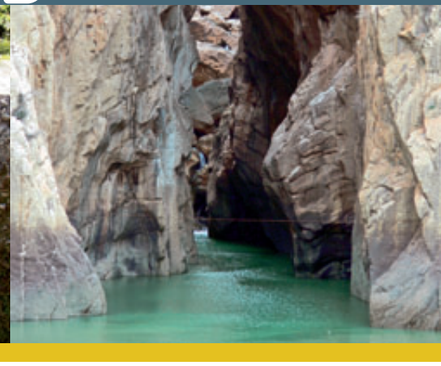
2. Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga



MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España
málaga.es diputación
UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

2.

Presentación

Para una provincia como Málaga, que actualmente experimenta un proceso de transformación histórico en lo que se refiere a la relación entre población y territorio, es fundamental conocer en profundidad los recursos naturales de que se dispone; en particular un bien tan precioso como el agua. Sin agua no hubiera sido posible la civilización, y, en medio de un proceso global de cambio climático, las aguas subterráneas se revelan como un bien de valor incalculable.

El trabajo que aquí presentamos es fruto de la colaboración institucional. El Instituto Geológico y Minero de España, en cumplimiento de su importante labor, ha puesto a disposición de la Diputación de Málaga el conocimiento científico y las herramientas tecnológicas necesarias para elaborar el estudio más completo y exhaustivo que se haya realizado hasta la fecha acerca de nuestros acuíferos.

Este Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Málaga, que forma parte de un convenio de colaboración donde se contemplan otros proyectos igualmente interesantes, nos permitirá disponer de información precisa acerca de la naturaleza y estado actual de los acuíferos naturales e infraestructuras de aguas superficiales, incorporando como novedad aspectos como el análisis de composición química y calidad de las aguas mineromedicinales y termales que se usan para consumo humano y con fines medicinales, que despiertan un creciente interés en la población.

A la Diputación de Málaga, responsable de garantizar el abastecimiento de las pequeñas poblaciones rurales, este instrumento le viene dado como una herramienta de trabajo fundamental para contribuir a una planificación razonable y sostenible de los recursos hídricos; herramienta de la que asimismo se beneficiarán ayuntamientos y agentes de desarrollo local. Nuestro deseo y también nuestro propósito es hacer un uso razonable y responsable de esta preciosa información que se nos brinda, y contribuir a que las distintas administraciones y los particulares hagan otro tanto.

Salvador Pendón Muñoz
Presidente de la Diputación de Málaga

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) es un Organismo Público de Investigación con casi 160 años de historia. Desde su creación, en el año 1849, ha venido trabajando ininterrumpidamente en la ingente tarea de la investigación geológica del territorio español. Esta trayectoria ha proporcionado una cantidad realmente formidable de información del suelo y subsuelo, y de los recursos que éstos albergan.

En este sentido, las aguas subterráneas han sido –lo son y lo seguirán siendo en el futuro- objetivo constante de los afanes investigadores del IGME en las diferentes cuencas hidrográficas españolas.

La actividad del IGME en Andalucía en general, y en la provincia de Málaga en particular, en relación con las aguas subterráneas, viene desde muy lejos. Este Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga es una buena muestra de ello. En él se vierten gran parte de los conocimientos adquiridos durante décadas de investigación científica y trabajos técnicos, muchas veces en fructífera colaboración con los organismos y entidades locales, como también lo ha sido en este caso.

No quiero dejar pasar esta ocasión para hacer hincapié en que el año 2007, en el que este Atlas hidrogeológico ve la luz, ha sido declarado por el Gobierno y el Parlamento de la nación, "Año de la Ciencia", en un decidido intento de acercar la actividad científica al conjunto de la sociedad y viceversa. Buena muestra del deseo del IGME de contribuir a tan magno objetivo es la realización de este Atlas, que sin duda alguna, contribuirá a que los malagueños y sus instituciones conozcan mejor su territorio, su medio físico, su geología y las aguas subterráneas que albergan. En definitiva, será una magnífica base para ayudar a la protección de las mismas.

No hay que olvidar que también este año se ha promulgado una nueva Directiva Europea, específicamente dedicada a la Protección de las Aguas Subterráneas, que marcará en el futuro inmediato los derroteros de la gestión sostenible de tan valioso recurso.

José Pedro Calvo Sorando
Director General del IGME

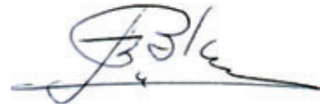
Presentación

El Área de Medio Ambiente de la Diputación de Málaga dedica una parte muy importante de sus recursos financieros, técnicos y humanos a garantizar la conservación y el aprovechamiento óptimo del agua. Entre nuestras atribuciones está el mantenimiento y control de las redes de abastecimiento de las pequeñas poblaciones, y en los últimos años hemos realizado grandes esfuerzos para garantizar la continuidad del ciclo integral del agua a través de la creación de sistemas de depuración.

Sin embargo, el agua es un recurso deficitario y sobreexplotado en nuestra provincia. Los acuíferos subterráneos representan por ello una riqueza de especial valor, e, igual que los ríos, están amenazados por el riesgo de contaminación y agotamiento. El Atlas Hidrogeológico que gracias a la colaboración con el Instituto Geológico y Minero de España hemos logrado mejorar y actualizar es por ello una herramienta de primer orden para esta administración y para los ayuntamientos y entidades locales y comarcales de desarrollo local. Cada vez más, es necesario ser precisos y tener visión de futuro a la hora de asignar usos a los suelos.

La tecnología empleada y los parámetros manejados hacen que el Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Málaga que aquí presentamos represente un importante avance con respecto al que hasta ahora hemos manejado. En primer lugar, porque el agua, como elemento vivo, está sujeta a constantes cambios, y este Atlas nos permite tener un conocimiento exacto del estado actual de las reservas; y en segundo lugar, porque se incorporan al estudio nuevos parámetros que hasta ahora no habíamos manejado, tales como la calidad de las aguas para el consumo humano y medicinal.

Dado que entre la realización del estudio anterior y de éste la provincia ha experimentado importantes cambios en cuanto a asentamientos de población, usos del suelo y explotación de acuíferos, el estudio actual nos ofrece una visión real y exacta de los recursos hidrológicos y de su estado actual, lo cual es imprescindible para su protección efectiva y su correcta administración, tarea con la que la institución que represento mantiene un compromiso constante.



Antonio Blanco Cueto

Diputado del Área de Medio Ambiente y Articulación Territorial

La Directiva Marco del Agua de la Unión Europea, de obligado cumplimiento para los países miembros, considera al agua como un patrimonio que hay que proteger y por ello destaca la necesidad de adoptar medidas para evitar el deterioro de la cantidad y de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

La conservación del agua como un valioso patrimonio natural exige incorporar criterios de sostenibilidad y eficacia en su gestión. El freno a la sobreexplotación de los acuíferos, la depuración y reutilización de las aguas residuales, la restauración de los ecosistemas acuáticos, la cartografía de vulnerabilidad de los acuíferos, la delimitación de perímetros de protección de las captaciones de agua para consumo humano y el ahorro de los recursos mediante un uso eficiente, son medidas necesarias para alcanzar el "buen estado" de nuestras masas de agua.

La citada Directiva también indica que para lograr los objetivos de protección y mejora de la calidad del medio ambiente y la utilización racional de los recursos naturales debe existir una estrecha colaboración y una actuación coherente de la Comunidad Europea, los Estados miembros y las autoridades locales, así como información y participación de los usuarios. Considera que la Comunidad, en la elaboración de su política en el área de medio ambiente, tendrá en cuenta los datos científicos y técnicos disponibles así como las condiciones de las diversas regiones que la constituyen.

En este sentido el Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Málaga representa una herramienta muy eficaz para la aplicación de la Directiva Marco, puesto que proporciona el conocimiento de la situación actual de las diferentes masas de agua subterránea y de la infraestructura hidráulica de la provincia. También será de gran utilidad para la realización de una gestión integrada y solidaria del agua que debe tener en cuenta la heterogeneidad territorial de la provincia y las distintas características hidrogeológicas de sus comarcas.

Esta obra, en la que la Universidad de Málaga se ha implicado fuertemente, es uno de los primeros resultados de la recientemente creada Unidad Asociada entre el Instituto Geológico y Minero de España y el Grupo de Hidrogeología de esta Universidad "Estudios Hidrogeológicos Avanzados" y constituirá, sin duda, un referente para los trabajos futuros que tendrá que realizar.

Adelaida de la Calle Martín

Rectora de la Universidad de Málaga

2.

ATLAS hidrogeológico de la provincia de Málaga / J.J. Durán Valsero, coord.gral.- Madrid: Instituto Geológico y Minero de España; Diputación de Málaga, 2007.

3 vols ; ils; 220 págs. 43 x 31 cm

Contiene : Mapa hidrogeológico escala 1:200.000

ISBN 978-84-7840-675-3

1 Acuífero. 2 Recursos agua. 3 Mapa hidrogeológico. 4 Calidad agua. 5 Balance agua. 6 Abastecimiento agua. 7 Provincia Málaga. I. Durán Valsero, J.J., coord. gral. II Instituto Geológico y Minero de España, ed. III Diputación de Málaga, ed.

556(460.356)

© Excelentísima Diputación de Málaga
© Instituto Geológico y Minero de España (IGME)
© Universidad de Málaga

Diseño y maquetación: Pixel Creación y Producción Gráfica, S.L.
Impresión: Imprenta R.G.M., S.A.

ISBN Obra completa: 978-84-7840-675-3
Vol II: 978-84-7840-699-9
NIPO: 657-07-018-7
Depósito legal: BI-2911-07

2.

Índice

Presentación 2
Índice 5
Equipo de trabajo 6
Agradecimientos y créditos fotográficos 7
Instituciones colaboradoras 8

1 Introducción 9
2 Las masas de agua en la provincia de Málaga 13
3 De los sistemas acuíferos a las masas de agua subterránea 21
4 Las masas de agua subterránea en la provincia de Málaga 29
4.1 Sierra de Líbar (M.A.S. 050.068 y 060.044) 31
4.2 Sierra de Jarastepar (M.A.S. 060.045) 37
4.3 Dolomías de Ronda (M.A.S. 060.048) 41
4.4 Sierra de las Nieves-Prieta (M.A.S. 060.046) 47
4.5 Sierras Hidalga-Merinos-Blanquilla (M.A.S. 060.043) 53
4.6 Sierra de Cañete (M.A.S. 060.041) 59
4.7 Depresión meridional de Ronda (M.A.S. 060.042) y Setenil-Montecorto (M.A.S. 050.062) 65
4.8 Fuente de Piedra (M.A.S. 060.034) 71
4.9 Sierra y Mioceno de Estepa (M.A.S. 050.041) 77
4.10 Pedroso-Arcas (M.A.S. 050.051) 81
4.11 Sierra de Archidona (M.A.S 060.030) 85
4.12 Llanos de Antequera-Vega de Archidona (M.A.S. 060.033) 89
4.13 Sierra de Teba-Almargen-Campillos (M.A.S. 060.035) 95
4.14 Sierra del Valle de Abdalajís (M.A.S. 060.036) 101
4.15 Torcal de Antequera (M.A.S. 060.032) 107
4.16 Sierra de las Cabras-Camarolos-San Jorge (M.A.S. 060.031) 113
4.17 Sierra Gibalto-Arroyo Marín (M.A.S. 060.028) 119
4.18 Sierra de Enmedio – Los Tajos (M.A.S. 060.029) 125
4.19 Sierra Gorda-Polje de Zafarraya (M.A.S 060.025) 131
4.20 Sierra Tejeda (M.A.S. 060.064) 137
4.21 Sierra Almijara (M.A.S. 060.024) y Alberquillas (M.A.S. 060.063) 143
4.22 Guadiaro-Genal-Hozgarganta (M.A.S. 060.047) 149
4.23 Marbella-Estepona (M.A.S. 060.040) 155
4.24 Río Fuengirola (M.A.S. 060.039) 161
4.25 Sierra Blanca (M.A.S. 060.067) 167
4.26 Sierra de Mijas (M.A.S. 060.038) 173
4.27 Bajo Guadalhorce (M.A.S. 060.037) 179
4.28 Río Vélez (M.A.S. 060.027) 185
4.29 Río Torrox (M.A.S. 060.026) 191
4.30 Metapelitas de Sierras Tejeda-Almijara (M.A.S. 060.065) 195
4.31 Corredor Villanueva de la Concepción-Periana (M.A.S. 060.066) 199
5 Características hidrogeológicas de otros materiales de la provincia 203
5.1 El Trías de Antequera 205
5.2 Las peridotitas de Ronda 211
6 Bibliografía 217

2.

Equipo de trabajo

El Atlas Hidrogeológico de Málaga ha sido realizado mediante un convenio de colaboración entre el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Excelentísima Diputación Provincial de Málaga, con la colaboración de la Unidad Asociada IGME - Universidad de Málaga "Estudios Hidrogeológicos Avanzados". En su elaboración ha participado un amplio equipo de trabajo perteneciente a diversas instituciones, con colaboraciones de personas de otras entidades. A continuación se menciona el equipo de trabajo correspondiente a este tomo II del Atlas.

Coordinador General:

Juan José Durán Valsero
(Instituto Geológico y Minero de España)

Coordinador de este tomo:

Bartolomé Andreo Navarro
(Universidad de Málaga)

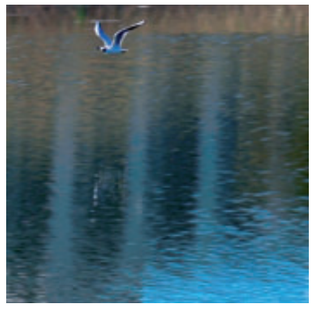
Supervisores:

María Teresa Jiménez Navarro
(Diputación Provincial de Málaga)

José Antonio Villalva Verdugo
(Diputación Provincial de Málaga)

Asistente editorial:

Raquel Morales García
(Instituto Geológico y Minero de España)



Autores:

Bartolomé Andreo Navarro	(Universidad de Málaga)
José Benavente Herrera	(Instituto del Agua. Universidad de Granada)
Patricia Burdino	(Instituto Geológico y Minero de España)
Antonio Carrasco Cantos	
Francisco Carrasco Cantos	(Universidad de Málaga)
Antonio Castillo Martín	(CSIC y Universidad de Granada)
José Javier Cruz San Julián	(Instituto del Agua. Universidad de Granada)
Juan José Durán Valsero	(Instituto Geológico y Minero de España)
Rafael Fernández Gutiérrez del Álamo	(INTECSA)
Loreto Fernández Ruiz	(Instituto Geológico y Minero de España)
José Luís García Aróstegui	(Instituto Geológico y Minero de España)
Alfredo García de Domingo	(Instituto Geológico y Minero de España)
Fernando Gervilla Linares	(Universidad de Granada)
Juan Gisbert Gallego	(Universidad de Almería)
Javier Heredia Díaz	(Instituto Geológico y Minero de España)
Pablo Jiménez Gavilán	(INTECSA - Universidad de Málaga)
Pedro Jiménez Fernández	(INTECSA)
Andrés Leal Gallardo	(Junta de Andalucía)
Luis Linares Girela	(Academia Malagueña de Ciencias)
Cristina Liñán Baena	(Fundación Cueva de Nerja)
Manuel López Chicano	(Universidad de Granada)
Eduardo Lupiani Moreno	(SEDELAM)
Miguel Martín Machuca	(Instituto Geológico y Minero de España)
Sergio Martos Rosillo	(Instituto Geológico y Minero de España)
Raquel Morales García	(Instituto Geológico y Minero de España)
Matías Mudarra Martínez	(Universidad de Málaga)
Isaac Pérez Ramos	(Universidad de Málaga)
Antonio Pulido Bosch	(Universidad de Almería)
José María Ruiz Hernández	(Instituto Geológico y Minero de España)
Luis Sánchez Díaz	(Universidad de Granada)
Damián Sánchez García	(Universidad de Málaga)
Iñaki Vadillo Pérez	(Universidad de Málaga)
Ángela Vallejos Izquierdo	(Universidad de Almería)

Tratamiento gráfico y cartográfico:

Isaac Pérez Ramos (Coordinador de cartografía)	(Universidad de Málaga)
Jose Luis Jiménez Baeza (Diseño y maquetación)	(Pixel CPG, S.L.).
Matías Mudarra Martínez	(Universidad de Málaga)
Leticia Vega Martín	(Instituto Geológico y Minero de España)

2.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración especial de las siguientes personas:

- Javier Álvarez Rodríguez (Director del Programa de Simulación Hidrológica del Área de Hidrología del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX) por la información de masas de agua superficiales.

- Carmen Antón-Pacheco Bravo (Dirección de Geología y Geofísica del IGME) por la aportación de imágenes de satélite de la provincia de Málaga.

- Amalia de Mera Merino (Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del IGME) por la generación de la base gráfica, en formato digital, referente al inventario de puntos acuíferos de la provincia de Málaga.

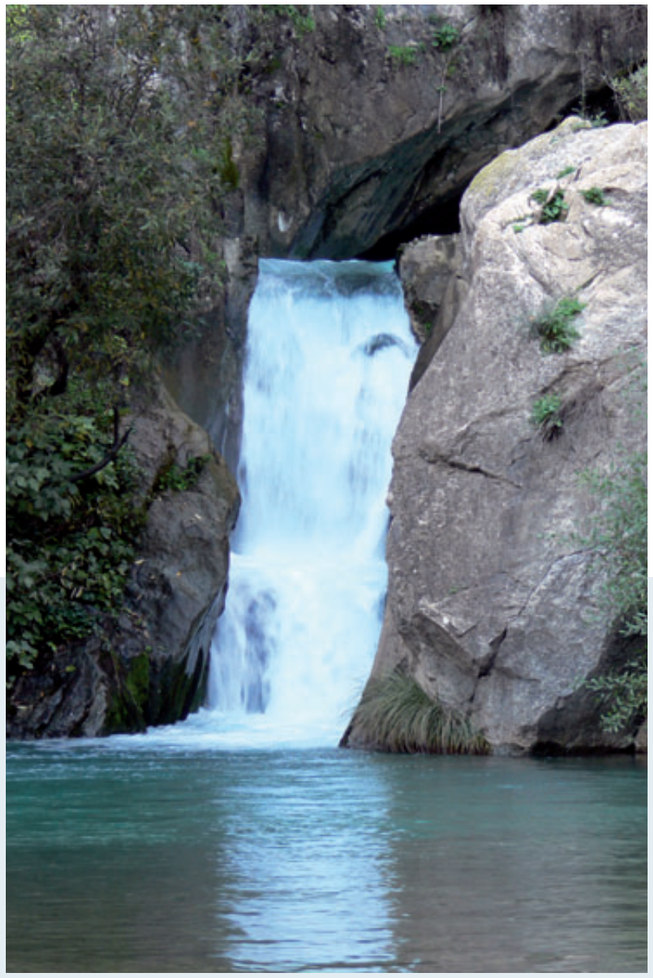
- Antonio Gragera Molina (ACUALIA, S.A.), por facilitar los datos de abastecimiento urbano al municipio de Torrox.

- Álvaro López García (Delegación provincial de Málaga de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía) por la ayuda prestada para la elaboración de la masa de agua subterránea Río Torrox.

- José Medina Ruiz (Presidente de la Comunidad de Regantes de Torrox) por facilitar el acceso e información de la zona.

- Ignacio del Río Marreno (Dirección de Planificación de la Dirección General del Agua del MIMAM) por coordinar el equipo de redacción de las masas de agua de transición y costeras de la provincia de Málaga.

- Alfonso Santos Olmo (Cuenca Mediterránea Andaluza de la Junta de Andalucía) por la aportación de datos pertenecientes a las redes de control oficiales.



Créditos fotográficos

A continuación se detallan las páginas donde se ubican las fotografías y, entre paréntesis, se indica, en su caso, la posición dentro de la página (a: arriba; b: abajo, c centro, d: derecha, i: izquierda, p: portada de capítulo, rp: recuadro de portada de capítulo). Pueden darse combinaciones entre las opciones posibles; así, por ejemplo, "a-i" significa "arriba izquierda" o "b-c" significa "abajo centro", etc. Cuando solo se indica una página, significa que todas las fotos incluidas en dicha página tienen la misma autoría.

Alfredo García de Domingo y Raquel Morales García (IGME): 5, 6, 7, 10, 13(p), 14, 15(a-i), 15(a-d), 16, 20, 21, 26, 27, 31(rp), 37(rp), 41, 43(d), 59(rp), 60(d), 61(d), 71, 72, 73, 74(i), 76(b-d), 77(p), 78, 81(p), 84(b), 85(rp), 89, 90(d), 94(b-i), 97(i), 100(b-i), 101(p), 102(a), 103(a-c), 104(d), 109(d), 112(a-d), 120, 137(rp), 138(b), 139(b), 143(rp), 149(p), 150, 151(a-d), 152, 154 (b), 155, 156(d), 157, 158 (b-c), 160(i), 168(b), 181, 186(b), 195(p), 196, 198(b-i), 198(b-d), 200(a).

Antonio Arana Bravo: 145(a).

Antonio Castillo Martín (CSIC y Universidad de Granada): 9(p), 11(d), 12, 28-29, 52(b-i), 52(b-d), 55(i), 58(a-i), 98, 112(a-i), 161(p), 162(a), 163.

Antonio Pulido Bosch (Universidad de Almería): 103(a-c), 107(rp), 108.

Archivo del Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga: 31(p), 32, 33, 36, 37(p), 38, 40, 42, 44, 46, 47, 48, 49(a), 49(b-d), 52(a), 53, 54, 55(d), 56, 58(b-i), 58(d), 59(p), 60(i), 61(i), 62(b), 64(d), 65, 66, 67, 68, 70, 74(d), 76(i), 76(a-d), (81rp), 84, 85(p), 86, 87(c), 87(b), 90(i), 91(a), 92, 94(a), 95, 96, 97(d), 100(a), 100(b-d), 101(rp), 102(b), 104, 106(i), 107(p), 109, 110, 112(b), 113, 114, 115, 118, 119(rp), 121(b-d), 124(d), 125, 126, 127, 128, 129, 131(p), 132, 137(p), 138(a), 139(a), 140, 142, 143(p), 144, 145(b-i), 145(b-d), 146, 148(b), 149(rp), 151(a-c), 151(b-d), 154(a), 161(rp), 162(b), 164(i), 166(b-i), 167, 168(a), 169, 170(b), 172(b), 173(p), 174, 175, 176, 178 (a-c), 178(a-d), 178(b-i), 178(b-d), 179, 180, 182, 184, 191, 192, 194, 195(rp), 199, 200(b), 202.

Archivo de la Diputación Provincial de Málaga: 61(b), 62(a), 64(c), 122, 148(a), 151(b-i).

Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente: 13(rp), 15(b), 18, 19.

Eduardo Lupiani Moreno (SEDALM): 156(i), 158(a), 158(b-i), 158(b-d), 160(c), 160(d).

Fernando Ruiz (IGME): 77(rp).

Gabriel Martín Zúñiga: 164(d), 166(a), 166(b-d).

José Benavente Herrera (Universidad de Granada): 185(rp), 187(b), 188, 190.

José Luis García Aróstegui (IGME): 185(p), 186(a), 187(a).

Luis Linares Girela (Academia Malagueña de Ciencias): 9(rp), 11(i), 34, 64(i), 82(a), 88(a), 91(b), 94(b-d), 116, 119(p), 121(a), 121(b-i), 124(i), 134(b), 136, 170(a), 172(a), 173(rp), 178(b-c), 198(a).

Luis Morales (Agencia Mediterránea Andaluza del Agua):

Manuel López Chicano (Universidad de Granada): 131(rp), 133, 134(a).

Sociedad Excursionista de Málaga: 49(b-i).

Patronato de Turismo de Ronda: 43(i).

2.

Instituciones colaboradoras

Las instituciones que han participado en el tomo II del Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga son:

málaga.es diputación

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

UNIDAD DE ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS AVANZADOS
ueha IGME-UMA

JUNTA DE ANDALUCIA

Academia Malagueña de Ciencias

intecsa-inarsa, s.a.

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

FUNDACIÓN CuevadeNerja

Universidad de Granada

sedelam
Ingeniería, Tecnología y Servicios del Agua y Medio Ambiente, S.L.

2.01

Introducción

2.01

Introducción

Las aguas subterráneas han constituido históricamente un elemento importante del paisaje de la provincia de Málaga. Todos los pobladores de la provincia, desde la Prehistoria hasta la actualidad, pasando por los fenicios, romanos y el periodo de ocupación musulmana, han aprovechado las aguas subterráneas. Los asentamientos humanos de esas épocas constituyeron el núcleo de muchos pueblos actuales de la provincia. Las aguas almacenadas en los acuíferos, a diferencia de las superficiales, presentan ciertas garantías en cuanto a su permanencia en el tiempo (no son tan vulnerables a los periodos de sequía) y este hecho era bien conocido por los antiguos pobladores, como demuestra la ubicación de gran parte de los pueblos en las proximidades de manantiales.

Las aguas subterráneas han estado siempre relacionadas con el desarrollo de los pueblos. Por ello, la Diputación Provincial de Málaga editó, en 1988, el Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Málaga, uno de los primeros elaborados en España y en Andalucía. Esta obra supuso la recopilación de gran parte de las investigaciones que se habían realizado hasta entonces en las unidades hidrogeológicas de la provincia. En dichas investigaciones tuvo un papel destacado el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), a través del denominado Plan de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), que se llevó a cabo a finales de la década de los años setenta y principio de los ochenta del pasado siglo. El Atlas de 1988 ha constituido una referencia importante, en un formato adecuado, para los técnicos interesados en conocer cuestiones relativas a la hidrogeología de la provincia.

Han pasado casi veinte años, lo cual es bastante en materia de aguas subterráneas, y la situación ha cambiado, tanto en lo relativo al conocimiento como a los aprovechamientos. Incluso, desde el punto de vista legal, se han producido modificaciones con la promulgación de la Directiva Marco Europea del Agua y la Directiva Hija, derivada de ella en materia de aguas subterráneas. Consciente de estos cambios, la Diputación Provincial de Málaga ha asumido el reto de hacer un nuevo Atlas Hidrogeológico de la provincia, para lo cual ha contado con la colaboración del IGME y del Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (Unidad Asociada IGME-UMA). El Atlas está estructurado en tres tomos, de los cuales éste es el segundo y en él se pretende analizar el estado de las aguas subterráneas de la provincia pero, al mismo tiempo, indicar qué aspectos es necesario conocer mejor y qué medidas deberían tomarse para optimizar su gestión. Los autores han derrochado esfuerzo para que este segundo tomo sea una actualización en materia de aguas subterráneas en la provincia, hecha de forma clara y concreta, con rigor científico y técnico, pero con cierto carácter divulgativo, para que le mensaje llegue a la mayor

Molino de los Corchos (Alhaurín el Grande)

cantidad de público posible. A ello contribuye bastante la ilustración del volumen: fotografías de campo –panorámicas y detalle de puntos de agua (manantiales y sondeos)-, mapas y cortes hidrogeológicos y evoluciones temporales históricas de datos de caudal y profundidad del nivel piezométrico.

La Directiva Marco Europea ha supuesto, entre otras muchas cosas, un cambio en la concepción tradicional de "acuífero". Ahora, se considera que un acuífero es todo terreno capaz de suministrar 10 m^3/día de agua o abastecer una población de más de 50 habitantes durante un año, algo que puede ocurrir en casi todo tipo de materiales. Además, la Directiva Marco Europea no utiliza el término "unidad hidrogeológica", sino el de "masa de agua subterránea" para referirse a un acuífero o conjuntos de acuíferos que presentan continuidad hidrogeológica y características afines en cuanto a su estado cuantitativo (cantidad de agua) y cualitativo (calidad del agua). El Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM) llevó a cabo una definición de masas de agua en el año 2005, para el conjunto de España, aunque esta definición presenta deficiencias significativas en la provincia de Málaga.

Manantial en la Sierra de San Jorge (Villanueva del Trabuco)

Este tomo segundo del nuevo Atlas ha pretendido adoptar la terminología de las masas de agua que impone la Directiva Marco, aún conociendo las limitaciones de las masas de aguas definidas por el MIMAM, pero sin renunciar a los criterios hidrogeológicos que deben imperar en materia de aguas subterráneas. Esa es la razón por la cual hay capítulos en los que se han agrupado dos masas de agua subterránea o se critican los límites establecidos por el MIMAM, con el ánimo de contribuir a la revisión futura de los mismos.

La provincia de Málaga presenta abundantes masas de agua subterránea formadas por acuíferos, tanto de naturaleza detrítica como carbonatada. Prácticamente a cada una de ellas se ha dedicado un capítulo dentro de este tomo. La acumulación de sedimentos (arenas, gravas, limos), principalmente durante el Cuaternario, ha dado lugar a acuíferos detríticos en el tramo de desembocadura de los valles fluviales. Los más importantes son, sin duda, los de los Ríos Guadalhorce, Vélez y Fuengirola, pero hay otros acuíferos aluviales que tienen cierto interés en relación con los cauces de la parte occidental de la provincia (Padrón, Guadalmina, Guadalmansa, Verde) y del sector oriental (Ríos Algarrobo, Torrox y Chíllar). Generalmente estos acuíferos presentan conexión hidrogeológica con los ríos que circulan sobre ellos, pero también con sedimentos detríticos (arenas y margas de edad Plioceno o areniscas calcáreas del Mioceno superior) que existen debajo.

El otro conjunto importante de masas de agua subterránea dentro de la provincia está constituido por acuíferos carbonatados, es decir, por las sierras calizo-dolomíticas (Serranía de Ronda, Sierra del Valle de Abdalajís-Torcal de Antequera, Alta Cadena) y marmóreas (Blanca-Mijas y Tejeda-Almijara-Guájares). La provincia de Málaga es bastante rica en acuíferos carbonatados, que almacenan el doble de agua que los detríticos y de mejor calidad, aunque, paradójicamente, se aprovechan menos. La descarga de este tipo de acuíferos se produce, mayoritariamente, por manantiales que constituyen el nacimiento de ríos de la provincia. Además de la fuente de agua que suponen, estos manantiales constituyen un emblema de los municipios en los que se encuentran y un reclamo turístico de primer orden. Como ejemplos se pueden citar los de la Cueva del Gato y de Benaoján o Molino del Santo en la Sierra de Líbar; Igualeja, Río Verde y Río Grande o Zarzalones en la Sierra de las Nieves; Istán en Sierra Blanca; Hierbabuena, El Burgo y Serrato en la Serranía de Ronda; La Villa en el Torcal de Antequera; Villanueva del Rosario y Fuente de los Cien Caños en la Alta Cadena y el de Maro en Sierra Almijara.

Manantial en la Sierra de Cañete

2.

Además de los acuíferos detríticos y carbonatados existen otros materiales que no han sido considerados tradicionalmente como tales, sino como materiales de baja permeabilidad, aunque al amparo de la Directiva Marco del Agua se han definido como masas de agua porque de ellas se aprovecha agua subterránea para abastecimiento urbano. Es el caso de las pizarras y esquistos que afloran en los Montes de Málaga y de la Axarquía y de las arcillas con areniscas que hay en la parte central de la provincia, desde Álora hasta Alcaucín.

No están definidas como masas de agua, pero se han dedicado dos capítulos a otros materiales de la provincia. Uno trata sobre el conjunto de arcillas con evaporitas (yesos y sal) de edad triásica que afloran ampliamente al norte y al sur de Antequera, cuyas aguas subterráneas causan la salinización del embalse del Guadalhorce, que se utiliza para abastecimiento a Málaga. El otro trata sobre las peridotitas -rocas ígneas muy escasas en la superficie terrestre pero abundantes en la provincia de Málaga- que afloran en las Sierras Bermeja, de Tolox, Alpujata, de Aguas y de la Robla; en este tipo de rocas hay pequeñas fuentes, como las de la carretera de San Pedro de Alcántara a Ronda, pero también manantiales cuyas aguas presentan propiedades terapéuticas (Balneario de Tolox, Baños del Puerto en Alhaurín el Grande).

En los últimos veinte años, los conocimientos sobre las aguas subterráneas han aumentado. Se ha investigado sobre los recursos de agua disponibles y sobre diversos aspectos como la contaminación por actividades humanas, la intrusión marina, la relación de las aguas subterráneas y los humedales, etc. El nivel de conocimientos ciertamente es mayor, aunque no todo lo que hubiera sido deseable. El mayor conocimiento no ha conllevado, sin embargo, una mejora en las condiciones de aprovechamiento y gestión de las aguas subterráneas, que siguen sin tenerse suficientemente en cuenta en la planificación hidrológica. Esperemos que para la edición del siguiente Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Málaga, la situación haya mejorado en este sentido.

Manantial de la Fuensanta (El Burgo)

2.02

Las masas de agua en la provincia de Málaga

2.02

Las masas de agua en la provincia de Málaga

Andrés Leal Gallardo
Raquel Morales García

A finales del año 2000 fue aprobada y publicada, por parte de la Comisión y del Parlamento Europeos, la denominada Directiva Marco del Agua (2000/60/CE), que establece un marco de actuación comunitario en el ámbito de la política de aguas para todos los Estados Miembros de la Unión Europea. En España fue transpuesta a la legislación estatal, a través de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre de 2003, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social, artículo 129, que modificó el Texto Refundido de la Ley de Aguas (R.D.L 1/2001). En la nueva normativa, el agua deja de considerarse exclusivamente como recurso y se contempla como un elemento básico de los ecosistemas hídricos y una parte fundamental para el sostenimiento de la buena calidad ambiental que, a la vez, garantiza el recurso.

El Río Hozgarganta constituye una masa de agua superficial continental y su lecho forma parte de la masa de agua subterránea Guadiaro-Genal-Hozgarganta

Masa de agua subterránea Sierra de Cañete Sur (Cañete la Real)

Embalse de la Viñuela, masa de agua superficial continental

La Directiva Marco del Agua constituye una nueva normativa para lograr la protección, tanto cualitativa como cuantitativa, de todas las aguas comunitarias, con objeto de prevenir o reducir su contaminación, promover su uso sostenible, proteger el medio ambiente, mejorar el estado de los ecosistemas acuáticos y atenuar los efectos de las inundaciones y las sequías. En ella se incorporan los principios fundamentales de la gestión moderna de los recursos hídricos y, por primera vez, se abordan de forma conjunta todas las aguas: las aguas superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas. Su objetivo fundamental es alcanzar el buen estado de todas las aguas en el año 2015, para lo que establecen como herramientas básicas la planificación hidrológica, la gestión por cuencas hidrográficas, los análisis económicos y la participación pública.

La Directiva Marco del Agua establece la Demarcación Hidrográfica como principal unidad de gestión de cuencas hidrográficas y la define como "la zona marina y terrestre compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas y las aguas subterráneas y costeras asociadas". La Cuenca Hidrográfica es "la superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye, en su totalidad, a través de una serie de corrientes, ríos (y, eventualmente, lagos) hacia el mar, por una única desembocadura, estuario o delta".

Por tanto, la primera actuación de los Estados Miembros, imprescindible para la aplicación de la Directiva Marco del Agua, ha sido el establecimiento de las demarcaciones hidrográficas situadas en su territorio, así como la designación de las cuencas hidrográficas, acuíferos y aguas costeras que incluyen. En este marco de gestión, la provincia de Málaga se sitúa mayoritariamente en la Cuenca Mediterránea Andaluza (anterior Confederación Hidrográfica del Sur) y sólo una pequeña parte se corresponde con la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir y con la Cuenca Atlántica Andaluza.

La Cuenca Mediterránea Andaluza y la Cuenca Atlántica Andaluza son cuencas intracomunitarias y, desde enero de 2005, se consideran organismos integrados en la Agencia Andaluza del Agua, organismo autónomo dependiente de la Consejería de Medio Ambiente, que ejerce las funciones correspondientes a todas las competencias de la Junta de Andalucía en materia de aguas. La Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir es una cuenca intercomunitaria y, por tanto, las competencias corresponden al Estado, a través del Ministerio de Medio Ambiente (Dirección General del Agua).

Masa de agua costera (Puerto de Marbella)

2.

Las masas de agua

Toda la gestión de las demarcaciones hidrográficas se centra en las masas de agua, ya que en ellas se concreta el cumplimiento de los objetivos medioambientales y se aplican las medidas necesarias para alcanzar dichos objetivos. La Directiva Marco del Agua utiliza la terminología "masa de agua superficial" para referirse a una parte diferenciada y significativa de aguas continentales: río (aguas corrientes), lago (aguas quietas), de transición (próximas a la desembocadura, parcialmente salinas, con influencia de flujos de agua dulce), artificial (acumulaciones de agua creadas por la actividad humana) y muy modificada (aguas alteradas por la actividad humana hasta experimentar, por ello, cambios sustanciales en sus características). "Masa de agua subterránea" es una parte diferenciada y significativa de agua, en un acuífero o acuíferos, correspondiente a aguas continentales que se encuentran bajo la superficie del suelo, en la zona saturada y en contacto directo con el suelo o el subsuelo. Las aguas costeras son las aguas superficiales marinas definidas por el límite de las aguas de transición y la línea que delimita la anchura del mar territorial español más una milla náutica.

Hasta la fecha, los trabajos más importantes desarrollados por el Ministerio de Medio Ambiente, a través de la Dirección General del Agua, para la implementación de la Directiva Marco del Agua en España, son los requeridos por el artículo 5, según el cual se deben efectuar, en cada demarcación hidrográfica, la identificación, delimitación y caracterización de las masas de agua. Para ello se siguen las especificaciones del Anexo II de la Directiva, que determina que todas las masas de agua superficial, dentro de una demarcación hidrográfica, se clasificarán en uno de los siguientes tipos: ríos, lagos, aguas de transición, aguas costeras, masas de agua superficial artificial o masas de agua superficial muy modificadas.

Laguna de La Ratosa, masa de agua superficial continental

Las masas de agua superficial continentales

La definición de las distintas masas de agua de las demarcaciones hidrográficas ha sido tarea complicada y podrá ser objeto de posteriores revisiones, dado el papel trascendental que desempeñan en la gestión del agua. La definición y delimitación de las categorías de agua superficial (ríos, lagos, aguas de transición y costeras), la tipificación e identificación de masas de agua y el establecimiento de condiciones de referencia específicas se basan en la propuesta metodológica del Centro de Estudios Hidrográficos y Costas perteneciente al Centro de Experimentación de Obras Públicas del Ministerio de Fomento (CEDEX). Este organismo es responsable, junto con el Instituto Geológico y Minero de España y las Confederaciones Hidrográficas, del asesoramiento y asistencia técnica al Ministerio de Medio Ambiente en los trabajos de implantación de la Directiva Marco del Agua. La caracterización de las masas de agua superficial se encuadra en una iniciativa del Ministerio de Medio Ambiente a escala nacional.

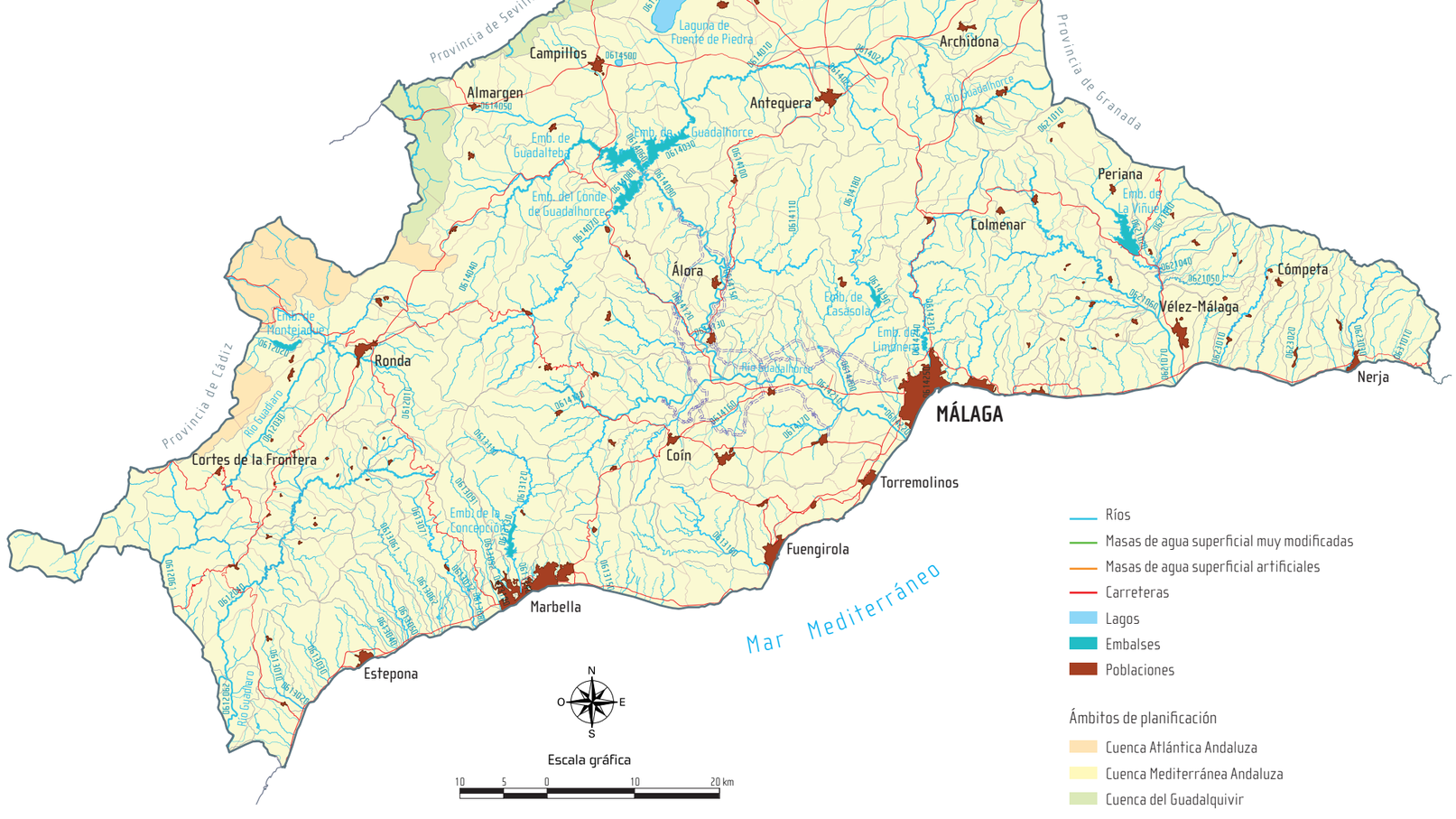
A partir de los documentos guía de la Estrategia Común de Implantación (ECI) de la Directiva Marco del Agua y de acuerdo con los criterios de caracterización establecidos en el Anexo II de dicha Directiva, las masas de agua superficial en la provincia de Málaga se clasifican en las categorías de ríos y lagos, aunque algunas tienen carácter artificial o muy modificado.

Masa de agua subterránea Marbella-Estepona

Masas de agua superficial continentales de la provincia de Málaga

Código	Nombre	Categoría
0612010	Cabecera Guadiaro	Río
0612020	Gaduares	Río
0612030	Guadiaro Montejaque-Cortes	Río
0612040	Genal	Río
0612050	Hozgarganta	Río
0612061	Guadiaro Buitreras-Corchado	Río
0612062	Bajo Guadiaro	Río
0613010	Alto Manilva	Río
0613020	Bajo Manilva	Masa de agua muy modificada
0613030	Vaquero	Río
0613040	Padrón	Río
0613050	Castor	Río
0613061	Alto Guadalmansa	Río
0613062	Bajo Guadalmansa	Río
0613071	Alto Guadalmina	Río
0613072	Medio Guadalmina	Río
0613080	Bajo Guadalmina	Masa de agua muy modificada
0613091	Alto Guadaiza	Río
0613092	Medio Guadaiza	Río
0613100	Bajo Guadaiza	Masa de agua muy modificada
0613110	Cabecera Verde de Marbella	Río
0613120	Medio-Alto Verde de Marbella	Río
0613130	Embalse de La Concepción	Masa de agua muy modificada
0613140	Bajo Verde de Marbella	Masa de agua muy modificada
0613150	Real	Río
0613160	Alto y Medio Fuengirola	Río
0613170	Bajo Fuengirola	Masa de agua muy modificada
0614010	Canal de la Laguna Herrera	Masa de agua artificial
0614021	Alto Guadalhorce	Río
0614022	La Villa	Río
0614030	Embalse de Guadalhorce	Masa de agua muy modificada
0614040	Alto y Medio Guadalteba	Río
0614050	La Venta	Río
0614060	Embalse de Guadalteba	Masa de agua muy modificada
0614070	Alto y Medio Turón	Río
0614080	Embalse Conde de Guadalhorce	Masa de agua muy modificada
0614090	Guadalhorce Gaitanes-Encantada	Masa de agua muy modificada
0614100	Piedras	Río
0614110	Jévar	Río
0614120	Las Cañas	Río
0614130	Casarabonela	Río
0614140	Grande del Guadalhorce	Río
0614150	Medio Guadalhorce	Masa de agua muy modificada
0614160	Fahala	Río
0614170	Breña Higuera	Río
0614180	Alto Campanillas	Río
0614190	Embalse de Casasola	Masa de agua muy modificada
0614200	Bajo Campanillas	Masa de agua muy modificada
0614210	Bajo Guadalhorce	Masa de agua muy modificada
0614220	Desembocadura Guadalhorce	Masa de agua muy modificada
0614230	Alto y Medio Guadalmedina	Río
0614240	Embalse de El Limonero	Masa de agua muy modificada
0614500	Laguna Dulce	Lago
0615500	Laguna de Fuente de Piedra	Lago
0614250	Bajo Guadalmedina	Masa de agua muy modificada
0621010	Alto y Medio Guaro	Río
0621020	Embalse de La Viñuela	Masa de agua muy modificada
0621030	Alcaucín-Bermuza	Río
0621040	Almanchares	Río
0621050	Rubite	Río
0621060	Benamargosa	Río
0621070	Vélez y Bajo Guaro	Masa de agua muy modificada
0623010	Algarrobo	Río
0623020	Torrox	Río
0623030	Chíllar	Río
0631010	La Miel	Río

Mapa de masas de agua superficial continentales de la provincia de Málaga



2. Las masas de agua superficial costeras

La delimitación de las masas de aguas costeras de la Comunidad Autónoma de Andalucía, de acuerdo a la Directiva Marco de Agua, se ha llevado a cabo a partir de las líneas de base rectas que delimitan las aguas jurisdiccionales españolas (RD 2510/1977, de 5 de agosto). Así, son aguas costeras, las aguas superficiales marinas definidas por el límite de las aguas de transición y la línea que delimita la anchura del mar territorial español más una milla náutica. En este planteamiento, se han presentado algunas excepciones debido a la presencia de Gibraltar y a la existencia de algunas obras de infraestructura de gran magnitud construidas con posterioridad a la definición de las citadas líneas, que superan ampliamente dicho límite. En estas situaciones, se adoptó como criterio de delimitación del límite externo de las aguas costeras una línea equidistante 1 milla a la línea de costa actual.

