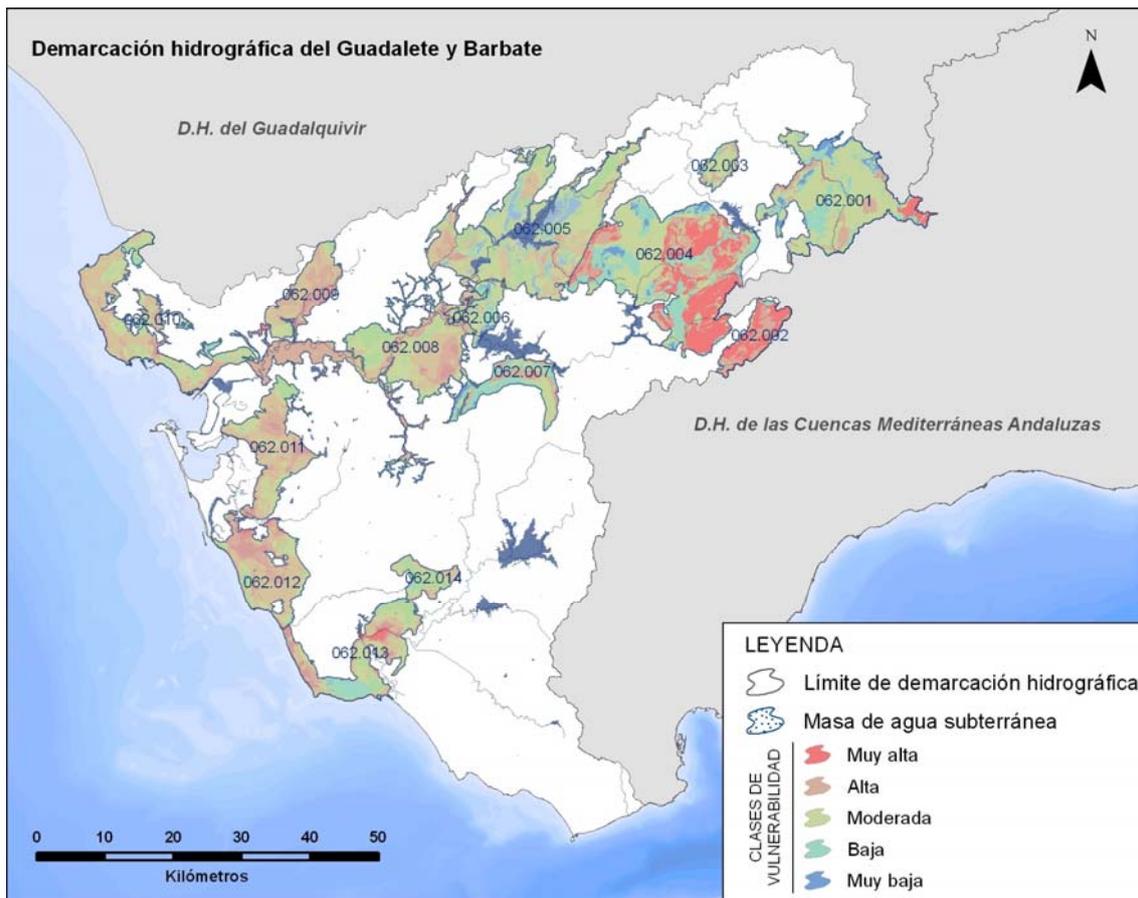


Figura 12.2.9.3. Cartografía de vulnerabilidad natural a la contaminación en el ámbito de la demarcación

Las vulnerabilidades de clase *alta* se distribuyen de manera más homogénea en la demarcación, si bien destacan en las masas de agua subterránea detríticas situadas en las zonas central y costera de la cuenca (figura 12.2.9.3). En el resto de la demarcación dominan las vulnerabilidades *moderadas* y *bajas* (zonas con tonalidades verdosas).

