

DOCUMENTOS

COMPLEMENTARIOS

Demarcación Hidrográfica Tinto Odiel Piedras



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	6
2. DELIMITACIÓN DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN Y ZONAS DE SALVAGUARDA	7
2.1. DELIMITACIÓN DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN	7
2.1.1. INTRODUCCIÓN	7
2.1.2. TRABAJOS REALIZADOS	8
2.1.2.1. Documentación consultada	8
2.1.2.2. Aspectos metodológicos.....	10
2.1.2.3. Parámetros hidrogeológicos.....	12
2.1.2.4. Génesis de los perímetros de protección	15
2.1.2.4.1. Envoltentes de Wyssling.....	15
2.1.2.4.2. Envoltentes de Jacob.....	17
2.1.2.4.3. Perímetros en captaciones con drenaje por gravedad	17
2.1.2.4.4. Delimitación hidrogeológica	18
2.1.2.4.5. Revisión final mediante criterio de experto	20
2.1.3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	21
2.1.3.1. Perímetros de protección de la calidad del agua.....	21
2.1.3.2. Perímetros de protección de la cantidad.....	24
2.1.3.3. Zonación de Lugares de Interés Hidrogeológico (LIH's).....	25
2.1.3.3.1. Protección de la calidad del agua	27
2.1.3.3.2. Protección de la cantidad del agua.....	28
2.2. DELIMITACIÓN DE ZONAS DE SALVAGUARDA	29
2.2.1. INTRODUCCIÓN	29
2.2.2. TRABAJOS REALIZADOS	30
2.2.2.1. Documentación consultada	30
2.2.2.2. Aspectos metodológicos.....	32
2.2.3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	35
3. IDENTIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DE INTERÉS LOCAL	40
3.1. INTRODUCCIÓN	40
3.2. TRABAJOS REALIZADOS	40
3.2.1. Documentación consultada	40
3.2.2. Aspectos metodológicos.....	40
3.3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	44
- 062.1.01. VALVERDE DEL CAMINO	45
- 062.1.02. ALOSNO	46
- 062.1.03. LOS CRISTOS	47
- 062.1.05. EL PUENTE	48
- 062.1.04. VILLANUEVA DE LOS CASTILLEJOS	49
- 062.1.06. FUENTE DE LA CORCHA	50



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	58
4.1. INTRODUCCIÓN	58
4.2. BASE NORMATIVA	58
4.2.1. DIRECTIVA 2000/60/CE. DIRECTIVA MARCO DEL AGUA (DMA)	58
4.2.2. DIRECTIVA 2006/118/CE. DIRECTIVA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (DAS).....	59
4.2.3. LEY DE AGUAS.....	59
4.2.4. REGLAMENTO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.....	60
4.2.5. INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.....	60
4.2.6. REAL DECRETO 1514/2009	60
4.2.7. LEY DE AGUAS PARA ANDALUCÍA	60
4.3. RED DE CONTROL ACTUAL EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADALETE Y BARBATE	61
4.3.1. ESTADO QUÍMICO.....	61
4.3.2. ESTADO CUANTITATIVO.....	64
4.4. ASPECTOS METODOLÓGICOS	66
4.4.1. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DEL ESTADO CUANTITATIVO.....	66
4.4.2. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DEL ESTADO QUÍMICO	66
4.4.2.1. Recomendaciones recogidas en el documento Guía nº 15	67
4.4.2.2. Criterios utilizados durante los trabajos de revisión de la red de seguimiento del estado químico	68
4.5. PROPUESTA DE ADECUACIÓN Y MEJORA DE LAS REDES DE CONTROL DEL ESTADO QUÍMICO Y ESTADO CUANTITATIVO DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	70
4.5.1. ARACENA (440001)	70
4.5.1.1. Estado químico	70
4.5.1.2. Estado cuantitativo.....	71
4.5.2. NIEBLA (30593)	71
4.5.2.1. Estado químico	71
4.5.2.2. Estado cuantitativo.....	72
4.5.3. LEPE-CARTAYA (30594).....	72
4.5.3.1. Estado químico	72
4.5.3.2. Estado cuantitativo.....	73
4.5.4. CONDADO (30595).....	74
4.5.4.1. Estado químico	74
4.5.4.2. Estado cuantitativo.....	75
4.6. SÍNTESIS DE LOS TRABAJOS DE REVISIÓN Y ADECUACIÓN DE LAS REDES DE CONTROL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	75
4.6.1. ESTADO QUÍMICO.....	75
4.6.2. ESTADO CUANTITATIVO.....	76
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	77
5.1. INTRODUCCIÓN	77
5.2. TRABAJOS REALIZADOS	77
5.2.1. ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE REFERENCIA	77
5.2.1.1. Agregación de los datos.....	78



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



5.2.1.1.1.	Límites geográficos de las masas de agua subterránea	79
5.2.1.1.2.	Establecimiento de series temporales representativas	80
5.2.1.2.	Criterios de representatividad del muestreo	81
5.2.1.3.	Revisión de antecedentes	82
5.2.1.4.	Análisis estadístico	83
5.2.1.5.	Origen natural/antrópico de los parámetros analizados	83
5.2.2.	ESTABLECIMIENTO DE VALORES UMBRAL	84
5.2.2.1.	Masas de agua subterránea y parámetros analizados	85
5.2.2.2.	Establecimiento de los valores umbral	87
5.2.2.3.	Parámetros con normas de calidad específicas: Nitratos y plaguicidas	88
5.2.3.	ESTABLECIMIENTO DE NIVELES BÁSICOS	88
5.2.3.1.	Discretización de datos	89
5.2.3.1.1.	Límites geográficos de las masas de agua subterránea	89
5.2.3.1.2.	Selección de registros analíticos adaptada a la directiva 2006/118/CE	89
5.3.	RESULTADOS OBTENIDOS	90
5.4.	DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS Y SOSTENIDAS AL AUMENTO Y DEFINICIÓN DE LOS PUNTOS DE PARTIDA DE LAS INVERSIONES DE TENDENCIAS	91
5.4.1.	PARÁMETROS ANALIZADOS	91
5.4.2.	DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS Y SOSTENIDAS AL AUMENTO	92
5.4.3.	PUNTO DE PARTIDA DE INVERSIÓN DE TENDENCIAS	93
5.4.4.	CONCLUSIONES DE LA DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS SIGNIFICATIVAS Y DEFINICIÓN DE LOS PUNTOS DE PARTIDA DE LAS INVERSIONES DE TENDENCIAS	94
▪	30593. Niebla	94
▪	30594. Lepe-Cartaya	96
▪	30595. Condado	100
▪	440001. Aracena	102
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	104
6.1.	INTRODUCCIÓN	104
6.2.	TRABAJOS REALIZADOS	104
6.2.1.	EVALUACIÓN DEL ESTADO QUÍMICO	104
6.2.1.1.	Agregación de los datos	105
6.2.2.	EVALUACIÓN DEL ESTADO CUANTITATIVO	106
6.2.2.1.	Agregación de los datos	107
6.2.2.1.1.	Límites geográficos de las masas de agua subterránea	107
6.2.2.1.2.	Selección de piezómetros representativos	108
✓	Establecimiento del índice de llenado (iLL)	109
✓	Establecimiento del índice de extracción (I.E.)	110
6.3.	RESULTADOS OBTENIDOS	110
6.3.1.	RESULTADOS OBTENIDOS TRAS LA EVALUACIÓN DEL ESTADO QUÍMICO	110
▪	30593. Niebla	110
▪	30594. Lepe-Cartaya	112
▪	30595. Condado	114
▪	440001. Aracena	115
6.3.2.	RESULTADOS OBTENIDOS TRAS LA EVALUACIÓN DEL ESTADO CUANTITATIVO	116
▪	30593. Niebla	116
▪	30594. Lepe-Cartaya	119



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



▪ 30595. Condado.....	123
▪ 440001. Aracena.....	126
6.4. INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL ESTADO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	126
6.4.1. ESTADO QUÍMICO.....	126
6.4.2. ESTADO CUANTITATIVO.....	131
7. ESTIMACIÓN DE BALANCES HIDROLÓGICOS EN MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE NATURALEZA DETRÍTICA, MIXTA Y CARBONATADA.....	133
7.1. INTRODUCCIÓN	133
7.2. TRABAJOS REALIZADOS	133
7.2.1. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA.....	133
7.2.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS	135
7.2.2.1. Recarga por infiltración del agua de lluvia.....	135
7.2.2.2. Recarga por retornos de regadío.....	136
7.2.2.3. Resto de componentes del balance.....	139
7.3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	140
8. ELABORACIÓN DE UNA CARTOGRAFÍA DE VULNERABILIDAD NATURAL A LA CONTAMINACIÓN EN LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA IDENTIFICADAS EN LA DEMARCACIÓN	143
8.1. INTRODUCCIÓN	143
8.2. TRABAJOS REALIZADOS	144
8.2.1. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA.....	144
8.2.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS	144
8.2.2.1. Cartografía de vulnerabilidad natural a la contaminación en masas de agua subterránea de naturaleza detrítica (método DRASTIC reducido)	145
- Método DRASTIC	145
- Fuentes de información, recopilación, análisis y tratamiento de los datos y capas de información.....	149
- Elaboración de mapas temáticos.....	151
8.3. RESULTADOS OBTENIDOS.....	153
9. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA COMPARTIDAS ENTRE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS LIMÍTROFES	155
9.1. INTRODUCCIÓN	155
9.2. BASE NORMATIVA	156
9.2.1. DIRECTIVA MARCO DEL AGUA (DIRECTIVA 2000/60/CE)	156
9.2.2. LEY DE AGUAS.....	157
9.2.3. REGLAMENTO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.....	157
9.2.4. INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.....	157
9.2.5. LEY DE AGUAS PARA ANDALUCÍA	158
9.3. TRABAJOS REALIZADOS	158
9.3.1. DOCUMENTACIÓN CONSULTADA.....	158
9.3.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS	158
9.3.3. MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA LIMÍTROFES.....	159
9.4. RESULTADOS OBTENIDOS.....	161
9.4.1. ARACENA (440001)–AROCHE-JABUGO (30604)–SIERRA MORENA (05.45).....	161
9.4.2. NIEBLA (30593) – GERENA-POSADAS (05.49).....	163
9.4.3. LEPE-CARTAYA (30594) - AYAMONTE (30596)	164
9.4.4. CONDADO (30595) – ALMONTE-MARISMAS DEL GUADALQUIVIR (05.51)	166



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



10. PROPUESTA DE AMPLIACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA 30593. NIEBLA Y 30594. LEPE-CARTAYA.....	169
10.1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	169
10.2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETO.....	172
10.3. ESTRATIGRAFÍA DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA AMPLIADAS.....	172
10.3.1. MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 30593. NIEBLA	172
10.3.2. MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 30594. LEPE-CARTAYA	173
10.4. LÍMITES CARTOGRÁFICOS.....	174
10.5. RECOMENDACIONES	177
11. DOCUMENTO DE SÍNTESIS.....	179
11.1. TRABAJOS REALIZADOS	179
11.2. RESULTADOS OBTENIDOS.....	192
11.2.1. DELIMITACIÓN DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN Y ZONAS DE SALVAGUARDA	192
11.2.1.1. Delimitación de perímetros de protección	192
11.2.1.2. Delimitación de zonas de salvaguarda.....	199
11.2.2. IDENTIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DE INTERÉS LOCAL	203
- 062.1.01. VALVERDE DEL CAMINO	204
- 062.1.02. ALOSNO	205
- 062.1.03. LOS CRISTOS	206
- 062.1.05. EL PUENTE	207
- 062.1.04. VILLANUEVA DE LOS CASTILLEJOS	208
- 062.1.06. FUENTE DE LA CORCHA	209
11.2.3. 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	210
11.2.4. 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	212
11.2.5. INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN, DE ACUERDO AL APARTADO 2.5 DEL ANEXO V DE LA DIRECTIVA 2000/60/CE, DEL ESTADO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	215
11.2.6. ESTIMACIÓN DE BALANCES HIDROLÓGICOS EN MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE NATURALEZA DETRÍTICA, MIXTA Y CARBONATADA	216
11.2.7. CARTOGRAFÍA DE VULNERABILIDAD NATURAL A LA CONTAMINACIÓN EN MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE NATURALEZA DETRÍTICA, MIXTA Y CARBONATADA.....	219
11.2.8. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA COMPARTIDAS ENTRE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS LIMÍTROFES.....	221
11.2.9. PROPUESTA DE AMPLIACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA 30593. NIEBLA Y 30594. LEPE-CARTAYA	224
11.3. CONSIDERACIONES FINALES.....	226
11.3.1. CONCLUSIONES.....	226
11.3.2. RECOMENDACIONES	229

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.

BALANCES HIDROLÓGICOS: NATURALEZA DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 440001. ARACENA



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



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 Tinto, Odiel y Piedras, del Guadalete y Barbate y de 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 (efectuada 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 Tinto, Odiel y Piedras están incluidos en el informe realizado para la demarcación hidrográfica del Guadiana. Ello se debe a que en la fecha de elaboración de estos informes la gestión de la cuenca del Tinto, Odiel y Piedras aún no había sido transferida a la Comunidad Autónoma de Andalucía y, por tanto, no constituía todavía una demarcación hidrográfica con entidad propia.

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.

Durante el bienio 2007/08 se elaboraron varios informes promovidos por la Administración pública que se enmarcan dentro del proceso de implementación de la DMA: la Confederación Hidrográfica del Guadiana elaboró en 2007 los trabajos de *Mejora del conocimiento hidrogeológico de las unidades de la zona sur de la Cuenca del Guadiana*, en tanto que la Agencia Andaluza del Agua ejecutó en 2008 la *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*.

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 Tinto, Odiel y Piedras, 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.

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 Tinto, Odiel y Piedras 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 (Guadiana 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 Tinto, Odiel y Piedras.

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 Tinto, Odiel y Piedras, 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 Tinto, Odiel y Piedras 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 33 (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 35 captaciones. No obstante, se ha constatado que más de la mitad se encuentra en desuso debido a que los municipios en los que se localizan, actualmente se abastecen de los recursos hídricos procedentes de los embalses del Jarama o Chanza-Piedras. En cualquier caso, se ha delimitado un perímetro de protección para todas y cada una de las captaciones identificadas si bien, 2 se localizan en terrenos catalogados como masa de agua subterránea y el resto, 33 captaciones, fuera de masa. Asimismo, en base a la naturaleza de las captaciones, éstas se han catalogado como: manantial (3), pozo (5) y sondeo (27).

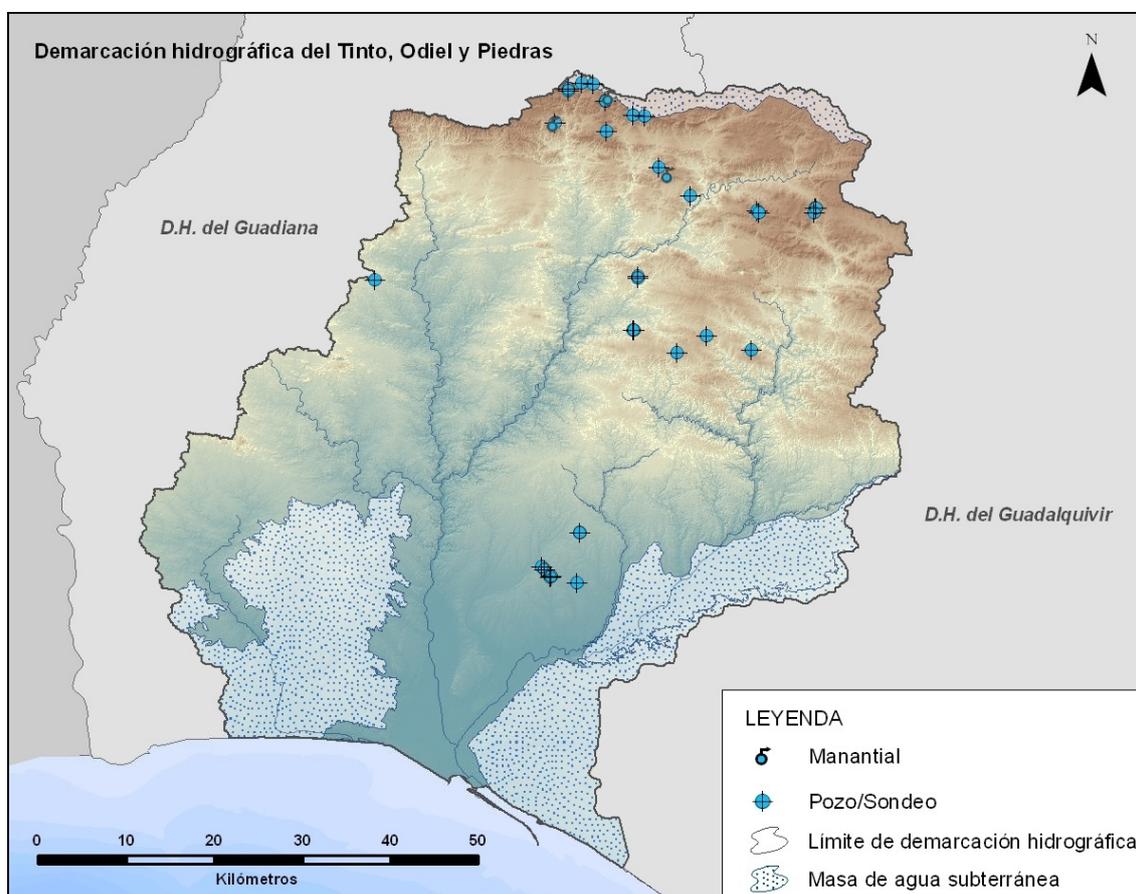


Figura 2.1.2.1.1. Captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano, localizadas en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea

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 más de cincuenta personas, cuya explotación se localiza fuera de m.a.sb.	AAA
2	Shapefile	Poligonal	DEM_TOP	Demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras	AAA
3	Shapefile	Poligonal	LITO_TOP	Cartografía litoestratigráfica, E.:1:200.000	IGME
4	Shapefile	Poligonal	MASb_TOP	Masas de agua subterránea	AAA
5	Ráster	Píxel	MDE_TOP	Modelo Digital de Elevaciones	J.AND.
6	Ráster	Píxel	MOS_TOP	Mosaico de la cartografía geológica, E.:1:50.000	IGME/TTEC
7	Shapefile	Poligonal	MUNI	Términos municipales	IGN/ICA
8	Shapefile	Poligonal	PERM_TOP	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 considerarse 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*, 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 Tinto, Odiel y Piedras.
- Masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.
- Modelo Digital de Elevaciones generado para la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.
- 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).
- ✓ 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).
- ✓ Documento de síntesis sobre la Mejora del conocimiento hidrogeológico de las unidades de la zona Sur de la Cuenca del Guadiana; (CGS, abril 2007).
- ✓ 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 - Modelo Digital del Terreno editado por la Junta de Andalucía

PARÁMETROS	FUENTES DE INFORMACIÓN
Caudal	<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 - GIHASA. Gestión Integral de Aguas en Huelva - 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 del 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.

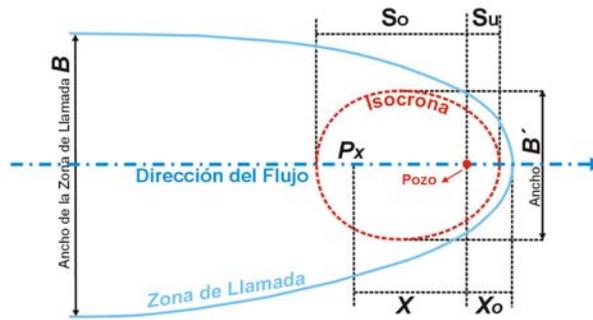


Figura 2.1.2.4.1.1. Determinación de las isocronas mediante la aplicación del método de Wyssling

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:

$$S_0 = \frac{+l + \sqrt{l \cdot (l + 8 \cdot X_0)}}{2} \quad S_u = \frac{-l + \sqrt{l \cdot (l + 8 \cdot X_0)}}{2}$$

Donde:

l : Distancia = $V_e \cdot t$

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

V_e : Velocidad eficaz

S_0 : 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. Envolventes 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* 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 (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 Tinto, Odiel y Piedras. De este modo, se han identificado cuatro tipologías principales:

- ✓ Afloramientos metamórficos
- ✓ Depósitos neógenos
- ✓ Macizos cristalinos y afloramientos volcánicos
- ✓ Rellenos cuaternarios

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, 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 105 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 90, 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		34	32	24	90
Área (km ²)	Total	0,023	0,907	15,760	16,689
	Media	0,000664	0,028	0,657	-
	Máxima	0,004927	0,172	2,394	-
	Mínima	0,000058	0,003	0,035	-

Tabla 2.1.3.1.1. Parámetros estadísticos de los perímetros de protección obtenidos

Como puede observarse en la tabla adjunta, se han obtenido 34 perímetros de protección para un tiempo de tránsito de 1 día. En total, dichos perímetros ocupan una superficie útil de unos 23.000 m². El tamaño medio es de unos 664 m², aunque el área de cada perímetro es muy variable, entre 58 m² y 5.000 m², dependiendo de los parámetros hidráulicos de la formación acuífera captada.

Para un tiempo de tránsito de 50 días se han obtenido un total de 32 perímetros, que ocupan una superficie aproximada de 0,9 km². El tamaño medio es de unos 28.000 m², aunque, al igual que en el caso anterior, existe una fuerte variabilidad, con superficies que oscilan entre algo más de 3.000 m² y 172.000 m².

Por último, los recintos correspondientes para un tiempo de tránsito de 1.460 días, 24 en total, presentan un tamaño medio de 0,66 km² y una superficie total de 15,8 km². Igualmente se ha observado que existe una fuerte variabilidad en el área de los recintos obtenidos, pues ésta varía entre 0,035 km² y 2,4 km².

Tras realizar un análisis estadístico de los datos, en función de la naturaleza de la formación acuífera, se ha observado que no existe ningún dominio litológico fuertemente dominante. Por el contrario, los depósitos cuaternarios están pobremente representados en comparación con el resto de litologías.

Litología	Superficie (km ²)			Superficie (%)			Total (km ²)
	1	50	1.460	1	50	1.460	
Rocas volcánicas	0,01	0,38	4,5	0,20	7,79	92,0	4,9
Rocas plutónicas	0,01	0,22	2,5	0,19	8,18	91,6	2,7
Rocas metamórficas	0,00	0,13	2,9	0,11	4,18	95,7	3,1
Depósitos cuaternarios	0,00	0,01	0,2	0,00	3,59	96,4	0,2
Calcarenitas, conglomerados, arenas y limos marinos	0,00	0,17	5,6	0,07	2,91	97,0	5,8
Total	0,02	0,91	15,8	0,14	5,43	94,4	16,7

Tabla 2.1.3.1.2. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados

El diagrama de sectores de 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 *rocas volcánicas*, seguido de *rocas plutónicas*, *depósitos marinos pliocenos* y *rocas metamórficas*.

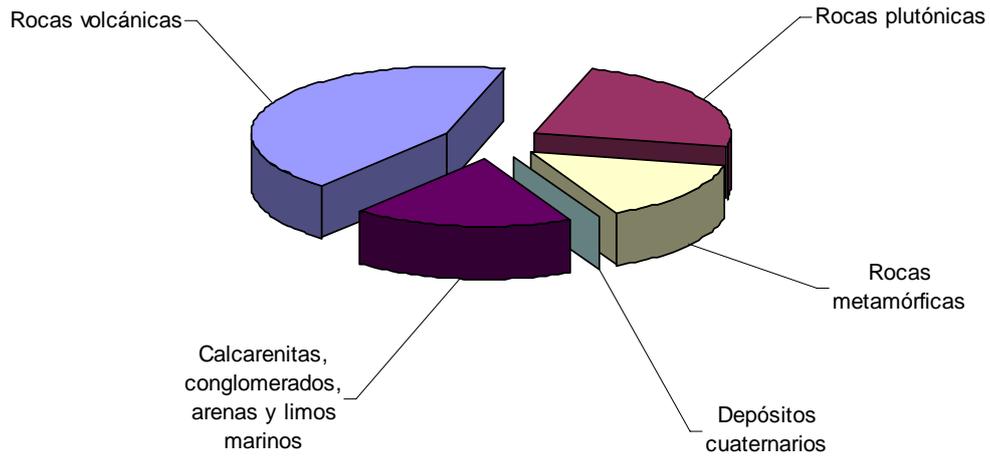


Figura 2.1.3.1.1. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados, para un tiempo de tránsito de 1 día

La figura 2.1.3.1.2, correspondiente a un tiempo de tránsito de 50 días, indica una relación de proporcionalidad similar a la anterior. Tan sólo destacar un ligero incremento de los *sedimentos cuaternarios*, aunque globalmente siguen siendo claramente minoritarios.

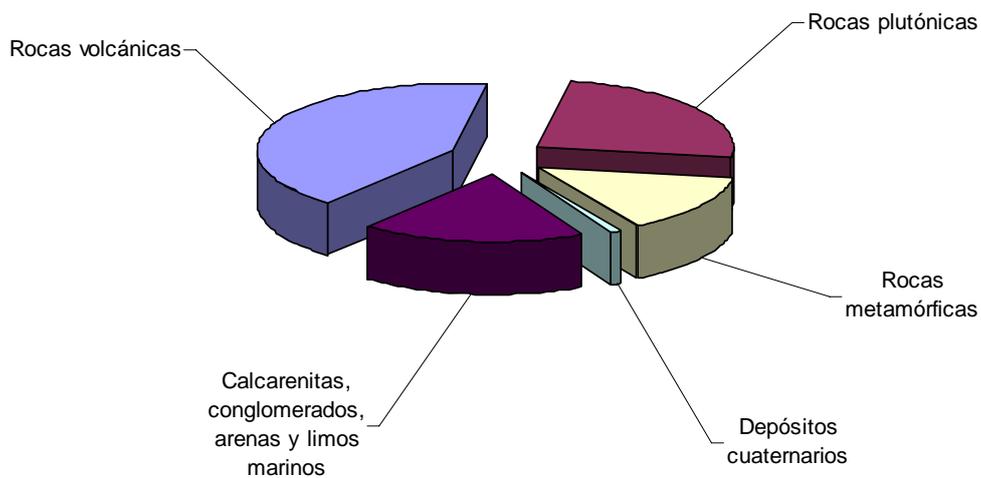


Figura 2.1.3.1.2. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados, para un tiempo de tránsito de 50 días

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, *rocas volcánicas*, *rocas plutónicas*, *depósitos marinos pliocenos* y *rocas metamórficas* presentan proporciones más o menos similares entre sí. En este caso, es destacable el crecimiento de los depósitos pliocenos, en detrimento de las rocas volcánicas. La proporción de sedimentos aluviales se mantiene aproximadamente constante.

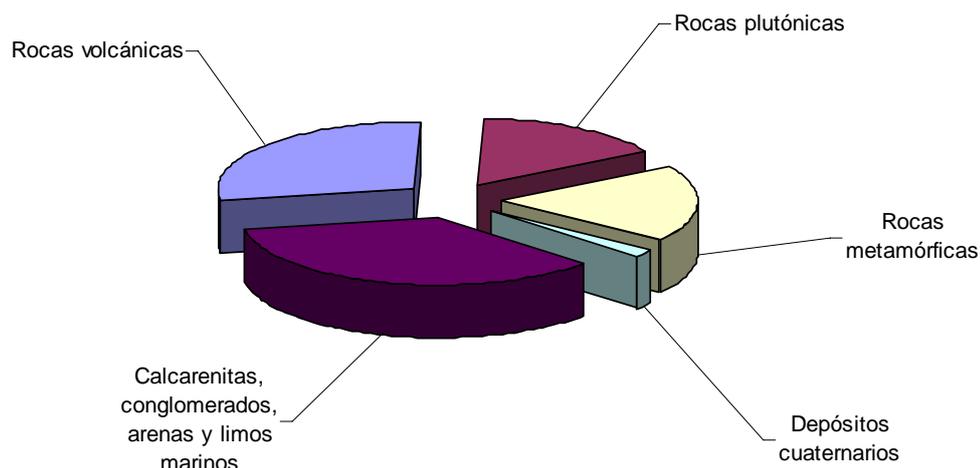


Figura 2.1.3.1.3. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados, para un tiempo de tránsito de 1.460 días

2.1.3.2. Perímetros de protección de la cantidad

Inicialmente se han delimitado un total de 35 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 23 (tabla 2.1.3.2.1), y presentan un área media de 0,5 km². En total, ocupan una superficie de 10,3 km².

Nº de perímetros		23
Área (km ²)	Total	10,3
	Media	0,5
	Máxima	2,0
	Mínima	0,26

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 cantidad del agua, no existe una litología claramente dominante. Tan sólo se puede destacar la baja proporción que representan los *depósitos cuaternarios*.

Litología	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Rocas volcánicas	3,6	34,4
Rocas plutónicas	2,0	19,4
Rocas metamórficas	2,1	20,8
Depósitos cuaternarios	0,1	1,4
Calcarenitas, conglomerados, arenas y limos marinos	2,5	24,1
Total	10,3	100,0

Tabla 2.1.3.2.2. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados

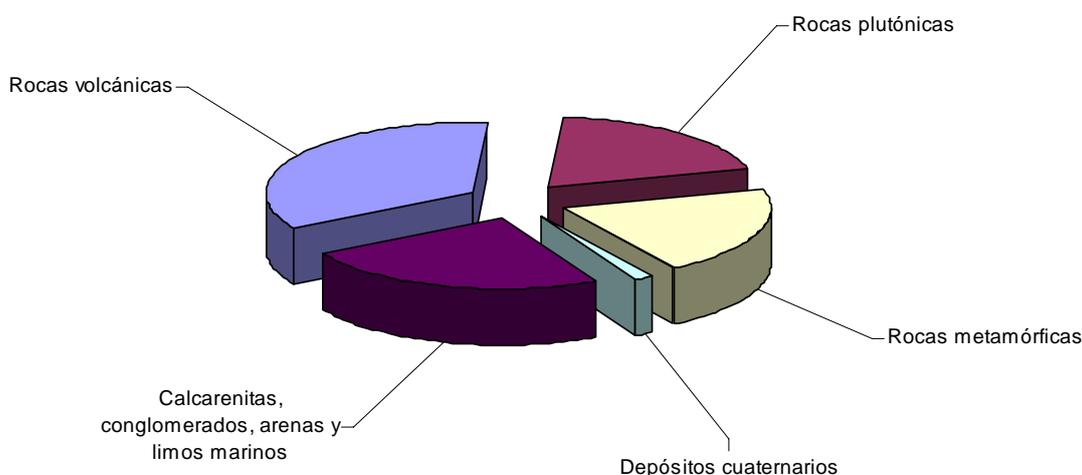


Figura 2.1.3.2.1. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados

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
Fuente Peña de Arias Montano	177519	4198819	Huelva	Alájar	MASb. 440001. Aracena
Fuente de los Tres Caños	172636	4197553	Huelva	Santa Ana la Real	MASb. 440001. Aracena

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><u>Zona Tipo A (Restricciones fuertes)</u></p> <p>La Autoridad competente deberá valorar la viabilidad de NO AUTORIZAR captaciones adicionales ni actividades potencialmente contaminantes.</p>
<p><u>Zona Tipo B (Limitaciones específicas)</u></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><u>Zona Tipo C (Masa en riesgo de sobreexplotación)</u></p> <p>No autorizadas captaciones adicionales; valorar la viabilidad de no autorizar actividades potencialmente contaminantes.</p>

TIPO DE ZONA
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 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 formaciones que afloran con mayor frecuencia en el ámbito de las zonaciones delimitadas, varían en función del tiempo de tránsito considerado.

Litología	Superficie (km ²)			Superficie (%)		
	1	50	1.460	1	50	1.460
Calizas, dolomías y mármoles	-	0,85	0,85	-	50,00	50,00
Pizarras, areniscas y cuarcitas	-	-	0,03	-	-	100,00
Rocas volcánicas	0,03	0,29	1,34	1,86	17,37	80,77
Total	0,03	1,13	2,22	0,91	33,51	65,58

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. En este se observa como los materiales predominantes son las *rocas volcánicas (complejo vulcanosedimentario)*, si bien el contacto entre estas formaciones y las *rocas carbonatadas* que constituyen los acuíferos captados, se encuentra muy próximo.

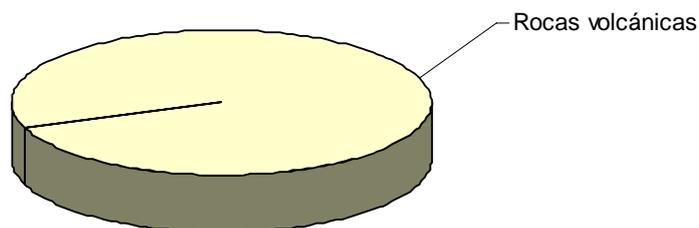


Figura 2.1.3.3.1.1. Distribución litológica de la zona de protección delimitada, para un tiempo de tránsito de 1 día

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 las *rocas volcánicas*.

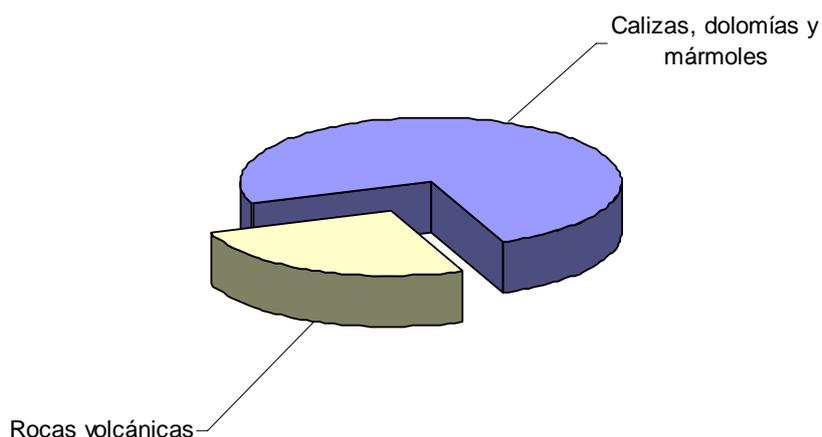


Figura 2.1.3.3.1.2. Distribución litológica de la zona de protección delimitada, para un tiempo de tránsito de 50 días

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. En este caso las *rocas volcánicas* vuelven a presentar mayor extensión que las *carbonatadas*. Asimismo, destaca la aparición de un pequeño sector de *pizarras, areniscas y cuarcitas*.

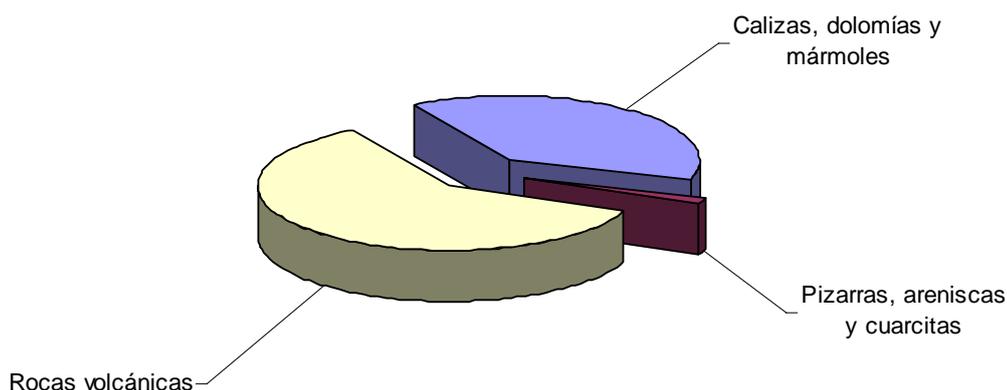


Figura 2.1.3.3.1.3. Distribución litológica de la zona de protección delimitada, para un tiempo de tránsito de 1.460 días

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 para un tiempo de tránsito de 1.460 días, las litologías dominantes son las *rocas volcánicas*, con un 61%, seguido de los *afloramientos carbonatados* (38%). El resto, algo más de un 1%, se corresponde con *afloramientos de pizarras, areniscas y cuarcitas*.

Litología	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Calizas, dolomías y mármoles	0,84	38,1
Pizarras, areniscas y cuarcitas	0,03	1,5
Rocas volcánicas	1,33	60,4
Total	2,20	100,0

Tabla 2.1.3.3.2.1. Distribución litológica de las zonaciones delimitadas

Asimismo, los afloramientos de *pizarras, areniscas y cuarcitas*, apenas se ven representados.

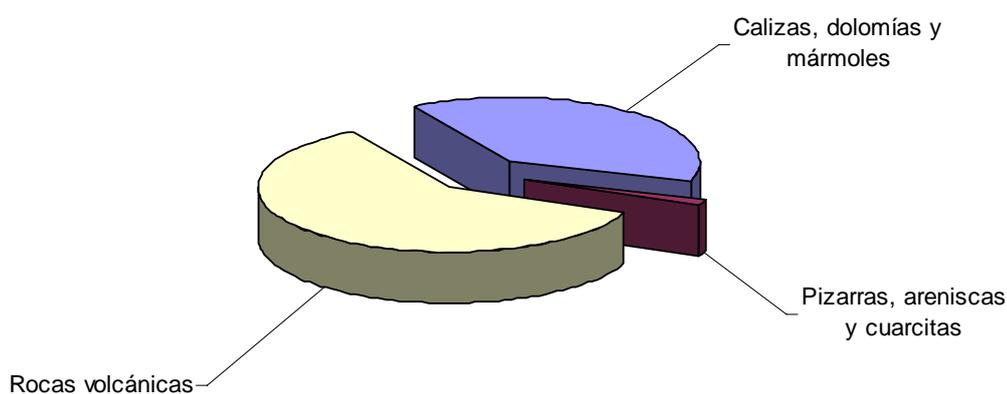


Figura 2.1.3.3.2.1. Distribución litológica de las zonaciones delimitadas

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 Tinto, Odiel y Piedras.

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 Tinto, Odiel y Piedras, 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 28 puntos localizados en terrenos catalogados como masa de agua subterránea. En base a la naturaleza de las captaciones, éstas se han catalogado como: manantial (2), pozo y/o sondeo (26).

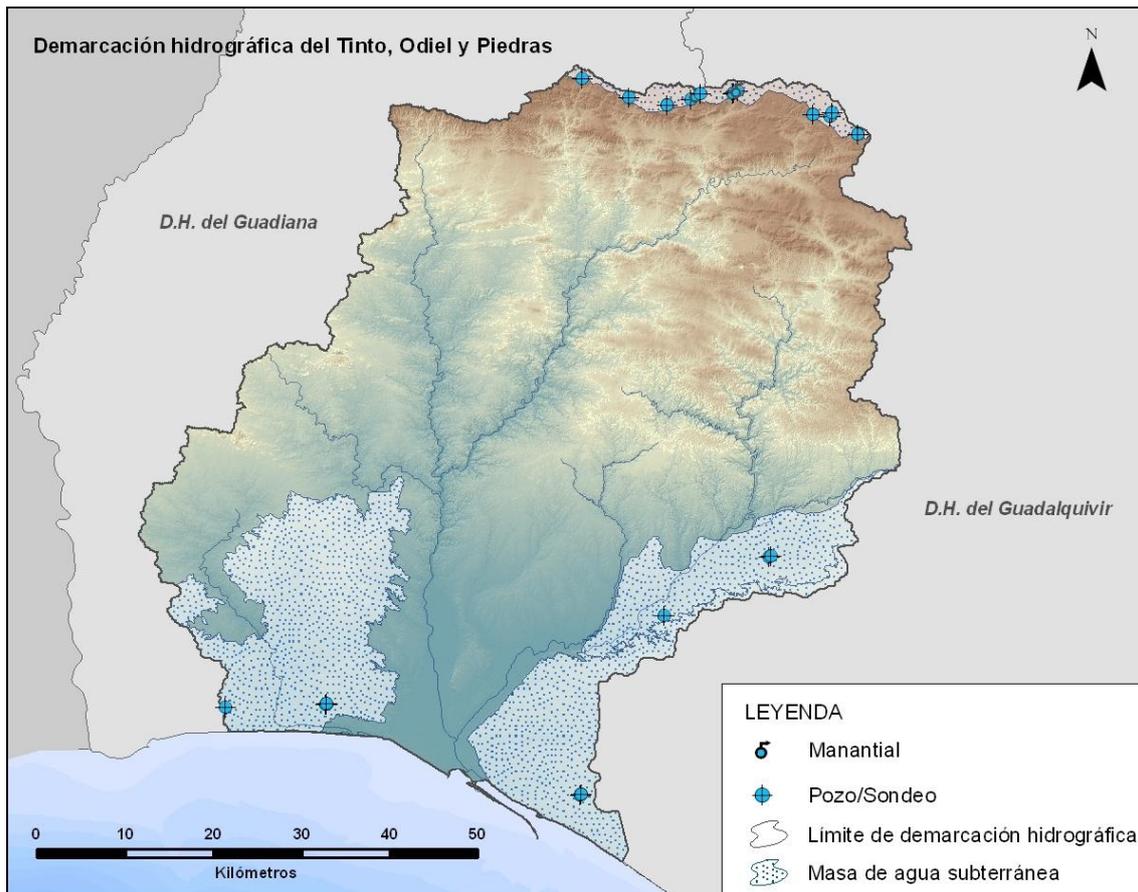


Figura 2.2.2.1.1. Inventario de captaciones de agua subterránea utilizadas para abastecimiento de agua potable, identificadas en aquellas masas de agua subterránea que proporcionan un promedio de más de 100 m³ diarios

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_TOP	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_TOP	Demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras	AAA
3	Shapefile	Poligonal	ENP_TOP	Espacios naturales protegidos	AAA
4	Shapefile	Poligonal	LICs_TOP	Lugares de interés comunitario	AAA
5	Shapefile	Poligonal	LITO_TOP	Cartografía litoestratigráfica, E.:1:200.000	IGME
6	Shapefile	Poligonal	MASb_TOP	Masas de agua subterránea	AAA
7	Ráster	Píxel	MDE_TOP	Modelo Digital de Elevaciones	J.AND.
8	Ráster	Píxel	MOS_TOP	Mosaico de la cartografía geológica, E.:1:50.000	IGME/TTEC
9	Shapefile	Poligonal	MUNI	Términos municipales	IGN/ICA
10	Shapefile	Poligonal	PERM_TOP	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_TOP	Cartografía de vulnerabilidad (Drastic)	TTEC
15	Shapefile	Poligonal	ZEPAS_TOP	Zonas de especial protección para aves	AAA
16	Shapefile	Puntual	PRES_PUNT_TOP	Inventario de presiones puntuales	AAA
17	Shapefile	Poligonal	PRES_DIFUS_TOP	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.

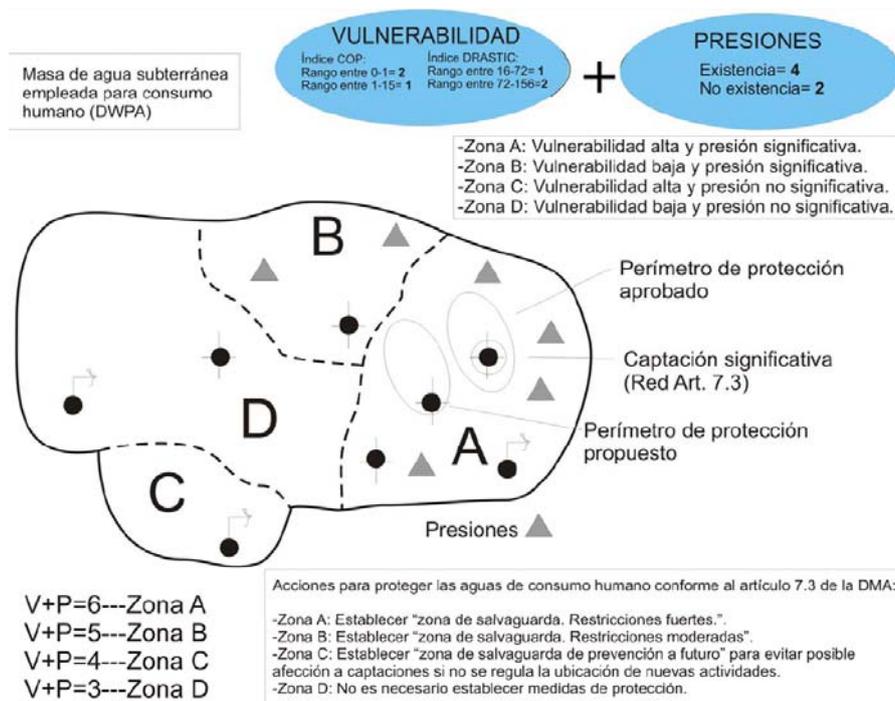


Figura 2.2.2.2.1. Metodología empleada para la delimitación de zonas de salvaguarda

La cartografía de vulnerabilidad a la contaminación, generada en el marco de estos trabajos, proviene de la aplicación del método DRASTIC en masas de agua subterránea de dominio detrítico. Los valores obtenidos tras la aplicación directa del método 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
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.

En el caso de la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, todas las masas de agua subterránea definidas suministran agua destinada al consumo humano en un promedio que supera el umbral de 100 m³ diarios establecido en la Directiva 2000/60/CE, motivo por el cual se han delimitado zonas de salvaguarda en todas ellas.

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 Tinto, Odiel y Piedras. 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	
30593	Niebla	27,8	16,5	69,2	95,5	13,1	7,8	32,6	45,0	212,4
30594	Lepe-Cartaya	53,8	91,8	67,3	251,5	11,4	19,5	14,3	53,3	471,9
30595	Condado	64,3	25,4	123,3	63,2	23,0	9,1	44,1	22,6	279,3
440001	Aracena	1,2	2,4	8,0	52,0	2,0	3,7	12,6	81,7	63,7
Total		147,1	136,1	267,8	462,2	14,3	13,2	26,1	45,0	1.027,3

(*) 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

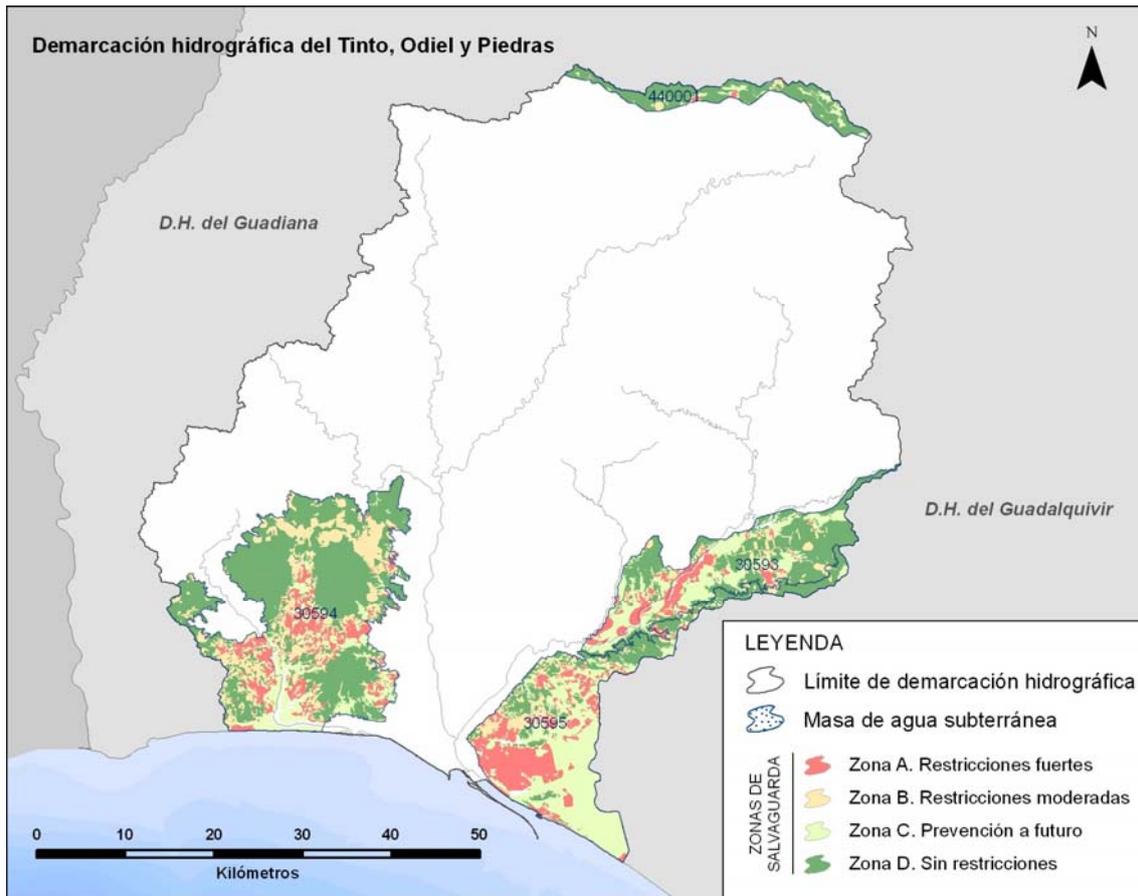


Figura 2.2.3.1. Zonas de salvaguarda delimitadas en la D.H. del Tinto, Odiel y Piedras

En la tabla anterior se puede observar como, por ejemplo, en la masa de agua 30595 - Condado, es donde se obtiene una mayor superficie catalogada como zona de salvaguarda *tipo A*, debido a que existe un gran número de presiones situadas sobre materiales detríticos que presentan alta vulnerabilidad.

Un caso opuesto podría ser la masa de agua subterránea 440001 - Aracena, donde la inmensa mayoría de la superficie se define como zona de salvaguarda *tipo D*, debido a la práctica inexistencia de presiones sobre una litología poco vulnerable como son las metapelitas y rocas ígneas aflorantes en esta masa.

En el caso de la masa 30595 - Condado, la zona de salvaguarda de *tipo C* ocupa una superficie muy importante. Esto implica que se deberán tomar las medidas oportunas para que en un futuro, en caso de aumentar la presión sobre un acuífero tan vulnerable como este, sea posible minimizar la afección a las posibles captaciones de agua para consumo humano que allí se ubiquen.

En general, se constata que la mayor parte de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica de Tinto, Odiel y Piedras presentan vulnerabilidad baja o moderada o bien, presiones no significativas, puesto que existe un claro predominio de las zonas C y D.

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 la litología aflorante.

Litología	Superficie (km ²)				Superficie (%)				Total (km ²)
	A	B	C	D	A	B	C	D	
Calcarenitas (Mioceno)	12,7	16,2	30,9	70,0	9,8	12,5	23,8	53,9	129,9
Calizas, dolomías y mármoles	0,1	0,0	0,9	1,0	2,9	1,2	45,0	50,9	2,0
Gravas, arenas, arcillas y limos (Cuaternario)	57,9	41,0	131,0	125,4	16,3	11,5	36,9	35,3	355,3
Margas, arenas y limos (Plioceno)	73,6	73,0	94,3	192,3	17,0	16,9	21,8	44,4	433,2
Pizarras, areniscas y cuarcitas hercínicas	1,6	3,6	3,6	22,6	5,0	11,5	11,5	72,0	31,4
Rocas metamórficas	0,0	0,0	2,2	6,5	0,4	0,1	25,0	74,5	8,8
Rocas plutónicas	0,3	0,2	0,3	1,9	11,0	7,6	9,8	71,6	2,7
Rocas volcánicas	0,9	2,1	4,7	42,4	1,8	4,2	9,4	84,7	50,1
Total	147,1	136,1	267,8	462,2	14,5	13,4	26,4	45,6	1.013,3

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 *limos y arenas del Plioceno*, seguido del *material cuaternario*. Dicha distribución no es casual puesto que esta litología, cuya vulnerabilidad a la contaminación suele ser alta o muy alta debido a su elevada permeabilidad y/o bajo espesor de zona no saturada, por lo general presenta relieves suaves que permiten el desarrollo y proliferación de numerosas actividades antrópicas, susceptibles de generar presiones significativas.

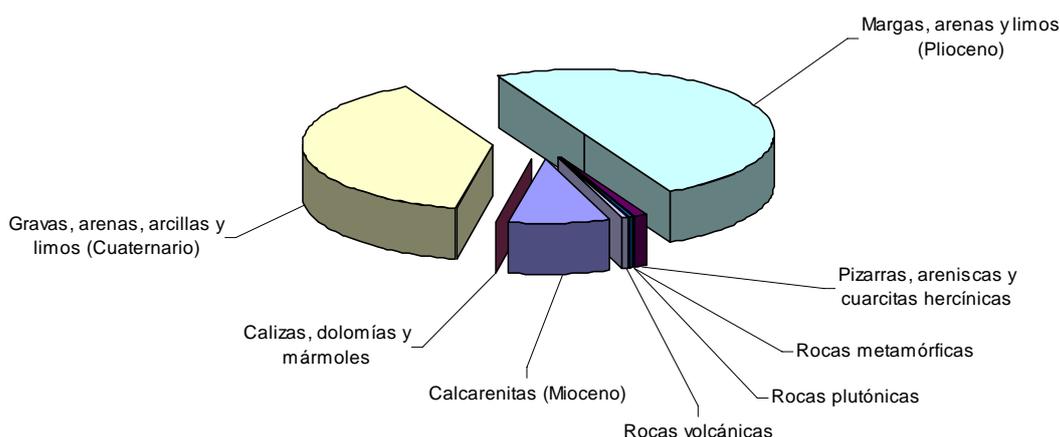


Figura 2.2.3.2. Distribución relativa de las litologías en zonas de salvaguarda tipo A

En la figura 2.2.3.3, relativa a las zonas de salvaguarda tipo B, se puede observar como los materiales más abundantes son los *limos y arenas del Plioceno*, seguido de los *depósitos cuaternarios*. De nuevo dicha distribución se puede justificar de manera lógica, puesto que dichas litologías son poco o

moderadamente vulnerables en aquellas zonas donde su espesor saturado es elevado y/o el contenido en arcillas y margas es importante. Además, son fisiográficamente favorables al emplazamiento de actividades humanas que conlleven posibles fuentes significativas de presión, lo cual da origen a zonas tipo B.

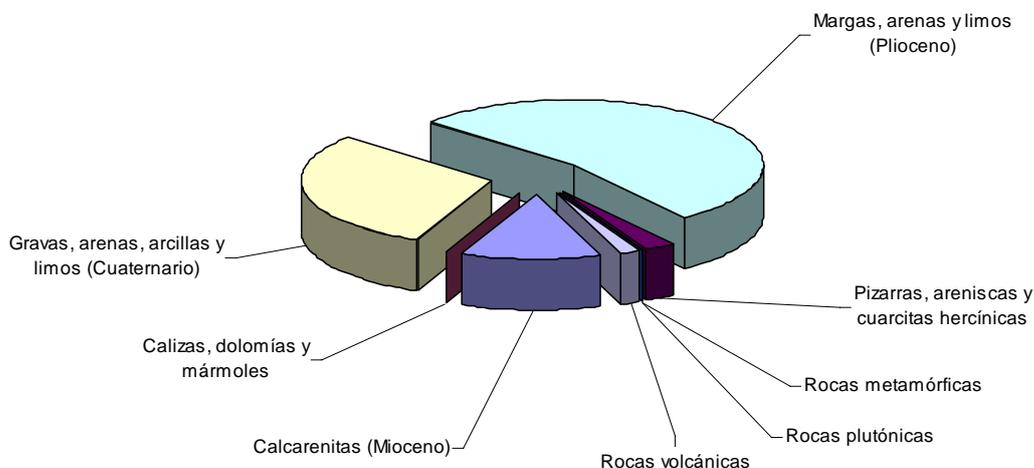


Figura 2.2.3.3. Distribución relativa de las litologías en zonas de salvaguarda tipo B

La figura 2.2.3.4 muestra la distribución litológica para las zonas de salvaguarda tipo C. En este caso son los *sedimentos cuaternarios* los más significativos, seguidos de los *limos y margas* pliocenos y las *calcarenitas* del Mioceno. 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 significativas, posiblemente por cuestiones de tipo socioeconómico, como por ejemplo, la supremacía de cultivos de secano o presencia de masas forestales.

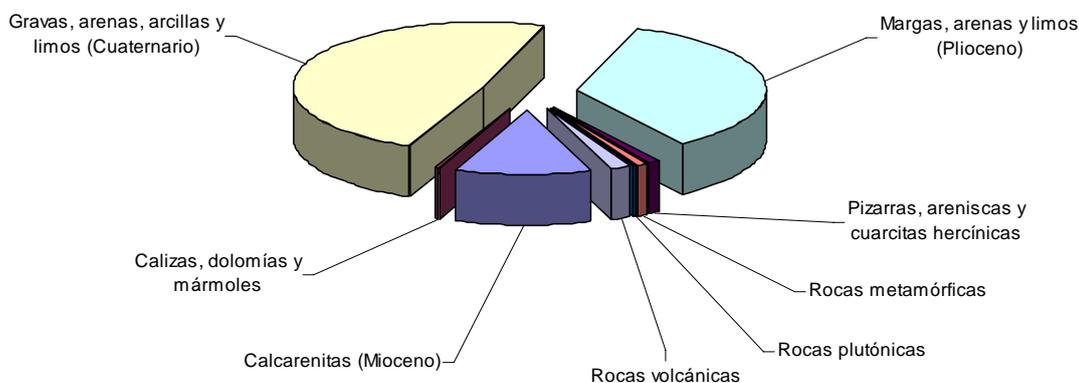


Figura 2.2.3.4. Distribución relativa de las litologías en zonas de salvaguarda tipo C

Finalmente, en la figura 2.2.3.5 se puede observar una distribución dominada por los *depósitos detríticos marinos del Plioceno* y, en menor medida, por *materiales detríticos del Cuaternario*.

En este caso se trata de 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 significativas.