En la definición de masas de agua costeras se ha seguido el "sistema B" (caracterización alternativa) definido en el Anexo II de la Directiva Marco de Agua. Mediante la aplicación de una serie de criterios obligatorios, y otros optativos, de carácter físico y químico, se determinan las características de las aguas costeras y la estructura y composición de la comunidad biológica asociada. La aplicación de los factores obligatorios (longitud, latitud, amplitud de mareas y salinidad) impidió una segregación interna en el Mediterráneo, ya que todas sus aguas son eurihalinas y micromareales, aunque sí ha permitido precisar algunos matices, sobre todo el régimen mareal, en los tipos establecidos en la región ecológica atlántica de Andalucía. De los factores obligatorios, el régimen mareal y la salinidad son los que han proporcionado mayor posibilidad de tipificar las aguas de transición andaluzas, especialmente el primero.

Entre los factores optativos, los que ofrecen un mayor número de tipos son: profundidad, composición media del sustrato, exposición al oleaje, temperatura superficial del mar, presencia de plumas estuarinas e influencia del Estrecho de Gibraltar, cuya compleja dinámica conlleva el intercambio de aguas mediterráneas y atlánticas.

Se han establecido una serie de tipos de masas de agua costeras del litoral andaluz y, posteriormente, se han definido, con criterios de gestión integrada, el conjunto de masas de agua litorales. Mediante el análisis de presiones e impactos hidromorfológicos se determinaron, igualmente, las denominadas masas de agua muy modificadas, cuyos cambios sustanciales en su naturaleza, les impide alcanzar el buen estado ecológico.

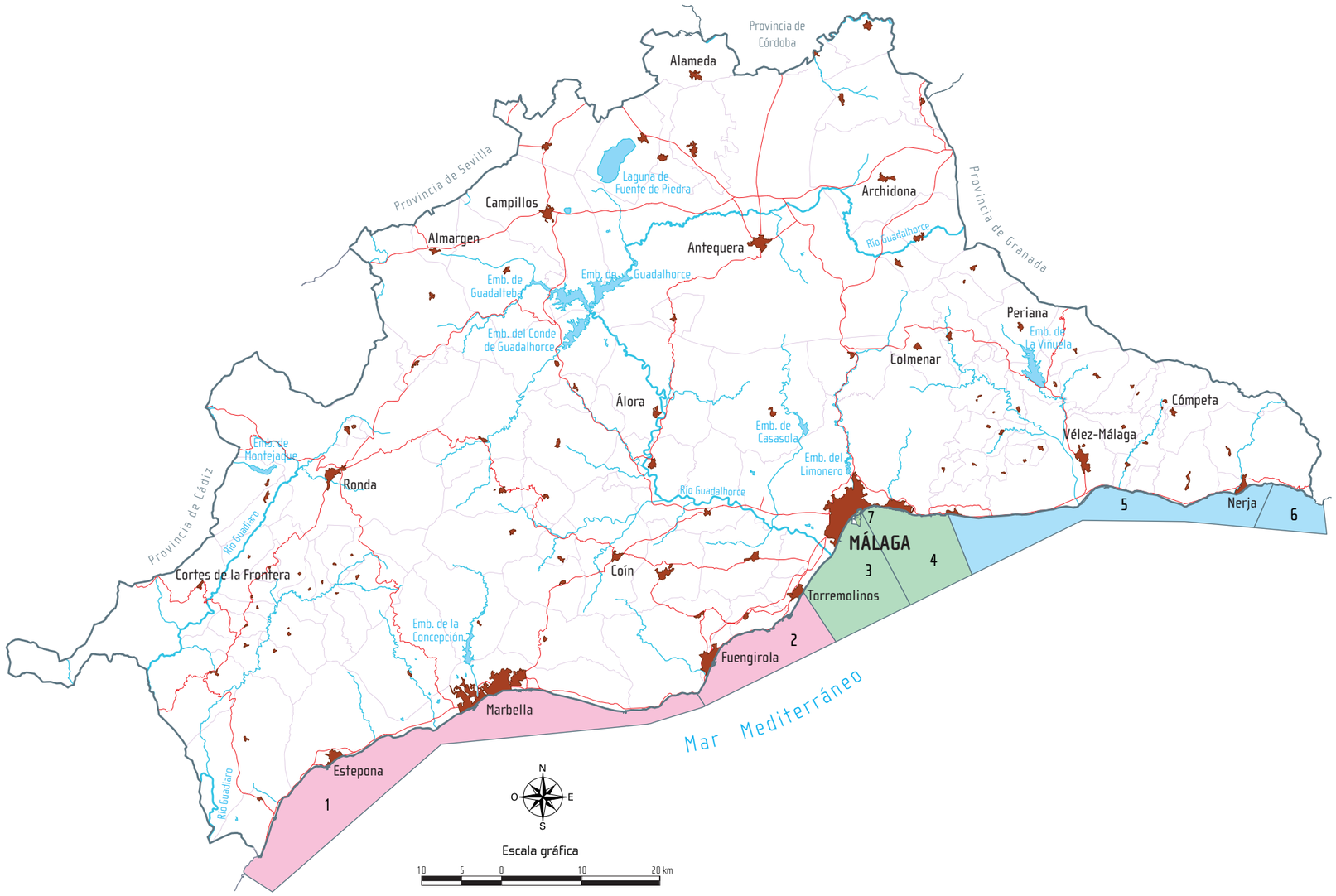
En las aguas costeras de la provincia de Málaga están presentes tres tipos de masas de agua definidos de acuerdo con los criterios descritos: somero fangoso de influencia atlántica", "profundo sedimentario" y "somero sedimentario de influencia atlántica". Se han delimitado seis masas de agua costeras "naturales" y una "muy modificada", cuyas características se presentan en la tabla adjunta.

Masas de agua superficial costeras de la provincia de Málaga

Denominación de la masa de agua	Tipo de agua costera	Naturaleza	Área (ha)
Desembocadura del Guadiaro - Punta de Calaburras	Somero sedimentario de influencia atlántica	Natural	30.171
Punta de Calaburras - Torremolinos	Somero sedimentario de influencia atlántica	Natural	9.537
Torremolinos - Puerto de Málaga	Somero fangoso de influencia atlántica	Natural	11.369
Puerto de Málaga - Rincón de la Victoria	Somero fangoso de influencia atlántica	Natural	10.005
Rincón de la Victoria - Límite PN de Acantilados de Maro	Profundo sedimentario	Natural	15.567
Ámbito del PN Acantilados de Maro	Profundo sedimentario	Natural	3.945
Puerto de Málaga	Somero fangoso de influencia atlántica	Muy modificada	107

Masa de agua costera (Acantilado de Maro)

Mapa de masas de agua superficial costeras de la provincia de Málaga



Leyenda

- Ríos
- Límites administrativos
- Carreteras
- Embalses
- Poblaciones

Tipología de masas costeras

- MED 3: Somero sedimentario de influencia atlántica
- MED 4: Somero fangoso de influencia atlántica
- MED 5: Profundo sedimentario

Denominación de la masa de agua

1: Desembocadura del Guadiaro - Punta de Calaburras
2: Punta de Calaburras - Torremolinos
3: Torremolinos - Puerto de Málaga
4: Puerto de Málaga - Rincón de la Victoria
5: Rincón de la Victoria - Límite PN de Acantilados de Maro
6: Ámbito del PN Acantilados de Maro
7: Puerto de Málaga

Masa de agua costera (Puerto de Málaga)

Masa de agua costera (Desembocadura del Guadalhorce)

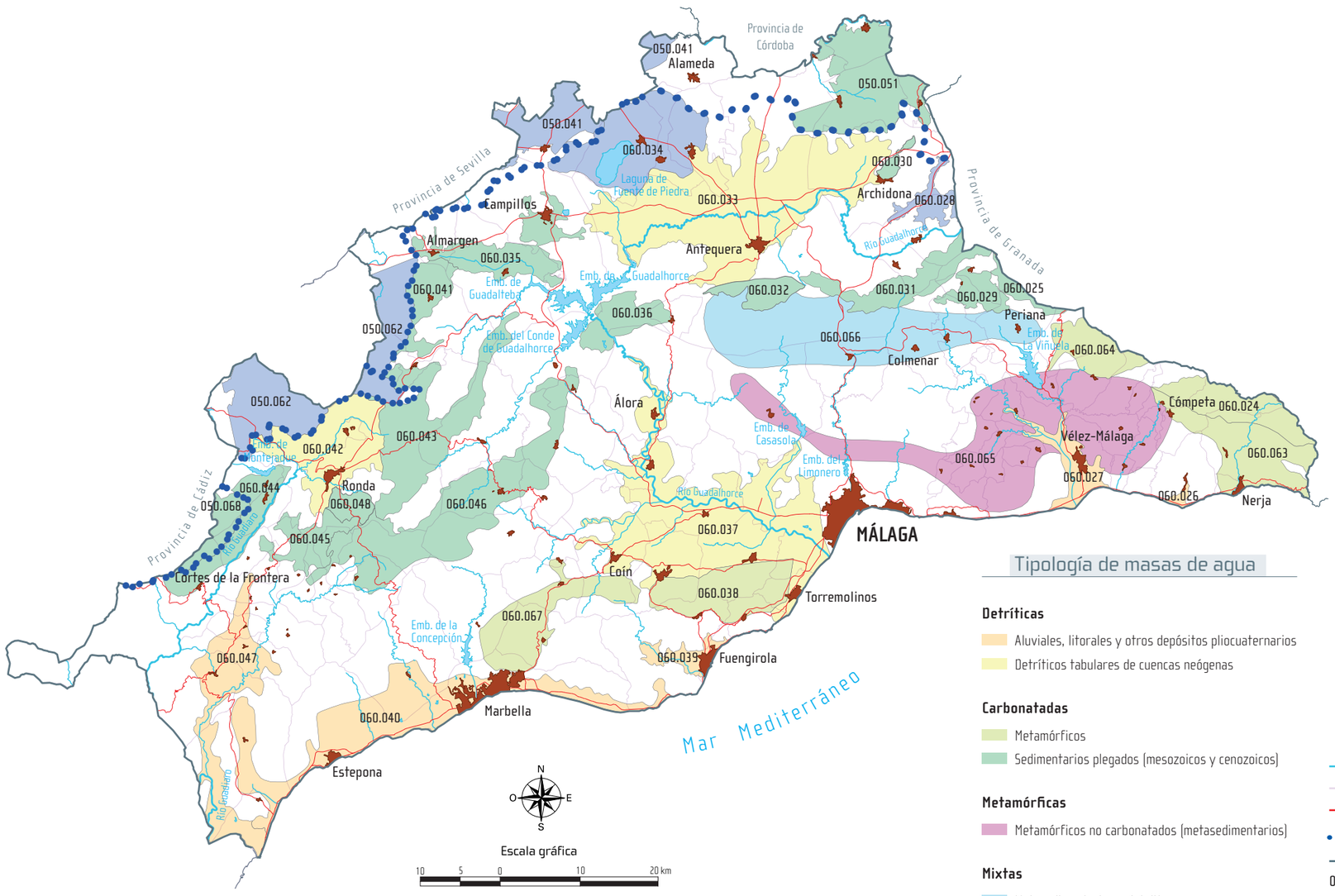
2.

Masa de agua subterránea Depresión meridional de Ronda (Tajo de Ronda)

Las masas de agua subterránea

En la provincia de Málaga se han definido un total de 34 masas de agua subterránea. El procedimiento seguido para su delimitación, junto con los criterios aplicados para definir sus límites y proceder a su caracterización, se concreta en el capítulo siguiente, el cual, a su vez, se desarrolla a lo largo de este tomo, dedicado a describir detalladamente todas y cada una de las masas de agua subterránea provinciales.

Mapa de masas de agua subterránea de la provincia de Málaga



Masas de agua subterránea de la provincia de Málaga

Código	Nombre de la masa de agua subterránea
050.051	Pedroso-Arcas
050.041	Sierra y Mioceno de Estepa
050.062	Setenil-Montecorto
050.068	Sierra de Líbar (sector Guadalquivir)
060.024	Sierra Almijara
060.025	Sierra Gorda-Zafarraya
060.026	Río Torrox
060.027	Río Vélez
060.028	Sierra de Gibalto-Arroyo Marín
060.029	Sierra de Enmedio-Los Tajos
060.030	Sierra de Archidona
060.031	Sierra de las Cabras-Camarolos-San Jorge
060.032	Torcal de Antequera
060.033	Llanos de Antequera-Vega de Archidona
060.034	Fuente de Piedra
060.035	Sierra de Teba-Almargen-Campillos
060.036	Sierra del Valle de Abdalajís
060.037	Bajo Guadalhorce
060.038	Sierra de Mijas
060.039	Río Fuengirola
060.040	Marbella-Estepona
060.041	Sierra de Cañete Sur
060.042	Depresión meridional de Ronda
060.043	Sierra Hidalga-Merinos-Blanquilla
060.044	Sierra de Líbar
060.045	Sierra de Jarastepar
060.046	Sierra de las Nieves-Prieta
060.047	Guadiario-Genal-Hozgarganta
060.048	Dolomías de Ronda
060.063	Sierra Alberquillas
060.064	Sierra Tejeda
060.065	Metapelitas de Sierras Tejeda-Almijara
060.066	Corredor Villanueva de la Concepción Periana
060.067	Sierra Blanca

Tipología de masas de agua

Detríticas
- Aluviales, litorales y otros depósitos pliocuaternarios
- Detríticos tabulares de cuencas neógenas

Carbonatadas
- Metamórficos
- Sedimentarios plegados (mesozoicos y cenozoicos)

Metamórficas
- Metamórficos no carbonatados (metasedimentarios)

Mixtas
- Metasedimentarios y detríticos
- Carbonatados y detríticos

- Ríos
- Límites administrativos
- Carreteras
- Divisoria de cuenca hidrográfica
- Límite de masa de agua subterránea
- 060. Número identificativo
- Embalses
- Poblaciones

2.03

De los sistemas acuíferos a las masas de agua subterránea

2.03

De los sistemas acuíferos a las masas de agua subterránea

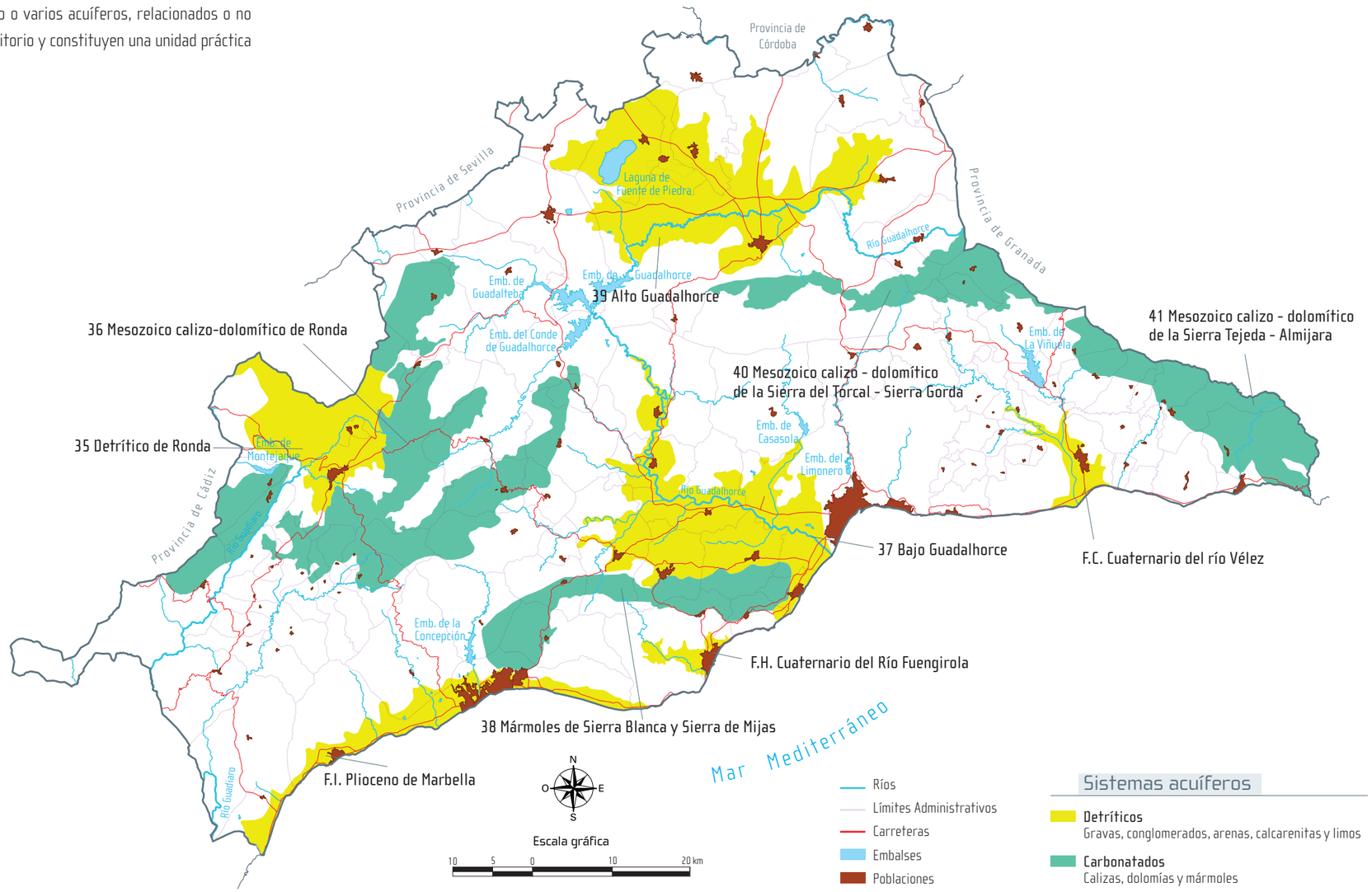
Loreto Fernández Ruiz

A finales de la década de 1960, se planteó en España la necesidad de definir y cuantificar los recursos hídricos subterráneos, para dotar al territorio español de una infraestructura hidrogeológica. Con estos objetivos, se inició por parte del IGME, la investigación hidrogeológica mediante el Programa Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), en el que se consideró como unidad de gestión el sistema acuífero, concebido atendiendo a dos criterios distintos: uno espacial y otro de investigación y planificación. Ambos criterios llevaron a precisar la definición de sistema acuífero como "un conjunto de uno o varios acuíferos, relacionados o no entre sí, que se extienden en un mismo territorio y constituyen una unidad práctica de investigación o de explotación".

La delimitación se estos sistemas se basó especialmente en la cartografía hidrogeológica; las formaciones impermeables que definen límites precisos, la litología, la tectónica y los puntos de drenaje naturales fueron los criterios guía.

En la provincia de Málaga se delimitaron 10 sistemas acuíferos, 5 de ellos compartidos con las provincias de Cádiz, Sevilla y Granada.

Mapa de sistemas acuíferos de la provincia de Málaga



Sistemas acuíferos de la provincia de Málaga

Sistema acuífero/nombre	Emplazamiento	Tipo de acuífero
35. Detrítico de Ronda	Cádiz/ Málaga	Detrítico
36. Mesozoico calizo-dolomítico de la Serranía de Ronda	Cádiz/ Málaga	Carbonatado
37. Bajo Guadalhorce	Málaga	Detrítico
38. Mármoles de Sierra Blanca y Sierra de Mijas	Málaga	Carbonatado
39. Alto Guadalhorce	Málaga	Detrítico
40. Mesozoico calizo-dolomítico de la Sierra del Torcal-Sierra Gorda	Málaga/Granada	Carbonatado
41. Mesozoico calizo-dolomítico de la Sierra Tejeda-Almijara	Málaga/Granada	Carbonatado
FC. Cuaternario del Río Vélez	Málaga	Detrítico
FH. Cuaternario del Río Fuengirola	Málaga	Detrítico
FI . Plioceno de Marbella	Málaga	Detrítico

Unidades hidrogeológicas de la provincia de Málaga

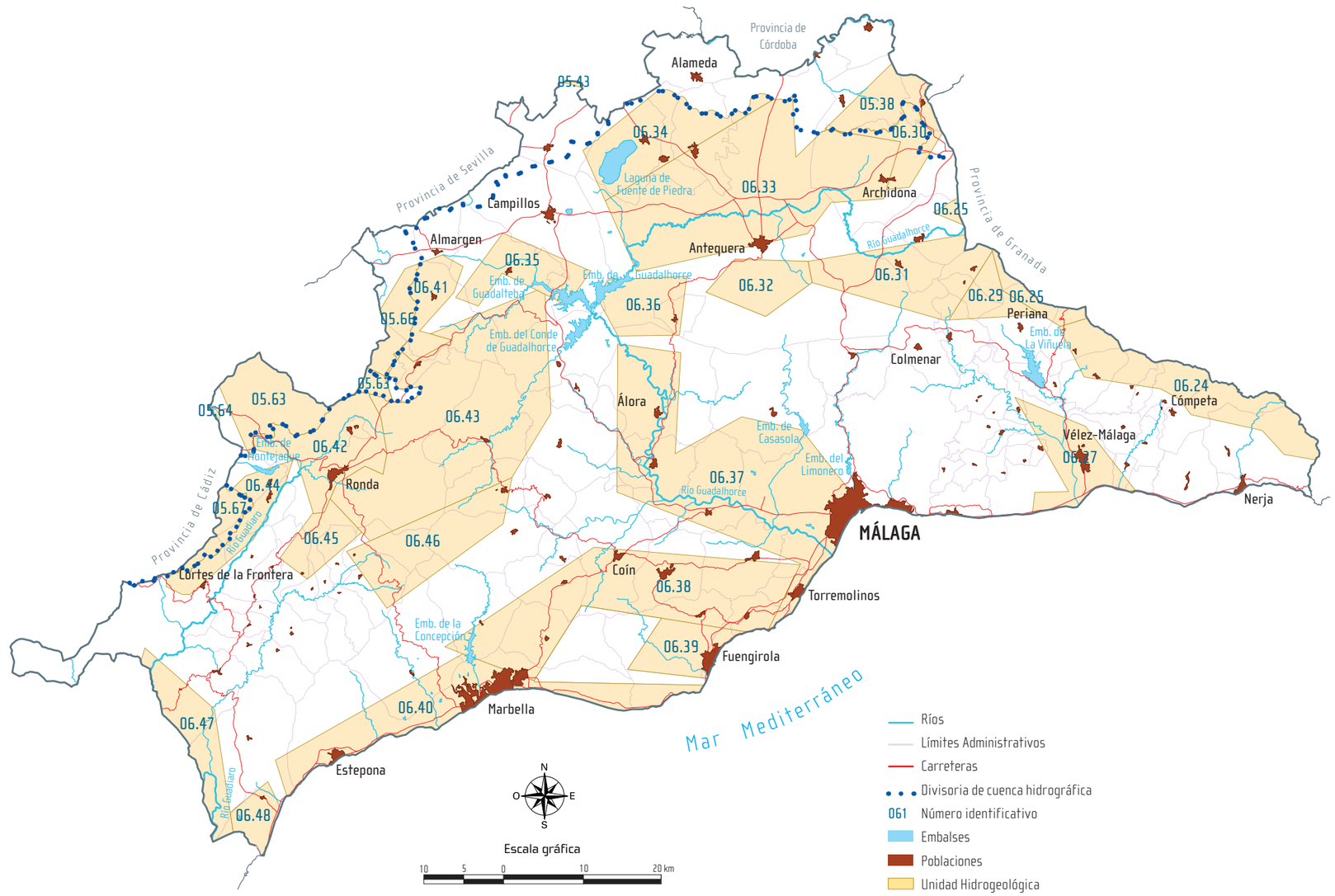
Nombre de unidad hidrogeológica	Nº identificación
Pedroso-Arcas	05.38
Sierra de Estepa	05.43
Depresión Setenil-Ronda	05.63
Sierra de Grazalema	05.64
Sierra de Cañate	05.66
Sierra de Líbar	05.67
Sierras Tejeda-Almijara-Las Guájaras	06.24
Sierra Gorda-Zafarraya	06.25
Vélez	06.27
Alfarnate	06.29
Pedroso-Arcas	06.30
Las Cabras-Camarolos-San Jorge	06.31
Torcal de Antequera	06.32
Llanos de Antequera-Archidona	06.33
Fuente de Piedra	06.34
Sierra de Teba	06.35
Valle de Abdalajís	06.36
Bajo Guadalhorce	06.37
Sª Blanca –Sª Mijas	06.38
Fuengirola	06.39
Marbella-Estepona	06.40
Sierra Cañete	06.41
Setenil-Ronda	06.42
Sierra Blanquilla-Merinos-Borbolla	06.43
Sierra de Líbar	06.44
Jarastepar	06.45
Yunquera-Las Nieves	06.46
Guadiaro-Hozgarganta	06.47

En el año 1985 la Ley de Aguas definió una nuevo ámbito de gestión, la unidad hidrogeológica (UH), definida como "uno o varios acuíferos agrupados a efectos de conseguir una racional y eficaz administración del agua". Además, el Reglamento de la citada Ley estableció que las unidades hidrogeológicas fueran definidas en los Planes Hidrológicos de Cuenca.

Las unidades hidrogeológicas fueron delimitadas para representar unidades de flujo de recursos de agua subterránea, con un modelo conceptual claro de su régimen de recarga y descarga. En general, sus límites fueron fijados con criterios que mantienen su vigencia (borde impermeable, contactos geológicos relevantes, extracción intensiva), pero en algunos casos la insuficiencia de información hidrogeológica no permitió delimitar con certeza.

Para cada unidad definida, se realizó una ficha técnica con los datos más significativos: identificación, litología, límites, parámetros hidráulicos, calidad, funcionamiento hidrogeológico, usos del agua y un plano de identificación de los vértices de la poligonal que la delimita, junto con sus coordenadas.

Mapa de unidades hidrogeológicas de la provincia de Málaga

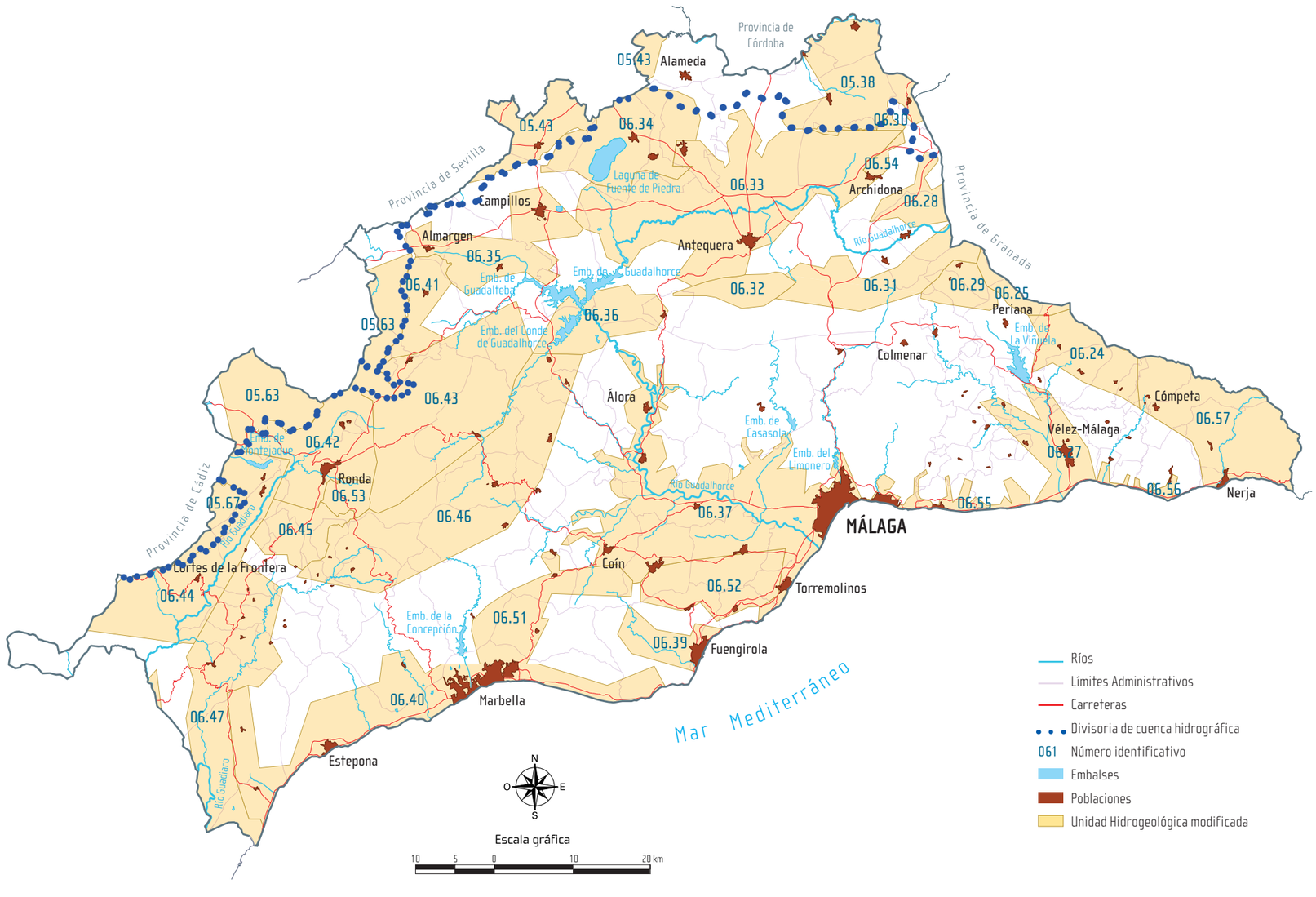


2.

En el caso de la Cuenca Mediterránea Andaluza, durante los últimos años, se observó que la definición de las unidades hidrogeológicas presentaba serias lagunas. Así, por ejemplo, algunos acuíferos se encontraban divididos en diferentes unidades, otros quedaban fuera de las poligonales trazadas y, en algunos casos, incluían amplios afloramientos de materiales impermeables. Todo ello, junto con el avance del conocimiento hidrogeológico durante el último lustro, dio lugar a que la antigua Confederación Hidrogeográfica del Sur con la colaboración del IGME, efectuara una redefinición de la unidades hidrogeológicas comprendidas en su territorio. Para la delimitación de las unidades hidrogeológicas de la provincia de Málaga, se contó con la colaboración del Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (GHUMA).

El principal objetivo de la "Redefinición de las unidades hidrogeológicas de la Cuenca Sur", era la adecuación de las poligonales de las unidades a la realidad hidrogeológica de la cuenca. Además, se crearon nuevas unidades, se eliminaron otras y se definieron un nuevo tipo de unidades, denominadas unidades hidrogeológicas de baja permeabilidad, caracterizadas por estar constituidas por materiales poco transmisivos que proporcionan, por lo general, caudales de escasa entidad.

Mapa de unidades hidrogeológicas modificadas de la provincia de Málaga



Unidades hidrogeológicas modificadas

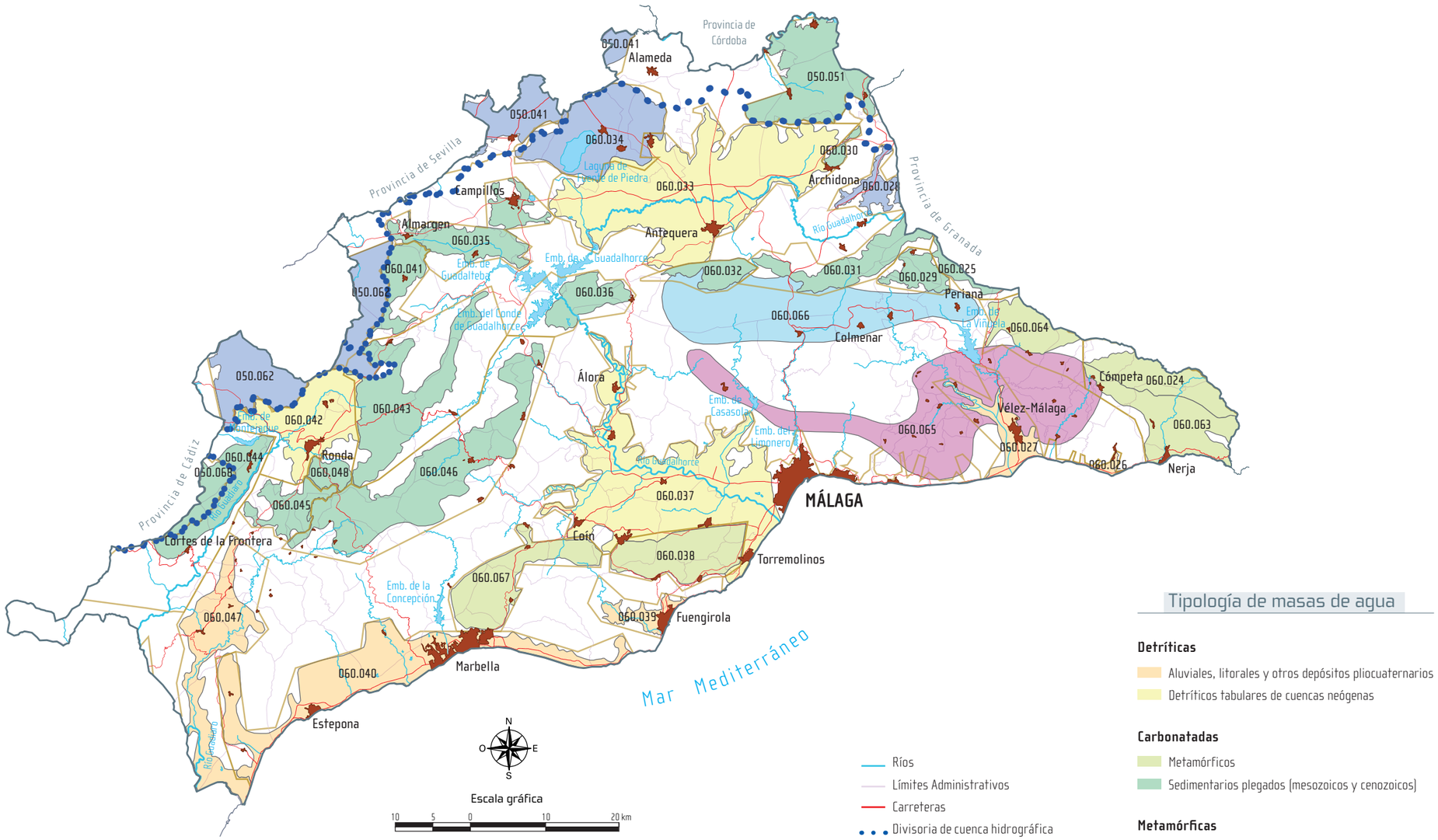
Nombre de unidad hidrogeológica	Nº identificación
Pedroso-Arcas	05.38
Sierra y Mioceno de Estepa	05.43
Setenil-Ronda	05.63
Sierra de Líbar (sector Guadalquivir)	05.67
Sierra Tejeda	06.24
Sierra Gorda	06.25
Vélez	06.27
Gibalto	06.28
Alfarnate	06.29
Pedroso-Arcas	06.30
Las Cabras-Camarolos-San Jorge	06.31
Torcal de Antequera	06.32
Llanos de Antequera-Archidona	06.33
Fuente de Piedra	06.34
Sierra Teba	06.35
Valle de Abdalajís	06.36
Bajo Guadalhorce	06.37
Fuengirola	06.39
Marbella-Estepona	06.40
Sierra Cañete	06.41
Setenil-Ronda	06.42
Sierra Blanquilla-Merinos-Borbolla	06.43
Sierra de Líbar	06.44
Jarastepar	06.45
Yunquera-Las Nieves	06.46
Guadiaro-Hozgarganta	06.47
Sierra Blanca	06.51
Sierra de Mijas	06.52
Dolomías de Ronda	06.53
Sierra de Archidona	06.54
Arroyos Totalán-Cajiz	06.55
Ríos Algarrobo-Torrox	06.56
Sierra de Almijara	06.57

En el año 2000 entró en vigor la Directiva Marco del Agua (DMA) para lograr la protección, tanto cuantitativa como cualitativa, de todas las aguas en los Estados Miembros de la Unión Europea. Entonces se incorporó una nueva figura de gestión, la "masa de agua subterránea", que tiene como propósito utilizar sus límites para verificar el cumplimiento de los objetivos medioambientales de la DMA.

Las masas de agua son las unidades de análisis y trabajo, entendiéndose como masa de agua subterránea "un volumen de aguas subterráneas claramente diferenciado en un acuífero o acuíferos". Se considera acuífero "una o más capas de roca o de otros estratos geológicos que tienen la suficiente porosidad y permeabilidad para permitir un flujo significativo de aguas subterráneas o la extracción de cantidades significativas de éstas".

Para la delimitación de las masas de agua subterránea en la provincia de Málaga, tanto la demarcación del Guadalquivir como la de antigua del Sur, se ha partido de la unidades hidrogeológicas (las redefinidas en la Cuenca Sur), siguiendo los criterios de límites impermeables y divisorias de flujo subterráneo permanentes en el tiempo, principalmente las que coinciden de forma aproximada con las divisorias hidrográficas.

Mapa de masas de agua subterránea de la provincia de Málaga y su relación con las unidades hidrogeológicas modificadas



Tipología de masas de agua

Detríticas
- Aluviales, litorales y otros depósitos pliocuaternarios
- Detríticos tabulares de cuencas neógenas

Carbonatadas
- Metamórficos
- Sedimentarios plegados (mesozoicos y cenozoicos)

Metamórficas
- Metamórficos no carbonatados (metasedimentarios)

Mixtas
- Metasedimentarios y detríticos
- Carbonatados y detríticos

2.

Para la delimitación de las masas de agua subterránea se han seguido, entre otros, los siguientes criterios:

- Los límites impermeables y cursos de ríos efluentes, que simplifican el establecimiento de balances hídricos y con ello una evaluación más fiable del estado cuantitativo de la masa de agua subterránea. Una opción similar es adoptar como límite las divisorias de flujo subterráneo, a través de las cuales no existen (por definición) transferencias de agua. Para ello, las divisorias deben ser permanentes en el tiempo, es decir, no influenciables por la actividad humana.

- Los límites de influencia de la actividad humana, en los que se consideran las principales presiones antrópicas sobre las aguas subterráneas por extracción de las mismas y por ciertos usos del suelo potencialmente contaminantes. El criterio para establecer un límite de masa en el interior de un medio permeable continuo, de gran extensión, es adoptar una línea al exterior de la cual el impacto de la actividad humana no se considera relevante. Este criterio sólo es aplicable después de haberse realizado el análisis de presiones e impactos, pero puede usarse como guía inicial para la separación entre masas sin riesgo y masas en riesgo. Este criterio satisface el objetivo de homogeneidad del estado del agua subterránea para la representatividad de su evaluación.

- El aislamiento de zonas con riesgo evidente por razones de sobreexplotación, de intrusión marina, de afección a zonas húmedas, o de contaminación difusa. Habrá que adoptar medidas de mejora o regeneración, e implantar programas especiales de seguimiento.

Masa de agua subterránea Marbella-Estepona (Marbella)

- Masas parcialmente confinadas. Es relativamente frecuente que una formación acuífera aflorante en superficie pase, lateralmente, a confinada, sin volver a aflorar ni a ponerse en contacto directo con otro acuífero. Si se considera procedente, la masa puede prolongarse hasta una línea virtual que aproximadamente encierre las captaciones existentes en el acuífero confinado. De esta forma podrán reflejarse en la caracterización, las presiones reales a que está sometida la masa.

Por diversas razones, parece deseable una extensión mínima de las masas a identificar (entre 25 y 100 km^2 según las circunstancias hidrogeológicas locales). Existen circunstancias en las que el tamaño mínimo deseable de las masas es alcanzable agregando unidades contiguas o próximas entre sí, sin vulnerar otros criterios prioritarios. Deberán analizarse las posibilidades de agregación teniendo en cuenta que las formaciones de baja permeabilidad son susceptibles de integración en masas de agua subterránea.

Ha sido necesario definir masas de agua subterránea en torno a pequeños núcleos de población (más de 50 personas), que se abastecen total o parcialmente con aguas subterráneas, o se extrae para esta finalidad más de 10 m^3/día (0.11 L/s) como promedio anual.

Hasta la fecha, los trabajos más importantes desarrollados para la implementación de la DMA en España, son los requeridos por el artículo 5, según el cual se debe efectuar la identificación y delimitación de las masas de agua subterráneas en cada demarcación hidrográfica.

Masa de agua subterránea del Torcal de Antequera

Masa de agua subterránea de Alberquillas (Nerja)

2.04

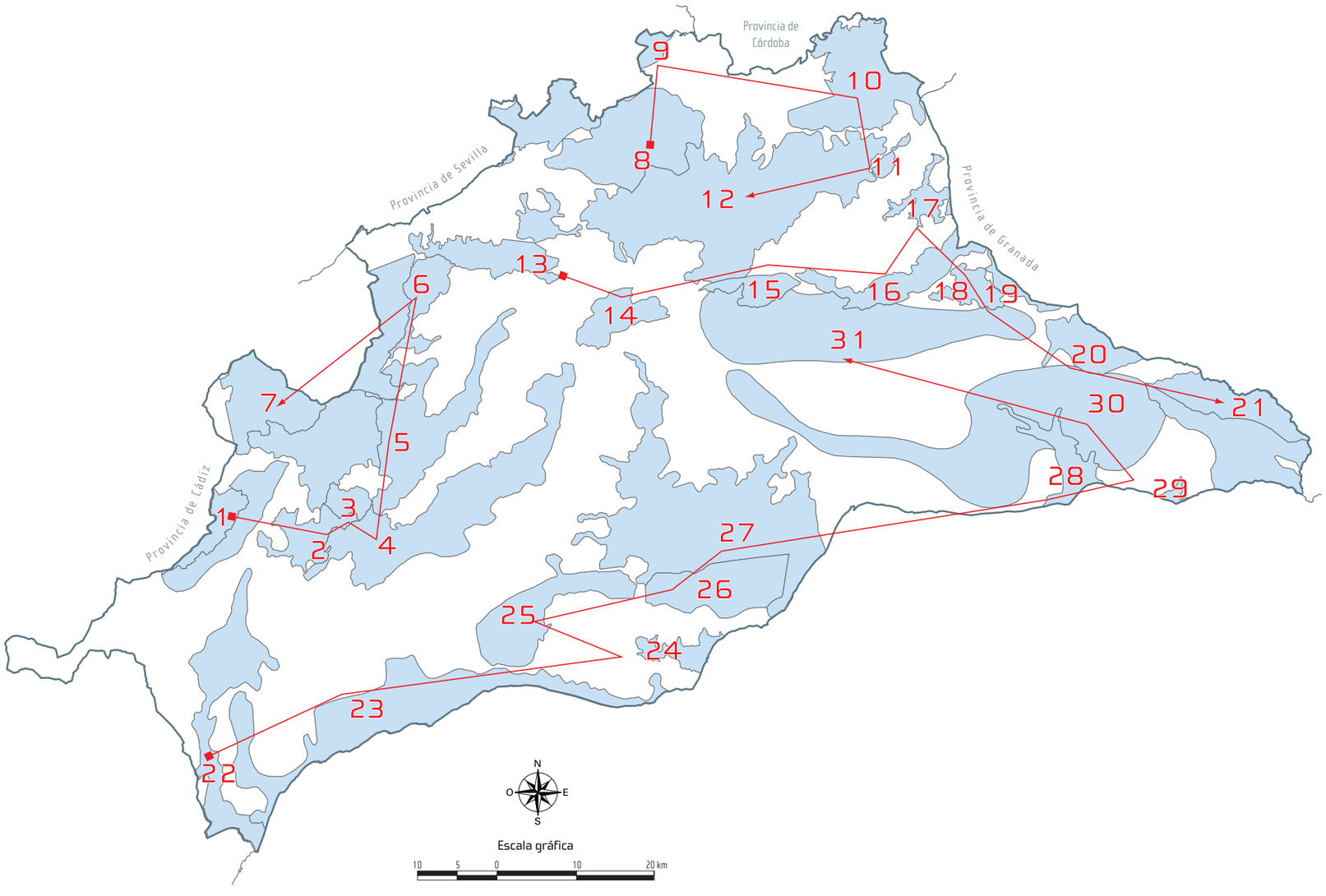
Las masas de agua subterránea en la provincia de Málaga

2.