En la figura 12.2.9.4 se muestra la distribución de las clases de vulnerabilidad en cada masa de agua subterránea en función de la posición relativa de cada una de ellas respecto al ámbito de la demarcación: en el eje de abscisas se ha representado la coordenada X (longitud) del centroide de cada una de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación, en orden creciente (esto es, de Oeste a Este), y en el eje de ordenadas la proporción (en porcentaje) que representa cada clase de vulnerabilidad en cada masa de agua subterránea. El resultado obtenido muestra que las únicas masas de agua subterránea identificadas en la demarcación que presentan una proporción significativa de zonas con vulnerabilidad *muy alta* (sectores de color rojo) son las más orientales, en concreto las masas de agua carbonatadas situadas en el borde nororiental de la demarcación. Entre ellas destaca la masa de agua subterránea 062.002. Sierra de Líbar, en la que más del 90% de su superficie presenta una vulnerabilidad natural a la contaminación catalogada como *alta* o *muy alta*.

En el ámbito de la demarcación, la clase de vulnerabilidad más frecuente es la *moderada* (sectores de color amarillo en la figura 12.2.9.4). Pueden destacarse igualmente las vulnerabilidades *bajas* (color verde claro) en aquellas masas de agua situadas en la zona central de la demarcación y las *altas* en las masas que ocupan el sector más occidental.