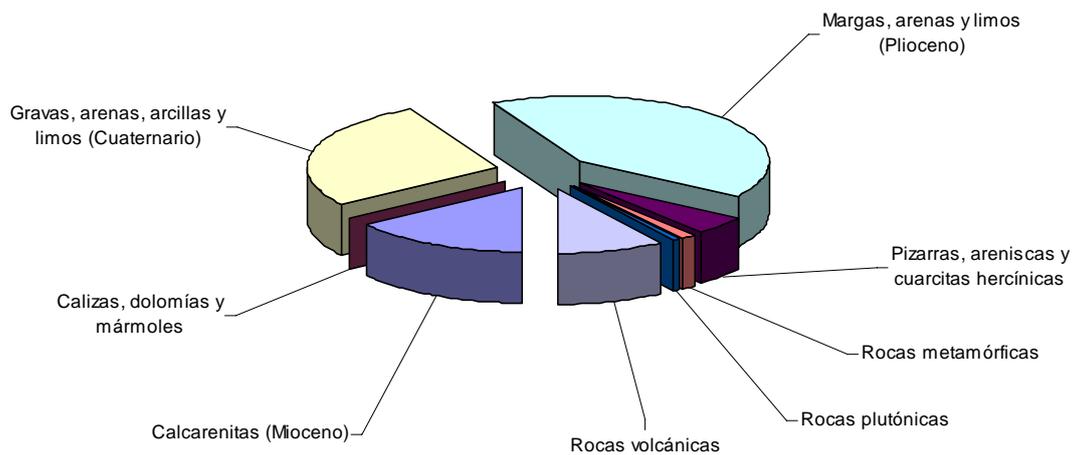


Figura 2.2.3.5. Distribución relativa de las litologías en zonas de salvaguarda tipo D

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 Tinto, Odiel y Piedras.

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 IGME. 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 (consulta 2009)
- Base de datos de aguas subterráneas del Instituto Geológico y Minero de España: AGMA
- Base de datos facilitada por los responsables de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Guadiana

El número total de captaciones incluidas en estas bases de datos asciende a 27.821. 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 Tinto, Odiel y Piedras.

N	TIPO	GEOMETRÍA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FUENTE
1	Shapefile	Poligonal	DEM_TOP	Demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras	AAA
2	Shapefile	Poligonal	MASb_TOP	Masas de agua subterránea	AAA
3	Ráster	Píxel	MOS_TOP	Mosaico de la cartografía geológica, Hojas MAGNA (E.:1:50.000)	IGME/TTEC
4	Shapefile	Poligonal	PERM_TOP	Cartografía de permeabilidad, E.:1:200.000	IGME
5	Shapefile	Puntual	ALBERCA09_TOP	Registro ALBERCA de aguas subterráneas (consulta 2009)	CHG
6	Shapefile	Puntual	AGMA_TOP	Captaciones AGMA	IGME
7	Shapefile	Puntual	CHG_TOP	Captaciones Confederación Hidrográfica del Guadiana	CHG

Tabla 3.2.2.1. Relación de coberturas de partida empleadas durante la identificación de acuíferos de interés local en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

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.

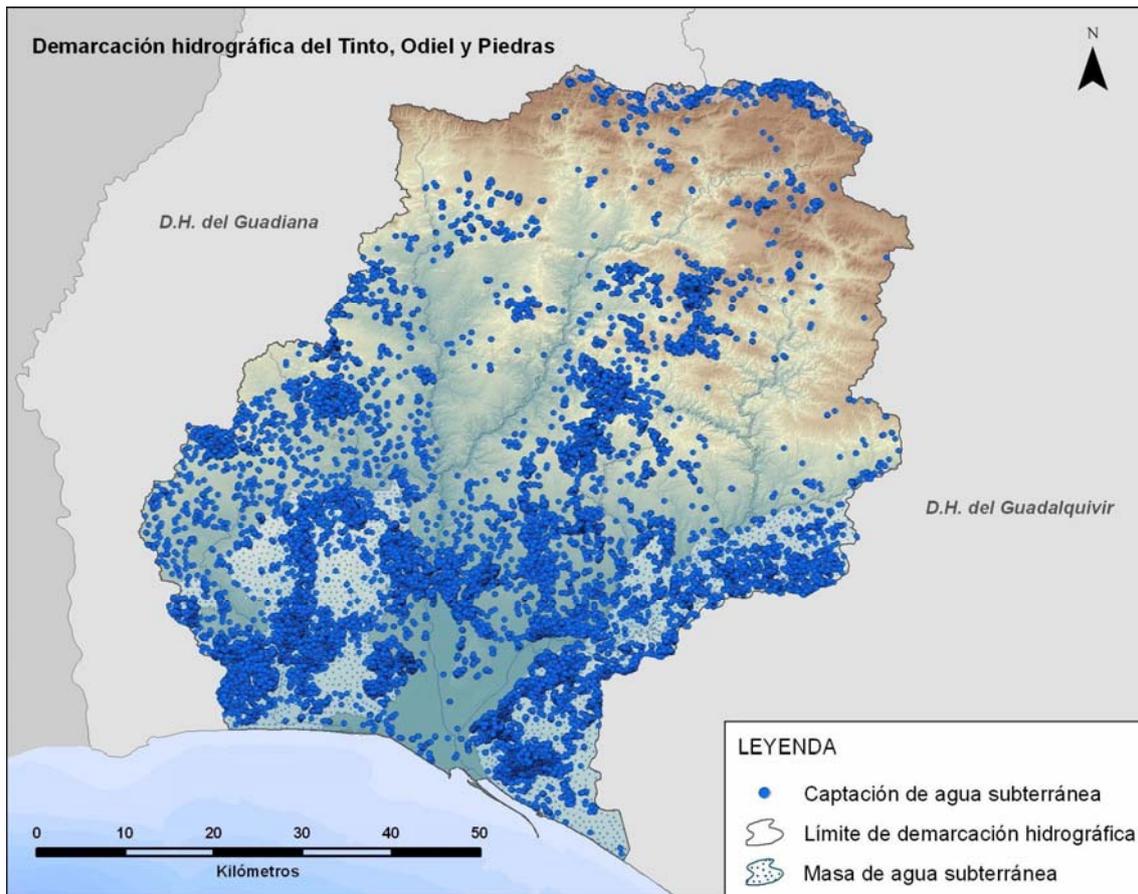


Figura 3.2.2.1. Inventario de captaciones de agua subterránea en la D.H. del Tinto, Odiel y Piedras

- ✓ 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 y CHG. 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).

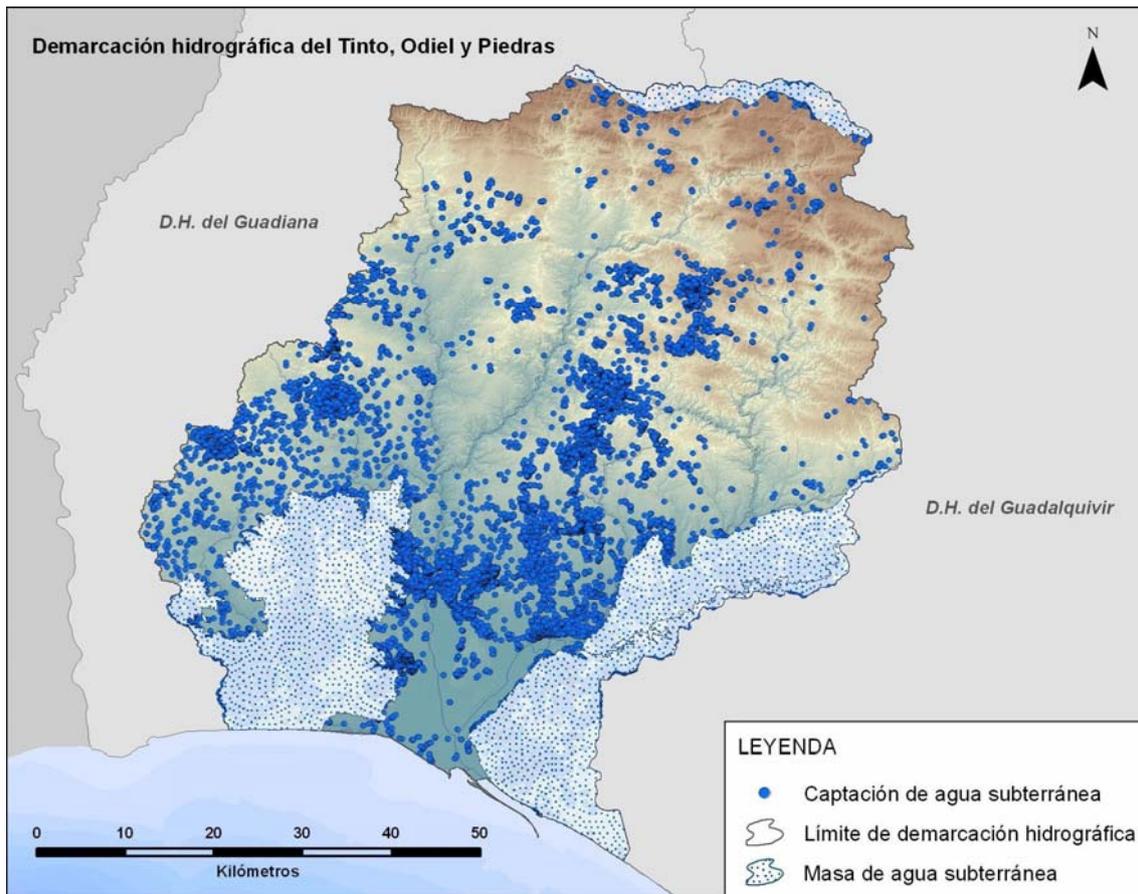


Figura 3.2.2.2. Inventario de captaciones de agua subterránea localizadas en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

- ✓ 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 Tinto, Odiel y Piedras.

Este es el motivo por el que, en algún caso concreto, el límite del acuífero delimitado coincide con un límite administrativo (límite de demarcación), si bien el acuífero puede presentar continuidad lateral dentro de los dominios de la demarcación hidrográfica limítrofe.

3.3. RESULTADOS OBTENIDOS

La aplicación de la metodología expuesta en el apartado 3.2.2 en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, ha tenido como resultado la identificación y delimitación de seis 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.

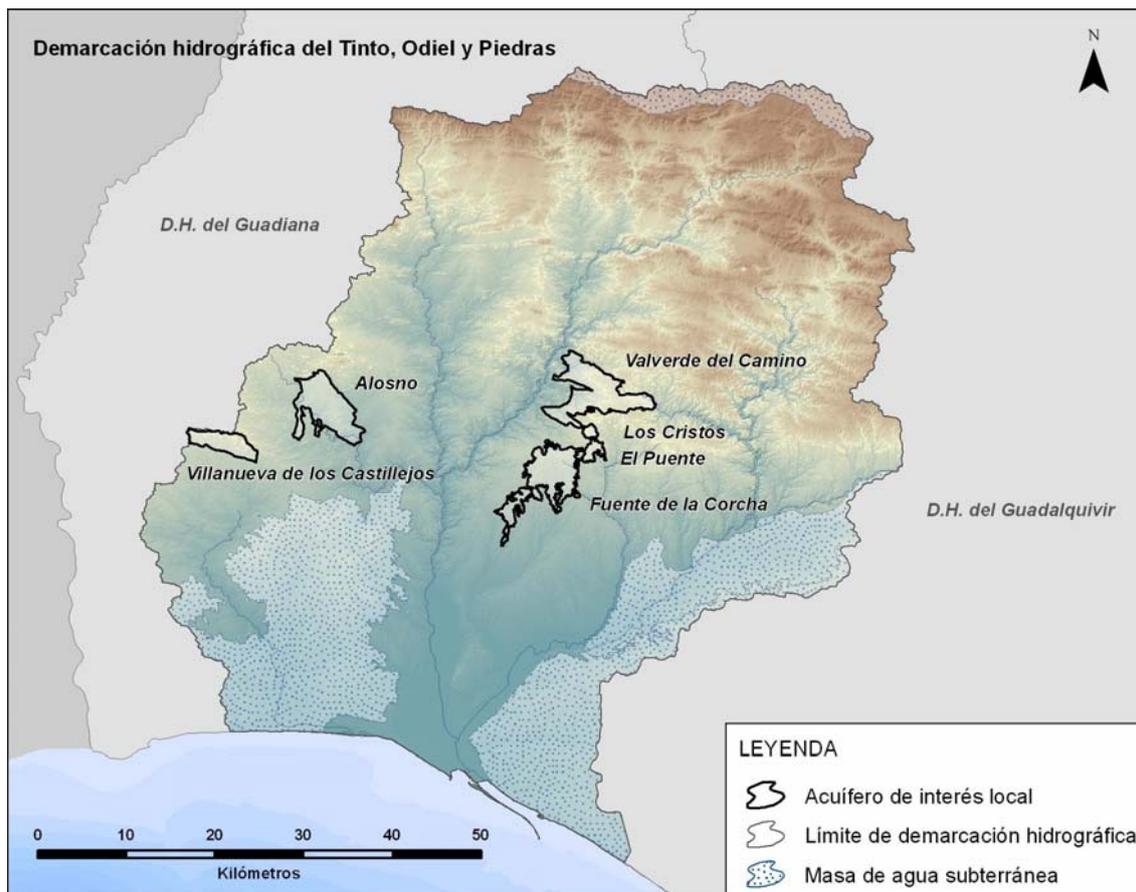


Figura 3.3.1. Localización de los acuíferos de interés local identificados en la D.H. del Tinto, Odiel y Piedras

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.1.01	VALVERDE DEL CAMINO	42,73	Lavas, aglomerados, tobas, tufitas y pizarras	Vulcano-sedimentario/ baja permeabilidad	Fisuración/ fracturación	Libre
062.1.02	ALOSNO	35,36	Lavas, aglomerados, brechas, tobas, tufitas y pizarras	Vulcano-sedimentario/ baja permeabilidad	Fisuración/ fracturación	Libre

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.1.03	LOS CRISTOS	1,99	Conglomerados, arenas y limos del Mioceno superior	Detrítico	Porosidad intergranular	Libre
062.1.04	VILLANUEVA DE LOS CASTILLEJOS	15,18	Lavas, brechas, tobas, tufitas, pizarras, diabasas, areniscas y cuarcitas	Vulcano-sedimentario/ baja permeabilidad	Fisuración/ fracturación	Libre
062.1.05	EL PUENTE	3,88	Conglomerados, arenas y limos del Mioceno superior	Detrítico	Porosidad intergranular	Libre
062.1.06	FUENTE DE LA CORCHA	38,18	Conglomerados, arenas y limos del Mioceno superior, y conglomerados y arenas del Cuaternario	Detrítico	Porosidad intergranular	Libre

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

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:

▪ **062.1.01. VALVERDE DEL CAMINO**

Es el acuífero de interés local más septentrional de los definidos en la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras. Está situado al Noroeste de la masa de agua subterránea codificada como 30593. Niebla, e inmediatamente al Norte del acuífero local 062.1.03. Los Cristos (figura 3.3.2). Está constituido principalmente por lavas, tobas y aglomerados, y sus límites corresponden al contacto con pizarras, grauwacas y cuarcitas del Paleozoico.

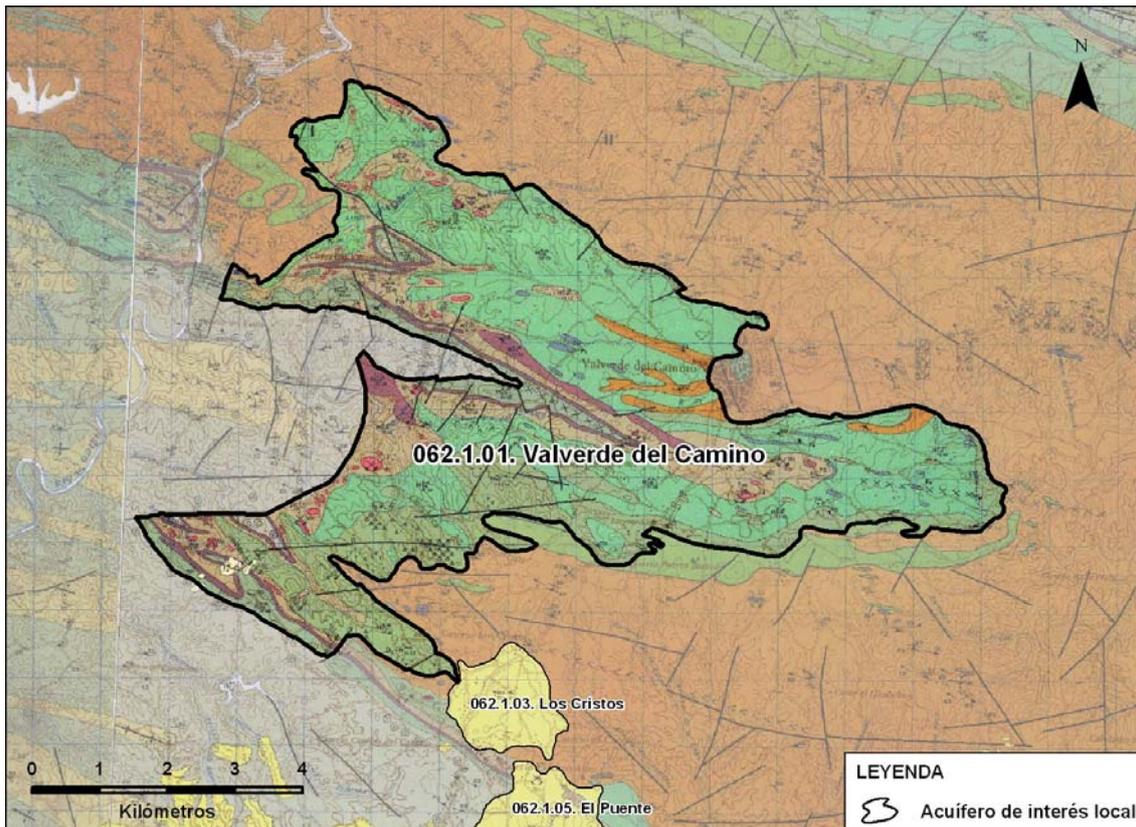


Figura 3.3.2. Acuífero de interés local 062.1.01. Valverde del Camino

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.1.01	VALVERDE DEL CAMINO	42,73	Lavas, aglomerados, tobas, tufitas y pizarras	Vulcano-sedimentario/baja permeabilidad	Fisuración/fracturación	Libre

Debido a la naturaleza poco permeable de los materiales que constituyen el acuífero, no ha sido posible estimar un valor de recarga media anual. En este acuífero el agua circula principalmente por fisuras y fracturas, lo cual permite la extracción de pequeños volúmenes de agua. En cualquier caso, se estima que los recursos de agua subterránea del acuífero son muy limitados.

▪ **062.1.02. ALOSNO**

El acuífero se localiza al Norte de la masa de agua subterránea codificada como 30594. Lepe-Cartaya, en concreto en las inmediaciones de la localidad de Alosno. Está constituido por un conjunto heterogéneo de litologías que incluye lavas, aglomerados, brechas, tobas, tufitas y pizarras paleozoicas. Sus límites coinciden con contactos litológicos, principalmente con pizarras del Devónico y del Carbonífero superior, y mecánicos -fallas- (figura 3.3.3).

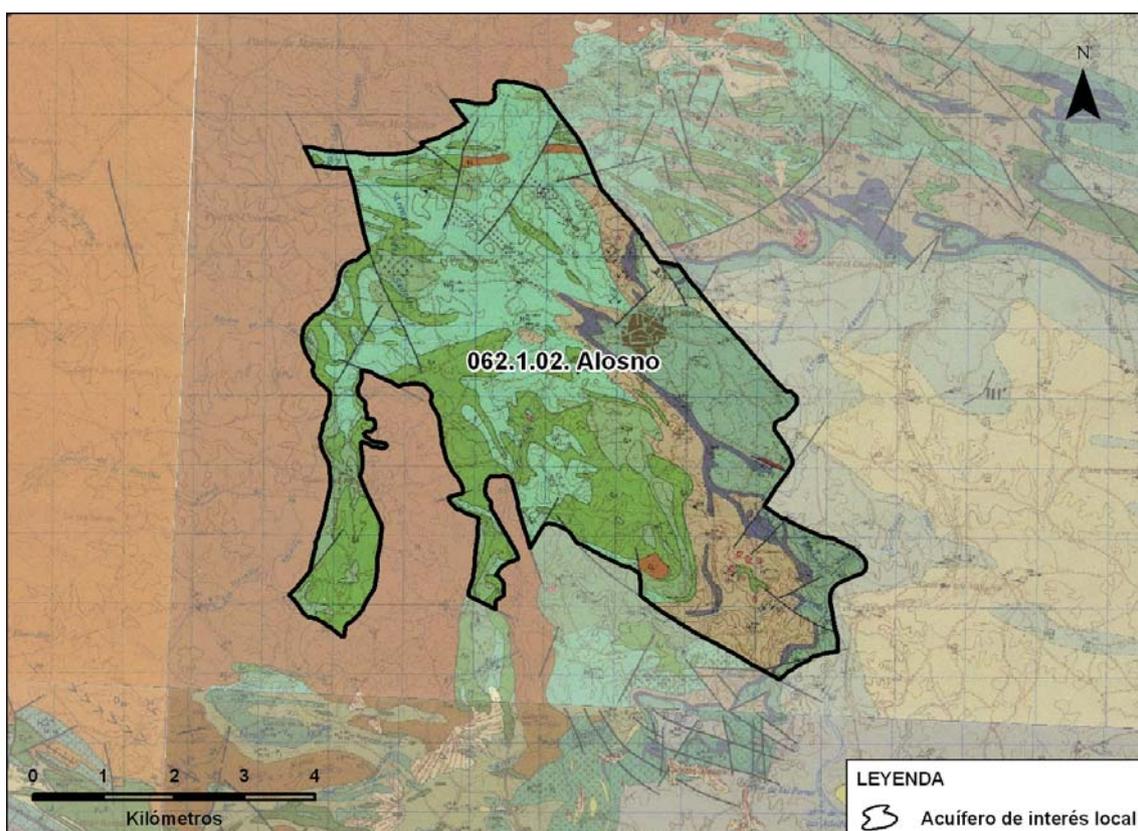


Figura 3.3.3. Acuífero de interés local 062.1.02. Alosno

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLÓGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.1.02	ALOSNO	35,36	Lavas, aglomerados, brechas, tobas, tufitas y pizarras	Vulcano-sedimentario/baja permeabilidad	Fisuración/fracturación	Libre

Al igual que el acuífero de interés local codificado como 062.1.01. Valverde del Camino, el acuífero de Alosno está constituido por materiales de baja permeabilidad en los que la infiltración y circulación del agua se produce a través de fracturas. Aunque no ha sido posible estimar un valor de recarga media para este acuífero, se considera que el volumen de agua subterránea explotable es muy limitado.

▪ **062.1.03. LOS CRISTOS**

Se trata de un pequeño afloramiento de conglomerados, arenas y limos miocenos de unos 2 km² de superficie, situado al Sur del acuífero 062.1.01. Valverde del Camino (figura 3.3.4). Sus límites se han trazado siguiendo el contacto litológico en superficie entre los materiales miocenos y las formaciones paleozoicas circundantes.

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLÓGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.1.03	LOS CRISTOS	1,99	Conglomerados, arenas y limos del Mioceno superior	Detrítico	Porosidad intergranular	Libre

Considerando una precipitación media de 650 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), una superficie aflorante de material permeable de 1,99 km² y un coeficiente de infiltración comprendido entre un 10 y un 15%, se ha estimado una recarga media anual de 0,1-0,2 hm³/año, coherente con la escasa extensión del acuífero y la permeabilidad moderada de los materiales que lo constituyen.

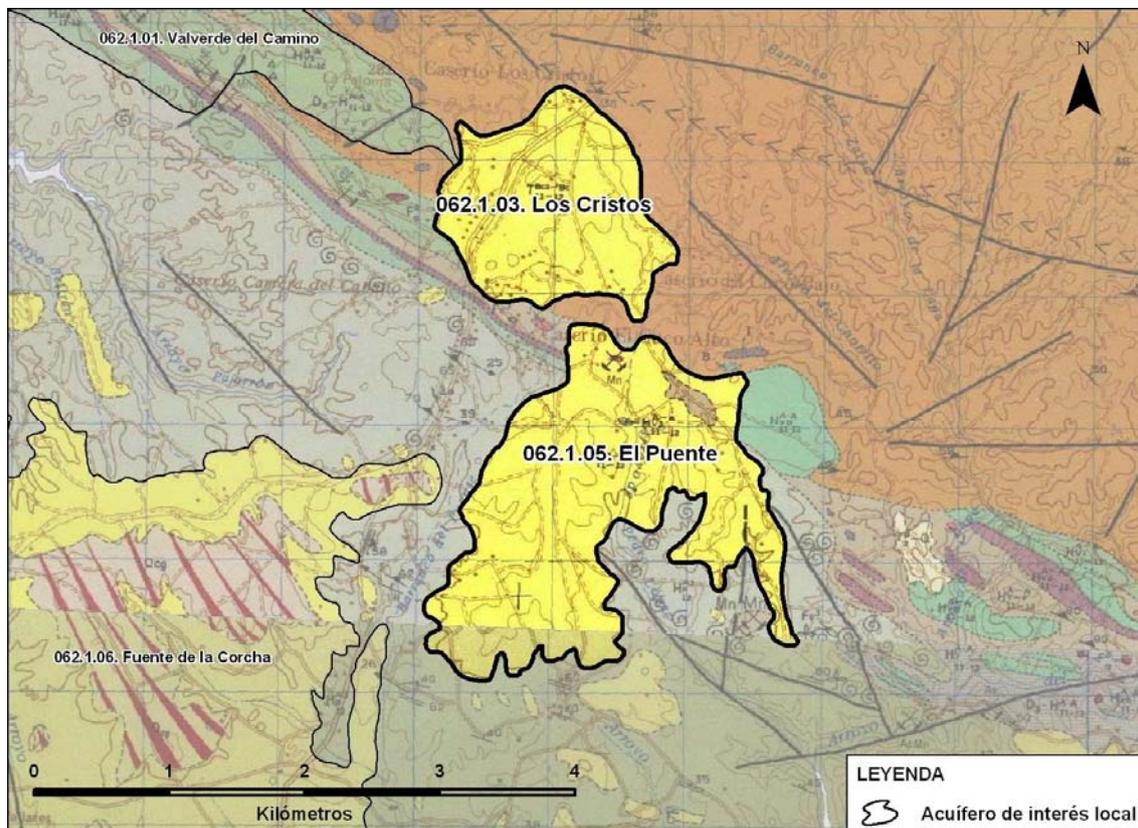


Figura 3.3.4. Acuíferos de interés local 062.1.03. Los Cristos y 062.1.05. El Puente

No obstante, es necesario incluir una matización acerca del posible aprovechamiento de estos recursos; el acuífero de Los Cristos está constituido por materiales permeables depositados sobre un sustrato paleozoico de baja permeabilidad. Esto condiciona que el espesor de los materiales que conforman el acuífero sea limitado y que éstos, además, no presenten continuidad lateral, lo que favorece un flujo subterráneo de tipo radial cuya descarga presenta un carácter más difuso que concentrado. Todo ello provoca, en definitiva, que el acuífero presente una capacidad de regulación de sus recursos hídricos bastante limitada, lo cual dificulta, a su vez, su aprovechamiento.

- **062.1.05. EL PUENTE**

El acuífero de interés local 062.1.05. El Puente se localiza al Sur del acuífero de Los Cristos y al Este del de Fuente de la Corcha (062.1.06); ver figura 3.3.4.

Se trata de un afloramiento de conglomerados, arenas y limos del Mioceno superior desconectado hidráulicamente de los dos acuíferos adyacentes por materiales paleozoicos. Los límites del acuífero coinciden con los del afloramiento de materiales miocenos.

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.1.05	EL PUENTE	3,88	Conglomerados, arenas y limos del Mioceno superior	Detrítico	Porosidad intergranular	Libre

La recarga media de este acuífero se estima en 0,2-0,4 hm³/año, resultado de considerar una precipitación media anual de 650 mm/año (obtenida del Modelo SIMPA(2)), un coeficiente de infiltración comprendido entre el 10 y el 15% y una superficie permeable aproximada de 3,9 km².

El funcionamiento de este acuífero se asemeja al de Los Cristos (062.1.03) puesto que se trata igualmente de un afloramiento permeable de escasa extensión que descansa sobre un sustrato de baja permeabilidad constituido por rocas paleozoicas. Así pues, la capacidad de regulación del acuífero se estima bastante limitada, lo cual podría dificultar su aprovechamiento mediante captaciones de agua subterránea.

▪ **062.1.04. VILLANUEVA DE LOS CASTILLEJOS**

El acuífero de interés local está situado en el borde occidental de la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, al Noroeste de la masa de agua subterránea codificada como 30594. Lepe-Cartaya.

Está constituido por un conjunto heterogéneo de litologías (lavas, brechas, tobas, tufitas, pizarras, diabasas, areniscas y cuarcitas) limitadas por pizarras del Devónico y Carbonífero que se extienden hacia el Norte y el Sur, respectivamente (figura 3.3.5). El borde occidental del acuífero y parte del septentrional, corresponden al límite entre las demarcaciones hidrográficas del Tinto, Odiel y Piedras y del Guadiana.

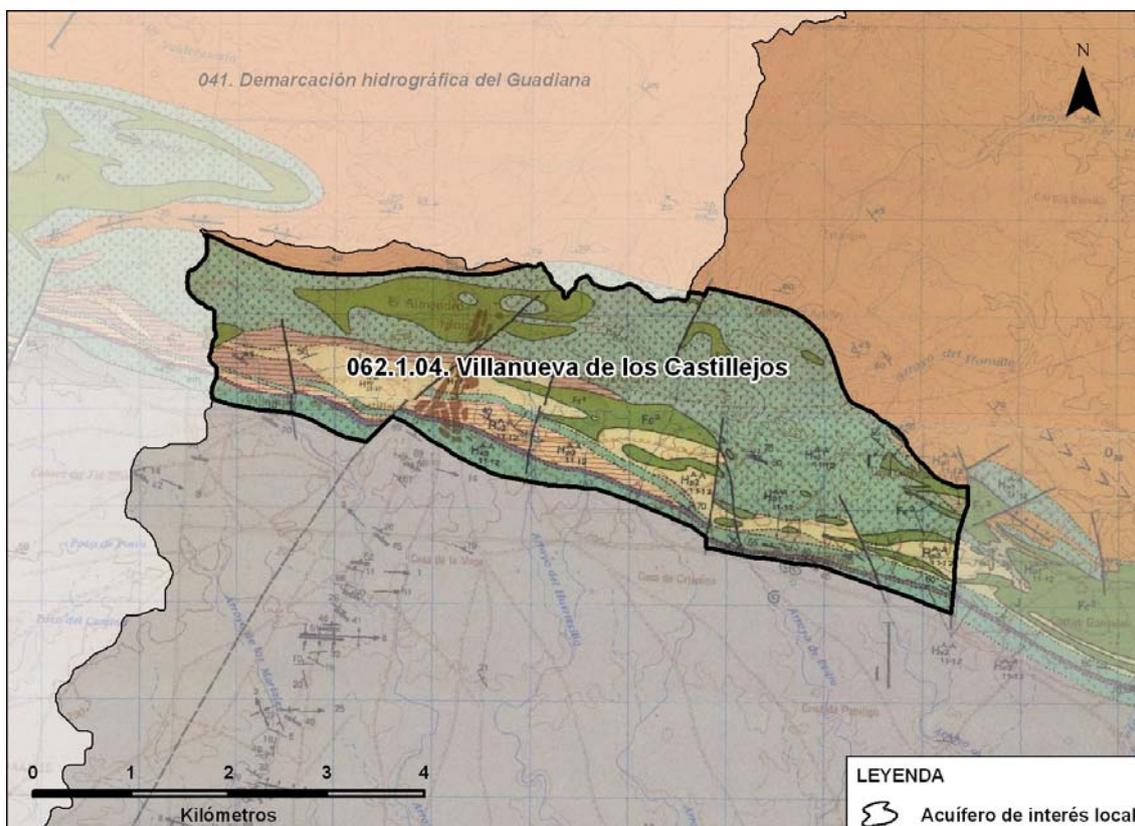


Figura 3.3.5. Acuífero de interés local 062.1.04. Villanueva de los Castillejos

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLÓGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.1.04	VILLANUEVA DE LOS CASTILLEJOS	15,18	Lavas, brechas, tobas, tufitas, pizarras, diabasas, areniscas y cuarcitas	Vulcano-sedimentario/baja permeabilidad	Fisuración/fracturación	Libre

Al igual que los acuíferos de interés local Valverde del Camino (062.1.01) y Alosno (062.1.02), este acuífero está constituido por materiales de baja permeabilidad en los que la infiltración y circulación del agua se produce a través de fracturas. Aunque no ha sido posible estimar un valor de recarga media para este acuífero, se considera que el volumen de agua subterránea explotable es muy limitado.

▪ **062.1.06. FUENTE DE LA CORCHA**

El acuífero de interés local codificado como 062.1.06. Fuente de la Corcha es el más meridional de los definidos en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, y se sitúa al Suroeste del acuífero 062.1.05. El Puente (figura 3.3.6).

Está constituido por un afloramiento de conglomerados, arenas, limos y gravas miocenos que se extiende según una orientación aproximada Noreste-Suroeste, que engloba en su interior algunos depósitos cuaternarios discordantes. Los límites del acuífero coinciden con los del contacto litológico entre los materiales miocenos y paleozoicos circundantes.

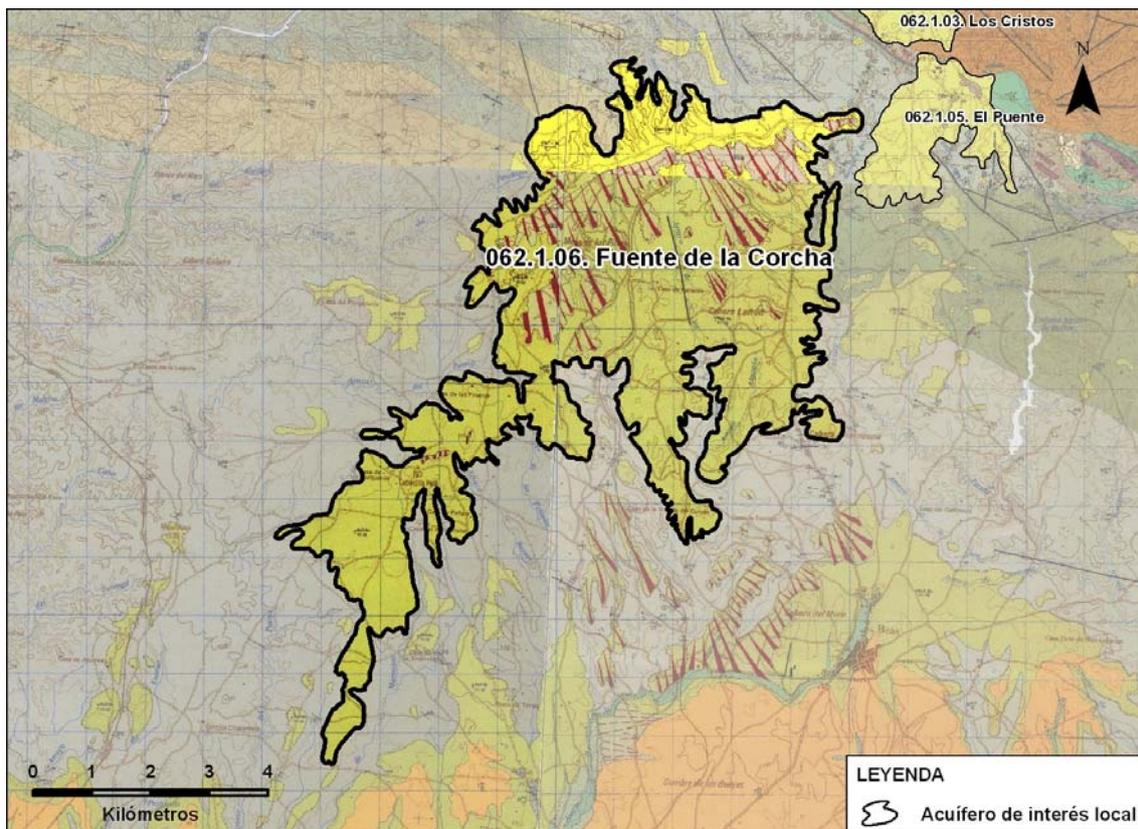


Figura 3.3.6. Acuífero de interés local 062.1.06. Fuente de la Corcha

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.1.06	FUENTE DE LA CORCHA	38,18	Conglomerados, arenas y limos del Mioceno superior, y conglomerados y arenas del Cuaternario	Detrítico	Porosidad intergranular	Libre

El volumen de agua de lluvia que se infiltra anualmente en el acuífero se ha estimado a partir de un valor de precipitación media de 625 mm/año (obtenida del Modelo SIMPA(2)), un coeficiente de infiltración del 10-15% y una superficie permeable equivalente a la extensión del acuífero (aproximadamente 38 km²). El resultado ha sido un valor de recarga para el conjunto del acuífero comprendido entre 2,4 y 3,6 hm³/año.

Al igual que los acuíferos de interés local Los Cristos (062.1.03) y El Puente (062.1.05), el acuífero Fuente de la Corcha está constituido por un afloramiento de materiales permeables terciarios depositados sobre un sustrato paleozoico de baja permeabilidad, si bien presenta una potencia y una superficie de afloramiento mayor (38 km² frente a los 2 km² y 3,9 km² de Los Cristos y El Puente, respectivamente). A pesar de estas diferencias en cuanto a espesor y extensión, parece probable que el funcionamiento hidrogeológico de este acuífero se asemeje al de los acuíferos Los Cristos y El Puente, descritos en apartados anteriores. Así pues, el flujo de agua subterránea se dirigiría de manera radial desde las zonas centrales del acuífero hacia los bordes, produciendo una descarga difusa a través de numerosos puntos dispersos.

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

FICHA DESCRIPTIVA DE ACUÍFERO DE INTERÉS LOCAL

CUENCAS ATLÁNTICAS ANDALUZAS DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS

CÓDIGO: 062.1.01

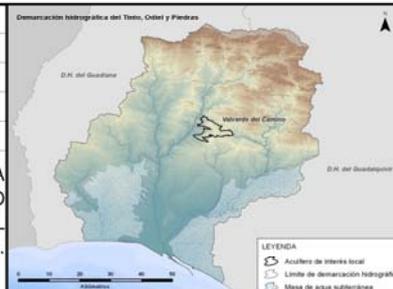
NOMBRE: VALVERDE DEL CAMINO

COMUNIDAD AUTÓNOMA: ANDALUCÍA

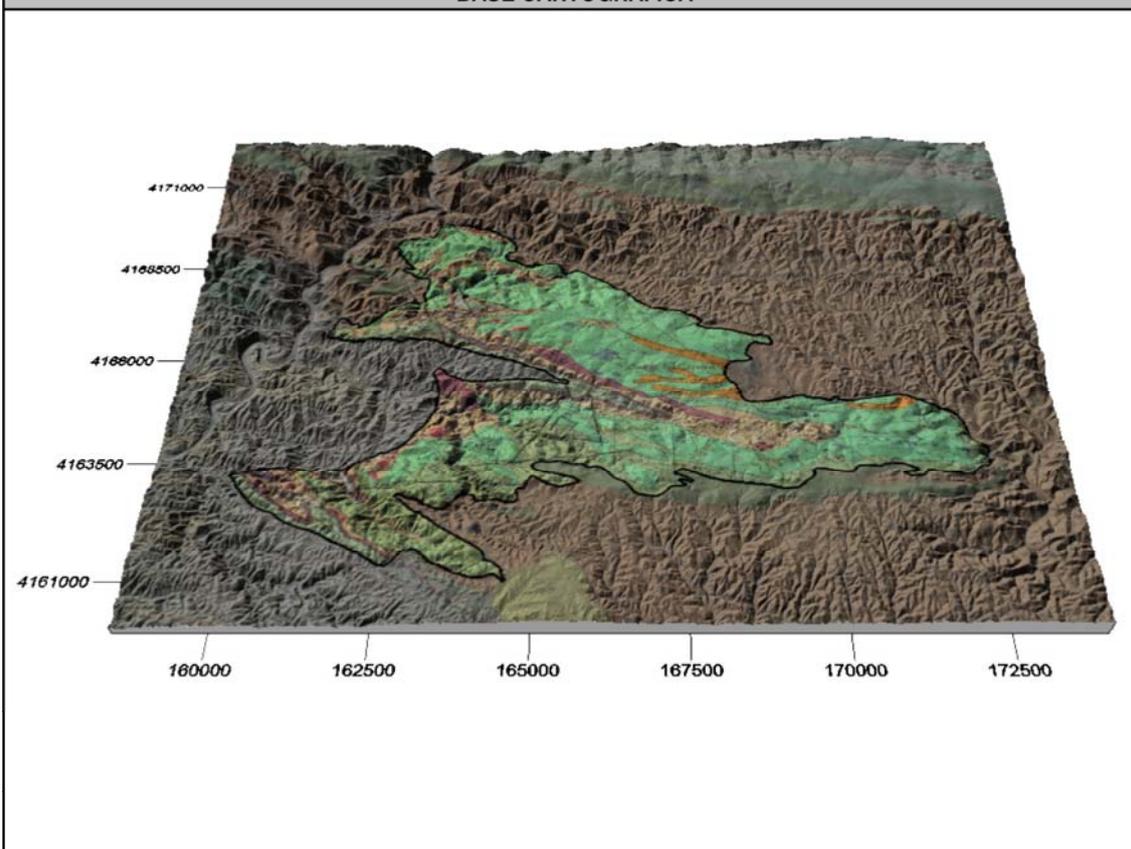
PROVINCIA: HUELVA

SUPERFICIE (km²): 42,73

SITUACIÓN GEOGRÁFICA: SE LOCALIZA EN LA ZONA CENTRAL DE LA PROVINCIA DE HUELVA, EN LAS PROXIMIDADES DE LA LOCALIDAD DEL MISMO NOMBRE. ESTÁ SITUADA AL NORTE DE LOS ACUÍFEROS DE INTERÉS LOCAL CODIFICADOS COMO: 062.1.03. LOS CRISTOS, 062.1.05. EL PUENTE Y 062.1.06. FUENTE DE LA CORCHA.



BASE CARTOGRÁFICA



CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS

LITOLOGÍA: LAVAS, AGLOMERADOS, TOBAS, TUFITAS Y PIZARRAS

EDAD: CARBONÍFERO INFERIOR

NATURALEZA: VULCANO-SEDIMENTARIO Y METAMÓRFICO

FUNCIONAMIENTO: LIBRE

PERMEABILIDAD: BAJA

LÍMITES: SUS LÍMITES NORTE, ESTE Y SUR CORRESPONDEN AL CONTACTO LITOLÓGICO EN SUPERFICIE CON PIZARRAS, GRAUWACAS Y CUARCITAS DEL DEVÓNICO-CARBONÍFERO (LOCALMENTE, AL SUR, CON ROCAS INTRUSIVAS), Y AL OESTE CON PIZARRAS DEL CARBONÍFERO.



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



FICHA DESCRIPTIVA DE ACUÍFERO DE INTERÉS LOCAL

CUENCAS ATLÁNTICAS ANDALUZAS DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS

CÓDIGO: 062.1.02

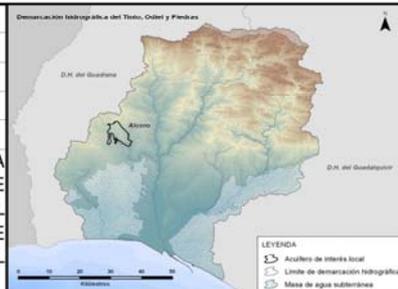
NOMBRE: ALOSNO

COMUNIDAD AUTÓNOMA: ANDALUCÍA

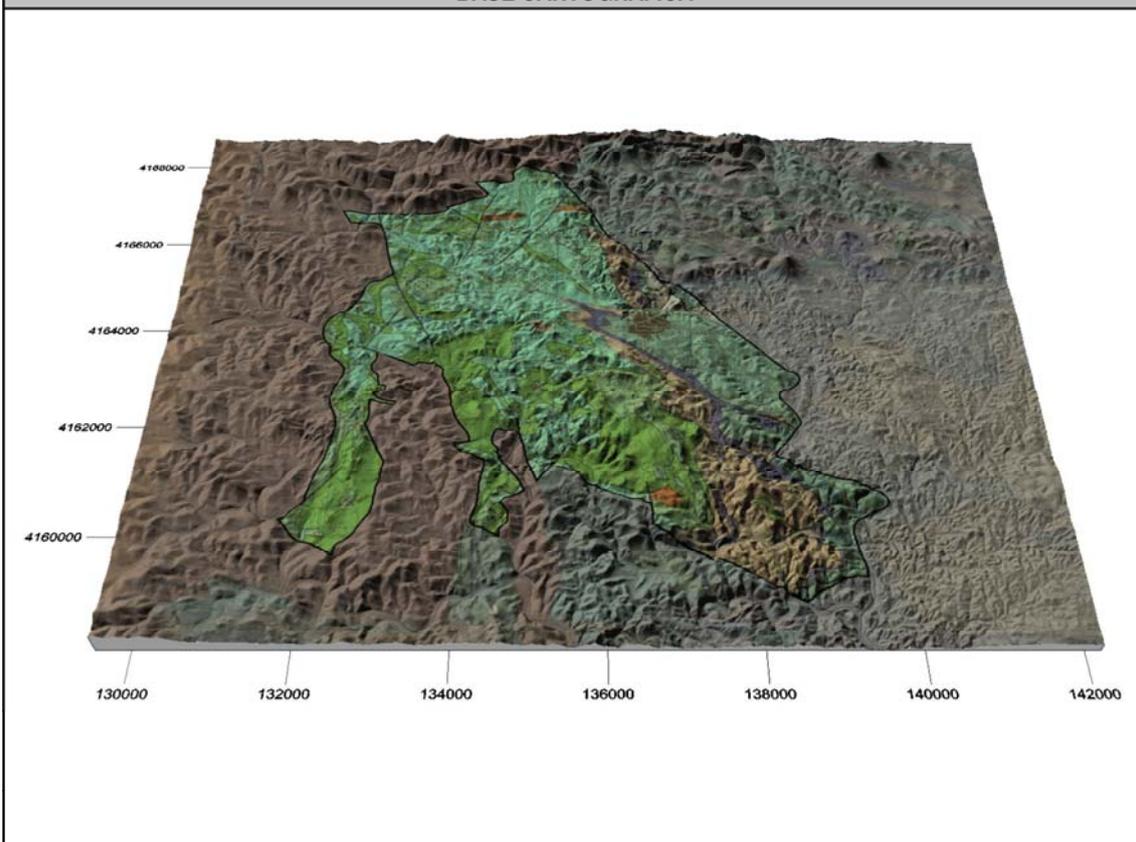
PROVINCIA: HUELVA

SUPERFICIE (km²): 35,36

SITUACIÓN GEOGRÁFICA: SE LOCALIZA EN EL BORDE OCCIDENTAL DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS, AL NORTE DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 30594. LEPE-CARTAYA Y AL ESTE DEL ACUÍFERO DE INTERÉS LOCAL CODIFICADO COMO 062.1.04. VILLANUEVA DE LOS CASTILLEJOS. EN SU INTERIOR QUEDA INCLUIDA LA LOCALIDAD DEL MISMO NOMBRE.



BASE CARTOGRÁFICA



CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS

LITOLOGÍA: LAVAS, AGLOMERADOS, BRECHAS, TOBAS, TUFITAS Y PIZARRAS

EDAD: CARBONÍFERO INFERIOR

NATURALEZA: VULCANO-SEDIMENTARIO Y METAMÓRFICO

FUNCIONAMIENTO: LIBRE

PERMEABILIDAD: BAJA

LÍMITES: EL LÍMITE NORTE Y OESTE DEL ACUÍFERO CORRESPONDE AL CONTACTO LITOLÓGICO EN SUPERFICIE CON PIZARRAS, ARENISCAS Y CUARCITAS DEL DEVÓNICO SUPERIOR. EL RESTO DE LOS LÍMITES COINCIDEN CON EL CONTACTO EN SUPERFICIE CON PIZARRAS DEL CARBONÍFERO Y CON EL TRAZADO DE GRANDES FRACTURAS.



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



FICHA DESCRIPTIVA DE ACUÍFERO DE INTERÉS LOCAL

CUENCAS ATLÁNTICAS ANDALUZAS DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS

CÓDIGO: 062.1.03

NOMBRE: LOS CRISTOS

COMUNIDAD AUTÓNOMA: ANDALUCÍA

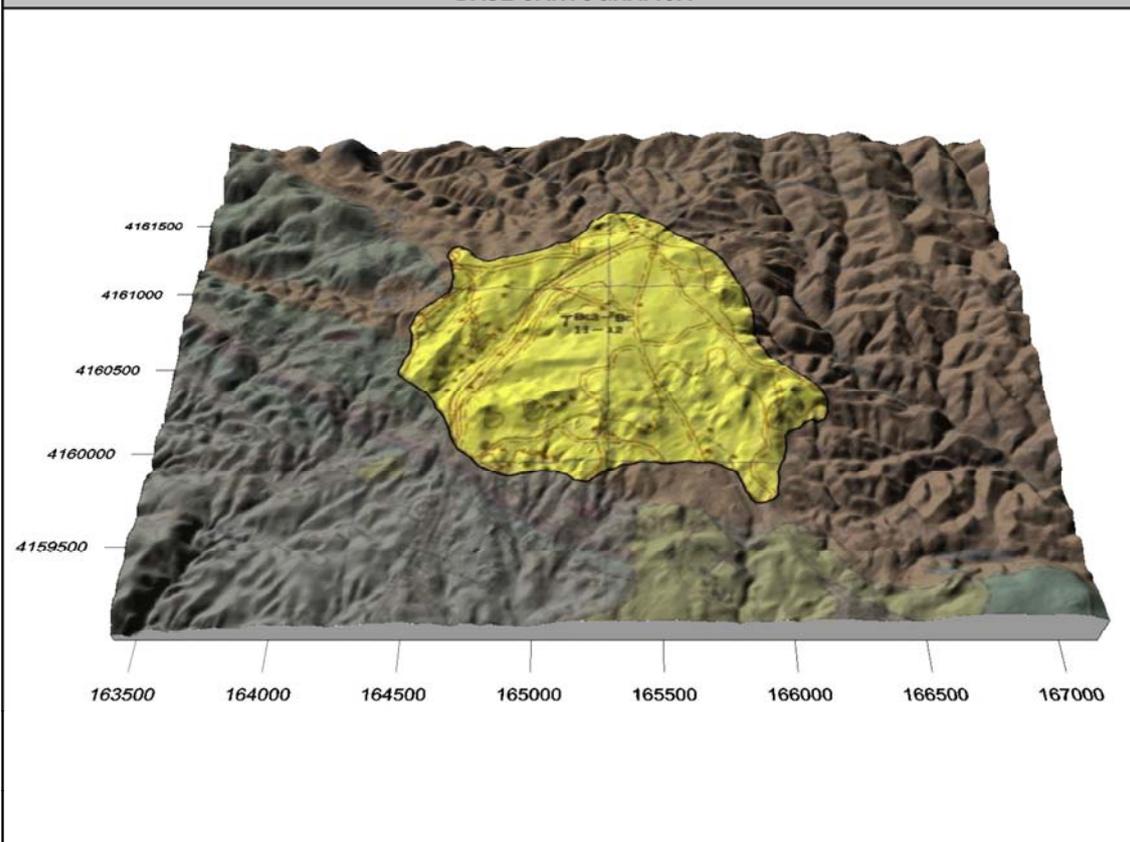
PROVINCIA: HUELVA

SUPERFICIE (km²): 1,99

SITUACIÓN GEOGRÁFICA: SE LOCALIZA EN EL SECTOR CENTRAL DE LA DEMARCACIÓN, ENTRE LOS ACUÍFEROS DE INTERÉS LOCAL CODIFICADOS COMO 062.1.01. VALVERDE DEL CAMINO (AL NORTE) Y 062.1.05. EL PUENTE (AL SUR). EL NÚCLEO URBANO MÁS CERCANO ES VALVERDE DEL CAMINO, SITUADO A UNOS 5 KM EN DIRECCIÓN NORDESTE.



BASE CARTOGRÁFICA



CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS

LITOLOGÍA: CONGLOMERADOS, ARENAS Y LIMOS

EDAD: MIOCENO SUPERIOR

NATURALEZA: DETRÍTICO

FUNCIONAMIENTO: LIBRE

PERMEABILIDAD: ALTA

LÍMITES: TODOS SUS LÍMITES CORRESPONDEN AL CONTACTO LITOLÓGICO EN SUPERFICIE ENTRE LOS MATERIALES TERCIARIOS QUE CONSTITUYEN EL ACUÍFERO Y LOS MATERIALES PALEOZOICOS DE BAJA PERMEABILIDAD QUE AFLORAN A SU ALREDEDOR.



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



FICHA DESCRIPTIVA DE ACUÍFERO DE INTERÉS LOCAL

CUENCAS ATLÁNTICAS ANDALUZAS DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS

CÓDIGO: 062.1.04

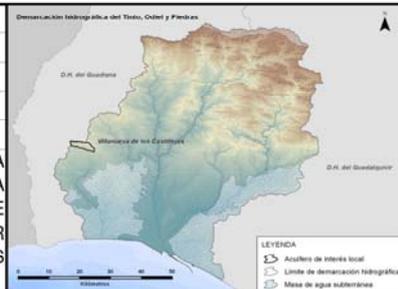
NOMBRE: VILLANUEVA DE LOS CASTILLEJOS

COMUNIDAD AUTÓNOMA: ANDALUCÍA

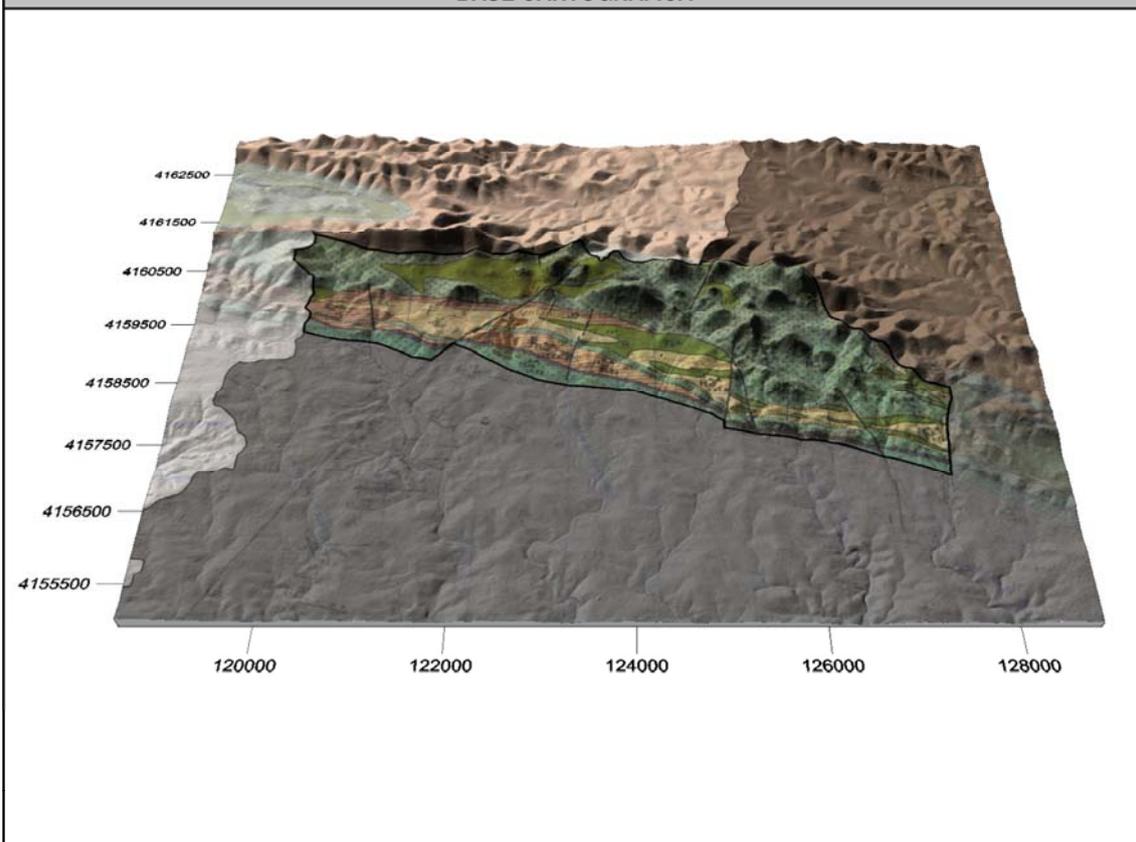
PROVINCIA: HUELVA

SUPERFICIE (km²): 15,18

SITUACIÓN GEOGRÁFICA: SE LOCALIZA EN EL LÍMITE OCCIDENTAL DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA, AL NOROESTE DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 30594. LEPE-CARTAYA Y AL OESTE DEL ACUÍFERO DE INTERÉS LOCAL CODIFICADO COMO 062.1.02. ALOSNO. EN SU INTERIOR QUEDAN INCLUIDAS LAS LOCALIDADES DE VILLANUEVA DE LOS CASTILLEJOS Y EL ALMENDRO.



BASE CARTOGRÁFICA



CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS

LITOLOGÍA: LAVAS, BRECHAS, TOBAS, TUFITAS, PIZARRAS, DIABASAS, ARENISCAS Y CUARCITAS

EDAD: CARBONÍFERO INFERIOR

NATURALEZA: VULCANO-SEDIMENTARIO Y METAMÓRFICO

FUNCIONAMIENTO: LIBRE

PERMEABILIDAD: BAJA

LÍMITES: LOS LÍMITES NORTE Y OESTE SON COINCIDENTES CON LA DIVISORIA ENTRE LAS DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS DEL GUADIANA Y DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS. AL NORESTE EL LÍMITE DEL ACUÍFERO VIENE DEFINIDO POR EL CONTACTO LITOLÓGICO EN SUPERFICIE CON PIZARRAS Y CUARCITAS DEL DEVÓNICO SUPERIOR, Y AL SUR, CON PIZARRAS DEL CARBONÍFERO. EL LÍMITE ESTE, POR ÚLTIMO, COINCIDE CON EL TRAZADO DE UNA FALLA.