04 Las masas de agua subterránea en la provincia de Málaga

El orden en la descripción de las masas de agua subterránea que se realiza a continuación tiene en cuenta aspectos de proximidad geográfica y de afinidad geológica, así como las relaciones hidrogeológicas entre ellas.

La situación geográfica condiciona, en gran medida, las características climáticas, particularmente las precipitaciones y, por tanto, la recarga y la disponibilidad de agua subterránea. En general, se procura seguir un orden de oeste a este y de norte a sur, es decir, desde las áreas donde la precipitación es mayor (Serranía de Ronda) hasta las zonas donde llueve menos (sector costero oriental).



La localización geográfica también lleva implícito un contexto geológico. Se describen primero las masas de agua del interior, que pertenecen mayoritariamente a la Zona Externa de la Cordillera Bética y, después, las de la Zona Interna y las cuencas sedimentarias costeras. En el capítulo de la Depresión de Ronda se consideran conjuntamente dos masas de agua subterránea porque ambas están formadas por el relleno de la cuenca sedimentaria homónima.

En relación con los criterios hidrogeológicos, cuando hay masas de agua que reciben aportaciones subterráneas de otras, se ha procurado describir previamente aquellas de las que proceden los recursos. En varios capítulos se han agrupado dos masas de agua subterránea porque entre ellas existe continuidad hidrogeológica y no está justificada la distinción hecha por el Ministerio de Medio Ambiente. En un caso se trata de masas de agua que están dentro de la Cuenca Hidrográfica del Sur (Sierra Almijara y Alberquillas) y en otros casos son acuíferos que se extienden fuera de esta Cuenca Hidrográfica, y también de la provincia de Málaga (Sierra de Líbar, Sierra de Cañete, Sierra Tejeda), en cada uno de los cuales el MIMAM definió dos masas de agua subterránea atendiendo a razones hidrográficas y no hidrogeológicas.

A partir de estos criterios básicos, se establecen varios grupos de masas de agua. Así, en el sector occidental de la provincia (Serranía de Ronda y su entorno), se describen en este orden: Sierra de Líbar, Sierra de Jarastepar, Dolomías de Ronda, Sierra de las Nieves-Prieta, Sierras Hidalga-Merinos-Blanquilla, Sierra de Cañete y Depresión de Ronda (Depresión meridional de Ronda y Setenil-Montecorto).

En el sector septentrional (comarca de Antequera) se encuentran las masas de agua subterránea de Fuente de Piedra, Sierra y Mioceno de Estepa, Pedroso-Arcas, Sierra de Archidona y Llanos de Antequera-Vega de Archidona.

En el centro de la provincia de Málaga existe un conjunto de macizos carbonatados que constituyen las siguientes masas de agua subterránea, nombradas de oeste a este: Sierra de Teba-Almargen-Campillos, Sierra del Valle de Abdalajís, Torcal de Antequera, Sierras de las Cabras-Camarolos-San Jorge, Sierra de Gibalto-Arroyo Marín, Sierra de Enmedio-Los Tajos, Sierra Gorda-Polje de Zafarraya, Sierra Tejeda y Sierra Almijara-Alberquillas.

Por último, en el sector costero o meridional, también de oeste a este, se distinguen las siguientes masas de agua subterránea: Guadiaro-Genal-Hozgarganta, Marbella-Estepona, Río Fuengirola, Sierra Blanca, Sierra de Mijas, Bajo Guadalhorce, Río Vélez, Río Torrox, Metapelitas de Sierras Tejeda-Almijara, Corredor Villanueva de la Concepción-Periana. Las dos últimas están formadas por materiales de baja permeabilidad por lo que su interés hidrogeológico es muy escaso.

2.4.1

Sierra de Líbar (M.A.S. 050.068 y 060.044)

2.4.1

Sierra de Líbar

Pablo Jiménez Gavilán

La Sierra de Líbar está situada en el límite entre las provincias de Málaga y Cádiz, en el sector occidental de la Serranía de Ronda. Se trata de una alineación montañosa que, según una dirección NE-SO, se extiende entre las localidades malagueñas de Montejaque y Cortes de la Frontera y constituye la divisoria hidrográfica entre las cuencas del Guadalete al NO y Guadiaro al SE, esta última incluida en la cuenca Sur. Precisamente el criterio de la divisoria hidrográfica ha sido utilizado para definir dos masas de agua en la Sierra de Líbar (050.068 y 060.044), sin tener en cuenta que existe continuidad hidrogeológica entre ellas, razón por la cual se describen conjuntamente en este capitulo. La Sierra de Líbar, junto con la de Grazalema, fueron declaradas Reserva de la Biosfera por la UNESCO en 1977 y, posteriormente, la Junta de Andalucía declaró Parque Natural a ambas. Este macizo carbonatado constituye una de las unidades paisajísticas más emblemáticas de la región, con un modelado kárstico espectacular, a gran escala. A pesar de la presencia del hombre desde épocas remotas, la sierra conserva vegetación natural típicamente mediterránea.

La Sierra de Líbar, junto con la de Grazalema, constituye el primer gran obstáculo que encuentran los frentes nubosos oceánicos cuando la circulación atmosférica es de componente oeste, de manera que ambos relieves constituyen dos áreas húmedas en relación con las zonas adyacentes. Presenta un clima lluvioso templado (mesotérmico húmedo) con verano seco y caluroso, la precipitación media en el área es del orden de 1400 mm y la temperatura media 16 ºC.

Panorámica del polje Benaoján

Desde el punto de vista geológico, la Sierra de Líbar forma parte de la Zona Externa de la Cordillera Bética, concretamente del denominado Penibético o Subbético Interno occidental. La serie estratigráfica general de este dominio geológico está formada, de muro a techo, por tres conjuntos litológicos: dolomías negras del Trías Medio y arcillas con evaporitas del Trías Superior, dolomías y calizas del Jurásico, y margas y margocalizas del Cretácico. Los materiales triásicos no afloran en la Sierra de Líbar. La estructura geológica está constituida por pliegues en forma de cofre, con dirección NE-SO. En el núcleo de las estructuras anticlinales se encuentran las calizas jurásicas, mientras que las margas y margocalizas cretácicas afloran en los bordes de la sierra o en la parte alta de la misma, a favor de sinclinales menores y/o pequeñas fosas tectónicas generadas por fallas normales. Los ejes de los pliegues presentan una ligera inclinación (inmersión) hacia el NE, lo cual provoca el afloramiento de las dolomías basales del Jurásico en la parte SO del macizo. La estructura plegada ha sido afectada, posteriormente, por fracturas de dirección predominante NO-SE.

Dolina y campos de lapiaz al suroeste de Montejaque

La coexistencia de litologías solubles, como es el caso de las calizas y dolomías, con una disposición subhorizontal de los estratos en las charnelas de los anticlinales que presentan forma de cofre, la importante fracturación y la elevada precipitación de la zona han dado lugar a un gran desarrollo del modelado kárstico. En este macizo es posible observar formas exokársticas de todos los tipos y tamaños, desde campos de lapiaz a poljes, pasando por dolinas. Los lapiaces y las dolinas son más frecuentes en los afloramientos de calizas, generalmente desprovistos de suelos. Los poljes de mayor entidad (Líbar, Pozuelo y Benaoján) se encuentran en la parte central de la sierra y están constituidos por los materiales cretácicos que se han preservado de la erosión en las estructuras sinclinales y/o falladas (fosas o semifosas tectónicas). También existen abundantes formas endokársticas, sobre todo en la parte alta de la sierra. Se trata de cavidades de desarrollo predominantemente vertical, algunas son continuación de sumideros kársticos por los que se produce la infiltración de agua. En el borde E y SE del macizo se encuentran cuevas de desarrollo horizontal relacionadas con la descarga del acuífero, como la Cueva de la Pileta, un antiguo dren kárstico con más de 2 km de desarrollo, y el sistema Hundidero-Gato, que constituye la continuación subterránea del Río Gaduares a través de la Sierra de Líbar.

Las calizas y dolomías de la Sierra de Líbar, que ocupan una superficie de 84 km^2 (65 km^2 en la provincia de Málaga) son permeables debido a la fracturación y karstificación, por lo constituyen un acuífero. La recarga de este acuífero se produce por infiltración directa del agua de lluvia sobre los afloramientos carbonatados y por infiltración de agua a través de los sumideros kársticos de los poljes. Además, existe una aportación de la escorrentía producida en las cuencas del Río Gaduares y del Arroyo de los Álamos, constituidas por materiales arcillosos del Flysch, que vierten sus aguas hacia simas o sumideros kársticos ubicados en las calizas, aunque estas cuencas vertientes no están incluidas en las masas de agua que hay definidas en la Sierra de Líbar. El agua de escorrentía del Río Gaduares se acumula en el embalse de Montejaque, cuya cerrada se asienta sobre las calizas karstificadas del Jurásico, lo que provoca pérdidas del agua almacenada y, por tanto, recarga artificial al acuífero. Todos estos datos ponen de manifiesto que no tiene sentido establecer una distinción entre dos masas de agua subterránea en la Sierra de Líbar, atendiendo al criterio de la divisoria hidrográfica, porque desde el punto de vista hidrogeológico se trata de una única masa de agua.

Sima del Republicano activa. Infiltración del Arroyo de los Álamos

Manantial de Benaoján, de El Ejío o del Molino del Santo

Sumidero activo en el polje de Pozuelo

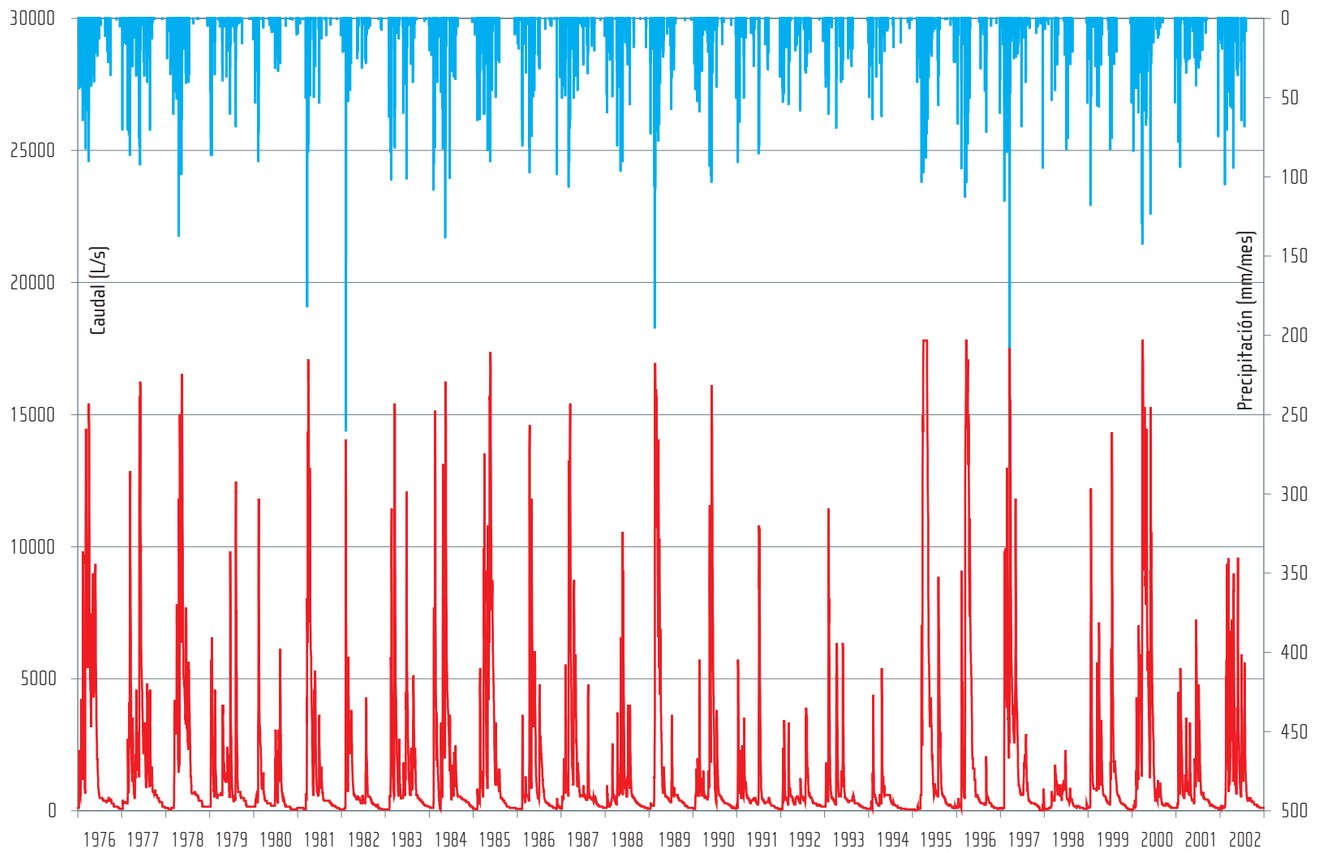
La descarga se produce hacia el Río Guadiaro, en el borde SE, donde se encuentran las cotas más bajas. Los manantiales más importantes son: Cueva del Gato (unos 1400 L/s de caudal medio, a cota 462 m s.n.m), Benaoján o El Ejío (1200 L/s, 450 m s.n.m) y Jimera de Líbar (120 L/s, 410 m s.n.m.). En el área conocida como Angosturas del Guadiaro, en el propio cauce del río, se encuentra el manantial del Charco del Moro (aproximadamente 500 L/s, 223 m s.n.m), asociado a un pequeño afloramiento de calizas jurásicas, que no está situado en la contigüidad inmediata de la Sierra de Líbar, pero sí está conectado hidrogeológicamente con ella. En mucha menor cuantía también se produce descarga a través del manantial de la Fresnedilla, situado cerca del de Benaoján.

La posición de los principales puntos de descarga ha permitido considerar, tradicionalmente, tres direcciones de flujo: una principal hacia el noreste y dos menores hacia el este y sur. A partir de un ensayo de trazadores, llevado a cabo para el conjunto de la masa de agua subterránea durante noviembre de 2002, se constató que la mayor parte de sus recursos se drenan hacia el Río Guadiaro, de forma visible, a través de manantiales como los de la Cueva del Gato, Benaoján y Jimera de Líbar. Además, parece existir descarga no visible hacia el cauce del Río Guadiaro, entre Benaoján y Jimera de Líbar. A los dos primeros manantiales llega agua del tercio más septentrional del acuífero. El sector central de la sierra se drena prioritariamente por el manantial de Jimera de Líbar, con flujos de menor cuantía hacia el de Benaoján. Por su parte, la surgencia de Charco del Moro es el principal punto de descarga del agua que se infiltra en la Sima del Republicano (Arroyo de los Álamos) y de los afloramientos carbonatados del extremo suroeste del acuífero. Las direcciones de flujo subterráneo deducidas a partir del ensayo de trazadores indican que la karstificación en el sector más oriental parece haber estado condicionada por la estructura geológica, un antiforme con pequeña inmersión hacia el noreste, y por fracturas transversales y paralelas a los ejes de los pliegues. Además, las velocidades de flujo calculadas (del orden de 100 m/h en algunos casos) son propias de acuíferos con un elevado desarrollo de la karstificación.

Los principales manantiales de la Sierra de Líbar (Cueva del Gato y Benaoján) presentan hidrogramas con crecidas bruscas ante las precipitaciones y proporcionales a la magnitud de las mismas, así como agotamientos rápidos (coeficiente de agotamiento del orden de 10^{-2} días^{-1}). Las aguas de estos manantiales son de facies bicarbonatada cálcica, tienen baja mineralización (conductividad eléctrica < 300 µS/cm) y experimentan importantes diluciones y disminuciones de la temperatura por la infiltración rápida de las aguas de lluvia. Estas respuestas corroboran el importante desarrollo del drenaje kárstico que existe en el acuífero, su comportamiento poco inercial y su escaso poder regulador. Las mayores variaciones del caudal, de la composición química y de la temperatura del agua del manantial de la Cueva del Gato, frente al manantial de Benaoján, son consecuencia, por un lado, de la recarga desde la presa del Río Gaduares y, por otro, de un mayor desarrollo de la karstificación funcional hacia el manantial de la Cueva del Gato que hacia el de Benaoján. Así se constató con las velocidades de flujo calculadas en el ensayo de trazadores antes referido.

El valor medio de la recarga de la Sierra de Líbar es de 60 hm^3/año por infiltración directa de agua de lluvia que cae sobre los afloramientos carbonatados. Esta cifra corresponde a toda la lluvia útil (la diferencia entre precipitación y evapotranspiración) y equivale, aproximadamente, al 55% de la precipitación caída sobre dichos afloramientos permeables. En las cuencas endorreicas del Gaduares y Arroyo de los Álamos afloran materiales de baja permeabilidad, con superficies de 32 km² y 13 km², respectivamente, en los cuales toda la lluvia útil genera una escorrentía de 35 hm^3/año que se infiltra en la Sierra de Líbar. Por su parte, los aportes de agua que se infiltran a través de los sumideros kársticos de los poljes ascienden, aproximadamente, a 5 hm^3/año. Las salidas son del orden de 100 hm^3/año, similares a las entradas, dada la escasa explotación mediante bombeos (0,7 hm^3/año). Todas estas salidas se drenan hacia la cuenca hidrográfica del Guadiaro (M.A.S. 060.044), aunque aproximadamente la mitad la infiltración de agua de lluvia sobre los afloramientos permeables y la recarga en los sumideros kársticos de los poljes y en la Sima del Republicano se producen en la cuenca hidrográfica del Guadalete (M.A.S. 050.068).

Hidrograma del manantial de la Cueva del Gato



Manantial de la Cueva del Gato, en crecida

Mapa y cortes hidrogeológicos

Sierra de Líbar

(M.A.S. 050.068 y 060.044)

Situación de la masa de agua en la provincia

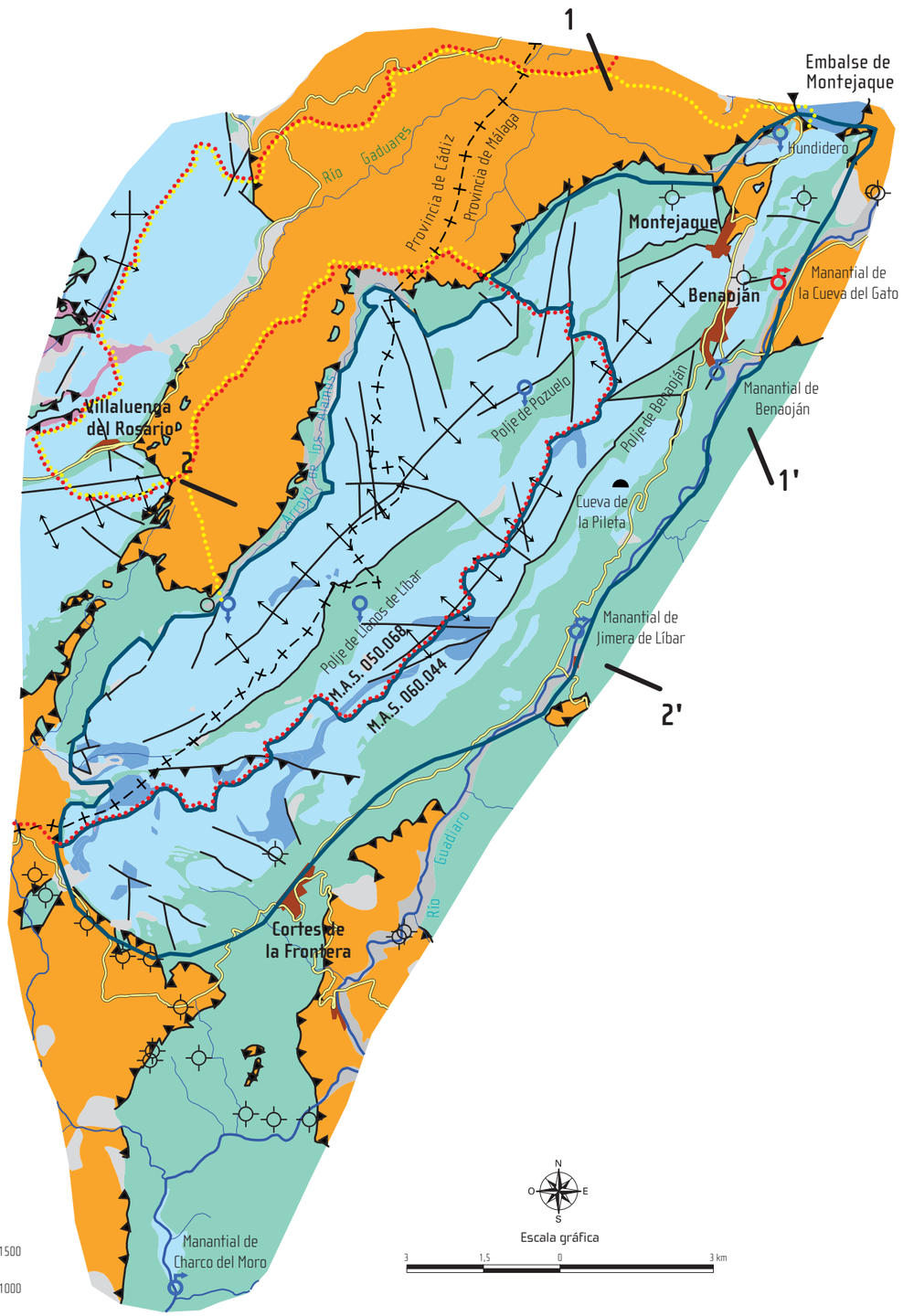
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España
málaga.es diputación

Leyenda

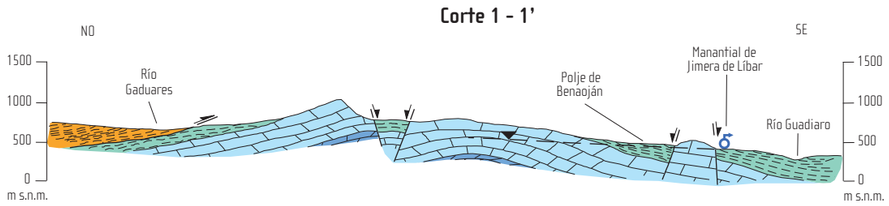
Edad	Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas		
Cuaternario	8 Aluvial	Alta
	7 Indiferenciado	Media
Flysch		
Cretácico - Terciario	6 Arcillas y areniscas	Muy baja
	5 Margocalizas y margas	Baja
Zona Subbética		
Cretácico - Terciario	4 Calizas	Muy alta
Jurásico: Malm, Dogger, Lías	3 Dolomías	Alta
	2 Calizas y dolomías	Media - Alta
Triásico: Keuper	1 Arcillas y evaporitas	Baja- Media

Signos convencionales

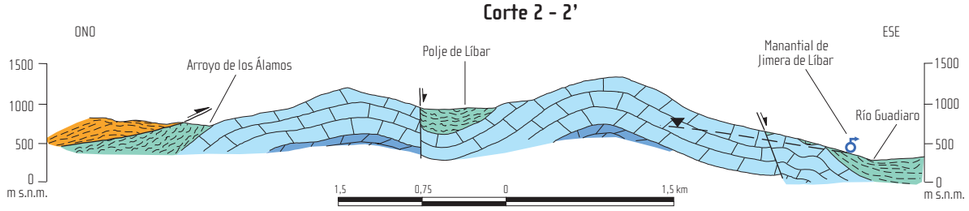
- Límite de la masa de agua
- Límite de provincia
- Red hidrográfica
- Límite de cuencas hidrográficas
- Límite de cuenca vertiente a sumideros
- Manantial
- Manantial con hidrograma adjunto
- Sumidero kárstico
- Cavidad kárstica
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Anticlinal
- Núcleo de población
- Autovía, autopista
- Carretera



Corte 1 - 1'



Corte 2 - 2'



2.

4.1 Sierra de Líbar

Manantial del Charco del Moro (mancha de agua clara) en las Angosturas del Guadiaro

Los caudales de descarga de la Sierra de Líbar hacia el Río Guadiaro son trasvasados, en parte, hacia la cuenca del Río Guadalete, para su regulación aguas abajo en los embalses de Los Hurones y Guadalcacín, de los cuales depende el suministro de agua para uso urbano, agrícola e industrial de todo el sector atlántico de la provincia de Cádiz. De las aguas subterráneas de la Sierra de Líbar se abastecen las localidades de Montejaque, Benaoján, Cortes de la Frontera y Jimera de Líbar. Además, cabe añadir el valor ambiental del agua, dado que el acuífero forma parte del Parque Natural de la Sierra de Grazalema.

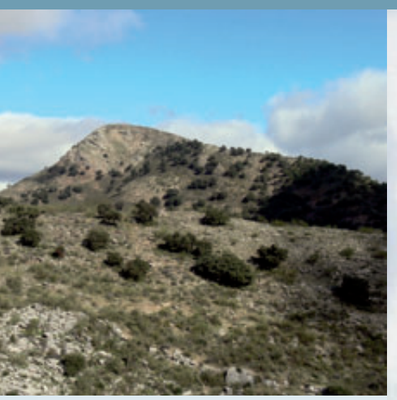
En la Sierra de Líbar se han aplicado diferentes técnicas para la determinación de la vulnerabilidad a la contaminación que catalogan a la masa subterránea como muy vulnerable, especialmente en los sumideros kársticos de los poljes. El ensayo de trazadores realizado en condiciones de alta recarga, determinó que un contaminante conservativo que se infiltrara en este acuífero a través de los sumideros kársticos tardaría entre 3 y 5 días en alcanzar las fuentes de abastecimiento, con tiempos de persistencia en los manantiales entre 24 horas para los flujos rápidos y 6 días para los flujos más lentos. El principal peligro de contaminación es la actividad ganadera y la de origen urbano, de hecho se han detectado problemas de contaminación bacteriológica en el manantial de Benaoján ligados a la cabaña ganadera existente en sus proximidades, por lo que es importante definir perímetros de protección de los puntos de agua aprovechados para abastecimiento.

Inyección del trazador uranina en un sumidero activo del polje de los Llanos de Líbar

Manantial de Jimera. De él se abastece la localidad de Jimera de Líbar

2.4.2

Sierra de Jarastepar (M.A.S. 060.045)



2.4.2

Sierra de Jarastepar

Pablo Jiménez Gavilán
Rafael Fernández Gutiérrez del Álamo
Pedro Jiménez Fernández

Modelado de tipo Torcal al oeste de Cartajima

Panorámica del afloramiento carbonatado existente en el Alto del Conio

La Sierra de Jarastepar y su continuación hacia el oeste, con los relieves de la Loma del Conejillo, Monte de las Viñas y Alto del Conio, constituyen una alineación montañosa cuya altitud máxima es el Cerro de Jarastepar (1.425 m). Todos estas sierras se encuentran al suroeste de la depresión de Ronda, entre los valles de los Ríos Genal (al este) y Guadiaro (al oeste).

Al igual que el resto de la Serranía de Ronda presenta un régimen climático continental-mediterráneo, pero con una clara influencia de los frentes atlánticos. La precipitación media anual del área es de 1.000 mm y la temperatura media anual es de 16 ºC.

Desde el punto de vista geológico, en la Sierra de Jarastepar y su entorno afloran materiales pertenecientes a dos unidades tectónicas de la Cordillera Bética: la unidad de Jarastepar, correspondiente al dominio Penibético o Subbético Interno occidental (Zona Externa) y la unidad de las Nieves atribuida al Complejo de la Dorsal (Zona Interna). Más al sur, hay otras unidades tectónicas, alpujárrides y maláguides, de la Zona Interna de la Cordillera Bética, que cabalgan sobre la unidad de Nieves. La serie estratigráfica de la unidad de Jarastepar está formada, en la base, por materiales del Triásico Superior, fundamentalmente arcillas y margas con yesos y carniolas en la parte alta. Encima hay una potente secuencia de dolomías secundarias y calizas oolíticas y nodulosas, todas de edad jurásica, con un espesor conjunto superior a 500 metros. La serie termina con una formación de margas y margocalizas del Cretácico-Paleógeno. Por lo que se refiere a la unidad de las Nieves, aflora en esta zona como una banda estrecha y alargada, constituida fundamentalmente por dolomías masivas del Noriense; en menor medida, afloran calizas negras del Rethiense y una formación de brechas poligénicas denominada Brecha de la Nava.

La Sierra de Jarastepar y las otras adyacentes, situadas al oeste, presentan una estructura geológica formada por un gran pliegue anticlinal de dirección NE-SO, cuyo núcleo está constituido por los materiales arcillosos del Triásico que aparecen en el Arroyo de las Culebras. El flanco oriental del anticlinal se encuentra afectado por un cabalgamiento a favor del cual llegan a aflorar, puntualmente, los materiales triásicos. En el sector occidental, los afloramientos de rocas carbonatadas jurásicas de la Loma del Conejillo, Monte de las Viñas y Alto del Conio están delimitados por fallas, de direcciones predominantes NE-SO, NO-SE y E-O, que levantan las calizas respecto a las margocalizas cretácicas adyacentes. La unidad de Jarastepar está cabalgada, en su sector meridional, por la unidad de las Nieves, aunque en el contacto entre ambas unidades hay pinzados, de manera discontinua, materiales arcillosos del Flysch del Campo de Gibraltar.

En las rocas carbonatadas de la Sierra de Jarastepar existen formas del modelado kárstico, principalmente exokársticas, como lapiaces y dolinas. Estas formas son muy abundantes en los torcales de Los Riscos (cerca de Cartajima) y del Alto del Conio. La elevada karstificación provoca que la red hidrográfica esté escasamente desarrollada y sólo el Arroyo de las Culebras, tributario del Río Guadalevín, tenga cierta relevancia.

Los afloramientos carbonatados de la Sierra de Jarastepar, Loma del Conejillo, Monte de las Viñas y Alto del Conio ocupan una superficie de 33 km^2 y son acuíferos de alta permeabilidad, debido a la fisuración y karstificación que presentan, por lo que constituyen una masa de agua subterránea. Los límites de la masa, definidos por el Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM), se trazaron de forma que englobaran a los afloramientos carbonatados del Penibético. De todos éstos, el de mayor interés hidrogeológico es, sin duda, la Sierra de Jarastepar en sentido estricto (25 km^2), cuyos límites norte y oeste están formados por materiales triásicos, mientras que los límites meridional y oriental quedan definidos por el contacto con los materiales margosos cretácicos. La descarga visible de agua subterránea que se conoce en el borde de las rocas carbonatadas de la unidad de Jarastepar está en el extremo suroccidental (vertiente al Río Guadiaro), donde existen manantiales de escasa importancia, como la Fuente Grande (410 m s.n.m), con un caudal medio histórico de 10 L/s.

Mapa y corte hidrogeológico

Sierra de Jarastepar

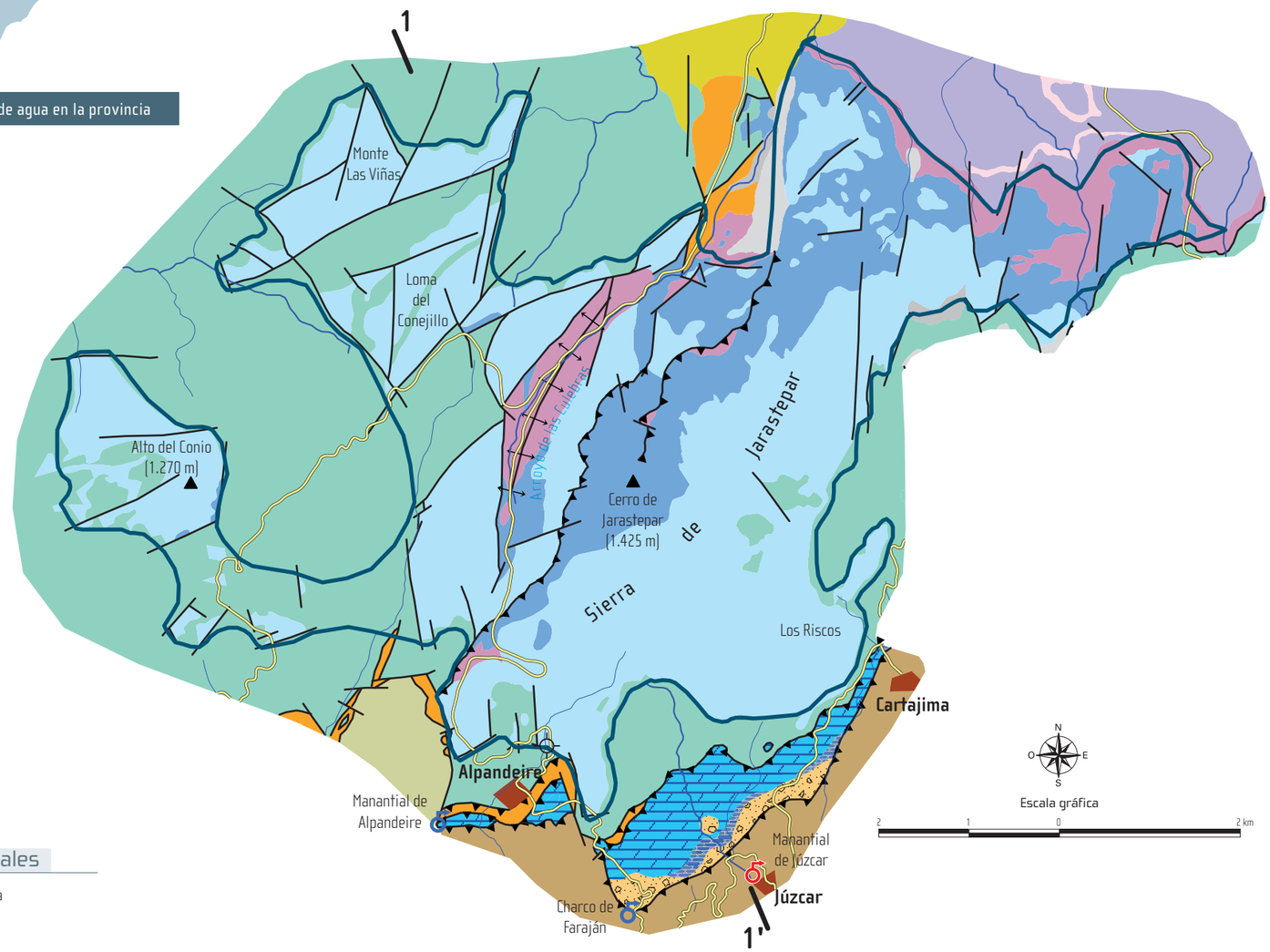
(M.A.S. 060.045)

Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación

Leyenda

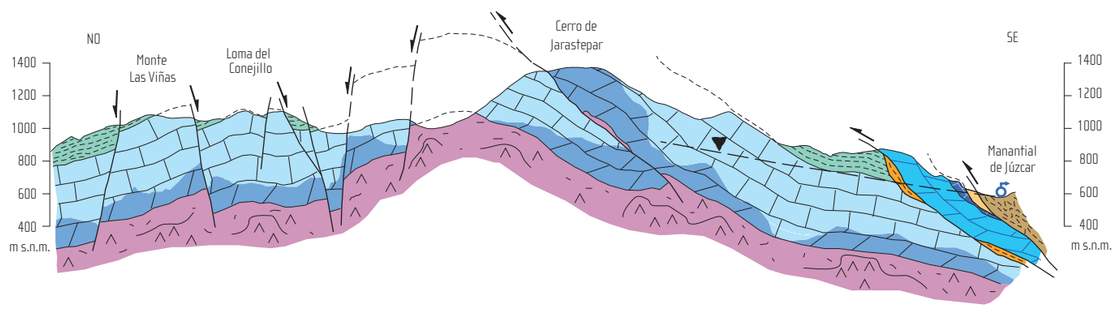
Edad				Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas					
Cuaternario		15	14	15 Aluvial	Alta
Mioceno	Superior	13		14 Indiferenciado	Media
				13 Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
Flysch					
Cretácico - Terciario		12		12 Arcillas y areniscas	Muy baja
Zona Subbética				11 Margocalizas y margas	Baja
Cretácico - Terciario		11		10 Calizas	Muy alta
Jurásico	Malm	10		9 Dolomías	Alta
	Dogger			8 Arcillas y evaporitas	Baja - Media
	Lías	9		7 Margas y arcillas	Baja
Triásico	Keuper	8		6 Calizas y dolomías	Alta
	Muschelkalk	7	6	5 Brecha de la Nava	Alta
Complejo de la Dorsal				4 Calizas negras	Muy alta
Mioceno	Inferior	5		3 Dolomías	Alta
Oligoceno				2 Filitas, pizarras y calizas alabeadas	Baja
Triásico	Rethiense	4	3	1 Gneises, esquistos y filitas	Baja
Complejo Maláguide					
Paleozoico		2			
Complejo Alpujárride					
Paleozoico		1			



Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Red hidrográfica
- Manantial
- Manantial con hidrograma adjunto
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Anticlinal
- Núcleo de población
- Carretera

Corte 1 - 1'



2.

4.2 Sierra de Jarastepar

El afloramiento de rocas carbonatadas de la unidad de las Nieves que hay entre las poblaciones de Alpandeire y Cartajima, el cual continúa hacia el NE hasta que se estrecha y queda prácticamente desconectado de la Sierra de las Nieves, tiene una superficie aproximada de 3 km^2 y no está incluido en la masa de agua subterránea de la Sierra de Jarastepar definida por el MIMAM. Sin embargo, en el borde meridional de este pequeño afloramiento, en el contacto con los materiales de baja permeabilidad alpujárrides y maláguides, existen manantiales caudalosos: Júzcar (caudal medio histórico de 195 L/s, situado a la cota 580 m s.n.m.), Alpandeire (20 L/s, 550 m s.n.m.) y el Charco de Faraján (16 L/s, 590 m s.n.m.). Es evidente que la descarga por estos manantiales supera, ampliamente, la recarga sobre las rocas permeables de la superficie del afloramiento correspondiente a la unidad de las Nieves. En lo que respecta a la Sierra de las Nieves presenta un balance hidrogeológico equilibrado y la descarga en el sector occidental de la misma se produce por los manantiales de Igualeja y Parauta, a altitudes del orden de 700 m. Por tanto, las surgencias de Júzcar, Alpandeire y Faraján parecen estar relacionadas, fundamentalmente, con la descarga de la Sierra de Jarastepar y, como tales, deberían haber sido incluidas por el MIMAM en la misma masa de agua subterránea. La hipótesis anterior está en consonancia con la cota del nivel piezométrico (600 m s.n.m.) en un sondeo situado al norte de la población de Alpandeire, emplazado en los materiales carbonatados de la unidad de Jarastepar, que fue perforado por el Instituto Geológico y Minero de España para completar el abastecimiento de dicha localidad. Los hidrogramas de los manantiales presentan variaciones poco importantes del caudal, para lo que cabría esperar por el desarrollo de la karstificación que se observa en la superficie de las rocas carbonatadas. Esto puede ser debido a una cierta ralentización del flujo subterráneo del agua al pasar por las margocalizas cretácicas y a que las dolomías de la parte baja de la serie estratigráfica (y las dolomías de la unidad de Nieves) presenten una karstificación funcional menor de la que se observa en la superficie de las calizas.

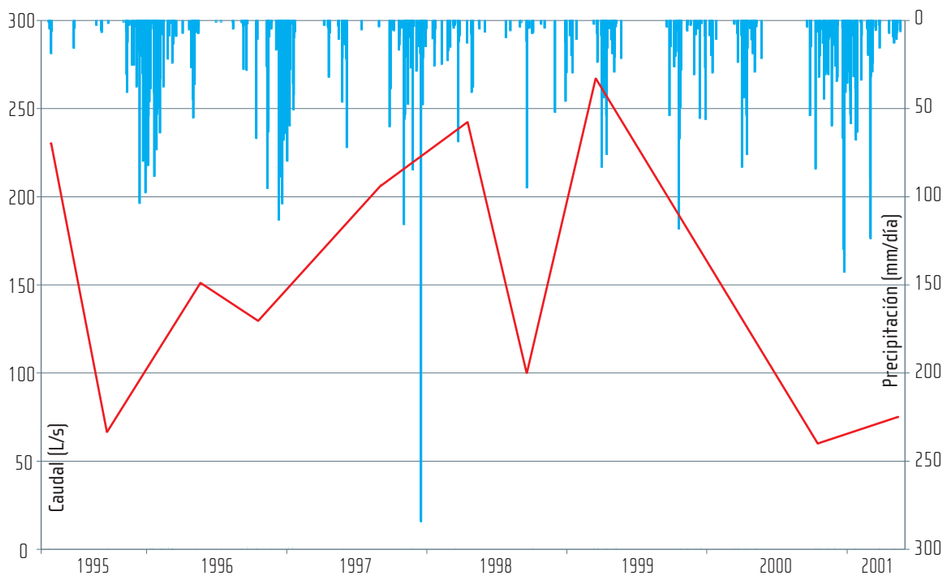
Los recursos medios anuales de la masa de agua subterránea de la Sierra de Jarastepar se estiman en 18 hm^3/año, equivalentes al 50% de la precipitación caída sobre las rocas carbonatadas. Las descargas medias conocidas, de acuerdo con los datos de caudal disponibles, son del orden de 8 hm^3/año y se producen, fundamentalmente, hacia el Río Genal. En su mayor parte, estas descargas parecen proceder de la Sierra de Jarastepar en sentido estricto, o más concretamente del flanco oriental de su estructura. Por tanto, deben existir salidas importantes (no controladas) hacia los cauces de la zona, presumiblemente en mayor cuantía hacia el Río Guadiaro, que correspondería a la descarga del sector occidental de la masa de agua.

El agua de los principales puntos de descarga es de facies bicarbonatada cálcica y mineralización ligera. Se trata de agua de buena calidad que se aprovecha, fundamentalmente, para regadío y para abastecimiento de las poblaciones de Alpandeire, Júzcar, y Faraján, cuya demanda conjunta es de 0,7 hm^3/año. El caudal excedentario constituye una aportación al Río Genal. El abastecimiento al núcleo urbano de la Estación de Jimera de Líbar, así como la demanda de una pequeña comunidad de regantes en las cercanías de la estación de tren, se lleva a cabo a partir de pequeños manantiales de la vertiente occidental, principalmente de Fuente Grande.

El importante desarrollo de la karstificación que presentan en superficie los materiales de esta masa de agua pone de manifiesto un elevado grado de vulnerabilidad frente a la contaminación. No obstante, la mayor parte del área de recarga se sitúa en zonas de difícil acceso y con escaso desarrollo de actividades potencialmente contaminantes, por lo que el riesgo de deterioro de la buena calidad natural del agua se puede considerar relativamente bajo. En cualquier caso, convendría definir perímetros de protección de los manantiales que son aprovechados para abastecimiento urbano.

Manantial del Charco de Faraján

Hidrograma del manantial de Júzcar



Manantial de Júzcar

2.4.3

Dolomías de Ronda (M.A.S. 060.048)

2.4.3

Dolomías de Ronda

Pablo Jiménez Gavilán

La masa de agua 060.048 está situada al sureste de la depresión de Ronda, rodeada por los relieves de Sierra Blanquilla, al este, y las Sierras del Oreganal y Jarastepar al sur y suroeste, respectivamente. Los afloramientos de esta masa de agua presentan un relieve alomado, con altitudes que varían desde 700 m en el contacto con la depresión de Ronda, hasta casi 1.000 m en el extremo meridional donde se localiza el vértice más importante (Cerro de Marchante, 905 m). Existe una red hidrográfica bien desarrollada, con barrancos y arroyos muy encajados, como los de Linarejos, Planilla y de las Culebras, que constituyen junto con el Río Grande, la cuenca alta del Río Guadalevín. El clima de la zona es de tipo continental-mediterráneo, aunque presenta con influencia de los frentes atlánticos. La precipitación media del área es de 900 mm/año, la temperatura media anual 16 ºC y la ETP media 1050 mm/año.

Afloramientos de las dolomías de Ronda. Al fondo, Sierra Hidalga

Cauce del Río Guadalevín y manantial de la Mina

Afloramiento de las dolomías del Muschelkalk en la carretera de Ronda a San Pedro de Alcántara

Desde el punto de vista geológico, esta macizo pertenece al dominio Penibético o Subbético Interno occidental. Los materiales que lo forman son, principalmente, calizas y dolomías de edad Trías Medio (Muschelkalk). Las calizas afloran bien estratificadas en bancos de espesor variable, son de tonos oscuros y presentan intercalaciones margosas amarillentas. No se conoce el espesor de estos materiales, aunque debe ser superior a 210 metros, dato éste correspondiente a la profundidad de sondeos realizados en la barriada de la Planilla que no han llegado a la base de la formación carbonatada triásica. Por encima de los materiales del Muschelkalk, se sitúan las arcillas con evaporitas del Triásico Superior (Keuper), seguidas de dolomías secundarias y calizas oolíticas y nodulosas, de edad Jurásico, que afloran ampliamente en las cercanas Sierras de Blanquilla y Jarastepar. Inmediatamente al norte de ésta aparecen arcillas del Flysch del Campo de Gibraltar sobre las rocas carbonatadas triásicas. Discordantes sobre todos los materiales anteriores hay sedimentos del relleno de la depresión de Ronda, fundamentalmente, calcarenitas y margas del Mioceno Superior.