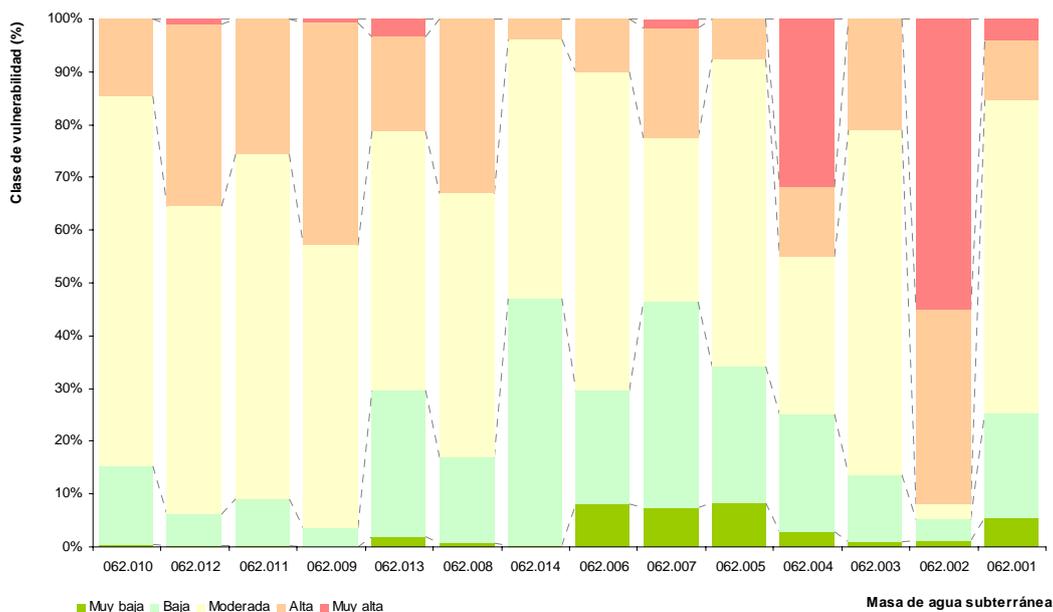


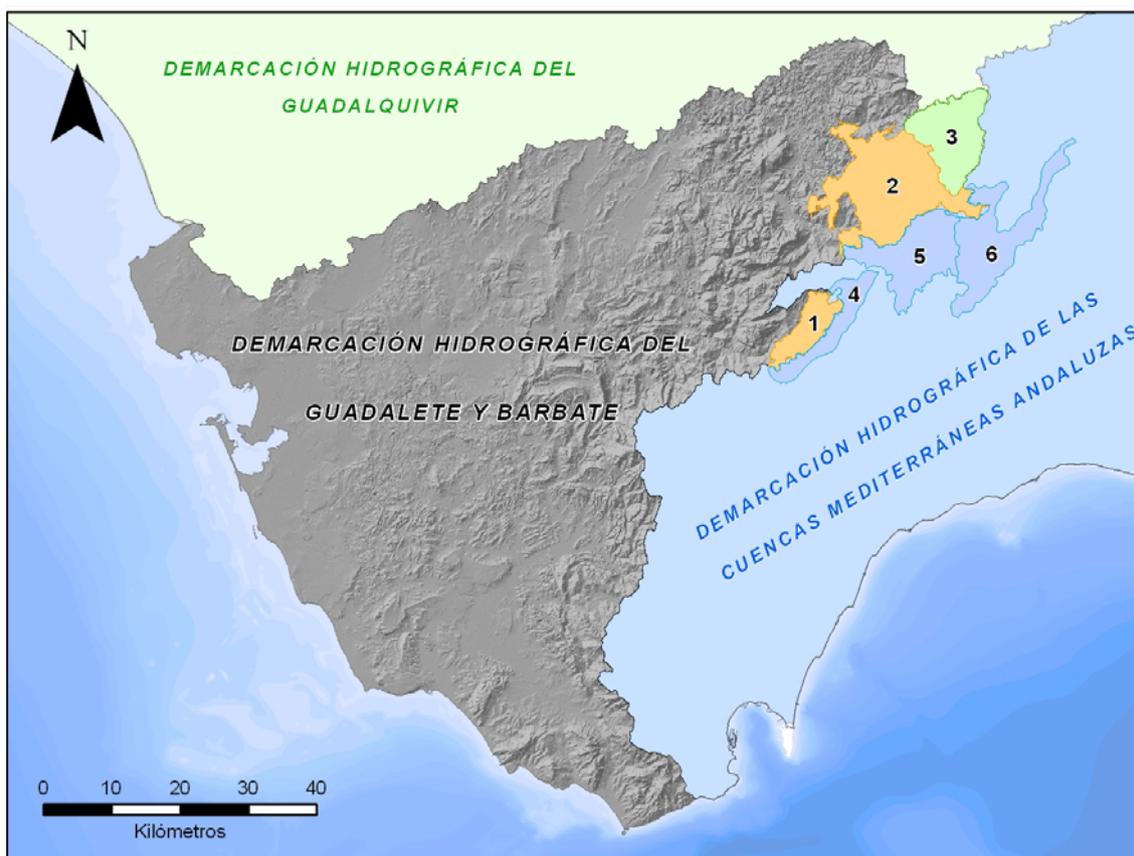
Figura 12.2.9.4. Distribución porcentual de las clases de vulnerabilidad en las masas de agua subterránea identificadas en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

12.2.10. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA COMPARTIDAS ENTRE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS LIMÍTROFES

En la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate se han definido 14 masas de agua subterránea, de las cuales sólo dos limitan con masas de agua subterránea definidas en alguna de las demarcaciones hidrográficas limítrofes (Guadalquivir o Cuencas Mediterráneas Andaluzas). En la tabla 12.2.10.1 se muestra un listado con estas dos masas de agua subterránea, con indicación de las masas limítrofes y en la figura 12.2.10.1, la posición que ocupa cada una de ellas.

MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA (D.H. Guadalete y Barbate)		MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA (DD.HH. limítrofes)		
Código	Nombre MASb.	Código	Nombre MASb.	Demarcación
062.001	Setenil	060.042	Depresión de Ronda	Cuencas Mediterráneas Andaluzas
		060.043	Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla	
		05.72	Sierra de Cañete	Guadalquivir
062.002	Sierra de Líbar	060.044	Sierra de Líbar	Cuencas Mediterráneas Andaluzas

Tabla 12.2.10.1. Masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate que limitan con masas de agua subterránea definidas en demarcaciones hidrográficas adyacentes



D. H. del Guadalete y Barbate

1. 062.002 Sierra de Líbar
2. 062.001 Setenil

D. H. del Guadalquivir

3. 05.72 Sierra de Cañete

D. H. de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas

4. 060.044 Sierra de Líbar
5. 060.042 Depresión de Ronda
6. 060.043 Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla

Figura 12.2.10.1. Localización de las masas de agua subterránea limítrofes identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate

Los criterios que se han considerado para calificar de ‘limítrofes’ dos masas de agua subterránea han sido los siguientes:

- ✓ Que las masas de agua subterránea estén en contacto.
- ✓ Que la longitud de dicho contacto sea significativa respecto al perímetro de las masas de agua subterránea.
- ✓ Que dicha zona de contacto esté constituida por materiales permeables, de modo que no pueda descartarse la existencia de transferencias laterales de agua entre las masas de agua subterránea limítrofes.