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



FICHA DESCRIPTIVA DE ACUÍFERO DE INTERÉS LOCAL

CUENCAS ATLÁNTICAS ANDALUZAS DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS

CÓDIGO: 062.1.05

NOMBRE: EL PUENTE

COMUNIDAD AUTÓNOMA: ANDALUCÍA

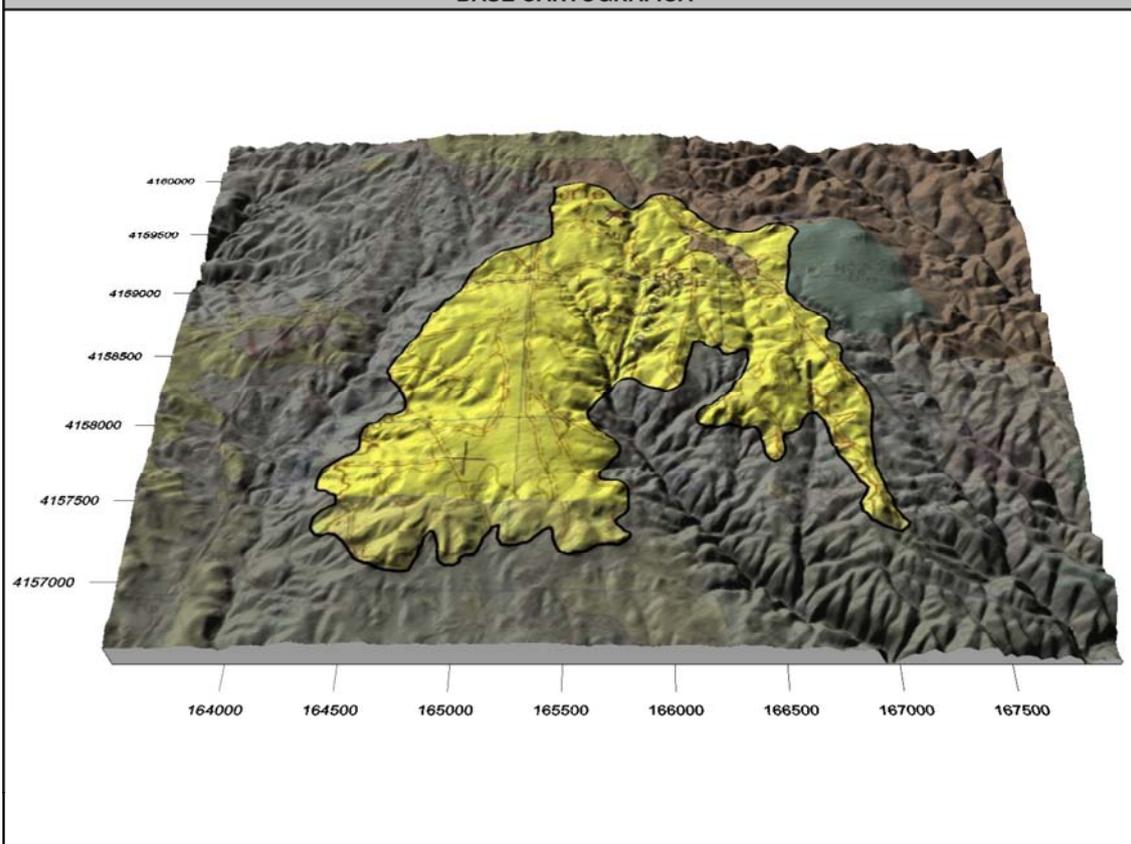
PROVINCIA: HUELVA

SUPERFICIE (km²): 3,88

SITUACIÓN GEOGRÁFICA: SE LOCALIZA EN EL SECTOR CENTRAL DE LA DEMARCACIÓN, ENTRE LOS ACUÍFEROS DE INTERÉS LOCAL CODIFICADOS COMO 062.1.03. LOS CRISTOS (AL NORTE) Y 062.1.06. FUENTE DE LA CORCHA (AL SUR). OCUPA UNA POSICIÓN INTERMEDIA ENTRE LAS LOCALIDADES DE VALVERDE DEL CAMINO Y BEAS.



BASE CARTOGRÁFICA



CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS

LITOLOGÍA: CONGLOMERADOS, ARENAS Y LIMOS

EDAD: MIOCENO SUPERIOR

NATURALEZA: DETRÍTICO

FUNCIONAMIENTO: LIBRE

PERMEABILIDAD: ALTA

LÍMITES: TODOS SUS LÍMITES CORRESPONDEN AL CONTACTO LITOLÓGICO EN SUPERFICIE ENTRE LOS MATERIALES TERCIARIOS QUE CONSTITUYEN EL ACUÍFERO Y LOS MATERIALES PALEOZOICOS DE BAJA PERMEABILIDAD QUE AFLORAN A SU ALREDEDOR.



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



FICHA DESCRIPTIVA DE ACUÍFERO DE INTERÉS LOCAL

CUENCAS ATLÁNTICAS ANDALUZAS DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS

CÓDIGO: 062.1.06

NOMBRE: FUENTE DE LA CORCHA

COMUNIDAD AUTÓNOMA: ANDALUCÍA

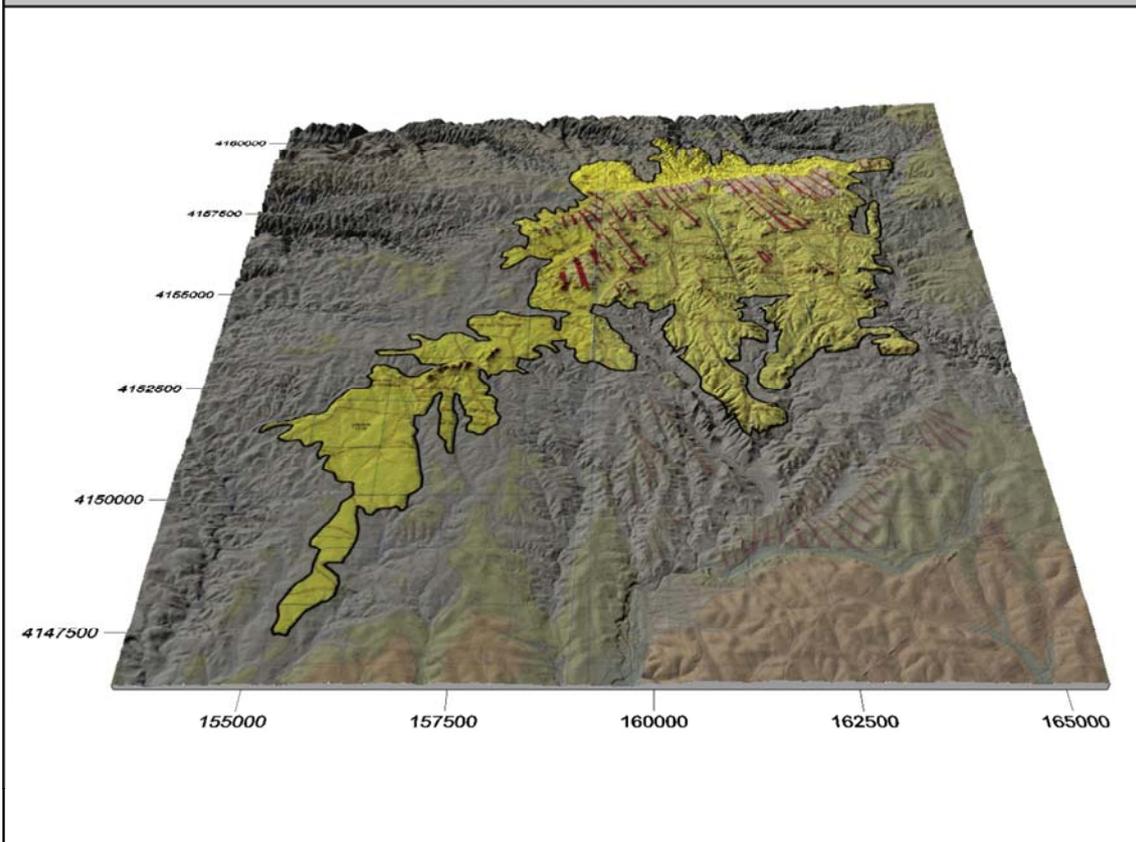
PROVINCIA: HUELVA

SUPERFICIE (km²): 38,18

SITUACIÓN GEOGRÁFICA: SE LOCALIZA AL SUROESTE DEL ACUÍFERO DE INTERÉS LOCAL CODIFICADO COMO 062.1.05 EL PUENTE, NO MUY LEJOS DE LA LOCALIDAD DE BEAS.



BASE CARTOGRÁFICA



CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS

LITOLOGÍA: CONGLOMERADOS, ARENAS Y LIMOS

EDAD: MIOCENO SUPERIOR-CUATERNARIO

NATURALEZA: DETRÍTICO

FUNCIONAMIENTO: LIBRE

PERMEABILIDAD: ALTA

LÍMITES: TODOS SUS LÍMITES CORRESPONDEN AL CONTACTO LITOLÓGICO EN SUPERFICIE ENTRE LOS MATERIALES TERCIARIOS Y CUATERNARIOS QUE CONSTITUYEN EL ACUÍFERO Y LOS MATERIALES PALEOZOICOS DE BAJA PERMEABILIDAD QUE AFLORAN A SU ALREDEDOR.

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 Tinto, Odiel y Piedras. 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 TINTO, ODIEL Y PIEDRAS

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 Tinto, Odiel y Piedras.

4.3.1. ESTADO QUÍMICO

La red de control del estado químico de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, está constituida por 51 estaciones de seguimiento, distribuidas del siguiente modo:

- ✓ Programa de control de vigilancia: 17 puntos
- ✓ Programa de control de vigilancia y operativo: 15 puntos
- ✓ Programa de control de vigilancia y de zonas protegidas para abastecimiento: 10 puntos
- ✓ Programa de control de zonas protegidas para abastecimiento: 9 puntos

En la tabla 4.3.1.1 se presenta un listado en el que se sintetizan las principales características de los 51 puntos de control, tal y como queda recogido en el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras (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	
AA00010102	30593	Niebla	182720	4146376	V
AA00010062	30593	Niebla	174663	4141713	O+V
AA00010063	30593	Niebla	166194	4137074	O+V
AA00010103	30593	Niebla	193577	4149159	V
AA00010104	30593	Niebla	189766	4148051	V
AA00010130	30593	Niebla	174917	4143302	V
AA00010131	30593	Niebla	177998	4143336	V
AA00010022	30593	Niebla	185969	4146120	ZP+V
AA00010087	30593	Niebla	181406	4143511	O+V
AA00010023	30593	Niebla	173688	4139188	ZP+V
AA00010088	30593	Niebla	177277	4144128	O+V
AA00010064	30594	Lepe - Cartaya	126715	4132268	O+V
AA00010065	30594	Lepe - Cartaya	125457	4126654	O+V
AA00010105	30594	Lepe - Cartaya	134949	4147580	V

ESTACIÓN DE SEGUIMIENTO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA		COORDENADAS		PROGRAMA CONTROL*
	Código	Nombre	UTM X	UTM Y	
AA00010066	30594	Lepe - Cartaya	141931	4139729	O+V
AA00010106	30594	Lepe - Cartaya	140491	4144618	V
AA00010067	30594	Lepe - Cartaya	131810	4138016	O+V
AA00010068	30594	Lepe - Cartaya	131845	4139879	O+V
AA00010107	30594	Lepe - Cartaya	142007	4131357	V
AA00010108	30594	Lepe - Cartaya	141531	4135046	V
AA00010109	30594	Lepe - Cartaya	141491	4127416	V
AA00010089	30594	Lepe - Cartaya	126194	4129534	O+V
AA00010024	30594	Lepe - Cartaya	135409	4129102	ZP+V
AA00010025	30594	Lepe - Cartaya	123963	4128657	ZP+V
AA00010110	30595	Condado	164789	4117793	V
AA00010111	30595	Condado	155929	4129178	V
AA00010112	30595	Condado	160604	4133983	V
AA00010113	30595	Condado	170624	4133594	V
AA00010090	30595	Condado	162192	4128955	O+V
AA00010091	30595	Condado	161175	4121111	O+V
AA00010092	30595	Condado	162809	4118876	O+V
AA00010093	30595	Condado	157816	4119875	O+V
AA00010094	30595	Condado	154703	4121460	O+V
AA00010026	30595	Condado	165916	4117110	ZP+V
AA00010116	440001	Aracena	173464	4197869	V
AA00010029	440001	Aracena	174189	4197539	ZP+V
AA00010030	440001	Aracena	177853	4198701	ZP+V
AA00010031	440001	Aracena	182087	4199245	ZP+V
AA00010114	440001	Aracena	171506	4196845	V
AA00010115	440001	Aracena	165353	4200522	V
AA00010027	440001	Aracena	190655	4196420	ZP+V
AA00010028	440001	Aracena	196253	4193834	ZP+V
AA00010032	Fuera de masa (captación de agua subterránea destinada al consumo humano)		164368	4149614	ZP
AA00010033	Fuera de masa (captación de agua subterránea destinada al consumo humano)		184276	4186228	ZP



ESTACIÓN DE SEGUIMIENTO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA		COORDENADAS		PROGRAMA CONTROL*
	Código	Nombre	UTM X	UTM Y	
AA00010034	Fuera de masa (captación de agua subterránea destinada al consumo humano)		170376	4172558	ZP
AA00010035	Fuera de masa (captación de agua subterránea destinada al consumo humano)		191100	4186201	ZP
AA00010036	Fuera de masa (captación de agua subterránea destinada al consumo humano)		160854	4144295	ZP
AA00010037	Fuera de masa (captación de agua subterránea destinada al consumo humano)		170486	4178747	ZP
AA00010038	Fuera de masa (captación de agua subterránea destinada al consumo humano)		167012	4198588	ZP
AA00010039	Fuera de masa (captación de agua subterránea destinada al consumo humano)		173155	4191052	ZP
AA00010040	Fuera de masa (captación de agua subterránea destinada al consumo humano)		140630	4178432	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 Tinto, Odiel y Piedras

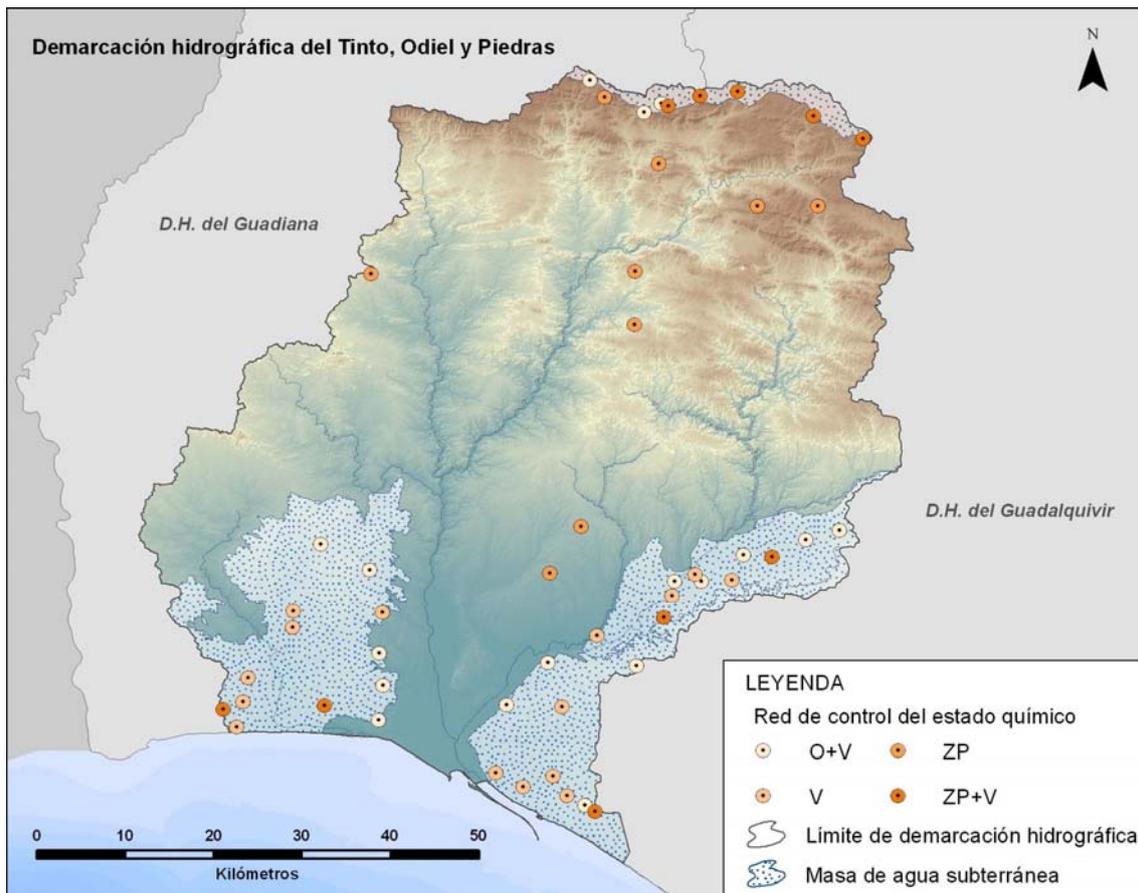


Figura 4.3.1.1. Puntos de control que constituyen la red de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

4.3.2. ESTADO CUANTITATIVO

La red de control o seguimiento del estado cuantitativo de las aguas subterráneas identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras está constituida por 30 estaciones de seguimiento, de las cuales, 21 están incluidas en la red de control piezométrico y las 9 restantes, en la red de control hidrométrico.

En la tabla 4.3.2.1 se presenta un listado con los 30 puntos de control actualmente operativos en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, 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	
04.13.001	30593	Niebla	185023	4146733	Piezométrico
04.13.002	30593	Niebla	183402	4145698	Piezométrico
04.13.003	30593	Niebla	169036	4139304	Piezométrico
04.13.004	30593	Niebla	175591	4143165	Piezométrico
04.12.006	30594	Lepe-Cartaya	125587	4126843	Piezométrico
04.12.007	30594	Lepe-Cartaya	129073	4128557	Piezométrico
04.12.012	30594	Lepe-Cartaya	142066	4139879	Piezométrico
04.12.015	30594	Lepe-Cartaya	135899	4136251	Piezométrico
04.12.016	30594	Lepe-Cartaya	139317	4138201	Piezométrico
04.12.017	30594	Lepe-Cartaya	138966	4128792	Piezométrico
04.12.018	30594	Lepe-Cartaya	141404	4127218	Piezométrico
04.12.019	30594	Lepe-Cartaya	140050	4133665	Piezométrico
04.12.020	30594	Lepe-Cartaya	135726	4129405	Piezométrico
04.12.021	Fuera de masa (representativo de la MASb. 30594)		143659	4130317	Piezométrico
04.14.001	30595	Condado	159750	4117683	Piezométrico
04.14.002	30595	Condado	156045	4129307	Piezométrico
04.14.003	30595	Condado	153356	4126854	Piezométrico
04.14.004	30595	Condado	166836	4132147	Piezométrico
04.14.005	30595	Condado	163572	4128116	Piezométrico
04.14.006	30595	Condado	164638	4123843	Piezométrico
04.14.008	30595	Condado	160840	4130877	Piezométrico
371	440001	Aracena	164724	4200581	Hidrométrico

ESTACIÓN DE SEGUIMIENTO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA		COORDENADAS		TIPO DE CONTROL
	Código	Nombre	UTM X	UTM Y	
372	440001	Aracena	165542	4200962	Hidrométrico
374	Fuera de masa (representativo de la MASb. 440001)		167611	4199107	Hidrométrico
387	440001	Aracena	187086	4199492	Hidrométrico
388	440001	Aracena	186376	4199892	Hidrométrico
389	440001	Aracena	182167	4199405	Hidrométrico
392	440001	Aracena	177530	4198829	Hidrométrico
393	440001	Aracena	178616	4199583	Hidrométrico
421	440001	Aracena	172640	4197555	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 Tinto, Odiel y Piedras

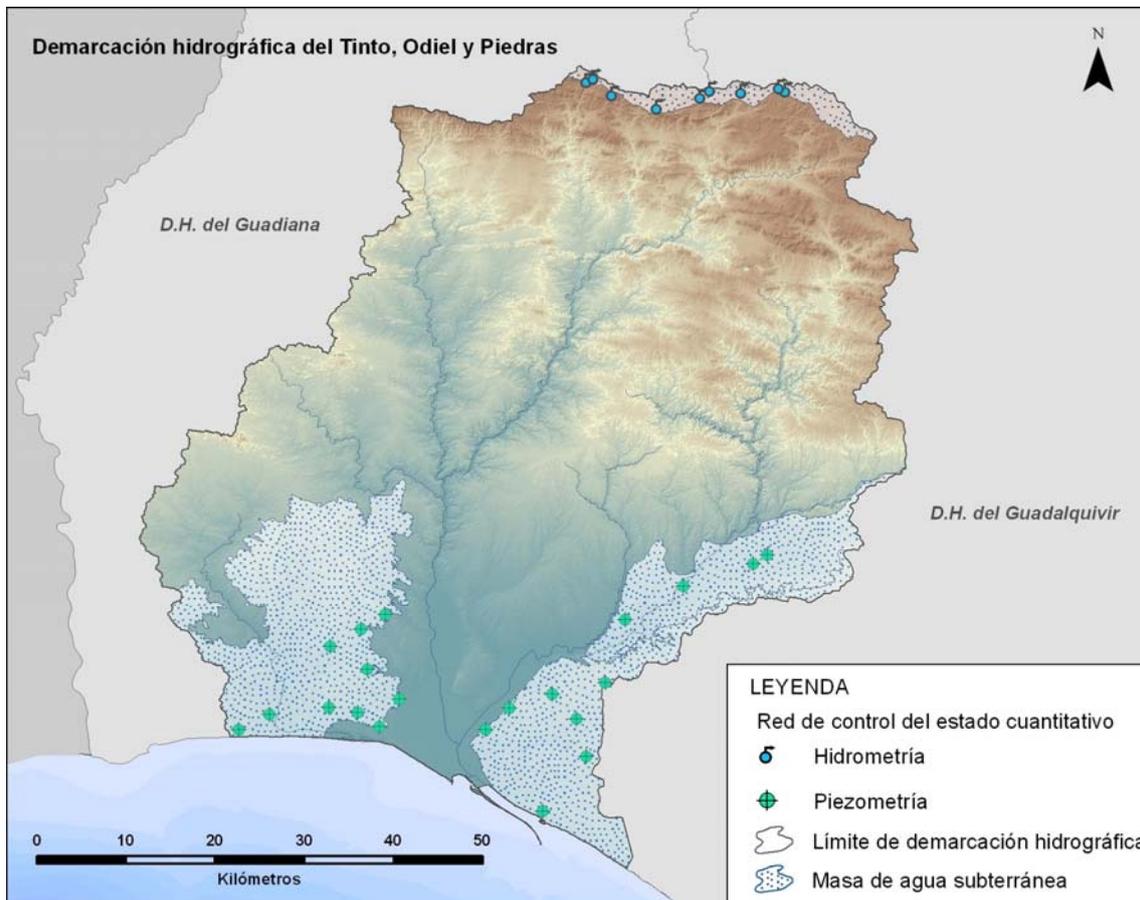


Figura 4.3.2.1. Puntos de control que constituyen la red de seguimiento del estado cuantitativo de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

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 Tinto, Odiel y Piedras. 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 Tinto, Odiel y Piedras:

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 en todos los casos con puntos pertenecientes a la red de control de calidad histórica, codificados como:

- ✓ GNIG00XXXX (Confederación Hidrográfica del Guadiana/IGME)
- ✓ CAXXXXXXX (Cuenca Atlántica Andaluza).

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. ARACENA (440001)

4.5.1.1. Estado químico

La red de seguimiento del estado químico de esta masa de agua subterránea está constituida por 8 puntos de control, 5 de los cuales corresponden a captaciones de agua subterránea destinada al abastecimiento humano (tabla 4.5.1.1.1 y figura 4.5.1). Esta red de control se considera adecuada, de modo 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					
8	3	-	5	-	Buen estado	Sí	No	No	No

Tabla 4.5.1.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Aracena (440001)

4.5.1.2. Estado cuantitativo

Esta masa de agua subterránea cuenta con 9 puntos de control hidrométrico (manantiales). Se propone la inclusión de nuevos puntos de control piezométrico en la zona de interés delimitada en la figura 4.5.1, en el sector central de la masa. Este área se corresponde con un pequeño afloramiento de rocas carbonatadas, el cual constituye, prácticamente, el único acuífero de relevancia de la zona dado que la mayor parte de la superficie de la masa está cubierta por materiales de baja permeabilidad.

Dentro de este sector existen puntos de agua inventariados, de los cuales se recomienda utilizar el sondeo codificado como 1037-7-0049, perteneciente a la red de control piezométrico del IGME.

ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				
	NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		TIPO	FUENTE
		X	Y		
Sector central	1037-7-0049	182200	4199388	Sondeo	IGME

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 Arcena (440001)

4.5.2. NIEBLA (30593)

4.5.2.1. Estado químico

El seguimiento del estado químico de esta masa de agua subterránea se realiza por medio de 11 puntos de control, 4 de los cuales están incluidos en el programa de control operativo (tabla 4.5.2.1.1 y figura 4.5.2).

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	5	4	2	-	Mal estado	Sí	No	No	No

Tabla 4.5.2.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Niebla (30593)

En esta masa de agua se han identificado 3 sondeos destinados al abastecimiento humano, 2 de los cuales forman parte de la red de control de calidad dentro del programa ZP+V (tabla 4.5.2.1.1).

Se propone la inclusión de un nuevo punto de control al oeste de la localidad de Niebla (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	Al oeste de Niebla	GNIG000010	171023	4140699	V	Zona de la masa de agua sin ningún punto de control	No
		GNIG000012	173705	4141211			

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 Niebla (30593)

4.5.2.2. Estado cuantitativo

En esta masa de agua subterránea se han identificado 4 puntos de control piezométrico, homogéneamente distribuidos en los acuíferos de mayor interés. Por tanto, no se considera necesaria la inclusión de nuevos puntos de control.

4.5.3. LEPE-CARTAYA (30594)

4.5.3.1. Estado químico

El seguimiento del estado químico de la masa de agua subterránea Lepe-Cartaya (30594) se lleva a cabo por medio de 13 puntos de control, 6 de los cuales están incluidos en el programa de control operativo (tabla 4.5.3.1.1). De confirmarse el buen estado químico de esta masa de agua, el programa de control operativo no sería necesario, de modo que los puntos incluidos en dicho programa podrían ser transferidos al programa de control de vigilancia.

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					
13	5	6	2	-	Buen estado	Sí	Sí	No	Sí

Tabla 4.5.3.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Lepe-Cartaya (30594)

Son 4 las captaciones destinadas al abastecimiento humano identificadas en el interior de esta masa de agua subterránea, distribuidas en dos zonas, ambas representadas en la red de seguimiento actual por los dos puntos de control pertenecientes al programa ZP+V (tabla 4.5.3.1.1 y figura 4.5.3).

En el extremo suroriental de la masa de agua subterránea Lepe-Cartaya, fuera de ella pero muy próxima a su borde, se localiza la laguna de El Portil (figura 4.5.3), definida como masa de agua superficial con el código 20373 y protegida bajo la figura de Reserva Natural, la cual queda incluida parcialmente dentro de los límites de la masa de agua subterránea. Una parte significativa de la alimentación hídrica de esta laguna se produce a través de flujos subterráneos procedentes del acuífero, tal como se recoge en el informe "Definición del contexto hidrogeológico de humedales andaluces. VII. Lagunas de Huelva" (Consejería de Medio Ambiente-GHUMA, 2005)".

En las inmediaciones de la laguna de El Portil, concretamente unos 500 m hacia el norte, existe una estación de seguimiento que permite controlar la calidad del agua del acuífero que la alimenta (figura 4.5.3).

El sector suroccidental de esta masa de agua subterránea está incluido en la zona vulnerable a la contaminación por nitratos de "Ayamonte-Lepe-Cartaya", en cuyo interior se encuentran varios puntos de control incluidos en la red de seguimiento del estado químico (figura 4.5.3).

La mayor parte de la franja costera del acuífero que constituye esta masa de agua subterránea, se corresponde con una zona donde no se asienta ninguna actividad humana -Flecha del Rompido-, por lo que no se ha considerado necesario incluir ningún punto de control adicional. En el sector más occidental de esta franja costera, donde se asienta el núcleo poblacional de Antilla, ya existe una estación de seguimiento (figura 4.5.3).

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 4.5.3.1.2.

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				MOTIVOS	PRIORITARIO
		NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		PROGRAMA		
			X	Y			
1. Nuevo punto de control	Al este de Cartaya	GNIG000024	136179	4134513	V	Zona de la masa de agua sin ningún punto de control, con desarrollo de agricultura	No
		GNIG000040	132991	4133591			
		GNIG000065	133291	4132849			
		GNIG001432	132995	4132830			
		GNIG000039	135302	4135912			
2. Cambio del programa de vigilancia y operativo (V+O) al programa de vigilancia (V)	Los seis puntos de control en el programa de vigilancia y operativo	-	-	-	V	Masa de agua subterránea definida en buen estado químico	Sí

Tabla 4.5.3.1.2. Propuesta de adecuación y mejora de la red de control del estado químico de la masa de agua subterránea Lepe-Cartaya (30594)

4.5.3.2. Estado cuantitativo

Actualmente existen 10 puntos de control piezométrico, ubicados en la mitad meridional de la masa de agua subterránea. La propuesta de mejora de la red de control consiste en la inclusión de estaciones de seguimiento en los sectores delimitados en la zona central y septentrional de la masa de agua (figura 4.5.3), situados a lo largo del valle fluvial del río Piedras y su afluente, el arroyo Tariquejo, con objeto de minimizar el espesor de zona no saturada. Se controlaría, principalmente, el nivel piezométrico del acuífero plioceno, aunque también se puede contemplar la inclusión de puntos para el control en los depósitos aluviales cuaternarios.

En el sector central se han identificado varios sondeos de la red de control piezométrico del IGME, algunos de los cuales podrían incluirse para el seguimiento del estado cuantitativo de la masa de agua. De éstos, uno de los más representativos podría ser el punto codificado como 841-4-0004 y 941-1-0013, ya que dispone de un registro histórico de más de 250 medidas realizadas por el IGME. Por el contrario, en el sector norte no se dispone de información sobre sondeos o piezómetros existentes, de modo que se recomienda construir un nuevo punto o, alternativamente, localizar algún sondeo (representativo) en esta zona que permita la medida del nivel piezométrico.

ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				
	NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		TIPO	FUENTE
		X	Y		
Sector central	941-1-0013	130337	4134830	Sondeo	IGME
Sector norte	Nuevo punto	-	-	Sondeo/Piezómetro	-

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 Lepe-Cartaya (30594)

4.5.4. CONDADO (30595)

4.5.4.1. Estado químico

La masa de agua subterránea cuenta actualmente con 10 puntos de control para realizar el seguimiento de su estado químico (tabla 4.5.4.1.1).

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					
10	4	5	1	-	Mal estado	Sí	Sí	Sí	Sí

Tabla 4.5.4.1.1. Red de control actual de la masa de agua subterránea Condado (30595)

En el interior de esta masa de agua subterránea se identifican tres zonas protegidas:

- ✓ Paraje Natural Lagunas de Palos y las Madres: incluye las lagunas Primera de Palos, de la Jara, de la Mujer y de las Madres, todas ellas definidas como masas de agua superficial con los códigos 440037, 440035, 440036 y 20372, respectivamente (figura 4.5.4). De acuerdo con el informe "Definición del contexto hidrogeológico de humedales andaluces. VII. Lagunas de Huelva" (Consejería de Medio Ambiente-GHUMA, 2005)", estas cuatro lagunas reciben aportes hídricos subterráneos procedentes del acuífero.
- ✓ Parque Natural Doñana: incluye parte del extremo oriental de la masa de agua subterránea, desde donde se extiende hacia el Este. En su interior hay algunas pequeñas lagunas/dolinas de recarga, que no son dependientes de las aguas subterráneas.
- ✓ Paraje Natural Estero de Domingo Rubio: el Estero de Domingo Rubio recibe una alimentación mixta: aguas superficiales y aportes subterráneos procedentes del acuífero (<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/>).

Una parte considerable de la masa de agua subterránea está incluida en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de "Condado" y "Valle del Guadalquivir", dentro de las cuales se localizan 5 de las 10 estaciones de seguimiento (figura 4.5.4).

El extremo occidental de la zona sensible del "Parque Nacional de Doñana y su Entorno" -cuyos límites coinciden con los del Parque Natural Doñana- queda incluido dentro de los límites de la masa de agua subterránea de Condado (30595).

Finalmente, se propone la inclusión de dos nuevos puntos de control: uno en la zona central de la masa de agua subterránea, al este de la localidad de Moguer, y el otro en las inmediaciones del Estero de Domingo Rubio, ya sea en su margen derecha o izquierda (tabla 4.5.4.1.2 y figura 4.5.4).

PROPUESTA	ZONA	PUNTO CONTROL PROPUESTO				MOTIVOS	PRIORITARIO
		NOMBRE/ CÓDIGO	COORD. UTM		PROGRAMA		
			X	Y			
1. Nuevo punto de control	Al este de Moguer	-	-	-	V+O	Zona declarada vulnerable a la contaminación por nitratos, con un importante desarrollo de la agricultura	No
2. Nuevo punto de control	Al sur de Palos de la Frontera	CA0414003	154947	4126587	V	Zona próxima al Estero de Domingo Rubio, ocupada por cultivos	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 Condado (30595)

4.5.4.2. Estado cuantitativo

La masa de agua subterránea dispone actualmente de 7 puntos de control piezométrico, repartidos de un modo heterogéneo a lo largo de la zona de mayor interés hidrogeológico; por lo tanto, no se propone la inclusión de nuevos puntos de control.

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 Tinto, Odiel y Piedras.

CÓDIGO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA	Nº DE PUNTOS DE CONTROL				CAMBIO VIGILANCIA/ OPERATIVO*
		ACTUAL	PROPUESTOS		ACTUAL+ PROPUESTOS	
			Prioritarios	No Prioritarios		
440001	Aracena	8	-	-	8	-
30593	Niebla	11	-	1	12	-
30594	Lepe-Cartaya	13	-	1	14	Sí
30595	Condado	10	-	2	12	-
TOTAL		42	0	4	46	-

* 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 modificación de la red de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

La red de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras está constituida por un total de 51 puntos de control, y no de 42 tal como se indica en la tabla 4.6.1.1. Los 9 puntos de control que restan corresponden a captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano, situadas en terrenos no catalogados 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 Tinto, Odiel y Piedras.

CÓDIGO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA	Nº DE PUNTOS DE CONTROL			
		ACTUAL	PROPUESTOS		ACTUAL+ PROPUESTOS
			Piezométricos	Hidrométricos	
440001	Aracena	9	1	0	10
30593	Niebla	4	0	0	4
30594	Lepe-Cartaya	10	2	0	12
30595	Condado	7	0	0	7
TOTAL		30	3	0	33

Tabla 4.6.2.1. Síntesis de la propuesta de modificación de la red de seguimiento del estado cuantitativo de las aguas subterráneas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

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 Tinto, Odiel y Piedras, 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 (calidad):

Origen datos	Nº Estaciones	Nº Muestras
REDES IGME (2008)	22	144
DGA-MMA*	203	969
TOTAL	225	1113

** 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)	9	125

*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	NOMBRE	IGME-CEDEX	IGME	DGA-MMA*	TOTAL MASA
30593	NIEBLA	-	2/27	56/224	58/251
30594	LEPE-CARTAYA	-	16/255	121/443	137/698
30595	CONDADO	-	1/10	17/267	18/277
440001	ARACENA	-	3/36	9/35	12/71
TOTAL		0	22/328	203/969	225/1.297

* La base de datos DGA-MMA incluye, entre otros, los puntos de control de las REDES IGME (2008) e IGME-CEDEX, Por tanto, aquí se han incluido solamente los puntos de control ajenos a dichas redes.

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

CÓDIGO MASA	NOMBRE MASA	IGME	TOTAL MASA
30593	NIEBLA	-	0/0
30594	LEPE-CARTAYA	8/115	8/115
30595	CONDADO	1/10	1/10
440001	ARACENA	-	0/0
TOTAL		9/125	9/125

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 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 otro².

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	DGA-MMA	TOTAL MASb
30593	NIEBLA	1991-1994**	2/12	39/81	41/93
30594	LEPE-CARTAYA	1991-1994	5/33	10/49	15/82
30595	CONDADO	1995-1998	-	5/46	5/46
440001	ARACENA	1991-1992	1/2	4/8	5/10
TOTAL			8/47	58/184	66/231

* En esta demarcación se ha prescindido tanto de los datos de las décadas de los años 60 y 70, por presentar un bajo número muestras, así como de la de los años 80, por presentar valores muy elevados con respecto al resto de series temporales.

** En la masa de agua subterránea 30593. Niebla, se ha considerado la serie temporal 1991-1994 para todos los parámetros analizados, excepto para la concentración de nitratos, para la cual se ha considerado la serie 1981-1983.

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 \geq 5.

² En la masa de agua subterránea 30593. Niebla, tras el análisis previo los datos disponibles relativos a parámetros mayoritarios y nitratos, se ha estimado oportuno seleccionar la serie temporal 1991-1994 para todos los parámetros analizados (por presentar los valores más bajos y estables), excepto para la concentración de nitratos, ya que en dicha serie temporal los valores se consideran muy elevados. De este modo, para la concentración de nitratos, se ha considerado la serie 1981-1983.

- ✓ 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 $\mu\text{S/cm}$). 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 ($\mu\text{S/cm}$)	Relación Cl/ HCO_3
30594	LEPE-CARTAYA	230	889,6	*

* En la masa de agua subterránea codificada como 30594. Lepe-Cartaya no se ha tenido en cuenta la relación iónica cloruro/bicarbonato ya que en la caracterización adicional de la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, no se consideró como parámetro indicador de contaminación.

5.2.1.3. Revisión de antecedentes

En el caso de la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, se han consultado las fichas de caracterización adicional incluidas en el informe *“Mejora del conocimiento hidrogeológico de las unidades de la zona sur de la cuenca del Guadiana”*, realizado en abril de 2007. En ellas se recogen unos niveles de referencia estimados en base a un reducido número de muestras por lo que, tras revisar la información disponible, se han establecido nuevos niveles de referencia.

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 NO₃ > 10 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 Tinto, Odiel y Piedras.

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 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:

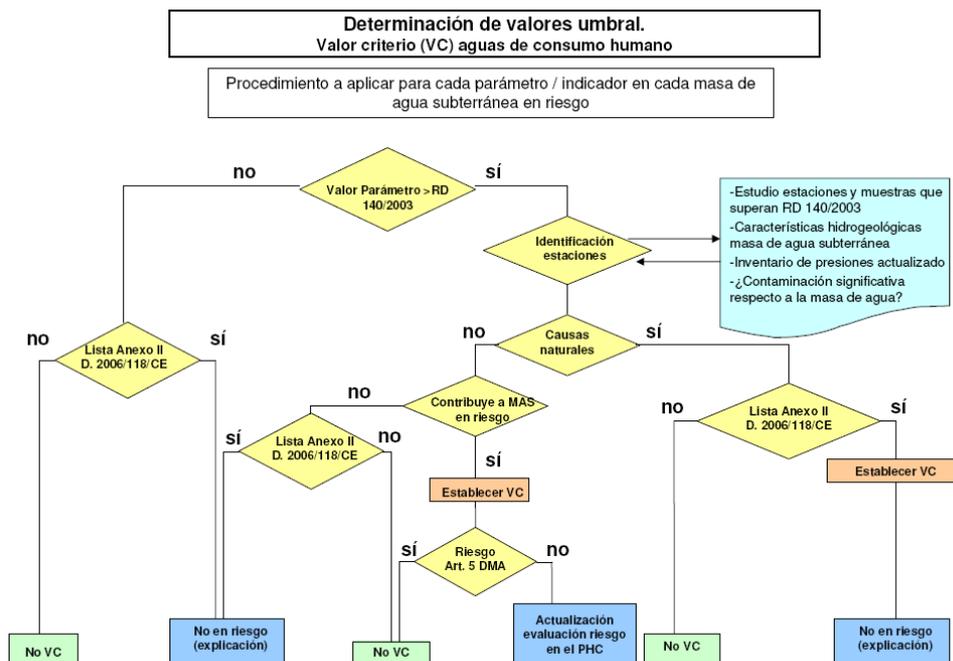
- Si el percentil 90 del total de muestras es inferior a 10 mg/l, se establece como nivel de referencia el percentil 90.
- Si el percentil 90 del total de las muestras es superior a 10 mg/l, se establece como nivel de referencia el valor de 10 mg/l.

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 ≤ 10 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 ⁽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.
Cadmio	Tetracloroetileno	
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 recomendados en los trabajos de *“Revisión del estado de cumplimiento de los objetivos medioambientales de las masas de agua subterránea de las cuencas atlánticas andaluzas; 2008”*, aunque éstos no hayan contribuido a la identificación del riesgo en determinadas masas de agua subterránea.

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 Tinto, Odiel y Piedras se ha consultado el contenido del informe *“Revisión del estado de cumplimiento de los objetivos medioambientales de las masas de agua subterránea de las cuencas atlánticas andaluzas (2008)”*, que a su vez está basado en los trabajos de *“Mejora del conocimiento hidrogeológico de las unidades de la zona sur de la cuenca del Guadiana (2007)”*. Ambos documentos han sido revisados y contrastados, con objeto de establecer el listado de masas de agua subterránea en riesgo, así como los parámetros indicadores determinantes en el establecimiento de dicho riesgo.

En la siguiente tabla se recoge la información sobre el tipo de riesgo asignado a cada MASb, así como de los contaminantes e indicadores de contaminación que contribuyen a tal clasificación:

Código masa	Nombre masa	Riesgo	Tipo de impacto	Parámetros determinantes en la identificación del riesgo
30593	NIEBLA	En estudio	Difusa, puntual	Nitratos
30594	LEPE-CARTAYA	Seguro	Difusa, puntual	Nitratos, cloruros* y conductividad*
30595	CONDADO	Seguro	Difusa	Nitratos
440001	ARACENA	Nulo	-	Nitratos*

* Parámetros que no contribuyen a la clasificación de las masas de agua subterránea como en riesgo químico, pero para los que se ha recomendado un seguimiento. Por tanto, para estos parámetros también se ha establecido valor umbral.

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 VC_i (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 VC_i. 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 critérios 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⁾
<p>⁽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.</p> <p>⁽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.</p>	

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
30593	NIEBLA	- *	- *
30594	LEPE-CARTAYA	2008-2009	12/22
30595	CONDADO	2008-2009	9/9
440001	ARACENA	2008-2009	4/14
TOTAL			25/45

* 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.

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).

Código masa	Nombre masa	Parámetro	Nivel de Referencia	Valor Umbral (ACH)	Valor Umbral (Intrusión)	Nivel Básico
30593	NIEBLA	Cloruros	272,60	E	B	G
		Conductividad	2.174,80	E	B	G
		Nitratos	10,00	D	B	G
30594	LEPE-CARTAYA	Cloruros	F	C	C	139,63
		Conductividad	F	C	C	706,82
		Nitratos	10,00	D	B	8,29
30595	CONDADO	Cloruros	62,00	E	B	89,20
		Conductividad	279,50	E	B	649,20
		Nitratos	10,00	D	B	69,62
440001	ARACENA	Cloruros	A	E	B	15,20
		Conductividad	A	E	B	370,29
		Nitratos	A	D	B	6,63



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



- A No se establece NR a falta de un número de registros analíticos representativo
- B No se establece VU porque la masa de agua subterránea no presenta riesgo por intrusión salina
- C No se establece VU porque no se dispone de NR
- D No requiere el establecimiento del VU ya que le aplica una norma de calidad específica (Anejo I de 2006/118/CE)
- E No se establece VU porque no es un parámetro indicador de contaminación de la masa de agua subterránea
- F 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)
- G 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

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 7 muestras en las que la concentración en nitratos registrada es inferior al límite de cuantificación. En este caso, el valor aplicado (en función de la fecha de realización de los análisis), es el siguiente:

Rango temporal	LC (mg/l)	Nº Muestras afectadas	Estaciones	Resultado del análisis (mg/l)	Sustituido por LC/2 (mg/l)
De 2002 a 2007	0,1	5	AA00010022 (4)	0	0,05
			AA00010090 (1)		
De 2007 a 2009	0,01	2	AA00010022 (1)		0,005
			AA00010030 (1)		

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
30593	NIEBLA	1992-2009	9/88
30594	LEPE-CARTAYA	2002-2009	12/37
30595	CONDADO	1997-2009	9/80
440001	ARACENA	2008-2009	4/14
TOTAL			34/219

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.

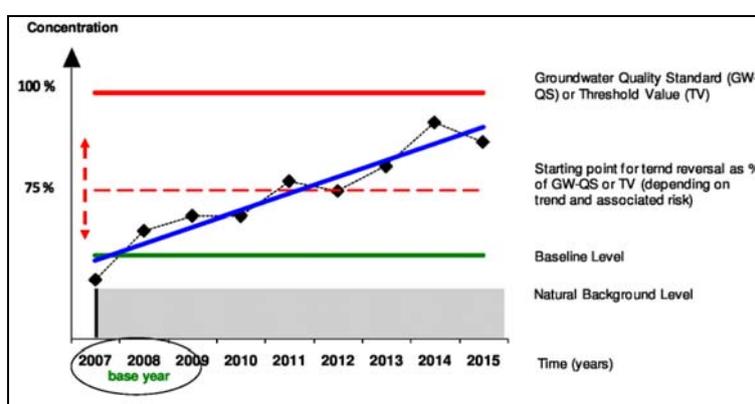


Figura 5.4.3.1. Elementos de la evaluación e inversión de tendencias

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.

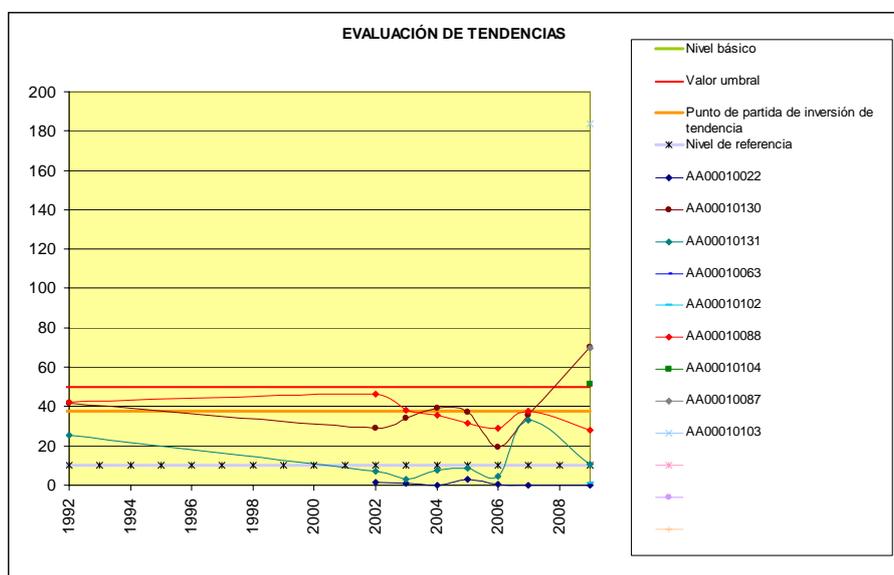
A continuación se comentan los resultados obtenidos en relación con la determinación de tendencias significativas y sostenidas al aumento y definición de los puntos de partida de las inversiones de tendencias para la totalidad de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica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

▪ 30593. Niebla

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, 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 30593 se identifique en *riesgo* por contaminación puntual y difusa (nitratos).

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos en las 9 estaciones de la red de seguimiento, aunque sólo se dispone de datos históricos previos al año 2009 en 4 de ellas; por este motivo la evaluación de tendencias se ha basado exclusivamente en estas estaciones. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 9 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). Los promedios

actuales en 4 de las 9 estaciones superan dicho valor umbral, por lo que se ha considerado que masa presenta mal estado químico respecto a este parámetro.

Asimismo, para esta masa de agua no se ha establecido nivel básico para la concentración de nitratos al incumplir los criterios mínimos propuestos en el apartado 5.2.3.1.2 del presente documento.

A continuación se detalla brevemente la situación de los puntos de control de la masa con respecto a la concentración de nitratos:

AA00010022: localizado hacia el centro-este de la masa, presenta datos desde 2002 hasta 2009, con valores que oscilan entre 0,17 y 3 mg/l. A la vista de los resultados, se observa una tendencia estable a lo largo del periodo de datos disponible, registrando un ascenso únicamente en el año 2005, con 3 mg/l, para posteriormente volver a descender hasta 0,24 mg/l. Por lo tanto, se considera que esta estación no presenta un riesgo inmediato de alcanzar el punto de partida de inversión de tendencias; no obstante, se recomienda el seguimiento continuado de la misma.

AA00010088: localizado hacia el centro de la masa, presenta datos desde 1992 hasta 2009, con valores que oscilan entre 28 y 46 mg/l. A la vista de los resultados, se observa una tendencia descendente a lo largo del periodo de datos disponible, ya que los primeros registros (1992 y 2002) sobrepasan el punto de partida de inversión de tendencias, aproximándose críticamente al valor umbral, mientras que los promedios actuales indican una tendencia descendente, hasta alcanzar en 2009 el mínimo histórico registrado en la estación. Por lo tanto, se deduce que, de mantenerse dicha tendencia, la masa no presentaría riesgo de alcanzar el punto de partida de inversión de tendencias. No obstante, se recomienda su seguimiento para verificar la tendencia prevista.

AA00010130: localizado hacia el centro-oeste de la masa, presenta registro desde 1992 hasta 2009, con promedios anuales comprendidos entre 19 y 70 mg/l, éste último correspondiente al dato más actual (2009). A la vista de los resultados, se observa una tendencia variante a lo largo del periodo de datos disponible, obteniendo el mínimo histórico para la estación en el año 2006. A partir de este año, los promedios anuales relativos al periodo 2007 y 2009 indican una tendencia descendente, alcanzando los 70 mg/l en 2009 y, por lo tanto, superando el valor umbral establecido. Por este motivo, se recomienda adoptar las medidas necesarias para reducir la concentración de nitratos hasta alcanzar valores inferiores al punto de partida de inversión de tendencias (37,5 mg/l).

AA00010131: localizado hacia el centro de la masa, presenta datos desde 1992 hasta 2009, con promedios anuales que oscilan entre 3,3 y 33 mg/l. A la vista de los resultados, se observa una tendencia inicial descendente, desde los 25,5 mg/l registrados en 1992 hasta los 3,3 mg/l en 2003. Entre 2003 y 2006 hay ligeras variaciones, con concentraciones entre 3,3 y 8,7 mg/l. El promedio de nitratos en 2007, con 33 mg/l, representa un valor extremo (aislado), ya que en 2009 los valores descienden hasta 10,7 mg/l. En base a estos antecedentes, y aunque la estación no presenta riesgo de superar el valor umbral para la concentración de nitratos, se recomienda un seguimiento continuado en el entorno de la estación, con el fin de detectar posibles ascensos.

En las otras 5 estaciones no se dispone de datos históricos previos al año 2009, por lo que no ha sido posible determinar las tendencias de las mismas. No obstante, cabe decir que 2 de dichas estaciones, *AA00010063* y *AA00010102* presentan promedios actuales por debajo del punto de partida de inversión de tendencias, con concentraciones de 0,77 y 0,83 mg/l, respectivamente; por lo que no presentan un riesgo actual con respecto al valor umbral. Por el contrario, las 3 estaciones restantes (*AA00010087*, *AA00010103* y *AA00010104*) presentan promedios actuales superiores al valor umbral, con valores que

oscilan entre 52 y 184 mg/l (en 2009). Este último valor, el máximo de la serie, se ha registrado en la estación AA00010103 y triplica el valor umbral. Para estas 3 estaciones se recomienda, por tanto, aplicar las medidas correctoras oportunas para reducir la concentración de nitratos en un futuro, prestando especial atención al entorno de la estación AA00010103.

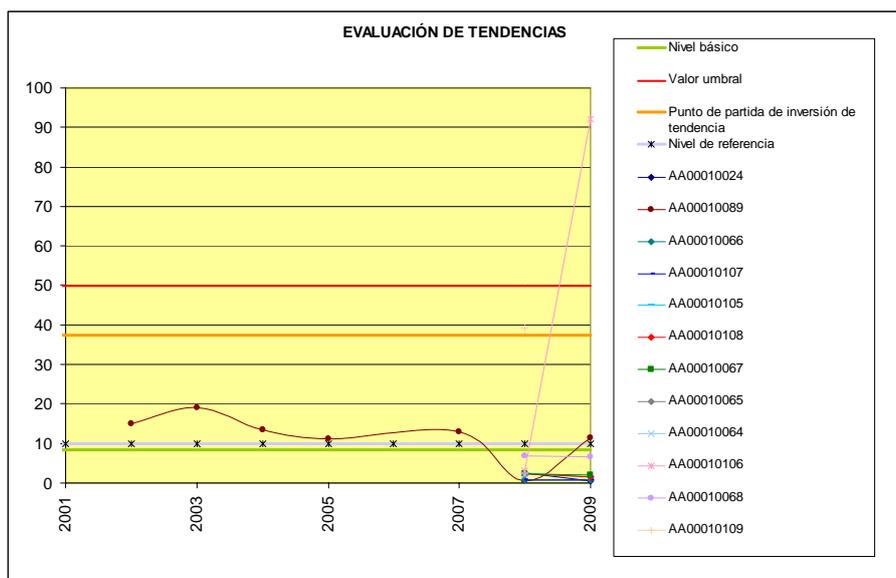
Finalmente, se recomienda un seguimiento continuado para las 5 estaciones de la masa en las que no existen datos históricos, con el fin de determinar una tendencia fiable en relación a este parámetro y proponer así, un programa de medidas adecuado a las necesidades reales de la zona.

▪ **30594. Lepe-Cartaya**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, 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 30594 se identifique en *riesgo* por contaminación puntual y difusa.

Adicionalmente, aunque la masa de agua subterránea no se ha identificado en riesgo por intrusión, se ha analizado la concentración de ión cloruro y la conductividad eléctrica, tal y como se recomienda en los trabajos de *Revisión del estado de cumplimiento de los objetivos medioambientales de las masas de agua subterránea de las Cuencas Atlánticas Andaluzas* (INFRAECO-DENGA, 2008). Sin embargo, tras el análisis estadístico de los datos, los indicadores considerados para la identificación del riesgo por intrusión (conductividad eléctrica y concentración del anión cloruro), 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 las 12 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 dicha estación. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 12 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). Ninguno de los valores promedio calculados para las 12 estaciones supera dicho valor umbral en la actualidad, por lo que se considera que la masa presenta buen estado químico respecto a este parámetro. Asimismo, el nivel básico estimado es de 8,3 mg/l.

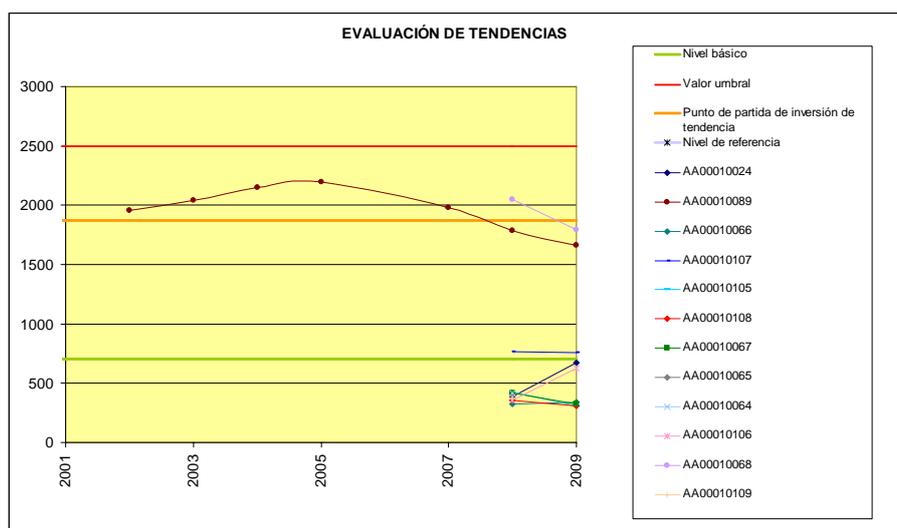
A continuación se detalla brevemente la situación de los puntos de control de la masa con respecto a la concentración de nitratos:

AA00010089: localizado en el sur de la masa, presenta datos desde 2002 hasta 2009, con valores que oscilan entre 0,52 y 19 mg/l. A la vista de los resultados, se observa una tendencia descendente a lo largo del periodo de datos disponible, desde los 14-19 mg/l registrados en 2002 y 2003, hasta los 0,52 mg/l de 2008. Asimismo, el promedio más actual disponible (para 2009), presenta un valor de 11,4 mg/l lo que se podría interpretar como una nueva tendencia ascendente. Sin embargo, el análisis histórico global de los datos indica que los valores actuales se encuentran dentro de un rango asumible. Por tanto, se ha considerado que la estación no presenta un riesgo previsible de alcanzar el punto de partida de inversión de tendencias si bien, se recomienda el seguimiento continuado de la estación para confirmar la tendencia.

En el resto de estaciones localizadas en la masa no se dispone de datos históricos previos a 2008, por lo que no ha sido posible determinar la tendencia de las mismas. No obstante, en 10 de ellas se ha obtenido un valor promedio actual por debajo del punto de partida de inversión de tendencias (entre 0,5 y 6,6 mg/l) por lo que, a priori, no presenta un riesgo actual respecto al valor umbral. Por el contrario, la estación *AA00010106* presenta un promedio en 2009 de 92 mg/l, alcanzando un valor próximo al doble del valor umbral. Por este motivo, se recomienda adoptar las medidas necesarias para reducir la concentración hasta alcanzar valores inferiores al punto de partida de inversión de tendencias (37,5 mg/l).

Finalmente, se recomienda un seguimiento continuado para las 12 estaciones identificadas en la masa, con el fin de determinar una tendencia fiable en relación a este parámetro y proponer así un programa de medidas adecuado a las necesidades reales de la zona.