La estructura geológica del Penibético en este sector se caracteriza por un pliegue suave, de tipo anticlinorio, cuyo núcleo está ocupado por las rocas carbonatadas triásicas. Esta estructura ha sido cabalgada por los materiales arcilloso-margosos del Flysch del Campo de Gibraltar. Posteriormente, el área ha sido afectada por fallas, que hunden las zonas adyacentes.

Las calizas y dolomías triásicas constituyen el acuífero principal de la masa de agua subterránea, con una superficie total de afloramiento de 17 km^2. La masa de agua queda limitada, al norte, por las arcillas del Flysch del Campo de Gibraltar. Al sur y este, por el contacto estratigráfico de las dolomías y calizas del Muschelkalk con los materiales arcilloso-evaporíticos del Trías Keuper. Al oeste-noroeste, las rocas carbonatadas acuíferas están en contacto con los materiales permeables (calcarenitas) de la depresión de Ronda, de manera que existe continuidad hidrogeológica entre ambas.

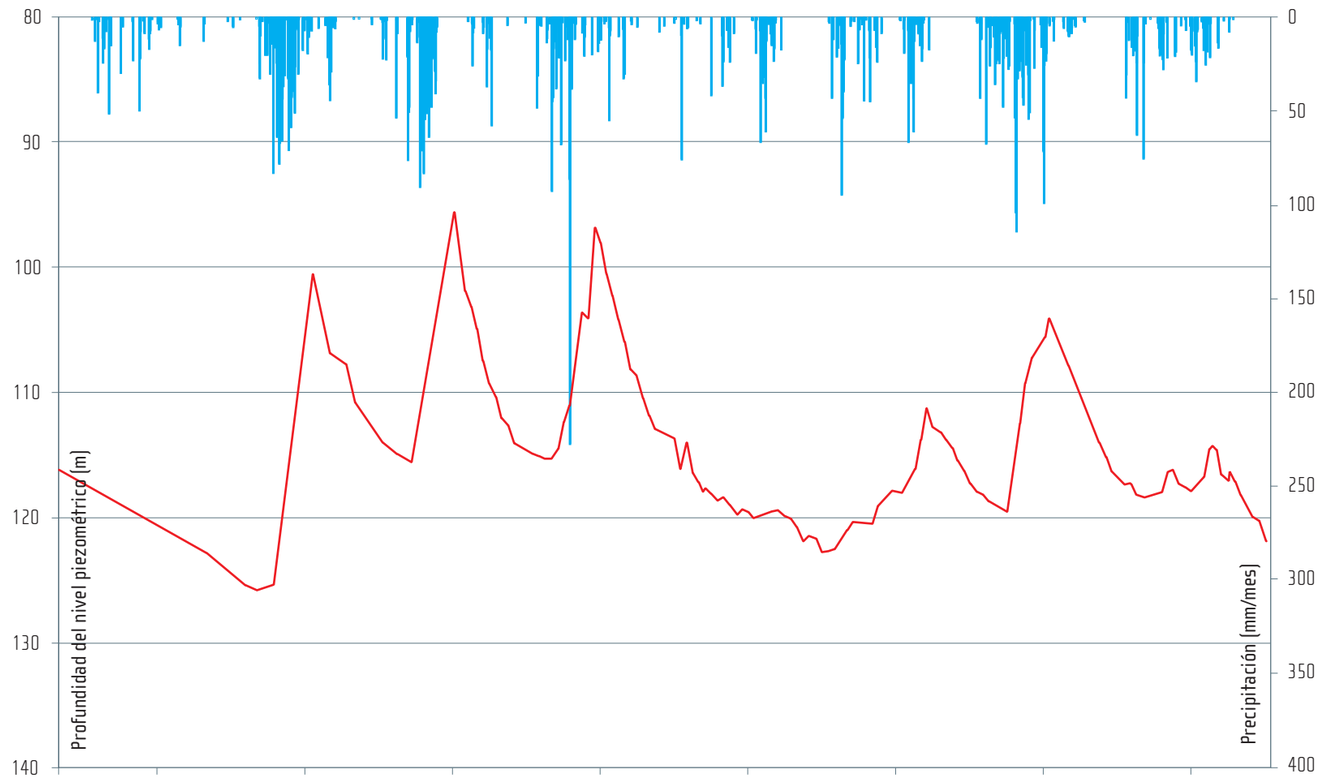
2.

4.3 Dolomías de Ronda

La recarga de esta masa de agua subterránea se produce por infiltración de parte de las precipitaciones que caen sobre los materiales carbonatados triásicos y, eventualmente, por infiltración desde los diferentes arroyos que circulan sobre el afloramiento permeable. El flujo subterráneo se dirige desde el sector meridional hacia el noroccidental, donde se encuentra el manantial de la Mina (a cota 655 m s. n.m.). Este manantial surge en el cauce del Río Guadalevín, al pie del Tajo de Ronda, y constituye el principal punto de descarga natural del acuífero. No existe un registro de los caudales del manantial, aunque diferentes documentos de la empresa de abastecimiento de agua a Ronda recogen caudales punta de varios centenares de L/s. También hay descarga natural, de forma subterránea, hacia el acuífero detrítico de la depresión de Ronda, a través de los materiales permeables (calcarenitas miocenas) que se apoyan sobre las rocas carbonatadas triásicas. Además, en el límite oriental, el Río Grande debe de actuar como nivel de base, por lo que cabe la posibilidad de que se produzca descarga hacia este cauce, en situaciones de alto nivel piezométrico en el acuífero.

Aparte de descarga natural, existe descarga por bombeos. En el paraje de la Cañada de Puya hay dos sondeos, de 236 m de profundidad, que se explotan para abastecimiento a Ronda, desde finales de la década de 1970. Recientemente se ha perforado uno nuevo. Los bombeos en estos sondeos provocan descensos piezométricos en el acuífero y, como consecuencia de ello, se ha modificado el régimen de descarga del manantial de la Mina, puesto que laminan sus crecidas. La puesta en funcionamiento de bombeos adicionales en dos nuevos sondeos perforados en la barriada de la Planilla acentuaría, aún más, está regulación del manantial.

Evolución piezométrica en un sondeo de la Cañada de Puya



Sondeos en la barriada de la Planilla

Las medidas del nivel piezométrico de los sondeos de Cañada de Puya muestran variaciones de carácter anual relacionadas con las precipitaciones y la explotación que se lleva a cabo en el acuífero. Los descensos piezométricos que se producen anualmente varían entre 10 y 30 m. No obstante, después de abundantes precipitaciones, los niveles se recuperan rápidamente. Además, el análisis de toda la serie de datos piezométricos disponible pone de manifiesto la inexistencia de una tendencia clara hacia el descenso del nivel. Ello demuestra que la explotación llevada a cabo en esta masa de agua subterránea, hasta ahora, se ha realizado de manera sostenible. No obstante, la entrada en funcionamiento de los nuevos sondeos de la Planilla para cubrir la demanda de la creciente ciudad de Ronda, puede modificar la situación de sostenibilidad, siempre y cuando se aumente el volumen de agua bombeado actualmente y no se utilicen las nuevas captaciones para disminuir los descensos piezométricos en el sector de Cañada de Puya. Por tanto, parece conveniente recomendar prudencia en la explotación del acuífero y que ésta se haga de manera controlada.

Mapa y corte hidrogeológico

Dolomías de Ronda

(M.A.S. 060.048)

Situación de la masa de agua en la provincia

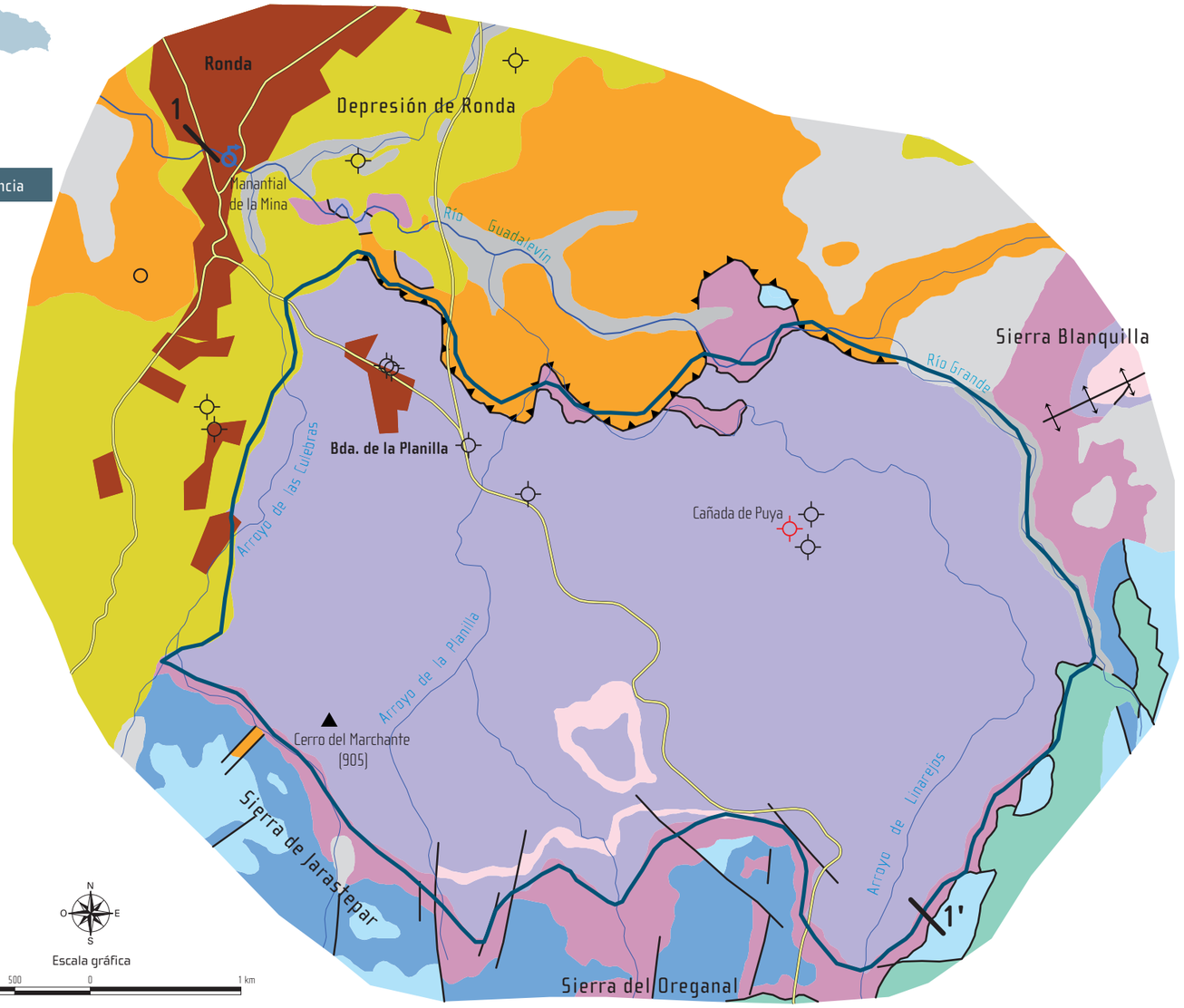
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España
málaga.es diputación

Leyenda

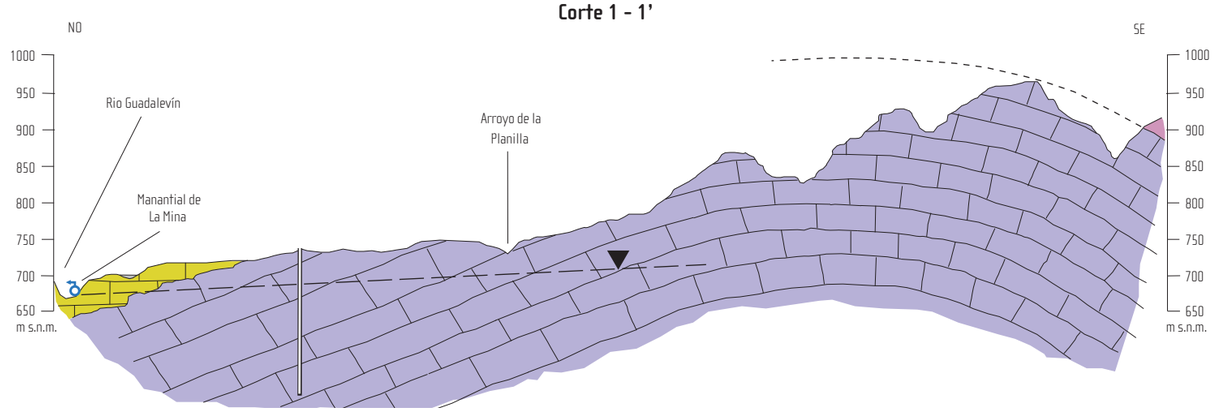
Edad			Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas				
Cuaternario		10 / 9	10 Aluvial	Alta
Mioceno	Superior	8	9 Indiferenciado	Media
Flysch			8 Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
Cretácico-Terciario		7	7 Arcillas y areniscas	Muy baja
Zona Subbética			6 Margocalizas y margas	Baja
Cretácico-Terciario		6	5 Calizas	Alta - Muy alta
Jurásico	Malm	5	4 Dolomías	Alta
Jurásico	Dogger	5 / 4	3 Arcillas y yesos	Baja - Media
Jurásico	Lías	4	2 Margas y arcillas	Baja
Triásico	Keuper	3	1 Calizas y dolomías	Alta
Triásico	Muschelkalk	2 / 1		

Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Red hidrográfica
- Manantial
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Anticlinal
- Núcleo de población
- Carretera



Corte 1 - 1'



Sondeos de la Cañada de Puya para abastecimiento a Ronda

Captación de La Mina para abastecimiento a Ronda

Los recursos medios de esta masa de agua subterránea, procedentes de la infiltración de parte de las precipitaciones caídas sobre el afloramiento permeable, se han estimado en 7 hm^3/año. Se desconoce la componente correspondiente a la infiltración de parte del caudal de los diferentes arroyos que circulan sobre el acuífero. En cuanto a las salidas, el caudal de agua bombeado de este acuífero para abastecimiento a Ronda, durante los últimos 13 años (1994-2006), presenta un valor medio cercano a 3 hm^3/año. Por tanto, las salidas naturales, es decir, descarga por el manantial de la Mina, hacia el cauce del Río Grande y hacia la masa de agua subterránea de la depresión de Ronda meridional, se estima superior a 4 hm^3/año. El manantial de la Mina ha sido, históricamente, el principal punto de abastecimiento de la ciudad de Ronda, junto con los manantiales de la Fuenfría y Linarejos, pertenecientes a la masa de agua subterránea de Sierra de las Nieves-Prieta (060.046).

Las aguas subterráneas de las dolomías de Ronda muestran facies hidroquímicas bicarbonatadas cálcico-magnésicas, de mineralización ligera (450 µS/cm) y presentan buena calidad química para el abastecimiento urbano. La masa de agua subterránea presenta una vulnerabilidad moderada-alta a la contaminación, por lo que deben tomarse medidas que permitan proteger la buena calidad natural del agua subterránea. En este sentido, el elevado tráfico en la carretera A-316 de camiones con sustancias potencialmente contaminantes constituye un peligro potencial de contaminación. Los sondeos de la Planilla se encuentran en el núcleo de un importante conjunto residencial que está sobre los materiales acuíferos. Todo ello pone de manifiesto la necesidad de definir perímetros de protección de las diferentes captaciones de abastecimiento, para preservar la buena calidad del agua.

2.4.4

Sierra de las Nieves-Prieta (M.A.S. 060.046)

2.4.4

Sierra de las Nieves - Prieta

Cristina Liñán Baena

La masa de agua Sierra de las Nieves-Prieta se localiza en el sector occidental de la provincia de Málaga y se extiende en dirección SO-NE desde la población de Cartajima, en la comarca de la Serranía de Ronda, hasta la de Carratraca, ya en la comarca de Antequera. Forma parte de dos espacios naturales protegidos de primera importancia: la Reserva de la Biosfera Sierra de las Nieves y su entorno y el Parque Natural Sierra de las Nieves.

La precipitación media anual del área es de 900 mm. Las precipitaciones mínimas se registran en julio (3 mm) y agosto (9 mm) y las máximas en noviembre (125 mm) y diciembre (120 mm). Las precipitaciones aumentan con la altitud, según un gradiente pluviométrico de 65 mm/100 m y disminuyen progresivamente hacia el NE, debido al importante efecto barrera que ejercen los principales relieves de la zona: Sierra de las Nieves (1.919 m en el vértice Torrecilla), Sierra Prieta (1.521 m) y Sierra Alcaparaín (1.290 m). El valor medio anual de la temperatura del aire es de 15 ºC, con mínimas mensuales de 8 ºC en enero y máximas de 24 ºC en agosto. La temperatura disminuye con la altitud, según un gradiente termométrico de -0.8 ºC/100 m. Durante algunos días del año se registran temperaturas mínimas diarias por debajo de 0 ºC, lo que favorece que las precipitaciones se produzcan en forma de nieve.

La masa de agua definida por el Ministerio de Medio Ambiente corresponde, principalmente, a los afloramientos carbonatados de las Sierras de las Nieves, Prieta y Alcaparaín, además de otros afloramientos carbonatados de menor extensión: la Sierra del Oreganal, en el sector SO, y la Serrezuela de Carratraca, en la parte NE. Desde el punto de vista geológico, afloran principalmente materiales de las unidades tectónicas de Nieves (Complejo de la Dorsal) y Yunquera (Complejo Alpujárride). Además, existe un conjunto de pequeños afloramientos discontinuos, correspondientes a otras unidades del Complejo de la Dorsal, que están situados al frente de la unidad de las Nieves. En el extremo suroeste de la masa de agua definida por el Ministerio de Medio Ambiente, desde Cartajima hacia el suroeste, no guarda relación hidrogeológica con el resto de la Sierra de las Nieves, sino con la Sierra de Jarastepar.

Aspecto de las calizas con sílex en el área del pico Torrecilla

Semipolje de los Llanos de la Nava

La unidad de las Nieves está formada, de muro a techo, por los siguientes términos: conjunto de dolomías de edad Noriense, con más de 1.000 m de espesor en algunos sectores; alternancia de calizas y margocalizas con niveles de margas y arcillas, de edad Rethiense y potencia cercana a 200 m; sucesión de calizas con sílex del Lías Inferior, de espesor variable (150-200 m); secuencia condensada Jurásico-Terciaria (calizas, radiolaritas y margocalizas) con una potencia inferior a 50 m; y una formación detrítica (Brecha de la Nava) de edad Aquitaniense. La unidad de Yunquera está constituida por tres grandes conjuntos de rocas metamórficas: gneises y micaesquistos con intercalaciones de mármoles dolomíticos, de edad Paleozoico y espesor superior a los 300 m; mármoles dolomíticos con intercalaciones de micaesquistos, de edad Trías Medio y potencia del orden de 500 m; y cuarcitas, micaesquistos, mármoles calizos y calcoesquistos, de edad Trías Medio-Superior y con 200 m de espesor. La serie estratigráfica general de las unidades situadas al frente de la unidad de las Nieves, también atribuibles al Complejo de la Dorsal, consta de un conjunto inferior de naturaleza dolomítica (Noriense) y una sucesión de calizas del límite Triásico-Jurásico, a la que se superpone una secuencia condensada de edad mesozoico-terciaria de calizas con sílex, margas y brechas.

La unidad de las Nieves presenta una estructura geológica formada por un gran sinclinal tumbado de dirección axial N40-60E vergente hacia el NO, cuyo flanco inverso está metamorfizado por el aumento de temperatura generado como consecuencia del cabalgamiento de las peridotitas de la unidad de Los Reales (Complejo Alpujárride). Por su parte, la unidad de Yunquera constituye una lámina cabalgante sobre la de las Nieves. Toda la estructura plegada y cabalgada ha sido afectada después por fracturas plurikilométricas de dirección N130E, predominantemente de tipo normal, que han hundido unos bloques con respecto a otros. Así, la parte alta de la Sierra de las Nieves (vértice Torrecilla) constituye un bloque levantado con respecto al que queda al oeste (Llanos de la Nava) y al este (sector de Yunquera).

En los materiales carbonatados de la Sierra de las Nieves se ha generado un importante modelado kárstico. Existen abundantes formas exokársticas, entre las que se encuentran lapiaces, dolinas y el semipolje conocido como Llanos de la Nava. También son abundantes las cavidades de trazado vertical, algunas de notable desarrollo, como la emblemática sima G.E.S.M. (1.101 m de profundidad) o la sima del Aire (750 m), situadas en el sector del vértice Torrecilla. En los restantes macizos de la masa de agua no son tan abundantes las morfologías kársticas, aunque cabe destacar la presencia de importantes afloramientos de travertinos (Yunquera, Alozaina, Casarabonela y Puerto Martínez), que ponen de manifiesto la existencia de descarga por manantiales durante el Cuaternario e incluso antes.

Los materiales dolomíticos y calizos que constituyen la masa de agua están limitados por materiales de baja permeabilidad: arcillas y areniscas del Flysch del Complejo del Campo de Gibraltar y materiales margosos de la Zona Subbética, en el borde NO, y rocas de baja permeabilidad (peridotitas, gneises, esquistos), alpujárrides y maláguides, en el borde SE. El espesor de acuífero es muy variable según el sector: en el área del vértice Torrecilla supera los 1.500 m mientras que en las proximidades de Parauta o en la región de Yunquera es tan reducido que llega a aflorar el Flysch del Campo de Gibraltar, que constituye el sustrato impermeable del acuífero.

La recarga de la masa de agua se produce por infiltración del agua de lluvia y de fusión nival, mientras que la descarga tiene lugar de modo natural a través de manantiales y de bombeos en algunos sondeos, que se sitúan mayoritariamente en el borde SE, donde el contacto con los materiales de baja permeabilidad está a menor cota. Las cotas de surgencia de los manantiales y las del nivel piezométrico medido en sondeos, junto con las características geológicas e hidrogeológicas generales (estructura geológica, fracturación, hidrodinámica, hidroquímica, hidrotermia e isótopos), permiten diferenciar varios sistemas acuíferos dentro de la masa de agua: Sierra del Oreganal, Sierra de las Nieves, Yunquera, Prieta-Bonela-Alcaparaín y Serrezuela de Carratraca, nombrados de oeste a este.

La Serrezuela de Carratraca constituye un acuífero de 2 km^2 extensión situado en el extremo NE de la masa de agua y separado hidrogeológicamente del resto de sistemas de la misma. El único punto de descarga importante es el manantial de aguas sulfurosas del Balneario de Carratraca (550 m s.n.m., 22 L/s).

Boca de entrada a una sima

Flujo de agua en el interior de la Sima del Aire

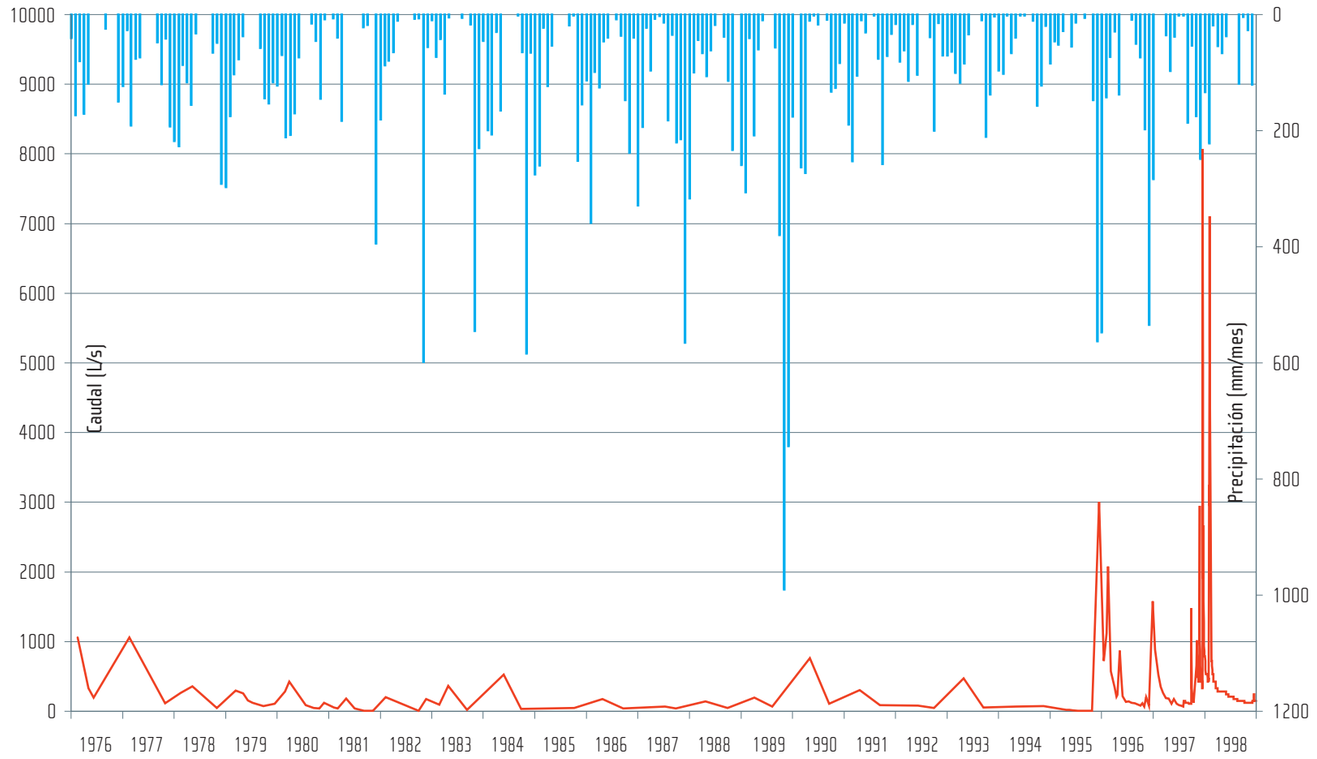
El sistema de la Sierra de las Nieves es el más extenso (109 km^2). Se drena, principalmente, a través de los manantiales de Río Grande (450 m s.n.m., 825 L/s de caudal medio para el período 1995/96-1998/99), Río Verde (675 m s.n.m., 750 L/s) y Río Genal (700 m s.n.m., 355 L/s). Otros manantiales son los de Algoma (640 m s. n.m., 115 L/s), Cuevas del Moro (590 m s.n.m., 73 L/s) y las surgencias del Río Horcajos (375-425 m s.n.m., 60 L/s). El manantial de Río Grande es el que presenta los mayores aumentos de caudal, las diluciones más importantes (el valor de la conductividad eléctrica disminuye un 30-40 % respecto a la media) y los descensos más acusados de temperatura del agua (del orden de 2 ºC) en respuesta a la recarga. El manantial de Río Verde también incrementa su caudal de forma rápida ante a las precipitaciones, pero las diluciones son generalmente inferiores al 10 % de la media y los descensos de temperatura del agua no superan 0,6 ºC. La surgencia de Algoma responde a las precipitaciones con aumentos de caudal menores y más lentos que los dos manantiales anteriores, y pequeñas disminuciones de conductividad eléctrica (del orden del 4 % de la media) y de la temperatura del agua (entre 0,2-0,4 ºC). Esta diferencia en las respuestas de los manantiales del sistema, frente a la misma señal de entrada, denota un grado de karstificación funcional variable según el sector: más elevado en el sector del vértice Torrecilla, drenado hacia el manantial de Río Grande; intermedio en el sector de los Llanos de la Nava, drenado por las surgencias de Río Verde y Río Genal; y escaso en el sector drenado hacia la surgencia de Algoma.

Nacimiento del Río Verde

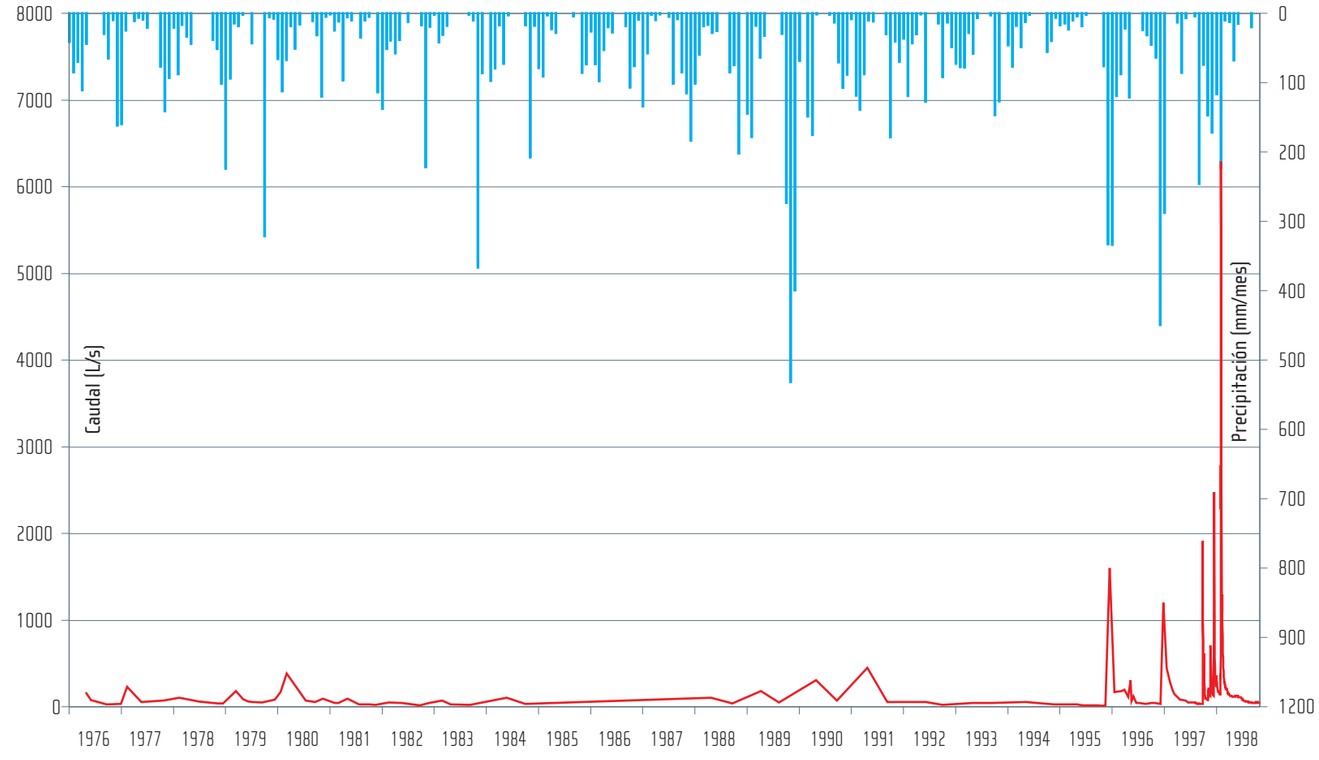
2.

4.4 Sierra de las Nieves - Prieta

Hidrograma del manantial del Río Genal o de Igualeja



Hidrograma del manantial de Jorox



El sistema de Yunquera ocupa una extensión de 12 km^2. La descarga se realiza, principalmente, por el manantial del Plano (700 m s.n.m., 94 L/s) y mediante bombeos en captaciones para el abastecimiento a Yunquera. En el manantial se registran lentas variaciones del caudal en respuesta a los períodos lluviosos más importantes del año hidrológico y tanto la composición química como la temperatura del agua muestran una gran homogeneidad para diferentes situaciones hidrodinámicas. Estas respuestas naturales son indicativas de un bajo grado de karstificación funcional que se relaciona con la litología predominante en el sistema (mármoles dolomíticos diaclasados).

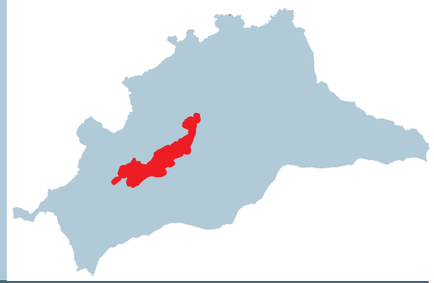
El sistema Prieta-Bonela-Alcaparaín comprende una superficie de 44 km^2. Se drena, principalmente, a través de las surgencias de Río Jorox (530 m s.n.m., 196 L/s), galería de Carratraca (530 m s.n.m., 77 L/s) y Fuente Quebrada (530 m s.n.m., 48 L/s) y de captaciones para diversos usos**.** La surgencia de Río Jorox, principal punto de descarga de Sierra Prieta, muestra, en respuesta a las lluvias, rápidos e importantes aumentos de caudal acompañados de disminuciones de la temperatura y de la conductividad eléctrica del agua subterránea. El manantial de Fuente Quebrada presenta una respuesta más amortiguada frente a las precipitaciones, con pequeñas diferencias de caudal entre la punta de la crecida y el inicio del agotamiento; durante los periodos de recarga, se constatan disminuciones de la temperatura del agua y descensos en los valores de conductividad eléctrica, pero de menor magnitud que en Río Jorox. En el manantial-galería de Carratraca, principal punto de drenaje de la Sierra Alcaparaín, el aumento del caudal se produce aproximadamente un mes después de las precipitaciones, no se observan variaciones de la conductividad eléctrica del agua asociadas a la infiltración rápida de las precipitaciones y la temperatura del agua permanece prácticamente constante. El análisis de las respuestas naturales de estos tres manantiales permite deducir así la existencia de un funcionamiento de tipo kárstico en los sectores drenados por Río Jorox y Fuente Quebrada (con mayor desarrollo del drenaje en el primer caso) y un comportamiento propio de acuífero de flujo difuso en la Sierra Alcaparaín, donde la litología dolomítica es muy abundante.

Durante el período 1995/96-1998/99, húmedo desde el punto de vista pluviométrico, el valor medio de los recursos estimados para la masa de agua fue de 89 hm^3/a, equivalentes al 51 % de la precipitación. Estas entradas corresponden, fundamentalmente, al sistema de la Sierra de las Nieves (71 hm^3/año), en el cual se registra la mayor cantidad de precipitación y hay más abundancia de formas kársticas. En los sistemas de Yunquera y Prieta-Bonela-Alcaparaín los recursos calculados son 4 hm^3/año y 14 hm^3/año, respectivamente. Las salidas controladas ascienden a 88 hm^3/año, muy similares a las entradas, lo cual es coherente con la escasa explotación que se lleva a cabo mediante bombeos. Únicamente hay sondeos de explotación en Yunquera, Alozaina, Casarabonela y Ardales que se aprovechan, sobre todo, cuando los caudales de los manantiales son bajos. La mayor parte de las salidas medidas corresponde al sistema de la Sierra de las Nieves (71 hm^3/año), donde se encuentran los manantiales más caudalosos de toda la masa de agua (Genal, Verde y Grande) que dan origen a ríos importantes de la provincia de Málaga. Para un período histórico, considerando una precipitación media de 900 mm, los recursos medios son del orden de 75 hm^3/año.

Mapa y cortes hidrogeológicos

Sierra de las Nieves - Prieta

(M.A.S. 060.046)



Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación

Leyenda

Edad

Formaciones post-orogénicas

Cuaternario	22	21	20
Plioceno	19		

Flysch

Cretácico - Terciario	18

Zona Subbética

Cretácico - Terciario		17
Jurásico	Malm	16
	Dogger	
	Lías	15
Triásico	Keuper	14
	Muschelkalk	13

Complejo de la Dorsal

Mioceno	Inferior	12
Cretácico-Paleógeno		11
Jurásico	Med.-Sup.	
	Inferior	10
Triásico	Rethiense	9
		8

Complejo Maláguide

Jurásico	7
Triásico	6
Paleozoico	5

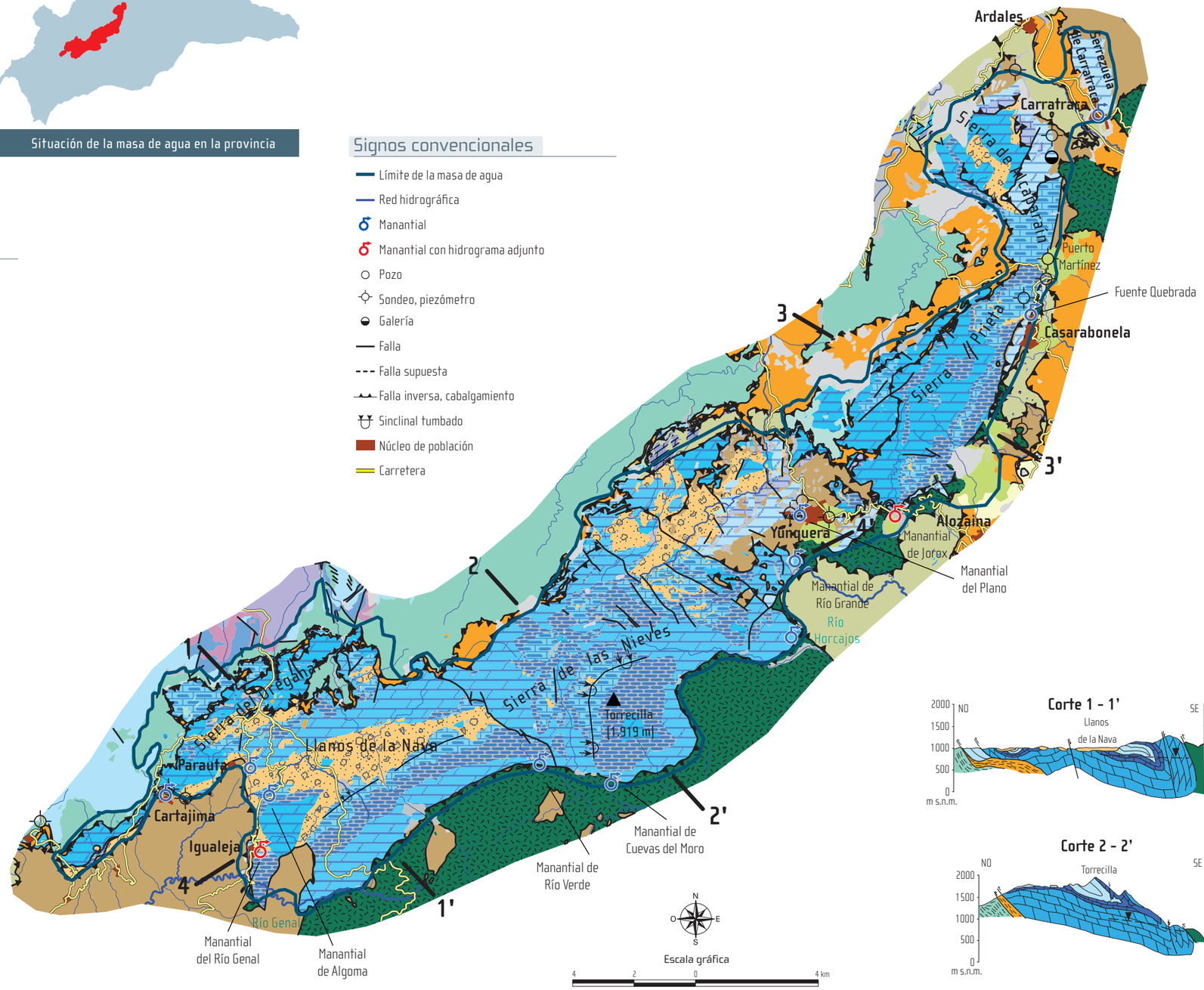
Complejo Alpujárride

Triásico	Superior	4
	Medio	3
	Inferior	2
Paleozoico		1

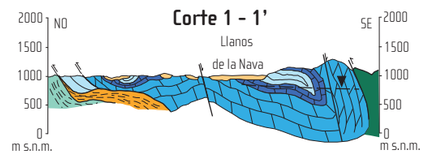
Litología	Permeabilidad
22 Travertinos	Alta
21 Aluvial	Alta
20 Indiferenciado	Media
19 Margas y arenas	Baja - Media
18 Arcillas y areniscas	Muy baja
17 Margocalizas y margas	Baja
16 Calizas	Muy alta
15 Dolomías	Alta
14 Arcillas y evaporitas	Baja - Media
13 Calizas y dolomías	Alta
12 Brecha de la Nava	Alta
11 Margocalizas y margas	Baja
10 Calizas blancas, calizas con sílex y calizas nodulosas	Alta
9 Calizas negras	Muy alta
8 Dolomías	Alta
7 Calizas	Alta
6 Dolomías	Alta
5 Conglomerados, areniscas y arcillas Filitas, pizarras y calizas alabeadas	Baja
4 Mármoles calizos con calcoesquistos	Alta
3 Mármoles dolomíticos	Alta
2 Gneises, esquistos y filitas	Baja
1 Peridotitas	Baja

Signos convencionales

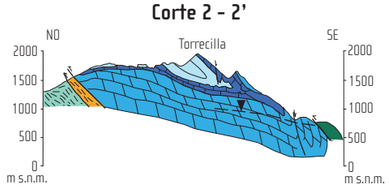
- Límite de la masa de agua
- Red hidrográfica
- Manantial
- Manantial con hidrograma adjunto
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Galería
- Falla
- Falla supuesta
- Falla inversa, cabalgamiento
- Sinclinal tumbado
- Núcleo de población
- Carretera



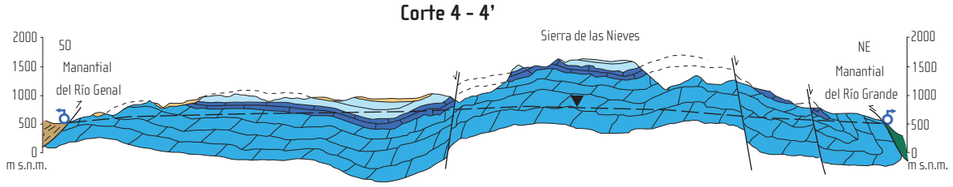
Corte 1 - 1'



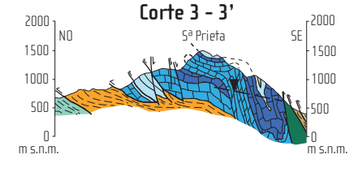
Corte 2 - 2'



Corte 4 - 4'

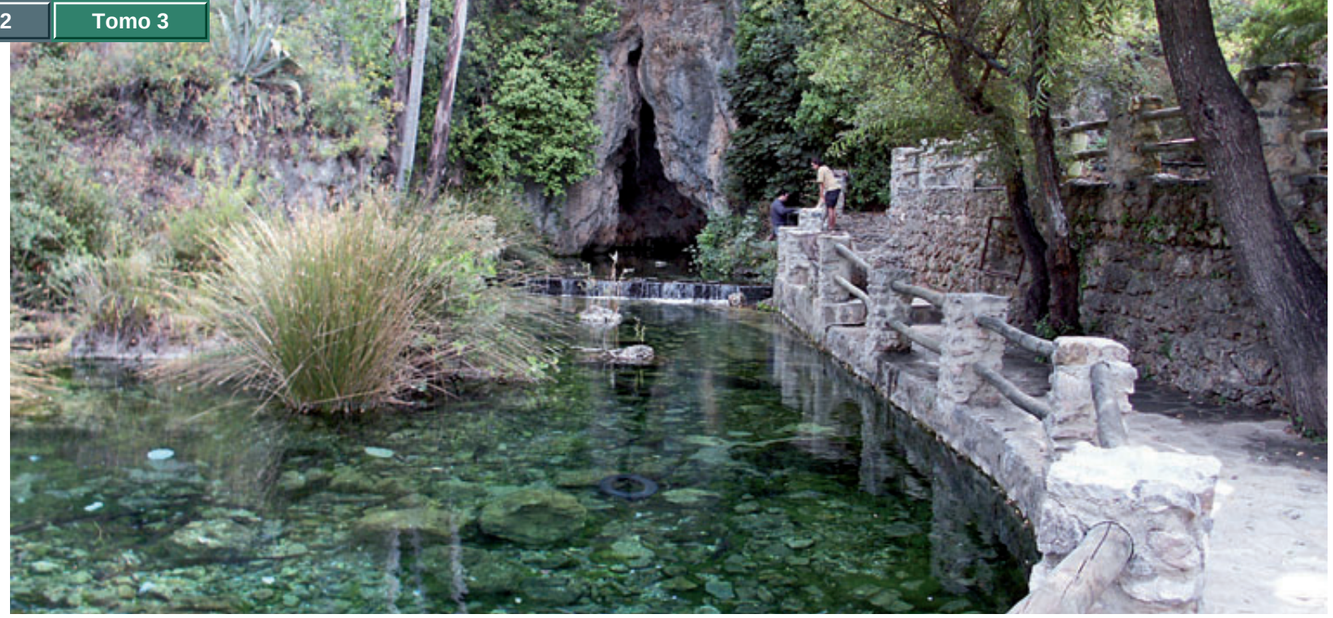


Corte 3 - 3'



2.