De las dos masas de agua subterránea limítrofes identificadas en la demarcación del Guadalete y Barbate (tabla y figura 12.2.10.1), solamente la Sierra de Líbar está incluida en el listado de unidades hidrogeológicas compartidas recogido en el Plan Hidrológico Nacional (Ley 10/2001, de 5 de julio)⁷.

⁷ El Plan Hidrológico Nacional considera acuíferos compartidos los que, estando situados en ámbitos territoriales de dos o más Planes Hidrológicos de cuenca, se enumeran en su anexo I.

En la tabla 12.2.10.2 se resumen los resultados obtenidos tras el análisis de las dos masas de agua subterránea compartidas identificadas:

Masa de agua subterránea				¿Comparten recursos hídricos?	Descripción del contacto
Nombre	Código	Demarcación	Nº en fig. 12.2.10.1		
Setenil	062.001	Guadalete y Barbate	2	No	El límite entre estas dos masas de agua coincide en gran medida con una divisoria hidrogeológica. La lluvia que se infiltra en la Depresión de Ronda se dirige hacia el río Guadiaro (Sur y Este) y la que se infiltra en Setenil hacia el río Trejo (Norte). Así pues, puede considerarse que no existen transferencias laterales significativas entre ambas masas de agua subterránea.
Depresión de Ronda	060.042	Cuencas Mediterráneas Andaluzas	5		
Setenil	062.001	Guadalete y Barbate	2	Sí	El contacto entre estas masas de agua divide en dos los afloramientos carbonatados de los compartimentos Sierras de Colorado-Merinos y Llanos de Carrasco. Se ha estimado una transferencia desde la masa de agua de Setenil (Guadalete y Barbate) a la masa de agua Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla (CMA) de aprox. 2 hm ³ /año.
Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla	060.043	Cuencas Mediterráneas Andaluzas	6		
Setenil	062.001	Guadalete y Barbate	2	Sí	El contacto entre estas dos masas de agua divide en dos el compartimento de Alcalá del Valle del acuífero de la Sierra de Cañete. Toda la descarga de este compartimento se produce hacia la demarcación del Guadalete y Barbate (manantiales y bombeos de poblaciones próximas). Así, el agua que se infiltra en los afloramientos situados en la cuenca del Guadalquivir, cuantificables en unos 0,5 hm ³ /año, son transferidos a la masa de agua subterránea 062.001. Setenil.
Sierra de Cañete	05.72	Guadalquivir	3		
Sierra de Líbar	062.002	Guadalete y Barbate	1	Sí	Estas dos masas de agua subterránea integran un único acuífero cuyas salidas se producen a través de manantiales situados en la vertiente mediterránea del acuífero. Así pues, los recursos hídricos de la masa de agua 062.002 (Guadalete y Barbate) son transferidos prácticamente en su totalidad a la masa de agua 060.044 (Cuencas Mediterráneas Andaluzas) por medio de flujos subterráneos rápidos, lo que hace que los recursos aprovechables o 'explotables' en el sector gaditano sean prácticamente nulos. Los recursos estimados para el acuífero de la Sierra de Líbar en su conjunto (unos 100 hm ³ /año) deberían asignarse a la masa de agua subterránea definida en la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (060.044).
Sierra de Líbar	060.044	Cuencas Mediterráneas Andaluzas	4		

Tabla 12.2.10.2. Síntesis del análisis realizado de las masas de agua subterránea compartidas identificadas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate



Unión Europea

Fondo Europeo de Desarrollo Regional



12.3.1. CONCLUSIONES

En el marco de estos trabajos se han delimitado 70 **perímetros de protección** de la calidad de las aguas en torno a captaciones destinadas al consumo humano localizadas en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea, para tres tiempos de tránsito diferentes: 1, 50 y 1.460 días. Los perímetros correspondientes a un tiempo de tránsito de 1 día han sido 29 en total, con un área media de 0,09 km²; los perímetros delimitados para un tiempo de tránsito de 50 días han sido 24 y su extensión media, de algo más de 2 km², en tanto que los perímetros de protección para 1.460 días, 17 en total, han presentado un área promedio de 5,7 km².