- **Conductividad eléctrica**: se ha analizado la conductividad eléctrica en las 12 estaciones identificadas en la red de seguimiento si bien, solamente 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 12 puntos de control identificados en la 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 707 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 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 conductividad eléctrica:

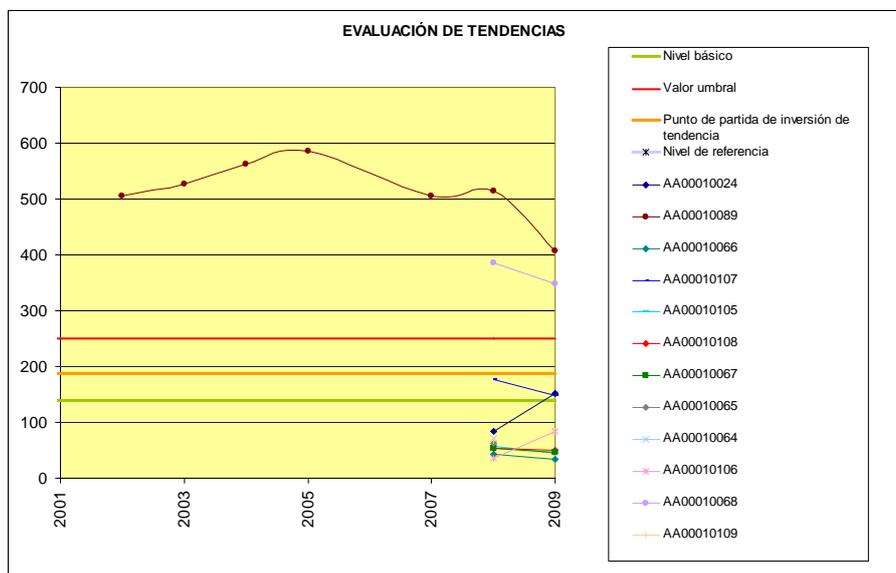
AA00010089: localizado en el sur de la masa, presenta datos desde 2002 hasta 2009, con valores que oscilan entre 2.196 y 1.662 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A la vista de los resultados, se podrían establecer 2 líneas de tendencia: una ascendente entre 2002 y 2005, con un incremento de la conductividad desde 1.953 hasta 2.196 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (máximo histórico registrado en la masa), y una descendente entre los años 2005 y 2009, donde los valores se reducen progresivamente hasta los 1.662 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (valor promedio actual, que representa el mínimo histórico registrado en la estación). Sin embargo, a pesar de que la tendencia actual es descendente, la presencia de datos recientes cercanos al punto de partida de inversión de tendencias, obliga a realizar un seguimiento exhaustivo de la estación, con el fin de controlar un incremento inesperado de la conductividad, que sitúe a la estación en una situación crítica (próxima al valor umbral).

En el resto de estaciones localizadas en la masa no se dispone de datos históricos previos a 2008, por lo que no ha sido posible determinar la tendencia de las mismas. No obstante, cabe decir que 10 de ellas presentan promedios actuales (año 2009) por debajo del punto de partida de inversión de tendencias, con valores que oscilan entre 326 y 764 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por lo tanto, se considera que estas estaciones no presentan un riesgo actual de superar el valor umbral.

No obstante, se recomienda el seguimiento continuado en el entorno de estas estaciones con el fin de determinar una tendencia fiable en relación con este y proponer así un programa de medidas adecuado a las necesidades reales de la zona.

Finalmente, en la estación *AA00010068* se han obtenidos valores promedio para la conductividad de 2.050 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1.793 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (en 2008 y 2009), en torno al punto de partida de inversión de tendencias, por lo que se recomienda un seguimiento continuado de la estación para controlar posibles aumentos.

- **Concentración del anión cloruro:** se ha analizado la concentración de cloruros en las 12 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 12 puntos de control identificados en la masa:



El valor umbral establecido para este parámetro, según recoge 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 187,5 mg/l.

De acuerdo con el valor umbral establecido, la masa de agua subterránea Lepe-Cartaya debería evaluarse en mal estado respecto a la concentración de cloruros, ya que 2 de las 12 estaciones de control identificadas en esta masa superan el valor umbral establecido. No obstante, estas estaciones representan solamente el 17 % del total de estaciones y además, los datos registrados entre los años 2008 y 2009 evidencian una tendencia descendente de la concentración de cloruros en ambas estaciones.

Por este motivo, se considera que la masa de agua subterránea presenta buen estado químico respecto a este parámetro si bien, se recomienda realizar un seguimiento continuado de la evolución de cloruros en el entorno de las estaciones AA00010068 y AA00010089.

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:

AA00010089: localizado en el sur de la masa, presenta datos desde 2002 hasta 2009, con valores que oscilan entre 585 y 406 mg/l. A la vista de los resultados, se observan 2 líneas de tendencia: una ascendente entre 2002 y 2005, con un incremento en la concentración de cloruros desde 505 a 585 mg/l (máximo histórico registrado en toda la masa), y una descendente entre los años 2005 y 2009, donde los valores descienden hasta los 406 mg/l (promedio actual, que representa el mínimo histórico registrado en la estación).

Sin embargo, aunque la tendencia actual es descendente, debido a que el valor promedio actuales prácticamente duplica el valor umbral establecido, se recomienda aplicar las medidas necesarias para

reducir esta concentración hasta alcanzar valores inferiores al punto de partida de inversión de tendencia.

Observando los gráficos correspondientes a esta estación en cuanto a los parámetros conductividad y concentración de cloruros se aprecia que, en ambos casos, las tendencias siguen pautas muy similares, registrando valores máximos en 2005 y mínimos en la actualidad (2009).

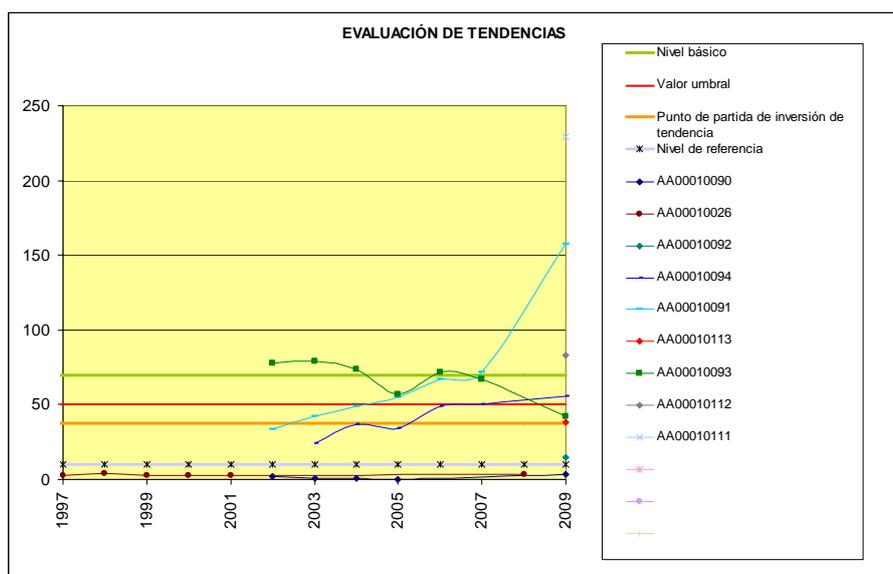
En el resto de estaciones localizadas en la masa no se dispone de datos históricos previos a 2008, por lo que no ha sido posible determinar la tendencia de las mismas. No obstante, cabe decir que en 10 de ellas se ha registrado (actualmente), un valor promedio por debajo del punto de partida de inversión de tendencias, con valores que oscilan entre 33 y 152 mg/l; por lo tanto, se considera que las estaciones no presentan un riesgo actual. No obstante, se recomienda el seguimiento de estas 11 estaciones con el fin de determinar una tendencia fiable en relación con este parámetro, y proponer así un programa de medidas adecuado a las necesidades reales de la zona. Asimismo, se prestará especial atención a las estaciones AA00010024 y AA00010107, por presentar promedios actuales próximos al punto de partida de inversión de tendencias y a la estación AA00010068 que presenta, en 2008 y 2009, valores superiores al valor umbral, (con promedios en la concentración de cloruros de 385,5 y 347 mg/l respectivamente

▪ 30595. Condado

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, 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 30595 se identifique en *riesgo* por contaminación difusa.

En función de la disponibilidad de datos hidroquímicos se ha procedido a la evaluación del estado químico en base a la concentración de nitratos.

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos en las 9 estaciones de la red de seguimiento, aunque sólo se dispone de datos históricos previos al año 2008 en 5 de ellas; por este motivo, la evaluación de tendencias se ha basado exclusivamente en dichas estaciones. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados en los 9 puntos considerados:



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). Asimismo, el valor promedio registrado en la actualidad supera este valor en 4 de las 9 estaciones, por lo que se considera que la masa presenta mal estado químico en relación con este parámetro. El nivel básico estimado para la concentración de nitratos es de 69,7 mg/l.

A continuación se detalla brevemente la situación de los puntos de control de la masa con respecto a la concentración de nitratos:

AA00010026: localizado en el sur de la masa, presenta datos desde 1997 hasta 2008, con valores que oscilan entre 3 y 3,45 mg/l. A la vista de los resultados, se observa una tendencia estable con pocas variaciones a lo largo del tiempo, por lo que no se prevé un incremento de la concentración de nitratos. No obstante, se recomienda el seguimiento continuado de la estación, para confirmar esta tendencia.

AA00010090: localizado en el centro de la masa, presenta datos desde 2002 hasta 2009, con valores que oscilan entre 0,1 y 3,3 mg/l. A la vista de los resultados, se observa una tendencia estable con pocas variaciones a lo largo del tiempo, por lo que no se prevé un incremento de la concentración de nitratos. No obstante, se recomienda el seguimiento continuado de la estación, para confirmar esta tendencia.

AA00010091: localizado hacia el sur de la masa, presenta datos desde 2002 hasta 2009. A la vista de los resultados, se observa una tendencia ascendente entre los años 2002 y 2007, con valores que van desde los 33,8 hasta los 71,8 mg/l, seguido de un acusado descenso desde 2007 hasta 2009, momento en el que se alcanza el máximo histórico, con 157 mg/l; valor que triplica el valor umbral establecido. Esta situación (crítica), obliga a establecer un programa de medidas con carácter de urgencia, con objeto de invertir la tendencia y reducir la concentración por debajo de 37,5 mg/l.

AA00010093: localizado hacia el sur de la masa, presenta datos desde 2002 hasta 2009. A la vista de los resultados, se observa una tendencia descendente, con pequeñas oscilaciones a lo largo del periodo registrado. Presenta valores comprendidos entre los 78 mg/l en 2002 hasta los 42 mg/l registrados en la actualidad (2009); por debajo del valor umbral. Se recomienda el seguimiento de la evolución de la concentración de nitratos, con objeto de confirmar si se mantiene esta tendencia.

AA00010094: localizado hacia el suroeste de la masa, presenta datos desde 2003 hasta 2009. A la vista de los resultados, se observa una tendencia ascendente, con pequeñas oscilaciones, a lo largo del periodo registrado. Presenta valores comprendidos entre los 24 mg/l en 2003 hasta los 55,5 mg/l registrados en la actualidad (2009). Esta tendencia ascendente ha provocado que las concentraciones de nitratos superen el valor umbral a partir del año 2007, por lo que se recomienda adoptar las medidas oportunas para reducir la concentración de nitratos por debajo del punto de partida de inversión de tendencias (37,5 mg/l).

En las otras 4 estaciones de la masa, en las que no se dispone de datos históricos previos al año 2009, no ha sido posible determinar la tendencia de las mismas. No obstante, cabe decir que 1 de ellas presenta actualmente un valor promedio por debajo del punto de partida de inversión de tendencias, con una concentración de 14,6 mg/l. Por el contrario, la estación *AA00010113* presenta actualmente un valor promedio de nitratos de 38 mg/l, superando levemente el punto de partida de inversión de tendencias (37,5 mg/l); por este motivo, se recomienda adoptar las medidas oportunas para reducir este valor. Finalmente, en las 2 estaciones restantes, *AA00010091* y *AA00010112* se ha obtenido un valor promedio superior al valor umbral establecido con 83 y 157 mg/l, respectivamente. Por este motivo, se

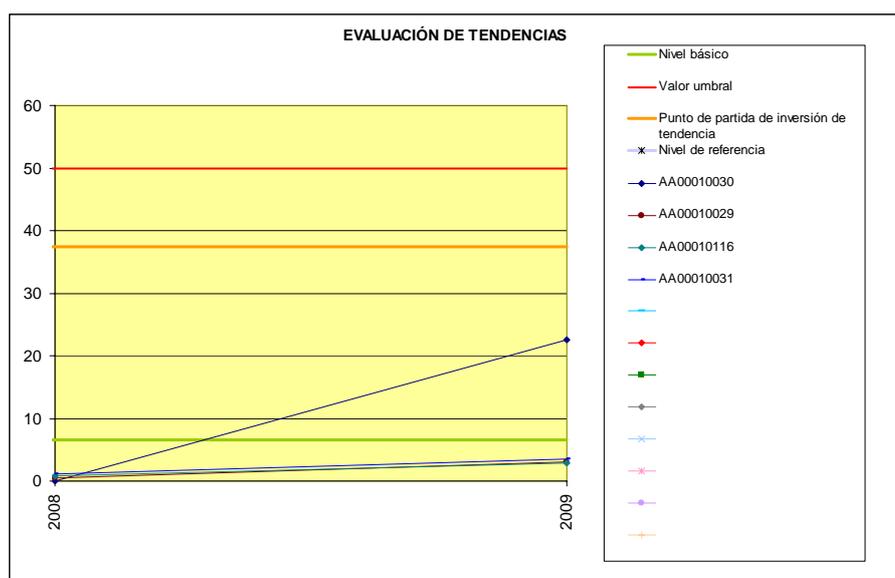
recomienda adoptar las medidas oportunas para reducir la concentración de nitratos en estas estaciones por debajo del punto de partida de inversión de tendencias (37,5 mg/l) o, como mínimo, por debajo del valor umbral (50 mg/l).

▪ **440001. Arcena**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, 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 440001 se encuentra *fuera de riesgo o sin riesgo*.

No obstante, aunque la masa de agua subterránea no se ha identificado en riesgo por contaminación difusa, se ha analizado la concentración de nitratos, tal y como se recomienda en los trabajos de *Revisión del estado de cumplimiento de los objetivos medioambientales de las masas de agua subterránea de las Cuencas Atlánticas Andaluzas* (INFRAECO-DENGA, 2008).

- **Nitratos**: una vez analizado el contenido en nitratos en las 4 estaciones de la red de seguimiento, se ha comprobado que ninguna de ellas dispone de datos históricos previos al año 2008; por este motivo no se ha podido realizar la evaluación de tendencia. El siguiente gráfico agrupa los datos registrados para los 4 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). Asimismo, el promedio actual registrado en las 4 estaciones no excede en ningún caso el valor umbral, por lo que se considera que la masa presenta buen estado químico respecto a este parámetro. El nivel básico estimado para la concentración de nitratos es de 6,67 mg/l.

A continuación se detalla brevemente la situación de los puntos de control de la masa con respecto a la concentración de nitratos:

Se ha comprobado que 3 de los 4 puntos de control presentan promedios anuales muy similares durante 2008 y 2009, con valores comprendidos entre 0,5 y 3,6 mg/l (AA00010029, AA00010031 y AA00010116). Por lo tanto, no se prevé un riesgo inmediato de alcanzar el valor umbral en ninguna de ellas. Sin embargo, se observa que en el punto de control AA00010030 se ha registrado un incremento considerable entre la medida de 2008 y la de 2009, pasando de 0,005 mg/l (valor asignado según la tabla recogida en el apartado 5.4.1.) a 22,5 mg/l. Por este motivo se recomienda controlar la evolución de la concentración de nitratos en esta estación, con objeto de confirmar una posible tendencia ascendente y así poder prever un programa de medidas adecuado a la situación real de la zona.



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



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 Tinto, Odiel y Piedras 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.

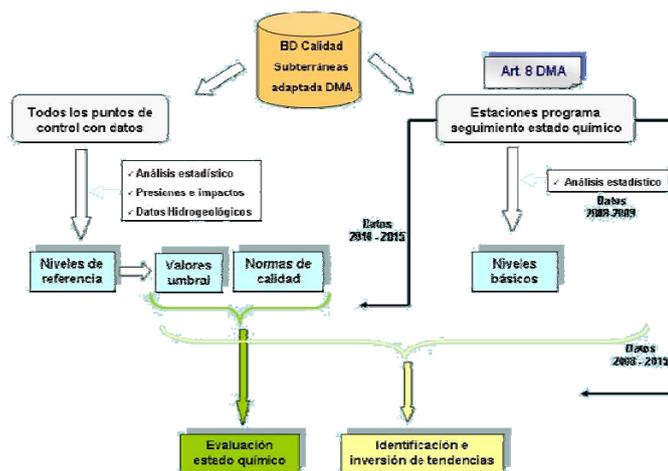


Figura 6.2.1.1. Metodología aplicada durante la evaluación del estado químico

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 Tinto, Odiel y Piedras, 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 rango³, 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 restrictivo.

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 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.*

³ En la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, el VC se ha establecido en base a los valores paramétricos de calidad de aguas de consumo humano recogidos en el RD 140/2003.

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 Tinto, Odiel y Piedras 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	151	4.773
AAA	21	1.660
TOTAL	172	6.433

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 este 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	4.001
AAA	1.617
TOTAL	5.618

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 la masa de agua subterránea codificada como 440001. Aracena, en la 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
30593	NIEBLA	SI	Disponibilidad de tres piezómetros con datos
30594	LEPE-CARTAYA	SI	Disponibilidad de siete piezómetros con datos
30595	CONDADO	SI	Disponibilidad de siete piezómetros con datos
440001	ARACENA	NO	No hay disponibilidad de datos actuales

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.

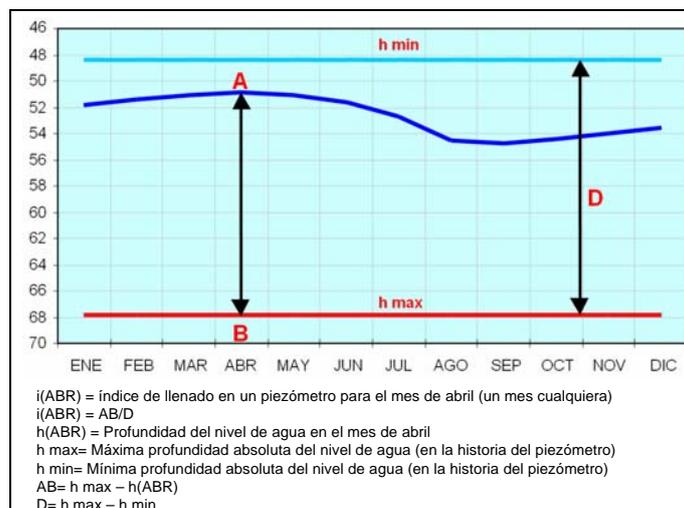
✓ **Establecimiento del índice de llenado (iLL)**

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.

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 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.

$$\begin{aligned} I(\text{ABR}) &= \text{índice de llenado en la MASA para el mes de abril} \\ I(\text{ABR}) &= \text{MEDIA DE LA SUMA DE TODOS LOS } i(\text{ABR}) \\ I(\text{ABR}) &= i(\text{ABR})_1 + i(\text{ABR})_2 + \dots + i(\text{ABR})_n / n \end{aligned}$$

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 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 *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 Tinto, Odiel y Piedras.

▪ **30593. Niebla**

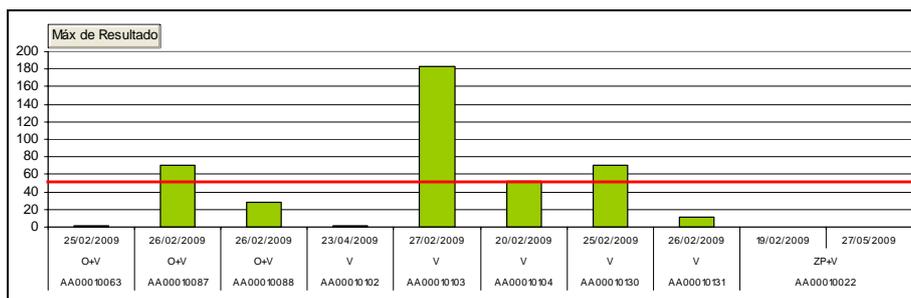
Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, se llevó a cabo la identificación del riesgo de no

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 30593 se identifique 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 la concentración de nitratos.

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos en 9 estaciones de la red de seguimiento, contando con un total de 10 analíticas (correspondientes a diferentes muestreos realizados durante los meses de febrero, abril y mayo de 2009).



Tras el análisis estadístico de los datos se ha comprobado que el valor promedio de nitratos registrado en 4 de las 9 estaciones es superior a la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l), lo que constituye el 44 % del total de estaciones.

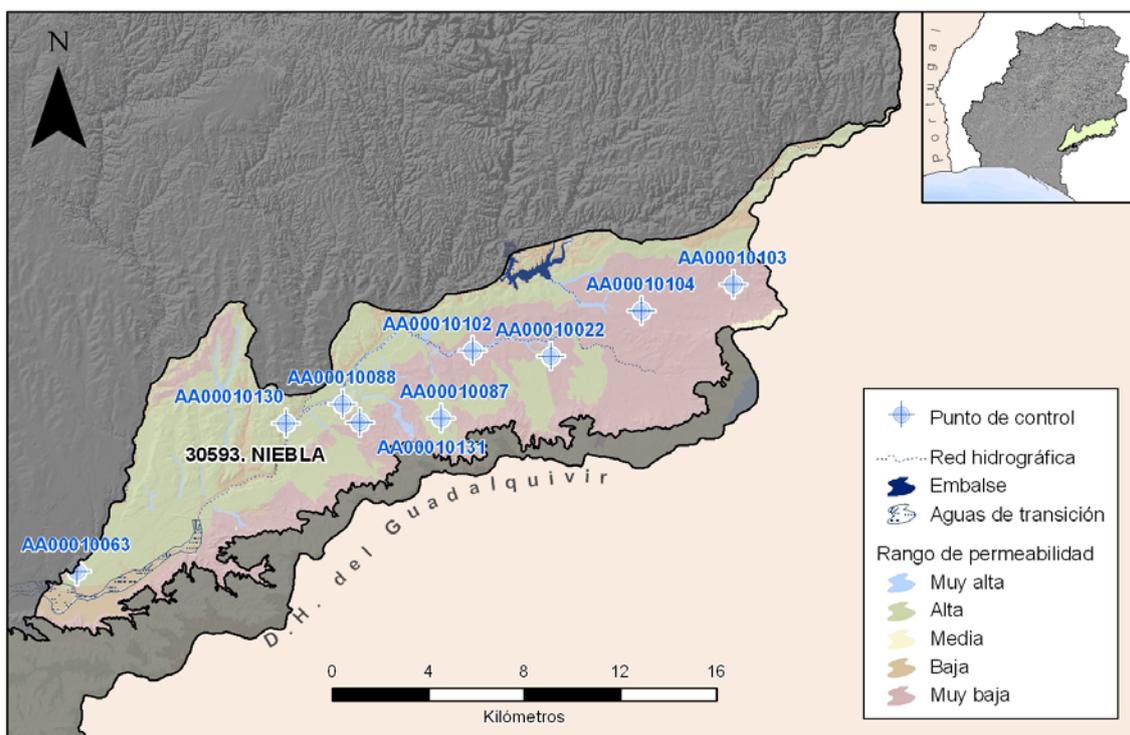


Figura 6.3.1.1. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea 30593

A la vista de los resultados obtenidos, se considera que la masa de agua subterránea 30593. Niebla, presenta MAL ESTADO QUÍMICO.

▪ **30594. Lepe-Cartaya**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, 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 30594 se identifique 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 la concentración de nitratos.

Adicionalmente, aunque la masa de agua subterránea no se ha identificado en riesgo por intrusión, se ha analizado la concentración de ión cloruro y la conductividad eléctrica, tal y como se recomienda en los trabajos de *Revisión del estado de cumplimiento de los objetivos medioambientales de las masas de agua subterránea de las Cuencas Atlánticas Andaluzas* (INFRAECO-DENGA, 2008).

Sin embargo, tras el análisis estadístico de los datos, los indicadores considerados para la identificación del riesgo por intrusión (conductividad eléctrica y concentración del anión cloruro), 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 12 estaciones de la red de seguimiento, contando con un total de 22 analíticas. Tras el tratamiento estadístico de los datos se ha comprobado que el valor promedio de nitratos obtenido en las 12 estaciones de la red, es inferior a la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l), lo que constituye el 100 % del total de estaciones. Por este motivo, se considera que la masa de agua subterránea presenta buen estado químico con respecto a este parámetro.

No obstante hay que destacar que, aunque la masa de agua subterránea presenta un buen estado químico (en su conjunto) con respecto a la concentración de nitratos, en uno de los análisis más recientes (de fecha 25/05/2009) se ha registrado un contenido en nitratos de 92 mg/l, por encima de la norma de calidad de referencia. Por este motivo, se recomienda un seguimiento continuado de este parámetro en el entorno de la estación AA00010106.

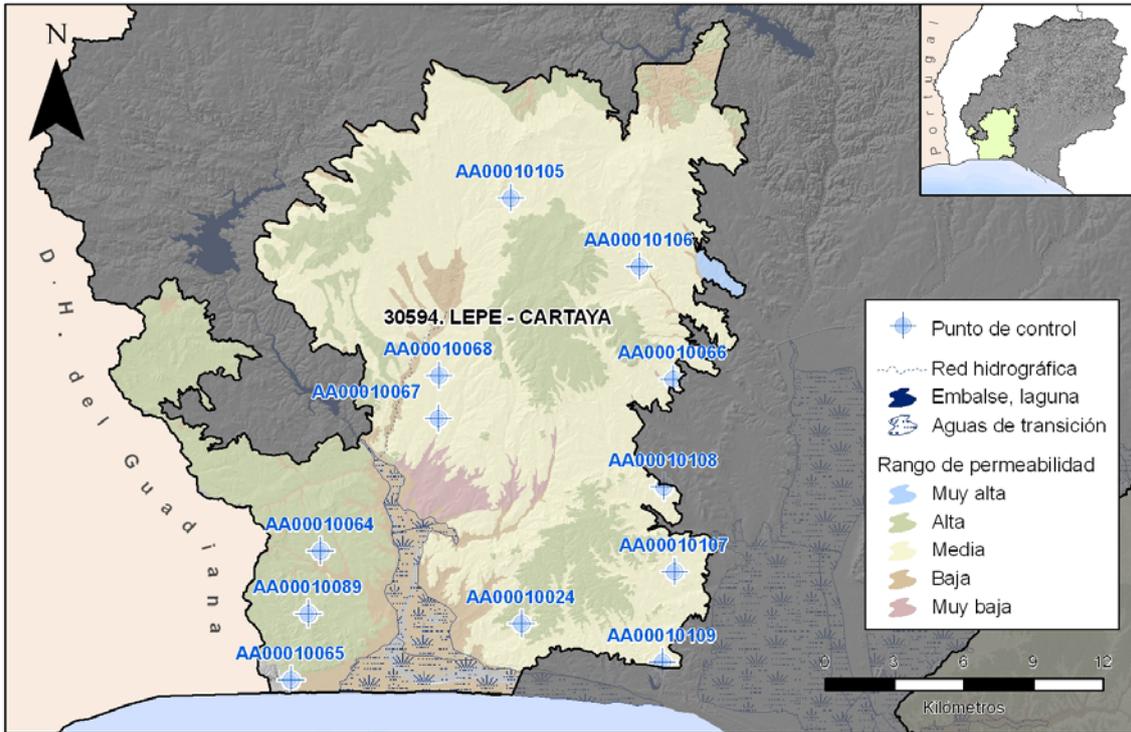
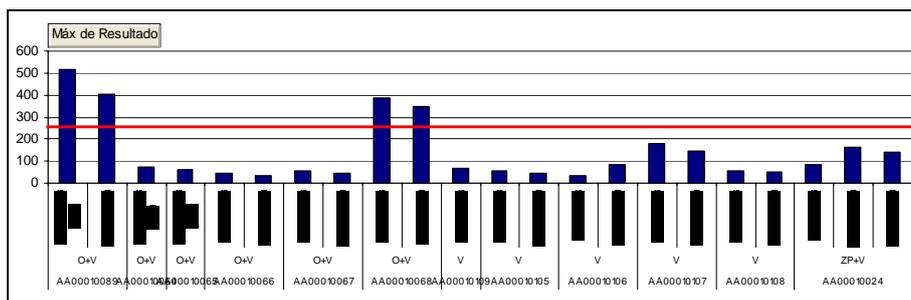


Figura 6.3.1.2. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea 30594

- **Conductividad eléctrica:** se ha analizado la conductividad eléctrica en 12 estaciones de la red de seguimiento, contando con un total de 22 analíticas. Tras el análisis estadístico de los datos, el valor promedio obtenido en las 12 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.

- **Concentración del anión cloruro:** al igual que para la conductividad eléctrica, en la masa de agua subterránea 30594 se han identificado 12 estaciones con análisis de cloruros. El valor promedio en 2 de estas 12 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.



Aunque la concentración de cloruros registrada en las dos estaciones de seguimiento que superan la norma son muy elevadas, llegando incluso a duplicar el valor criterio en una de las muestras, el número de estaciones que superan el VC representan únicamente el 17% del total de las estaciones y además, presentan una tendencia descendente.

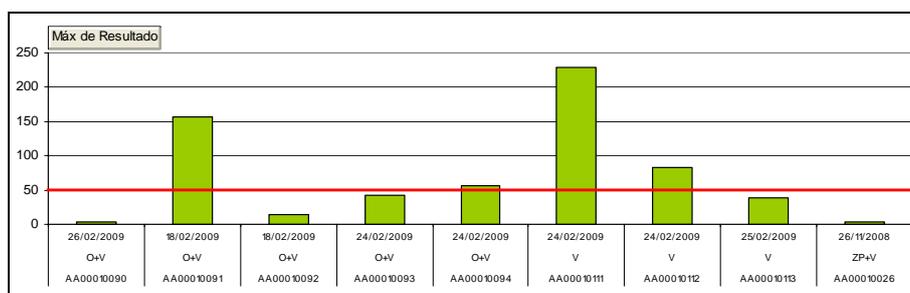
A la vista de los resultados obtenidos, se considera que la masa de agua subterránea 30594. Lepe-Cartaya, presenta BUEN ESTADO QUÍMICO. No obstante, se recomienda realizar un seguimiento continuado de la evolución de cloruros en el entorno de las estaciones AA00010068 y AA00010089.

▪ **30595. Condado**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, 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 30595 se identifique en *riesgo* por contaminación difusa.

En función de la disponibilidad de datos hidroquímicos se ha procedido a la evaluación del estado químico en base a la concentración de nitratos.

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos en 9 estaciones de la red de seguimiento, contando con un total de 9 analíticas. Tras el tratamiento estadístico de los datos se ha comprobado que el valor promedio de nitratos obtenido en 4 de las 9 estaciones es superior a la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l), lo que constituye el 44 % del total de 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 30595. Condado, presenta MAL ESTADO QUÍMICO.

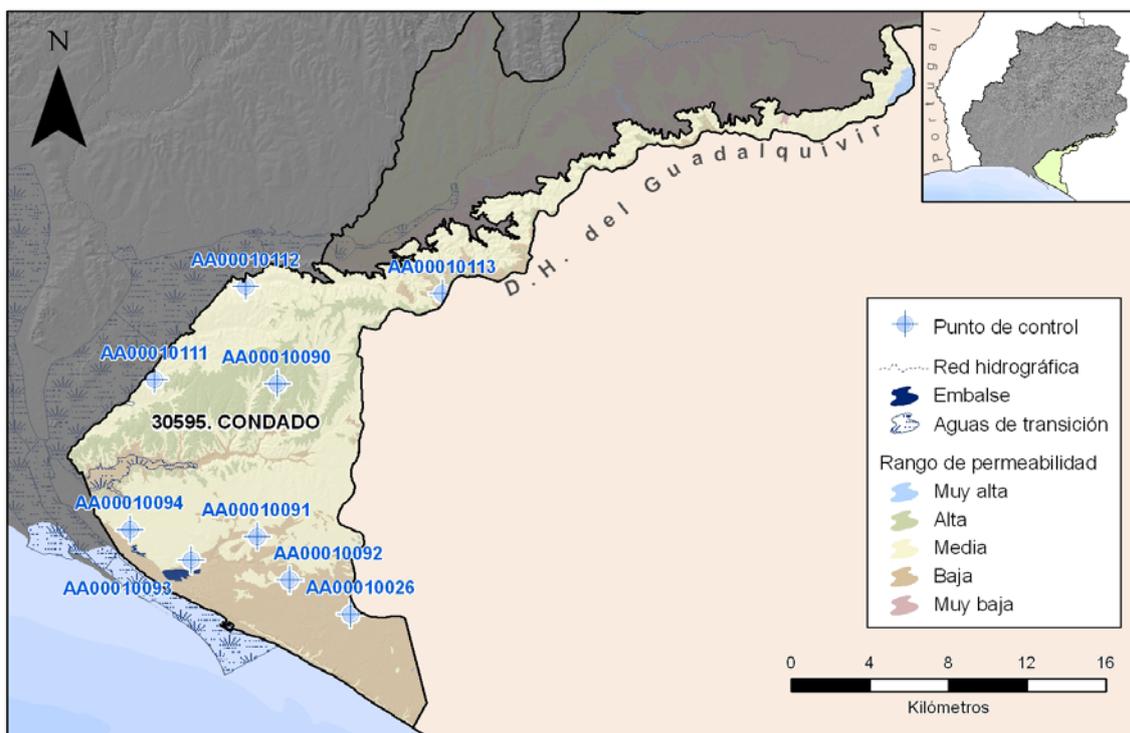


Figura 6.3.1.3. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea 30595

▪ **440001. Arcena**

Durante los trabajos de caracterización adicional de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, 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 440001 se encuentra *fuera de riesgo o sin riesgo*.

No obstante, aunque la masa de agua subterránea no se ha identificado en riesgo por contaminación difusa, se ha analizado la concentración de nitratos, tal y como se recomienda en los trabajos de *Revisión del estado de cumplimiento de los objetivos medioambientales de las masas de agua subterránea de las Cuencas Atlánticas Andaluzas* (INFRAECO-DENGA, 2008).

- **Nitratos:** se ha analizado el contenido en nitratos en 4 estaciones de la red de seguimiento, contando con un total de 14 analíticas. Tras el tratamiento estadístico de los datos se ha comprobado que el valor promedio de nitratos obtenido en las 4 estaciones es inferior a la norma de calidad recogida en la Directiva 2006/118/CE (50 mg/l), lo que indica que la masa de agua presenta buen estado químico con respecto a este parámetro.

A la vista de los resultados obtenidos, se considera que la masa de agua subterránea 440001. Arcena, presenta BUEN ESTADO QUÍMICO.

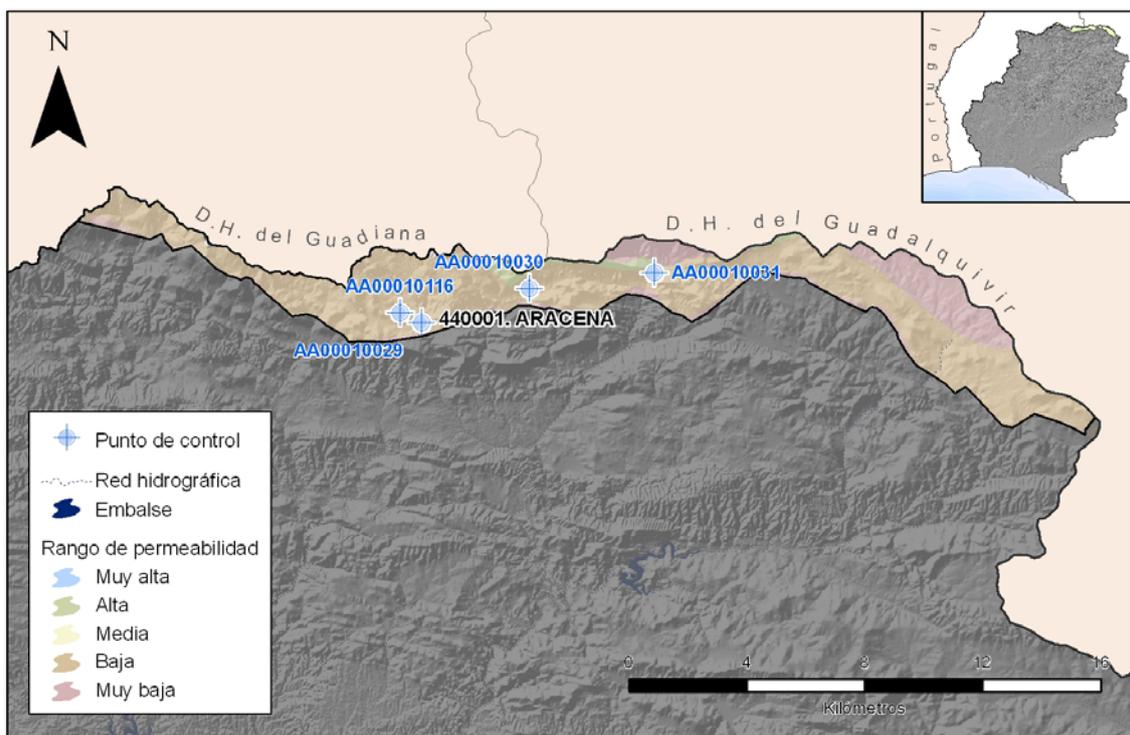


Figura 6.3.1.4. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado químico de la masa de agua subterránea 440001

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 Tinto, Odiel y Piedras.

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

- **30593. Niebla**

Interpretación por piezómetros

Para la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 30593 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.

Asimismo, se ha comprobado que 2 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).

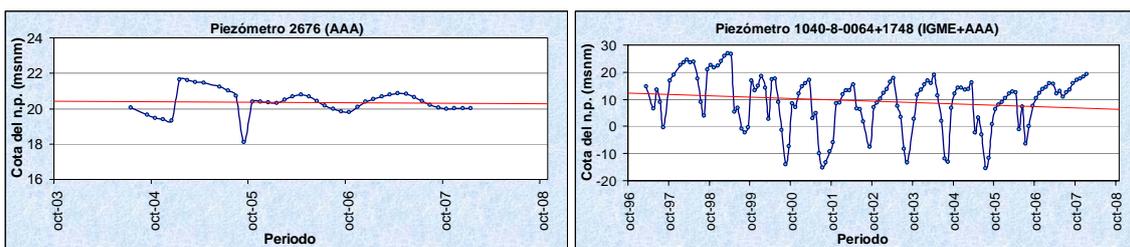
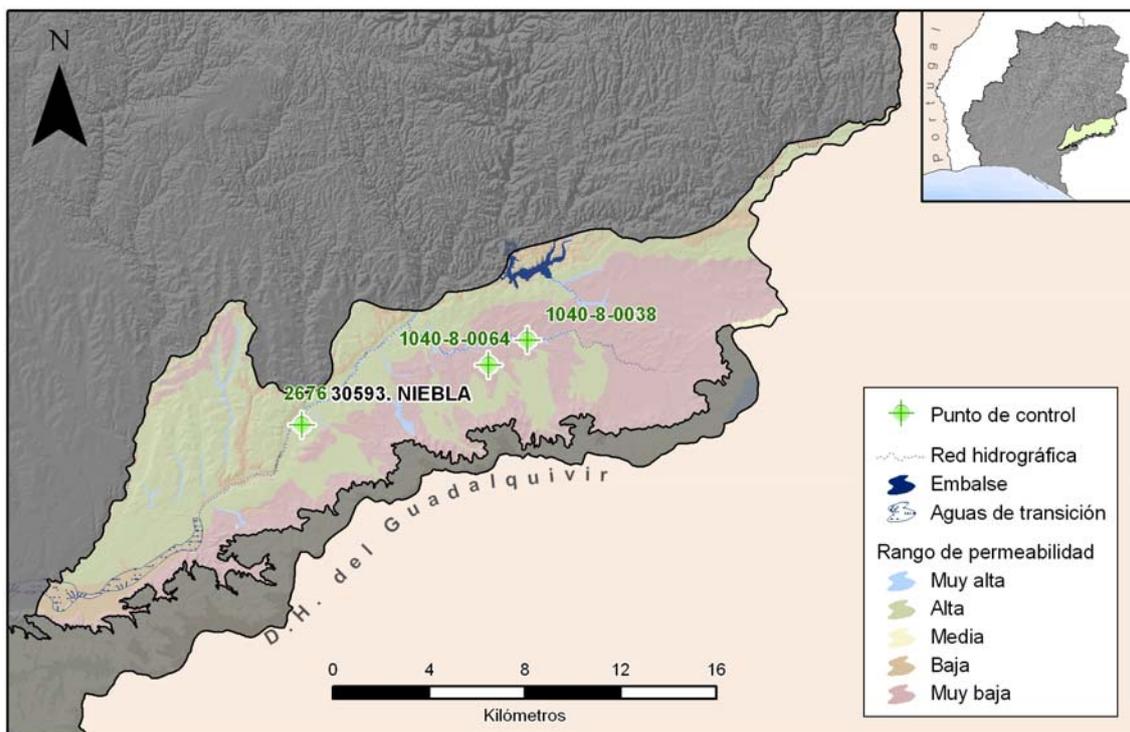
De este modo, agregando y unificando la información disponible en las bases de datos correspondientes a cada una de estas redes, se ha obtenido un registro piezométrico suficiente para estimar el valor del índice de llenado.

IGME	104080038	104080064	-
	3/79 - 10/02	3/97 - 10/02	-
AAA	1747	1748	2676
	3/97 - 1/08	7/97 - 1/08	7/04 - 1/08
IGME- AAA	104080038-1747	104080064-1748	-
	3/79 - 1/08	3/97 - 1/08	-
Cota	55	60	30
Profundidad	-	-	-
H Máx (m)	46,97	75,35	11,9
H Mín (m)	0	33,03	8,36
Diferencia (m)	46,97	42,32	3,54
iLL más reciente	97,9%	81,6%	54,2%

- 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 6.3.2.1. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 30593. 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 del mioceno basal (Tortonense), compuesto principalmente por areniscas y calizas bioclásticas.

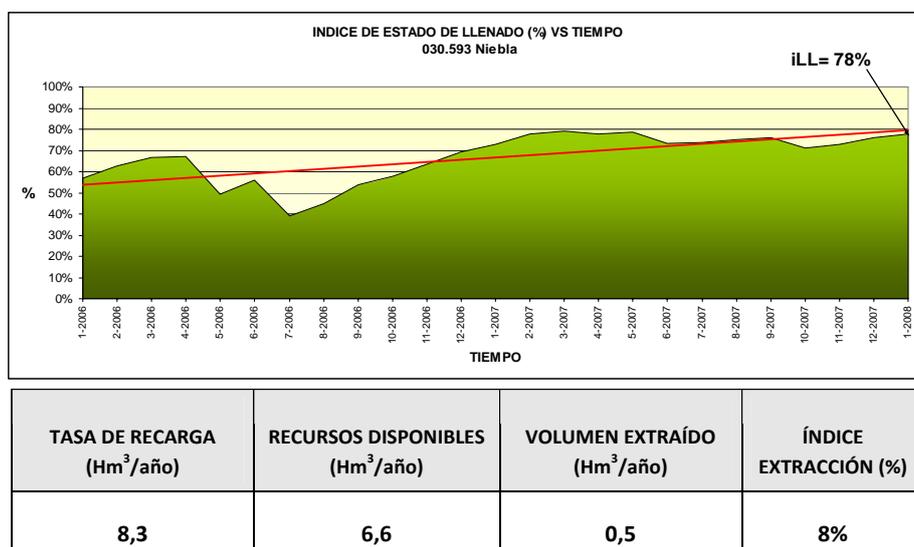
Por otra parte, tras el análisis de los datos se observa que, en general, los 3 piezómetros muestran una tendencia estable con ligero descenso, probablemente asociado a variaciones climáticas.

Asimismo, en las gráficas de evolución adjuntas queda patente que los piezómetros codificados como 104080038-1747 y 104080064-1748 han registrado fuertes variaciones estacionales acrecentadas en época estival por los ciclos de extracción o bombeo, con oscilaciones de hasta 30 metros; si bien, el nivel recupera rápidamente durante las estaciones de invierno/primavera, con la recarga del acuífero.

Finalmente se ha constatado que el entorno del piezómetro 104080038-1747, a pesar de situarse en una zona donde la superficie piezométrica acusa las extracciones de agua subterránea cercanas, presenta una tendencia ascendente del nivel asociada a la recarga artificial inducida, procedente del embalse del Corumbel. De hecho, el registro más reciente disponible, se corresponde con uno de los niveles de máximo embalse registrado, con un índice de llenado del 98%.

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 (enero de 2008) es del 78%, 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 8%, se considera que la masa de agua subterránea 30593. Niebla, presenta BUEN ESTADO CUANTITATIVO.

- **30594. Lepe-Cartaya**

Interpretación por piezómetros

Para la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 30594 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 6 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.

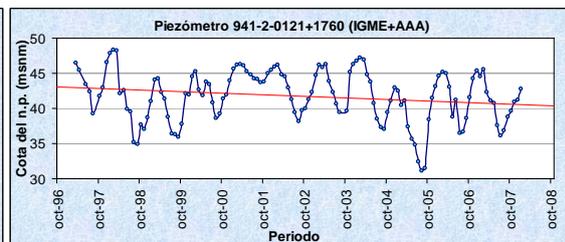
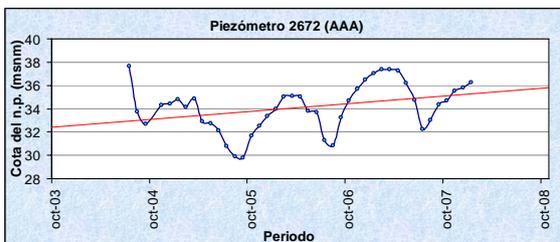
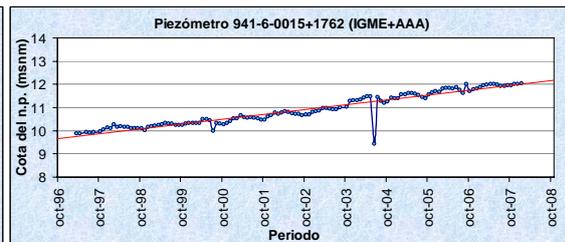
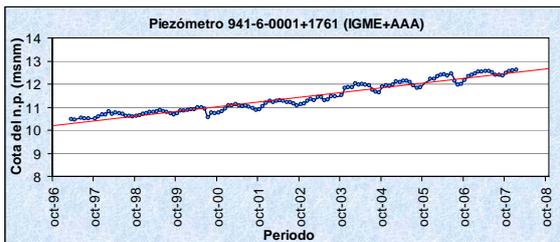
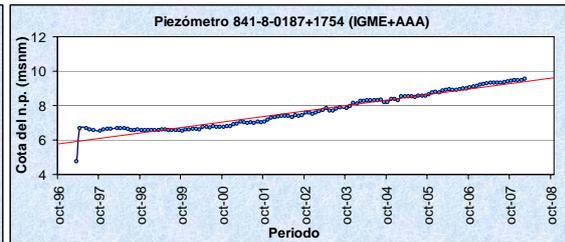
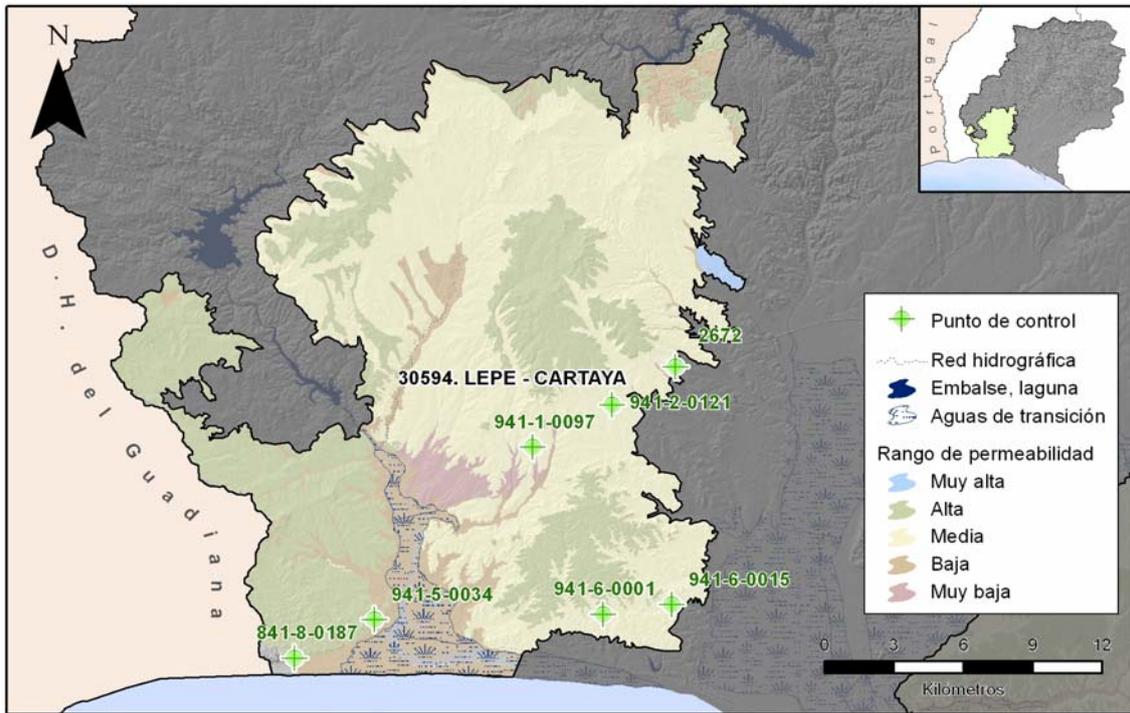
IGME	84180187	94150034	94110097	94120121
	3/97 - 7/01	3/97 - 7/01	12/88 - 7/01	12/88 - 7/01
AAA	1754	1755	1759	1760
	7/97 - 2/08	3/97 - 1/08	3/97 - 1/08	3/97 - 1/08
IGME- AAA	84180187-1754	94150034-1755	94110097-1759	94120121-1760
	3/97- 2/08	3/97 - 1/08	12/88 - 1/08	12/88 - 1/08
Cota	15	11	45	55
Profundidad	-	-	-	-
H Máx (m)	10,25	13,32	18,43	23,92
H Mín (m)	5,44	10,47	1,87	6,67
Diferencia (m)	4,81	2,85	16,56	17,25
iLL más reciente	100,0%	98,2%	58,5%	68,0%

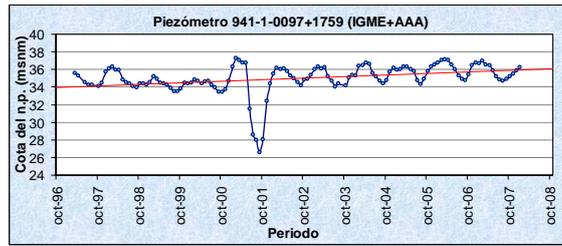
IGME	94160001	94160015	-
	10/64 - 7/01	10/82 - 7/01	-
AAA	1761	1762	2672
	3/97 - 1/08	3/97 - 1/08	7/04 - 1/08
IGME- AAA	94160001-1761	94160015-1762	-
	10/64 - 1/08	10/82 - 1/08	-
Cota	32,3	18	55
Profundidad	-	225	-
H Máx (m)	21,84	8,57	25,2
H Mín (m)	19,69	5,95	17,35
Diferencia (m)	2,15	2,62	7,85
iLL más reciente	100,0%	100,0%	82,4%

- 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 6.3.2.2. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 30594. Evolución piezométrica registrada en dichos puntos

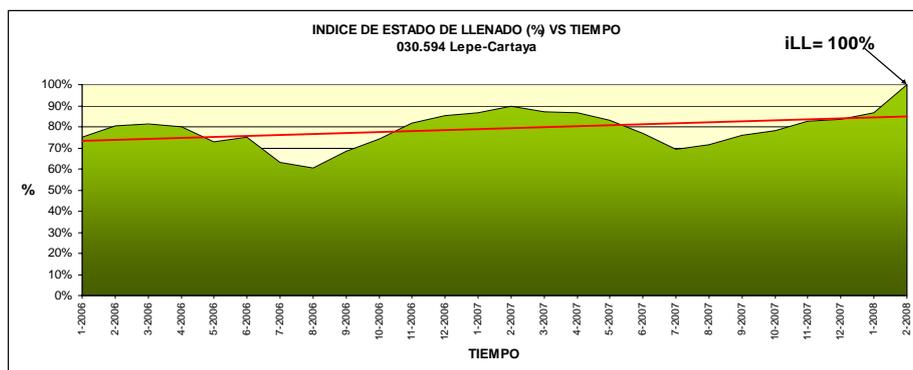
Debido a que no se conocen las características constructivas de los piezómetros, no ha sido posible discriminar qué piezómetros captan el acuífero inferior (mioceno basal-Tortonense), compuesto principalmente por calizas bioclásticas, arenas y gravas, y cuales el acuífero superior (Pliocuatenario), constituido por arenas y gravas.

No obstante, tras el análisis de los gráficos de evolución piezométrica generados, se aprecian dos tipos de tendencias: una con variaciones estacionales pronunciadas asociadas a los ciclos de bombeo durante la época estival y recuperación del nivel durante la época de recarga, y la otra, con una evolución de niveles más estable y oscilaciones menores.

En cualquier caso, en todos los piezómetros se observa un ascenso generalizado del nivel a lo largo del registro histórico, a excepción del piezómetro codificado como 94120121-1760. En este punto se observa una ligera tendencia descendente asociada, probablemente, a un incremento de la explotación de recursos subterráneos en el entorno; no obstante, el índice de llenado más reciente corresponde a un porcentaje del 68%.

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 (%)
30,1	21,1	6,5	31%

Como puede observarse en el gráfico adjunto el índice de llenado más reciente (enero de 2008) es del 100%, lo que significa que la masa de agua subterránea presentaba, en esa fecha, la situación máxima de embalse de todo su registro histórico.

Asimismo, si analizamos de un modo conjunto esta tendencia y el índice de extracción estimado para el conjunto de la masa se observa que, a pesar de que se extrae anualmente el 31% de los recursos disponibles, las entradas al sistema son suficientes como para compensar los descensos producidos por los bombeos durante la época estival, e incluso dan lugar a un ascenso generalizado del nivel.

Por los motivos anteriormente expuestos se considera que la masa de agua subterránea 30594. Lepe-Cartaya, presenta BUEN ESTADO CUANTITATIVO.

▪ **30595. Condado**

Interpretación por piezómetros

Para la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 30595 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).