4.4 Sierra de las Nieves - Prieta



Manantial del Río Genal o de Igualeja

Manantial de Río Grande o de Zarzalones

Las aguas subterráneas de la Sierra de las Nieves-Prieta son de facies bicarbonatada cálcica y bicarbonatada cálcico-magnésica. Tienen baja mineralización (conductividad eléctrica entre 300 y 540 µS/cm), son de buena calidad química y se utilizan para el abastecimiento urbano y para regadío en todos los municipios de la zona (Parauta, Igualeja, Tolox, Yunquera, Alozaina, Casarabonela, Ardales y Carratraca). En el municipio de Casarabonela hay varias empresas que se dedican al embotellado y comercialización del agua mineral. Además, las aguas de Río Grande son objeto de aprovechamiento hidroeléctrico. Por último, cabe señalar el uso minero-medicinal de las aguas del Balneario de Carratraca, de los Baños de Ardales y de Fuente Amargosa (Balneario de Tolox). La mayor parte de los recursos de agua se drenan hacia los cauces superficiales que nacen en esta masa y se aprovechan fuera de los límites de la misma. Los acuíferos que constituyen la masa de agua Sierra de las Nieves-Prieta presentan una elevada vulnerabilidad a la contaminación, debido a su alto grado de karstificación. Los conductos kársticos constituyen vías rápidas para la infiltración del agua de lluvia pero también para la entrada de posibles contaminantes desde la superficie hacia la zona saturada del acuífero y hacia los puntos de descarga (manantiales y sondeos). El mayor desarrollo del modelado kárstico en el sector occidental (Sierra de las Nieves) conlleva una mayor restricción de las actividades potencialmente contaminantes, aunque estas actividades son escasas en el conjunto de la masa de agua por la elevada protección ambiental de que es objeto la misma. No obstante, convendría definir perímetros de protección de los manantiales y sondeos que son aprovechados para abastecimiento urbano, con el fin de evitar cualquier posible deterioro de la buena calidad del agua.

Manantial de Jorox

2.4.5

Sierras Hidalga - Merinos - Blanquilla (M.A.S. 060.043)

2.4.5

Sierras Hidalga - Merinos - Blanquilla

Pablo Jiménez Gavilán
Rafael Fernández Gutiérrez del Álamo
Pedro Jiménez Fernández

Esta masa de agua está formada por las estribaciones nororientales de la Serranía de Ronda, donde quedan incluidas las Sierras Blanquilla, Merinos, Colorado o Juan Durán, Carrasco, Hidalga, Ortegícar y Matagayar. En el sector occidental de la masa de agua se encuentra la divisoria hidrográfica entre las cuencas vertientes a los Ríos Guadalhorce, al este, y Guadiaro, al oeste. Los vértices de Sierra Hidalga (1.504 m) y Viento (1.430 m), este último en Sierra Blanquilla, constituyen los puntos culminantes de dicha divisoria, que hacia el norte continúa en las Sierras de los Merinos (Merinos, 1.117 m) y de Carrasco. La mayor parte de estas sierras presentan una forma alargada en la dirección NE-SO.

Los valores de precipitación y temperatura en este sector de la Serranía de Ronda son propios de un régimen climático continental-mediterráneo, pero con una clara influencia de los frentes atlánticos. La precipitación media anual en el área es de 650 mm y la temperatura media es de 15 ºC.

Desde el punto de vista geológico, todas las sierras están formados por materiales del Penibético o Subbético Interno occidental, aunque en el extremo oriental también afloran formaciones atribuidas al Complejo del Flysch del Campo de Gibraltar. El sustrato estratigráfico de la región está constituido por materiales triásicos: calizas y dolomías del Trías Muschelkalk y arcillas con evaporitas del Trías Keuper. La serie jurásica, con una potencia media de 400 m, está constituida por una formación inferior dolomítica (Jurásico inferior), seguida de otra de calizas oolíticas o pisolíticas (Jurásico medio) y culmina con una formación superior de calizas nodulosas (Jurásico superior). Encima de los materiales anteriores hay margas y margocalizas del Cretácico-Paleógeno, con un espesor medio de más de 100 metros. Discordantes sobre todos los materiales anteriores, en la parte occidental, afloran calcarenitas de edad Mioceno Superior pertenecientes al relleno sedimentario de la depresión de Ronda.

La estructura geológica está formada por pliegues de dirección NE-SO, con una ligera inmersión hacia el NE. Los pliegues pueden ser complejos en el detalle, aunque, a escala regional, constituyen anticlinales "en cofre" de calizas jurásicas, separados por sinclinales en los que afloran los materiales cretácicos. Las sierras de la zona están formadas por los núcleos anticlinales calizos, mientras que las margas y margocalizas afloran en los valles. Todas las estructuras plegadas han sido afectadas por fallas paralelas a los flancos de los pliegues, por apretamiento de éstos, y otras más o menos oblicuas a las directrices de plegamiento. Estas fracturas, por una parte, han dado lugar a la aparición de materiales triásicos en Sierra Blanquilla-Valle de Lifa, en la parte meridional de la Sierra de Merinos y entre las Sierras de Carrasco y Colorado. Por otra parte, hay fallas que provocan el hundimiento de las calizas jurásicas bajo los materiales cretácicos en el sector oriental y bajo el relleno de la depresión de Ronda en el occidental.

Panorámica de la parte alta de Sierra Blanquilla

Manantial del Carrizal (Cuevas del Becerro)

Manantial de La Ventilla

En la mayor parte de los afloramientos de rocas carbonatadas existe un gran desarrollo del modelado kárstico (lapiaces, dolinas y uvalas), con excelentes formas de absorción preferencial del agua de lluvia. Cabe señalar, también, la presencia de varios afloramientos travertínicos como el de La Mesa, al norte de la Sierra de Colorado, o el del Cerro del Castillo, en Sierra de Carrasco, que demuestran la continuidad temporal de la descarga de los pocos manantiales importantes que existen y de los procesos kársticos implicados, así como de la evolución del relieve asociada al encajamiento de la red fluvial. La red hidrográfica está poco desarrollada en los materiales de naturaleza carbonatada, a diferencia de lo que ocurre sobre las margas y margocalizas, en las que hay numerosos barrancos y arroyos tributarios del Río Guadalteba (Río de las Cuevas, Barranco de Palomeras y Arroyo del Cerezo).

La masa de agua subterránea de las Sierras Hidalga-Merinos-Blanquilla está formada por las dolomías y calizas jurásicas, que son permeables por fisuración y karstificación. Los materiales arcillosos del Triásico constituyen el sustrato hidrogeológico. Por su parte las margas y margocalizas cretácicas, y localmente las arcillas del Flysch, también constituyen materiales de baja permeabilidad que delimitan, en superficie, la masa de agua subterránea.

La recarga se produce, fundamentalmente, por infiltración directa de una parte del agua de lluvia que cae sobre los afloramientos carbonatados permeables (87 km²). El flujo subterráneo general se dirige hacia el NE, en el mismo sentido que se inclinan las directrices estructurales. En el borde oriental se encuentran los principales puntos de descarga, en lugares de cota baja del contacto entre los afloramientos carbonatados y los materiales de baja permeabilidad. No obstante, también hay descarga en la parte occidental, hacia la depresión de Ronda. En cualquier caso, la descarga se produce de manera natural sin influencia de bombeos.

Los afloramientos más importantes de sustrato triásico permiten distinguir posibles barreras hidrogeológicas entre las Sierras Blanquilla e Hidalga (valle de Lifa) y entre las de Carrasco y Colorado. Las características geológicas de la masa de agua (estructura geológica, fracturación) y las cotas de surgencia, o niveles piezométricos en su caso, permiten diferenciar varios compartimentos hidrogeológicos: Llanos de Carrasco, Sierras de Colorado-Merinos, Sierra Blanquilla, Sierra Hidalga y Sierras de Ortegícar-Matagayar. Con el grado de conocimientos disponible actualmente sobre esta masa de agua, resulta muy aventurado afirmar que estos cinco compartimentos son totalmente independientes entre sí, por lo que no se puede descartar una potencial conexión hidrogeológica entre algunos de ellos bajo determinadas condiciones hidrodinámicas.

El compartimento más septentrional es el de los Llanos de Carrasco, con una superficie aproximada de 15 km². La descarga más importante se produce por los manantiales del Carrizal (736 m s.n.m., 60 L/s de caudal medio) y Fuentezuela (740 m s.n.m., 5 L/s), localizados en las proximidades de Cuevas del Becerro. Este pueblo se encuentra sobre un gran afloramiento travertínico, lo cual pone de manifiesto la importancia de la descarga subterránea por estos manantiales durante tiempos cuaternarios. El manantial del Carrizal presenta un régimen de descarga irregular, con máximos que superan los 100 L/s y mínimos por debajo de los 15 L/s. La surgencia de la Fuentezuela, mucho menos caudalosa, presenta un caudal máximo cercano a 30 L/s y puede llegar a secarse durante determinados periodos estivales. Es difícil establecer claramente la relación hidrogeológica de los afloramientos carbonatados de los Llanos de Carrasco con los de la zona de Las Navetas, donde existen formas de absorción generadas por procesos de karstificación (zonas endorreicas con simas y sumideros). Este sector suroccidental se drenaría hacia el manantial de la Ventilla (730 m s.n.m., 34 L/s), que muestra un hidrograma con menores variaciones de caudal que los manantiales del extremo norte del sistema. También debe producirse descarga subterránea, no visible, hacia los depósitos miocenos de la depresión de Ronda.

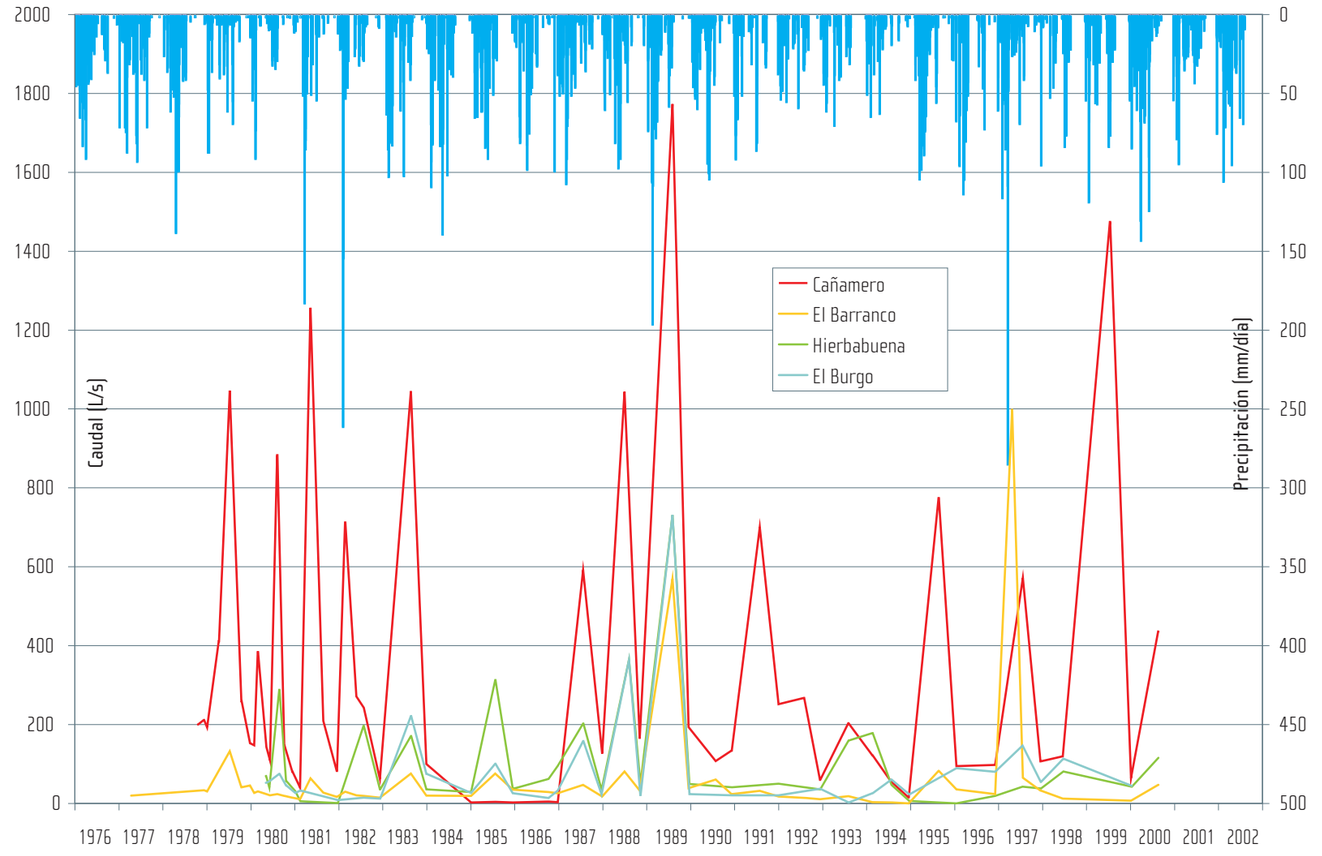
2.

4.5 Sierras Hidalga - Merinos - Blanquilla

Manantial de Hierbabuena

Manantial de Cañamero o de Serrato

Hidrogramas de manantiales



Las Sierras de Colorado y Merinos constituyen el segundo de los compartimentos diferenciados. Presenta una superficie de 23 km^2 y la descarga se produce, básicamente, por las surgencias de Cañamero (540 m s.n.m.) y el Barranco de Palomeras (560 m s.n.m.). El manantial de Cañamero está situado en el extremo oriental de la Sierra de Colorado-Juan Durán, cerca de la pedanía rondeña de Serrato. En las proximidades de este punto de descarga existen tres afloramientos de travertinos, a diferentes cotas (700, 640 y 540 m s.n.m.), relacionados con distintos emplazamientos del mismo, conforme se ha producido el encajamiento de la red fluvial. La serie histórica de caudales del manantial demuestra un régimen de descarga muy irregular, con picos de caudal que pueden superar ampliamente los 1000 L/s y mínimos próximos a la desecación total; el valor medio es 330 L/s. El manantial está en margocalizas cretácicas, aunque las calizas jurásicas se encuentran a 20-30 m de profundidad, según se constató mediante sondeos perforados para regular el manantial durante la metasequía de 1995. En estos sondeos, el nivel piezométrico ascendió hasta los 3 m de profundidad, lo cual indica que el acuífero está parcialmente confinado bajo los materiales cretácicos en este sector. Los ensayos de bombeo realizados conjuntamente en los dos sondeos, tras un periodo de alta recarga, permitieron establecer un caudal de explotación de varios centenares de L/s, con el nivel dinámico situado a decenas de metros de profundidad, razón por la cual el manantial se secó. Por lo que respecta a la surgencia del Barranco de Palomeras (caudal medio de 30 L/s), cabe señalar que emerge en un pequeño afloramiento de calizas jurásicas aislado, en medio de las margocalizas cretácicas, continuación de la Sierra de los Merinos. En este lugar, también durante la metasequía de 1995, se realizó un sondeo de 380 metros de profundidad que atravesó calizas jurásicas y margocalizas cretácicas; el ensayo de bombeo demostró que del sondeo es posible bombear 50 L/s, con el nivel dinámico situado a un centenar de metros. En el denominado Arroyo del Cerezo, al sur de la Sierra de Ortegícar, existe otro sondeo que atraviesa las margocalizas cretácicas y alcanza el acuífero carbonatado jurásico. El sondeo está situado a cota aproximada de 600 m s.n.m. y es surgente durante épocas de alta recarga, aunque el nivel piezométrico desciende hasta 15-25 m de profundidad en estiaje.

El compartimento de mayores dimensiones es el de Sierra Blanquilla (35 km^2), cuya descarga se produce en su borde sureste, hacia el cauce del Río Turón, por los manantiales de Hierbabuena (640 m s.n.m., 104 L/s) y El Burgo (610 m s.n.m., 82 L/s). Ambos manantiales presentan un régimen de descarga típicamente kárstico con fuertes variaciones estacionales de caudal. El sector suroeste de este compartimento

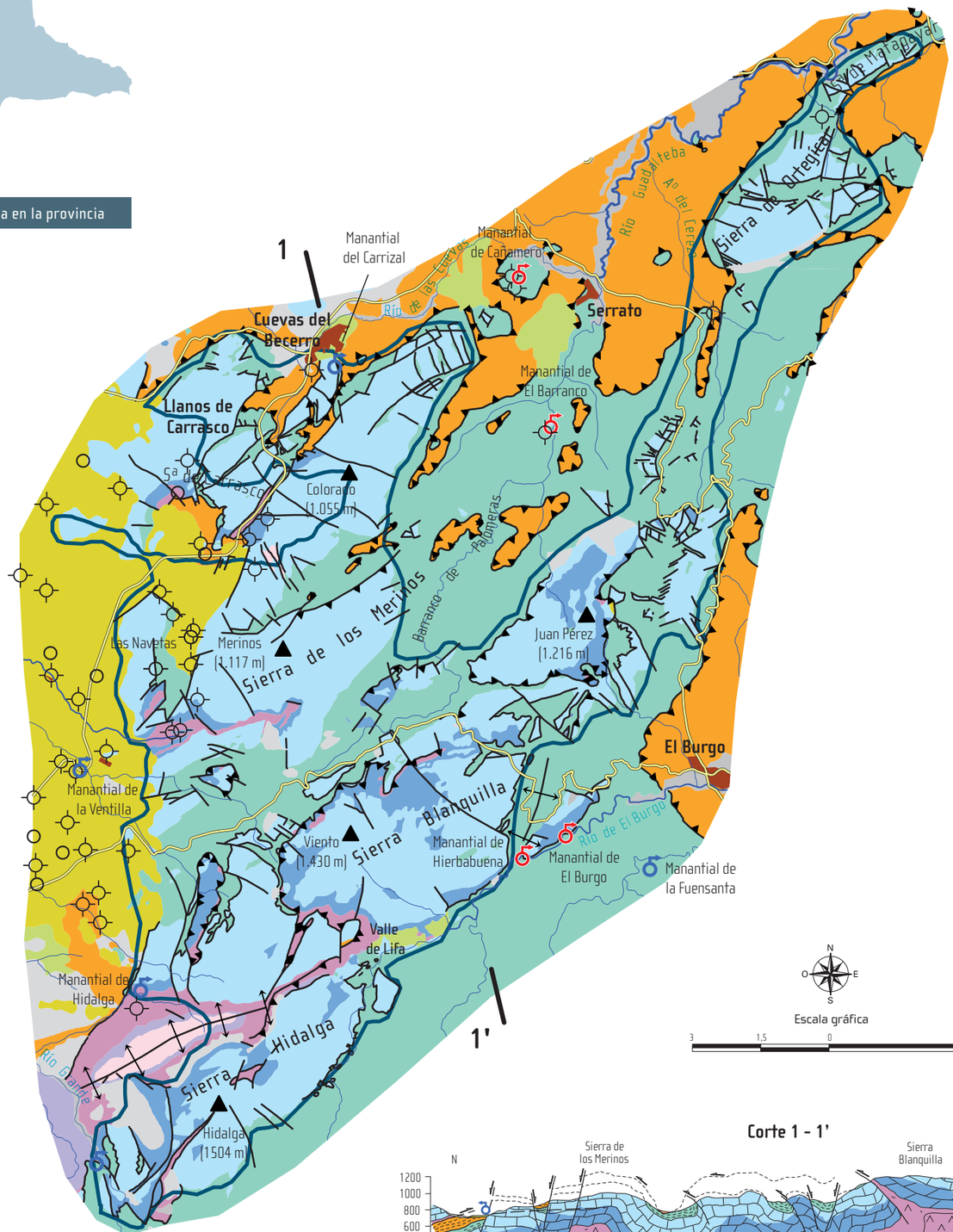
Mapa y corte hidrogeológico

Sierras Hidalga - Merinos - Blanquilla

(M.A.S. 060.043)

Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación



Leyenda

Edad				Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas					
Cuaternario		11	10	9	
Mioceno	Superior	8			
Flysch					
Cretácico - Terciario		7			
Zona Subbética					
Cretácico - Terciario		6			
Jurásico	Malm	5			
	Dogger				
	Lías		4		
Triásico	Keuper	3			
	Muschelkalk	2	1		

11	Travertinos	Alta
10	Aluvial	Alta
9	Indiferenciado	Media
8	Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
7	Arcillas y areniscas	Muy baja
6	Margocalizas y margas	Baja
5	Calizas	Muy alta
4	Dolomías	Alta
3	Arcillas y evaporitas	Baja - Media
2	Margas y arcillas	Baja
1	Calizas y dolomías	Alta

Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Red hidrográfica
- Manantial
- Manantial con hidrograma adjunto
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Anticlinal
- Núcleo de población
- Carretera

puede hallarse desconectado del resto por el afloramiento de arcillas triásicas, asociado a un cabalgamiento, que hay en la parte central de la sierra. La surgencia denominada Hidalga (1000 m s.n.m., 15 L/s) y otras cercanas, de carácter estacional, constituyen la descarga de dicho sector, vertiente ya hacia la cuenca del Río Guadiaro.

Sierra Hidalga es otro de los compartimentos diferenciados, con una extensión aproximada de 9 km^2. Posiblemente está separado del de Sierra Blanquilla por el Valle de Lifa, donde afloran los materiales triásicos a favor de un cabalgamiento, pero, en el estado actual de conocimientos, no puede descartarse que haya alguna conexión hidrogeológica entre ambas sierras. Dentro de Sierra Hidalga parecen existir dos sectores hidrogeológicos: uno occidental, que se drena hacia el Río Grande o Guadalevín (790 m s.n.m.), y otro oriental, cuya descarga se produce por el manantial de la Fuensanta (640 m s.n.m.), a una cota de emergencia muy similar a los de Hierbabuena y El Burgo. El caudal medio del manantial de la Fuensanta es de 25 L/s y presenta variaciones de poca magnitud, con máximos del orden de 40 L/s y mínimos de 10 L/s.

Manantial de la Fuensanta

Río Guadalevín, área de descarga de Sierra Hidalga

La Sierras de Ortegícar y Matagayar se encuentran en el extremo oriental de la masa de agua, con una superficie total de 5 km^2, cuyo funcionamiento es poco conocido. Un sondeo realizado en el extermo SE del cerro del Matagayar resultó negativo a pesar de tener toda su columna en rocas carbonatadas del Jurásico. No se conoce la existencia de descarga puntual visible, aunque es probable que haya drenaje hacia el cauce del Río Guadalteba. Otra posibilidad es que las Sierras de Ortegícar y Matagayar se drenaran hacia el manantial de Torrox, que presenta un caudal elevado en relación con la superficie del acuífero que drena (Sierra de Teba), aunque en medio de los dos puntos está el cauce del Río Guadalteba, a cota más baja que la surgencia, y, entonces, debería haber descarga en el cauce antes de llegar al manantial, si el acuífero carbonatado no está muy profundo. En cualquier caso, es un tema abierto, que convendría investigar en el futuro.

Los recursos medios anuales de la masa de agua subterránea Sierras Hidalga-Merinos-Blanquilla son del orden de 30 hm^3/año y proceden, exclusivamente, de la infiltración de parte de las precipitaciones caídas sobre el acuífero. Las salidas controladas históricamente ascienden a 22 hm^3/año y corresponden a descargas naturales, dada la escasa o nula explotación mediante bombeos. Por tanto, hacia la depresión de Ronda meridional, se puede producir una descarga subterránea estimada en 8 hm^3/año.

Los recursos de esta masa de agua subterránea se aprovechan, en una mínima parte, para el abastecimiento urbano de las poblaciones de Arriate, Cuevas del Becerro, El Burgo y Serrato. Los recursos excedentes circulan hacia el Río Guadiaro en la vertiente occidental y por los Ríos Guadalteba y Turón en la oriental, estos últimos hasta los embalses de Guadalteba y Conde del Guadalhorce. Dichos embalses constituyen dos obras de regulación esenciales para cubrir la demanda de la ciudad de Málaga y de los regadíos del Plan Coordinado del Guadalhorce.

Las aguas subterráneas de la masa de agua Hidalga-Merinos-Blanquilla presentan facies hidroquímicas bicarbonatadas cálcicas, con una mineralización ligera (conductividad eléctrica de 350 µS/cm), y son de excelente calidad química tanto para abastecimiento urbano como para regadío. El importante desarrollo de la karstificación de las rocas carbonatadas que constituyen la masa de agua conlleva un elevado grado de vulnerabilidad frente a la contaminación. La existencia de vías rápidas de infiltración del agua de lluvia que pueden favorecer la conexión entre la superficie y la zona saturada, debería limitar el eventual emplazamiento de actividades potencialmente contaminantes. En este sentido, los macroproyectos urbanísticos que incluyen campos de golf y urbanizaciones suponen, no sólo un potencial peligro de deterioro de la buena calidad natural del agua, sino también un aumento de la demanda de agua a expensas de unos recursos ya contemplados para cubrir otras necesidades y, además, probablemente conllevaría afecciones a los manantiales.

Río de El Burgo, área de descarga de Sierra Blanquilla. Captación de agua para abastecimiento a El Burgo

2.4.6

Sierra de Cañete (M.A.S. 060.041)

2.4.6

Sierra de Cañete

Luis Linares Girela
Antonio Carrasco Cantos

La Sierra de Cañete se sitúa, en su mayor parte, en el borde noroccidental de la provincia de Málaga, aunque también se adentra (por el sur) en la provincia de Cádiz. Constituye la divisoria entre las Cuencas Hidrográficas del Sur y del Guadalquivir y en ella nacen arroyos que vierten sus aguas a los Ríos Guadalhorce, Corbones y Guadalete. El Ministerio de Medio Ambiente dividió esta sierra en dos partes, cada una de las cuales incluyó en una masa de agua subterránea: la occidental en la masa de Setenil-Ronda y la oriental en la Sierra de Cañete Sur. El criterio utilizado fue la divisoria hidrográfica, pero la diferenciación carece de fundamento hidrogeológico, por lo que en este capítulo se trata la hidrogeología de la Sierra de Cañete, en su conjunto, haciendo referencia a los aspectos fundamentales de la masa de agua denominada Sierra de Cañete Sur.

Las altitudes de la región varían desde los 500 ó 600 m en los extremos norte y sur, respectivamente, y casi 1.000 m en el interior de la sierra. La precipitación media anual está comprendida entre 700 mm de la estación pluviométrica de Cañete la Real y 570 mm en la estación de Almargen. La estación termométrica más próxima (Teba) proporciona valores de temperatura media anual de 18ºC, con mínimas en enero de 10ºC y máximas en julio-agosto de 28ºC. El valor medio anual de la ETP en la misma estación es de 950 mm.

En la Sierra de Cañete y su entorno existen materiales pertenecientes a varios dominios geológicos de la Cordillera Bética. En el sector central afloran dolomías y calizas jurásicas, margas cretácicas y materiales detrítico-arcillosos del Oligoceno-Mioceno, atribuidos al Penibético. Sobre los materiales anteriores y hacia los flancos de la sierra, especialmente el occidental, se encuentran arcillas triásicas, dolomías y calizas jurásicas del Subbético que constituyen la mayor parte de la sierra. El Flysch del Campo de Gibraltar está pinzado entre las dos unidades geológicas antes descritas y, además, rodea los relieves carbonatados; está formado por una matriz de arcillas rojas y verdes en cuyo interior existen afloramientos rocosos de diferente tamaño y naturaleza. El Terciario postorogénico está constituido por calcarenitas, conglomerados y margas del Mioceno Superior que afloran en los bordes sur y occidental. Los depósitos cuaternarios (aluviales, formaciones de ladera y travertinos) ocupan también sectores marginales de la sierra.

La estructura geológica que presenta la Sierra de Cañete es un antiforme de dos unidades tectónicas separadas por materiales del Flysch del Campo de Gibraltar. La unidad inferior está formada por la materiales del Penibético, que afloran a modo de ventana tectónica, bajo la unidad superior, constituida por el resto de materiales del Subbético. Cada unidad tectónica tiene, a su vez, una estructura geológica: la inferior se encuentra intensamente deformada, mientras que la superior describe la estructura antiformal mayor de la sierra en su conjunto. Además, las estructuras plegadas han sido afectadas por fallas de orientaciones diversas. Todo ello determina que la Sierra de Cañete sea un área de gran complejidad estructural y ha dado lugar a diversas hipótesis en cuanto al origen y situación de las unidades tectónicas presentes en ella. Estas hipótesis discrepan, fundamentalmente, en la posibilidad de que los materiales mesozoicos que afloran en la sierra se encuentren enraizados o sean masas alóctonas englobadas en materiales arcilloso-detríticos del Mioceno Inferior.

El conjunto de rocas carbonatadas jurásicas que afloran en la Sierra de Cañete son permeables por fisuración y karstificación y constituyen acuíferos. También presentan carácter acuífero las formaciones recientes del Terciario y del Cuaternario que hay sobre las rocas carbonatadas de la unidad tectónica superior, con las cuales están en continuidad hidrogeológica, y adquieren desarrollo e importancia en algunos sectores del borde de la sierra. Entre estos materiales cabe citar las calcarenitas y conglomerados del Mioceno de la depresión de Setenil-Ronda, el Cuaternario aluvial de Almargen y los travertinos de La Atalaya. Localmente, pueden dar lugar a acuíferos de menor entidad otros aluviales y formaciones de ladera cuaternarios, aunque su interés siempre hay que atribuirlo a la eventual relación hidrogeológica que presenten con las formaciones jurásicas carbonatadas. La superficie total de materiales acuíferos es de 55 km^2, de los que 51 km^2 pertenecen a la provincia de Málaga. La denominada masa de agua subterránea Sierra de Cañete Sur, está formada por la superficie de materiales carbonatados (42 km^2) que afloran al sur y este de la divisoria hidrográfica entre las cuencas del Sur y del Guadalquivir.

Sector oriental de la Sierra de Cañete

Sector septentrional de la Sierra de Cañete

Manantial del Pleito y, al fondo, cerro del Atalayón

Como formaciones de baja permeabilidad, que pueden originar barreras hidrogeológicas, cabe destacar las arcillas del Trías, los materiales margosos cretácicos del Penibético y las arcillas del Flysch. Tanto si se admite la hipótesis de que la Sierra de Cañete se encuentra bien enraizada como si se considera la teoría de que se trata de un gran bloque englobado en las formaciones del Flysch, estos materiales serían los responsables de la delimitación hidrogeológica de la sierra en su conjunto. También los materiales del Flysch constituyen una barrera de baja permeabilidad que separa hidrogeológicamente las dos grandes unidades tectónicas existentes en la Sierra de Cañete. El sustrato triásico de la unidad superior constituye un elemento adicional de separación hidrogeológica entre las formaciones carbonatadas de ambas unidades y, en el extremo sureste de la estructura, contribuye también a definir el límite de los materiales acuíferos.

La característica hidrogeológica fundamental de la Sierra de Cañete es la fragmentación de los afloramientos de rocas carbonatadas del Jurásico, debido a la estructura geológica y a la tectónica, en varios compartimentos de complejas interrelaciones. En el flanco occidental de la sierra, mucho más desarrollado y tectónicamente menos complejo que el oriental, se han definido los tres compartimentos más extensos: Almargen, La Atalaya y Alcalá del Valle. De ellos, la mayor parte del de Almargen y un pequeño sector del de La Atalaya quedan integrados en la denominada masa de agua subterránea Sierra de Cañete Sur.

El compartimento de Almargen tiene 18,8 km^2 de extensión y descarga en el extremo septentrional de la estructura a través de manantiales ubicados a la cota 520-510 m s.n.m., entre los que destaca el de Majavea, con un caudal medio de 31 L/s. Este compartimento alimenta subterráneamente al aluvial cuaternario de Almargen y es explotado para abastecimiento a Almargen y El Saucejo, por medio de bombeos en captaciones. Los manantiales de Majaborrego y Almirón son de menor caudal y, en la actualidad, se encuentran afectados por bombeos próximos.

El compartimento de La Atalaya es el más extenso de toda la masa de agua subterránea (24 km^2), ocupa la mayor parte de la vertiente occidental de la sierra y descarga, a cota 670-680 m s.n.m., por los manantiales más caudalosos de la zona: Ojo de la Laguna (caudal medio de 37,6 L/s, con importante descenso estival), Cortijo Grande (caudal medio de 13,6 L/s y frecuentes desecaciones estivales) y Pleito (caudal medio de 7,5 L/s), entre otros. También alimenta subterráneamente a la mesa travertínica de La Atalaya, que luego descarga hacia el Río Corbones. Este compartimento funciona actualmente en régimen natural, ya que no existen en él extracciones de importancia.

El compartimento de Alcalá del Valle (5,3 km^2) ocupa el extremo suroccidental de la sierra y descarga a cota 590-600 m s.n.m., a través de los manantiales de Alcalá del Valle, actualmente afectados por las extracciones que se localizan en sus proximidades para abastecimiento a Alcalá, Olvera y Torre Alháquime. También puede descargar subterráneamente hacia el Mioceno de Setenil-Ronda, aunque la magnitud de esta descarga debe haber disminuido en los últimos tiempos a causa de las mencionadas explotaciones. La relación hidrogeológica con el sistema de La Atalaya no es clara desde el punto de vista geométrico y, posiblemente, se produzca una transferencia de recursos desde este último compartimento hacia el de Alcalá del Valle.

En el borde oriental de la sierra se han diferenciado otros compartimentos de menor superficie (ninguno alcanza los 4 km^2), incluidos en la denominada masa de agua subterránea de Sierra de Cañete Sur. Entre estos compartimentos cabe destacar los de La Nina (2,5 km^2) y Fuentepeones (3,4 km^2). El primero se aprovecha fundamentalmente para abastecimiento a Teba, mediante captaciones que han provocado la desaparición de los manantiales por los que se producía la descarga, a cota 620 m s.n.m. El segundo descarga por varios manantiales situados a cotas comprendidas entre 675 y 700 m s.n.m., el más significativo de los cuales es el de Fuentepeones, explotado mediante una captación destinada a abastecimiento a Cañete la Real, que afecta el régimen del manantial. El caudal medio de éste es de 6,4 L/s, aunque debe tenerse en cuenta la influencia de los bombeos en los últimos tiempos.

Los compartimentos restantes del borde oriental y del extremo meridional tienen superficies inferiores a los 2 km^2. Todos ellos funcionan prácticamente en régimen natural, pues las extracciones son mínimas y descargan por pequeños manantiales y mediante la alimentación subterránea que proporcionan a los acuíferos detríticos adyacentes. Entre estos compartimentos cabe destacar el denominado Berrillo-

Afloramientos de rocas carbonatadas en las proximidades de Cañete la Real

Manantial del Ojo de la Laguna

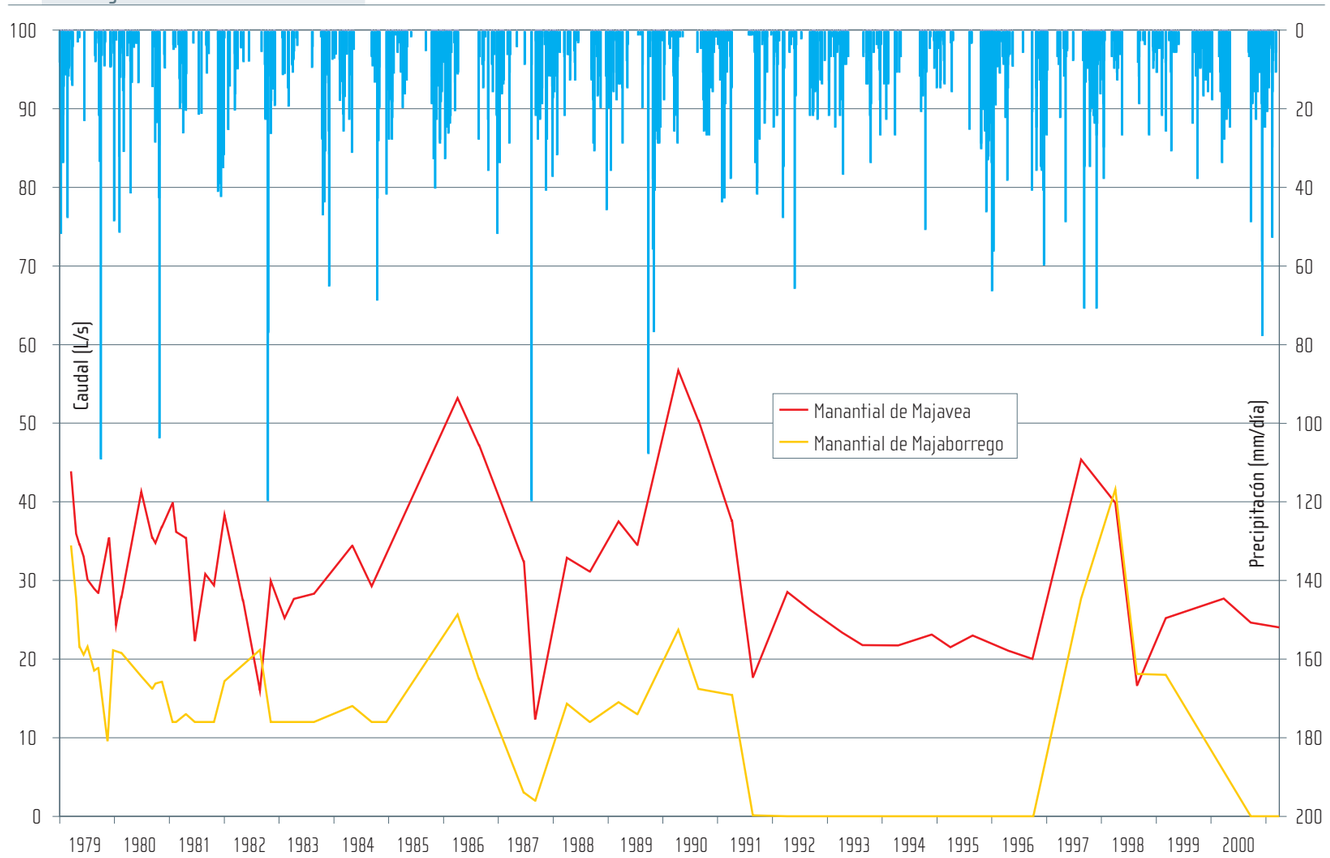
2.

4.6 Sierra de Cañete

Manantial del Berrillo

Manantial de Majavea

Hidrogramas de manantiales



Fuencaliente, el único formado por materiales carbonatados del Penibético que afloran en la ventana tectónica de Cañete. En este compartimento se incluye un conjunto de afloramientos permeables cuya superficie total es de 1,8 km^2, afectados por una intensa tectonización y una compleja geometría interna. Su descarga tiene lugar, fundamentalmente, por medio de los manantiales de El Berrillo (690 m s.n.m.) y Fuencaliente (680 m s.n.m.). El aprovechamiento más importante que de ellos se realiza es el que tiene lugar desde el manantial de El Berrillo, para abastecimiento a Cañete la Real.

Los recursos hídricos de la Sierra de Cañete proceden exclusivamente de la infiltración de las precipitaciones y ascienden a un total de 14,1 hm^3/año (11 hm^3/año en la provincia de Málaga), de los cuales 6 hm^3/año corresponderían a los recursos de agua infiltrados en la masa de agua subterránea denominada Sierra de Cañete Sur. Por lo que respecta a las salidas controlables son de 7,9 hm^3/año, 5 hm^3/año corresponden a manantiales y 2,9 hm^3/año a extracciones por bombeo (1,7 hm^3/año en la provincia de Málaga). Hacia acuíferos adyacentes se producen salidas subterráneas no visibles de 6,7 hm^3/año. La diferencia neta entre entradas y salidas, 0,5 hm^3/año, se justifica por el déficit existente en los compartimentos de La Nina y Alcalá del Valle. Los dos compartimentos de mayor superficie, Almargen y La Atalaya, proporcionan un notable caudal de salidas subterráneas hacia los acuíferos cuaternarios próximos (2,3 hm^3/año y 2,9 hm^3/año respectivamente).

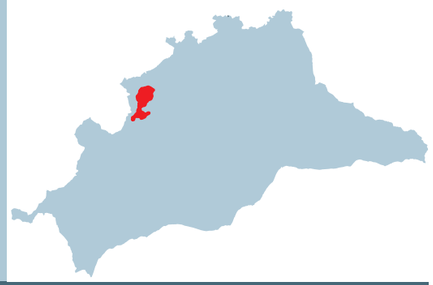
Con los recursos subterráneos de la Sierra de Cañete son abastecidos, totalmente, los municipios de Almargen y Cañete la Real en la provincia de Málaga, El Saucejo en la provincia de Sevilla y Alcalá del Valle, Olvera y Torre Alháquime en la de Cádiz. Parcialmente, y de una forma preferente, también se abastecen de ella Campillos y Teba, en la provincia de Málaga. Una pequeña parte de sus recursos es utilizada para regadío. Los datos de balance demuestran que hay excedentes de recursos hídricos en estos acuíferos que no son utilizados en el ámbito próximo a ellos. Sin embargo, no parece adecuado proponer actuaciones dirigidas a incrementar la explotación en los pequeños compartimentos del sector oriental de la sierra, los cuales deben quedar reservados para atender las demandas que actualmente soportan: abastecimiento a Teba, desde el compartimento de La Nina, y a Cañete la Real, desde el compartimento de Fuentepeones. No se deben aumentar las extracciones que de ellos se realizan, sino realizar actuaciones dirigidas a ordenar y controlar la explotación y a proteger las captaciones de abastecimiento actualmente existentes.

En el extremo norte de la sierra, en el compartimento de Almargen, existen excedentes de recursos no explotados, que pasan a alimentar subterráneamente al acuífero aluvial cuaternario de Almargen. Este sector podría soportar un incremento de la explotación de los acuíferos carbonatados, siempre en detrimento de la alimentación subterránea hacia el aluvial de Almargen, donde podrían verse afectados

Mapa y corte hidrogeológico

Sierra de Cañete

(M.A.S. 060.041)



Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación

Leyenda

Edad

Formaciones post-orogénicas

Cuaternario	9	8 7
Mioceno Superior	6	

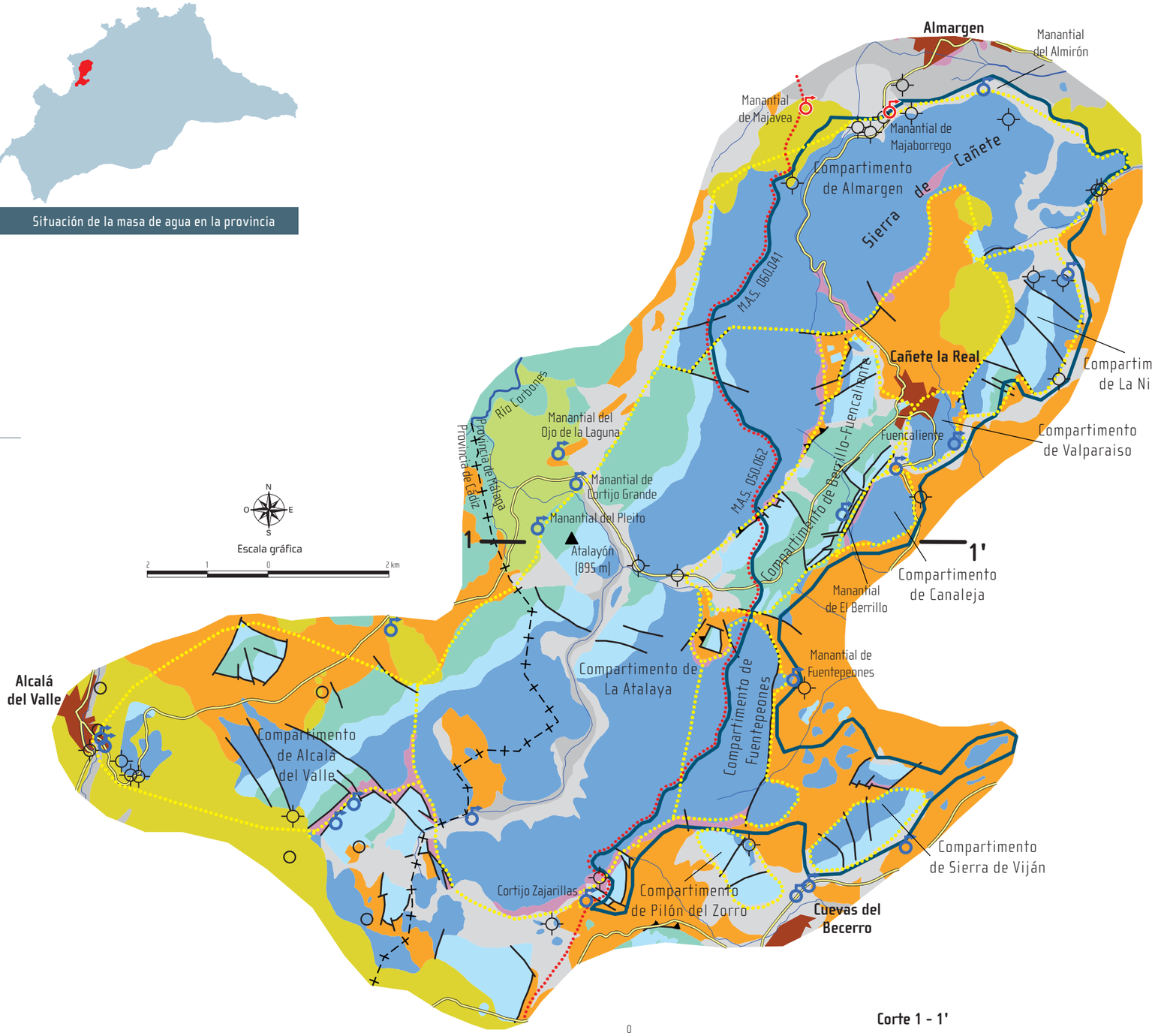
Flysch

Cretácico - Terciario	5

Zona Subbética

Cretácico - Terciario		4
Jurásico	Malm	
	Dogger	3
	Lías	2
Triásico	Keuper	1

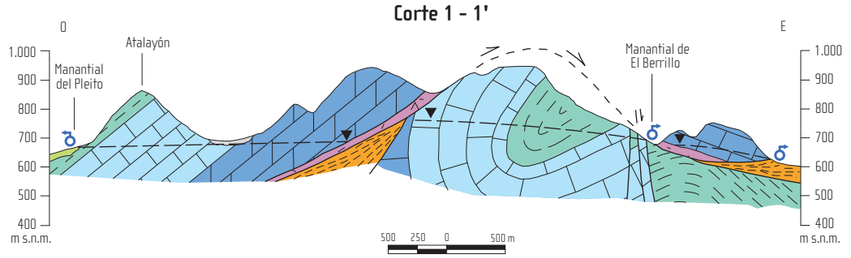
Litología	Permeabilidad
9 Travertinos	Alta
8 Aluvial	Alta
7 Indiferenciado	Media
6 Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
5 Arcillas y areniscas	Muy baja
4 Margocalizas y margas	Baja
3 Calizas	Muy alta
2 Dolomías	Alta
1 Arcillas y yesos	Baja -Media



Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Límite de provincia
- Red hidrográfica
- Límite de cuencas hidrográficas
- Límite de compartimento hidrogeológico
- Manantial
- Manantial con hidrograma adjunto
- Sondeo, piezómetro
- Pozo
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Núcleo de población
- Carretera

Corte 1 - 1'



4.6 Sierra de Cañete

los aprovechamientos que actualmente existen. Aunque dicha afección no representaría un grave problema, por la escasa magnitud de estos aprovechamientos, hay que tener en cuenta que la intensa actividad ganadera que se desarrolla sobre el acuífero aluvial genera contaminantes líquidos que se infiltran en él y que la explotación intensa de los acuíferos carbonatados podría originar la aparición de flujo subterráneo desde el aluvial hacia ellos y provocar su contaminación. Si finalmente se considerase necesario incrementar las extracciones en este lugar, debería hacerse con cautela y estableciendo un estricto control de la piezometría y de la calidad del agua del acuífero carbonatado para poder detectar a tiempo los previsibles problemas que aquí se apuntan.