La superficie total que representan los 70 perímetros de protección delimitados es de 153 km², de los cuales 92,5 km² (el 60%) se localizan sobre afloramientos de *calizas* y *dolomías*.

Se han definido 16 perímetros de protección de la cantidad en torno a captaciones destinadas al consumo humano localizadas en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea. La superficie media y total del conjunto de estos perímetros ha sido de 6,6 y 106 km². Como en el caso anterior, las *calizas* y *dolomías* representan la litología con la mayor superficie incluida en el ámbito de estos perímetros (más de la mitad de la superficie total ocupada por los perímetros de protección de cantidad se localizan sobre este tipo de terrenos).

De manera complementaria, en el marco de estos trabajos se han delimitado zonaciones (perímetros) para la protección de la calidad y cantidad de cuatro manantiales catalogados por el IGME como *lugares de interés hidrogeológico*. En concreto, estos LIH's son:

- ✓ Manantial de Arroyomolinos
- ✓ Nacimiento de Benamahoma
- ✓ El Hondón
- ✓ Ubrique (Grazalema)

Las zonaciones para la protección de la calidad del recurso en estas captaciones, establecidas igualmente para tiempos de tránsito de 1, 50 y 1.460 días, presentan una superficie total de 122 km², y las zonaciones para la protección de la cantidad, de 98 km². En ambos casos la litología más frecuente localizada en el interior de las zonaciones delimitadas ha correspondido a las *rocas carbonatadas*, hecho que resulta coherente con la naturaleza de la mayoría de los acuíferos en los que se localizan estos *lugares de interés hidrogeológico*.

El conjunto de la superficie de terreno identificado como masa de agua subterránea en la demarcación se ha catalogado como **zona de salvaguarda** y, en consecuencia, se ha asignado a alguna de las cuatro categorías en las que estas zonas se dividen (A, B, C o D). Los criterios utilizados para la asignación de cada porción de terreno a una u otra categoría han sido la *vulnerabilidad natural a la contaminación* de las rocas aflorantes y la distribución espacial de las *presiones*. Las únicas áreas donde no se han asignado zonas de salvaguarda han sido las correspondientes a las masas de agua superficial de tipo: embalses, lagos, lagunas y aguas de transición, identificadas en el ámbito de las masas de agua subterránea. De acuerdo con los resultados obtenidos, la superficie total de las masas de agua subterránea de la demarcación, cuyo valor asciende a 1.921 km², se distribuiría de la siguiente manera:

- ✓ Zona A: 27%
- ✓ Zona B: 4%
- ✓ Zona C: 42%
- ✓ Zona D: 26%
- ✓ Masas de agua superficial: 1%

Aunque la DMA exige el establecimiento de zonas de salvaguarda solamente en aquellas masas de agua subterránea utilizadas para la captación de agua potable que proporcionen un promedio de más de 100 m³ diarios, en el marco de estos trabajos se ha optado por definir zonas de salvaguarda en todas las masas de agua subterránea, independientemente de que cumplan o no este requisito. De esta forma se garantiza la existencia de zonas de salvaguarda de manera previa a la selección de nuevos puntos para la extracción de agua potable situados en el interior de masas de agua subterránea.

En la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate se han identificado y delimitado tres **acuíferos de interés local**: Algodonales (constituido por areniscas de la Unidad del Aljibe), Sierra de Aznar (calizas y dolomías jurásicas) y La Muela (calcareniticas miocenas). Esta delimitación ha respondido a la presencia de materiales que soportan una extracción significativa, en términos tanto de densidad de captaciones de agua subterránea como de volumen extraído, y que además presentan una permeabilidad media, alta o muy alta. En todos los casos se trata de materiales permeables con un volumen de recursos hídricos que, si bien se consideran limitados, son explotables y, por tanto, aprovechables, y que, de no haber sido catalogados como *acuíferos de interés local* no dispondrían de ninguna figura de protección que asegure la preservación de estos recursos.

Se han revisado las **redes de control del estado químico y cuantitativo** de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Guadalete y Barbate y se han realizado una serie de propuestas, con objeto de mejorarlas y adecuarlas a los nuevos recintos que, desde el año 2008, definen los límites de estas masas de agua subterránea. Por lo que respecta a la red de seguimiento del estado químico, la propuesta consiste en la inclusión de 26 nuevos puntos de control (7 de los cuales se consideran prioritarios) y la exclusión de otros 6, lo cual dejaría en 96 el número total de puntos que constituyen la red de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas de la demarcación.