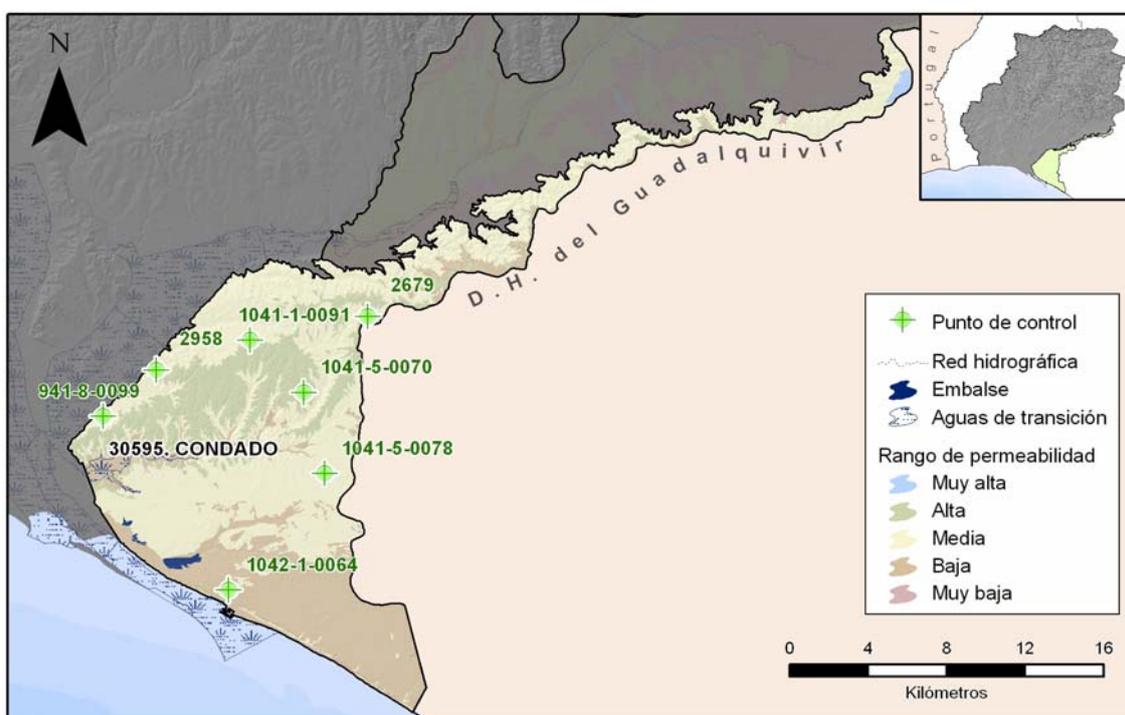
IGME	104210064	94180099	-	104150070
	3/01 - 12/04	4/00 - 12/04	-	4/00 - 12/04
AAA	2677	2678	2679	2680
	7/04 - 1/08	7/04 - 1/08	7/04 - 1/08	7/04 - 1/08
IGME- AAA	104210064-2677	94180099-2678	-	104150070-2680
	3/01 - 1/08	4/00 - 1/08	-	4/00 - 1/08
Cota	32	20	28	71
Profundidad	-	-	-	-
H Máx (m)	21,05	6,29	4,93	3,48
H Mín (m)	18,04	1,46	1,35	0,89
Diferencia (m)	3,01	4,83	3,58	2,59
iLL más reciente	63,4%	92,7%	81,2%	73,3%

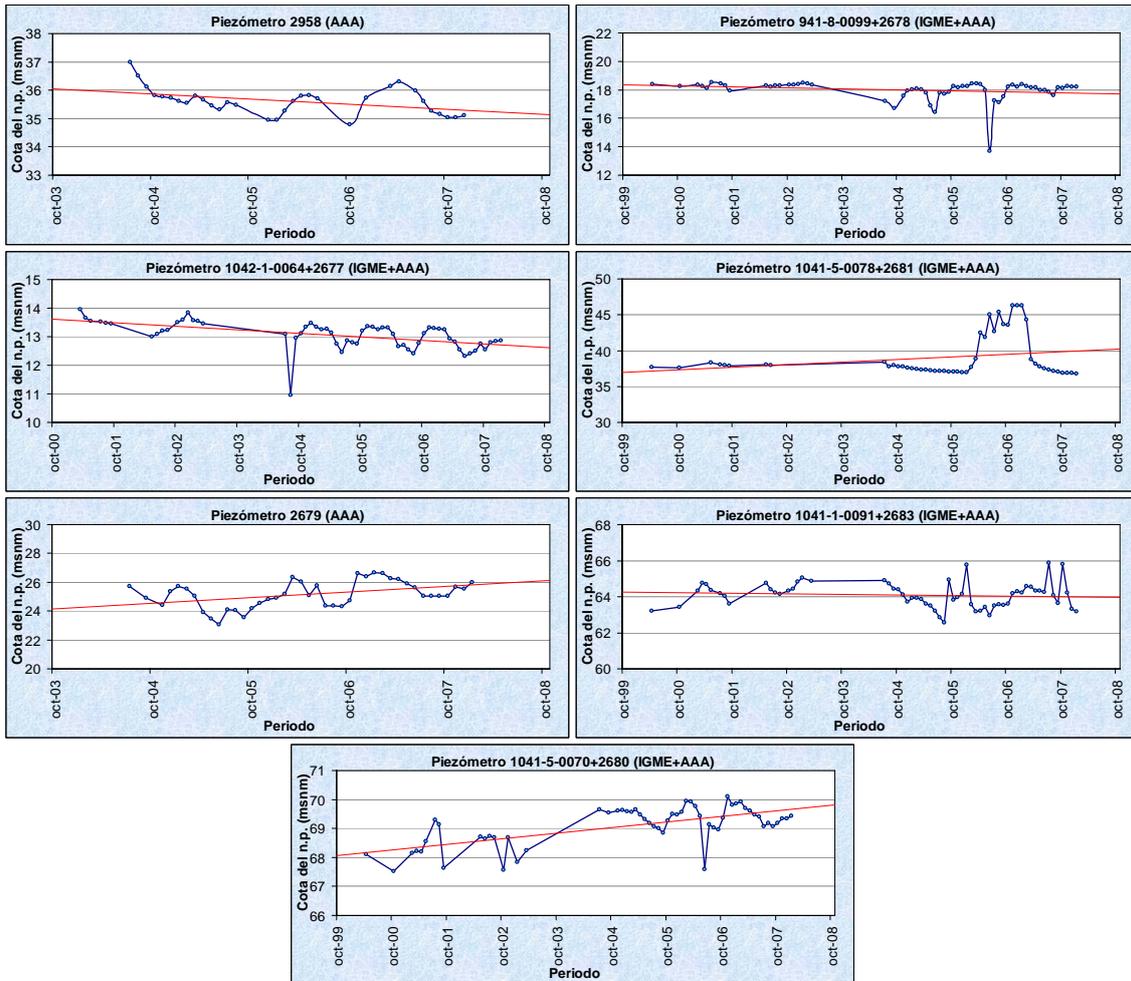
IGME	104150078	104110091	-
	4/00 - 12/04	4/00 - 12/04	-
AAA	2681	2683	2958
	7/04 - 1/08	7/04 - 1/08	7/04 - 12/07
IGME- AAA	104150078-2681	104110091-2683	-
	4/00 - 1/08	4/00 - 1/08	-
Cota	47	68	42
Profundidad	-	-	-
H Máx (m)	10,17	5,45	7,21
H Mín (m)	0,68	2,14	5,01
Diferencia (m)	9,49	3,31	2,2
iLL más reciente	0,0%	18,7%	14,1%

- 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 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.

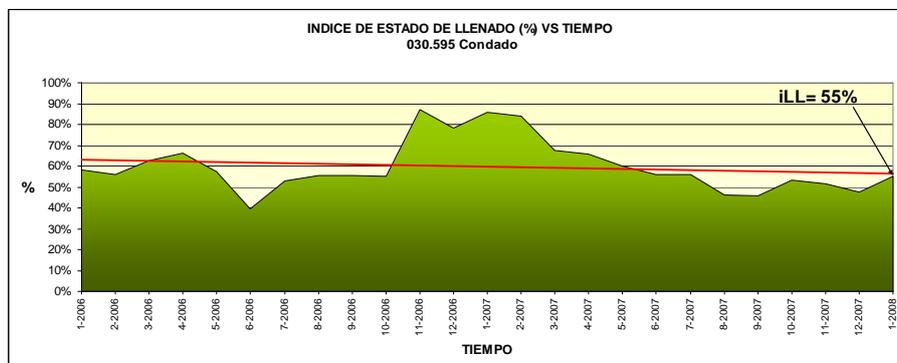
Figura 6.3.2.3. Localización de las estaciones de seguimiento consideradas durante la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 30595. Evolución piezométrica registrada en dichos puntos

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 siete piezómetros son representativos del acuífero detrítico de edad Mioceno-Pliocuaternario.

A partir del análisis de los gráficos de evolución piezométrica generados, se observa que un elevado porcentaje de piezómetros muestran oscilaciones estacionales que no superan los dos metros, con descensos continuados durante los periodos de estiaje (en los que se extrae un mayor volumen de recursos subterráneos) y ascensos suaves durante los periodos de recarga. Asimismo, en función del comportamiento registrado en cada piezómetro, se han obtenido índices de llenado muy dispares (para enero de 2008), que oscilan entre 0% y 93% según la zona.

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 (%)
24,5	17,2	15	87%

Como puede observarse en el gráfico adjunto el índice de llenado presenta una tendencia a la estabilización durante los tres últimos años y además, el índice de llenado más reciente (enero de 2008) es del 55%. Este hecho se traduce en que la masa de agua subterránea, actualmente, presenta una situación media de embalse con respecto al registro histórico.

Asimismo, si analizamos de un modo conjunto esta tendencia y el índice de extracción estimado para el conjunto de la masa se observa que, a pesar de que se extrae anualmente el 87% de los recursos disponibles, las entradas al sistema son suficientes como para compensar los descensos producidos por los bombeos durante la época estival.

Por los motivos anteriormente expuestos se considera que la masa de agua subterránea 30595. Condado, presenta BUEN ESTADO CUANTITATIVO. No obstante, este resultado no se considera concluyente, al no disponer de un registro histórico anterior al año 2000.

▪ 440001. Arcena

Para la evaluación del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea 440001. Arcena, únicamente se han identificado 7 estaciones de control, cuyas medidas más recientes corresponden al mes de diciembre del 2003. Por este motivo, no se puede evaluar el estado cuantitativo actual de la masa.

6.4. INTERPRETACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL ESTADO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

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.

Las masas de agua subterránea 440001. Aracena y 30594. Lepe-Cartaya presentan un buen estado químico, y las masas de agua 30593. Niebla y 30595. Condado, un mal estado químico (figura 6.4.1.1).

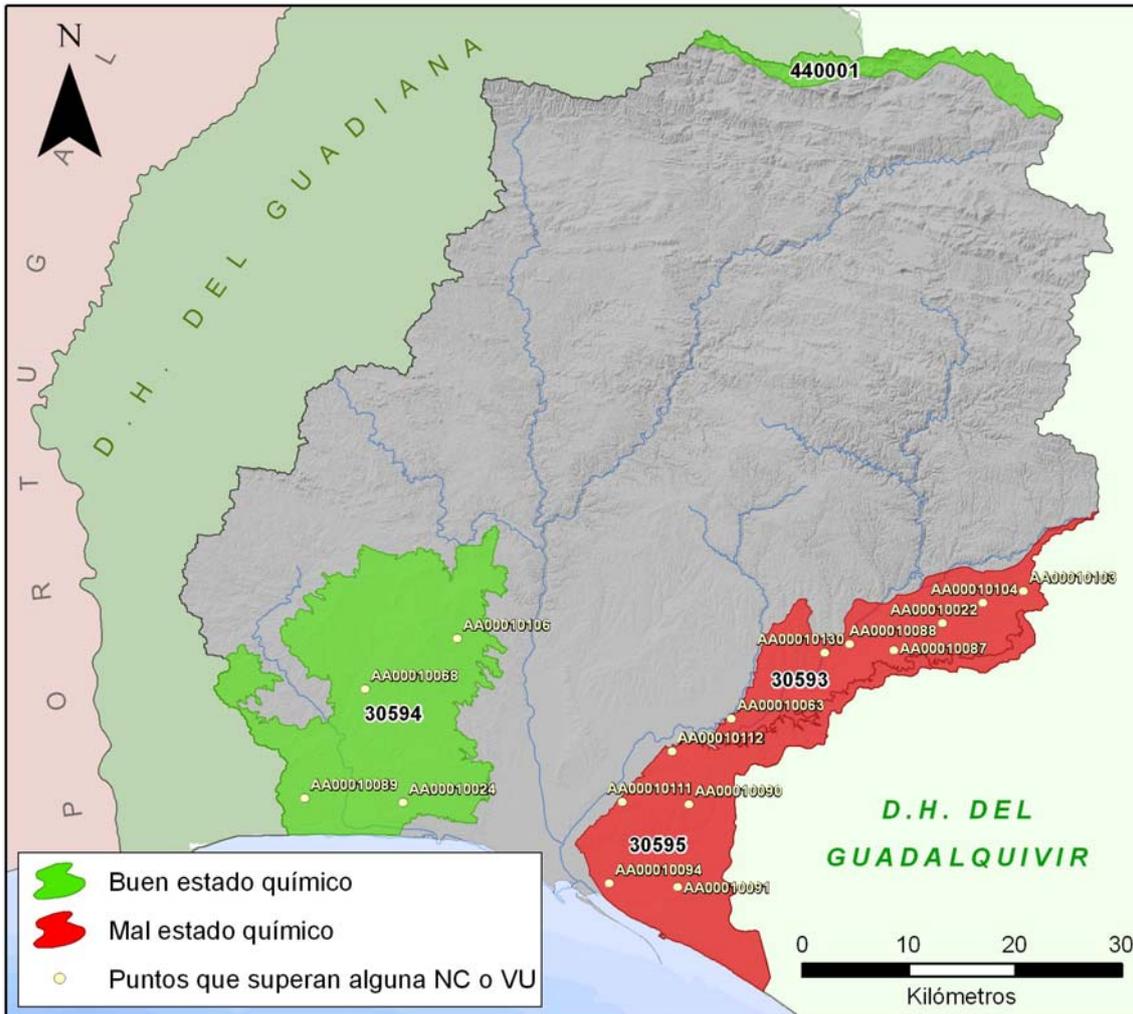


Figura 6.4.1.1. Resultado de la evaluación del estado químico de las aguas subterráneas

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 las 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.

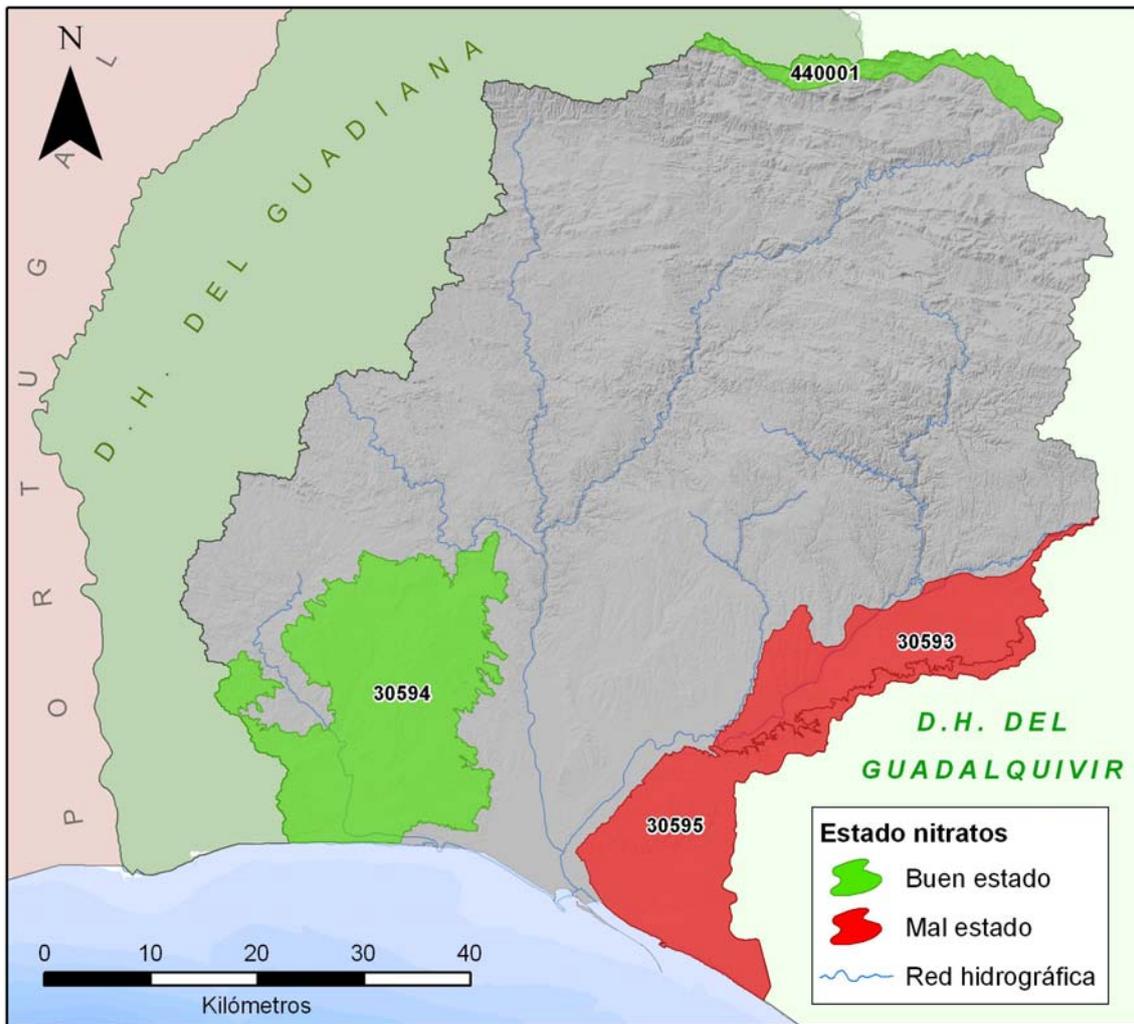


Figura 6.4.1.2. Cumplimiento o incumplimiento del buen estado químico según la concentración de nitratos

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.

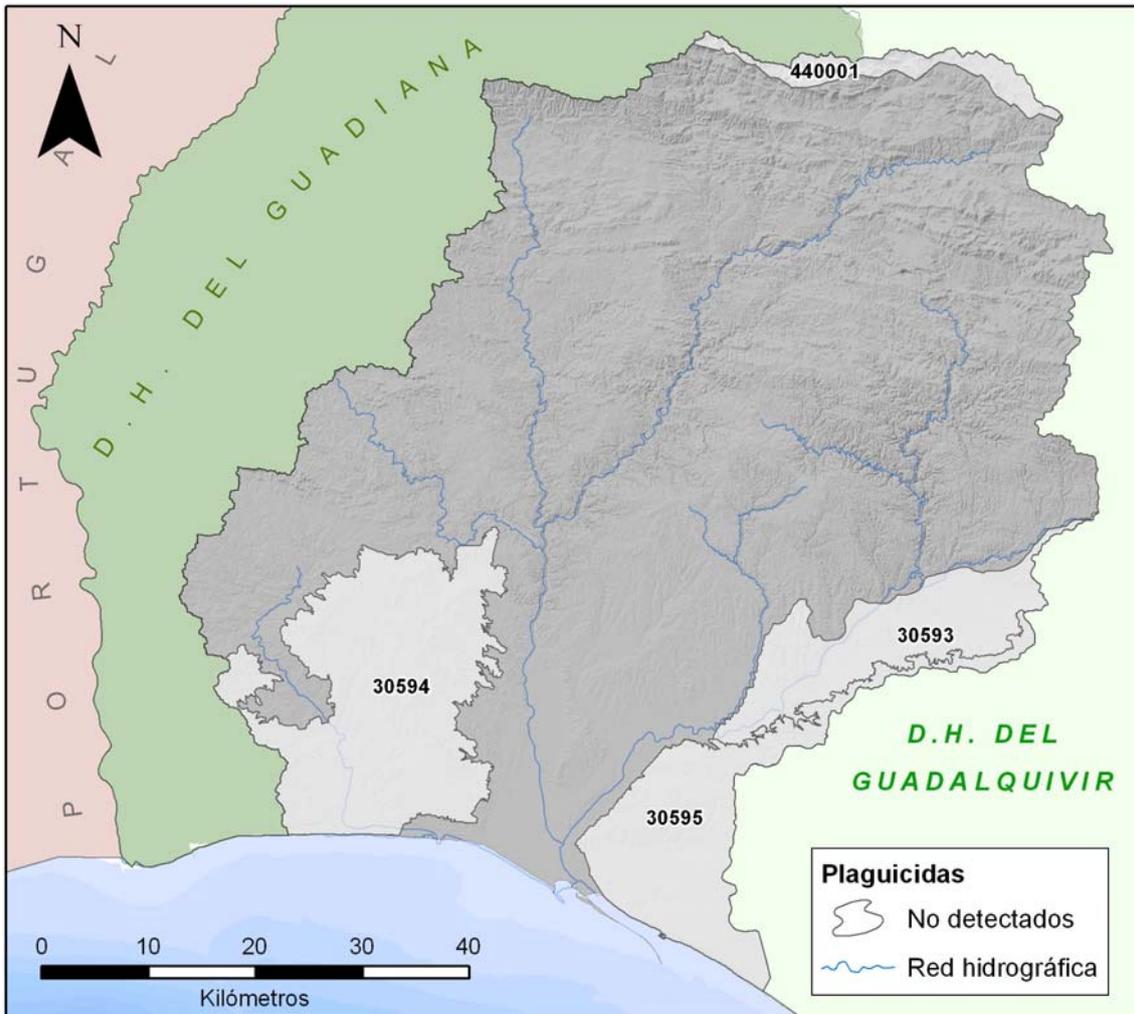


Figura 6.4.1.3. Clasificación de las masas de agua subterránea en función de la presencia de plaguicidas

Finalmente, 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 ha sido el mismo que el obtenido tras la evaluación del estado químico global (figura 6.4.1.1) y por nitratos (figura 6.4.1.2): buen estado químico en las masas de agua subterránea 440001. Aracena y 30594. Lepe-Cartaya y mal estado químico en las masas de agua 30593. Niebla y 30595. Condado (figura 6.4.1.4).

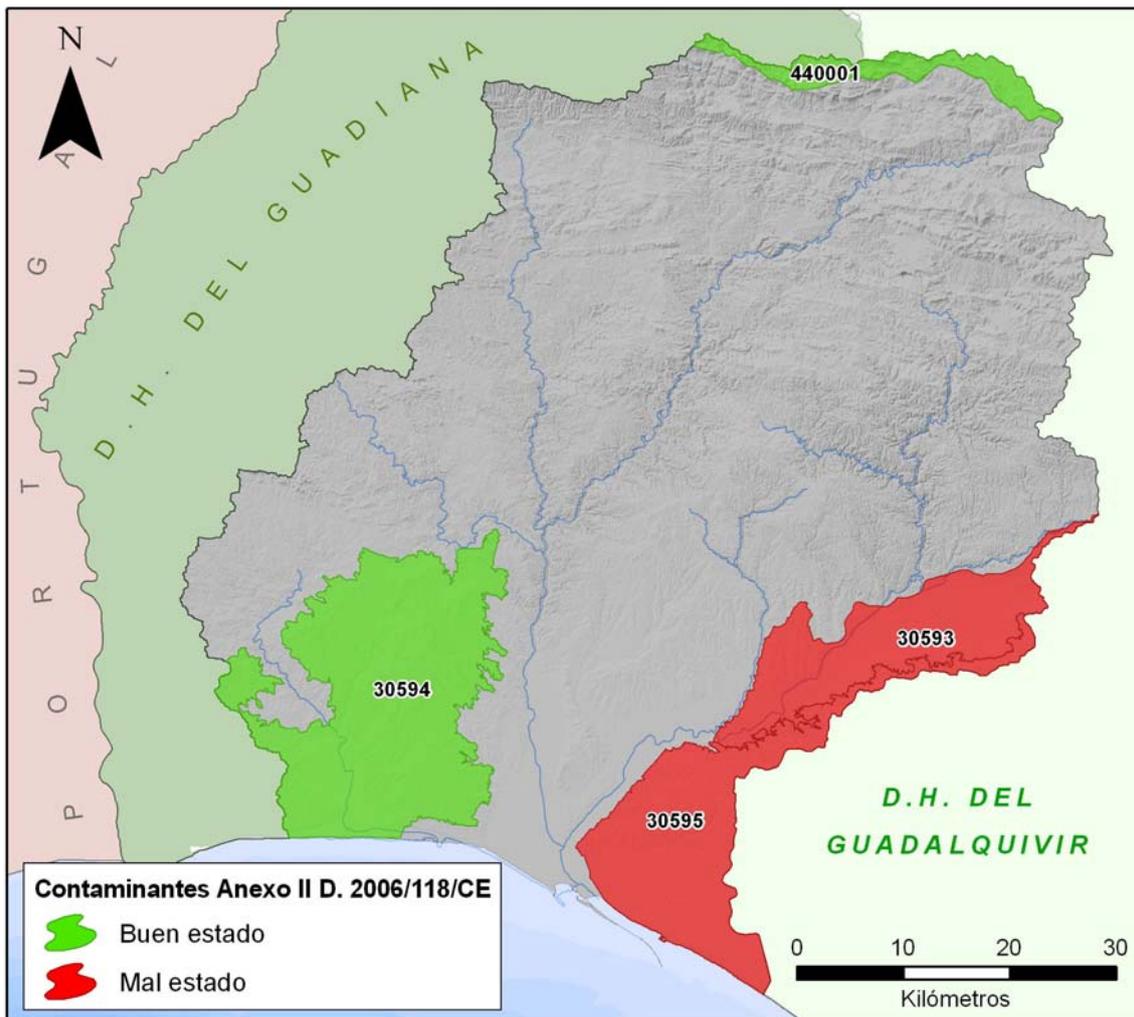


Figura 6.4.1.4. Cumplimiento o incumplimiento del buen estado químico según la concentración de los contaminantes incluidos en el anexo II de la Directiva 2006/118/CE

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.

Como podemos observar, se ha obtenido un buen estado cuantitativo en todas las masas de agua subterránea de la demarcación excepto en la masa 440001. Aracena, en la que los datos disponibles no han sido suficientes para determinarlo (figura 6.4.2.1).

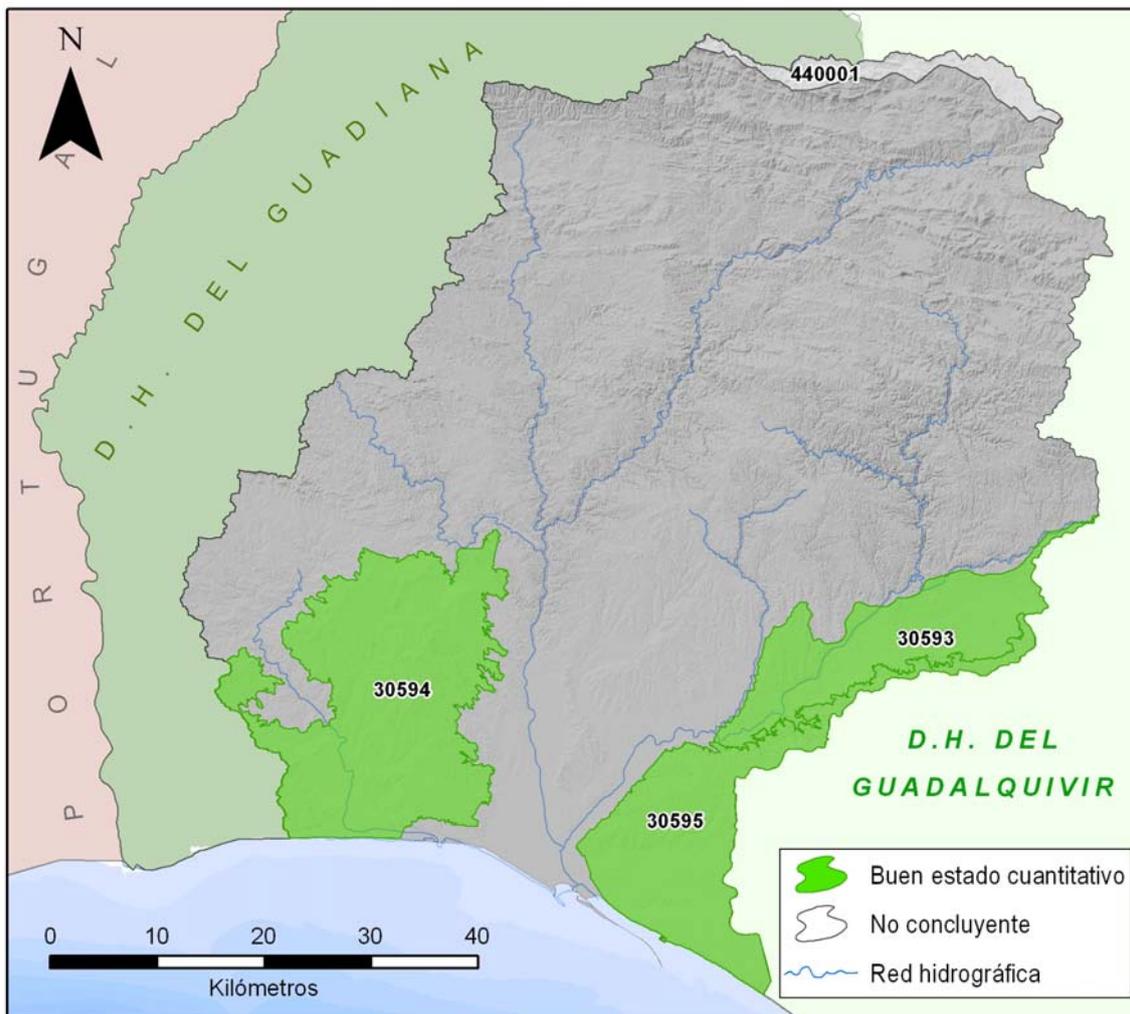


Figura 6.4.2.1. Resultado de la evaluación del estado cuantitativo de las aguas subterráneas

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* identificadas en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, 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_TOP	Captaciones de agua subterránea	AAA
2	Shapefile	Poligonal	DEM_TOP	Demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras	AAA
3	Ráster	Píxel	INFILT_TOP	Infiltración media anual para el periodo 1940/41-2005/06 (SIMPA)	CEDEX
4	Shapefile	Poligonal	LITO_TOP	Cartografía litoestratigráfica, E.:1:200.000	IGME
5	Shapefile	Poligonal	MASb_TOP	Masas de agua subterránea	AAA
6	Ráster	Píxel	MOS_TOP	Mosaico de la cartografía geológica, E.:1:50.000	IGME/TTEC
7	Shapefile	Poligonal	PERM_TOP	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 Tinto, Odiel y Piedras

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.

Tras un análisis pormenorizado de las litologías predominantes en el ámbito circunscrito por el perímetro de cada masa de agua subterránea, se concluye que las 4 masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, presentan una naturaleza (eminentemente) detrítica⁵.

CÓDIGO	NOMBRE	SUPERFICIE	NATURALEZA
30593	NIEBLA	212,4	Detrítica
30594	LEPE-CARTAYA	471,9	Detrítica
30595	CONDADO	279,3	Detrítica
440001	ARACENA	63,7	Detrítica ¹

Tabla 7.2.2.1. Clasificación de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, 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 4 masas de agua subterránea identificadas.

⁵ Tras el análisis pormenorizado de la representatividad espacial de los afloramientos carbonatados existentes respecto a la superficie total de la masa, se ha constatado que las formaciones marmóreas son minoritarias frente a las detríticas y están presentes en varios sectores localizados en el límite septentrional de la masa. Asimismo se ha calculado, en entorno GIS, que los afloramientos carbonatados cartografiados en la zona presentan un área aproximada de 2 km² (equivalente a un 3% de la superficie de la masa), frente a los 50 km² que presentan los afloramientos de naturaleza vulcanosedimentaria y 10,68 km² los de naturaleza metadetrítica (ver anexo 7).

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).

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 varía 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.

Sin embargo, considerando que las 4 masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras presentan una naturaleza eminentemente detrítica, en el presente apartado se describe exclusivamente la metodología específica para este tipo de masas.

Para el cálculo de la recarga por infiltración del agua de lluvia en las masas de agua subterránea de naturaleza detrítica, 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. 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. Equivalencia entre la permeabilidad de los materiales y el factor de ponderación de la infiltración considerado

La única masa de agua subterránea en la que la recarga por infiltración del agua de lluvia se ha obtenido aplicando esta modificación del procedimiento general ha sido la codificada como 30593. Niebla, ya que presenta amplios afloramientos de materiales de permeabilidad baja y muy baja. Asimismo, el factor de ponderación medio obtenido ha sido de 0,39.

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.

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	
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 7.2.2.3).

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
	Frutales	4.888,89	0,00
	Olivares	2.666,67	0,00
	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%
Histosoles	4%
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 identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, 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 Tinto, Odiel y Piedras, 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 (destinadas para regadío y abastecimiento) incluido en el informe relativo a los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE (2005), correspondiente a la demarcación hidrográfica del Guadiana, 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 Tinto, Odiel y Piedras se han calculado o estimado las diferentes componentes del balance hidrológico (entradas y salidas) en un total de 4 masas de agua subterránea, de naturaleza eminentemente detrítica.

En la masa de agua subterránea 440001. Aracena, el valor de recarga por infiltración del agua de lluvia obtenido tras ponderar por el rango de permeabilidad de los afloramientos los datos suministrados por el modelo SIMPA(2), es muy inferior al estimado en el marco de estudios previos⁶, que consideran una recarga por infiltración próxima a los 5 hm³/año. Probablemente, esta diferencia se debe a que la ponderación del valor inicial suministrado por el modelo SIMPA(2) se ha realizado a partir de la cobertura de permeabilidad a escala 1:200.000 editada por el IGME, la cual considera una superficie de afloramientos de permeabilidad baja y muy baja equivalente al 96% del total de la masa. Por este motivo se ha procedido, en entorno GIS, a mejorar esta cobertura de partida tomando como referencia los afloramientos de baja y muy baja permeabilidad cartografiados en las hojas MAGNA nº 917. Aracena y nº 918. Santa Olalla del Cala, (a escala 1:50.000). Finalmente, la recarga obtenida tras ponderar el valor suministrado por el modelo SIMPA(2) con la cobertura de permeabilidad depurada, es de 3,4 hm³/año.

⁶ Valor extraído de los estudios de 'Mejora del conocimiento hidrogeológico de las unidades de la zona sur de la Cuenca del Guadiana' (Confederación Hidrográfica del Guadiana, 2007) y de la 'Revisión del estado de cumplimiento de los objetivos medioambientales de las masas de agua subterránea de las Cuencas Atlánticas Andaluzas' (Infraeco-Denga, 2008).

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 aquellas masas de agua subterránea en conexión hidráulica con el mar, se ha considerado que un porcentaje de recursos disponibles superior al 70%, podría inducir procesos de intrusión marina por sobreexplotación en determinados sectores próximos a la costa.

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 identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, 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)				
			Infit. Lluvia	Infiltración Escorrentía	Recarga lateral	Retornos regadío	Otros	TOTAL	Bombeos	Manantiales	Ríos, arroyos y mar	Descarga lateral	Otros
440001	Aracena	Detrítica	3,4	-	-	-	-	3,4	2,4	1	-	-	3,4
30593	Niebla	Detrítica	6,2	-	-	0,3	1,8 ¹	8,3	0,5	-	7,5	0,3	8,3
30594	Lepe-Cartaya	Detrítica	26,8	-	-	3,3	-	30,1	6,5	-	23,6	-	30,1
30595	Condado	Detrítica	21,2	-	-	3,3	-	24,5	15	-	9,5	-	24,5

¹: Embalse de Corumbel

Tabla 7.3.1. Balance hidrológico estimado para las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

CÓDIGO	NOMBRE	RECARGA (hm ³ /año)	VOLUMEN EXTRAÍDO (hm ³ /año)	RECURSOS DISPONIBLES (hm ³ /año)	ÍNDICE DE EXPLOTACIÓN (%)
440001	Aracena	3,4	2,4	2,7	89%
30593	Niebla	8,3	0,5	6,6	8%
30594	Lepe-Cartaya	30,1	6,5	21,1*	31%
30595	Condado	24,5	15	17,2*	87%

Tabla 7.3.2. Estimación de los recursos disponibles e índice de explotación, en las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

* En las masas de agua subterránea 30594, Lepe-Cartaya y 30595, Condado, se ha considerado que los recursos disponibles equivalen al 70% de la recarga (frente al 80% aplicado en otras masas), con objeto de minimizar posibles procesos de intrusión marina que puedan inducir una salinización de las aguas en aquellas masas de agua subterránea en conexión hidráulica con el litoral identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.

8. ELABORACIÓN DE UNA CARTOGRAFÍA DE VULNERABILIDAD NATURAL A LA CONTAMINACIÓN EN LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA IDENTIFICADAS EN LA DEMARCACIÓN

8.1. 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 Tinto, Odiel y Piedras, 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.

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 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.

8.2.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

La metodología a emplear para la génesis de estas cartografías varía en función de la naturaleza de las masas de agua subterránea. Sin embargo, debido a que en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras se ha considerado que las masas de agua subterránea identificadas presentan una naturaleza (predominantemente) detrítica, únicamente se ha empleado una versión reducida del método DRASTIC (a cinco factores), que 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.

Para la clasificación de las masas en base a su naturaleza, se ha realizado una revisión de la litología mayoritaria que constituye cada 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 (km2)	NATURALEZA
30593	NIEBLA	212,4	Detrítica
30594	LEPE-CARTAYA	471,9	Detrítica
30595	CONDADO	279,3	Detrítica
440001	ARACENA	63,7	Detrítica ⁷

Tabla 8.2.2.1. Clasificación de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, en función de su naturaleza

8.2.2.1. 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 vulcanosedimentarios, metadetríticos 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:

$$D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w = \text{Contaminación Potencial}$$

⁷ Tras el análisis pormenorizado de la representatividad espacial de los afloramientos carbonatados existentes respecto a la superficie total de la masa, se ha constatado que las formaciones marmóreas son minoritarias frente a las detríticas y están presentes en varios sectores localizados en el límite septentrional de la masa. Asimismo se ha calculado, en entorno GIS, que los afloramientos carbonatados cartografiados en la zona presentan un área aproximada de 2 km² (equivalente a un 3% de la superficie de la masa), frente a los 50 km² que presentan los afloramientos de naturaleza vulcanosedimentaria y 10,68 km² los de naturaleza metadetrítica.

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.

La ausencia de información cartográfica previa, unido a la redundancia derivada de la utilización de la misma información de partida para la elaboración de diferentes mapas temáticos, ha derivado en la reducción de los siete factores considerados en el método DRASTIC (original) a cinco. De esta forma, en el marco de estos trabajos se han considerado 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*)

➤ **Fuentes de información, recopilación, análisis y tratamiento de los datos y capas de información**

- *Profundidad del agua subterránea*

Para estimar el espesor de la ZNS se ha determinado la cota piezométrica en los puntos de agua 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

Tras un laborioso proceso de revisión, análisis y tratamiento de los datos de partida se ha trazado la superficie piezométrica de los acuíferos detríticos.

El procedimiento seguido para estimar la cota piezométrica en cada punto de agua 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 las medidas correspondientes a niveles dinámicos, los datos históricos discordantes con la situación actual del acuífero y aquellos datos que no se ajusten a 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 objeto de estudio. 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.

La cobertura distribuida obtenida ha sido reclasificada según el factor de clasificación D_r .

- *Tasa de recarga*

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). A partir de los datos de precipitación mensual se ha estimado la precipitación anual para la serie histórica 1940-2005.

Con objeto de depurar los resultados obtenidos así como las salidas gráficas asociadas, previamente al tratamiento de los datos de precipitación se procedió a clasificar la recarga en 6 clases (mm/año): 0; 0-51; 51-102; 102-178; 178-254; > 254, reclasificar estos valores y reducir el tamaño de celda a 10x10 m.

La cobertura, en formato ráster, ha sido reclasificada según el factor de clasificación R_r .

- *Tipo de suelo*

Este factor define el tramo superior de la zona no saturada, caracterizado por una significativa actividad biológica. A efectos prácticos, pueden considerarse espesores de hasta dos metros. Los aspectos de mayor influencia son: contenido y tipo de arcilla, granulometría y cantidad de materia orgánica.

Las fuentes de información cartográfica utilizadas han sido el Mapa de Suelos de Andalucía, a escala 1:400.000, desarrollado 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.

○ *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 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*.

○ *Impacto de la zona no saturada*

Este factor refleja, por una parte, las condiciones de flujo que influyen en el tiempo disponible para que los procesos atenuantes actúen -adsorción, reactividad y dispersión-, y por otra, las características del terreno en el cual se producen las modificaciones más importantes del contaminante.

La capa de información geográfica que se ha utilizado para evaluar las variables relacionadas con la litología de la zona no saturada 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 los mapas geológicos de la serie MAGNA a escala 1:50.000.

➤ **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 del índice de vulnerabilidad DRASTIC (reducido a cinco factores) están comprendidos entre 16 y 166 (a excepción de las zonas urbanizadas, puertos y espigones, a las que se les ha asignado un valor igual a cero). 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	
16-32	1	
32-47	2	
47-62	3	
62-77	4	
77-92	5	
92-107	6	
107-122	7	
122-137	8	
137-152	9	
152-166	10	

Tabla 8.2.2.1.1. 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.

8.3. 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 todas las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, de naturaleza detrítica, se observa cómo la clase de vulnerabilidad dominante es *baja* (con un 56,7% respecto a la extensión total considerada).

En la tabla 8.3.1 se puede observar un resumen estadístico del resultado final obtenido tras el proceso de elaboración de la cartografía de vulnerabilidad en la demarcación. 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	
30593	NIEBLA	D	0,92	28,73	67,27	97,81	14,40	0,44	13,74	32,16	46,77	6,88	212,4
30594	LEPE-CARTAYA	D	0,00	16,01	104,21	339,42	4,70	0,00	3,45	22,44	73,10	1,01	471,9
30595	CONDADO	D	0,13	53,84	132,36	83,98	5,68	0,05	19,51	47,96	30,43	2,06	279,3
440001	ARACENA	D	0,02	0,92	8,65	53,10	0,98	0,02	1,44	13,58	83,41	1,54	63,7
Total			1,07	99,49	312,49	574,32	25,76	0,11	9,82	30,84	56,69	2,54	1.027,3

Tipo (o naturaleza de la MASb.): D: Detrítica

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 8.3.1. Superficie estimada para cada clase de vulnerabilidad, por masa de agua subterránea

Con objeto de visualizar gráficamente la distribución de las clases de vulnerabilidad en función de la masa se han representado, en el eje de abscisas, las masas de agua subterránea y en el eje de ordenadas, las clases de vulnerabilidad consideradas (Muy baja; Baja; Moderada; Alta y Muy alta).

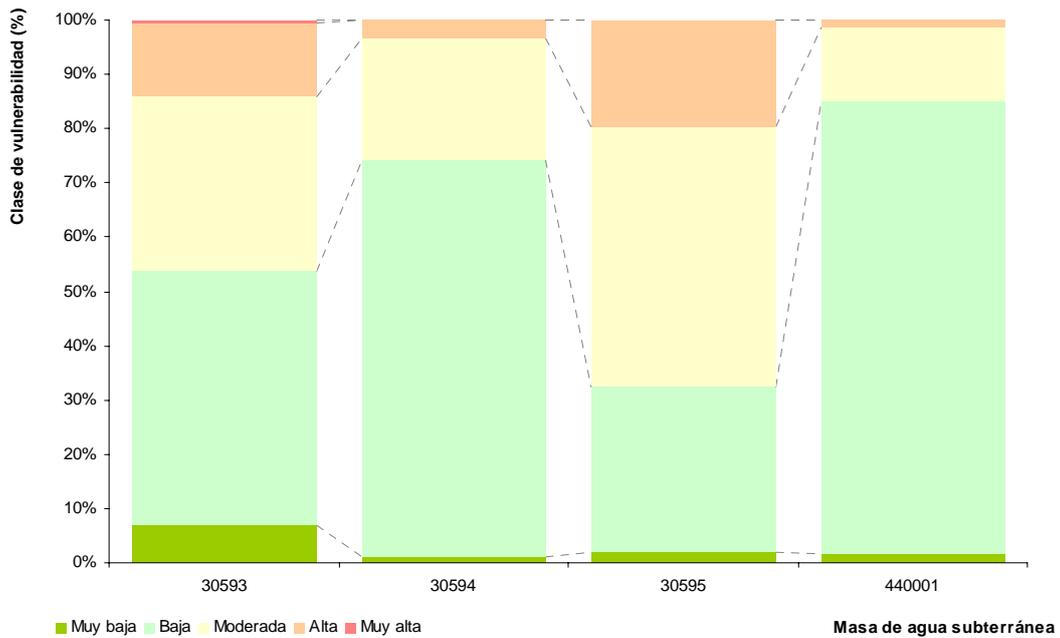
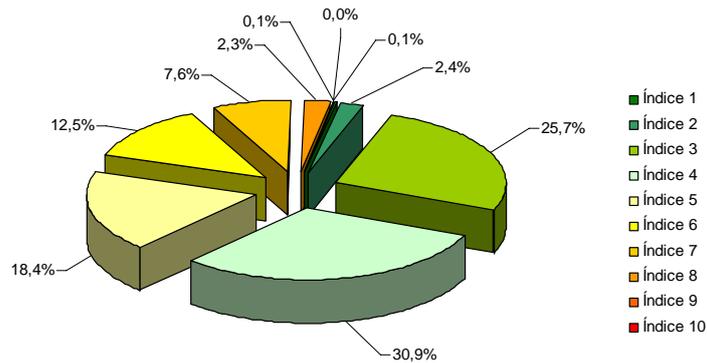


Figura 8.3.1. Distribución porcentual de las clases de vulnerabilidad en las masas de agua subterránea identificadas en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

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.

Como podemos observar en las figuras adjuntas, en las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación tanto los índices de vulnerabilidad como las clases de vulnerabilidad claramente dominantes, son *bajas* (con un 56,7% respecto a la extensión total considerada). Por el contrario, las clases de vulnerabilidad *alta* o *muy alta* representan un 9,9% y se ven relegadas a determinados sectores influenciados por la red hidrográfica actual (depósitos de estuario o marismas asociados a ríos, arroyos o esteros), así como por el litoral en la masa 30594. Lepe-Cartaya.



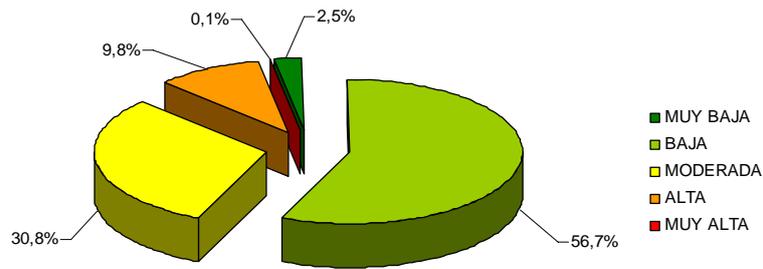


Figura 8.3.2. Distribución areal de los índices y clases de vulnerabilidad natural a la contaminación en las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación

En líneas generales las clases de vulnerabilidad más elevadas se concentran en aquellas zonas de estuario o marismas identificadas en las masas meridionales, así como en determinados sectores de la zona centro-oriental de la masa 30595, caracterizada por sedimentos detríticos (arenas) del Plioceno.

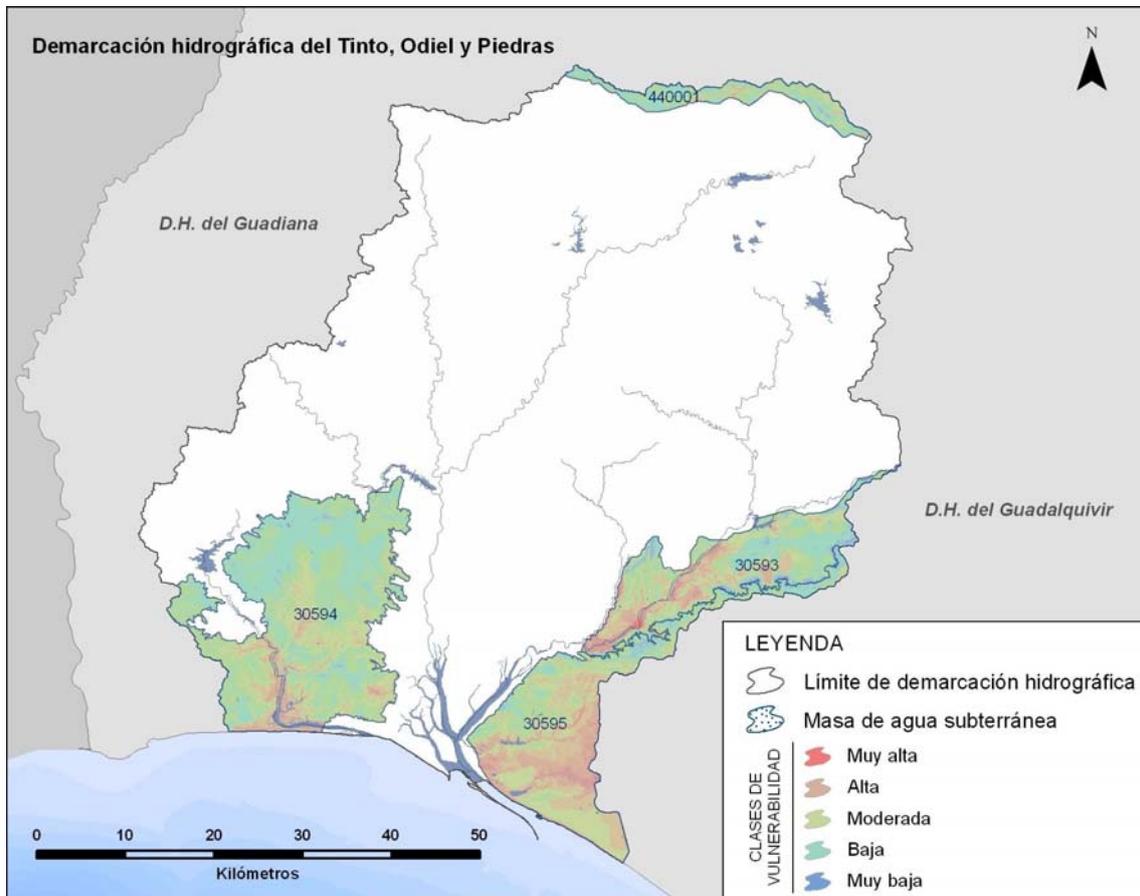


Figura 8.3.3. Cartografía de vulnerabilidad natural a la contaminación en el ámbito de la demarcación

9. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA COMPARTIDAS ENTRE DEMARCAACIONES HIDROGRÁFICAS LIMÍTROFES

9.1. 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 Tinto, Odiel y Piedras se plasmó en las *Fichas resumen del informe de los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua*, elaboradas por la Confederación Hidrográfica del Guadiana y remitidas a la Comisión Europea en 2005. El resultado fue la identificación de 4 masas de agua subterránea, tal y como se muestra en la figura 9.1.1.

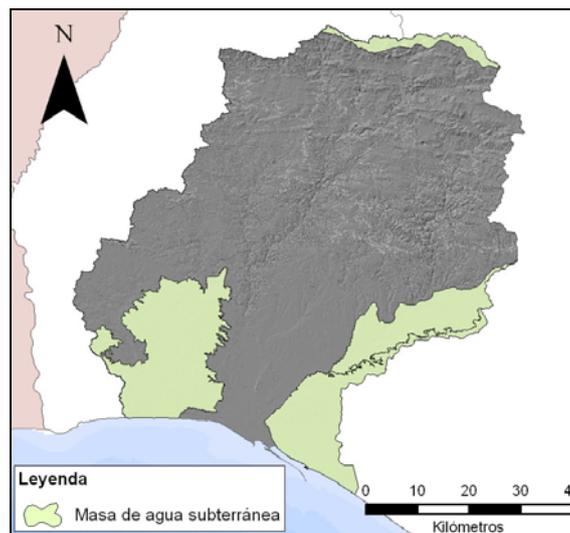


Figura 9.1.1. Masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

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.

El objetivo de este capítulo es identificar las masas de agua subterránea *compartidas* existentes en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras. Esto es, aquellas que se definieron en 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 (Guadalquivir y Guadiana), con las cuales comparten recursos hídricos subterráneos (figura 9.1.2). Estas masas de agua subterránea compartidas, por tanto, representan sectores de un mismo acuífero entre los cuales existen o podrían existir transferencias laterales de agua.



Figura 9.1.2. Demarcaciones hidrográficas limítrofes con la D.H. del Tinto, Odiel y Piedras

9.2. BASE NORMATIVA

9.2.1. 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*.

9.2.2. 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 [...]*.

9.2.3. 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 tomada en cuenta en el Plan Hidrológico Nacional para su delimitación y caracterización.

9.2.4. 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.

9.2.5. 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.

9.3. TRABAJOS REALIZADOS

9.3.1. 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.

9.3.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

El procedimiento que se ha seguido para identificar las masas de agua subterránea compartidas de la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras 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.

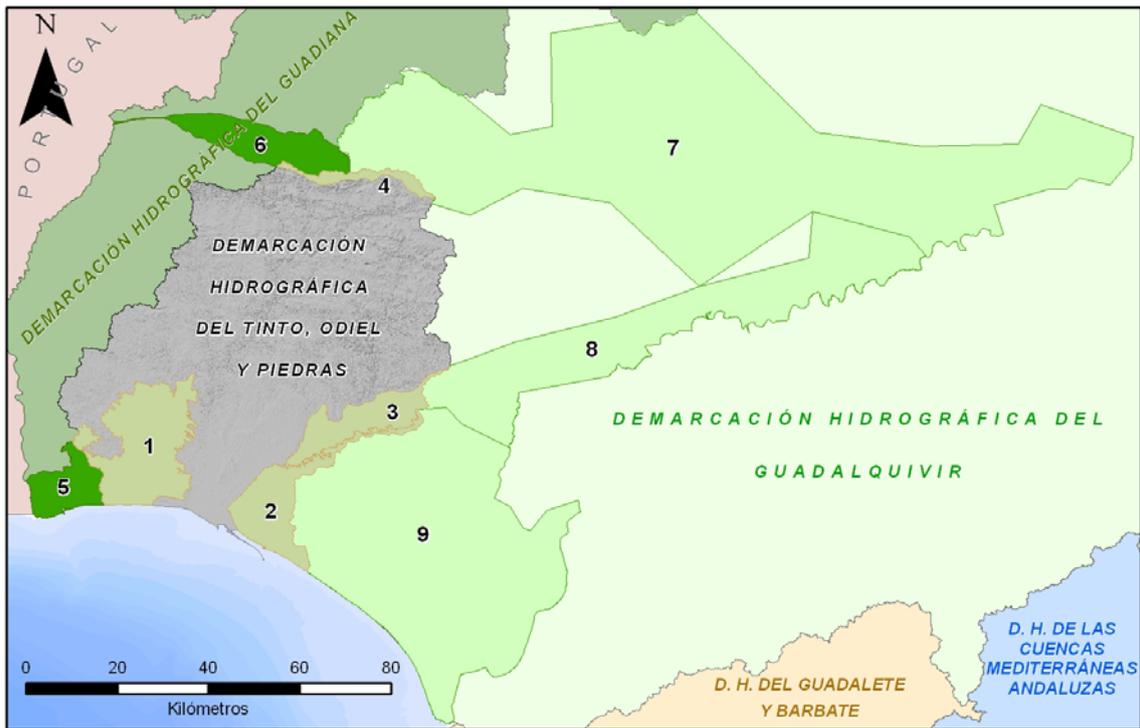
3. Estimación de los recursos hídricos compartidos: en aquellas masas de agua subterránea compartidas en las que ha sido posible, se ha realizado una estimación cuantitativa de los recursos hídricos que son transferidos de una masa a otra; en las masas de agua en las que no ha sido posible realizar esta 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.

9.3.3. MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA LIMÍTROFES

Las cuatro masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras (figura 9.1.1) limitan con masas de agua subterránea definidas en alguna de las dos demarcaciones hidrográficas limítrofes (Guadalquivir y Guadiana; figura 9.1.2). En la tabla 9.3.3.1 se muestra el listado de estas cuatro masas de agua subterránea con indicación de las masas limítrofes y en la figura 9.3.3.1, la posición que ocupa cada una de ellas.

MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA (D.H. Tinto, Odiel y Piedras)		MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA (DD.HH. limítrofes)		
Código	Nombre MASb.	Código	Nombre MASb.	Demarcación
440001	Aracena	05.45	Sierra Morena	Guadalquivir
		30.604	Aroche-Jabugo	Guadiana
30593	Niebla	05.49	Gerena-Posadas	Guadalquivir
30594	Lepe-Cartaya	30.596	Ayamonte	Guadiana
30595	Condado	05.51	Almonte-Marismas del Guadalquivir	Guadalquivir

Tabla 9.3.3.1. Masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras que limitan con masas de agua subterránea definidas en demarcaciones hidrográficas adyacentes



D. H. del Tinto, Odiel y Piedras

- 1. 30594 Lepe-Cartaya
- 2. 30595 Condado
- 3. 30593 Niebla
- 4. 440001 Aracena

D. H. del Guadiana

- 5. 30.596 Ayamonte
- 6. 30.604 Aroche-Jabugo

D. H. del Guadalquivir

- 7. 05.45 Sierra Morena
- 8. 05.49 Gerena-Posadas
- 9. 05.51 Almonte-Marismas del Guadalquivir

Figura 9.3.3.1. Localización de las masas de agua subterránea limítrofes identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

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 cuatro masas de agua subterránea limítrofes de la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras (tabla 9.3.3.1), sólo una está incluida en el listado de unidades hidrogeológicas compartidas del Plan Hidrológico Nacional (Ley 10/2001, de 5 de julio)⁸. Se trata de la masa de agua subterránea Condado, cuya delimitación actual abarca el sector occidental de la antigua unidad hidrogeológica Almonte-Marismas, calificada de *compartida* en el citado Plan Hidrológico Nacional.

⁸ 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.

9.4. 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.

9.4.1. ARACENA (440001)–AROCHE-JABUGO (30604)–SIERRA MORENA (05.45)

Las masas de agua subterránea Aracena, Aroche-Jabugo y Sierra Morena (números 4, 6 y 7 en la figura 9.3.3.1) están situadas en la divisoria entre las demarcaciones hidrográficas del Tinto, Odiel y Piedras, Guadiana y Guadalquivir (en el sector septentrional de la provincia de Huelva), y en ellas se han incluido los diferentes afloramientos carbonatados de la Sierra de Aracena.

La Sierra de Aracena está constituida por rocas metamórficas de alta temperatura y baja presión, en cuya columna litoestratigráfica se distinguen cuatro formaciones:

- ✓ La Umbría
- ✓ Aracena
- ✓ Vulcanosedimentaria
- ✓ El Cubito

de las cuales las únicas que presentan interés hidrogeológico son las formaciones de Aracena y Vulcanosedimentaria.

La formación Aracena está constituida por mármoles dolomíticos y, en menor proporción, por calizas de edad cámbrica, con un espesor medio de 400 m. A techo se sitúa la formación Vulcanosedimentaria, caracterizada por materiales de baja permeabilidad (tobas y micaesquistos) entre los cuales, no obstante, se intercalan niveles carbonatados permeables (mármoles y calizas) que dan lugar a un acuífero de tipo multicapa. Sobre las cuatro formaciones anteriores se han depositado materiales cuaternarios, fundamentalmente depósitos aluviales asociados a los cauces de los ríos, que presentan también un carácter permeable y cierto interés hidrogeológico.

Los límites de los afloramientos permeables que constituyen los principales acuíferos de la sierra de Aracena suelen ser cerrados al flujo subterráneo, y en muchos casos coinciden con discontinuidades de tipo mecánico que ponen en contacto estos materiales acuífero con las formaciones de baja permeabilidad. Esta es también la razón de que el acuífero se encuentre compartimentado en sectores de funcionamiento hidrogeológico independiente.

La masa de agua subterránea Aracena (demarcación del Tinto, Odiel y Piedras) es la más pequeña de las tres, con una superficie de 64 km², de los que 7,5 km² corresponden a afloramientos carbonatados y 56,5 km² (el resto) a materiales menos permeables, fundamentalmente metavulcanitas. Los afloramientos carbonatados identificados en el ámbito de esta masa de agua subterránea se encuentran compartimentados, al menos, en tres sectores distintos de funcionamiento hidrogeológico

independiente, cuyos límites coinciden con fracturas de orientación aproximada N60E: la más oriental pasa por la localidad de Aracena, y la más occidental por Alájar (figura 9.4.1.1).



Figura 9.4.1.1. Detalle de las masas de agua subterránea Aracena (440001), Aroche-Jabugo (30604) y Sierra Morena (05.45)

La masa de agua subterránea Aroche-Jabugo (demarcación hidrográfica del Guadiana) presenta una superficie de 272 km², de los cuales sólo 15 km² aproximadamente corresponden a afloramientos carbonatados permeables, y el resto a materiales de baja permeabilidad. Los límites de esta masa de agua se han definido en base a los afloramientos de calizas y mármoles paleozoicos localizados en esta demarcación.

La masa de agua subterránea Sierra Morena es, con diferencia, la más extensa de las tres que se tratan en este apartado, con más de 4.500 km² de superficie que se extienden por las provincias de Huelva, Sevilla, Córdoba y Badajoz. Sus límites corresponden a la envolvente de una serie de afloramientos carbonatados discontinuos que discurren desde la Sierra de Aracena (borde oeste de la masa de agua) hasta la localidad de Córdoba (borde oriental). Estos afloramientos carbonatados, constituidos principalmente por calizas y mármoles de edad cámbrica o precámbrica, están rodeados de materiales metamórficos del Paleozoico (esquistos, pizarras, cuarcitas) y de rocas volcánicas e intrusivas, que constituyen sus límites impermeables.