La eventual explotación de la Sierra de Cañete, por medio de captaciones, debe centrarse en el borde occidental de la sierra (compartimento de La Atalaya) que, a través de la mesa travertínica de esta localidad, descarga hacia el Río Corbones sin apenas aprovechamientos *in situ*.

El extremo sur de la sierra, vertiente a la cuenca del Río Guadalete, coincidente con el compartimento de Alcalá del Valle, soporta el abastecimiento de poblaciones ajenas a la provincia de Málaga (Alcalá del Valle, Olvera y Torre Alháquime) y presenta actualmente un ligero déficit si se compara la recarga con las salidas.

En relación con las características hidroquímicas de las aguas, la mayor parte son de facies bicarbonatadas cálcicas, en menor proporción bicarbonatadas cálcico-magnésicas y, excepcionalmente, magnésico-cálcicas. El manantial de Fuencaliente, relacionado con la unidad tectónica inferior de la sierra, presenta una temperatura más elevada que el resto y, además, una facies hidroquímica diferente, de tipo clorurada-bicarbonatada sódico-cálcica. La situación de este manantial, en un área muy tectonizada y en la unidad estructural más baja, conlleva una circulación del agua en zonas profundas y un mayor tiempo de residencia del agua en el acuífero, que justificarían estas peculiaridades químicas y térmicas. Todos los datos indican que las aguas son aptas para consumo humano de acuerdo con sus características químicas; sólo de manera excepcional, y estacionalmente, se detectan compuestos nitrogenados en los manantiales de Fuentepeones y El Berrillo. En la zona próxima a La Atalaya, algunos análisis microbiológicos muestran un contenido microbiano superior a los límites admitidos por la legislación, sin duda relacionado con las actividades urbanas y ganaderas del entorno.

La masa de agua subterránea de la Sierra de Cañete es altamente vulnerable a la contaminación por lo que deben tomarse medidas que permitan preservar la buena calidad natural de las aguas. Es necesario llevar a cabo un estricto control de los vertidos incontrolados potencialmente contaminantes (purines, y aguas residuales fundamentalmente) y de las granjas porcinas situadas sobre los afloramientos de materiales carbonatados de la sierra o en sus inmediaciones. Otro aspecto importante es la definición de perímetros de protección de las diferentes captaciones de abastecimiento existentes, con la adopción de medidas restrictivas rigurosas y concretas en su entorno.

Pilar del cortijo Zaharillas

Manantial de Fuentepeones

Sondeo de Majorrego

2.4.7 Depresión meridional de Ronda (M.A.S. 060.042) y Setenil - Montecorto (M.A.S. 050.062)

2.4.7

Depresión meridional de Ronda y Setenil - Montecorto

Pablo Jiménez Gavilán
Raquel Morales García

Las masas de agua subterránea denominadas Depresión meridional de Ronda (060.042) y Setenil-Montecorto (050.062) se extienden entre las localidades de Ronda, Cañete la Real y Arriate, en la provincia de Málaga, y los municipios de Alcalá del Valle, Setenil de las Bodegas y Torre Alháquime, en la provincia de Cádiz. Las dos masas de agua se consideran conjuntamente en este capítulo por razones de afinidad fisiográfica, climática, geológica e hidrogeológica.

Desde el punto de vista fisiográfico ambas masas de agua están integradas en una depresión intramontañosa, individualizada entre las Serranías de Ronda-Cañete, al este, y de Grazalema-Líbar, al oeste. La depresión se caracteriza por presentar un relieve de suaves lomas y hondonadas y una altitud variable entre 500 y 800 m. Las cotas más elevadas son las de las Sierras de Salinas y de la Sanguijuela que constituyen la divisoria hidrográfica atlántico-mediterránea. La red hidrográfica está formada por la cuenca alta del Río Guadalete (Cuenca Atlántica Andaluza), del cual es tributario el Río Trejo, que recoge parte de la escorrentía de la depresión de Ronda. El resto de la depresión es drenada por numerosos arroyos de la cabecera del Río Guadiaro (Cuenca Mediterránea Andaluza o Cuenca Hidrográfica del Sur). La escorrentía del sector suroeste de la Sierra de Cañete se descarga hacia el Río Corbones, afluente del Guadalquivir.

En la depresión de Ronda, el clima es de tipo mediterráneo subtropical, con una temperatura media anual de 15,5 ºC y valores de precipitación media anual de 700 mm y hasta 745 mm en los relieves del noreste.

Aspecto de las calcarenitas del Mioceno en el Tajo de Ronda

Desde el punto de vista geológico, las dos masas de agua están formadas, fundamentalmente, por el relleno postorogénico de la cuenca sedimentaria de Ronda, cuyo sustrato está constituido por materiales pertenecientes al dominio Subbético de la Cordillera Bética y al Flysch del Campo de Gibraltar. La masa de agua Setenil-Montecorto (050.062) incluye, en su extremo NE, el sector SO de la Sierra de Cañete.

La secuencia litológica del Subbético en el sector occidental de la Sierra de Cañete está formada, básicamente, por los siguientes términos (de muro a techo): arcillas con evaporitas del Triásico Superior (Keuper), dolomías y calizas de edad Jurásico (varios centenares de metros de potencia) y margas-margocalizas del Cretácico. La Sierra de Cañete presenta una estructura antiforme de dirección N30ºE.

El Flysch del Campo de Gibraltar está constituido por arcillas rojas y verdes que engloban bloques de distintos tamaños, edades y litologías. La potencia total es indeterminada.

La cuenca postorogénica de Ronda está rellena por materiales del Mioceno Superior. En el borde sur y este, afloran los conglomerados y calcarenitas en los que se excava el Tajo de Ronda. Los depósitos detríticos de borde pasan, lateralmente hacia el centro de la cuenca, a margas azules grisáceas con algunas intercalaciones arenosas o calcareníticas. En el borde NO existe otra formación de arenas y conglomerados. El espesor total de los materiales miocenos puede ser del orden de 1.000 m.

Discordantes sobre todas las formaciones geológicas anteriores hay depósitos de edad cuaternaria: sedimentos aluviales, de poco espesor, relacionados con la red fluvial (Ríos Trejo, Setenil, Guadalcobacín, Guadalevín) y, localmente, depósitos de ladera.

Los materiales postorogénicos están, en general, poco deformados. No obstante, hay algunas estructuras plegadas suaves de gran radio y un núcleo anticlinal de orientación NE-SO, coincidente con las Sierras de Salinas y de la Sanguijuela, cuyo origen está relacionado con la actividad halocinética de las arcillas con evaporitas del Trías subbético. El relleno de la cuenca suele tener un buzamiento predominante hacia el oeste y está afectado por fallas normales.

Sierra de Salinas y valle del Río Guadalcobacín (Sector de Arriate)

2.

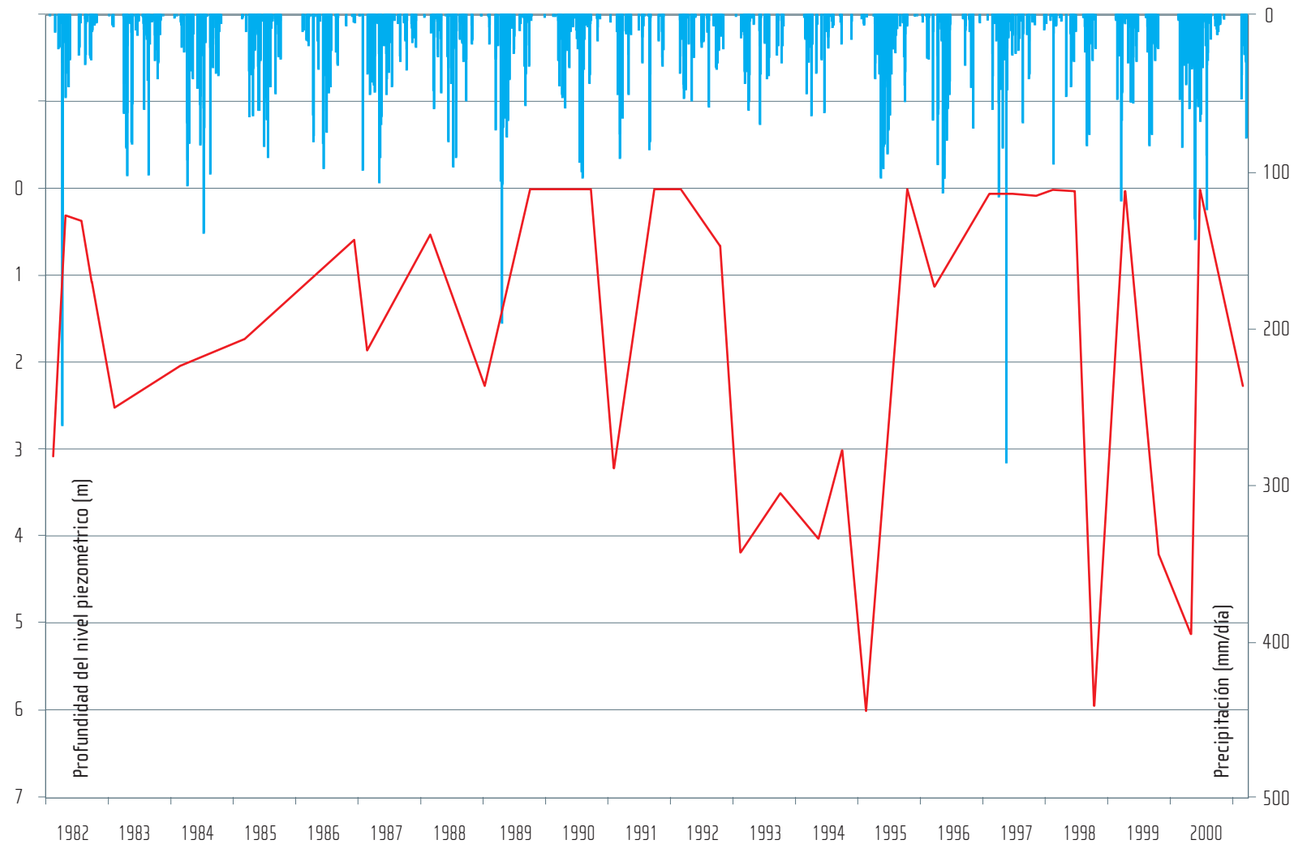
4.7 Depresión Meridional de Ronda y Setenil - Montecoto

Por tanto, existen dos conjuntos de materiales acuíferos en las dos masas de agua consideradas dentro de este capítulo: las rocas carbonatadas jurásicas de la Sierra de Cañete y los depósitos detrítico-carbonatados de la cuenca de Ronda.

Las características y el funcionamiento hidrogeológico de la Sierra de Cañete se describen, de forma detallada, en el capítulo correspondiente a la masa de agua subterránea del mismo nombre (060.041). La superficie de materiales acuíferos carbonatados incluidos en la masa de agua de Setenil-Montecorto (050.062) es de unos 30 km^2 y, de acuerdo con este dato, la parte proporcional de recursos hídricos medios sería de 8 hm^3/año. En la Sierra de Cañete se han diferenciado varios compartimentos hidrogeológicos, de los cuales, los dos más meridionales, denominados de Alcalá del Valle y La Atalaya, quedarían dentro de la masa de agua Setenil-Montecorto. El compartimento de mayor tamaño (La Atalaya) se drena hacia el Río Corbones y no guarda relación hidrogeológica con la depresión de Ronda. El de Alcalá del Valle sí está en contacto con los materiales miocenos, pero la descarga subterránea debe ser escasa actualmente por la explotación que se realiza para cubrir el abastecimiento de poblaciones ajenas a la provincia de Málaga (Alcalá del Valle, Olvera y Torre Alháquime), que aprovechan aproximadamente 1,2 hm^3/año. El agua es de facies bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica, de dureza elevada y mineralización débil (conductividad eléctrica de 600 µS/cm) y bajo contenido en nitratos (valor medio 10 mg/L), por todo lo cual se considera de buena calidad para abastecimiento urbano y para regadío.

Manantial en las calcarenitas de la depresión de Ronda

Evolución piezométrica 1544-1-0128



Los materiales miocenos de la depresión de Ronda son permeables por porosidad intergranular, pero también por fisuración y karstificación cuando están cementados. En los bordes norte, sur y oeste de la depresión, el substrato impermeable está constituido por las arcillas del Flysch del Campo de Gibraltar. Bajo la alineación montañosa de las Sierras de Salinas y La Sanguijuela, que define la divisoria hidrográfica atlántico-mediterránea, existe también una divisoria hidrogeológica relacionada con la elevación del sustrato triásico. Esta divisoria hidrogeológica constituye el límite entre las masas de agua Setenil-Montecorto (050.062) y Depresión meridional de Ronda (060.042).

Desde el punto de vista hidrogeológico, el relleno de la depresión de Ronda constituye un acuífero multicapa, complejo, heterogéneo y anisótropo, de carácter libre en la mayor parte de su extensión. Su alimentación se produce, mayoritariamente, por infiltración directa del agua de lluvia sobre los afloramientos permeables y, en menor medida, por la recarga subterránea procedente de la Sierra de Cañete y de las masas de agua subterránea de Hidalga-Merinos-Blanquilla y Dolomías de Ronda, con las que está en contacto. La descarga natural se produce, principalmente, hacia los Ríos Guadiaro (Cuenca Mediterránea Andaluza) y Trejo (Cuenca Atlántica Andaluza). Estos cauces son alimentados por arroyos que recogen la escorrentía superficial y las aportaciones de los numerosos puntos de surgencia que drenan los materiales acuíferos. Se trata de manantiales poco caudalosos (0,1-2 L/s).

La superficie piezométrica se sitúa a cotas comprendidas entre 500 m s.n.m. al oeste de Ronda y 800 m s.n.m. en las Sierras de Salinas y de la Sanguijuela, y se adapta, relativamente bien, a la superficie topográfica. De hecho la divisoria hidrográfica o de aguas superficiales prácticamente coincide con la divisoria hidrogeológica o de aguas subterráneas. En la masa de agua subterránea de la Depresión meridional de Ronda, el sentido del flujo subterráneo es hacia el suroeste, hacia el Río Guadiaro, mientras que en la de Setenil-Montecorto es hacia el noroeste, hacia el Río Trejo.

Mapa y corte hidrogeológico

Depresión meridional de Ronda (M.A.S. 060.042) y Setenil - Montecorto (M.A.S. 050.062)

Situación de la masa de agua en la provincia

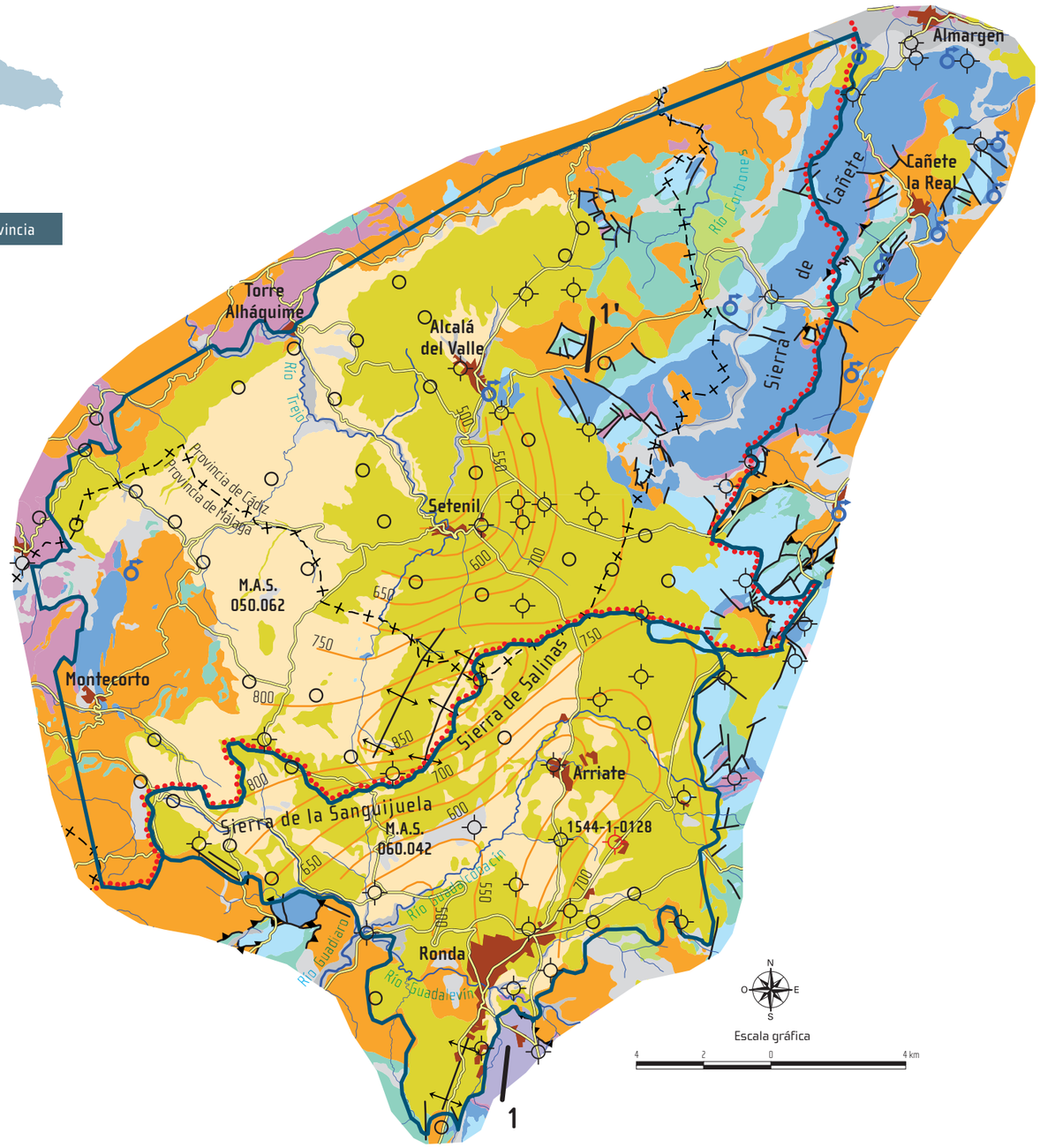
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación

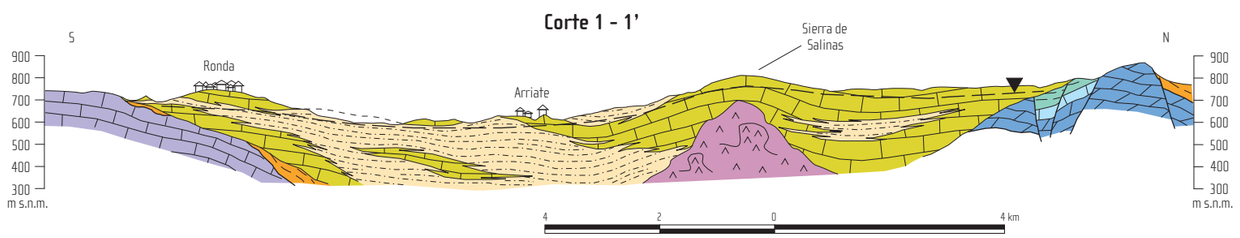
Leyenda

Edad				Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas					
Cuaternario		11	10	9 Indiferenciado	Media
Mioceno	Superior	8	7	8 Calcarenitas, conglomerados	Media
Flysch					
Cretácico - Terciario		6		7 Margas	Baja
				6 Arcillas y areniscas	Muy baja
Zona Subbética				11 Travertinos	Alta
Cretácico - Terciario		5		10 Aluvial	Alta
Jurásico	Malm	4		5 Margocalizas y margas	Baja
	Dogger			4 Calizas	Alta - Muy Alta
	Lías	3		3 Dolomías	Alta
Triásico	Keuper	2		2 Arcillas y yesos	Baja - Media
	Muschelkalk	1		1 Calizas y dolomías	Alta

Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Límite de provincia
- Red hidrográfica
- Manantial
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo evolución piezométrica
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Anticlinal
- Núcleo de población
- Carretera
- Límite de cuencas hidrográficas
- Isopieza m s.n.m.





2.

4.7 Depresión Meridional de Ronda y Setenil - Montecoto

La recarga directa de agua de lluvia sobre la superficie permeable de la depresión de Ronda (200 km^2) es del orden de 10,5 hm^3/año, considerando una lluvia útil media de 250 mm/año, (aproximadamente la tercera parte de la precipitación) y un coeficiente de infiltración del 20%. La recarga subterránea procedente de las Sierras Hidalga-Merinos-Blanquilla se estima en 8 hm^3/año. De las Dolomías de Ronda no se conoce con precisión la aportación subterránea, aunque puede ser de varios hm^3/año. Por lo que respecta a la aportación desde la Sierra de Cañete debe ser de baja magnitud en la situación de explotación actual. Por tanto, los recursos medios anuales de la depresión de Ronda son del orden de 20 hm^3/año, de los cuales, aproximadamente, un 60% corresponden a la masa de agua de la Depresión Meridional de Ronda y un 40% a la de Setenil-Montecorto. La descarga de estos recursos hacia los cauces de los ríos es de 15 hm^3/año, mientras que los bombeos totales suponen 5 hm^3/año (aproximadamente la mitad en cada masa de agua) para el regadío y tan sólo 0,1 hm^3/año para el abastecimiento a Arriate. El balance hidrogeológico de la depresión de Ronda es claramente excedentario; las entradas o recursos son muy superiores a las explotaciones por bombeo, aunque hay un aprovechamiento del caudal de los manantiales para abastecimiento, regadío y uso doméstico. Es decir, que cabe la posibilidad de aumentar el aprovechamiento, de manera ordenada y controlada, del agua subterránea en esta zona.

Las aguas subterráneas del conjunto de la depresión de Ronda presentan facies mixtas, bicarbonatadas-sulfatadas o sulfatadas-bicarbonatadas cálcico-magnésicas, dureza elevada y mineralización débil a media, con una conductividad eléctrica media de 700 µS/cm para el sector septentrional y de 550 µS/cm en el meridional, así como un contenido medio en nitratos entre 15 y 25 mg/L. Por tanto, las aguas presentan una buena calidad química y son aptas para consumo humano, pues no superan los límites de potabilidad establecidos por la legislación vigente en ninguno de los parámetros analizados.

Los frecuentes e importantes cambios de facies que presenta el relleno mioceno de la depresión de Ronda, le confieren una vulnerabilidad a la contaminación baja-media, a pesar de que los distintos niveles piezométricos, correspondientes al modelo multicapa, se sitúan generalmente a escasos metros de profundidad (máximo 20 m) y de que el acuífero es de tipo libre en la mayor parte de su extensión. La actividad antrópica relacionada con el uso de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura constituye el principal peligro de contaminación. En las inmediaciones de Alcalá del Valle (Cádiz), se han detectado, puntualmente, concentraciones de nitratos superiores a los 50 mg/L, lo cual ha provocado el abandono temporal de algunas captaciones destinadas para el abastecimiento urbano.

Fuente de los ocho caños (Ronda)

Arroyo de la Ventilla (Arriate), área de descarga de la Depresión meridional de Ronda

Captación de agua subterránea, con depósito y aljibe incluidos, característica de la depresión de Ronda

2.4.8

Fuente de Piedra (M.A.S. 060.034)

2.4.8

Fuente de Piedra

Javier Heredia Díaz
José María Ruíz Hernández
Alfredo García de Domingo
Luis Linares Girela
Patricia Burdino

La masa de agua de Fuente de Piedra se encuentra en el sector septentrional de la provincia de Málaga. Corresponde a un sistema hidrogeológico de gran complejidad, donde interaccionan la escorrentía superficial y la escorrentía subterránea de una cuenca endorreica, con 150 km^2 de superficie, que descargan finalmente en la laguna de Fuente de Piedra. Se trata de una de las mayores lagunas continentales de carácter salino de Europa (13,5 km^2) y su salmuera posee una salinidad 5 a 6 veces mayor que el agua del mar.

Según se recoge en escritos antiguos, el nombre de Fuente de Piedra, hace referencia a un manantial de propiedades curativas que debió existir en el lugar donde actualmente se sitúa el núcleo urbano. En cuanto a las aguas de la laguna, los romanos y los musulmanes explotaron su sal (cloruro sódico), actividad que continuó de forma regular hasta 1951, aunque fue particularmente intensa entre finales del siglo XIX y mediados del XX.

La laguna de Fuente de Piedra, debido a la riqueza y variedad de su avifauna, es uno de los primeros humedales españoles incorporados al Convenio de Ramsar. En este sentido, su rasgo más notorio reside en ser, después de La Camargue (Francia), el sitio más importante de nidificación de flamencos (*Phoenicopterus ruber roseus*) en el Mediterráneo occidental. En 1982 la laguna se declaró Refugio Nacional de Caza, en 1984 pasó a considerarse Reserva Integral y, finalmente, Reserva Natural en 1989, por lo que se incorporó a la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía.

La precipitación media anual es de 460 mm aproximadamente. Existe un período húmedo comprendido entre los meses de noviembre y febrero y el mes más seco es el de julio. La temperatura media anual es de 17 ºC; los meses más fríos son enero (9,6 ºC) y diciembre (9,9 ºC) y los más cálidos agosto (26,2 ºC) y julio (25,7 ºC). La evapotranspiración potencial media es de 830 mm.

Los límites de esta masa de agua coinciden con la divisoria de aguas superficiales que definen la cuenca endorreica de Fuente de Piedra. La laguna, situada a una cota de 409 – 410 m s.n.m., se encuentra en la zona de la divisoria de aguas entre las cuencas hidrográficas del Río Guadalquivir –vertiente atlántica- y del Río Guadalhorce -vertiente mediterránea-. La Sierra de Mollina define la divisoria de aguas con la cuenca del Guadalquivir y la Sierra de Humilladero con la del Guadalhorce.

Colonia de flamencos en la laguna de Fuente de Piedra

Laguna de Fuente de Piedra. Al fondo, la Sierra de los Caballos

Fuente de Piedra, en la plaza del pueblo que le da nombre

Los cauces más importantes de la red hidrográfica son los Arroyos de Santillán, al norte, y Los Arenales, al oeste. Actualmente, ambos son de régimen estacional, si bien, hasta los años 70 del pasado siglo presentaban un régimen permanente. Este cambio en el flujo de agua superficial fue causado, en gran parte, por el incremento de la explotación de aguas subterráneas.

El humedal tiene un régimen hídrico estacional, se seca durante el estiaje, con excepción de los años húmedos. En el ciclo húmedo de 1962 a 1971 la laguna se mantuvo permanentemente inundada, con niveles superiores a 1,5 m. En tiempos históricos existen referencias de varios intentos de desecación de la misma por motivos de salubridad y para facilitar la explotación salinera. A finales del siglo XIX se construyó un túnel, que posteriormente colapsó, con el que se pretendía evacuar el agua de la laguna a la vecina cuenca del Guadalhorce. En el siglo XX se acometieron obras de drenaje que permitieron ganar tierras de labor, así como captar otras cuencas endorreicas como la de la laguna de La Serafina. La explotación de las aguas subterráneas ha ido produciendo distintos impactos sobre el sistema. En la cuenca, el patrón natural de flujo subterráneo se dirige hacia la laguna, pero debido a la concentración de bombeos en ciertas zonas, como la Albina del Arroyo Santillán, se han generado depresiones piezométricas, al norte de la laguna, durante los períodos de máximas extracciones.

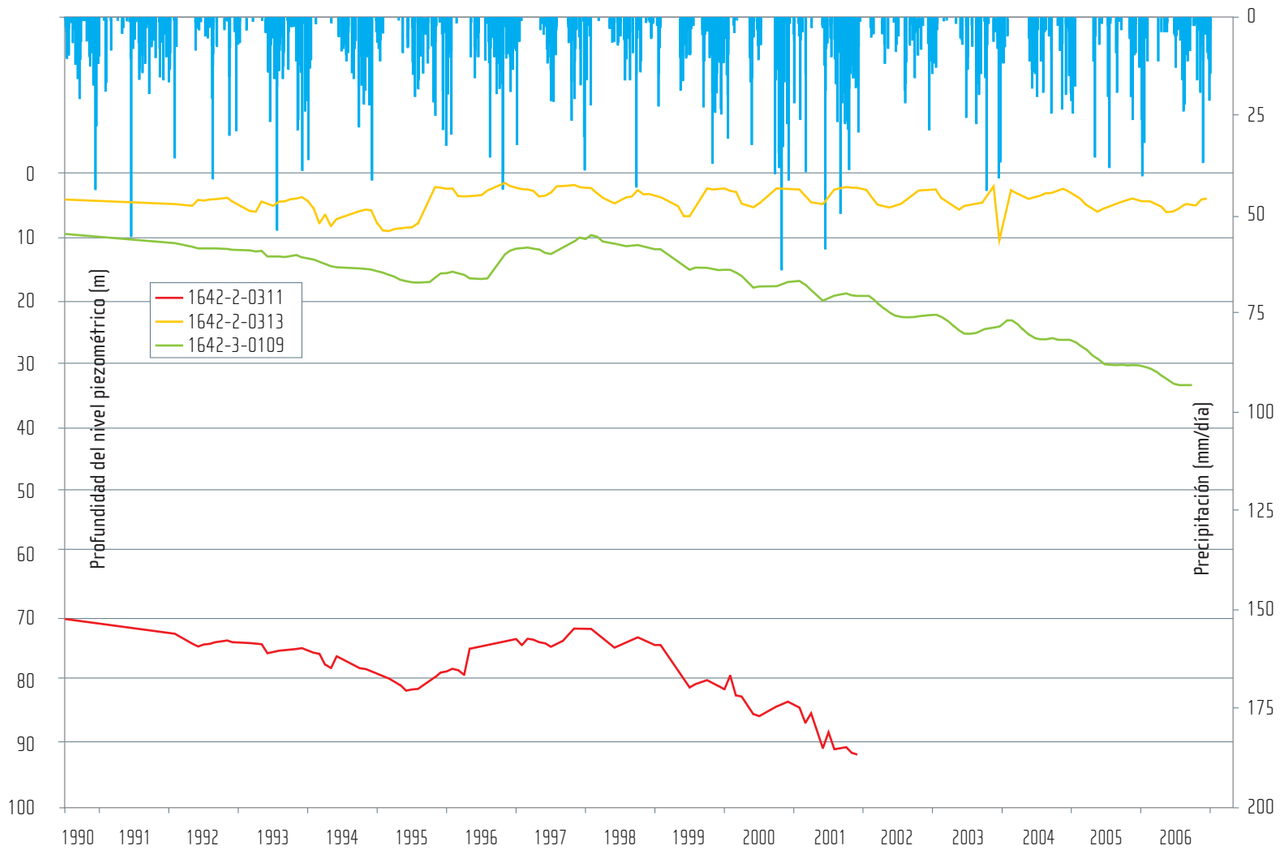
Desde el punto de vista geológico la masa de agua de Fuente de Piedra se emplaza en la Zona Externa de la Cordillera Bética y está formada por el denominado Complejo Caótico Subbético, también llamado Trías de Antequera. Este complejo, presenta una estructura interna caótica, producida por un intenso proceso de desplazamiento tectónico que ha motivado su pérdida de coherencia interna y transformación en un conjunto de masas de rocas brechificadas. Está constituido por una serie de bloques inmersos en una matriz de naturaleza fundamentalmente arcilloso-yesífera, procedentes de la desestructuración de los materiales arcilloso-evaporíticos del Triásico superior. El conjunto caótico, datado como Mioceno Medio, se encuentra deslizado e incluido en los sedimentos que forman parte de la depresión del Guadalquivir.

Encima del conjunto anterior, hay una formación de calcarenitas, arenas y margas, de edad Mioceno Superior, que alcanzan espesores del orden del centenar de metros y fosilizan el paleorrelieve existente sobre el Complejo Caótico Subbético subyacente. Discordantes sobre todos los materiales anteriores hay sedimentos detríticos cuaternarios.

La génesis la laguna de Fuente de Piedra está relacionada con los fenómenos de disolución y karstificación que afectan a los materiales yesífero-salinos del Trías de Antequera en esta zona. La depresión en la que se encuentra el humedal podría haberse originado por procesos de colapso y hundimiento asociado a la evolución del karst.

En la masa de agua subterránea de Fuente de Piedra existen diferentes acuíferos, dada la diversidad de materiales que la forman, cuyas características hidrogeológicas se describen a continuación.

Evoluciones piezométricas



Los acuíferos de las calizas jurásicas de las Sierras de Mollina y Humilladero se sitúan en las zonas más altas de la cuenca, en sus límites norte y sureste, respectivamente. Presentan elevada permeabilidad, debido a la fisuración y karstificación. Las aguas son de facies bicarbonatadas cálcicas y tienen una mineralización baja. La conductividad eléctrica de las mismas es, generalmente, menor de 1 mS/cm, con un contenido de sólidos totales disueltos entre 0,5 y 1,1 g/L y una concentración de nitratos de 10 a 40 mg/L. Estas aguas son las de mejor calidad de la zona y se aprovechan para el abastecimiento de los núcleos urbanos cercanos. Los recursos de estos acuíferos deberían ser protegidos y destinados exclusivamente a este fin.

El acuífero mioceno y cuaternario es el más extenso de la masa de agua y se extiende entre las zonas altas y la laguna. Está formado por las calcarenitas del Mioceno Superior. Sus aguas son cloruradas-sulfatadas cálcicas y tienden a sódicas. La conductividad eléctrica varía entre 1,2 y 7 mS/cm, el total de sólidos disueltos está comprendido entre 1 y 5 g/L y presentan altas concentraciones de nitratos (30-200 mg/L). Este acuífero se explota para regadío y abastecimiento de granjas e industrias. Debido a sus buenas propiedades hidráulicas y a su extensión de afloramiento, la mayor parte de la recarga de la masa de agua subterránea de Fuente de Piedra se produce por infiltración en este acuífero.

El acuífero del denominado Trías de Antequera está formado por arcillas, margas y yesos que se encuentran bajo el acuífero mioceno y cuaternario y afloran en buena parte de la cuenca. En general, presenta una permeabilidad baja, aunque en determinados sectores existe desarrollo kárstico por disolución de yesos y sales. Las aguas son sulfatadas-cloruradas cálcico-sódicas, con valores de la conductividad eléctrica comprendidos entre 15 y 22 mS/cm y valores de total de sólidos disueltos entre 11 y 23,5 g/L. La recarga de este acuífero se produce tanto por infiltración de agua de lluvia en las zonas donde aflora como por flujos procedentes del acuífero mioceno y, en mucha menor medida, desde los acuíferos carbonatados. La descarga de las aguas salinas procedentes del acuífero del triásico representan el aporte subterráneo mayoritario que la laguna recibe de forma regular. En el entorno inmediato de la laguna existe agua subterránea con gran concentración de sales (salmuera), cuyo origen se debe a procesos de evapoconcentración de las aguas procedentes de la disolución de los materiales yesífero-salinos que, en su mayor parte, llegan a superficie por medio de flujos ascendentes. El total de sólidos disueltos alcanza valores de 240 g/L y la conductividad eléctrica supera los 200 mS/cm, valores éstos que mantienen una gran estabilidad espacial y estacional.

Aspecto de la laguna de Fuente de Piedra seca, cubierta de sales. Al fondo la Sierra de la Camorra o de Mollina

Captaciones en la Albina del Arroyo Santillán

Mapa y cortes hidrogeológicos

Fuente de Piedra

(M.A.S. 060.034)

Situación de la masa de agua en la provincia

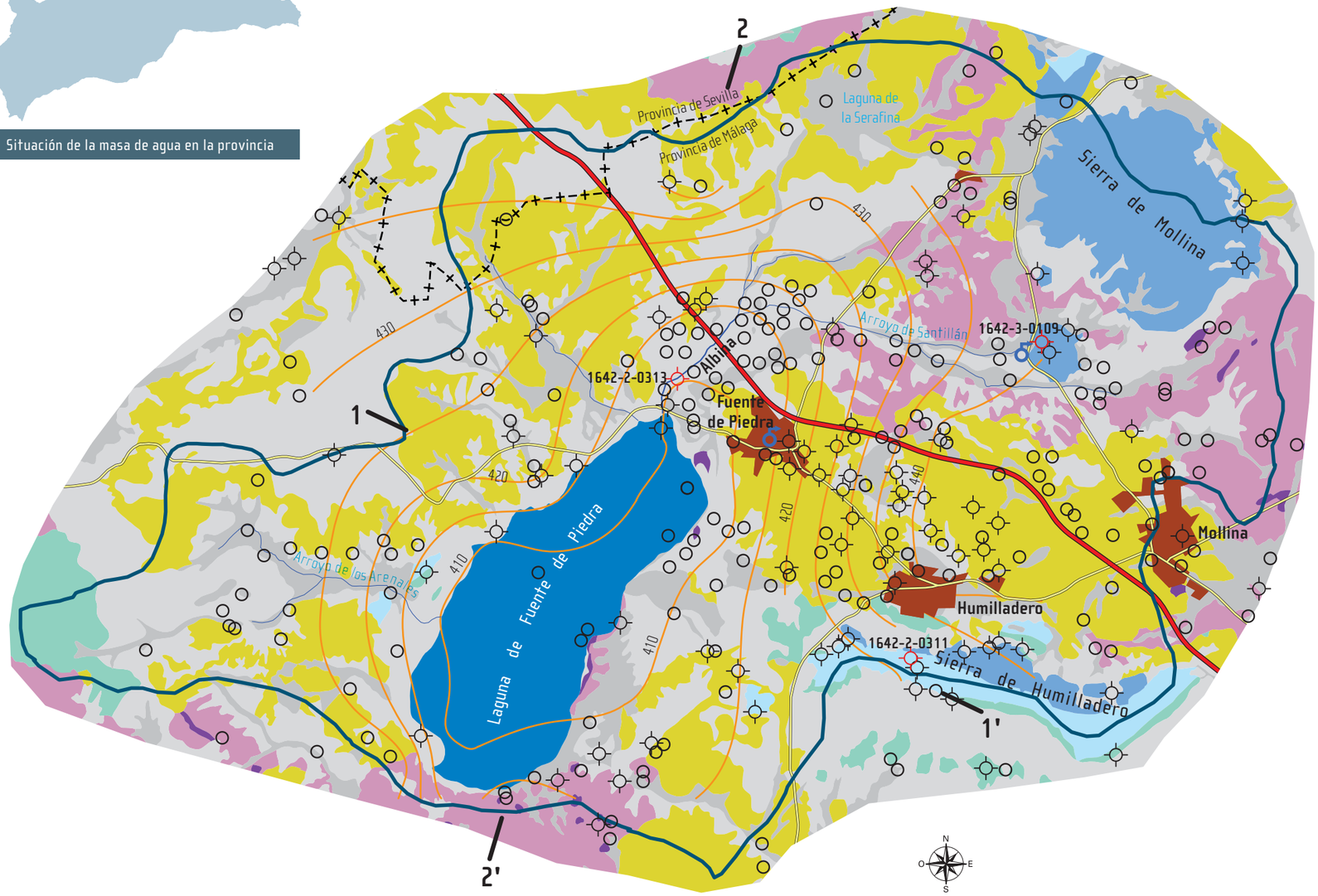
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación

Leyenda

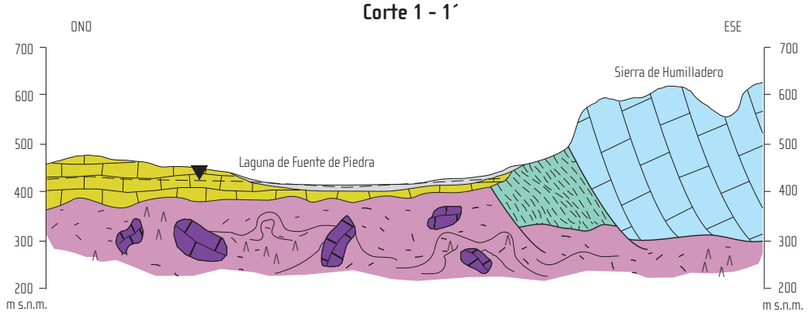
Edad			Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas				
Cuaternario		8	8 Aluvial	Alta
Mioceno	Superior	6	7 Indiferenciado	Media
			6 Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
Zona Subbética			5 Margocalizas y margas	Baja
Cretácico - Terciario		5	4 Calizas	Muy alta
Jurásico – Dogger-Malm		5	3 Dolomías	Alta
Jurásico – Lías	Superior	5	2 Calizas y dolomías	Media - Alta
Jurásico – Lías	Inf.-Med.	4 / 3	1 Arcillas y yesos	Baja - Media
Triásico	Keuper	1 / 2		

Signos convencionales

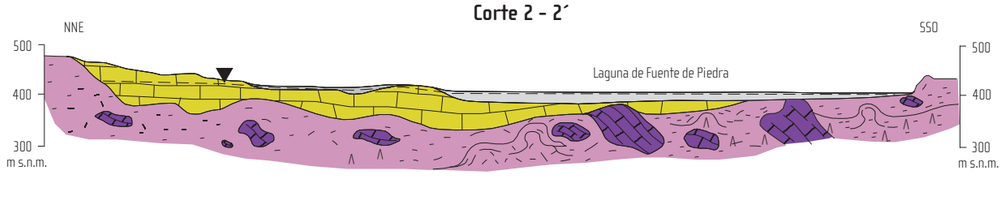
- Límite de la masa de agua
- Límite de provincia
- Aguas superficiales, laguna
- Red hidrográfica
- Manantial
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- Isopieza con altitud en m s.n.m.
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera



Corte 1 - 1´



Corte 2 - 2´



2.

4.8 Fuente de Piedra

Los recursos de agua disponibles en la masa de agua de Fuente de Piedra, en condiciones de precipitación media, se han estimado en 20,2 - 23,8 hm^3/año, de los cuales 6 hm^3/año corresponden a la precipitación directa sobre la laguna, 5,6 – 7 hm^3/año a la escorrentía superficial y 8,6 - 10,8 hm^3/año a la escorrentía subterránea; estos últimos constituyen los recursos de agua subterránea propiamente dichos.

Las poblaciones de Fuente de Piedra, Humilladero y Mollina se abastecen con 0,75 hm^3/a de agua subterránea procedente de los acuíferos carbonatados. En los últimos años, se ha producido un aumento de las extracciones para abastecimiento humano, como consecuencia del crecimiento urbanístico que continúa en la actualidad. También existe un cierto desarrollo industrial, pero la principal actividad económica es la agricultura. El cultivo de cereal de secano, actualmente está en franco retroceso, por motivos rentabilidad, ante la fuerte expansión del olivar de regadío. Este cambio en la práctica agrícola está teniendo un impacto en la piezometría de toda la cuenca, debido al aumento de los bombeos de agua subterránea. Las extracciones para regadío se estiman en 3,5 hm^3/a, aunque existe una incertidumbre importante al respecto. Además, la actividad agrícola genera altas concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas y la presencia de plaguicidas organoclorados.

Sobre esta masa de agua subterránea, además del aprovechamiento agrícola, urbano e industrial, existe un interés ambiental del agua, propio de una Reserva Natural como la laguna de Fuente de Piedra. Todo ello hace necesario llevar a cabo un plan de ordenación de las extracciones de aguas subterráneas, para una gestión hídrica adecuada. El 16 de junio de 2005 se publicó la resolución de la Junta de Gobierno de la Confederación Hidrográfica del Sur (hoy Agencia Mediterránea Andaluza del Agua) sobre la declaración provisional de sobreexplotación de los acuíferos de la cuenca de Fuente de Piedra. Esta declaración provisional conlleva, hasta la aprobación del plan de ordenación que se ha de realizar en los dos años siguientes, una serie de medidas entre las que destacan: la interrupción cautelar de la autorizaciones para la apertura de nuevas captaciones, limitaciones de extracciones de aguas subterráneas y la constitución de una comunidad de usuarios de los acuíferos de la zona.