Por lo que respecta a la red de seguimiento del estado cuantitativo, la propuesta realizada consiste en la inclusión de 13 puntos de control piezométrico y uno hidrométrico, con los que la red pasaría a estar constituida por un total de 75 estaciones de seguimiento.

Para cada masa de agua subterránea de la demarcación se han establecido **niveles de referencia, niveles básicos y valores umbral** para los parámetros físico-químicos *cloruro, conductividad eléctrica, nitrato, relación iónica cloruro/bicarbonato, arsénico, cadmio, plomo, mercurio, amonio, sulfato, tricloroetileno y tetracloroetileno*, a partir de los cuales se ha evaluado el **estado químico** actual de las masas de agua subterránea. No obstante, la escasez de datos o la ausencia de un registro analítico suficientemente representativo no ha permitido el establecimiento de estos niveles, en algunas masas de agua subterránea, para determinados parámetros físico-químicos.

Para el establecimiento de los valores umbral se han utilizado como referencia los valores paramétricos recogidos en el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, relativo a la calidad del agua de consumo humano.

Paralelamente al establecimiento de los niveles de referencia, niveles básicos y valores umbral, se ha procedido a **identificar las tendencias** sostenidas al aumento de la concentración de cualquier contaminante responsable del riesgo identificado en alguna de las masas de agua subterránea de la demarcación. El resultado de este análisis ha servido igualmente para evaluar el estado químico de las masas de agua subterránea.

Siete de las catorce masas de agua subterránea definidas en la demarcación presentan un mal estado químico, principalmente a causa del contenido en *nitrato* y *cloruro* y de los elevados valores de *conductividad eléctrica*. Las siete presentan una naturaleza detrítica y entre ellas se incluyen todas las masas de agua subterránea costeras identificadas en la demarcación.

Son cinco las masas de agua subterránea que muestran un buen estado químico, todas ellas de naturaleza carbonatada excepto la masa 062.008. Aluvial del Guadalete. Finalmente, dos masas de agua subterránea se han definido con un estado químico *no concluyente* (062.001. Setenil y 062.006. Sierra Valleja) debido a la ausencia de registros analíticos suficientes.

Por lo que respecta al **estado cuantitativo**, tres masas de agua subterránea de la demarcación han sido definidas en buen estado (062.007. Sierra de las Cabras, 062.009. Jerez de la Frontera y 062.010. Sanlúcar-Chipiona-Rota-Puerto de Santa María); otras tres se han definido en mal estado (062.005. Arcos de la Frontera-Villamartín, 062.013. Barbate y 062.014. Benalup), mientras que en las ocho masas restantes no se dispone de datos suficientes para valorar su estado cuantitativo.

La estimación de los **balances hidrológicos** de las masas de agua subterránea de la demarcación ha permitido cuantificar las diferentes componentes de *entrada* y *salida* de agua subterránea: infiltración del agua de lluvia y de la escorrentía superficial, recarga lateral y retornos de regadío, por lo que respecta a las entradas, y bombeos, surgencias o manantiales, transferencias subterráneas laterales y descarga hacia ríos, arroyos y mar, por lo que respecta a las salidas.

Partiendo de los resultados del balance hídrico, se han calculado igualmente los recursos disponibles y el índice de explotación correspondiente a cada masa de agua subterránea. Los resultados muestran que la masa de agua subterránea 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey es la que cuenta con el mayor volumen de recursos disponibles (estimados en 36,6 hm³/año), y la masa de agua 062.002. Sierra de Líbar la que menos (considerados nulos puesto que son transferidos prácticamente en su totalidad a la masa de agua subterránea 060.044. Sierra de Líbar definida en la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas). Por lo que respecta al índice de explotación, los valores máximo (131%) y mínimo (0%) se han obtenido, respectivamente, en las masas de agua subterránea 062.014. Benalup y 062.002. Sierra de Líbar y 062.006. Sierra Valleja.