La masa de agua subterránea Aracena comparte varios de los afloramientos carbonatados permeables con las masas de agua subterránea limítrofes Aroche-Jabugo y Sierra Morena. Dicho de otra forma, el límite entre estas masas de agua subterránea, coincidente con la divisoria hidrográfica, divide en dos varios de esos afloramientos carbonatados, por lo que sus recursos hídricos deben considerarse compartidos entre las tres masas de agua subterránea.

De los 7,5 km² de afloramientos carbonatados existentes en la masa de agua subterránea Aracena, unos 2,5 km² los comparte con las masas de agua subterránea Aroche-Jabugo y Sierra Morena, lo que representa un tercio de la superficie total carbonatada. De ello se podría deducir, en primera instancia, que aproximadamente un tercio de los recursos medios estimados para esta masa de agua subterránea deberían considerarse igualmente compartidos con las masas de agua limítrofes. Sin embargo, hay que

tener en cuenta que una parte significativa del resto de superficie permeable de la masa de agua subterránea Aracena (unos 5 km²) corresponden a pequeños afloramientos desconectados entre sí, que presentan en conjunto un menor interés hidrogeológico, por lo que la proporción de recursos compartidos en esta masa de agua podría ser algo superior al tercio.

En definitiva, aunque no es posible cuantificar el volumen de recursos compartidos entre las masas de agua subterránea Aracena, Aroche-Jabugo y Sierra Morena, sí se puede afirmar que una parte significativa de los recursos medios estimados para la primera (3,4 hm³/año), valorable en al menos un tercio de dicho valor, debe considerarse compartida con las dos masas de agua subterránea con las que limita.

9.4.2. NIEBLA (30593) – GERENA-POSADAS (05.49)

Las masas de agua subterránea Niebla (demarcación del Tinto, Odiel y Piedras) y Gerena-Posadas (demarcación del Guadalquivir) se sitúan entre las provincias de Huelva y Sevilla, y están constituidas por un conjunto bastante heterogéneo de materiales detríticos terciarios (arenas, areniscas, conglomerados, calizas), que descansan sobre el zócalo paleozoico impermeable de Sierra Morena (masas de agua número 3 y 8 en la figura 9.3.3.1).

La masa de agua subterránea Niebla tiene una superficie de 212 km² y se localiza íntegramente dentro de la provincia de Huelva. La masa de agua Gerena-Posadas, por su parte, presenta una extensión notablemente superior (1.306 km²) y se extiende según una orientación SO-NE desde el límite entre las provincias de Huelva y Sevilla, hasta el límite entre esta última y Córdoba (figura 9.4.2.1).

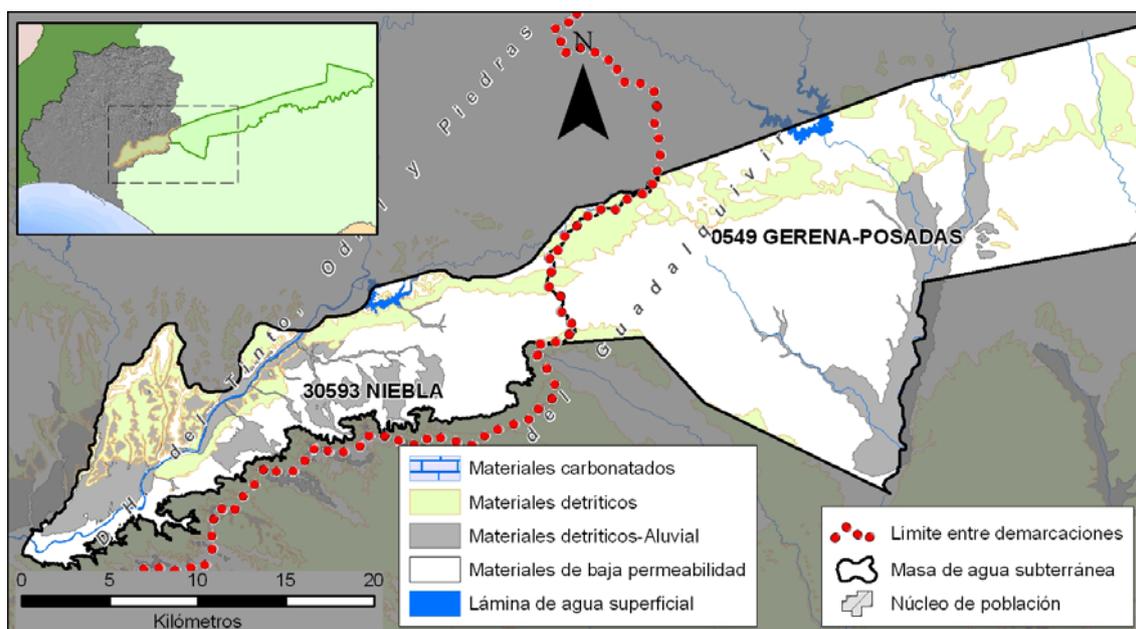


Figura 9.4.2.1. Detalle de las masas de agua subterránea Niebla (30593) y Gerena-Posadas (05.49)

El contacto entre estas masas de agua subterránea, coincidente con la divisoria entre las cuencas de los ríos Guadalquivir y Tinto, se sitúa sobre los materiales permeables que constituyen el acuífero y corresponde a un límite abierto desde un punto de vista hidrogeológico.

No se dispone de datos relativos a la piezometría del acuífero ni se conocen las direcciones del flujo subterráneo en la zona de contacto entre las dos masas de agua subterránea. No obstante, teniendo en

cuenta que en acuíferos con porosidad intergranular como éste la superficie piezométrica suele adaptarse a la superficie topográfica, parece razonable pensar que en la zona de contacto entre estas masas de agua subterránea el flujo subterráneo va a presentar una componente sur (hacia donde se localizan las menores cotas topográficas), lo que implica un flujo subterráneo relativamente paralelo al límite entre las masas de agua y, por consiguiente, unas transferencias laterales entre ellas que, en caso de existir, van a ser de muy escasa magnitud. En el balance hídrico de la masa de agua subterránea Niebla se considera una descarga lateral hacia la masa de agua subterránea Gerena-Posadas de tan solo 0,3 hm³/año.

En definitiva, el volumen de recursos hídricos compartidos entre las masas de agua subterránea Niebla (demarcación del Tinto, Odiel y Piedras) y Gerena-Posadas (demarcación del Guadalquivir) puede considerarse prácticamente nulo.

9.4.3. LEPE-CARTAYA (30594) - AYAMONTE (30596)

Las masas de agua subterránea Lepe-Cartaya (demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras) y Ayamonte (demarcación del Guadiana) están situadas en el borde suroccidental de la provincia de Huelva; limitan al sur con el océano Atlántico y al oeste con Portugal (números 1 y 5 en la figura 9.3.3.1). Presentan una superficie desigual (472 km² de Lepe-Cartaya frente a los 162 km² de Ayamonte) y la zona de contacto entre ambas se extiende a lo largo de una distancia próxima a los 20 km (figura 9.4.3.1).

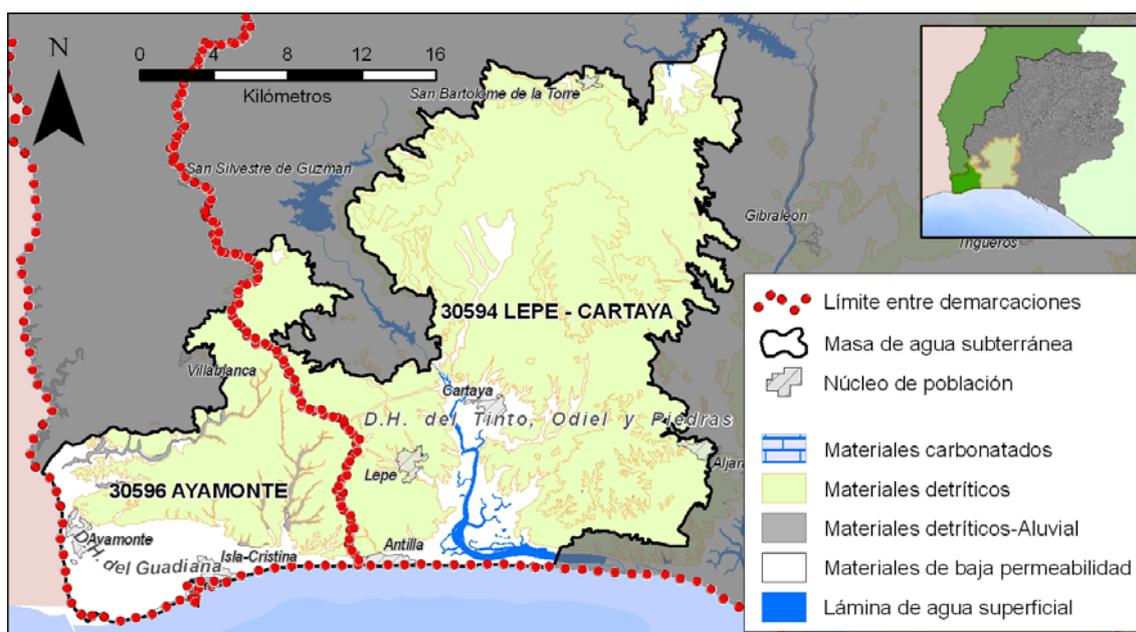


Figura 9.4.3.1. Detalle de las masas de agua subterránea Lepe-Cartaya (30594) y Ayamonte (30596)

Las masas de agua subterránea Lepe-Cartaya y Ayamonte son el resultado de la división del acuífero de Ayamonte-Huelva en dos masas de agua subterránea según la línea (divisoria) que separa las cuencas de los ríos Guadiana (al oeste) y Piedras (al este). Representan, por tanto, sectores diferentes de un mismo acuífero.

El acuífero de Ayamonte-Huelva consta de dos niveles acuíferos bien diferenciados, separados por un paquete de margas azules miocenas. El nivel superior está constituido por arenas finas y gravas del Mioceno superior-Plioceno, y el nivel inferior por arenas, areniscas, gravas y conglomerados del

Mioceno superior (Mioceno de base). No obstante, el paquete de margas azules desaparece aproximadamente al norte de la línea que une las localidades de Isla-Cristina, Lepe, Cartaya y Gibrleón, de modo que en dicha zona los dos acuíferos se superponen y constituyen una única formación acuífera. Asimismo, estos dos niveles permeables se extienden hacia el Este (hasta el río Odiel), fuera ya de los límites de la actual masa de agua subterránea Lepe-Cartaya (figura 9.4.3.1). El sentido del flujo subterráneo en el acuífero se produce, de forma general, de norte a sur, dirigiéndose desde las áreas de recarga hacia las principales zonas de descarga: ríos Odiel y Piedras, sus principales afluentes y el océano Atlántico.

El límite actual entre las masas de agua subterránea Lepe-Cartaya y Ayamonte separa en dos los acuíferos superior e inferior, sin que dicho límite coincida con ninguna discontinuidad hidrogeológica, ni siquiera una divisoria hidrogeológica, tal como se deduce del mapa de isopiezas del acuífero adjunto (figura 9.4.3.2). De acuerdo con éste, en la zona de contacto entre las dos masas de agua el flujo subterráneo se dirige desde el Norte hacia el Sur, aproximadamente paralelo a dicho contacto, de lo que se concluye que las transferencias de agua entre ambas masas, de existir, no deben ser significativas. No obstante, en el sector más septentrional de este contacto (al nordeste de la localidad de Villablanca), el flujo subterráneo podría no ser tan paralelo y producirse una cierta transferencia de agua desde la masa Lepe-Cartaya hacia la de Ayamonte.

Por tanto, puede considerarse que los recursos hídricos estimados para la masa de agua subterránea Lepe-Cartaya (30,1 hm³/año) representan recursos 'propios' no compartidos con la masa de agua subterránea Ayamonte. No obstante, es necesario hacer las siguientes matizaciones a este respecto:

- ✓ Esta hipótesis se ha basado en la interpretación del mapa de isopiezas del acuífero de Ayamonte-Huelva incluido en el Atlas hidrogeológico de Andalucía, realizado en 1998. Así pues, en la actualidad seguirá siendo válida en la medida en que dichas isopiezas se sigan ajustando a la realidad.
- ✓ Un cambio en la distribución o intensidad de las extracciones de agua subterránea en el acuífero implicaría una alteración de la dirección y sentido del flujo subterráneo que, a su vez, se traduciría en una transferencia de recursos hacia la masa de agua subterránea que soporte las mayores extracciones.

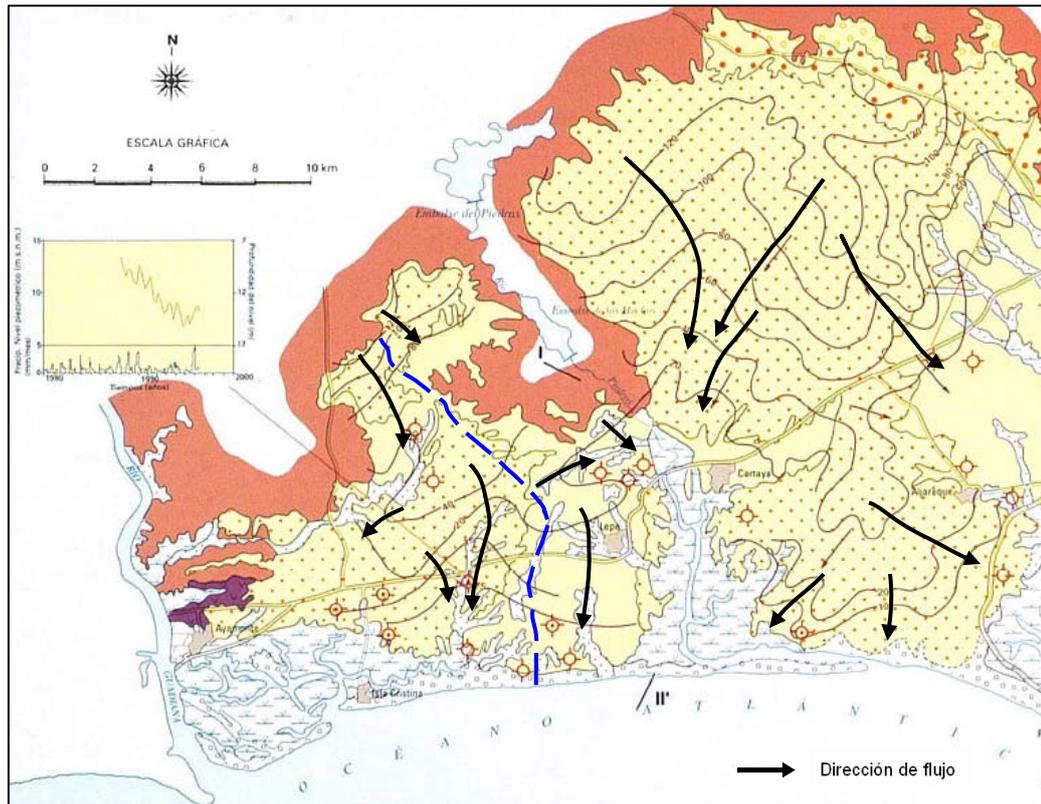


Figura 9.4.3.2. Mapa piezométrico del acuífero Ayamonte-Huelva en el que se ha superpuesto el límite entre las MASb. Lepe-Cartaya y Ayamonte (línea de color azul) así como las principales líneas de flujo del acuífero. (Fte. Modificado del *Atlas hidrogeológico de Andalucía*. ITGE y Junta de Andalucía, 1998)

9.4.4. CONDADO (30595) – ALMONTE-MARISMAS DEL GUADALQUIVIR (05.51)

Las masas de agua subterránea Condado (demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras) y Almonte-Marismas del Guadalquivir (demarcación hidrográfica del Guadalquivir) se extienden a lo largo de una amplia zona limitada por las desembocaduras de los ríos Odiel (al oeste) y Guadalquivir (al este), dentro de las provincias de Huelva y Sevilla en sus bordes suroriental y suroccidental respectivamente (figura 9.4.4.1). Estas masas de agua, identificadas en la figura 9.3.3.1 con los números 2 y 9, presentan superficies muy dispares: 279 km² la masa de agua Condado frente a los más de 2.400 km² de Almonte-Marismas del Guadalquivir.

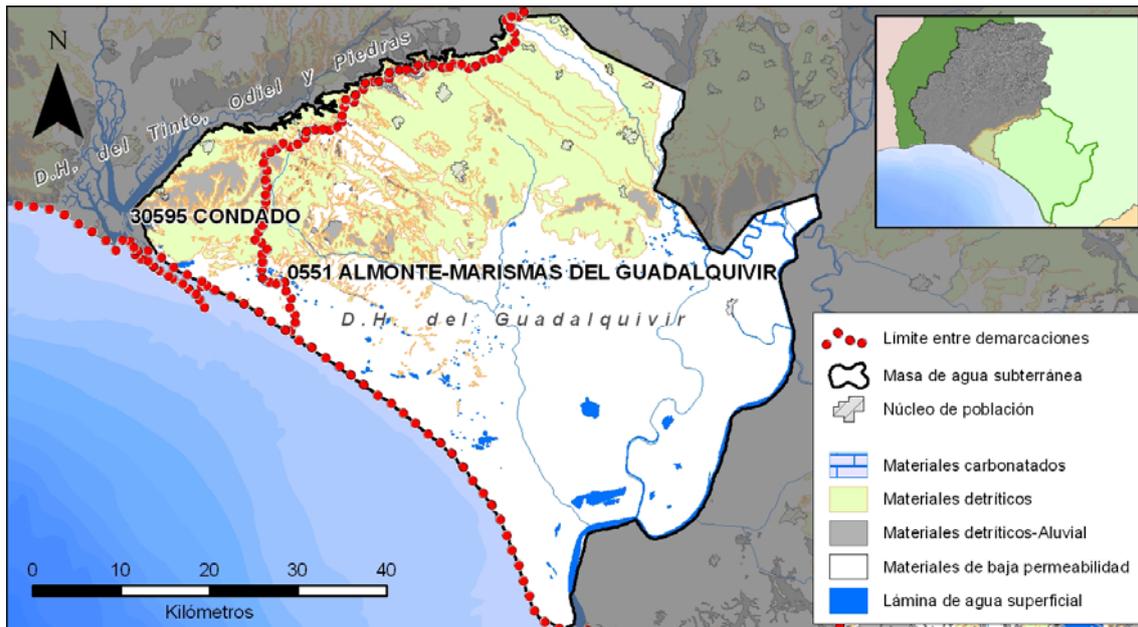


Figura 9.4.4.1. Detalle de las masas de agua subterránea Condado (30595) y Almonte-Marismas del Guadalquivir (05.51)

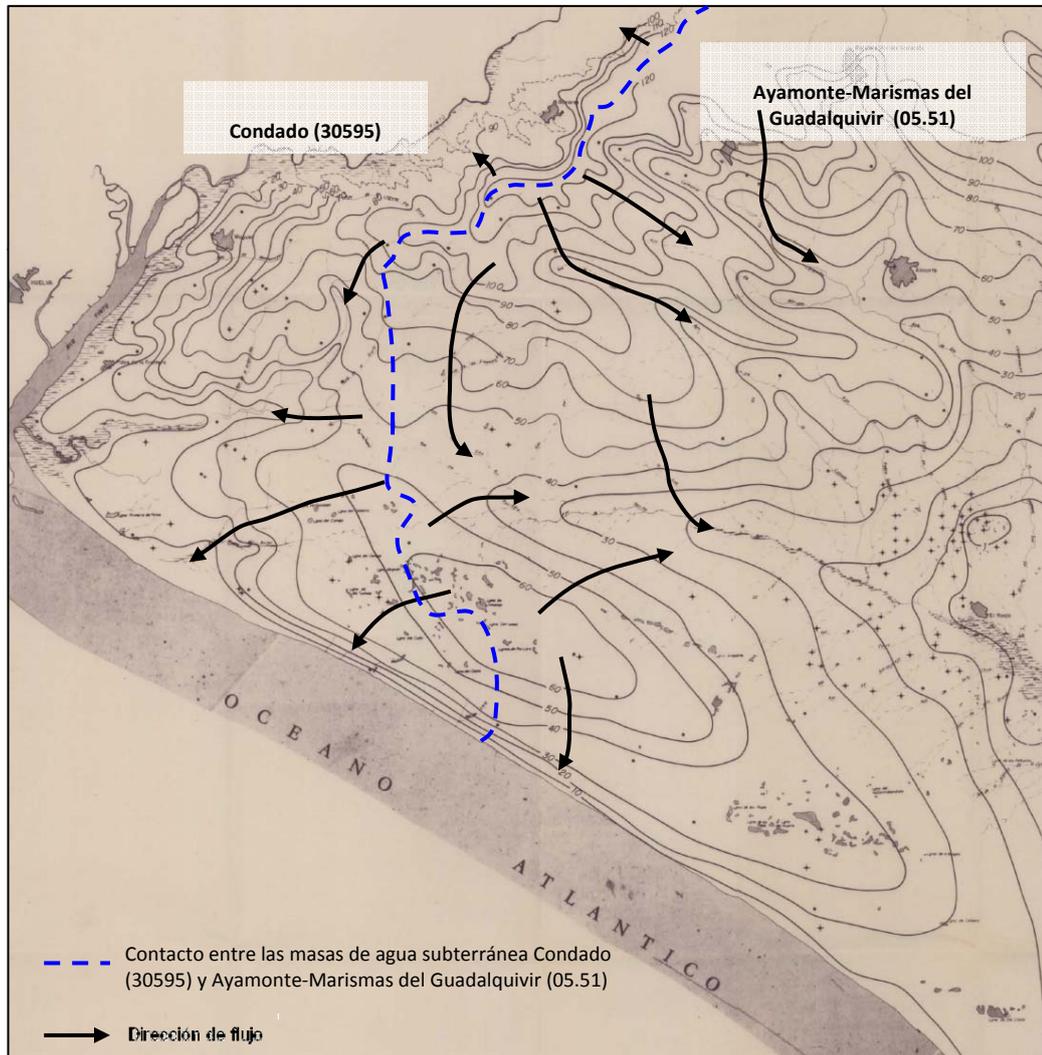
Las masas de agua subterránea Condado y Almonte-Marismas del Guadalquivir son el resultado de la división en dos masas de agua subterránea del acuífero de Almonte-Marismas, según la línea que separa las cuencas hidrográficas del Guadalquivir y el Tinto, Odiel y Piedras. El límite entre ambas masas de agua subterránea corresponde a un contacto permeable a través del cual existe continuidad hidrogeológica.

El acuífero Almonte-Marismas -uno de los incluidos en la lista de unidades hidrogeológicas compartidas del Plan Hidrológico Nacional- presenta una naturaleza detrítica, permeable por porosidad intergranular, cuyo principal nivel acuífero está constituido por arenas basales del Plioceno-Pliocuaternario que funcionan como acuífero libre en las áreas donde afloran, y como acuífero confinado en aquellas donde subyacen bajo los materiales de baja permeabilidad de las marismas. El sustrato impermeable está formado por margas azules miocenas cuyo techo va disminuyendo de cota desde el Norte hacia el Sur-Sureste, al tiempo que el espesor del tramo permeable va aumentando en esa misma dirección.

De acuerdo con el mapa piezométrico elaborado por el IGME para los meses de abril-mayo de 1989 (figura 9.4.4.2), el límite entre las masas de agua subterránea Condado y Almonte-Marismas del Guadalquivir coincide, a grandes rasgos, con divisorias hidrogeológicas dentro del acuífero. Esto quiere decir que las posibles transferencias laterales que puedan existir entre estas dos masas de agua subterránea van a ser de escasa entidad respecto a sus recursos, de modo que las entradas medias estimadas para la masa de agua subterránea Condado ($24,5 \text{ hm}^3/\text{año}$) pueden considerarse recursos 'propios', esto es, no compartidos con la masa de agua subterránea Almonte-Marismas del Guadalquivir. No obstante, es necesario hacer las mismas matizaciones que se expusieron en el apartado correspondiente a las masas de agua Lepe-Cartaya y Ayamonte:

- ✓ Esta hipótesis está basada en la interpretación del mapa de isopiezas del acuífero Almonte-Marismas correspondiente al año 1989. Así pues, en la actualidad seguirá siendo válida en la medida en que dichas isopiezas se sigan ajustando a la realidad.

- ✓ Un cambio en la distribución o intensidad de las extracciones de agua subterránea en el acuífero implicaría una alteración de la dirección y sentido del flujo subterráneo que, a su vez, se traduciría en una transferencia de recursos hacia la masa de agua subterránea que soporte las mayores extracciones.



10. PROPUESTA DE AMPLIACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA 30593. NIEBLA Y 30594. LEPE-CARTAYA

10.1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Las cuatro masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras (tabla 10.1.1 y figura 10.1.1) se definieron en 2005 en el marco de los trabajos de caracterización inicial de masas de agua subterránea, realizados en cumplimiento de los artículos 5 y 6 de la Directiva 2000/60/CE (Directiva Marco del Agua). Desde entonces, la delimitación de estas masas de agua subterránea se ha mantenido prácticamente invariable.

Código	Nombre	Superficie (km ²)
30593	NIEBLA	212,39
30594	LEPE-CARTAYA	471,92
30595	CONDADO	279,31
440001	ARACENA	63,66

Tabla 10.1.1. Masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

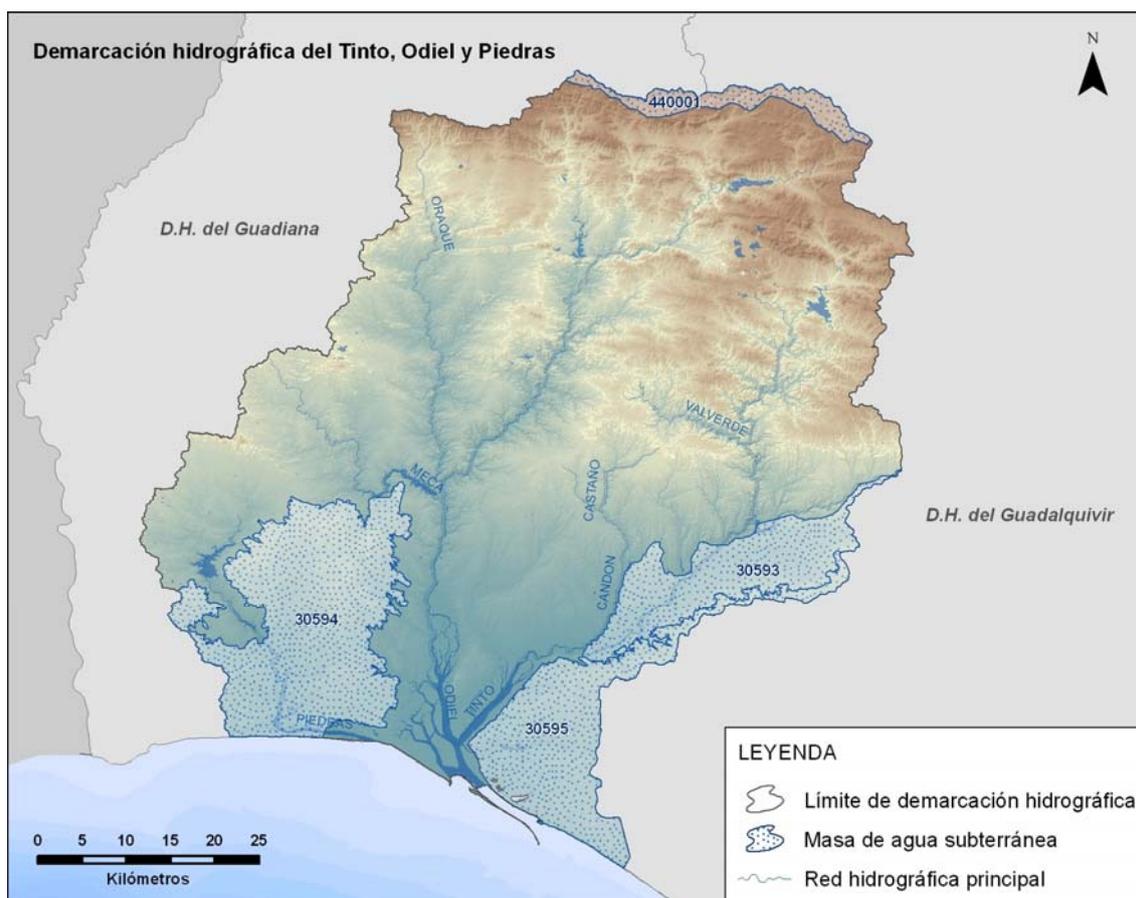


Figura 10.1.1. Localización de las masas de agua subterránea definidas actualmente en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

Los criterios seguidos para la delimitación de estas masas de agua subterránea fueron básicamente los recogidos en el informe técnico *Criterios para la identificación y delimitación de masas de agua subterránea*, elaborado en 2003 por el Ministerio de Medio Ambiente español. Algunas de las recomendaciones incluidas en este informe se presentan a continuación:

- ✓ Las *unidades hidrogeológicas* como punto de partida para la delimitación de las masas de agua subterránea.
- ✓ Definición de dos masas de agua subterránea, una por demarcación, en aquellos casos en que el acuífero o la unidad hidrogeológica esté situado en terrenos pertenecientes a dos demarcaciones hidrográficas distintas.
- ✓ Límites hidrogeológicos al flujo subterráneo como primer criterio para delimitar las masas de agua subterránea.
- ✓ En acuíferos parcialmente confinados se recomienda usar como límite de la masa de agua subterránea la línea virtual que encierra todas las captaciones de agua situadas en el sector confinado del acuífero.

Los límites de la masa de agua subterránea codificada como 30593. Niebla, tal como está definida actualmente, son, al norte, el contacto de los materiales terciarios que la constituyen con las rocas paleozoicas de baja permeabilidad del Macizo Ibérico, que afloran más al norte; al oeste, el cauce del arroyo Candón; al sur, el límite con la masa de agua subterránea 30595. Condado, trazado, a su vez, siguiendo el contacto entre las margas azules del Mioceno superior y los limos arenosos contemporáneos, y al este, la divisoria hidrográfica que separa las cuencas de los ríos Tinto y Guadalquivir.

Los materiales permeables que constituyen esta masa de agua subterránea, fundamentalmente arenas, areniscas, conglomerados y calizas del Mioceno superior, se extienden más allá del límite occidental de la masa de agua (según la delimitación actual) y funcionan como un acuífero libre o confinado, en función de la disposición de las margas azules miocenas y los depósitos cuaternarios relacionados con la dinámica fluvial del río Odiel.

Los límites que se usaron para definir la masa de agua subterránea codificada como 30594. Lepe-Cartaya, por su parte, fueron los siguientes: al sur, el océano Atlántico; al oeste, la divisoria hidrográfica que separa las cuencas de los ríos Guadiana y Piedras; al norte, el contacto con las rocas paleozoicas de baja permeabilidad del Macizo Ibérico, y al este el contacto con materiales margosos de edad Mioceno superior-Plioceno y con los depósitos aluviales cuaternarios del río Odiel.

De los dos niveles acuífero que constituyen esta masa de agua subterránea, el inferior, constituido por arenas, areniscas, conglomerados y calizas del Mioceno superior, se extiende hacia el Este más allá del límite oriental de la masa de agua subterránea, de acuerdo con su delimitación actual. En esta zona dicho nivel acuífero se encuentra confinado por margas azules miocenas y por depósitos aluviales cuaternarios.

El término *masa de agua subterránea* viene definido en el artículo 2 de la Directiva Marco del Agua como *un volumen [...] de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos*. Si se da por hecho la continuidad lateral de los acuíferos que constituyen las masas de agua subterránea Niebla (hacia el Oeste) y Lepe-Cartaya (hacia el Este), consecuentemente el volumen de aguas subterráneas contenido en ellos seguirá esa misma distribución y, por tanto, los límites de ambas masas de agua subterránea deberían ser ampliados para incluir en su interior estos volúmenes de aguas subterráneas.

Antes de que se definieran y delimitaran las masas de agua subterránea en cumplimiento de las exigencias de la Directiva 2000/60/CE, las aguas subterráneas del sector suroccidental de la provincia de Huelva se incluían en la unidad hidrogeológica 04.12. Ayamonte-Huelva. Tal y como puede comprobarse en la figura 10.1.2, esta unidad hidrogeológica comprendía las actuales masas de agua subterránea 30596. Ayamonte (demarcación hidrográfica del Guadiana) y 30594. Lepe-Cartaya (demarcación del Tinto, Odiel y Piedras), además de un amplio sector comprendido entre esta última y el río Odiel.

En el marco de los trabajos realizados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana, en abril de 2007, para la *mejora del conocimiento hidrogeológico de las unidades de la zona sur de la cuenca del Guadiana (04.808.215/0411)*, entre otras recomendaciones, se propone la redelimitación de las masas de agua subterránea codificadas como 30593. Niebla y 30594. Lepe-Cartaya, identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras y que, en cumplimiento con las disposiciones establecidas en el artículo 5 de la Directiva Marco del Agua, fueron remitidas a la Comisión Europea en el año 2005. Los motivos que llevaron a proponer la ampliación de estas masas de agua subterránea fueron, por un lado, la existencia de continuidad lateral de los acuíferos más allá de los límites actuales de las masas (hacia el Oeste en el caso de la masa de agua subterránea 30593. Niebla y hacia el Este en la masa 30594. Lepe-Cartaya), y por otro, la presencia de numerosas captaciones de agua subterránea en los sectores que se pretenden anexionar.



Figura 10.1.2. Detalle del sector suroccidental de la provincia de Huelva: límites de las masas de agua subterránea 30594. Lepe-Cartaya y 30596. Ayamonte, y de la unidad hidrogeológica 04.12. Ayamonte-Huelva

10.2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETO

Admitiendo que el funcionamiento hidrogeológico en el entorno de estas masas se ajusta a las conclusiones reflejadas en dicho estudio, y atendiendo a la justificación propuesta en el documento de síntesis para la ampliación en planta de las masas de agua subterránea se considera que, en cumplimiento con la definición del término *masa de agua subterránea* incluida en el artículo 2 de la Directiva Marco del Agua, es necesario acometer la ampliación propuesta.

Esta consideración obedece a la concepción de una masa de agua subterránea como un cuerpo tridimensional, cuya delimitación en planta se realiza por la proyección de este volumen de aguas subterráneas sobre la superficie del terreno. Por otra parte, las marismas o zonas protegidas (de valor ecológico) localizadas en los márgenes de los ríos Tinto y Odiel, no constituyen un acuífero como tal, si bien, la proyección de los acuíferos inferiores englobaría a estos sistemas.

De esta forma, la propuesta de ampliación de las masas de agua subterránea 30593. *Niebla* y 30594. *Lepe-Cartaya* se justifica debido a la existencia de acuíferos infrayacentes y, por tanto, el objeto de esta nueva delimitación no persigue la inclusión de las marismas sino la protección de estos acuíferos.

Asimismo, la modificación de estos límites se basa en las evidencias estratigráficas, corroboradas durante diversas campañas de prospección geofísica, de continuidad lateral de los materiales calcáreos y conglomeráticos del Tortoniense a ambos márgenes del río Odiel.

10.3. ESTRATIGRAFÍA DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA AMPLIADAS

10.3.1. MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 30593. NIEBLA

La masa de agua subterránea codificada como 30593. *Niebla* está constituida por areniscas y calizas bioclásticas, que funcionan como un acuífero libre y único en la parte septentrional mientras que en la zona sur de la masa los materiales calcáreos pasan a presentar un funcionamiento confinado debido al acuñamiento de las margas azules, citadas en la descripción estratigráfica de la masa 30594. *Lepe-Cartaya*, entre ambos conjuntos de materiales. La base del acuífero está constituida por los materiales del Carbonífero que funcionan como límite impermeable.

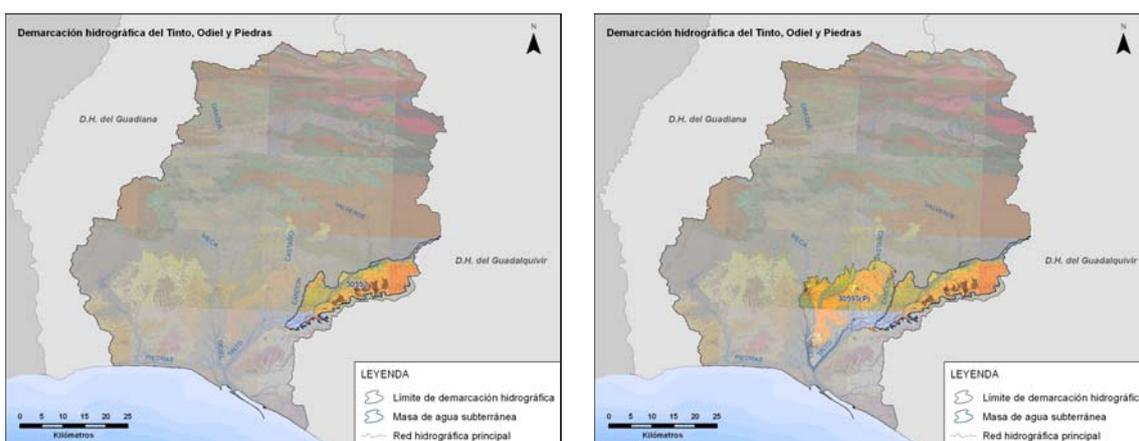


Figura 10.3.1.1. Propuesta de ampliación de la masa 30593. *Niebla*, sobre cartografía geológica (Serie MAGNA, E.: 1:50.000)

Por otra parte, el comportamiento hidrogeológico de la masa difiere entre la zona norte, donde las calcarenitas presentan un comportamiento de acuífero libre y la zona sur, en la que pasan a estar confinadas por las margas azules.

La distribución del paquete del mioceno se extiende a ambos márgenes del río Tinto con el que mantiene una débil relación de río perdedor en la zona sur de la masa, llegando hasta la margen izquierda del río Odiel, donde se propone definir el nuevo límite de la masa, coincidiendo con el límite oriental de la ampliación propuesta para la masa 30594. Lepe-Cartaya.

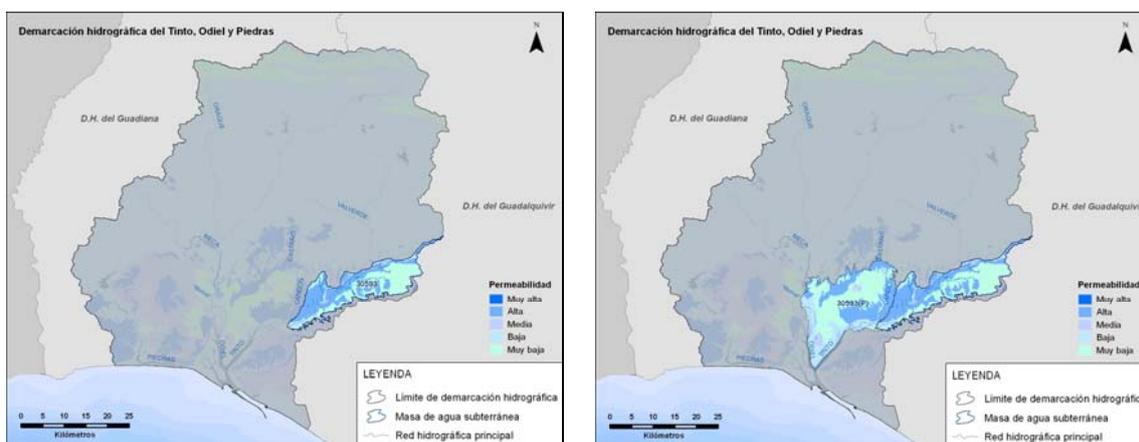


Figura 10.3.1.2. Propuesta de ampliación de la masa 30593. Niebla, sobre cartografía de permeabilidad (IGME) (Mapa litoestratigráfico y de permeabilidad de España, E.: 1:200.000)

La nueva delimitación de la masa aumentaría su superficie en 317,88 km², pasando de 212,39 a 530,27 km².

10.3.2. MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA 30594. LEPE-CARTAYA

Las grauwacas y pizarras tipo flysch del Carbonífero inferior constituyen la base impermeable del acuífero profundo identificado en la masa de agua subterránea 30594. *Lepe-Cartaya*. Sobre ellas aparece, de forma discordante, la formación de calizas y conglomerados del Tortoniense sobre los que se apoya una sucesión de niveles margosos (margas azules) que llegan a alcanzar hasta los 1.000 metros de potencia, aislando así el sistema acuífero inferior, formado por rellenos miocénicos de paleorrelieves, del acuífero superior, compuesto por los paquetes de formaciones terrígenas de edades pliocenas con cambios laterales de facies y distribución irregular en algunas de sus formaciones. Sobre ellas se distingue un paquete de sedimentos cuaternarios en forma de depósitos de marisma (arcillas y limos con niveles de materiales más groseros) en las zonas de desembocadura del río Odiel.

La disposición de estos materiales en la zona meridional del río Odiel es la siguiente: superficialmente se encuentran los depósitos de tipo marisma y bajo éstos, lentejones aislados de materiales de edades plio-pleistocenas o bien, las margas azules que se acuñan hacia el norte, donde ambos acuíferos pasan a funcionar como uno único y libre. Bajo estas margas yacen los materiales bioclásticos y terrígenos, de potencia variable, cuyos recursos son explotados mediante sondeos que atraviesan los niveles de baja permeabilidad suprayacentes.

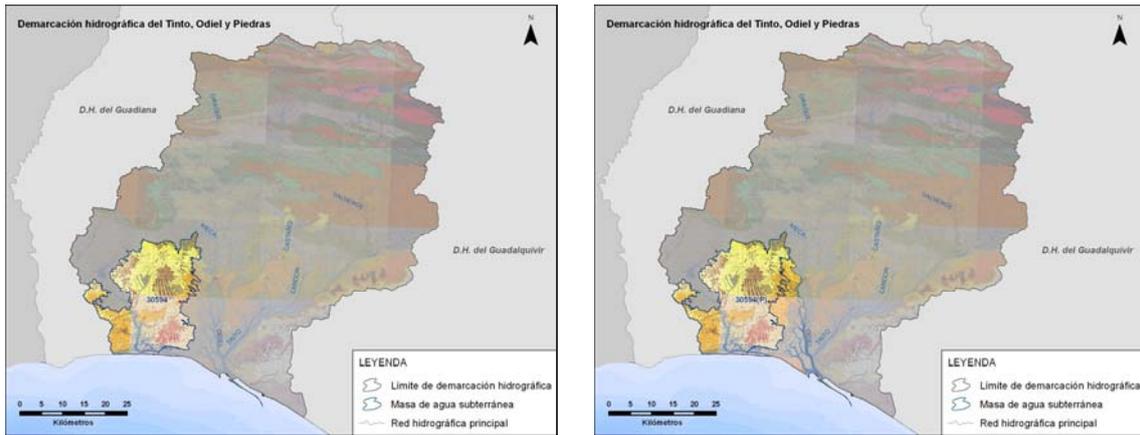


Figura 10.3.2.1. Propuesta de ampliación de la masa 30594. Lepe-Cartaya, sobre cartografía geológica (Serie MAGNA, E.: 1:50.000)

El límite actual de esta masa queda definido por el contacto entre las marismas y los depósitos terrígenos que constituyen el acuífero superficial. Los materiales detríticos mantienen conexión hidráulica con los depósitos aflorantes hacia el oeste de la marisma, así como con las calizas bioclásticas confinadas, que reciben el drenaje de los acuíferos superficiales y profundos descritos anteriormente.

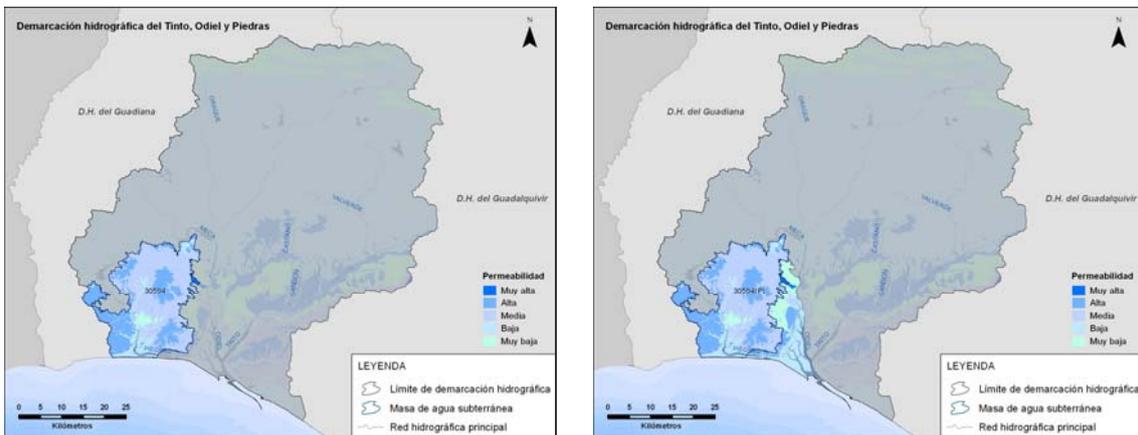


Figura 10.3.2.2. Propuesta de ampliación de la masa 30594. Lepe-Cartaya, sobre cartografía de permeabilidad (Mapa litoestratigráfico y de permeabilidad de España, E.: 1:200.000)

La nueva delimitación de la masa aumentaría su superficie en 160,5 km², pasando de 471,92 a 632,41 km².

10.4. LÍMITES CARTOGRÁFICOS

De acuerdo con la propuesta de ampliación recogida en el documento de síntesis de los trabajos de 'Mejora del conocimiento hidrogeológico de las unidades de la zona sur de la cuenca del Guadiana' (04.808.215/0411), el límite norte de las masas de agua subterránea se establece sobre el contacto con los afloramientos del Carbonífero Inferior, que funcionan como base impermeable del acuífero profundo.

El límite entre ambas masas queda definido por las marismas del río Odiel, siguiendo el curso descrito por sus canales. La marisma del río Tinto constituye el límite sureste de la masa 30593. Niebla, y el límite meridional de la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras establece la frontera sur de la masa 30594. Lepe-Cartaya.

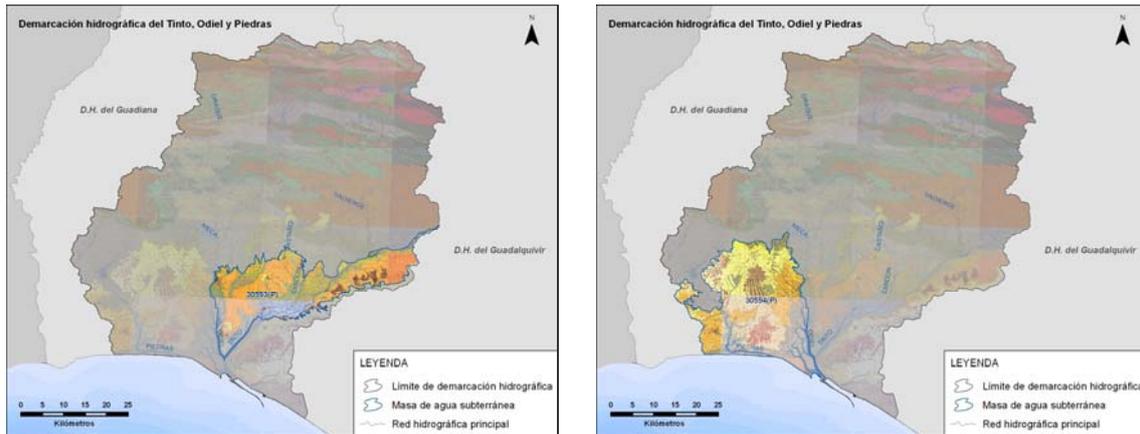


Figura 10.4.1. Propuesta de ampliación de las masas 30593. Niebla (izq.) y 30594. Lepe-Cartaya (dcha.), sobre cartografía geológica (Serie MAGNA, E.: 1:50.000; IGME)

La nueva delimitación propuesta se ha realizado utilizando como coberturas de base la cartografía geológica de la serie MAGNA (E.: 1:50.000), así como 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).

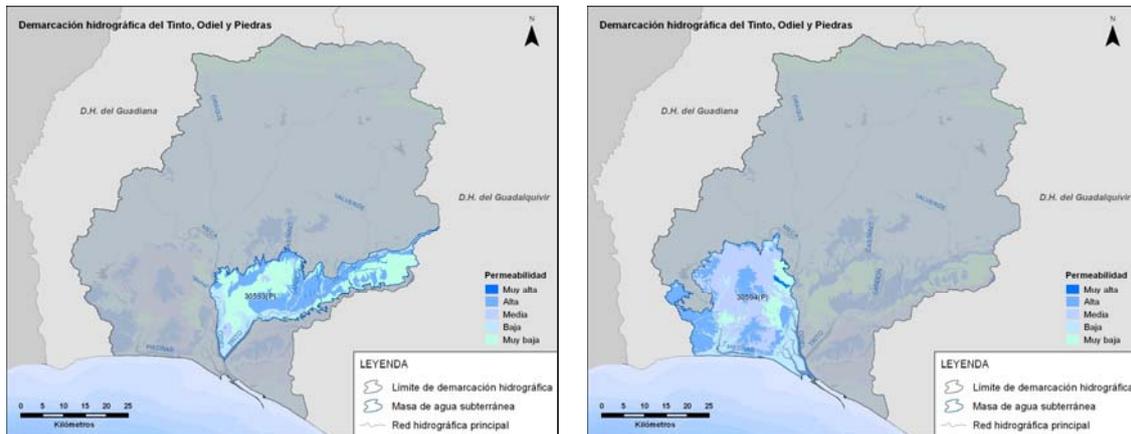


Figura 10.4.2. Propuesta de ampliación de las masas 30593. Niebla (izq.) y 30594. Lepe-Cartaya (dcha.), sobre cartografía de permeabilidad (E.: 1:200.000; IGME)

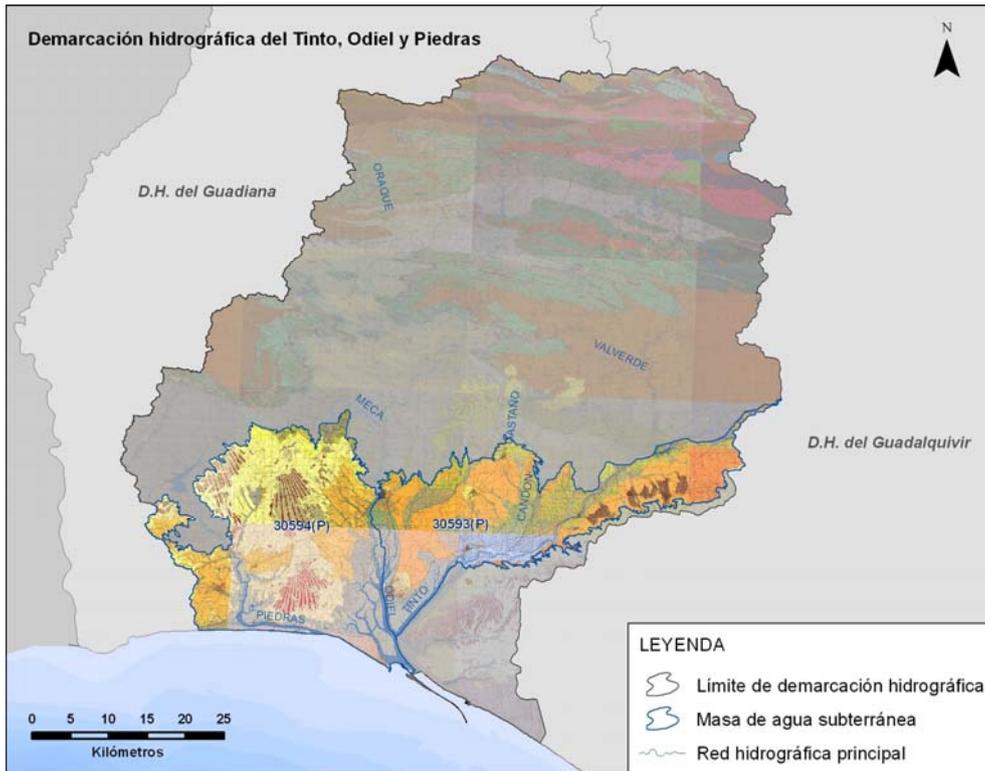


Figura 10.4.3. Propuesta de ampliación de las masas 30593. Niebla y 30594. Lepe-Cartaya, sobre cartografía geológica (Serie MAGNA, E.: 1:50.000; IGME)

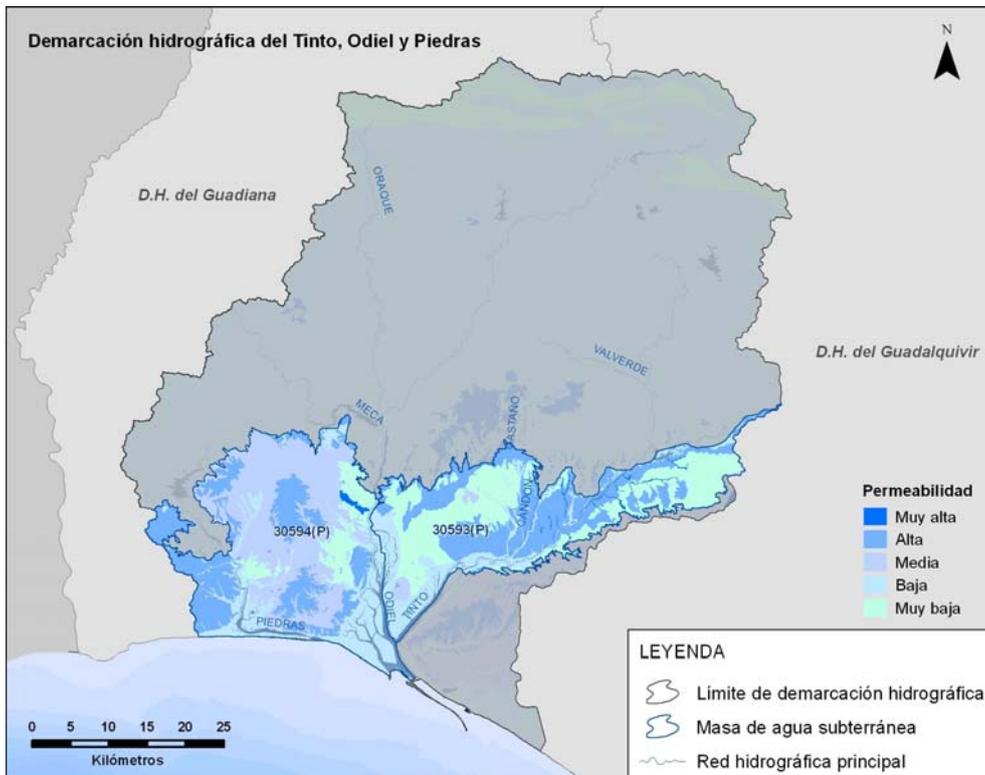


Figura 10.4.4. Propuesta de ampliación de las masas 30593. Niebla y 30594. Lepe-Cartaya, sobre cartografía de permeabilidad (E.: 1:200.000; IGME)

De acuerdo con la propuesta de ampliación de las masas de agua subterránea 30593. *Niebla* y 30594. *Lepe-Cartaya*, las principales características geométricas de las masas sufrirían modificaciones considerables, tal y como se recoge en la tabla sintética adjunta.

Nombre	Código (*)	Superficie		Perímetro (Km)	Centroide_X ED50 (m)	Centroide_Y ED50 (m)
		Área (km ²)	% respecto al área de la demarcación			
NIEBLA	30593	212,39	4,47	164,66	180667	4144569
	30593(P)	530,27	11,15	269,58	166800	4141939
LEPE-CARTAYA	30594	471,92	9,92	236,75	133500	4139450
	30594(P)	632,41	13,30	217,69	136448	4137857

(*) 30593 y 30594 son los códigos actuales asignados a las masas de agua subterránea Niebla y Lepe-Cartaya, respectivamente. La sigla (P) se corresponde con la propuesta de ampliación para cada una de las masas.

10.5. RECOMENDACIONES

Con el propósito de acometer con las máximas garantías los requerimientos estipulados 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 que establecen como marco geográfico de referencia la masa de agua subterránea, se recomienda que:

- Los programas de seguimiento del estado de las aguas subterráneas (Art. 8 de la Directiva Marco del Agua) no incluyan estaciones de control localizadas en el entorno de las marismas, salvo que éstas se proyecten y ejecuten de forma meditada, procediendo a las cementaciones y desconexiones hidráulicas pertinentes (entre las formaciones superiores e infrayacentes).
- Los programas de medidas (Art. 11 de la Directiva Marco del Agua) limiten la entrada de contaminantes al acuífero inferior que, de forma antrópica, pudiera inducir la ejecución de sondeos en el entorno de las marismas.



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional





Figura 10.5.1. Localización de zonas protegidas: reserva natural o ecológica

- Las marismas se protejan en virtud del artículo 6 de la Directiva Marco del Agua (Registro de Zonas Protegidas) y las masas de agua subterránea sean protegidas del quimismo de las aguas de las marismas; se recomienda incrementar la actividad de policía en el entorno.
- Los niveles de referencia, niveles básicos y valores umbral a definir para dar cumplimiento a la Directiva 2006/118/CE, deberán establecerse atendiendo al quimismo de las tipologías acuífero asociadas a los sistemas identificados y no a la naturaleza de las aguas asociadas a las marismas.
- Algunas componentes de los balances hidrológicos estimados para las masas de agua subterránea 30593. Niebla y 30594. Lepe-Cartaya deberán revisarse, si procede, ya que podrían verse modificadas tras la redelimitación de las masas, debido a la recarga propia de los nuevos terrenos considerados, a la relación existente con los ríos Tinto y Odiel, así como a la incorporación de numerosas captaciones de agua subterránea anteriormente no incluidas en el ámbito de la masa (con especial atención a los municipios de Gibraleón, Beas, Trigueros y San Juan del Puerto); asimismo, esto podría ocasionar la variación del índice de explotación estimado con anterioridad a la ampliación.
- Los resultados derivados de la evaluación del estado químico de las masas de agua subterránea codificadas como 30593. Niebla y 30594. Lepe-Cartaya deberán revisarse, si procede, ya que éstos podrán sufrir modificaciones tras la redelimitación de las masas a causa del incremento de la extensión de las zonas en conexión hidráulica con el litoral, sujetas a posibles procesos de intrusión marina.