Pozo en el cortijo de La Herriza

Antigua captación de agua para riego en la cuenca del Arroyo Santillán

Anochecer en la cuenca de Fuente de Piedra

2.4.9

Sierra y Mioceno de Estepa (M.A.S. 050.041)

2.4.9

Sierra y Mioceno de Estepa

Sergio Martos Rosillo
Miguel Martín Machuca

La masa de agua subterránea denominada Sierra y Mioceno de Estepa se extiende por el norte de la provincia de Málaga y, sobre todo, por el sector oriental de la provincia de Sevilla. En una región topográficamente deprimida destaca un conjunto de modestas elevaciones, de naturaleza carbonatada, entre las que cabe citar los vértices de Becerrero (838 m), en la Sierra de Estepa, el Pico de los Almadenes (586 m), en la sierra del mismo nombre, y el Morrón de la Cruz (748 m), en la Sierra de los Caballos, éste último en la provincia de Málaga.

La precipitación media anual es algo inferior a de 500 mm en el periodo 1976-2004, debido a que esta zona queda a sotavento de otros relieves importantes, que interceptan los frentes nubosos procedentes del Atlántico. Los valores de la temperatura media anual del aire, durante el periodo 1977-2004, están comprendidos entre 16 y 18 ºC. Existe una fuerte amplitud térmica anual, con medias mensuales máximas en el mes de julio (24 ºC) y mínimas en el mes de enero (9 ºC).

Las características geológicas de las sierras existentes en la región, permiten diferenciar varias unidades, atribuidas al dominio Subbético (Externo y Medio), de las cuales, en los límites de la provincia de Málaga, se encuentran las de Sierra de los Caballos (Subbético Medio) y el manto de Antequera-Osuna y, discordantes sobre ellas, depósitos miocenos y cuaternarios en el sector de La Albina.

En la Sierra de los Caballos afloran materiales de edades comprendidas entre el Jurásico inferior y el Cretácico inferior. El Lías inferior y medio está formado por 650 m de dolomías secundarias, que a techo se alternan con calizas, sobre las que hay unos 200 m de margocalizas, del Lías superior. El resto del Jurásico está constituido por dolomías masivas, en ocasiones brechificadas, y unos 100 m de margocalizas blancas con sílex, sobre las que se depositaron margas y margocalizas del Cretácico inferior. El afloramiento de la Sierra de los Caballos corresponde al flanco septentrional invertido de un anticlinal, con dirección N30-50º E, vergente al norte.

El manto de Antequera – Osuna (Trías de Antequera) aflora extensamente en las zonas deprimidas de la masa de agua subterránea y está constituido por materiales triásicos en facies germano-andaluza y un conjunto post-triásico, que abarca hasta el Paleógeno y que aparece en afloramientos dispersos y de pequeño tamaño. Entre los materiales triásicos predominan las arcillas abigarradas y las areniscas. Asociados a ellos hay rocas evaporíticas, calizas dolomíticas, rocas ígneas y mineralizaciones de hierro. En el conjunto post-triásico abundan margas, margocalizas y calizas.

Los depósitos post-orogénicos que afloran en el sector de La Albina están formados por areniscas bioclásticas y conglomerados del Mioceno Superior en la parte oriental (en el límite con la cuenca de Fuente de Piedra), y discordantes sobre ellos y sobre las rocas carbonatadas de la Sierra de los Caballos, hay sedimentos aluviales (arenas, gravas y limos) del Cuaternario.

Como rasgos geomorfológicos más representativos destacan, en los materiales carbonatados de las Sierras de Estepa y de los Caballos, la presencia de formas exokársticas, especialmente lapiaces y algunas dolinas. En los materiales del manto de Antequera – Osuna, se desarrolla un modelado en cárcavas (*bad-lands*), en los terrenos arcillosos, y manifestaciones exokársticas como dolinas o pequeñas cuencas endorreicas, debido a la disolución de las evaporitas.

En la masa de agua subterránea Sierra y Mioceno de Estepa están incluidos los acuíferos carbonatados de la Sierra de Estepa, Sierra de los Caballos y Sierra de los Almadenes y los acuíferos detríticos de Estepa, del Saucejo, de Martín de la Jara y de La Albina. De ellos, en la provincia de Málaga, sólo se encuentran el de la Sierra de los Caballos y el de La Albina. La evidente continuidad hidrogeológica que existe entre estos dos acuíferos ha condicionado que, en los estudios recientes efectuados en ellos, se hayan considerado de manera conjunta, como si se tratara de un único sistema hidrogeológico.

Vista de Navahermosa y la zona de La Albina

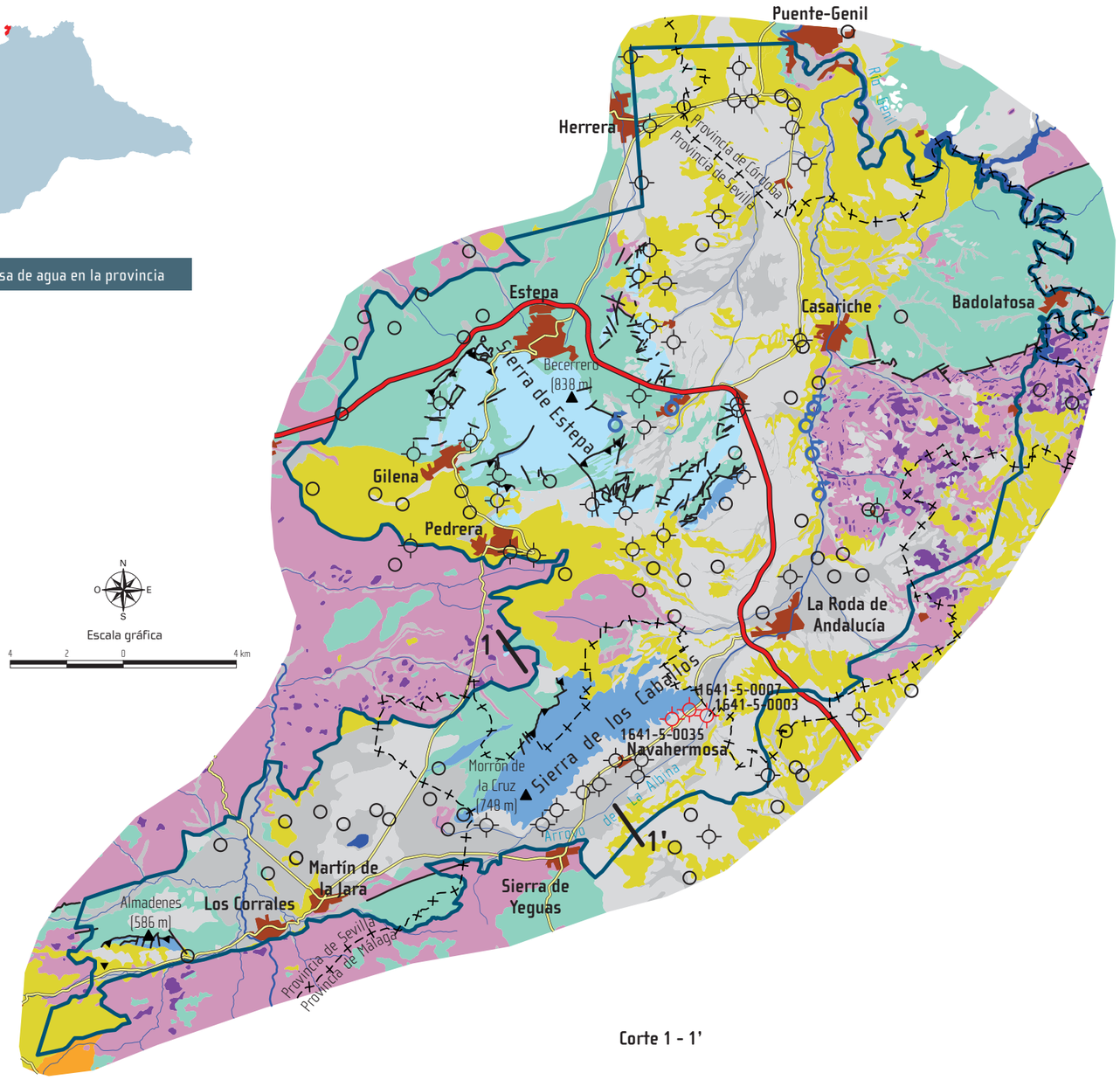
Mapa y corte hidrogeológico

Sierra y Mioceno de Estepa

(M.A.S. 050.041)

Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación



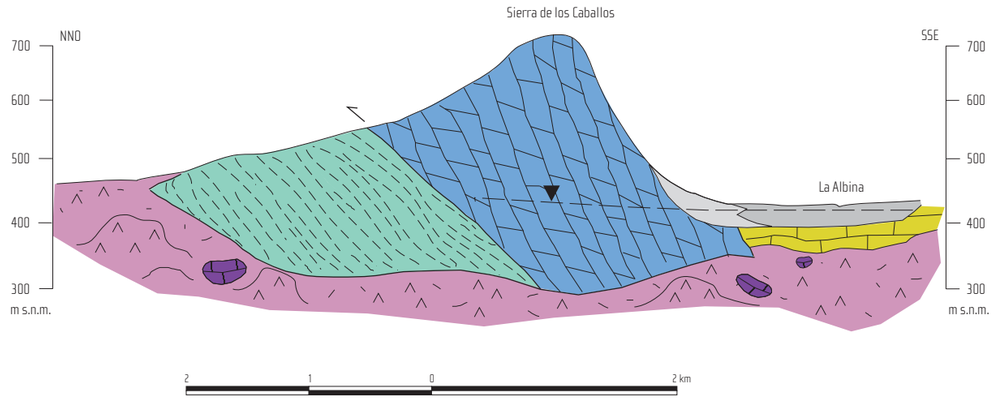
Leyenda

Edad			Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas				
Cuaternario		9 / 8	9 Aluvial	Alta
Mioceno	Superior	7	8 Indiferenciado	Media
			7 Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
Flysch			6 Arcillas y areniscas	Muy baja
Cretácico - Terciario		6	5 Margocalizas y margas	Baja
Zona Subbética			4 Calizas	Alta - Muy alta
Cretácico - Terciario		5	3 Dolomías	Alta
Jurásico	Dogger-Malm	5	2 Calizas y dolomías	Media - Alta
	Lías Superior	3	1 Arcillas y yesos	Baja - Media
	Lías Inf.-Med.	4		
Triásico	Keuper	1 2		

Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Límite de provincia
- Red hidrográfica
- Manantial
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera

Corte 1 - 1'

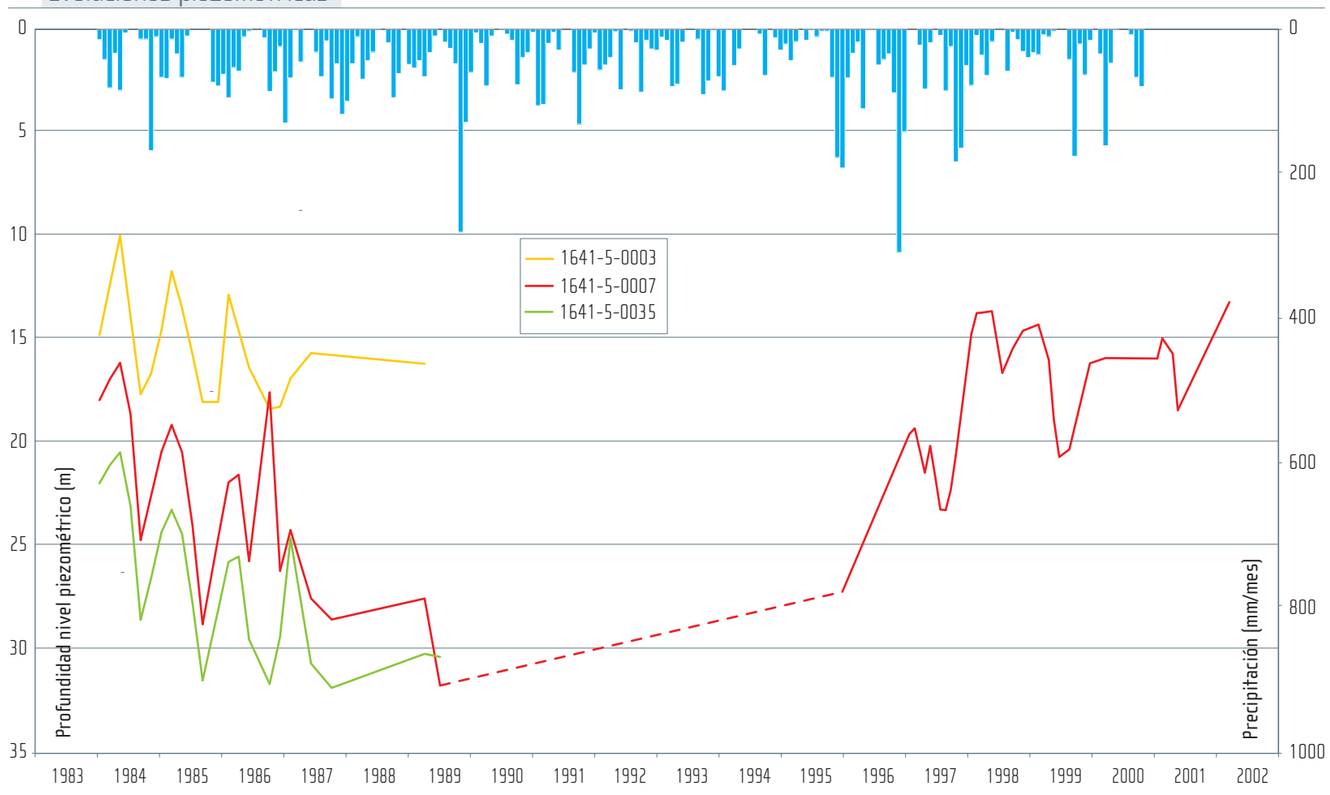


2.

4.9 Sierra y Mioceno de Estepa

El acuífero de la Sierra de los Caballos tiene una superficie de afloramientos carbonatados permeables de 17,5 km² a los que hay que añadir 6,5 km² de afloramientos de materiales detríticos del sector de La Albina. El acuífero formado por estos dos tipos de materiales está limitado, en la base, por arcillas del Trías. Los límites norte y oeste son impermeables, dado que las rocas carbonatadas jurásicas contactan con margas y margocalizas de edades Jurásico Superior y Cretácico y/o con materiales del Triásico. En el resto del perímetro afloran depósitos miocenos y cuaternarios, bajo los que se supone, a escasa profundidad, la presencia de materiales triásicos. El flujo subterráneo se dirige principalmente hacia el sureste, hacia el Arroyo de La Albina. Los escasos datos piezométricos registrados fuera del sector sureste, donde las perforaciones son más abundantes, indican que la cota del nivel piezométrico suele ser bastante uniforme y que se sitúa, normalmente, por encima de los 400 m s.n.m. Las variaciones piezométricas intra-anuales están comprendidas entre 3 y 5 m. Se han llegado a medir descensos piezométricos acumulados superiores a 10 m en algunos sectores, durante el periodo 1984-1990, debido a la importante explotación a la que ha estado sometido este acuífero. En la actualidad, la superficie piezométrica está próxima a la situación que presentaba el sistema en régimen no influenciado. Los escasos ensayos de bombeo disponibles permiten estimar transmisividades importantes en los materiales carbonatados, de hasta 2700 m²/día. El valor medio de recursos renovables es de 2,7 hm³/año, de los que algo menos de 0,5 hm³/año se recargan en los materiales detríticos de La Albina. La explotación mediante sondeos es de 2,9 hm³/año (2,6 para uso agrícola y 0,3 para el abastecimiento de las localidades de Sierra de las Yeguas y Navahermosa).

Evoluciones piezométricas



La composición química del agua subterránea en la denominada masa de agua de la Sierra y Mioceno de Estepa es variada, dada la diversidad de acuíferos que la constituyen. El agua de los acuíferos carbonatados tiene facies bicarbonatada cálcica, bicarbonatada-clorurada cálcico-magnésica e incluso clorurada sódica, según las dimensiones de los acuíferos y la proximidad de los puntos de muestreo a los materiales triásicos que los delimitan, en superficie y en profundidad. Así, los sistemas de menor tamaño, muy permeables, y sometidos a explotación intensiva, son los que presentan facies clorurado sódica. En la Sierra de los Caballos, la facies predominante del agua es la bicarbonatada-clorurada cálcico-magnésica, con una conductividad eléctrica media de 700 µS/cm. La salinidad del agua es mayor en el sector suroeste del acuífero debido a los mayores contenidos de cloruros, sulfatos y sodio. El agua de los materiales acuíferos del sector de La Albina es de salinidad más elevada porque tiene mayor contenido en cloruros y en sodio que la de los materiales carbonatados.

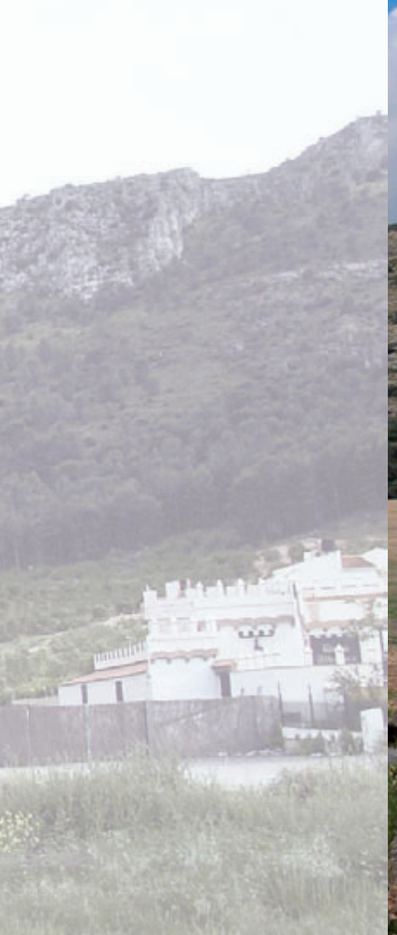
El agua subterránea de la Sierra de los Caballos es apta para uso urbano, aunque en el sector suroeste, donde se concentran las principales extracciones, se ha detectado un incremento gradual de la concentración de nitratos. En la actualidad, la concentración media de este ion, en los puntos de agua que captan materiales carbonatados, es ligeramente inferior a los 50 mg/L. Sin embargo, las mayores concentraciones de nitratos están en los materiales detríticos del sector de La Albina, dado que sobre éstos existe actividad agrícola y ganadera. En algunos puntos de este sector se han medido máximos que superan los 90 mg/L de nitratos.

Sondeo en el Cortijo del Valenciano

Zona de regadío en los Llanos de La Albina. Al fondo, la Sierra de los Caballos

2.4.10

Sierra de Pedroso - Arcas (M.A.S. 050.051)



2.4.10

Sierra de Pedroso - Arcas

Luis Linares Girela

La masa de agua Pedroso-Arcas se encuentra en el extremo norte de la provincia de Málaga y se adentra un poco en las de Córdoba y Granada, entre las localidades de Villanueva de Algaidas, Cuevas de San Marcos, Villanueva de Tapia e Iznájar. Toma el nombre de las Sierras de Pedroso y Arcas-Cerro Gordo, que constituyen dos de los relieves más importantes de la masa de agua, aunque el primero casi queda fuera de ésta, administrativamente. Las respectivas vertientes septentrionales de estas sierras discurren hacia el Río Genil y las meridionales lo hacen hacia la cuenca del Río Guadalhorce. La Sierra de Pedroso tiene su punto culminante a 1024 m de altitud. Al oeste, la Sierra de Arcas (948 m) y el cercano Cerro Gordo (826 m) son relieves que forman un conjunto de características parecidas a la anterior.

Vertiente septentrional de la Sierra de Arcas y área de descarga del Arroyo del Juncal

En el sector septentrional de la masa de agua, totalmente incluidas en la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir, destacan los relieves de la Sierrecilla del Malnombre (828 m), Camorro de Cuevas Altas (907 m) y El Morrón (785 m). Los dos últimos constituyen la sierra próxima a Cuevas de San Marcos. La precipitación media anual en la zona es del orden de 650 mm, de acuerdo con los datos de la estación meteorológica de Villanueva de Tapia. En ella, las precipitaciones máximas se registran en los meses de noviembre y diciembre y las mínimas en julio y agosto. La estación termométrica de Archidona es la más cercana y representativa para la caracterización de esta masa de agua; en ella, la temperatura media anual es de 16°C, con mínimas mensuales de 7ºC en enero y máximas de 26,5°C en agosto. Con los datos de esta misma estación se deduce un valor medio anual de la evapotranspiración potencial de 850 mm.

Las Sierras de Pedroso y Arcas pertenecen al dominio geológico Subbético Medio. Los materiales más antiguos que afloran son arcillas con evaporitas triásicas en las proximidades del cauce del Río Genil. Encima hay dolomías y calizas del Lías, con un espesor total superior a 350 m, que afloran en las sierras de la masa de agua. Sobre esta formación carbonatada hay un potente conjunto (400-500 m) de calizas margosas, a veces con nódulos de sílex, margocalizas y margas que constituyen el resto de la serie jurásica. Los afloramientos de estos últimos materiales ocupan una gran superficie y, junto con otros del Cretácico, de extensión más reducida, delimitan y separan entre sí los relieves carbonatados. Discordantes sobre todos los materiales anteriores hay calcarenitas y margas del Mioceno y sedimentos detríticos cuaternarios.

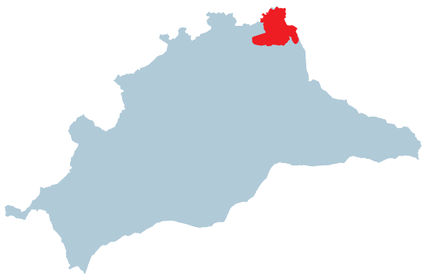
Las Sierras de Pedroso y Arcas, Cerro Gordo y Malnombre están formadas por estructuras plegadas, cuyos núcleos carbonatados del Jurásico Inferior afloran gracias a fallas normales que los levantan respecto a las zonas adyacentes, donde se encuentran las margocalizas y margas del Jurásico Medio-Superior y del Cretácico. La Sierra del Camorro de Cuevas Altas-El Morrón constituye una estructura monoclinal buzante hacia el sur y limitada en su borde septentrional por una falla normal de salto importante.

Las dolomías y calizas del Jurásico Inferior constituyen el acuífero fundamental de la masa de agua subterránea Pedroso-Arcas, que queda limitado en sus bordes por los materiales calizo-margosos del Jurásico Medio-Cretácico, de baja permeabilidad. La superficie de rocas carbonatadas permeables en la Sierra de Pedroso es de 4,4 km^2, algo más de 2 km^2 en la de Arcas-Cerro Gordo y en 4,3 km^2 en la Sierra del Camorro-El Morrón. La recarga procedente de la infiltración de las precipitaciones sobre estos afloramientos ha sido estimada en 1 hm^3/año, 0,5 hm^3/año y 0,7 hm^3/año respectivamente, cifras que pueden considerarse representativas de los recursos propios de cada una de las estructuras.

En la Sierra de Pedroso no se ha localizado un manantial importante que pueda identificarse como punto de descarga del acuífero carbonatado. Todas las surgencias que existen en el ámbito de esta sierra son de caudal muy pequeño. Las más conocidas se sitúan en la Cañada del Infierno (borde norte) y en el Arroyo de Tamayo (borde occidental), ambos con un caudal aproximado de 1 L/s y surgen a cota

Sierra de Pedroso y Llanos de la Laguna

Mapa y corte hidrogeológico
Sierra de Pedroso - Arcas
(M.A.S. 050.051)



Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación

Leyenda

Edad

Formaciones post-orogénicas

Cuaternario		9	8
Mioceno	Superior	7	

Flysch

Cretácico - Terciario	6

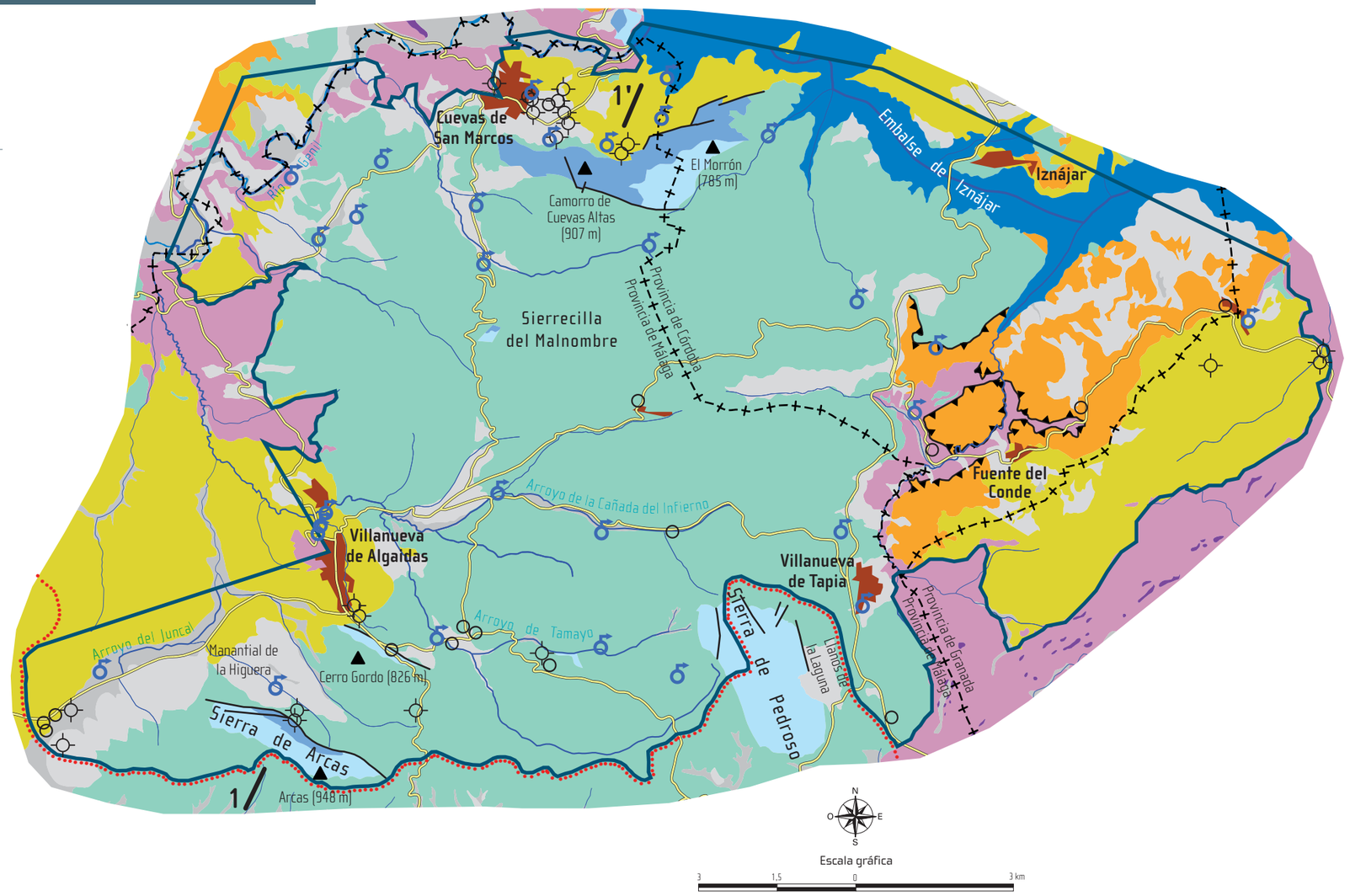
Zona Subbética

Cretácico - Terciario			5	
Jurásico	Dogger-Malm			
	Lías	Superior		
		Inf.-Med.	4	3
Triásico	Keuper		1	2

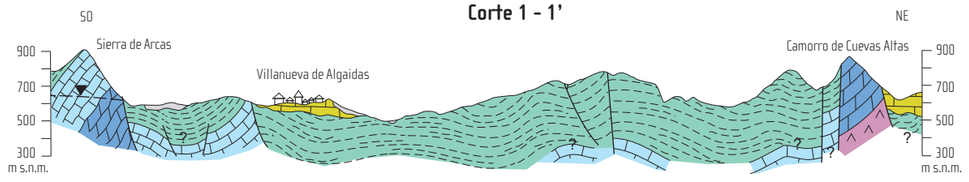
Litología	Permeabilidad
9 Aluvial	Alta
8 Indiferenciado	Media
7 Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
6 Arcillas y areniscas	Muy baja
5 Margocalizas y margas	Baja
4 Calizas	Alta - Muy alta
3 Dolomías	Alta
2 Calizas y dolomías	Media - Alta
1 Arcillas y yesos	Baja - Media

Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Límite de provincia
- Límite de cuencas hidrográficas
- Aguas superficiales, embalse
- Red hidrográfica
- Manantial
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Núcleo de población
- Carretera



Corte 1 - 1'



2.

4.10 Sierra de Pedroso - Arcas

aproximada de 800 m s.n.m., en materiales margoso-calizos del Jurásico Medio-Superior. Se trata de surgencias de pequeña entidad, sin relación directa con el acuífero carbonatado. Por otra parte, varios sondeos de investigación, en los bordes oriental y meridional de la estructura, han perforado la formación carbonatada hasta su base, sin encontrar indicios de agua en ellos, al menos hasta la cota de 620 m s. n.m. En consecuencia, puede afirmarse que el acuífero carbonatado de la Sierra de Pedroso funciona como un área de infiltración de agua que luego circula subterráneamente hacia otros acuíferos del entorno.

En el borde oriental de la Sierra de Pedroso existe una pequeña zona endorreica (Llanos de la Laguna) que se inunda durante los episodios lluviosos de cierta importancia. El periodo de inundación suele ser corto, ya que el agua se infiltra rápidamente a través de un sumidero kárstico. Parece razonable pensar que esta agua se incorpore al mismo sistema de flujo subterráneo que el agua de infiltración de la Sierra de Pedroso. Hacia dónde se produce el flujo es una cuestión aún no resuelta, aunque hay varias hipótesis: descarga subterránea hacia la Sierra de Archidona; flujo hacia la Sierra de Arcas-Cerro Gordo; flujo hacia las sierras de Cuevas de San Marcos y circulación hacia los materiales triásicos subyacentes. El drenaje hacia la Sierra de Archidona fue desechado porque la superficie piezométrica se encuentra a unos 700 m s.n.m., 80 m más alta que el fondo de los sondeos de la Sierra de Pedroso en los que no se ha encontrado indicio alguno de presencia de agua. La posible conexión con la Sierra de Arcas-Cerro Gordo podría estar apoyada por la existencia en ésta de surgencias con caudal aparentemente superior al que cabría esperar por la infiltración de agua de lluvia sobre la superficie del acuífero; sin embargo, la compleja estructura geológica del área que separa estas sierras y la distancia entre ellas (6 km) son argumentos en contra de dicha hipótesis. Estos mismos argumentos están también en contra de la conexión con las sierras próximas a Cuevas de San Marcos. Finalmente, la posibilidad de circulación hacia los materiales del Trías subyacente puede apoyarse por las manifestaciones exokársticas (dolinas, sumideros, etc.) que presentan y la evidente circulación subterránea que en ellos existe.

Carrizal en la zona de descarga del Arroyo del Juncal

Captaciones y depósitos de agua en Cerro Gordo, para abastecimiento a Villanueva de Algaidas

El acuífero de la Sierra de Arcas-Cerro Gordo descarga, de modo natural, por surgencias localizadas en su extremo norte y, sobre todo, por alimentación lateral a los materiales neógeno-cuaternarios que se apoyan sobre los afloramientos carbonatados jurásicos. El manantial de La Higuera (a 550 m s. n. m.) suele estar seco, excepto en cortos periodos posteriores a episodios de lluvias intensas (existen referencias de caudales de más de 10 L/s en 1979). En el Arroyo del Juncal, se localiza un manantial (a 525 m s. n. m.) que surge en los materiales neógeno-cuaternarios, pero el agua también debe proceder del acuífero carbonatado, pues se tienen referencias de caudales superiores a los 100 L/s (en 1979), aunque suele encontrarse seco en los últimos tiempos. Por otra parte, los sondeos perforados para abastecimiento a Villanueva de Algaidas, en la propia Sierra de Arcas y en Cerro Gordo, muestran que la cota de la superficie piezométrica en ellos es similar y ligeramente más alta que la de las surgencias antes mencionadas, lo que permite concluir que ambos afloramientos carbonatados se encuentran hidrogeológicamente comunicados y que los flujos subterráneos se dirigen hacia los acuíferos detríticos que afloran en el borde septentrional. En los últimos años, parece que la explotación del acuífero carbonatado, para abastecimiento de Villanueva de Algaidas y para riego, ha modificado el régimen de descarga natural que se producía por los manantiales.

En el extenso afloramiento de margas y margocalizas jurásico-cretácicas que constituye la mayor parte de la masa de agua hay manantiales de caudales inferiores a 1 L/s, preferentemente en las inmediaciones de los cauces de arroyos. En algunos sitios hay captaciones de agua, normalmente pozos, que se utilizan para abastecimiento de cortijos y pequeñas fincas. Por su parte, los materiales neógeno-cuaternarios se drenan por manantiales de pequeño caudal, como los que hay en las proximidades de Villanueva de Algaidas y Villanueva de Tapia.

El afloramiento carbonatado del Camorro de Cuevas Altas-El Morrón parece tener su descarga hacia las formaciones detríticas neogeno-cuaternarias que están en contacto con él, en su borde septentrional. Existen algunos manantiales, entre los que destaca el denominado Fuente Alta, cuyo caudal puede variar entre 7 y 20 L/s y es aprovechado para abastecimiento a Cuevas de San Marcos y para regadíos. En este mismo acuífero existen también algunas captaciones próximas a la mencionada localidad, destinadas a abastecimiento urbano, regadío y uso industrial en una cooperativa olivarera.

En relación con las características químicas del agua subterránea, cabe señalar que un antiguo sondeo realizado en la Sierra de Arcas, para abastecimiento a Villanueva de Algaidas, hubo de ser abandonado por la alta salinidad del agua captada (conductividad eléctrica de 2480 µS/cm), debida a elevados contenidos en cloruros, sulfatos, sodio y calcio, que están relacionados con la influencia de los materiales triásicos de la base del acuífero. El sondeo más reciente, en Cerro Gordo, no parece presentar este problema.

Captación de agua para abastecimiento a Cuevas de San Marcos y Sierra del Camorro

El agua subterránea de las Sierras de Arcas-Cerro Gordo se aprovecha para abastecimiento urbano y para riego. No se dispone de datos precisos, pero la cifra estimada de extracciones podría ser equivalente a los recursos propios (0,5 hm^3/año). Ello justificaría la afección que parece haberse producido, en los últimos años, en el régimen de descarga de los manantiales asociados al acuífero carbonatado. Las extracciones por bombeo de las captaciones próximas al acuifero del Camorro de Cuevas Altas-El Morrón, también destinadas a abastecimiento urbano y regadío, se estiman en 0,2 hm^3/año.

Las incógnitas que aún existen en relación con el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos incluidos en la masa de agua de Pedroso-Arcas y su posible interrelación, aconsejan profundizar en el estudio de la misma, en particular en aspectos relacionados con el inventario y caracterización de las surgencias y captaciones, hidroquímica de sus aguas y cuantificación de la explotación por bombeo en la Sierra de Arcas-Cerro Gordo y su entorno inmediato. En la Sierra de Pedroso es necesario investigar hacía donde se dirige el flujo subterráneo del agua que se infiltra sobre ella y en los Llanos de la Laguna, mediante ensayos de trazadores y reconocimiento hidrogeológico del área próxima ocupada por materiales triásicos.

2.4.11

Sierra de Archidona (M.A.S. 060.030)

2.4.11

Sierra de Archidona

Luis Linares Girela

La Sierra de Archidona se halla situada al noreste del pueblo del mismo nombre, en la parte septentrional de la provincia de Málaga. Presenta una forma alargada en dirección NE-SO, con unos 7 km de longitud, y en ella destacan dos relieves localizados en los extremos de la sierra: el más meridional, en cuya falda se asienta Archidona, tiene su punto culminante a 1.012 m (vértice Conjuro) y el más septentrional a 887 m (El Morrón). La Sierra de Archidona fue incluida, originalmente, en la unidad hidrogeológica Pedroso-Arcas, pero después ha sido segregada de ella al considerar que existen suficientes argumentos para definirla como una masa de agua subterránea independiente.

La precipitación media anual de la zona es de 600 mm, según se deduce de los datos registrados en la estación pluviométrica de Archidona. Las precipitaciones máximas ocurren en los meses de noviembre y diciembre, mientras que los meses más secos son julio y agosto. La temperatura media anual en la misma estación meteorológica es de 16ºC, con mínimos mensuales de 7ºC en enero y máximos de 27ºC en agosto. El valor medio anual de la evapotranspiración potencial asciende a 850 mm.

Las arcillas de edad triásica, que incluyen enclaves de carniolas y yesos, constituyen el substrato geológico de la región, sobre el cual se sitúan los materiales del Jurásico que forman la Sierra de Archidona. En posición estratigráfica inferior hay una formación atribuida al Lías Inferior-Medio, con un tramo inferior constituido por dolomías, de 200 m de espesor, y otro superior de calizas, que puede alcanzar una potencia de 150 m; separados por un contacto de dolomitización, a veces impreciso. Encima de esta formación hay calizas con sílex, calizas margosas, calizas nodulosas y calizas micríticas que alternan con margas grises, en un conjunto que es atribuido al Lías Superior-Dogger. El Jurásico Superior está representado por una microbrecha de escasa entidad. Una potente formación de margas y margocalizas de colores blanco y salmón, atribuida al Cretácico-Paleógeno, culmina la serie estratigráfica.

La Sierra de Archidona presenta una estructura geológica plegada, con dirección NE-SO. En el borde oriental se desarrolla un núcleo sinclinal apretado, vergente hacia el noroeste, en relación con el cual llega a invertirse la serie. En el sector más septentrional (El Morrón), la estructura es más suave y sólo se detecta una serie monoclinal buzante hacia el noroeste. Los bordes de la sierra, en su mayor parte, están constituidos por fallas que hunden las áreas adyacentes; en el occidental la estructura plegada rompe y las formaciones carbonatadas del Jurásico se superponen tectónicamente sobre los materiales cretácicos. En la parte central de la misma se han originado fosas tectónicas, en cuyos bloques hundidos se han preservado los términos superiores de la serie mesozoica.

Las dolomías y calizas del Lías inferior-medio constituyen el acuífero principal de la masa de agua subterránea de la Sierra de Archidona con una superficie de formaciones carbonatadas ligeramente inferior a 6 km^2. Esta masa de agua queda limitada, al norte y oeste, por el contacto de las dolomías y calizas del Lías inferior-medio con los materiales cretácicos. Al sur y este, los materiales carbonatados de la sierra están limitados por las arcillas triásicas. En planta, la geometría del acuífero es alargada, en dirección NE-SO, y se estrecha hacia el NE, mientras que en profundidad debe tener un gran desarrollo, debido a la potencia de la serie carbonatada y al acortamiento estructural provocado por el plegamiento que ha sufrido.

Vista aérea de la Sierra de Archidona

Sector meridional de la Sierra de Archidona

Mapa y cortes hidrogeológicos

Sierra de Archidona

(M.A.S. 060.030)

Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación

Leyenda

Edad

Formaciones post-orogénicas

Cuaternario	7	6	5

Zona Subbética

Cretácico - Terciario			4
Jurásico	Dogger-Malm		4
	Lías	Superior	4
		Inf.-Med.	3 / 2
Triásico	Keuper		1

Litología

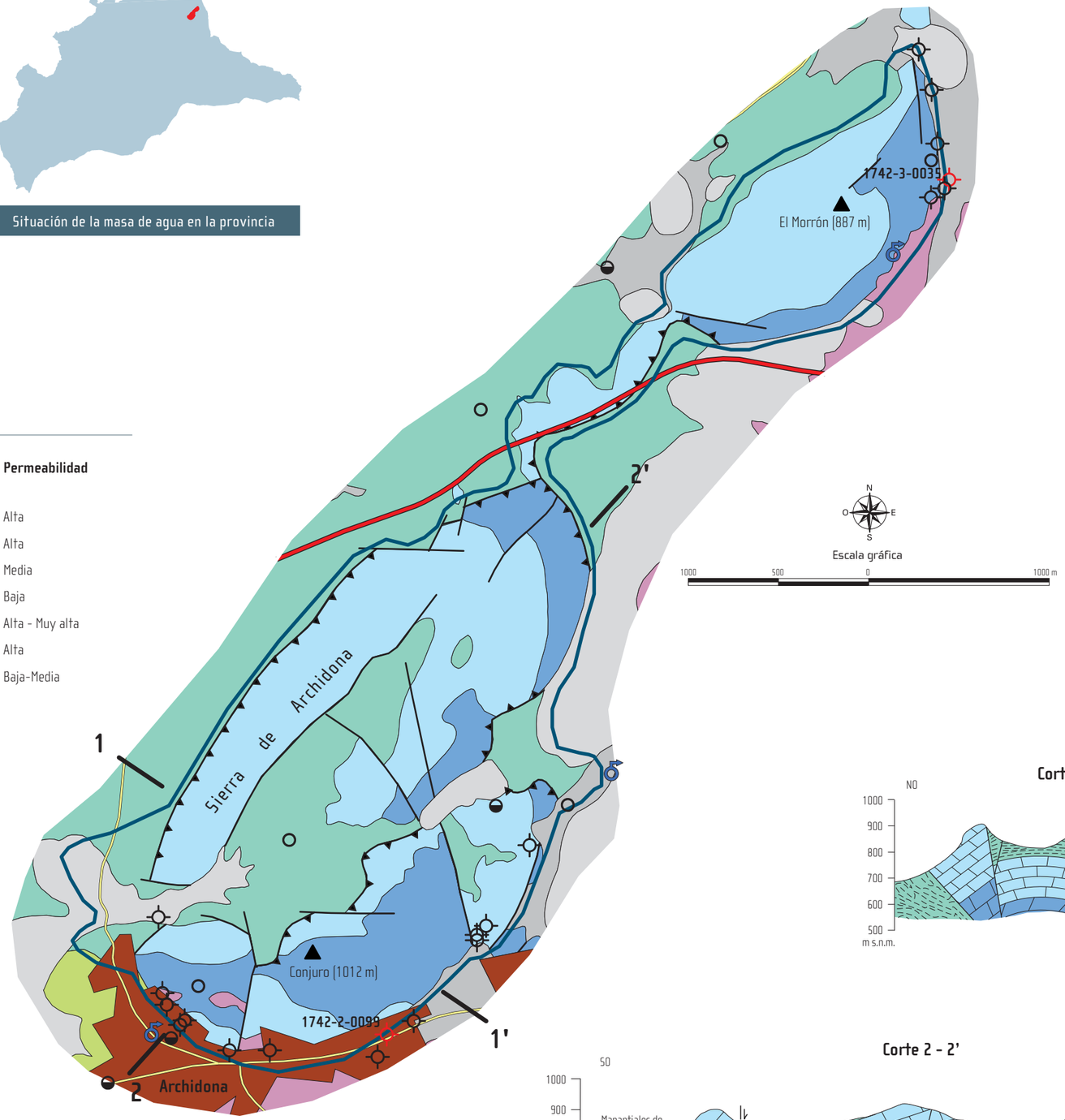
7 Travertinos
6 Aluvial
5 Indiferenciado
4 Margocalizas y margas
3 Calizas
2 Dolomías
1 Arcillas y yesos

Permeabilidad

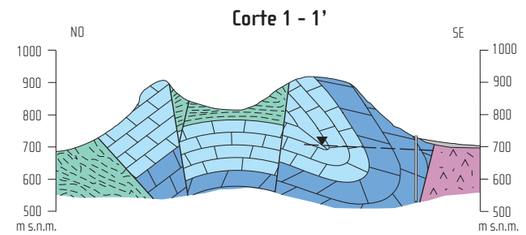
Alta
Alta
Media
Baja
Alta - Muy alta
Alta
Baja-Media

Signos convencionales

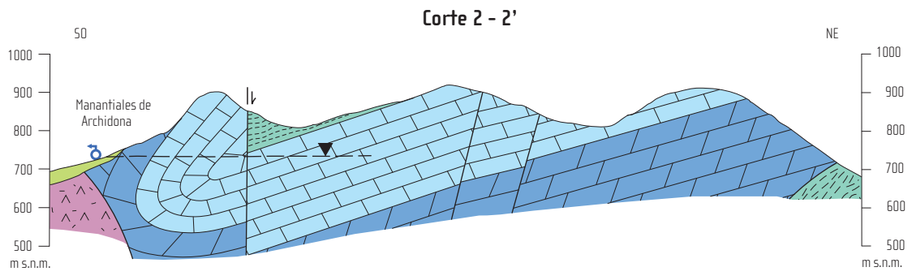
- Límite de la masa de agua subterránea
- Manantial
- Pozo
- Galería
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera



Corte 1 - 1'



Corte 2 - 2'



2.