Se han identificado 14 **áreas hidrogeológicamente favorables para el emplazamiento de nuevos sondeos** de captación de aguas subterráneas que complementen el suministro de agua potable, durante periodos de sequía continuados, a diversas poblaciones localizadas en la comarca de la Sierra de Cádiz (en el sector nororiental de la demarcación).

Con el objeto de avanzar en el grado de conocimiento relativo al **funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos que constituyen la masa de agua subterránea 062.004. Sierra de Grazalema-Prado del Rey**, especialmente en lo que se refiere a la cuantificación de los recursos hídricos disponibles y a la posible transferencia de recursos hacia el acuífero de la Sierra de Líbar, se ha propuesto un plan de trabajo estructurado en nueve bloques, entre los que destaca la revisión de la cartografía geológica e

hidrogeológica existente y el seguimiento del estado químico y cuantitativo del acuífero, incluyendo análisis isotópicos, y ensayos de trazadores.

El 50% de la superficie total de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación presenta una **vulnerabilidad natural a la contaminación** de clase *moderada*. Las clases de vulnerabilidad extremas (*muy alta* y *muy baja*) están poco representadas en la demarcación, con una superficie conjunta equivalente al 11% del total, en tanto que el resto se reparte a partes iguales entre las clases *baja* (19,4%) y *alta* (18,8%).

Aproximadamente un tercio de la superficie total de las masas de agua subterránea de naturaleza carbonatada de la demarcación presenta una vulnerabilidad a la contaminación de clase *muy alta*, valor que contrasta con el 3,4% asociado a una vulnerabilidad *muy baja*. Las zonas con vulnerabilidad *muy alta* se concentran en el sector nororiental de la demarcación, donde se localizan varios acuíferos carbonatados con un elevado grado de karstificación sobre los que, por otro lado, se registran precipitaciones abundantes. Entre estas zonas destaca la masa de agua subterránea 062.002. Sierra de Líbar, en la que más del 90% de su superficie presenta una vulnerabilidad natural a la contaminación catalogada como *alta* o *muy alta*.

Las masas de agua subterránea de naturaleza detrítica presentan principalmente una vulnerabilidad a la contaminación de clase *moderada* (58% de su superficie), relacionada, en gran medida, con el desarrollo de actividades potencialmente contaminantes en el ámbito de estas masas.

La masa de agua subterránea 062.001. Setenil presenta un límite en común con tres masas de agua subterránea definidas en las **demarcaciones hidrográficas adyacentes** (Cuencas Mediterráneas Andaluzas y Guadalquivir). Estas masas son las codificadas como 060.042. Depresión de Ronda, con la cual se considera que no presenta recursos hídricos compartidos; 060.043. Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla, hacia la cual se ha estimado una transferencia lateral desde la masa de agua subterránea Setenil de unos 2 hm³/año, y 05.72. Sierra de Cañete, desde la cual se ha considerado una descarga hacia la masa de agua Setenil cuantificable en unos 0,5 hm³/año.

La masa de agua subterránea 062.002. Sierra de Líbar, por su parte, está en contacto con la masa de agua subterránea 060.044. Sierra de Líbar definida en la demarcación de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, hacia la cual se produce una transferencia desde la masa de agua 062.002 que se estima equivalente al volumen total de entradas (recarga) que se producen en esta última.

12.3.2. RECOMENDACIONES

De acuerdo con el propósito de continuar acometiendo con las máximas garantías los requerimientos estipulados en las disposiciones legales vigentes en materia de aguas subterráneas y en cumplimiento con los objetivos medioambientales recogidos en el artículo 4 de la Directiva 2000/60/CE, artículo 35.b del Reglamento de Planificación Hidrológica (RD 907/2007), apartado 6.1.3 de la Instrucción de Planificación Hidrológica (Orden ARM/2656/2008) y artículo 6 de la Ley de Aguas de la Comunidad Autónoma de Andalucía (Ley 9/2010, de 30 de julio), se considera necesario avanzar en el conocimiento sobre el funcionamiento de los sistemas acuífero identificados en el ámbito de la demarcación con objeto de cubrir las carencias de información detectadas, elaborar planes de ordenación de los recursos hídricos en aquellas masas de agua subterránea evaluadas en mal estado cuantitativo, así como mejorar las infraestructuras de control y seguimiento del estado de las aguas subterráneas. En base a lo anteriormente expuesto, se recomienda realizar los siguientes trabajos:

1. Elaboración de planes de ordenación de extracciones en aquellas masas de agua subterránea definidas en mal estado cuantitativo que soportan una mayor explotación intensiva.