11. DOCUMENTO DE SÍNTESIS

11.1. 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*, 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 11.1.1). 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.

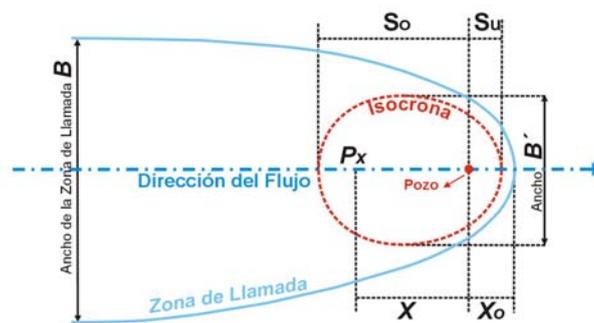


Figura 11.1.1. Determinación de las isocronas mediante la aplicación del método de Wyssling

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* 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.

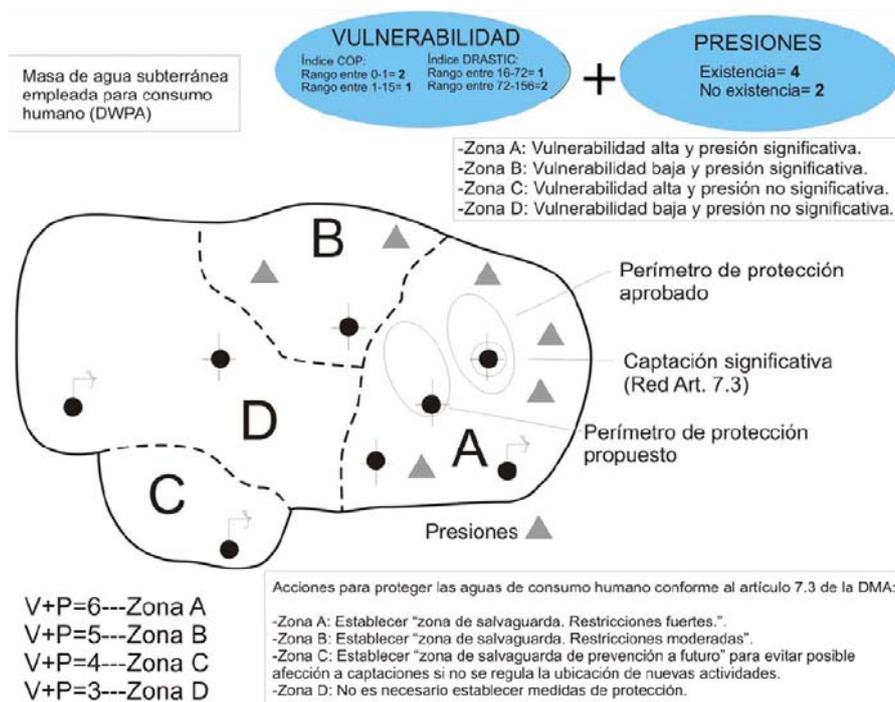


Figura 11.1.2. Metodología empleada para la delimitación de zonas de salvaguarda

La cartografía de vulnerabilidad empleada, generada en el marco de estos trabajos, proviene de la aplicación del método *DRÁSTIC reducido* (puesto que todas las masas de agua subterránea definidas en la demarcación presentan una naturaleza eminentemente 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 Tinto, Odiel y Piedras, 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) y AGMA (Base de datos de aguas subterráneas del IGME), 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 Tinto, Odiel y Piedras. 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, 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.

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 Tinto, Odiel y Piedras, 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	Tricloroetileno	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 11.1.1. 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 11.1.1). 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 de la demarcación.

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 4 masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras. 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 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).

En base a esta metodología, el cálculo de la recarga por infiltración del agua de lluvia en las masas de agua subterránea de naturaleza detrítica, 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.

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, entendiendo 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.

En el **capítulo 8** de esta memoria se describen los trabajos relativos a la elaboración de la cartografía de vulnerabilidad natural a la contaminación de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras. Dada la naturaleza (eminentemente) detrítica de todas ellas, el método utilizado para evaluar la vulnerabilidad ha sido el método DRASTIC reducido (a cinco factores).

El método DRASTIC (Aller *et al.*, 1987) ha sido ampliamente utilizado para la confección de mapas de vulnerabilidad. Este método, que en su versión original utiliza siete parámetros para la estimación de la vulnerabilidad, recibe su nombre del acrónimo constituido por las iniciales, en inglés, de las siete variables utilizadas:

- ✓ Pofundidad del agua subterránea (*Depth groundwater*)
- ✓ Recarga del acuífero (*net Recharge*)
- ✓ Material de la zona saturada (*media Aquifer*)
- ✓ Tipo de suelo (*Soil media*)
- ✓ Pendiente (*Topography*)
- ✓ Material de la zona no saturada (*Impact of the vadose zone media*)
- ✓ Conductividad hidráulica del acuífero (*hydraulic Conductivity of the aquifer*)

Cada parámetro está dividido en diferentes rangos a los cuales se les asigna una puntuación, en una escala del 1 al 10, determinada por su capacidad de atenuar la contaminación, a excepción de la recarga del acuífero cuyo valor máximo es 9.

El índice de vulnerabilidad final se obtiene tras la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{ÍNDICE DRASTIC} = \sum W_i \cdot R_i$$

donde R es el factor de puntuación y W el factor de ponderación. El resultado es un índice numérico que varía entre los valores 23 y 226, que se agrupa en 8 intervalos regulares (tabla 11.1.2).

Intervalos del índice DRASTIC
≥ 200
180 - 200
160 - 180
140 - 160
120 - 140
100 - 120
80 - 100
< 80

Tabla 11.1.2. Intervalos del índice DRASTIC

La ausencia de información cartográfica previa, unido a la redundancia derivada de la utilización de la misma información de partida para la elaboración de diferentes mapas temáticos, ha derivado en la reducción de los siete factores considerados en el método DRASTIC (original) a cinco. De esta forma, en el marco de estos trabajos se han considerado 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*)

En este caso, los valores del índice de vulnerabilidad DRASTIC están comprendidos entre 16 y 166 (a excepción de las zonas urbanizadas, puertos y espigones, a las que se les ha asignado un valor igual a cero). 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	
16-32	1	
32-47	2	
47-62	3	
62-77	4	
77-92	5	
92-107	6	
107-122	7	
122-137	8	
137-152	9	
152-166	10	

Tabla 11.1.3. Intervalos del índice DRASTIC reducido

Los objetivos planteados en el **capítulo 9** 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 Tinto, Odiel y Piedras, 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 (Guadiana y 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, entendiéndose 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).

Finalmente, en el **capítulo 10** de esta memoria se realiza una propuesta de ampliación de las masas de agua subterránea codificadas como 30593. Niebla y 30594. Lepe-Cartaya. En ambos casos se considera que la delimitación actual no incluye varios sectores en los que los respectivos acuíferos se encuentran confinados bajo materiales de menor permeabilidad y que, de acuerdo con la definición de *masa de agua subterránea* recogida en el artículo 2 de la DMA, deberían incluirse.

En el caso concreto de la masa de agua subterránea 30593. *Niebla*, el nivel acuífero principal, constituido por arenas, areniscas, conglomerados y calizas del Mioceno superior, se extiende más allá del límite occidental de la masa de agua (delimitación actual), tanto en la forma de acuífero libre como confinado bajo las margas azules miocenas y los depósitos cuaternarios relacionados con la dinámica fluvial del río Odiel.

De los dos niveles acuífero diferenciados en la masa de agua subterránea 30594. *Lepe-Cartaya*, el inferior, constituido por arenas, areniscas, conglomerados y calizas del Mioceno superior, se extiende hacia el Este más allá del límite oriental de la masa de agua subterránea, de acuerdo con su delimitación actual. En esta zona el acuífero se encuentra confinado por margas azules miocenas y por depósitos aluviales cuaternarios.

La nueva delimitación propuesta se ha establecido principalmente en función de criterios hidrogeológicos: continuidad lateral de los niveles acuíferos confinados, considerado el cauce del río Odiel como límite hidrogeológico entre las dos masas de agua subterránea. Esta redelimitación se ha realizado utilizando como información de base la cartografía geológica de la serie MAGNA a escala 1:50.000 del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), y el mapa litoestratigráfico y de permeabilidad de España a escala 1:200.000, editado por el IGME y el Ministerio de Medio Ambiente (2006).

11.2. RESULTADOS OBTENIDOS

11.2.1. DELIMITACIÓN DE PERÍMETROS DE PROTECCIÓN Y ZONAS DE SALVAGUARDA

11.2.1.1. 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 105 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 90 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 11.2.1.1.1.

		1	50	1.460	Total
Nº de perímetros		34	32	24	90
Área (km ²)	Total	0,023	0,907	15,760	16,689
	Media	0,000664	0,028	0,657	-
	Máxima	0,004927	0,172	2,394	-
	Mínima	0,000058	0,003	0,035	-

Tabla 11.2.1.1.1. Parámetros estadísticos de los perímetros de protección obtenidos

Se han obtenido 34 perímetros de protección para un tiempo de tránsito de 1 día, cuya superficie útil total asciende a unos 23.000 m². El tamaño medio es de unos 664 m², aunque el área de cada perímetro

es muy variable, entre 58 m² y 5.000 m², dependiendo de los parámetros hidráulicos estimados para la formación acuífera captada.

Para un tiempo de tránsito de 50 días se han obtenido un total de 32 perímetros, que ocupan una superficie aproximada de 0,9 km². El tamaño medio es de unos 28.000 m², aunque, al igual que en el caso anterior, existe una fuerte variabilidad, con superficies que oscilan entre algo más de 3.000 m² y 172.000 m². Por último, los recintos correspondientes a un tiempo de tránsito de 1.460 días, 24 en total, presentan un tamaño medio de 0,66 km² y una superficie total de 15,8 km². Igualmente se ha observado que existe una fuerte variabilidad en el área de los recintos obtenidos, oscilando entre 0,035 km² y 2,4 km².

Tras realizar un análisis estadístico de los datos en función de la naturaleza de la formación acuífera, se ha observado que no existe ningún dominio litológico fuertemente dominante. Por el contrario, los *depósitos cuaternarios* están pobremente representados en comparación con el resto de litologías (tabla 11.2.1.1.2).

Litología	Superficie (km ²)			Superficie (%)			Total (km ²)
	1	50	1.460	1	50	1.460	
Rocas volcánicas	0,01	0,38	4,5	0,20	7,79	92,0	4,9
Rocas plutónicas	0,01	0,22	2,5	0,19	8,18	91,6	2,7
Rocas metamórficas	0,00	0,13	2,9	0,11	4,18	95,7	3,1
Depósitos cuaternarios	0,00	0,01	0,2	0,00	3,59	96,4	0,2
Calcarenitas, conglomerados, arenas y limos marinos	0,00	0,17	5,6	0,07	2,91	97,0	5,8
Total	0,02	0,91	15,8	0,14	5,43	94,4	16,7

Tabla 11.2.1.1.2. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados

El diagrama de sectores representado en la figura 11.2.1.1.1 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 *rocas volcánicas*, seguido de *rocas plutónicas*, *depósitos marinos pliocenos* y *rocas metamórficas*.

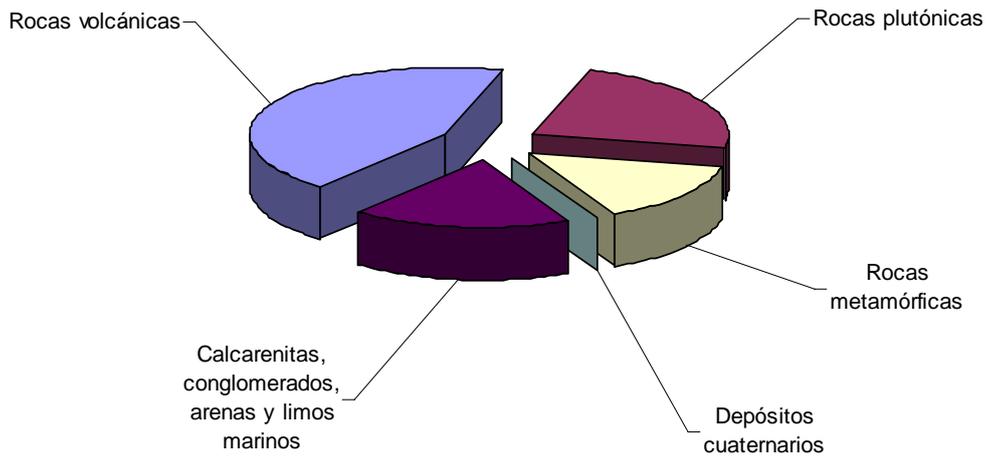


Figura 11.2.1.1.1. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados, para un tiempo de tránsito de 1 día

El diagrama de la figura 11.2.1.1.2, equivalente al de la figura anterior pero para un tiempo de tránsito de 50 días, indica una relación de proporcionalidad similar a la anterior. No obstante, se puede destacar un ligero incremento de los *sedimentos cuaternarios*, aunque globalmente siguen siendo claramente minoritarios.

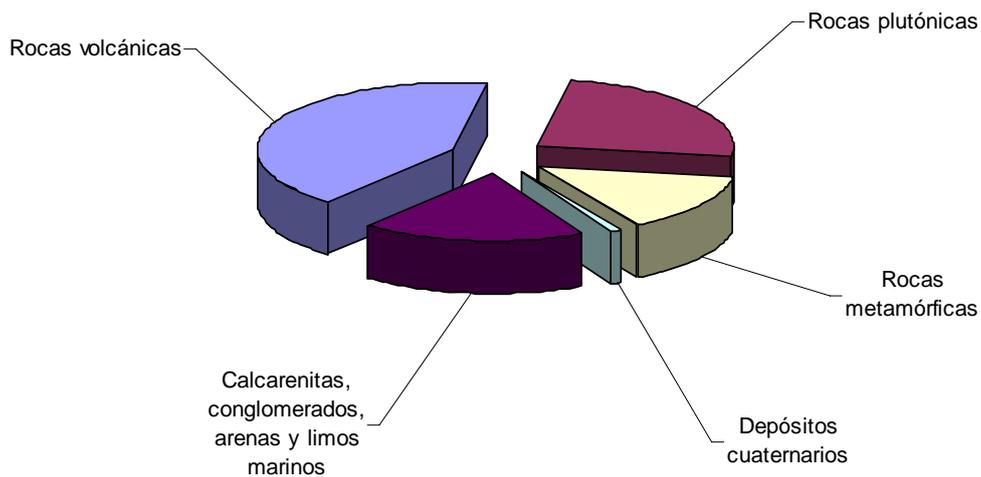


Figura 11.2.1.1.2. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados, para un tiempo de tránsito de 50 días

Finalmente, cuando se representan las superficies de los perímetros de protección delimitados para un tiempo de tránsito de 1.460 días (figura 11.2.1.1.3) se observa, una vez más, que las *rocas volcánicas*, *rocas plutónicas*, *depósitos marinos pliocenos* y *rocas metamórficas* presentan proporciones similares entre sí. Es destacable, no obstante, el crecimiento de los *depósitos pliocenos* en detrimento de las *rocas volcánicas*. La proporción de *sedimentos cuaternarios* se mantiene aproximadamente constante.

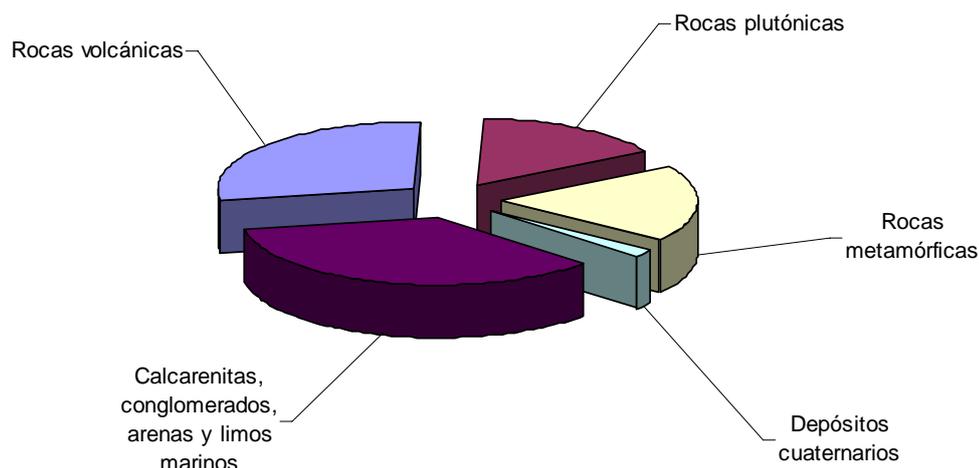


Figura 11.2.1.1.3. Distribución litológica de los perímetros de protección delimitados, para un tiempo de tránsito de 1.460 días

Por lo que respecta a los perímetros de protección de la cantidad, inicialmente se han delimitado un total de 35 perímetros, uno para cada captación, utilizando los métodos descritos en el apartado 11.1. 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 23 (tabla 11.2.1.1.3), cuyas superficies media y total ascienden a 0,5 y 10,3 km² respectivamente.

Nº de perímetros		23
Área (km ²)	Total	10,3
	Media	0,5
	Máxima	2,0
	Mínima	0,26

Tabla 11.2.1.1.3. Parámetros estadísticos de los perímetros de protección delimitados

En la tabla 11.2.1.1.4 y en la figura 11.2.1.1.4 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, no existe una litología claramente dominante. Tan sólo se puede destacar la baja proporción que representan los *depósitos cuaternarios*.

Litología	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Rocas volcánicas	3,6	34,4
Rocas plutónicas	2,0	19,4
Rocas metamórficas	2,1	20,8

Litología	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Depósitos cuaternarios	0,1	1,4
Calcarenitas, conglomerados, arenas y limos marinos	2,5	24,1
Total	10,3	100,0

Tabla 11.2.1.1.4. Distribución litológica de los perímetros de protección de la cantidad delimitados

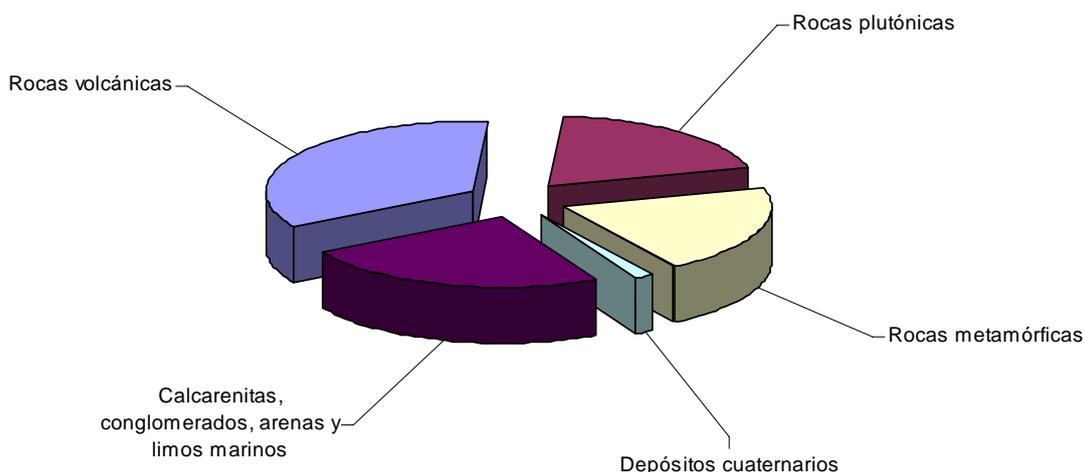


Figura 11.2.1.1.4. Distribución litológica de los perímetros de protección de la cantidad delimitados

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 dos puntos singulares inventariados por el IGME en el ámbito de la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras, 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 11.2.1.1.5.

Nombre	UTM X(ED50)	UTM Y(ED50)	Provincia	Municipio	Masa de agua subterránea
Fuente Peña de Arias Montano	177519	4198819	Huelva	Alájar	MASb. 440001. Arcena
Fuente de los Tres Caños	172636	4197553	Huelva	Santa Ana la Real	MASb. 440001. Arcena

Tabla 11.2.1.1.5. 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 11.2.1.1.6 se presenta una breve descripción de las restricciones impuestas en cada una de estas zonas.

TIPO DE ZONA
<p><u>Zona Tipo A (Restricciones fuertes)</u></p> <p>La Autoridad competente deberá valorar la viabilidad de NO AUTORIZAR captaciones adiciones ni actividades potencialmente contaminantes.</p>
<p><u>Zona Tipo B (Limitaciones específicas)</u></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><u>Zona Tipo C (Masa en riesgo de sobreexplotación)</u></p> <p>No autorizadas captaciones adicionales; valorar la viabilidad de no autorizar actividades potencialmente contaminantes.</p>
<p><u>Zona Tipo D (Sector de la masa de agua con riesgo de sobreexplotación)</u></p> <p>No autorizadas captaciones adicionales; valorar la viabilidad de no autorizar actividades potencialmente contaminantes.</p>

Tabla 11.2.1.1.6. Tipología de zonaciones y recomendaciones propuestas en cada zona

Por lo que respecta a las litologías incluidas en las zonaciones delimitadas para la protección de la calidad, no se ha reconocido ninguna que predomine sobre las demás (tabla 11.2.1.1.7).

Litología	Superficie (km ²)			Superficie (%)		
	1	50	1.460	1	50	1.460
Calizas, dolomías y mármoles	-	0,85	0,85	-	50,00	50,00
Pizarras, areniscas y cuarcitas	-	-	0,03	-	-	100,00
Rocas volcánicas	0,03	0,29	1,34	1,86	17,37	80,77
Total	0,03	1,13	2,22	0,91	33,51	65,58

Tabla 11.2.1.1.7. Distribución litológica de las zonaciones delimitadas para la protección de la calidad en los lugares de interés hidrogeológico

En las figuras 11.2.1.1.5, 11.2.1.1.6 y 11.2.1.1.7 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 las zonaciones delimitadas comprenden exclusivamente *rocas volcánicas*; para un tiempo de 50 días predominan los *materiales carbonatados*, y si se consideran las zonaciones para 1.460 días, las *rocas volcánicas* vuelven a ser la litología más frecuente, seguida de una proporción significativa de *rocas carbonatadas*.

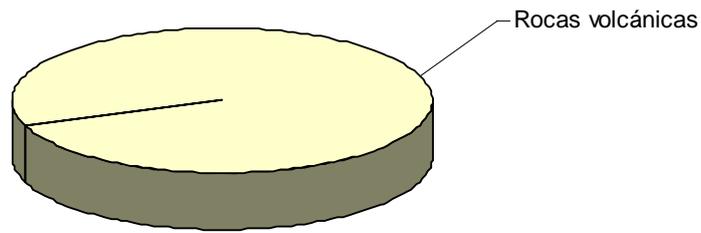


Figura 11.2.1.1.5. Distribución litológica de la zona de protección delimitada, para un tiempo de tránsito de 1 día

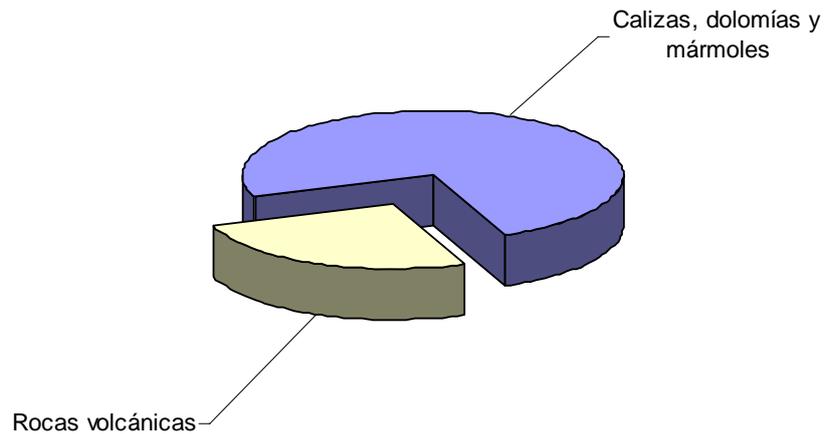


Figura 11.2.1.1.6. Distribución litológica de la zona de protección delimitada, para un tiempo de tránsito de 50 días

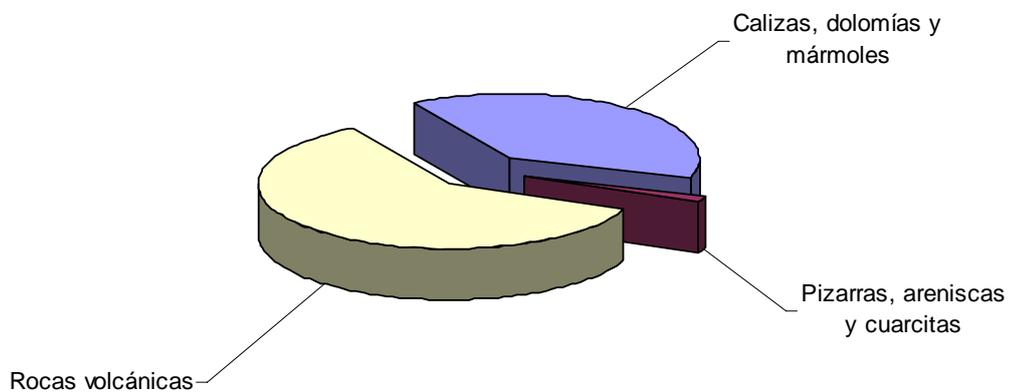


Figura 11.2.1.1.7. Distribución litológica de la zona de protección delimitada, para un tiempo de tránsito de 1.460 días

Por lo que respecta a las zonaciones para la protección de la cantidad en los lugares de interés hidrogeológico, se observa que las litologías dominantes son las *rocas volcánicas*, con un 60%, seguidas de los *afloramientos carbonatados* (38%); (tabla 11.2.1.1.8 y figura 11.2.1.1.8). El resto, algo más de un 1%, se corresponde con *afloramientos de pizarras, areniscas y cuarcitas*.

Litología	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Calizas, dolomías y mármoles	0,8	38,1
Pizarras, areniscas y cuarcitas	0,0	1,5
Rocas volcánicas	1,3	60,4
Total	2,2	100,0

Tabla 11.2.1.1.8. Distribución litológica de las zonaciones para la protección de la cantidad

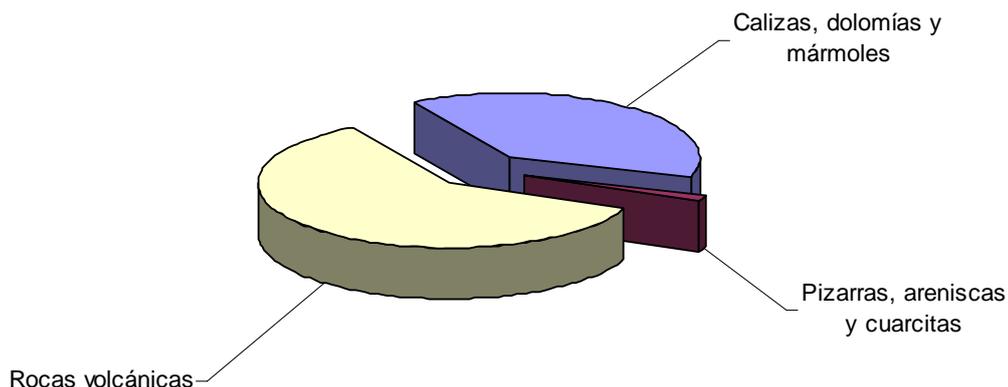


Figura 11.2.1.1.8. Distribución litológica de las zonaciones para la protección de la cantidad

11.2.1.2. Delimitación de zonas de salvaguarda

En la tabla 11.2.1.2.1 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	
30593	NIEBLA	27,8	16,5	69,2	95,5	13,1	7,8	32,6	45,0	212,4
30594	LEPE - CARTAYA	53,8	91,8	67,3	251,5	11,4	19,5	14,3	53,3	471,9
30595	CONDADO	64,3	25,4	123,3	63,2	23,0	9,1	44,1	22,6	279,3
440001	ARACENA	1,2	2,4	8,0	52,0	2,0	3,7	12,6	81,7	63,7
Total		147,1	136,1	267,8	462,2	14,3	13,2	26,1	45,0	1.027,3

(*) Incluye el área o extensión ocupada por aguas superficiales

Tabla 11.2.1.2.1. Superficie de las zonas de salvaguarda delimitadas, por masa de agua subterránea

Se constata que la mayor parte de las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras presentan una *vulnerabilidad baja o moderada* o bien presiones no significativas, puesto que existe un claro predominio de las zonas C y D (tabla 11.2.1.2.1).

En la figura 11.2.1.2.1 se presenta un mapa de la demarcación con las zonas de salvaguarda delimitadas, distribuidas en función de las cuatro categorías consideradas.

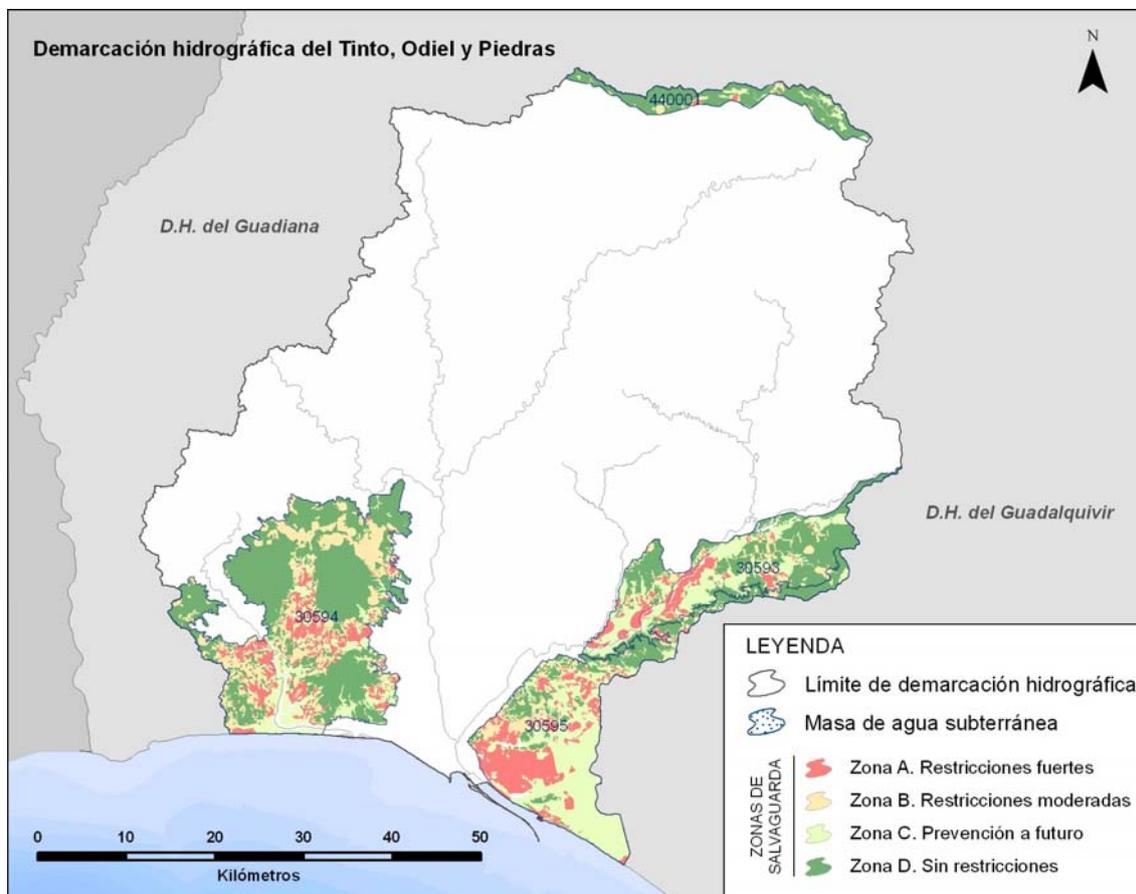


Figura 11.2.1.2.1. Zonas de salvaguarda delimitadas en la D.H. del Tinto, Odiel y Piedras

En la tabla 11.2.1.2.2 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 (Mioceno)	12,7	16,2	30,9	70,0	9,8	12,5	23,8	53,9	129,9
Calizas, dolomías y mármoles	0,1	0,0	0,9	1,0	2,9	1,2	45,0	50,9	2,0
Gravas, arenas, arcillas y limos (Cuaternario)	57,9	41,0	131,0	125,4	16,3	11,5	36,9	35,3	355,3
Margas, arenas y limos (Plioceno)	73,6	73,0	94,3	192,3	17,0	16,9	21,8	44,4	433,2

Litología	Superficie (km ²)				Superficie (%)				Total (km ²)
	A	B	C	D	A	B	C	D	
Pizarras, areniscas y cuarcitas hercínicas	1,6	3,6	3,6	22,6	5,0	11,5	11,5	72,0	31,4
Rocas metamórficas	0,0	0,0	2,2	6,5	0,4	0,1	25,0	74,5	8,8
Rocas plutónicas	0,3	0,2	0,3	1,9	11,0	7,6	9,8	71,6	2,7
Rocas volcánicas	0,9	2,1	4,7	42,4	1,8	4,2	9,4	84,7	50,1
Total	147,1	136,1	267,8	462,2	14,5	13,4	26,4	45,6	1.013,3

Tabla 11.2.1.2.2. Superficie de las zonas de salvaguarda delimitadas respecto a las litologías aflorantes

En las zonas de salvaguarda tipo A (figura 11.2.1.2.2) las litologías dominantes son los *limos y arenas del Plioceno* y las *gravas, arenas y arcillas del cuaternario*, lo cual es coherente con la elevada vulnerabilidad a la contaminación natural que presentan 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.

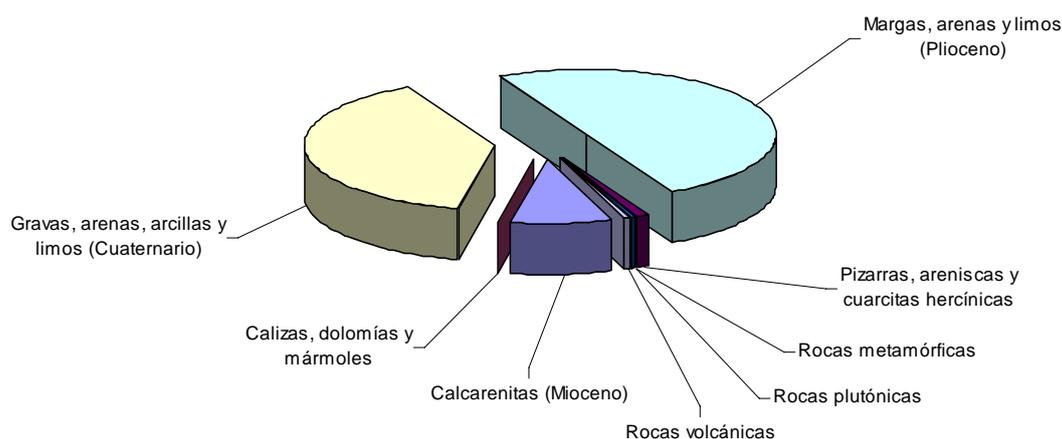


Figura 11.2.1.2.2. Distribución relativa de las litologías en las zonas de salvaguarda tipo A

En las zonas de salvaguarda tipo B (figura 11.2.1.2.3) se observa un patrón similar al anterior, con predominio de los *limos y arenas del Plioceno*, seguido de los *depósitos cuaternarios* como litología predominante.

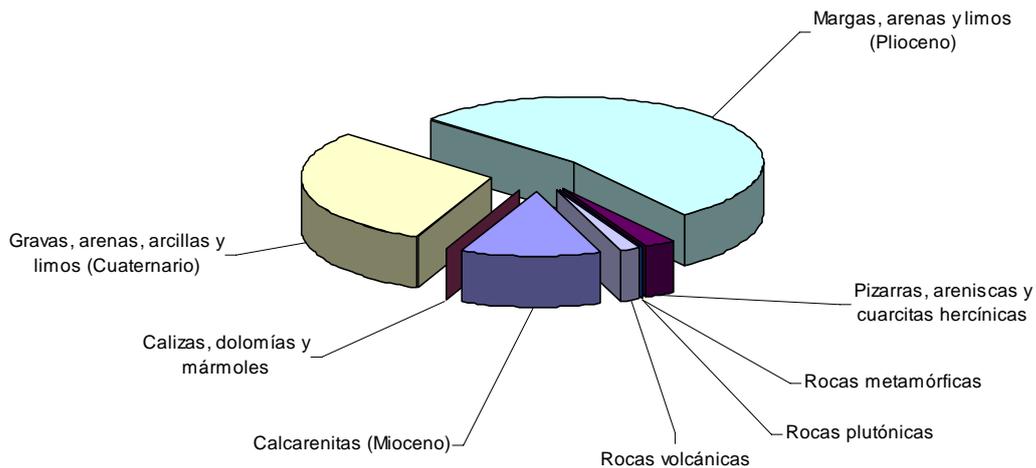


Figura 11.2.1.2.3. Distribución relativa de las litologías en las zonas de salvaguarda tipo B

Por lo que respecta a la distribución litológica de las zonas tipo C (figura 11.2.1.2.4), se observa que los *sedimentos cuaternarios* son los más frecuentes, seguidos de los *limos y margas* pliocenos y las *calcarenitas* del Mioceno. 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 significativas, previsiblemente por cuestiones de tipo socioeconómico, como la predominancia de cultivos de secano o la presencia de grandes masas forestales.

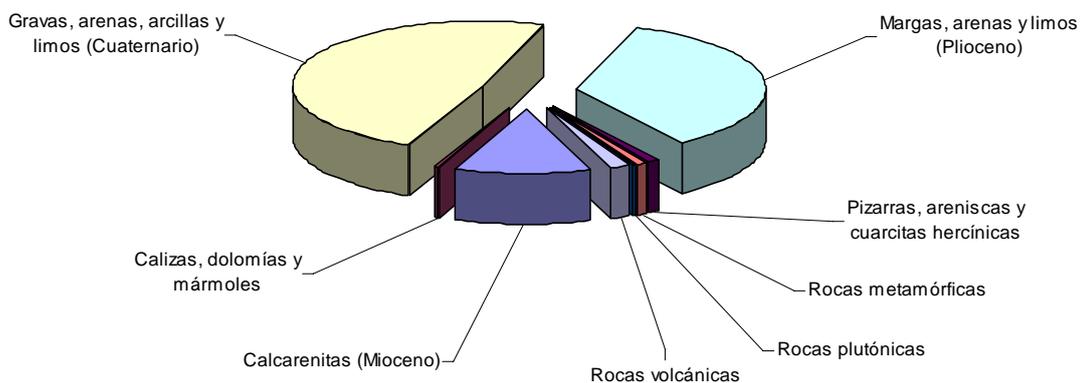


Figura 11.2.1.2.4. Distribución relativa de las litologías en las zonas de salvaguarda tipo C

Finalmente, en la figura 11.2.1.2.5, relativa a las zonas de salvaguarda tipo D, se observa el predominio de los *depósitos detríticos marinos del Plioceno* y, en menor medida, de los *materiales detríticos del Cuaternario*. Se trata, en este caso, de zonas no sometidas a presiones en las que afloran materiales con una vulnerabilidad a la contaminación menor.

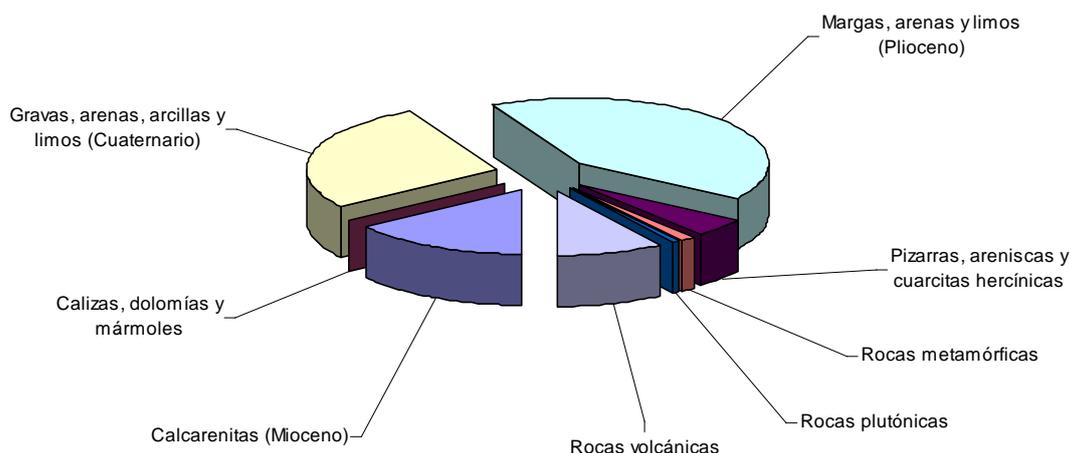


Figura 11.2.1.2.5. Distribución relativa de las litologías en las zonas de salvaguarda tipo D

11.2.2. IDENTIFICACIÓN DE ACUÍFEROS DE INTERÉS LOCAL

En la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras se han identificado y delimitado seis acuíferos de interés local, cuyas principales características se presentan en la tabla 11.2.2.1. La localización de cada uno de ellos en el ámbito de la demarcación se muestra, a su vez, en la figura 11.2.2.1.

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.1.01	VALVERDE DEL CAMINO	42,73	Lavas, aglomerados, tobas, tufitas y pizarras	Vulcano-sedimentario/ baja permeabilidad	Fisuración/ fracturación	Libre
062.1.02	ALOSNO	35,36	Lavas, aglomerados, brechas, tobas, tufitas y pizarras	Vulcano-sedimentario/ baja permeabilidad	Fisuración/ fracturación	Libre
062.1.03	LOS CRISTOS	1,99	Conglomerados, arenas y limos del Mioceno superior	Detrítico	Porosidad intergranular	Libre
062.1.04	VILLANUEVA DE LOS CASTILLEJOS	15,18	Lavas, brechas, tobas, tufitas, pizarras, diabasas, areniscas y cuarcitas	Vulcano-sedimentario/ baja permeabilidad	Fisuración/ fracturación	Libre
062.1.05	EL PUENTE	3,88	Conglomerados, arenas y limos del Mioceno superior	Detrítico	Porosidad intergranular	Libre
062.1.06	FUENTE DE LA CORCHA	38,18	Conglomerados, arenas y limos del Mioceno superior, y conglomerados y arenas del Cuaternario	Detrítico	Porosidad intergranular	Libre

Tabla 11.2.2.1. Acuíferos de interés local identificados y definidos en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, con indicación de su extensión, litología, naturaleza y características hidrogeológicas básicas

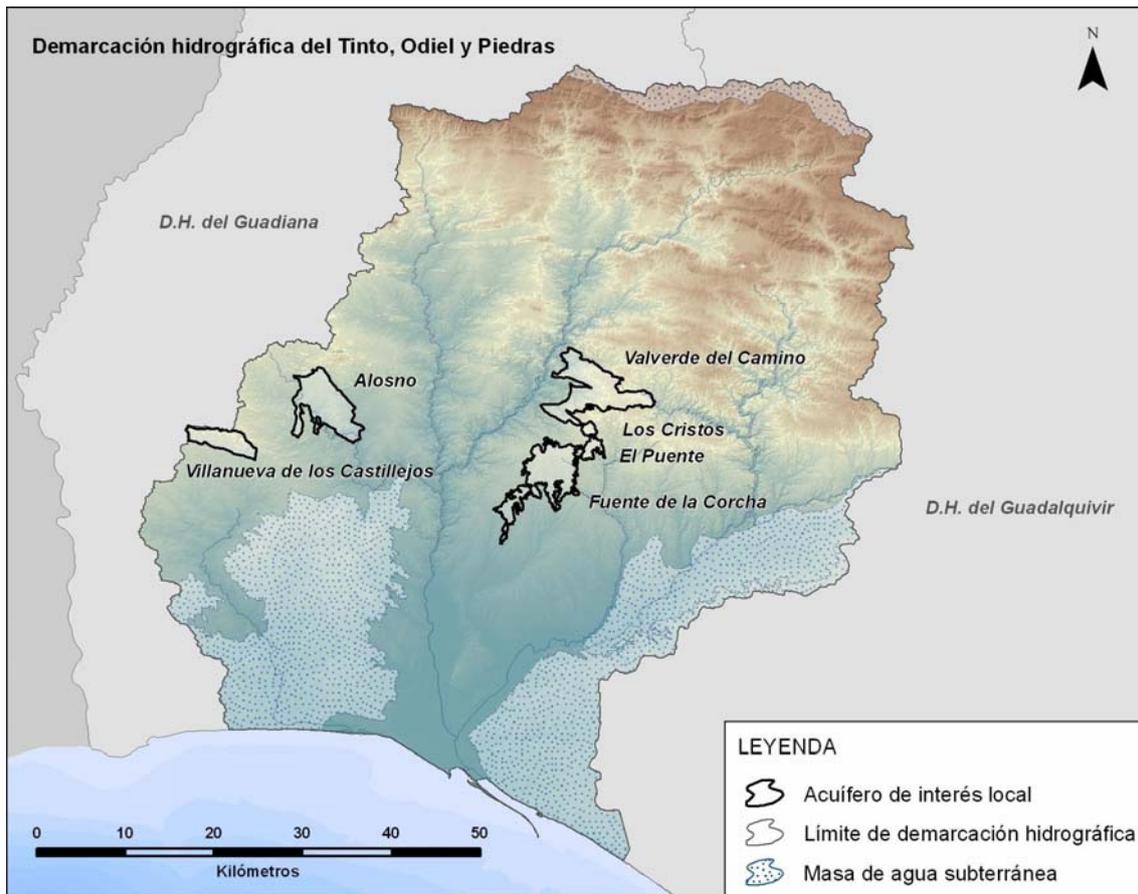


Figura 11.2.2.1. Localización de los acuíferos de interés local identificados en la D.H. del Tinto, Odiel y Piedras

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:

✓ **062.1.01. VALVERDE DEL CAMINO**

Es el acuífero de interés local más septentrional de los definidos en la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras. Está situado al Noroeste de la masa de agua subterránea codificada como 30593. Niebla, e inmediatamente al Norte del acuífero local 062.1.03. Los Cristos (figura 11.2.2.2). Está constituido principalmente por lavas, tobas y aglomerados, y sus límites corresponden al contacto con pizarras, grauwacas y cuarcitas paleozoicas.

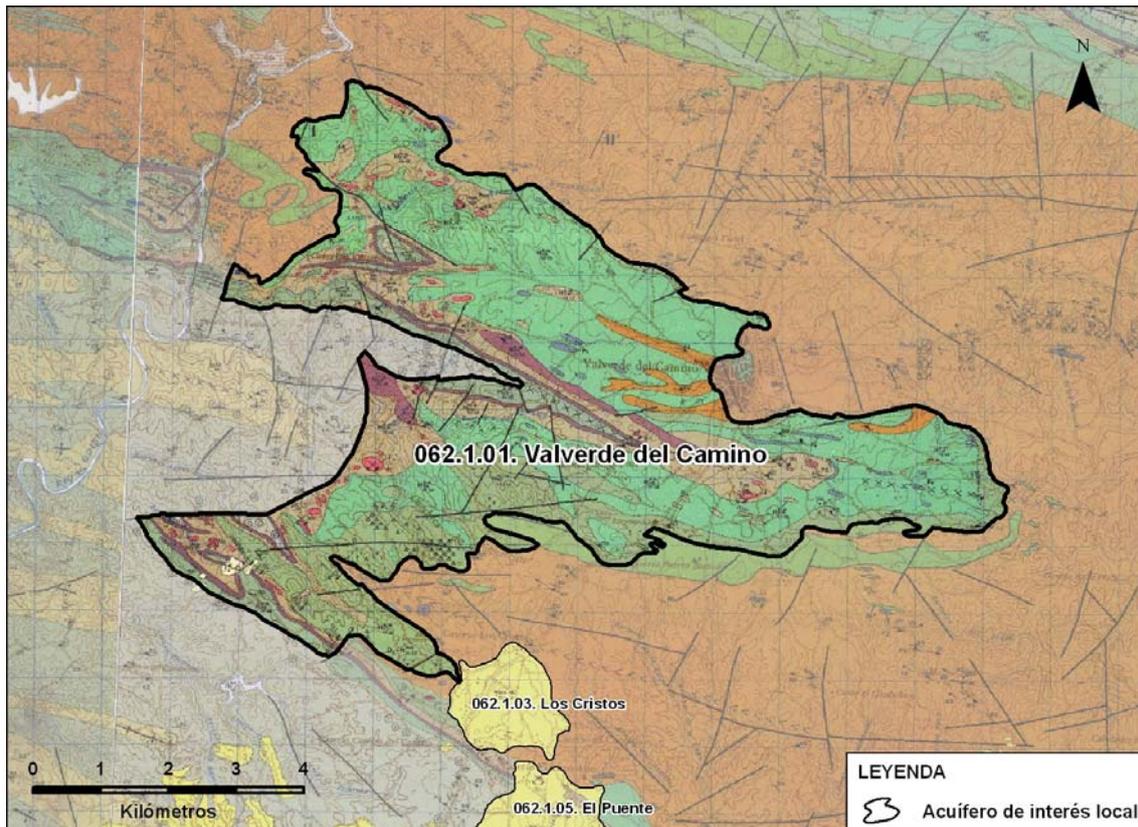


Figura 11.2.2.2. Acuífero de interés local 062.1.01. Valverde del Camino

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.1.01	VALVERDE DEL CAMINO	42,73	Lavas, aglomerados, tobas, tufitas y pizarras	Vulcano-sedimentario/baja permeabilidad	Fisuración/fracturación	Libre

Debido a la naturaleza poco permeable de los materiales que constituyen el acuífero, no ha sido posible estimar un valor de recarga media anual. En este acuífero el agua circula principalmente por fisuras y fracturas, lo cual permite la extracción (localizada) de pequeños volúmenes de agua. En cualquier caso, se estima que los recursos de agua subterránea del acuífero son muy limitados.

✓ **062.1.02. ALOSNO**

El acuífero se localiza al Norte de la masa de agua subterránea codificada como 30594. Lepe-Cartaya, en concreto en las inmediaciones de la localidad de Alosno. Está constituido por un conjunto heterogéneo de litologías que incluye lavas, aglomerados, brechas, tobas, tufitas y pizarras paleozoicas. Sus límites coinciden con contactos litológicos, principalmente con pizarras del Devónico y del Carbonífero superior, y mecánicos -fallas- (figura 11.2.2.3).

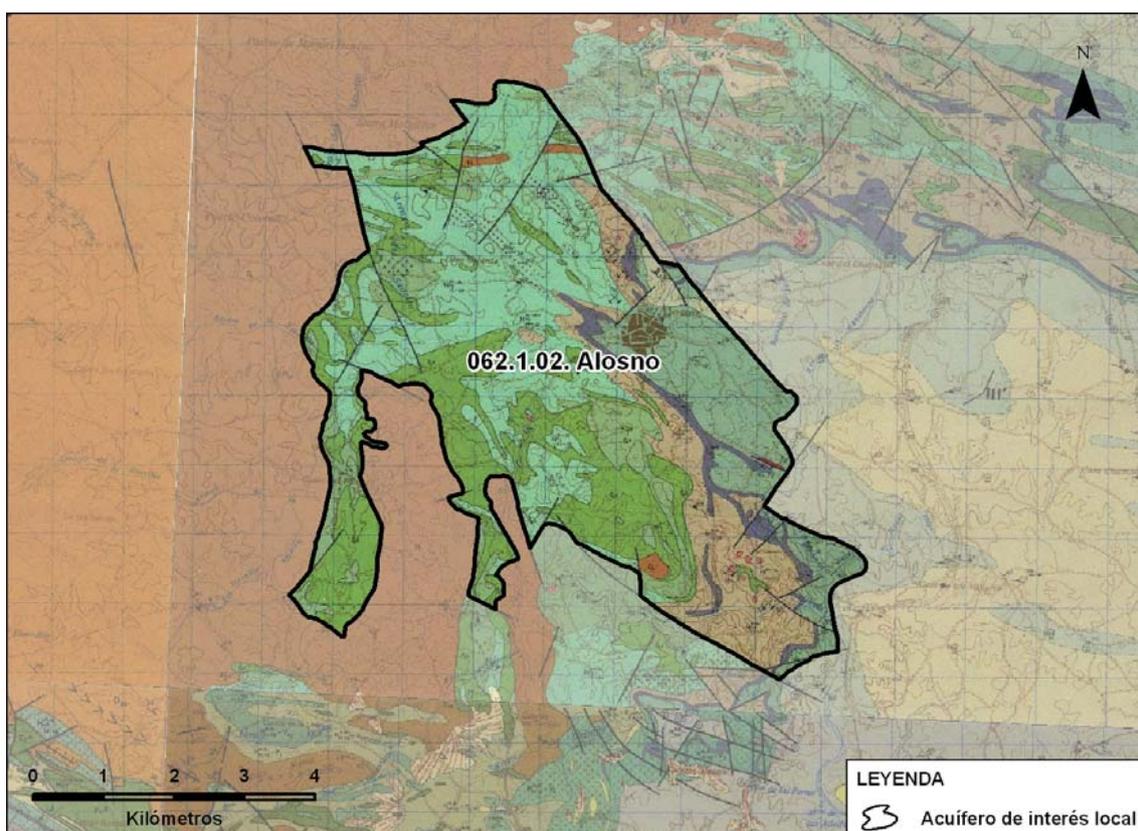


Figura 11.2.2.3. Acuífero de interés local 062.1.02. Alosno

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLÓGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.1.02	ALOSNO	35,36	Lavas, aglomerados, brechas, tobas, tufitas y pizarras	Vulcano-sedimentario/baja permeabilidad	Fisuración/fracturación	Libre

Al igual que el acuífero de interés local codificado como 062.1.01. Valverde del Camino, el acuífero de Alosno está constituido por materiales de baja permeabilidad en los que la infiltración y circulación del agua se produce a través de fracturas. Aunque no ha sido posible estimar un valor de recarga media para este acuífero, se considera que el volumen de agua subterránea explotable es muy limitado.

✓ **062.1.03. LOS CRISTOS**

Se trata de un pequeño afloramiento de conglomerados, arenas y limos miocenos de unos 2 km² de superficie, situado al Sur del acuífero 062.1.01. Valverde del Camino (figura 11.2.2.4). Sus límites se han trazado siguiendo el contacto litológico en superficie entre los materiales miocenos y las formaciones paleozoicas circundantes.

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLÓGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.1.03	LOS CRISTOS	1,99	Conglomerados, arenas y limos del Mioceno superior	Detrítico	Porosidad intergranular	Libre

Considerando una precipitación media de 650 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), una superficie aflorante de material permeable de 1,99 km² y un coeficiente de infiltración comprendido entre un 10 y un 15%, se puede estimar una recarga media anual de 0,1-0,2 hm³/año, coherente con la escasa extensión del acuífero y la permeabilidad moderada de los materiales que lo constituyen. No obstante, es necesario incluir una matización relativa al posible aprovechamiento de estos recursos. El acuífero de Los Cristos está constituido por materiales permeables depositados sobre un sustrato paleozoico de baja permeabilidad. Esto condiciona que el espesor de los materiales que conforman el acuífero sea limitado y que éstos, además, no presenten continuidad lateral, lo que favorece un flujo subterráneo de tipo radial cuya descarga presenta un carácter más difuso que concentrado. Todo ello provoca, en definitiva, que el acuífero presente una capacidad de regulación de sus recursos hídricos bastante limitada, lo cual dificulta, a su vez, su aprovechamiento.

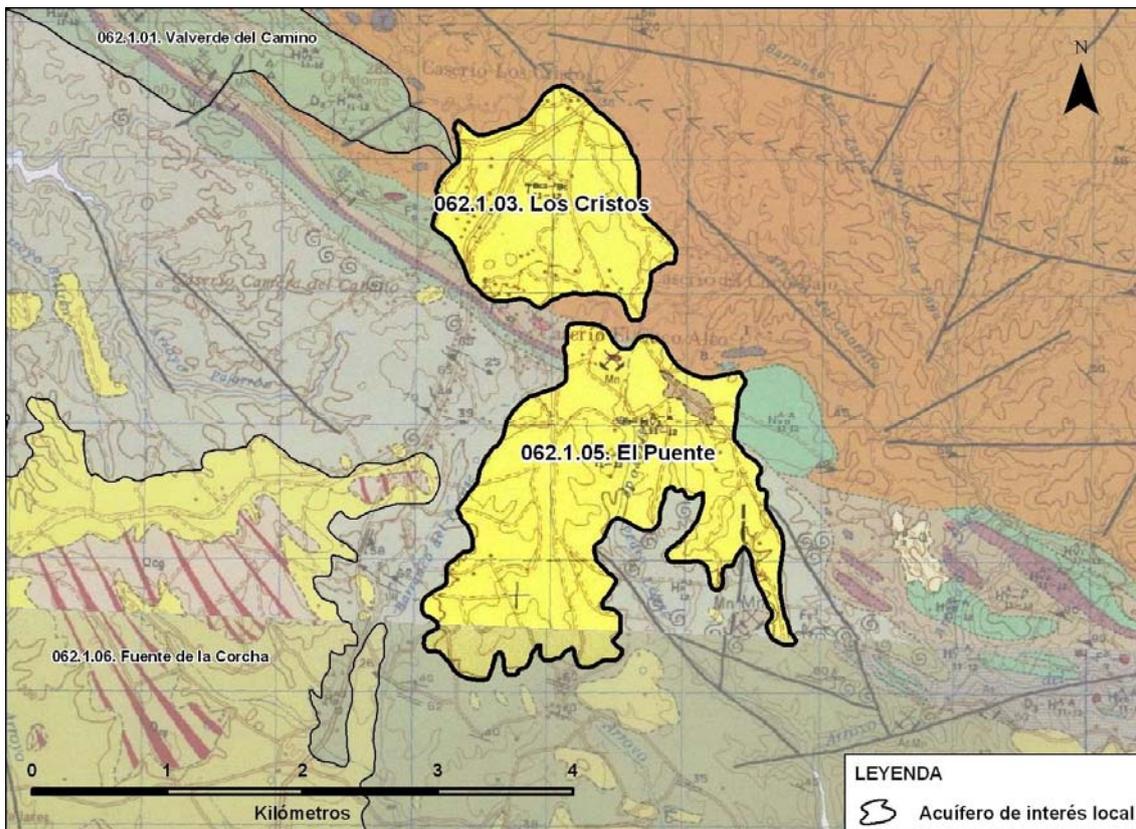


Figura 11.2.2.4. Acuíferos de interés local 062.1.03. Los Cristos y 062.1.05. El Puente

✓ **062.1.05. EL PUENTE**

El acuífero de interés local 062.1.05. El Puente se localiza al Sur del acuífero de Los Cristos y al Este del de Fuente de la Corcha (062.1.06); ver figura 11.2.2.4.