Los objetivos que se pretenden alcanzar con el establecimiento de un plan de ordenación de extracciones son los siguientes:

- Obtención de un balance hídrico equilibrado en el acuífero que se haga sobre la base de la cifra de recursos disponibles especificada en el Plan Hidrológico de Cuenca.
- Recuperación progresiva de los niveles piezométricos del acuífero.
- El logro de una explotación racional de los recursos disponibles.
- La mejora de la calidad química del agua subterránea en aquellos casos en que la sobreexplotación haya provocado un deterioro de su calidad.

2. Delimitación de perímetros que protejan las aguas subterráneas utilizadas para la captación de agua destinada al consumo humano, cuya explotación se localiza fuera de zonas de salvaguarda con restricciones fuertes o moderadas establecidas para aquellas masas de agua subterránea que proporcionen un promedio de más de 100 m³ diarios utilizados para la captación de agua potable. Estos perímetros serán incluidos, en virtud del artículo 7 de la Directiva 2000/60/CE y con arreglo al apartado 2 del artículo 6, en el Registro de Zonas Protegidas.

Para llevar a cabo esta actividad será necesario seleccionar las captaciones de agua subterránea destinadas al consumo humano que estén localizadas dentro de alguna de las dos zonas con menor grado de protección (de prevención de futuro o sin protección necesaria). A continuación se valorará el mayor o menor grado de vulnerabilidad de las poblaciones que se abastecen de dichas captaciones en caso de que la calidad del agua se viera deteriorada o dejara de ser apta para el consumo humano. La selección de las captaciones en las que se delimitarán estos perímetros se hará en función de la vulnerabilidad y de la presencia, o no, de fuentes de suministro alternativas.

3. Inventario de los sistemas de superficie asociados, incluidos los ecosistemas terrestres y las masas de agua superficial, con los que esté conectada dinámicamente la masa de agua subterránea, y cálculo sobre direcciones y tasas de intercambio de flujos entre ambas.

Esta actividad se acometerá en aquellas masas de agua subterránea de las que dependen masas de agua superficial o ecosistemas terrestres, siempre y cuando la conexión entre ambas pueda calificarse de significativa. Esta actividad deberá ejecutarse en cuatro fases consecutivas:

- Identificación de las masas de agua superficial dependientes de las aguas subterráneas.
- Identificación de los ecosistemas terrestres dependientes de las aguas subterráneas.
- Cálculo del sentido del flujo subterráneo entre la masa de agua subterránea y la masa de agua superficial o ecosistema asociado.
- Estimación de la tasa de intercambio neta entre la masa de agua subterránea y la masa de agua superficial o ecosistema asociado.

4. Diagnóstico de las estaciones de seguimiento del estado cuantitativo y estado químico de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación, con objeto de verificar la representatividad de las redes así como la bondad de los datos.

El objetivo de estos trabajos se centra en evaluar el estado en el que se encuentran las estaciones de seguimiento del estado químico y estado cuantitativo de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación.

El correcto desarrollo de esta actividad requiere el reconocimiento de las estaciones de seguimiento con objeto de examinar su estado (externo y/o interno), así como comprobar la existencia de bombeos en el entorno. Asimismo, en aquellos casos en que se considere que una estación de seguimiento no es representativa de la masa de agua subterránea controlada, se propondrá una nueva estación.

5. Realización de campañas periódicas de muestreo y toma de datos (piezometría, hidrometría e hidroquímica) en las estaciones de seguimiento operativas. Esta actividad puede dividirse, a su vez, en las dos siguientes:

- Campañas periódicas de recogida de muestras de agua para su análisis químico en las estaciones de seguimiento incluidas en la red de control del estado químico de las aguas subterráneas.
- Campañas periódicas de medida del nivel piezométrico en pozos, sondeos y piezómetros, y de caudal en los manantiales y galerías que constituyen la red de control del estado cuantitativo de las aguas subterráneas.

6. Elaboración de un plan de gestión integrada de los recursos hídricos en masas de agua subterránea definidas en mal estado.