Se trata de un afloramiento de conglomerados, arenas y limos del Mioceno superior desconectado hidráulicamente de los dos acuíferos adyacentes por materiales paleozoicos. Los límites del acuífero coinciden con los del afloramiento de materiales miocenos.

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.1.05	EL PUENTE	3,88	Conglomerados, arenas y limos del Mioceno superior	Detrítico	Porosidad intergranular	Libre

La recarga media de este acuífero se estima en 0,2-0,4 hm³/año, resultado de considerar una precipitación media anual de 650 mm/año (obtenida del Modelo SIMPA(2)), un coeficiente de infiltración comprendido entre el 10 y el 15% y una superficie permeable aproximada de 3,9 km².

El funcionamiento de este acuífero se asemeja al de Los Cristos (062.1.03) puesto que se trata igualmente de un afloramiento permeable de escasa extensión que descansa sobre un sustrato de baja permeabilidad constituido por rocas paleozoicas. Así pues, la capacidad de regulación del acuífero se estima bastante limitada, lo cual podría dificultar su aprovechamiento mediante captaciones de agua subterránea.

✓ **062.1.04. VILLANUEVA DE LOS CASTILLEJOS**

El acuífero de interés local se localiza en el borde occidental de la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, al Noroeste de la masa de agua subterránea codificada como 30594. Lepe-Cartaya.

Está constituido por un conjunto heterogéneo de litologías (lavas, brechas, tobas, tufitas, pizarras, diabasas, areniscas y cuarcitas) limitadas por pizarras del Devónico y Carbonífero que se extienden hacia el Norte y el Sur respectivamente (figura 11.2.2.5). El borde occidental del acuífero y parte del septentrional corresponden al límite entre las demarcaciones hidrográficas del Tinto, Odiel y Piedras y del Guadiana.

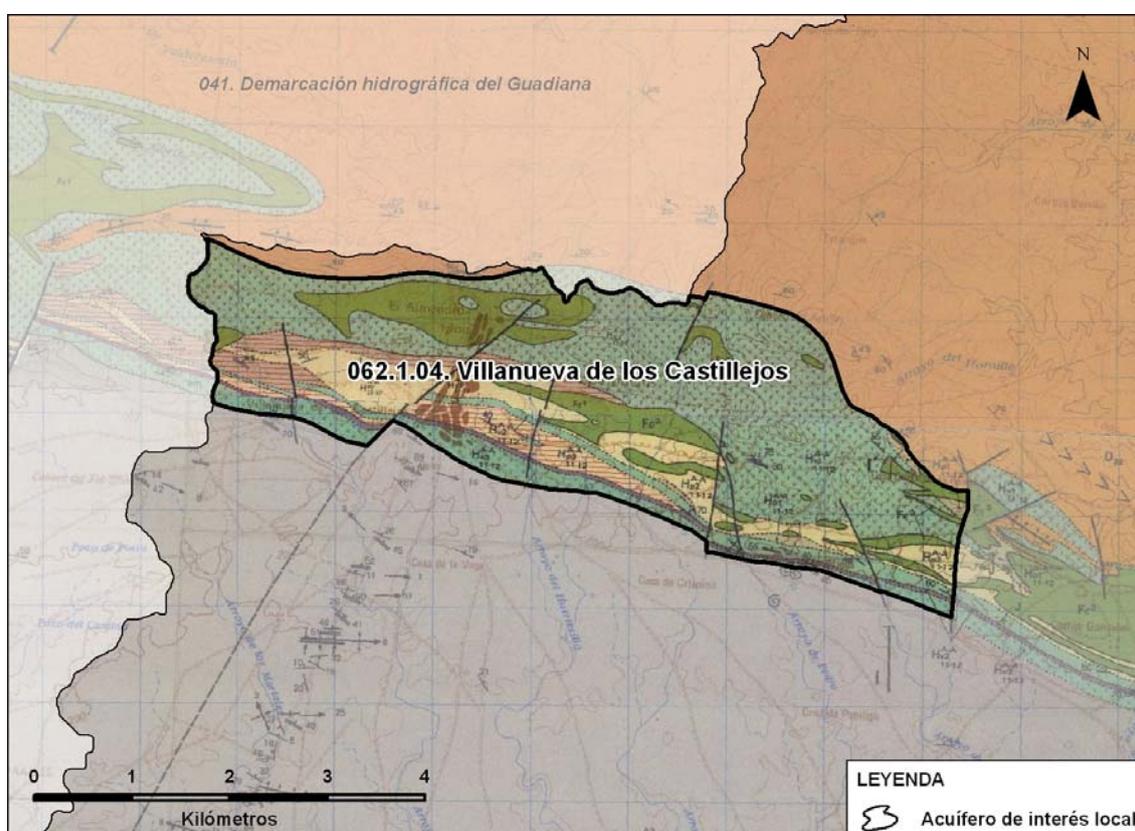


Figura 11.2.2.5. Acuífero de interés local 062.1.04. Villanueva de los Castillejos

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.1.04	VILLANUEVA DE LOS CASTILLEJOS	15,18	Lavas, brechas, tobas, tufitas, pizarras, diabasas, areniscas y cuarcitas	Vulcano-sedimentario/ baja permeabilidad	Fisuración/ fracturación	Libre

Al igual que los acuíferos de interés local 062.1.01. Valverde del Camino y 062.1.02. Alosno, este acuífero está constituido por materiales de baja permeabilidad en los que la infiltración y circulación del agua se produce a través de fracturas. Aunque no ha sido posible estimar un valor de recarga media para este acuífero, se considera que el volumen de recursos explotable es muy limitado.

✓ **062.1.06. FUENTE DE LA CORCHA**

El acuífero de interés local codificado como 062.1.06. Fuente de la Corcha es el más meridional de los definidos en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, y se sitúa al Suroeste del acuífero 062.1.05. El Puente (figura 11.2.2.6).

Está constituido por un afloramiento de conglomerados, arenas, limos y gravas miocenos que se extiende según una orientación aproximada Noreste-Suroeste, que engloba en su interior algunos depósitos cuaternarios discordantes. Los límites del acuífero coinciden con los del contacto litológico entre los materiales miocenos y paleozoicos circundantes.

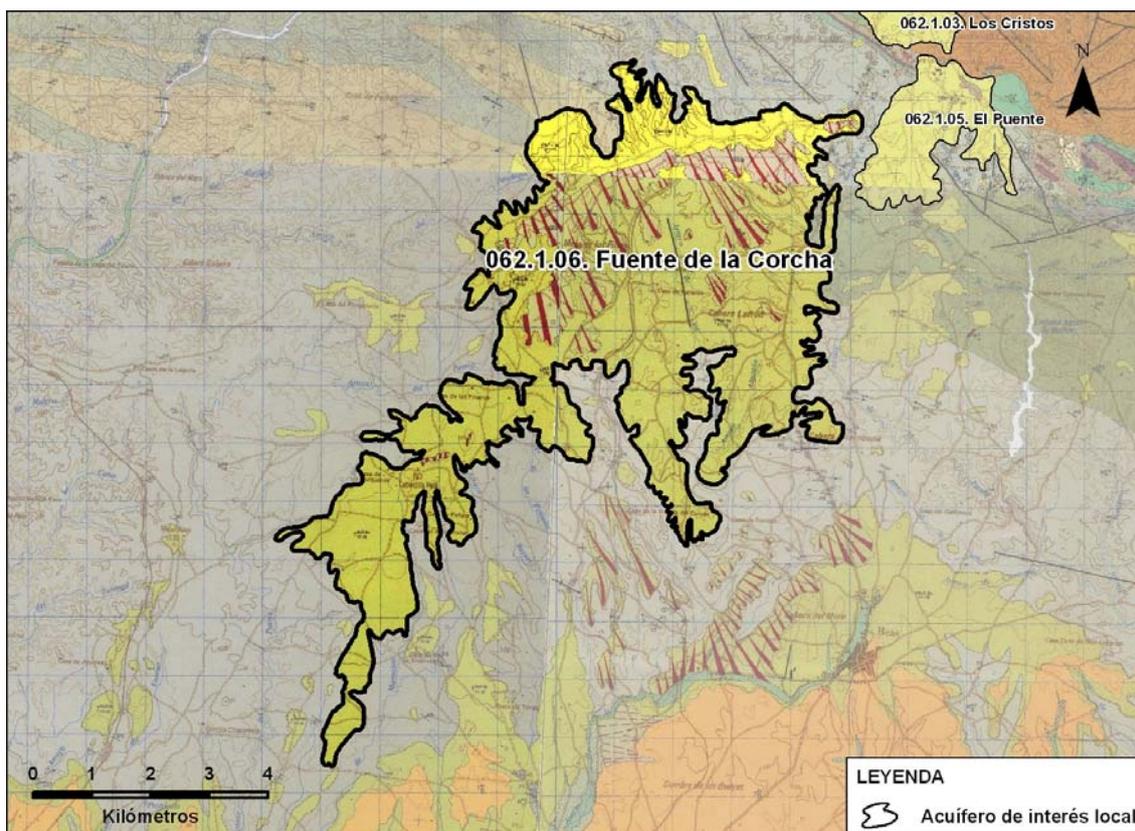


Figura 11.2.2.6. Acuífero de interés local 062.1.06. Fuente de la Corcha

CÓDIGO	NOMBRE	ÁREA (Km ²)	LITOLOGÍA	NATURALEZA	PERMEABILIDAD	COMPORTAMIENTO
062.1.06	FUENTE DE LA CORCHA	38,18	Conglomerados, arenas y limos del Mioceno superior, y conglomerados y arenas del Cuaternario	Detrítico	Porosidad intergranular	Libre

El volumen de agua de lluvia que se filtra anualmente en el acuífero se ha estimado a partir de un valor de precipitación media de 625 mm/año (obtenido del Modelo SIMPA(2)), un coeficiente de infiltración del 10-15% y una superficie permeable equivalente a la extensión del acuífero (aproximadamente 38 km²). El resultado ha sido un valor de recarga para el conjunto del acuífero comprendido entre 2,4 y 3,6 hm³/año.

Al igual que los acuíferos de interés local Los Cristos (062.1.03) y El Puente (062.1.05), el acuífero Fuente de la Corcha está constituido por un afloramiento de materiales permeables terciarios depositados sobre un sustrato paleozoico de baja permeabilidad, si bien presenta una potencia y una superficie de afloramiento mayor (38 km² frente a los 2 km² y 3,9 km² de Los Cristos y El Puente, respectivamente). A pesar de estas diferencias en cuanto a espesor y extensión, parece probable que el funcionamiento hidrogeológico de este acuífero se asemeje al de los acuíferos Los Cristos y El Puente, descritos en apartados anteriores. Así pues, el flujo de agua subterránea se dirigiría de manera radial desde las zonas centrales del acuífero hacia los bordes, produciendo una descarga difusa a través de puntos dispersos.

11.2.3. 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 11.2.3.1 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 Tinto, Odiel y Piedras.

CÓDIGO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA	Nº DE PUNTOS DE CONTROL				CAMBIO VIGILANCIA/ OPERATIVO*
		ACTUAL	PROPUESTOS		ACTUAL+ PROPUESTOS	
			Prioritarios	No Prioritarios		
440001	Aracena	8	-	-	8	-
30593	Niebla	11	-	1	12	-
30594	Lepe-Cartaya	13	-	1	14	Sí
30595	Condado	10	-	2	12	-
TOTAL		42	0	4	46	-

* 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 11.2.3.1. 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 Tinto, Odiel y Piedras

La red actual de seguimiento del estado químico de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación está constituida por un total de 42 puntos de control (tabla 11.2.3.1).

Los trabajos de adecuación y mejora de esta red de seguimiento se han 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.

El resultado de la revisión de la red de seguimiento de la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras ha sido la propuesta de inclusión de 4 nuevos puntos de control, todos ellos considerados *no prioritarios* para la consecución de los objetivos de la DMA; con ellos, el número total de puntos de control del estado químico pasaría de los 42 actuales a 46 (tabla 11.2.3.1).

En la masa de agua subterránea 30594. Lepe-Cartaya se recomienda, asimismo, cambiar la asignación de los puntos de seguimiento del programa operativo al programa de vigilancia (tabla 11.2.3.1) puesto que, a pesar de que esta masa fue definida en 2005 *en riesgo* de incumplir los objetivos de la DMA -hecho que motivó el establecimiento en ella de un programa de control operativo-, en el Plan Hidrológico (2010) ha sido definida en buen estado químico, de modo que el mantenimiento del programa de control operativo se hace innecesario.

En la tabla 11.2.3.2 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 Tinto, Odiel y Piedras.

CÓDIGO	MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA	Nº DE PUNTOS DE CONTROL			
		ACTUAL	PROPUESTOS		ACTUAL+ PROPUESTOS
			Piezométricos	Hidrométricos	
440001	Aracena	9	1	0	10
30593	Niebla	4	0	0	4
30594	Lepe-Cartaya	10	2	0	12
30595	Condado	7	0	0	7
TOTAL		30	3	0	33

Tabla 11.2.3.2. 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 Tinto, Odiel y Piedras

La red actual de seguimiento del estado cuantitativo de las masas de agua subterránea de la demarcación está constituida por un total de 30 puntos de control (tabla 11.2.3.2). La propuesta de mejora y adecuación de esta red ha consistido en la inclusión de 3 nuevos sondeos para el control del nivel piezométrico de los acuíferos, de modo que el número total de puntos para el seguimiento del estado cuantitativo de las aguas subterráneas pasaría a ser de 33 (tabla 11.2.3.2).

11.2.4. 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 11.2.4.1 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*.

Código masa	Nombre masa	Parámetro	Nivel de Referencia	Valor Umbral (ACH)	Valor Umbral (Intrusión)	Nivel Básico
30593	NIEBLA	Cloruros	272,60	E	B	G
		Conductividad	2.174,80	E	B	G
		Nitratos	10,00	D	B	G
30594	LEPE-CARTAYA	Cloruros	F	C	C	139,63
		Conductividad	F	C	C	706,82
		Nitratos	10,00	D	B	8,29
30595	CONDADO	Cloruros	62,00	E	B	89,20
		Conductividad	279,50	E	B	649,20
		Nitratos	10,00	D	B	69,62
440001	ARACENA	Cloruros	A	E	B	15,20
		Conductividad	A	E	B	370,29
		Nitratos	A	D	B	6,63

- A No se establece NR a falta de un número de registros analíticos representativo
- B No se establece VU porque la masa de agua subterránea no presenta riesgo por intrusión salina
- C No se establece VU porque no se dispone de NR
- D No requiere el establecimiento del VU ya que le aplica una norma de calidad específica (Anejo I de 2006/118/CE)
- E No se establece VU porque no es un parámetro indicador de contaminación de la masa de agua subterránea
- F 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)
- G No se establece NB a falta de un registro analítico representativo

Tabla 11.2.4.1. Niveles de referencia, valores umbral y niveles básicos calculados para los parámetros cloruro, conductividad eléctrica y nitrato en cada una de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

Por lo que respecta al nivel de referencia del ión *nitrate*, el resultado ha sido en todos los casos una concentración igual a 10 mg/l, a excepción de la masa de agua subterránea 440001. Aracena, en la que no ha sido posible establecer un valor debido a no disponer de un número de datos suficiente (tabla 11.2.4.1). Los niveles de referencia para el *cloruro* han variado entre 62 y 272 mg/l y para la *conductividad eléctrica* entre 279 y 2.174 $\mu\text{S}/\text{cm}$, si bien en algunas masas de agua no se han podido establecer debido a la ausencia de un registro histórico representativo.

No han podido establecerse valores umbral para ninguno de los tres parámetros evaluados ya que o bien existe una norma de calidad ambiental (caso del ión nitrato), de modo que no es necesario el establecimiento de un valor umbral, o bien porque no se dispone de un nivel de referencia (del cual se deriva el valor umbral) o porque no se trata de un parámetro indicador de contaminación de la masa de agua subterránea (caso del *cloruro* y de la *conductividad eléctrica*).

Por lo que se refiere a los niveles básicos, en el caso del *cloruro* están comprendidos entre 15 y 140 mg/l, para la *conductividad eléctrica* entre 370 y 706 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y para el *nitrate* entre 6 y 69 mg/l (tabla 11.2.4.1).

Por otra parte, en la tabla 11.2.4.2 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 11.2.4.2).

Código masa	Nombre masa	Parámetro	Nivel de Referencia	Valor umbral (ACH)	Nivel Básico
30593	NIEBLA	Arsénico	B	0,01	B
		Cadmio	B	0,005	B
		Plomo	B	0,025	B
		Mercurio	B	0,001	B
		Amonio	0,18	0,5	B
		Sulfato	264,4	300	B
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	B
		Tetracloroetileno	0 (C)		B
30594	LEPE-CARTAYA	Arsénico	B	0,01	0
		Cadmio	B	0,005	0
		Plomo	B	0,025	0,002
		Mercurio	B	0,001	0,0001
		Amonio	B	0,5	0,49
		Sulfato	B	250	59,1
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	0
		Tetracloroetileno	0 (C)		B

Código masa	Nombre masa	Parámetro	Nivel de Referencia	Valor umbral (ACH)	Nivel Básico
30595	CONDADO	Arsénico	B	0,01	0
		Cadmio	B	0,005	0
		Plomo	B	0,025	0,004
		Mercurio	B	0,001	0
		Amonio	0,03	0,5	0,12
		Sulfato	15,5	250	84,9
		Tricloroetileno	0 (C)	0,01	0
		Tetracloroetileno	0 (C)		B
440001	ARACENA	Arsénico	B	0,01	0
		Cadmio	B	0,005	0
		Plomo	B	0,025	0
		Mercurio	B	0,001	0
		Amonio	0,44	0,5	0,004
		Sulfato	24,8	250	11,9
		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 11.2.4.2. 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 se ha realizado en las cuatro masas de agua subterránea definidas en la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras, a pesar de que una de ellas, en concreto la identificada con el código 440001. Aracena, fue definida en 2005 *sin riesgo* y, en consecuencia, en ella no es necesario realizar la evaluación de dichas tendencias. Sin embargo, se ha optado por seguir la recomendación incluida en el informe *Revisión del estado de cumplimiento de los objetivos medioambientales de las masas de agua subterránea de las Cuencas Atlánticas Andaluzas* (Agencia Andaluza del Agua, 2008), relativa al seguimiento en el tiempo de la concentración del ión nitrato.

Para la identificación de las tendencias al aumento de la concentración de algún contaminante 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.

11.2.5. 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 11.2.5.1 se presentan los resultados obtenidos tras la evaluación del estado químico de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación: dos de ellas presentan un *buen estado químico* (Lepe-Cartaya y Aracena) y las otras dos un *mal estado químico* (Niebla y Condado), en ambos casos debido a las concentraciones del ión nitrato.

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. No obstante, en la única masa de agua subterránea de la demarcación con esa calificación (440001. Aracena) se ha evaluado su estado químico respecto al contenido en nitrato, cumpliendo así la recomendación incluida en el informe *Revisión del estado de cumplimiento de los objetivos medioambientales de las masas de agua subterránea de las Cuencas Atlánticas Andaluzas*, elaborado por la Agencia Andaluza del Agua (2008).

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS									
Código MASb.	Nombre MASb.	Riesgo	Tipo de Riesgo	Parámetro	Nº de estaciones que superan el VU	Nº total de estaciones	Nº total de análisis	%superación (estaciones)	Estado de la MASb.
30593	NIEBLA	REE	Difusa y puntual	Cloruros	-	-	-	-	MAL ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	-	-	-	-	
				Nitratos	4	9	10	44%	
30594	LEPE-CARTAYA	RS	Difusa y puntual (intrusión)	Cloruros	2	12	22	17%	BUEN ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	0	12	22	0%	
				Nitratos	0	12	22	0%	
30595	CONDADO	RS	Difusa	Cloruros	-	-	-	-	MAL ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	-	-	-	-	
				Nitratos	4	9	9	44%	
440001	ARACENA	RN (Riesgo Nulo)	-	Cloruros	-	-	-	-	BUEN ESTADO QUÍMICO
				Conductividad	-	-	-	-	
				Nitratos	0	4	14	0%	
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN BUEN ESTADO									2 de 4
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN MAL ESTADO									2 de 4
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA CUYO ESTADO NO SE HA PODIDO DETERMINAR									-

Tabla 11.2.5.1. Resultado de la evaluación del estado químico en las masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

Los resultados de la evaluación del estado cuantitativo de las masas de agua subterránea de la demarcación se muestran en la tabla 11.2.5.2: tres de ellas se han definido en buen estado cuantitativo (Niebla, Lepe-Cartaya y Condado), en tanto que en la restante (Aracena) no se dispone de datos suficiente para evaluar su estado cuantitativo.

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TINTO, ODIEL Y PIEDRAS							
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
30593	NIEBLA	8%	3	57%	78%	21%	BUEN ESTADO CUANTITATIVO
30594	LEPE-CARTAYA	31%	7	75%	100%	25%	BUEN ESTADO CUANTITATIVO
30595	CONDADO	87%	7	58%	55%	-3%	BUEN ESTADO CUANTITATIVO
440001	ARACENA	89%	A				No se dispone de datos suficientes para su determinación
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN BUEN ESTADO							3 de 4
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN MAL ESTADO							0 de 4
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA CUYO ESTADO NO SE HA PODIDO DETERMINAR							1 de 4

* En las masas de agua subterránea codificadas como 30594. Lepe-Cartaya y 30595. Condado, se ha considerado que los recursos disponibles equivalen al 70% de la tasa de recarga (frente al 80% aplicado en otras masas), con objeto de minimizar posibles procesos de intrusión marina que puedan inducir una salinización en aquellas masas de agua subterránea en conexión hidráulica con el litoral identificadas en la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras.

** En todos los casos el índice de llenado más reciente corresponde al calculado a partir de los datos de enero del 2008, exceptuando en la masa 30594 que hace referencia al mes de febrero 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 11.2.5.2. Resultado de la evaluación del estado cuantitativo en las masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

En las masas de agua subterránea en buen estado cuantitativo el índice de explotación estimado está comprendido entre el 8% de Niebla y el 87% de Condado (aunque en esta última el resultado obtenido tras la evaluación del estado no se considera concluyente, al no disponer de un registro histórico anterior al año 2000). En la masa de agua de Aracena este índice presenta un valor del 89% (tabla 11.2.5.2).

11.2.6. 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 cuatro masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras, todas ellas consideradas de naturaleza eminentemente detrítica. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 11.2.6.1.

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 11.2.6.2.

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 aquellas masas de agua subterránea en conexión hidráulica con el mar, se ha considerado que un porcentaje de recursos disponibles superior al 70% podría inducir procesos de intrusión marina por sobreexplotación en determinados sectores próximos a la costa.

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 (tabla 11.2.6.2).



Unión Europea

Fondo Europeo
de Desarrollo Regional



Código	Nombre de la masa	Naturaleza	ENTRADAS (hm ³ /año)					SALIDAS (hm ³ /año)							
			Infiltr. Lluvia	Infiltración Escorrentía	Recarga lateral	Retornos regadío	Otros	TOTAL	Bombeos	Manantiales	Ríos, arroyos y mar	Descarga lateral	Otros	TOTAL	
440001	Aracena	Detrítica	3,4	-	-	-	-	-	2,4	1	-	-	3,4	-	3,4
30593	Niebla	Detrítica	6,2	-	-	0,3	1,8 ¹	-	0,5	-	7,5	0,3	8,3	-	8,3
30594	Lepe-Cartaya	Detrítica	26,8	-	-	3,3	-	6,5	-	23,6	-	30,1	-	30,1	
30595	Condado	Detrítica	21,2	-	-	3,3	-	15	-	9,5	-	24,5	-	24,5	

¹: Embalse de Corumbel

Tabla 11.2.6.1. Balance hidrológico estimado para las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

CÓDIGO	NOMBRE	RECARGA (hm ³ /año)	VOLUMEN EXTRAÍDO (hm ³ /año)	RECURSOS DISPONIBLES (hm ³ /año)	ÍNDICE DE EXPLOTACIÓN (%)
440001	Aracena	3,4	2,4	2,7	89%
30593	Niebla	8,3	0,5	6,6	8%
30594	Lepe-Cartaya	30,1	6,5	21,1*	31%
30595	Condado	24,5	15	17,2*	87%

Tabla 11.2.6.2 Estimación de los recursos disponibles e índice de explotación, en las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

* En las masas de agua subterránea 30594, Lepe-Cartaya y 30595, Condado, se ha considerado que los recursos disponibles equivalen al 70% de la recarga (frente al 80% aplicado en otras masas), con objeto de minimizar posibles procesos de intrusión marina que puedan inducir una salinización de las aguas en aquellas masas de agua subterránea en conexión hidráulica con el litoral identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras.

11.2.7. CARTOGRAFÍA DE VULNERABILIDAD NATURAL A LA CONTAMINACIÓN EN MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE NATURALEZA DETRÍTICA

En la tabla 11.2.7.1 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	
30593	NIEBLA	D	0,92	28,73	67,27	97,81	14,40	0,44	13,74	32,16	46,77	6,88	212,4
30594	LEPE-CARTAYA	D	0,00	16,01	104,21	339,42	4,70	0,00	3,45	22,44	73,10	1,01	471,9
30595	CONDADO	D	0,13	53,84	132,36	83,98	5,68	0,05	19,51	47,96	30,43	2,06	279,3
440001	ARACENA	D	0,02	0,92	8,65	53,10	0,98	0,02	1,44	13,58	83,41	1,54	63,7
Total			1,07	99,49	312,49	574,32	25,76	0,11	9,82	30,84	56,69	2,54	1.027,3

Tipo (o naturaleza de la MASb.): D: Detrítica

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 11.2.7.1. Superficie estimada para cada clase de vulnerabilidad, por masa de agua subterránea

La vulnerabilidad más frecuente en las masas de agua subterránea definidas en la demarcación, consideradas en conjunto, es la de clase *baja*, representando el 56,7% de su superficie total (tabla 11.2.7.1 y figura 11.2.7.1). En el lado opuesto, las clases de vulnerabilidad *alta* y *muy alta* representan solamente el 9,9% de la superficie total de las masas de agua.

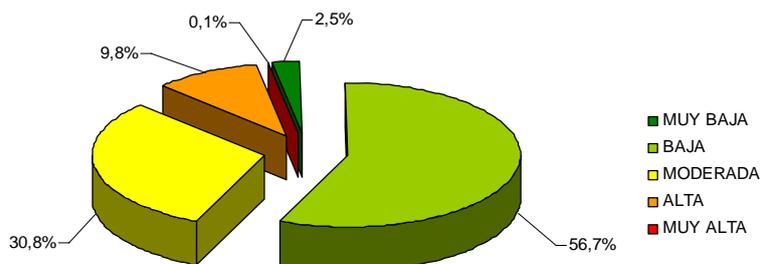


Figura 11.2.7.1. Distribución areal de las clases de vulnerabilidad natural a la contaminación en las masas de agua subterránea de la demarcación

En la figura 11.2.7.2 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 más altas coinciden en gran medida con las zonas topográficamente más deprimidas, ocupadas en muchos casos por marismas y estuarios, así como con la zona centro-oriental de la masa 30595. Condado, constituida por sedimentos detríticos (arenas) del Plioceno.

En la figura 11.2.7.3 se ha representado la proporción (en porcentaje) que representa cada clase de vulnerabilidad en cada masa de agua subterránea. Se observa que las clases de vulnerabilidad más frecuentes son las *bajas* (segmentos de color verde claro) y las *moderadas* (amarillo), y que las vulnerabilidades *muy altas* (color rojo) son prácticamente inexistentes en la demarcación.

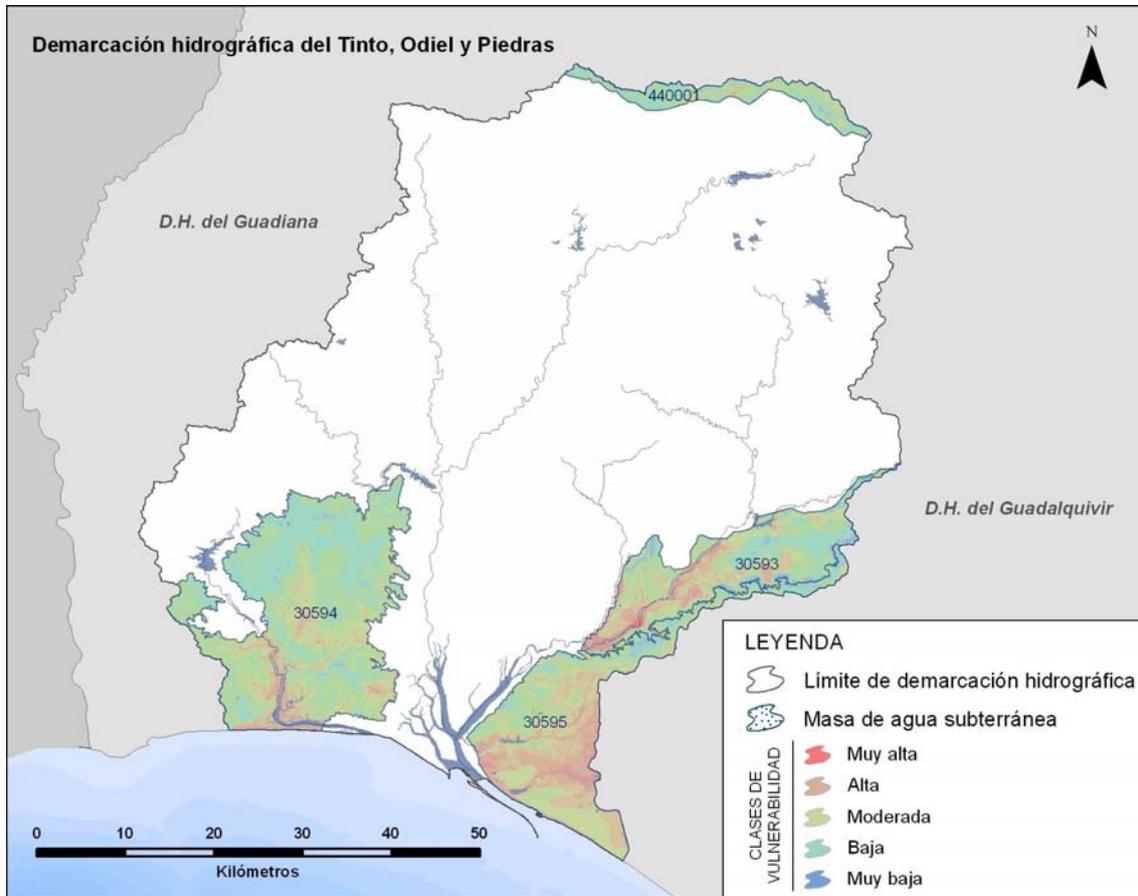


Figura 11.2.7.2 Cartografía de vulnerabilidad natural a la contaminación en el ámbito de la demarcación

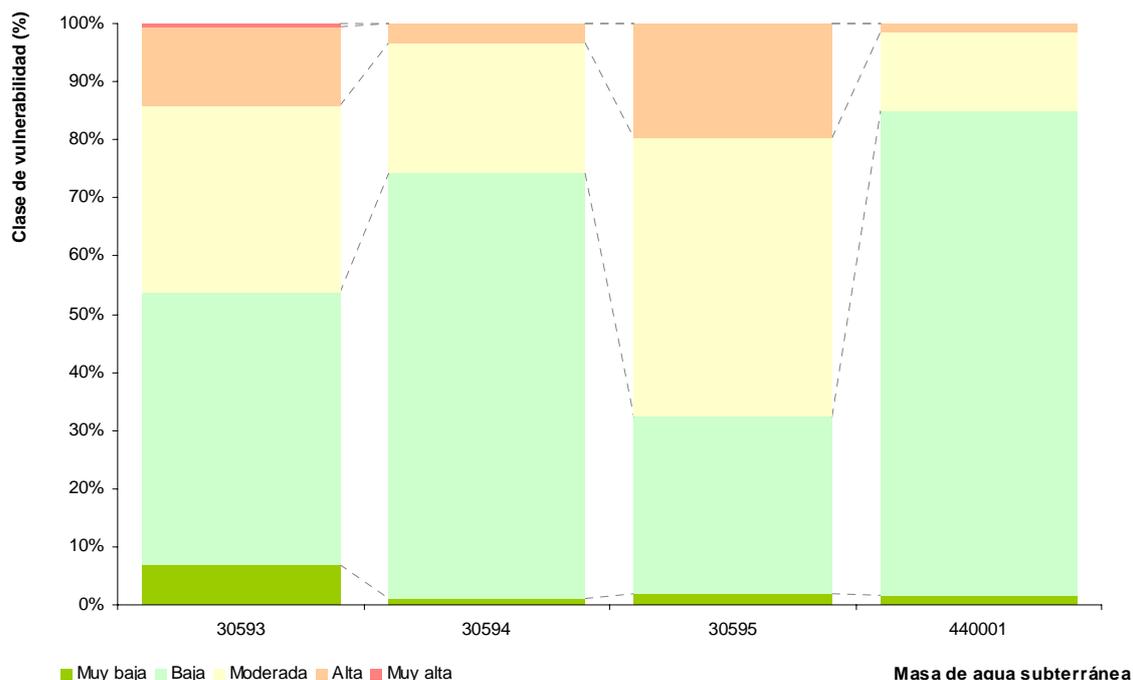


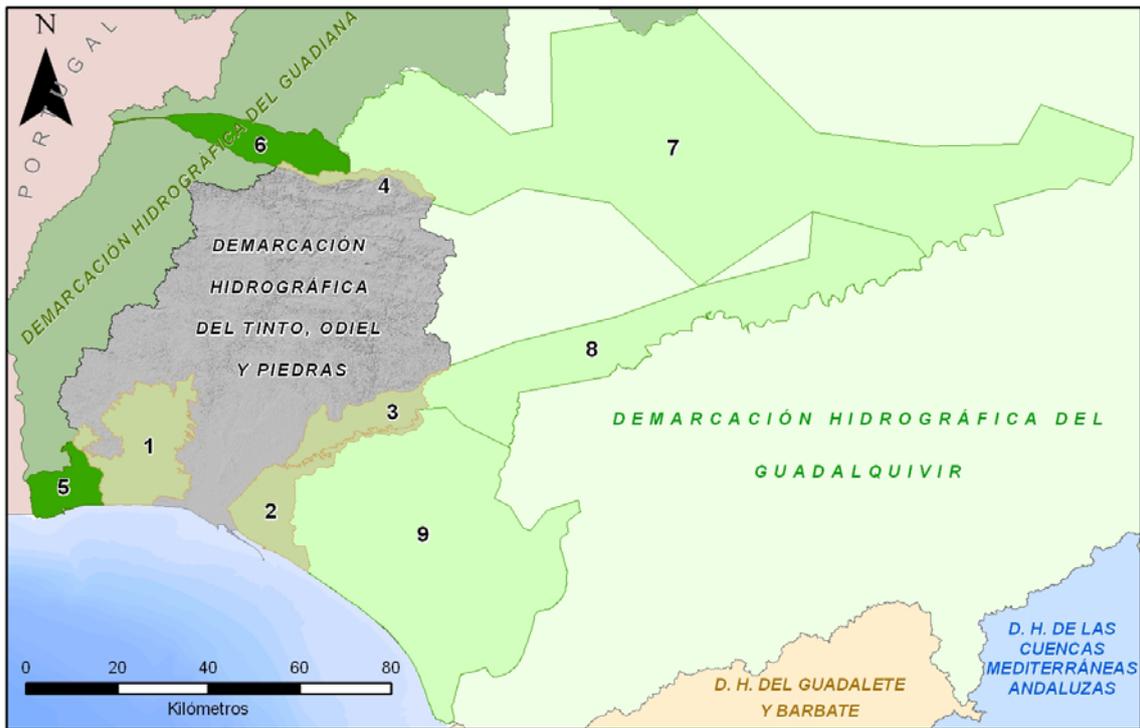
Figura 11.2.7.3. Distribución porcentual de las clases de vulnerabilidad en las masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

11.2.8. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA COMPARTIDAS ENTRE DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS LIMÍTROFES

Las cuatro masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras limitan con masas de agua subterránea definidas en alguna de las dos demarcaciones hidrográficas limítrofes (Guadalquivir y Gadiana). En la tabla 11.2.8.1 se muestra el listado en el que se recogen estas cuatro masas de agua subterránea con indicación de las masas limítrofes y en la figura 11.2.8.1, la posición que ocupa cada una de ellas.

MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA (D.H. Tinto, Odiel y Piedras)		MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA (DD.HH. limítrofes)		
Código	Nombre MASb.	Código	Nombre MASb.	Demarcación
440001	Aracena	05.45	Sierra Morena	Guadalquivir
		30.604	Aroche-Jabugo	Guadiana
30593	Niebla	05.49	Gerena-Posadas	Guadalquivir
30594	Lepe-Cartaya	30.596	Ayamonte	Guadiana
30595	Condado	05.51	Almonte-Marismas del Guadalquivir	Guadalquivir

Tabla 11.2.8.1. Masas de agua subterránea identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras que limitan con masas de agua subterránea definidas en demarcaciones hidrográficas adyacentes



D. H. del Tinto, Odiel y Piedras

1. 30594 Lepe-Cartaya
2. 30595 Condado
3. 30593 Niebla
4. 440001 Aracena

D. H. del Guadiana

5. 30.596 Ayamonte
6. 30.604 Aroche-Jabugo

D. H. del Guadalquivir

7. 05.45 Sierra Morena
8. 05.49 Gerena-Posadas
9. 05.51 Almonte-Marismas del Guadalquivir

Figura 11.2.8.1. Localización de las masas de agua subterránea limítrofes identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

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 cuatro masas de agua subterránea limítrofes identificadas en la demarcación (tabla 11.2.8.1), sólo una está incluida en el listado de unidades hidrogeológicas compartidas del Plan Hidrológico Nacional (Ley 10/2001, de 5 de julio)⁹. Se trata de la masa de agua subterránea Condado, cuya delimitación actual abarca el sector occidental de la antigua unidad hidrogeológica Almonte-Marismas, calificada de *compartida* en el citado Plan Hidrológico Nacional.

⁹ 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 11.2.8.2 se resumen los resultados obtenidos tras el análisis de las masas de agua subterránea limítrofes:

Masa de agua subterránea				¿Comparten recursos hídricos?	Descripción del contacto
Nombre	Código	Demarcación	Nº en fig. 11.2.8.1		
Aracena	440001	Tinto, Odiel y Piedras	4	Sí	La masa de agua subterránea 440001. Aracena, comparte varios afloramientos carbonatados permeables con las masas de agua limítrofes Aroche-Jabugo y Sierra Morena, por lo que sus recursos hídricos deben considerarse compartidos. Aunque no es posible cuantificar el volumen de recursos compartidos entre estas tres masas de agua, sí es posible afirmar que una parte significativa de los recursos medios estimados para la primera (3,4 hm ³ /año), valorable en al menos un tercio de dicho valor, debe considerarse compartida con las dos masas de agua subterránea con las que limita.
Aroche-Jabugo	30604	Guadiana	6		
Sierra Morena	05.45	Guadalquivir	7		
Niebla	30593	Tinto, Odiel y Piedras	3	No	En la zona de contacto entre estas masas de agua el flujo subterráneo presenta previsiblemente una componente sur (hacia cotas topográficas más bajas), lo que implica un flujo subterráneo relativamente paralelo al límite entre las masas de agua y, por consiguiente, unas transferencias laterales entre ellas que, en caso de existir, van a ser de escasa magnitud. Así pues, el volumen de recursos hídricos compartidos entre estas masas de agua puede considerarse prácticamente nulo.
Gerena-Posadas	05.49	Guadalquivir	8		
Lepe-Cartaya	30594	Tinto, Odiel y Piedras	1	No	En la zona de contacto entre estas masas de agua el flujo subterráneo parece dirigirse desde el Norte hacia el Sur, aproximadamente paralelo a dicho contacto, por lo que las transferencias de agua entre ambas masas, de existir, no deben ser significativas. Así pues, puede considerarse que los recursos hídricos estimados para la masa de agua subterránea Lepe-Cartaya (30,1 hm ³ /año) representan recursos 'propios' no compartidos con la masa de agua subterránea de Ayamonte.
Ayamonte	30596	Guadiana	5		
Condado	30595	Tinto, Odiel y Piedras	2	No	El límite entre estas masas de agua subterránea coincide, a grandes rasgos, con divisorias hidrogeológicas identificadas dentro del acuífero. Esto significa, por tanto, que las posibles transferencias laterales que puedan existir entre estas dos masas de agua subterránea van a ser de escasa entidad, de modo que las entradas medias estimadas para la masa de agua subterránea Condado (24,5 hm ³ /año) pueden considerarse recursos 'propios', no compartidos con la masa de agua subterránea Almonte-Marismas.
Almonte-Marismas del Guadalquivir	05.51	Guadalquivir	9		

Tabla 11.2.8.2. Síntesis del análisis realizado de las masas de agua subterránea compartidas identificadas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

11.2.9. PROPUESTA DE AMPLIACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA 30593. NIEBLA Y 30594. LEPE-CARTAYA

En las figura 11.2.9.1 y 11.2.9.2 se muestra la propuesta de ampliación de las masas de agua subterránea 30593. Niebla y 30594. Lepe-Cartaya, sobre la cartografía geológica y de permeabilidad.

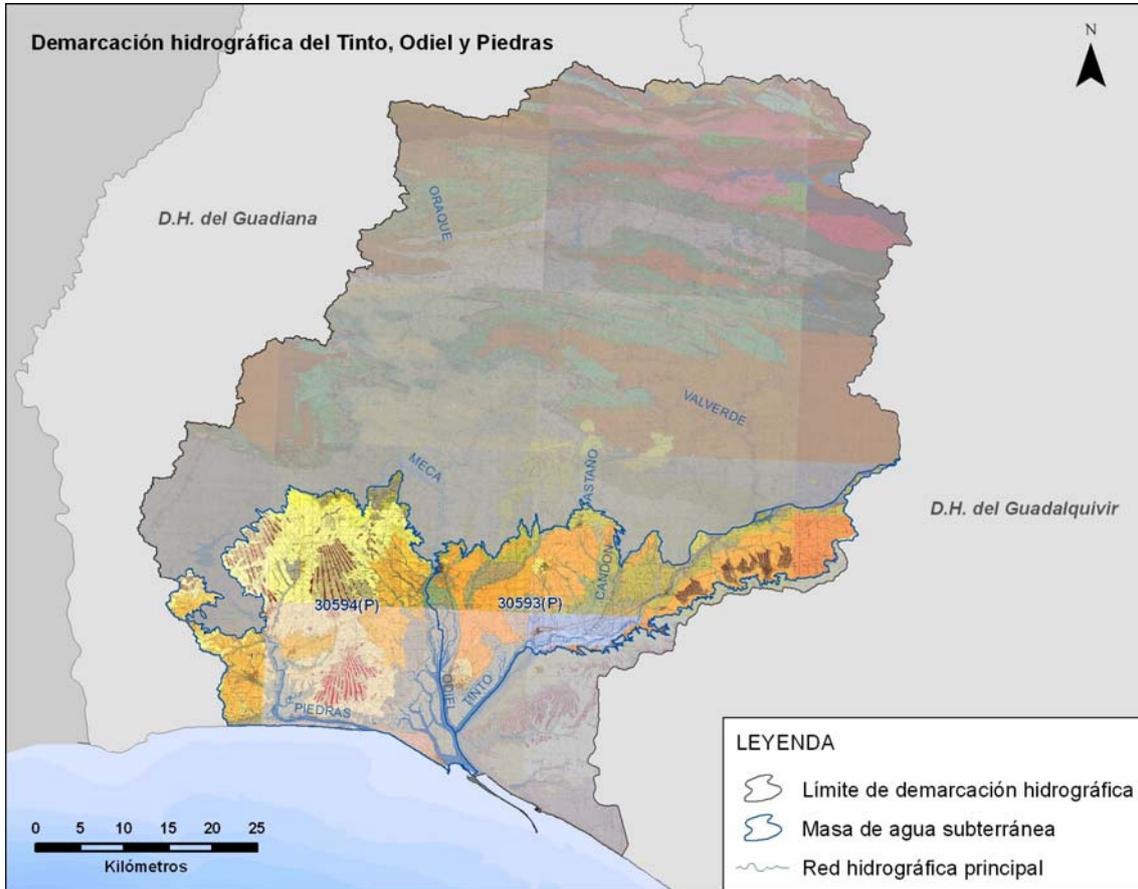


Figura 11.2.9.1. Propuesta de ampliación de las masas 30593. Niebla y 30594. Lepe-Cartaya, sobre cartografía geológica (Serie MAGNA, E.: 1:50.000; IGME)

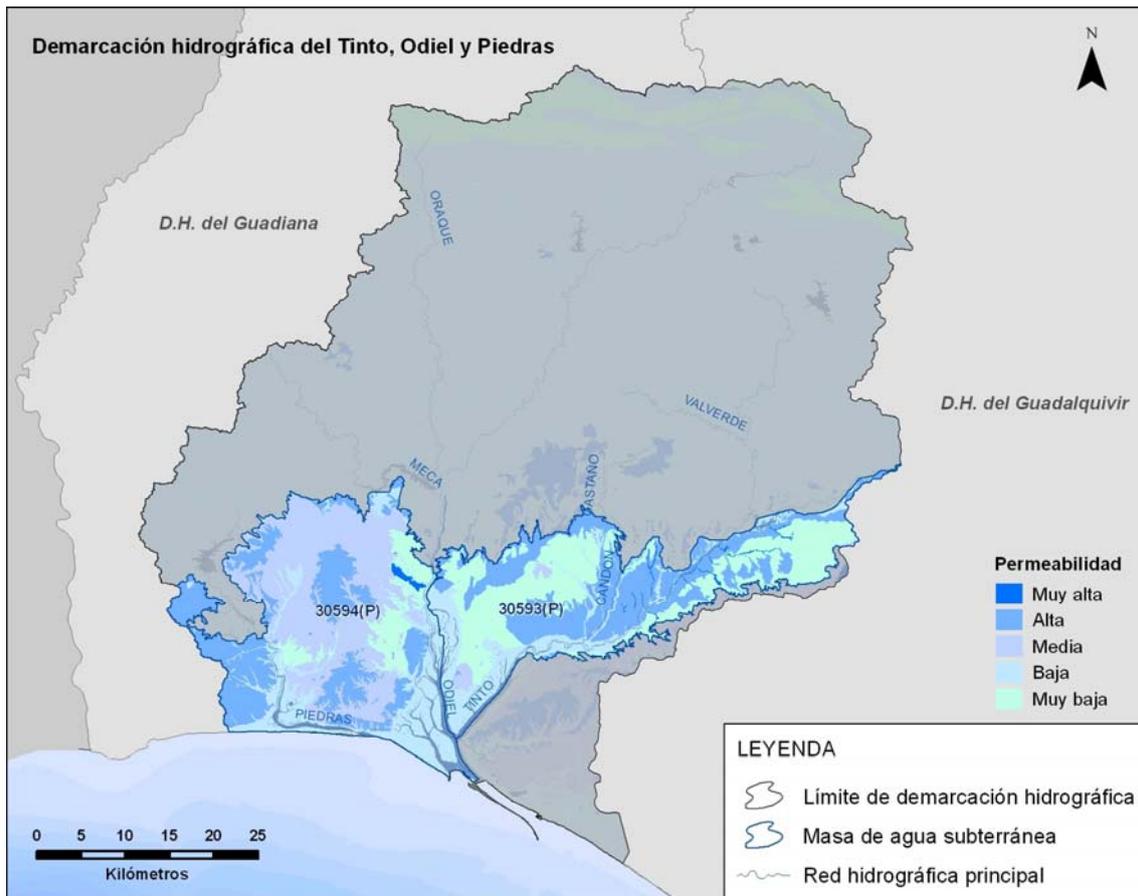


Figura 11.2.9.2. Propuesta de ampliación de las masas de agua subterránea 30593. Niebla y 30594. Lepe-Cartaya, sobre cartografía de permeabilidad (E: 1:200.000; IGME)

La masa de agua subterránea 30593. Niebla se ha extendido hacia el Oeste hasta el cauce del río Odiel. El límite meridional de esta ampliación se ha hecho coincidir, en su parte más oriental, con el contacto con la masa de agua subterránea 30595. Condado, situada al sur, y en su parte más occidental, con el cauce del río Tinto. Esta ampliación supone un incremento en la superficie de la masa de agua subterránea de 317,9 km², por lo que, de ser aceptada, la superficie total de la masa pasaría de los 212,4 Km² actuales a 530,3 Km² (tabla 11.2.9.1).

Por su parte, la masa de agua subterránea 30594. Lepe-Cartaya se ha extendido hacia el Este y, al igual que en el caso anterior, se ha tomado como límite el cauce del río Odiel. El resto de los límites considerados han sido el contacto con los materiales paleozoicos de baja permeabilidad del Macizo Ibérico, en el borde nordeste, y el océano Atlántico, al sur. Esta nueva delimitación de la masa de agua subterránea supone un incremento de su superficie en 160,5 Km², pasando de los 471,9 Km² actuales a algo más de 632 Km² (tabla 11.2.9.1).

Nombre	Código (*)	Superficie		Perímetro (km)	Centroide_X (m)	Centroide_Y (m)
		Área (km ²)	% respecto al área de la demarcación			
NIEBLA	30593	212,39	4,47	164,67	180667,32	4144568,58
	30593(P)	530,27	11,15	269,58	166800,00	4141940,00
LEPE-CARTAYA	30594	471,92	9,92	236,75	133500,34	4139450,36
	30594(P)	632,41	13,30	217,69	136448,00	4137860,00

(*) 30593 y 30594 son los códigos actuales asignados a las masas de agua subterránea Niebla y Lepe-Cartaya, respectivamente. La sigla (P) se corresponde con la propuesta de ampliación para cada una de las masas.

Tabla 11.2.9.1. Descripción de las principales variables geométricas de las masas de agua subterránea 30593. Niebla y 30594. Lepe-Cartaya, así como de sus respectivas propuestas de ampliación (P)

La aceptación de esta propuesta de ampliación de las masas de agua subterránea Niebla y Lepe-Cartaya obligaría a revisar algunos de los análisis requeridos por la Directiva Marco del Agua, tales como la *evaluación del estado químico* de las masas de agua o la *estimación del balance hídrico*. Por este motivo, en el capítulo correspondiente a la propuesta de ampliación de estas masas de agua subterránea se han incluido una serie de recomendaciones dirigidas a la autoridad gestora competente que contemplan, entre otras, las precauciones que deben tomarse con objeto de no modificar el quimismo del acuífero confinado.

11.3. CONSIDERACIONES FINALES

11.3.1. CONCLUSIONES

En el marco de estos trabajos se han delimitado 90 **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 34 en total, con un área media de 660 m²; los perímetros delimitados para un tiempo de tránsito de 50 días han sido 32 y su extensión media, de 0,03 km², en tanto que los perímetros de protección para 1.460 días, 24 en total, han presentado un área promedio de algo más de 0,6 km².

La superficie total que representan los 90 perímetros de protección delimitados asciende a 16,7 km², en los cuales se reconocen varias litologías (rocas volcánicas, plutónicas, metamórficas y materiales detríticos de origen marino), sin que ninguna de ellas, no obstante, predomine sobre las demás en términos de superficie ocupada.

Se han definido 23 perímetros de protección de la cantidad para las captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano localizadas en terrenos no catalogados como masa de agua subterránea. Las superficies media y total del conjunto de estos perímetros ha sido de 0,5 y 10,3 km², respectivamente. Como en el caso anterior, no existe una litología dominante sobre las demás en términos de superficie aflorante.

De manera complementaria, en el marco de estos trabajos se han delimitado zonaciones (perímetros) para la protección de la calidad y cantidad de dos manantiales catalogados por el IGME como *lugares de interés hidrogeológico*. En concreto, estos LIH's son:

- ✓ Fuente Peña de Arias Montano
- ✓ Fuente de los Tres Caños

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 3,4 km², y las zonaciones para la protección de la cantidad, de 2,2 km². En ambos casos las litologías más frecuentes en el interior de las zonaciones delimitadas han sido las *rocas volcánicas y carbonatadas*.

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 1.027 km², se distribuiría de la siguiente manera:

- ✓ Zona A: 14%
- ✓ Zona B: 13%
- ✓ Zona C: 26%
- ✓ Zona D: 45%
- ✓ Masas de agua superficial: 2%

La DMA exige el establecimiento de zonas de salvaguarda en aquellas masas de agua subterránea utilizadas para la captación de agua potable que proporcionen un promedio de más de 100 m³ diarios, requisito que cumplen las cuatro masas de agua subterránea definidas en la demarcación del Tinto, Odiel y Piedras.

En la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras se han identificado y delimitado seis **acuíferos de interés local**: Valverde del Camino, Alosno, Villanueva de los Castillejos (los tres de naturaleza vulcano-sedimentaria), Los Cristos, El Puente y Fuente de la Corcha (los tres constituidos por materiales detríticos miocenos). Esta delimitación ha respondido fundamentalmente a la existencia de materiales acuíferos que soportan una extracción significativa, en términos tanto de densidad de captaciones de agua subterránea como de volumen extraído. Asimismo, se ha tenido en cuenta el rango de permeabilidad de los materiales.

Los acuíferos de interés local delimitados están constituidos por materiales 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 Tinto, Odiel y Piedras, y se han realizado una serie de propuestas con objeto de mejorarlas y adaptarlas a los requerimientos recogidos en el anexo 5 de la DMA. Por lo que respecta a la red de seguimiento del estado químico, la propuesta consiste en la

inclusión de 4 nuevos puntos de control (ninguno de los cuales se considera prioritario), lo cual dejaría en 46 el número total de puntos de control incluidos en 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 3 nuevos puntos de control piezométrico, con los cuales la red quedaría constituida por 33 puntos de control.

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*, *nitrito*, *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.

Dos de las cuatro masas de agua subterránea definidas en la demarcación (30593. Niebla y 30595. Condado) presentan un mal estado químico, principalmente a causa de los elevados contenidos en nitrato. Las dos masas restantes (30594. Lepe-Cartaya y 440001. Aracena) se han definido en buen estado químico.

Por lo que respecta al **estado cuantitativo**, tres masas de agua subterránea de la demarcación han sido definidas en buen estado (30593. Niebla, 30594. Lepe-Cartaya y 30595. Condado), en tanto que en la masa de agua 440001. Aracena no ha sido posible evaluar su estado cuantitativo debido a la falta de datos.

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 30594. Lepe-Cartaya es la que cuenta con el mayor volumen de recursos disponibles (estimados en 21,1 hm³/año), y la masa de agua 440001. Aracena la que menos (2,7 hm³/año). Por lo que respecta al índice de explotación, los valores obtenidos están comprendidos entre el 8% de la masa de agua subterránea 30593. Niebla y el 89% de la masa de agua 440001. Aracena.

Más de la mitad (57%) de la superficie total de las masas de agua subterránea definidas en la demarcación presenta una **vulnerabilidad natural a la contaminación** de clase *baja*, y un tercio (31%) de clase *moderada*. Las clases de vulnerabilidad extremas (*muy alta* y *muy baja*) están escasamente representadas en la demarcación, con una superficie conjunta equivalente al 2,6% del total.

Las vulnerabilidades más altas se localizan en los sectores topográficamente deprimidos, coincidentes en muchos casos con zonas de marismas y estuarios, así como en el área centro-oriental de la masa de agua subterránea 30595. Condado, constituida por arenas del Plioceno.

Las cuatro masas de agua subterránea definidas en la demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras limitan con masas de agua subterránea definidas en alguna de las dos **demarcaciones hidrográficas adyacentes** (Guadalquivir y Guadiana). Por lo que respecta a la masa de agua 440001. Aracena, comparte varios afloramientos carbonatados y, en consecuencia, los recursos hídricos de estos, con las masas de agua subterránea 30604. Aroche-Jabugo (demarcación del Guadiana) y 05.45. Sierra Morena (demarcación del Guadalquivir).

De acuerdo con los resultados alcanzados, las masas de agua subterránea 30593. Niebla y 05.49. Gerena-Posadas (demarcación del Guadalquivir), a pesar de estar en contacto a través de un límite permeable, no parecen compartir recursos hídricos subterráneos. Algo similar sucede entre las masas de agua subterránea 30594. Lepe-Cartaya y 30596. Ayamonte (demarcación del Guadiana), a través de cuyo contacto no parecen producirse transferencias de agua subterránea significativas.

Las masas de agua subterránea 30595. Condado y 05.51. Almonte-Marismas del Guadalquivir constituyen sectores distintos dentro de un mismo acuífero. A pesar de ello, no parece probable que entre ellas existan transferencias significativas de recursos puesto que el límite entre ambas coincide, a grandes rasgos, con divisorias hidrogeológicas menores en el interior del acuífero.

Se ha propuesto, de acuerdo con la definición de *masa de agua subterránea* recogida en el artículo 2 de la DMA, la **ampliación de las masas de agua subterránea Niebla y Lepe-Cartaya**. El objetivo de esta redelimitación no es otro que el de integrar las aguas subterráneas contenidas en las formaciones acuíferas confinadas identificadas en el entorno de estas masas de agua subterránea, estableciendo como límite común el cauce del río Odiel.

11.3.2. 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.