4.11 Sierra de Archidona

La alimentación de la masa de agua de la Sierra de Archidona tiene lugar por infiltración de las precipitaciones sobre el afloramiento de materiales carbonatados jurásicos, que presentan una elevada permeabilidad por fisuración y karstificación. En régimen natural, la descarga se producía por numerosos manantiales y fuentes situadas en el extremo meridional de la sierra, que dieron origen a la masa travertínica sobre la que se asienta el núcleo urbano de Archidona. Hasta época reciente, la descarga del acuífero se producía por las galerías, situadas aproximadamente a cota 700 m s.n.m, que eran aprovechadas para abastecimiento del pueblo. Sin embargo, en la actualidad, esta descarga está muy afectada por las nuevas captaciones realizadas en las afueras de la población con el mismo fin. Las galerías de Archidona, antes de la puesta en funcionamiento de los sondeos, tenían un régimen de descarga con caudales comprendidos entre 25 y 90 L/s aproximadamente. A partir de principios de la década de 1980, los bombeos próximos han alterado este régimen de descarga, que ahora se encuentra prácticamente regulado, con frecuentes y largos periodos de desecación total y otros de recarga excepcional en los que vuelven a surgir. Después de estas recargas el descenso de caudal es rápido y continuo hasta una nueva desecación, de manera que, en la actualidad, los bombeos destinados a satisfacer la demanda urbana han hecho desaparecer la práctica totalidad de estas surgencias.

Las cotas de la superficie piezométrica demuestran que el flujo subterráneo tiene lugar desde el noreste hacia el suroeste, desde El Morrón hacia Archidona, aunque los puntos de bombeo en el sector de El Morrón podrían alterar, localmente, el flujo natural, induciendo una circulación hacia el extremo noreste del acuífero. Las medidas del nivel piezométrico en los sondeos de los que se posee un historial más largo muestran periodos de carácter plurianual con clara tendencia al descenso que se suceden con otros de ascenso, perfectamente correlacionables ambos con el régimen pluviométrico. Los periodos de recarga del acuífero por precipitaciones superiores a la media, provocan ascensos que permiten incluso alcanzar las cotas de surgencia de las galerías, momento en el cual disminuyen o cesan los bombeos, favoreciendo más aún el efecto de recuperación piezométrica. Cuando el régimen de precipitaciones baja y los bombeos se incrementan, de nuevo, vuelve a producirse el descenso piezométrico. En los últimos tiempos se ha observado un descenso generalizado de la superficie piezométrica del acuífero, cuya magnitud puede superar los 20 m, dependiendo de la proximidad a los centros de bombeo.

Las aguas del acuífero de la Sierra de Archidona son de mineralización ligera, con una conductividad eléctrica variable entre 370 y 580 µS/cm y facies bicarbonatada cálcica, debido a la naturaleza carbonatada de los terrenos por los que circulan. Todos los datos disponibles indican que los parámetros hidroquímicos están por debajo de la concentración máxima admisible por la legislación vigente, para aguas de abastecimiento urbano, incluso por debajo de los niveles guía. Así, los contenidos en bicarbonatos varían entre 143 y 290 mg/L, los de cloruros entre 10 y 20 mg/L y los de sulfatos están comprendidos entre 30 y 70 mg/L. Por tanto, se trata de aguas de una buena calidad química natural para abastecimiento urbano. No obstante, cabe señalar que la concentración de nitratos en el sector próximo a las captaciones de abastecimiento a Archidona es superior a 20 mg/L, lo cual se interpreta como un indicio de contaminación por las actividades humanas cercanas. En este sentido, es importante mencionar que un sondeo destinado al abastecimiento urbano de Villanueva de Tapia, en el sector norte de la sierra, por problemas derivados de la presencia de nitratos, ha debido ser sustituido por otro cercano en el que, al parecer, la concentración de este componente químico es más baja.

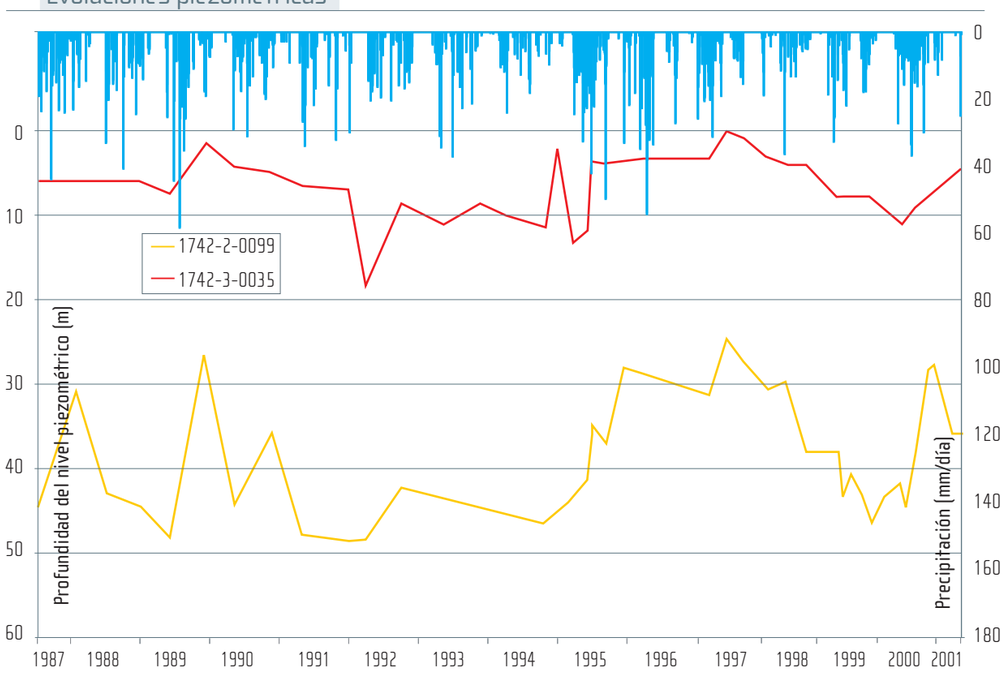
En la actualidad, la mayor parte del agua bombeada de este acuífero es aprovechada para abastecimiento de las poblaciones de Archidona (incluyendo sus pedanías Huertas del Río, Estación de la Romera y Salinas) y Villanueva de Tapia. El primero de estos municipios utiliza aproximadamente 0,65 hm^3/año y Villanueva de Tapia 0,15 hm^3/año. En el sector más septentrional de la sierra hay otras captaciones destinadas a regadío, de las cuales no se dispone de información precisa sobre el caudal que se explota.

Los recursos hídricos de este acuífero se han estimado en 1,2 hm^3/año, procedentes en su totalidad de la infiltración del agua de lluvia producida sobre los afloramientos de materiales carbonatados de la sierra. Las salidas del sistema se estima que alcanzan 1,2 hm^3/año que, en condiciones medias, se distribuyen así: 0,7 hm^3/año de captaciones para abastecimiento urbano, 0,2 hm^3/año de captaciones para uso agrícola y 0,3 hm^3/año de surgencias y bombeos no controlados. Puede deducirse de este balance que existe actualmente un equilibrio entre entradas y salidas y que la práctica totalidad de los recursos se encuentran explotados, por lo que debe recomendarse que no se incrementen las extracciones de agua subterránea en el sistema, para evitar su sobreexplotación. La propuesta que parece más razonable es que el acuífero de la Sierra de Archidona debe protegerse y reservarse exclusivamente para el abastecimiento a las poblaciones próximas, siempre que no se produzca un crecimiento urbanístico excesivo.

Puerta de acceso a la galería de abastecimiento de Archidona, excavada bajo la iglesia de Santana

Sondeo de abastecimiento a Archidona

Evoluciones piezométricas



Fuente de Antequera (Archidona)

2.4.12

Llanos de Antequera - Vega de Archidona (M.A.S. 060.033)

2.4.12

Llanos de Antequera - Vega de Archidona

Damián Sánchez García
Francisco Carrasco Cantos
Iñaki Vadillo Pérez

La masa de agua subterránea Llanos de Antequera-Vega de Archidona está situada al norte de la provincia de Málaga, entre las localidades de Archidona, Mollina y Antequera. Queda comprendida entre las Sierras de Archidona, Arcas y Humilladero, en la parte septentrional, y la altiplanicie que va desde el convento de la Magdalena-Hacho de Antequera (al norte de Sierra Chimenea) hasta las Lomas de Antequera, en la parte meridional. La masa de agua está formada, principalmente, por las vegas de Antequera (situada a 400-450 m de altitud) y Archidona (460-560 m), que constituyen un área deprimida con relieve de poca pendiente (llano), aunque sobresale entre ellas la elevación de la Peña de los Enamorados (878 m), y por el sector de la Magdalena-Hacho de Antequera.

La precipitación media anual es del orden de 500 mm y se registra principalmente entre los meses de septiembre a mayo, con máximos en noviembre y diciembre y mínimos en julio. Las lluvias son más abundantes hacia el sur y hacia el este, conforme aumenta la altitud del relieve. La temperatura media anual es de unos 16ºC; en enero se registran los valores mínimos (9ºC) y en julio y agosto los máximos (27ºC).

El curso de agua superficial de mayor importancia es el Río Guadalhorce, que recorre, de este a oeste, la masa de agua. Sus principales afluentes por la margen derecha son el Arroyo Marín, en el sector oriental; el canal de la laguna de Herrera, que drena dicha zona endorreica actualmente desecada; y el Arroyo de las Tinajas, en el borde occidental del acuífero. Por la margen izquierda destaca el Río de la Villa, que recoge las aguas del manantial homónimo, principal punto de descarga natural del Torcal de Antequera.

Desde el punto de vista geológico, la región está situada en la Zona Externa de la Cordillera Bética, dentro del dominio Subbético. Los materiales más antiguos que afloran datan del Trías y están formados por una masa caótica arcilloso-margosa con niveles evaporíticos (yesos y sal), encima de los cuales hay dolomías y calizas del Jurásico Inferior. El Jurásico Medio-Superior está constituido fundamentalmente por calizas, margocalizas y margas, a las que siguen margas, margocalizas y calcarenitas del Cretácico y Paleógeno. Los materiales jurásicos están poco representados en la masa de agua y constituyen afloramientos de poca extensión, como la Peña de los Enamorados. Encima de las arcillas con evaporitas triásicas, y de los materiales jurásicos (cuando existen), afloran, discordantes, depósitos neógenos y cuaternarios. Los materiales miocenos son calcarenitas, arenas, margas y conglomerados que se encuentran principalmente en la parte occidental de la Vega de Antequera y en el área de la Magdalena-Hacho de Antequera, con un espesor

Acuífero de la Vega Antequera (sector de Bobadilla)

Complejo Caótico Subbético (Trías de Antequera)

Vega de Archidona en el sector de Huertas del Río. Al fondo, el Trías de Antequera

superior a 100 m en algunos casos. Al sur del Hacho hay un afloramiento de conglomerados con matriz arcillosa atribuidos al Plioceno, cuya potencia puede ser de varias decenas de metros. Los sedimentos cuaternarios son los que más afloran en la región y, dentro de ellos, se pueden diferenciar dos conjuntos. Uno tiene menos de 100 m de espesor y está formado por cantos rodados, arenas, arcillas y limos, todos ellos depósitos aluviales recientes y terrazas fluviales del Río Guadalhorce. El otro conjunto de materiales cuaternarios tiene una potencia bastante reducida y está formado por arenas, arcillas y cantos, a veces cementados, depositados en los pies de monte y abanicos aluviales.

La masa de agua de los Llanos de Antequera-Vega de Archidona está formada por los materiales miocenos, pliocenos y cuaternarios antes descritos, permeables por porosidad intergranular (acuíferos detríticos), que afloran ampliamente en las vegas de Antequera y de Archidona y, en menor extensión, en el sector de la Magdalena-Hacho de Antequera. Los límites norte, sur y oeste y la mayor parte del sustrato de la masa de agua están constituidos por las arcillas con evaporitas del Trías, aunque en el borde noreste afloran formaciones margosas de baja permeabilidad del Jurásico medio-superior, Cretácico y Paleógeno. El perímetro de la masa de agua subterránea delimita una superficie de 375 km^2, de los cuales 275 corresponden a afloramientos de materiales permeables neógeno-cuaternarios.

El afloramiento de depósitos miocenos que existe al suroeste de Antequera, junto con los conglomerados pliocenos y depósitos de pie de monte cuaternarios que hay al norte de la Sierra Chimenea, constituyen el acuífero de la Magdalena, separado del de los Llanos de Antequera por una banda de arcillas triásicas que aseguran la desconexión hidrogeológica entre ambos. Este acuífero ocupa una superficie aproximada de 20 km^2 y tiene un espesor que puede llegar a ser de 100 m. Sus recursos (aproximadamente 1 hm^3/año) proceden de la infiltración de agua de lluvia que cae sobre los afloramientos permeables. La descarga tiene lugar, de modo natural, por manantiales situados a diferentes altitudes en el Arroyo del Alcázar, como el de Los Bombillos (650 m s.n.m.), utilizado históricamente para abastecimiento a Antequera, y el de Santos Cristos (520 m s.n.m.), que se aprovecha para regadío, y también por bombeos en algunas captaciones para abastecimiento a cortijos y fincas privadas que extraen aproximadamente 0,3 hm^3/año. El acuífero de la Magdalena contiene agua con una mineralización de grado medio, conductividad eléctrica de 350-650 µS/cm, facies bicarbonatada cálcica y cálcico-magnésica y contenidos en nitratos bajos a medios, sin superar en ningún caso el valor de 50 mg/L.

Los Llanos de Antequera (225 km^2) tradicionalmente se han dividido en dos sectores, la Vega de Antequera y la de Bobadilla, separados por un estrechamiento en el aluvial que no supone desconexión hidráulica alguna. La Vega de Archidona ocupa una superficie de 30 km^2 y está conectada hidráulicamente con la de Antequera a través del cauce del Guadalhorce. Por tanto, constituyen un mismo acuífero, Llanos de Antequera-Vega de Archidona, el de mayor importancia dentro de la masa de agua, razón por la cual le da el nombre a ésta. En dicho acuífero, los sedimentos cuaternarios de pie de monte están conectados, hidrogeológicamente, con los depósitos aluviales. En los Llanos de Antequera, el espesor de estos materiales varía entre 15 m, en el sector de Bobadilla, cerca del cauce del río Guadalhorce, y 80 m, en algunos puntos de la zona central del acuífero, con un valor medio representativo de 40-50 m. En la Vega de Archidona, sin embargo, el espesor del acuífero no supera 20 m. Los depósitos aluviales cuaternarios, a su vez, están en continuidad hidrogeológica con las calcarenitas del Mioceno, cuando éstas se encuentran lateralmente o en profundidad, como ocurre entre el Río Guadalhorce y Antequera, al sur de la Sierra del Humilladero o en el sector de Bobadilla.

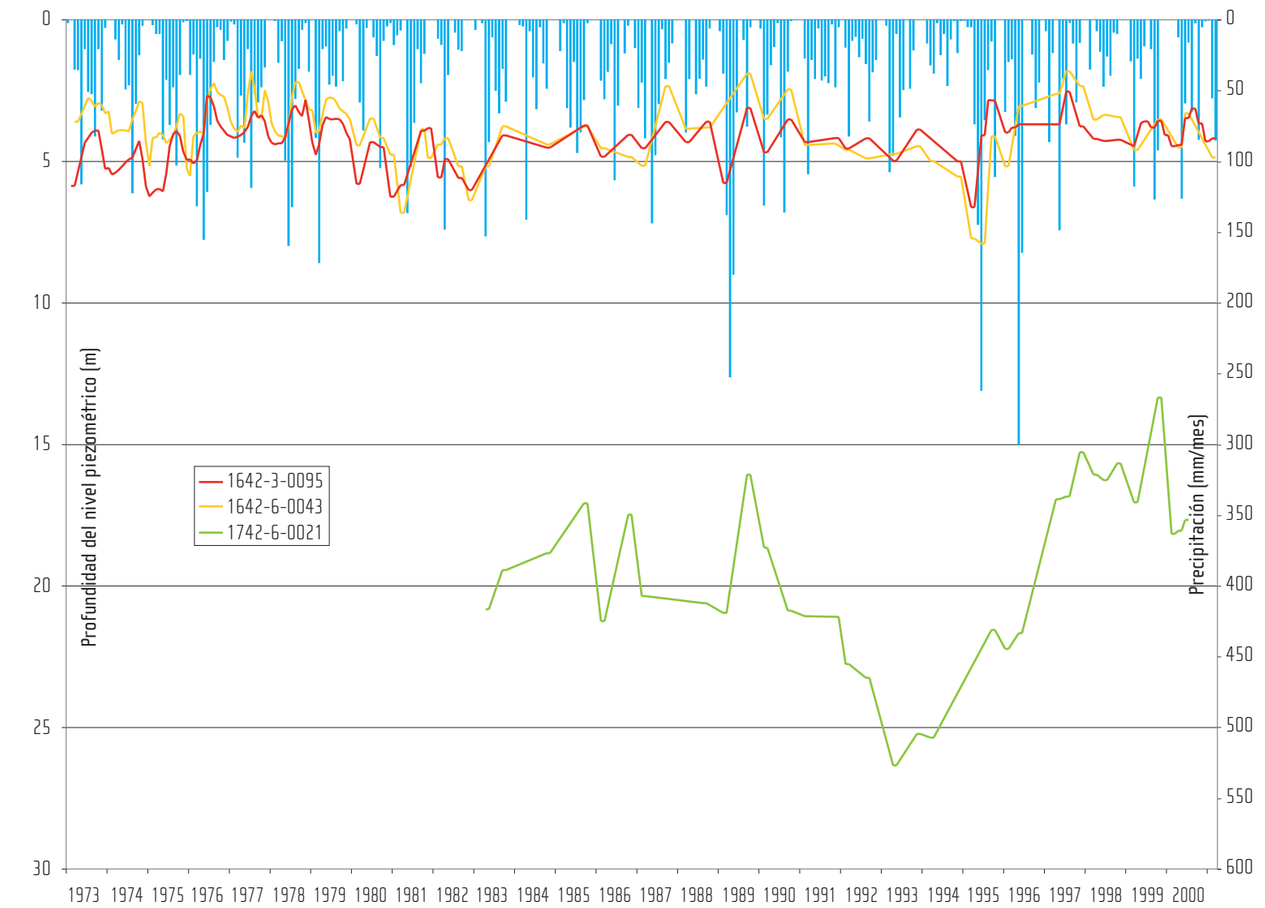
En el acuífero de los Llanos de Antequera-Vega de Archidona, la superficie piezométrica muestra la existencia de un flujo general del agua subterránea, desde el este hacia el oeste, de acuerdo con el sentido de flujo del Río Guadalhorce, que constituye el eje de drenaje de la masa de agua subterránea. Así se ha comprobado mediante la realización de aforos diferenciales a lo largo del cauce, desde la Peña de los Enamorados hasta su llegada al embalse del Guadalhorce; existe una descarga de agua significativa desde el acuífero al río, fundamentalmente en el sector más occidental de la Vega de Antequera. Ahora bien, no puede descartarse que, en periodos húmedos, cuando el río se encuentra en crecida, se pueda dar el proceso inverso, es decir, una descarga de agua desde el río al acuífero. La profundidad del nivel piezométrico suele variar entre 10 y 20 m, con valores mínimos en el borde

Surgencias de Los Bombillos

septentrional y máximos en la zona cercana a Antequera. La evolución temporal del nivel freático en el acuífero de los Llanos de Antequera está condicionada por las variaciones estacionales y plurianuales de las precipitaciones, en definitiva de la recarga, y por el régimen de explotación mediante bombeos en las abundantes captaciones (pozos y sondeos) que existen en el acuífero (más de 300). Se han registrado descensos piezométricos importantes durante los periodos secos, coincidiendo con las épocas de mayor bombeo, aunque el nivel freático recupera su posición inicial con la recarga generada durante los episodios lluviosos posteriores.

Los recursos hídricos del acuífero Llanos de Antequera-Vega de Archidona son del orden de 45 hm³/año, de los cuales 40 hm³/año corresponden a los Llanos de Antequera y 5 hm³/año a la Vega de Archidona. La principal entrada corresponde a la infiltración del agua de lluvia que cae directamente sobre los materiales permeables (30 hm³/año), componente ésta favorecida por el carácter libre de los acuíferos, así como por la topografía llana de gran parte del área que ocupan. Una fracción de la escorrentía que se genera fuera del ámbito de los acuíferos, al llegar a las planicies de Antequera y Archidona se infiltra igualmente en el acuífero y constituye otra fuente de alimentación que aporta 5 hm³/año. A esto hay que añadir unos 5 hm³/año de la recarga procedente del Río de la Villa y de las residuales depuradas de Antequera, eventualmente también del Río Guadalhorce, que se produce directamente desde los cauces o a través de las acequias que llevan el agua hasta los campos de cultivo. La última componente de las entradas corresponde a los retornos de los riegos realizados con aguas bombeadas del propio acuífero, que se estiman en 5 hm³/año. En cuanto a las salidas, cabe señalar la transferencia de agua desde el acuífero aluvial hacia el Río Guadalhorce (10 hm³/año) y los bombeos

Evoluciones piezométricas



Acuífero de la Vega de Antequera

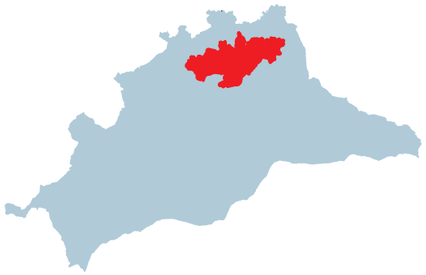
(35 hm³/año). A pesar de la importante magnitud de los bombeos que se realizan, parece existir un cierto equilibrio entre los recursos (entradas) y las extracciones (salidas), de acuerdo con las evoluciones piezométricas antes comentadas.

Gran parte del agua subterránea del acuífero Llanos de Antequera-Vega de Archidona presenta una calidad química inapropiada para el abastecimiento público, por su elevada mineralización y dureza y por sus altos contenidos en nitratos. La conductividad eléctrica, parámetro indicativo de la mineralización del agua, es relativamente elevada (1.000-5.000 µS/cm) debido a los contenidos en sulfatos (300-800 mg/L, e incluso >1 g/L). Las concentraciones de nitratos varían entre 50 y 100 mg/L y, en ocasiones, superan los 100 mg/L, debido al uso intensivo de fertilizantes de composición nitrogenada en las labores agrícolas. No obstante, la calidad del agua para riego es buena a tolerable y excepcionalmente mediocre, con un peligro de salinización del suelo medio-elevado. Por ello, el agua subterránea se debe aprovechar, mayoritariamente, para regar la gran variedad de cultivos (trigo, cebada, girasol, viñedo, olivos, huertas) que se producen en las Vegas de Antequera y Archidona.

Mapa y corte hidrogeológico

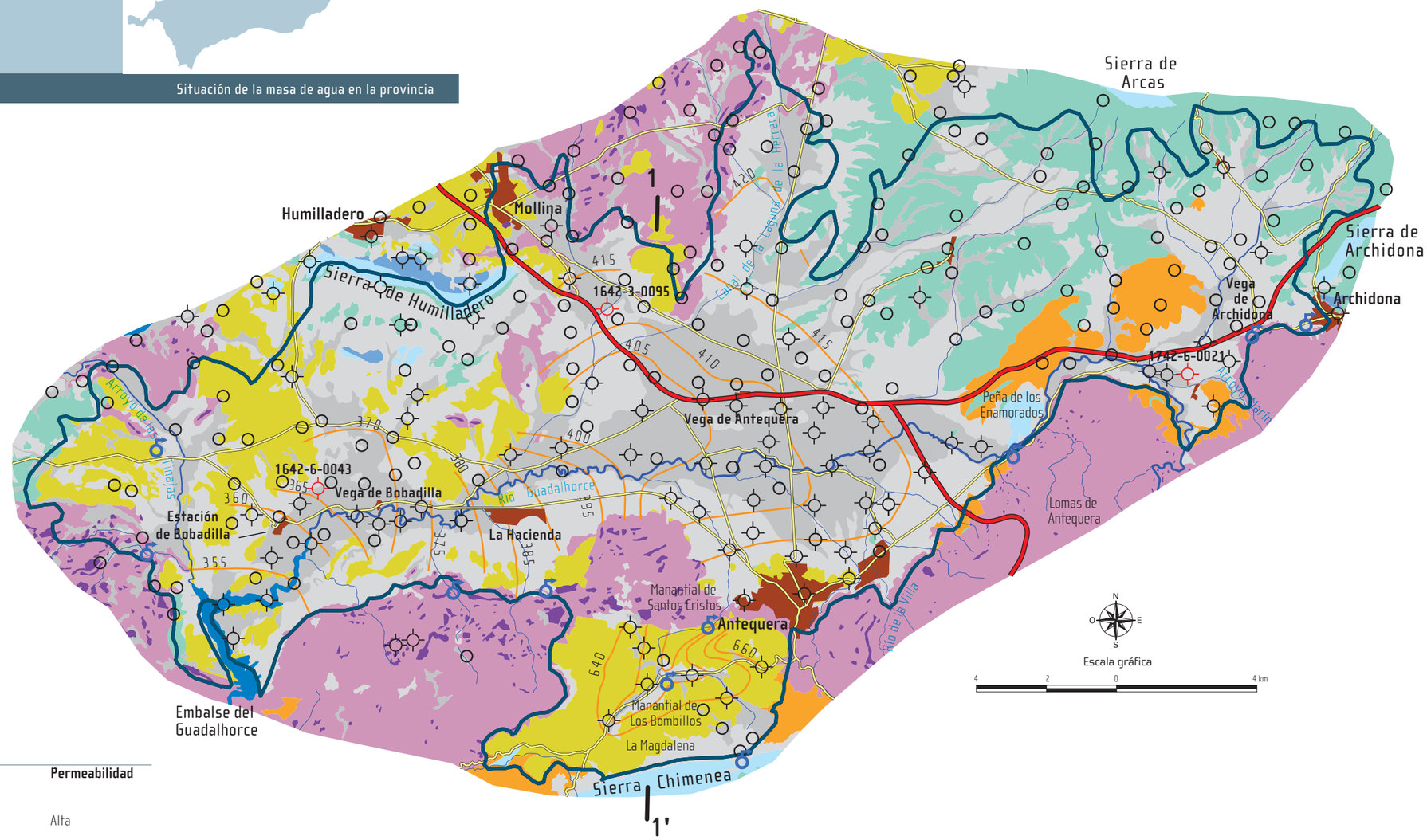
Llanos de Antequera - Vega de Archidona

(M.A.S. 060.033)



Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación



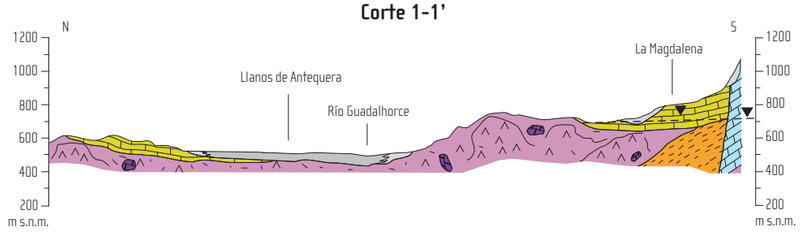
Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Aguas superficiales
- Red hidrográfica
- Manantial
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- 385 Isopieza con altitud en m s.n.m.
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera

Leyenda

Edad			Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas				
Cuaternario		9 / 8	9 Aluvial	Alta
Mioceno	Superior	7	8 Indiferenciado	Media
			7 Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
Flysch				
Cretácico - Terciario		6	6 Arcillas y areniscas	Muy baja
			5 Margocalizas y margas	Baja
Zona Subbética			4 Calizas	Alta - Muy alta
Cretácico - Terciario		5	3 Dolomías	Alta
Jurásico	Dogger-Malm	5	2 Calizas y dolomías	Media - Alta
	Lías Superior	3	1 Arcillas y yesos	Baja - Media
	Lías Inf.-Med.	4		
Triásico	Keuper	1 / 2		

Corte 1-1'



2.

4.12 Llanos de Antequera - Vega de Archidona

Campos de cultivo y captación de agua para regadío en la Vega de Antequera

Captación de agua para riego en la zona de Partido Alto (Vega de Antequera). Al fondo, la Sierra Chimenea

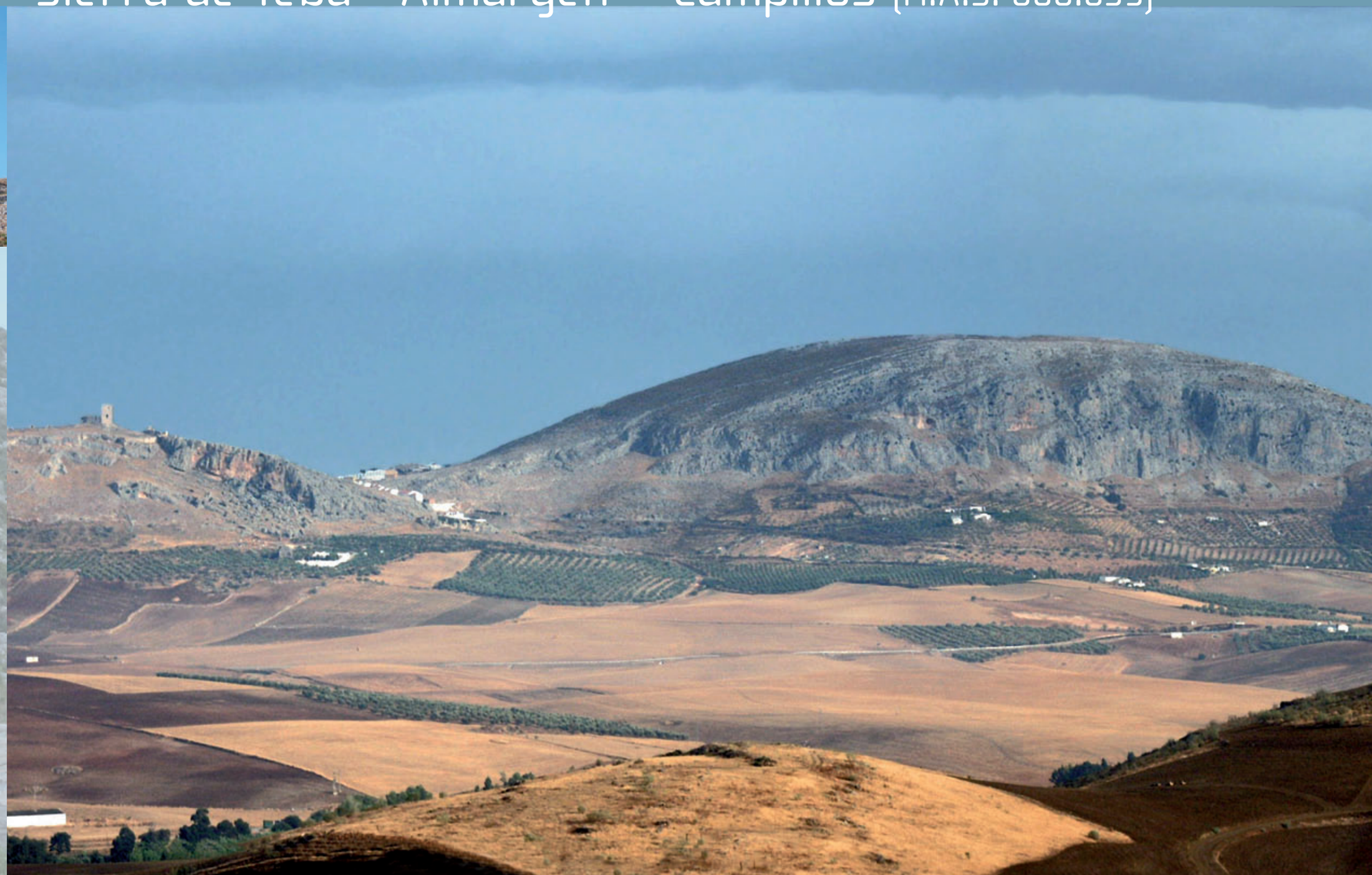
La composición química del agua mantiene una estrecha relación con la naturaleza del sustrato. Así, la facies hidroquímica dominante es la sulfatada cálcica, lo que revela una clara influencia de los materiales evaporíticos del Trías. En algunos sectores, donde el sustrato es también triásico, el ion más abundante es el cloruro, lo cual denota la existencia de sal (halita). Sin embargo, donde las calcarenitas del Mioceno están debajo del aluvial cuaternario, la calidad del agua es mejor y la facies es bicarbonatada cálcica. En la zona próxima a Antequera el agua subterránea suele presentar mejor calidad química debido a la recarga procedente del Río de la Villa. En el sector meridional de la Vega de Archidona, cerca del Arroyo Marín, la calidad del agua es semejante a la de la vega de Antequera; más al norte, sin embargo, el agua es de mejor calidad, con conductividades eléctricas cercanas a 650 µS/cm y facies bicarbonatada cálcica, debido a la naturaleza predominantemente caliza de los depósitos detríticos cuaternarios y a la existencia de un sustrato margoso Jurásico-Cretácico-Paleógeno no salino.

Dado que los materiales permeables afloran en superficie (acuíferos libres) y que el nivel piezométrico se encuentra a poca profundidad, se puede afirmar que esta masa de agua subterránea muestra un grado significativo de vulnerabilidad a la contaminación. La presión más evidente a la que está sometida es la intensa actividad agrícola que se desarrolla, directamente, sobre gran parte de la superficie de los acuíferos. Además, existen más de una decena de núcleos urbanos (entre ellos Antequera y Mollina) que contabilizan una población conjunta superior a 40.000 habitantes, parte de cuyas aguas residuales, sobre todo las de las poblaciones más pequeñas, se vierten sin depurar a los cauces, con el consiguiente peligro de afección a las aguas subterráneas. También existe actividad industrial desarrollada recientemente, dada la localización estratégica de Antequera dentro de Andalucía: polígonos industriales, centros logísticos de grandes sociedades, empresas del sector de la alimentación y una red de carreteras que incluye, entre otras, la autovía A-92 y la carretera nacional Antequera-Córdoba. Asimismo, existe actividad ganadera, concentrada en el sector situado entre Antequera y el Río Guadalhorce, un campo de golf, una cementera, varias gasolineras y un vertedero comarcal de residuos sólidos urbanos. Todas estas presiones pueden generar un impacto negativo en la masa de agua subterránea.

Acueducto de La Magdalena, para llevar el agua del manantial de Los Bombillos a Antequera

2.4.13

Sierra de Teba - Almargen - Campillos (M.A.S. 060.035)



2.4.13

Sierra de Teba - Almargen - Campillos

Francisco Carrasco Cantos
Damián Sánchez García
Iñaki Vadillo Pérez

Borde oriental de la Sierra de Peñarrubia

La masa de agua 060.035, Sierra de Teba-Almargen-Campillos, se encuentra en el sector noroccidental de la provincia de Málaga, incluye los relieves carbonatados de las Sierras de Teba y Peñarrubia y los afloramientos de materiales detríticos postorogénicos de la región comprendida entre Almargen y Campillos. Al suroeste de la Sierra de Teba, fuera de los límites de la masa de agua, se encuentra el cerro de la Lentejuela.

La precipitación media anual de la región es 560 mm. Las lluvias máximas tienen lugar en los meses de noviembre a marzo y son más reducidas el resto del año, con valores prácticamente nulos durante el periodo de junio a agosto. La temperatura media anual es próxima a 18 ºC, con mínimos en los meses de diciembre a febrero y máximos en julio y agosto. La variación anual de la temperatura muestra una diferencia de 18-19 ºC entre las medias mínimas y máximas. Por lo que respecta a la evapotranspiración potencial (ETP), su valor medio anual es de 950 mm. Los valores máximos de ETP corresponden a los meses de julio y agosto y los mínimos a enero y diciembre.

Sierra de Peñarrubia y embalse del Guadalhorce

Las Sierras de Teba y Peñarrubia presentan una forma alargada y estrecha, con unos 8 km de longitud y algo menos de 2 km de anchura. Su relieve es bastante acentuado, con las máximas cotas en las proximidades de la población de Teba (La Camorra, 745 m s.n.m.) y en el extremo oriental de la Sierra de Peñarrubia (El Castillón, 729 m s.n.m). Por el contrario, los sectores de Almargen y Campillos presentan un relieve muy llano, situado entre las cotas 460 y 500 m s.n.m. En el último de estos sectores se han desarrollado los humedales de las lagunas de Campillos.

El Río de la Venta constituye el cauce principal de la red hidrográfica. Su tramo inicial, denominado Río de Almargen, tiene un trazado de dirección O-E y recoge las aguas de escorrentía de los Llanos de Almargen hasta que en él confluye el Arroyo del Chumbo, procedente de los Llanos de Campillos. Aguas abajo, el cauce del río presenta una dirección N-S y atraviesa la Sierra de Peñarrubia en una estrecha y espectacular garganta de 45 m de ancho y 600 m de largo, que se denomina Tajo del Molino, antes de la desembocadura en el embalse del Guadalteba.

Las Sierras Teba y Peñarrubia, así como la de la Lentejuela, pertenecen al dominio Penibético, también denominado Subbético Interno Occidental, dentro de la Zona Externa de la Cordillera Bética. Este dominio presenta potentes formaciones carbonatadas jurásicas, que dan lugar al núcleo de las sierras, y margas y margocalizas del Cretácico-Paleógeno que afloran, sobre todo, en el borde sur. La serie jurásica está constituida por un tramo inferior de calizas oolíticas y pisolíticas, grises y masivas, de unos 100 m de espesor, pertenecientes al Lías medio-superior y al Dogger. Encima hay un paquete de calizas nodulosas brechoides, de color rojo o amarillento, cuyo espesor es del orden de 50 m y, a techo, un tramo de calizas de color gris, con algunos niveles de calizas nodulosas, que alcanza 100 m de espesor y corresponden al Malm. Al sur de ambas sierras afloran arcillas con niveles de areniscas, pertenecientes al Flysch del Campo de Gibraltar.

En los Llanos de Almargen y Campillos se encuentran materiales pertenecientes al Trías de Antequera, que presentan una facies de tipo germano-andaluza, constituidos por arcillas y areniscas de colores abigarrados con evaporitas. Discordantes sobre las calizas jurásicas y sobre las arcillas con yesos del Trías se desarrollan materiales postorogénicos, areniscas calcáreas y margas del Mioceno Superior, que afloran extensamente al norte de las sierras. También existen depósitos aluviales y coluviales, con reducido espesor, de edad Cuaternario.

Las Sierras de Teba y Peñarrubia constituyen una estructura anticlinal con vergencia hacia el norte. El flanco meridional tiene buzamientos suaves hacia el sur, mientras que en el flanco septentrional los buzamientos son mayores e incluso llega a producirse inversión de la serie estratigráfica. Entre las dos sierras existe una importante fractura que origina la separación cartográfica de ambas y determina el afloramiento de materiales miocenos entre ellas. Las principales direcciones de fracturación son: N60E, que delimita el borde meridional de la Sierra de Teba, y N30E, que condiciona los relieves de ambas sierras.

Las calizas se encuentran bastante karstificadas y presentan formas tanto exo como endokársticas. Las formas exokársticas dominantes son los lapiaces y alguna dolina aislada desarrolladas a favor de las fracturas. A lo largo de la garganta del Tajo del Molino existen varias cuevas, entre ellas la cueva de las Palomas, situada a unos 30 m de altura sobre el cauce actual, que ponen de manifiesto la existencia de distintas generaciones de conductos kársticos, relacionadas con el descenso del nivel de base y el encajamiento del Río de la Venta.

Panorámica de los Llanos de Campillos desde la Sierra de Teba

2.

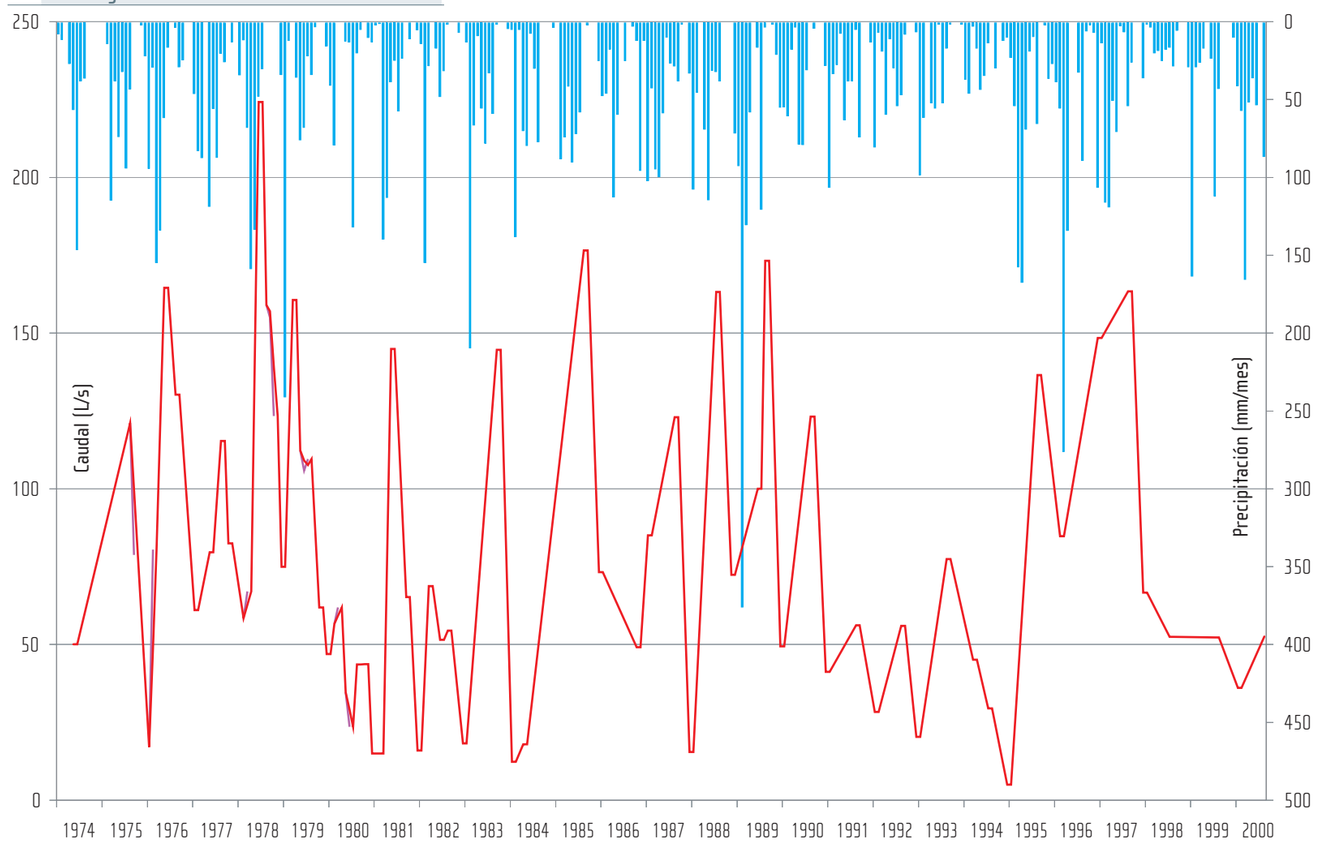
4.13 Sierra de Teba - Almargen - Campillos

La masa de agua subterránea 060.035 está formada por las rocas carbonatadas jurásicas de las Sierras de Teba y Peñarrubia, los materiales miocenos del norte de Teba y los depósitos cuaternarios de los Llanos de Almargen y de Campillos. La fractura existente entre los relieves de Teba y Peñarrubia no debe impedir el flujo subterráneo entre ambas sierras. El límite meridional de la masa de agua viene definido por los materiales de baja permeabilidad del Cretácico y Terciario y, como límite septentrional, se ha considerado el contacto de los materiales miocenos y cuaternarios con el Trías de facies germano-andaluza.

El acuífero carbonatado jurásico tiene una superficie de afloramiento de 7 km^2 y su límite inferior debe estar formado por los materiales arcilloso-evaporíticos triásicos. Presenta una porosidad primaria muy baja, mientras que la porosidad secundaria es más importante y se origina por fracturación y karstificación. Se trata de un acuífero libre, aunque está confinado en su límite meridional por los materiales cretácicos y, al norte, está cubierto por los depósitos detríticos del Mioceno Superior. La transmisividad del acuífero carbonatado varía entre 500 y 10.000 m^2/día y el coeficiente de almacenamiento es del orden de 1-2%; en zonas próximas a las surgencias, alcanza valores del 4 al 8%.

Manantial de Torrox

Hidrograma del manantial de Torrox



La alimentación del acuífero carbonatado se produce por la infiltración del agua de lluvia sobre sus afloramientos, aproximadamente 1,7 hm^3/año, favorecida por las formas kársticas, y por infiltración desde el Río de la Venta, ésta última cifrada en 0,5 hm^3/año, lo que supone un total de 2,2 hm^3/año de entradas.

La descarga tiene lugar, de modo natural, por el manantial de Torrox, situado al sur de las sierras, a la cota 380 m s.n.m. Este manantial tiene un régimen de descarga bastante regular, su caudal medio es de unos 80 L/s (aproximadamente 2,5 hm^3/año), con valores máximos que raramente superan 150 L/s y mínimos del orden de 20 L/s. Se aprovecha para regadío de una pequeña superficie de su entorno (6 ha) y para complementar el abastecimiento de la población de Teba (aproximadamente 0,3 hm^3/año). El caudal restante circula por el Río de la Venta hacia el embalse del Guadalteba. La descarga del acuífero también se produce mediante bombeos (0,2 hm^3/año) en algunos sondeos que existen en los bordes de las Sierras de Teba y de Peñarrubia, principalmente en el meridional, destinados al riego de pequeñas fincas. En el extremo oriental de la Sierra de Peñarrubia hay sondeos que se utilizan para el abastecimiento a Campillos y a granjas porcinas, desde los cuales se bombea un volumen anual cercano a 0,3 hm^3. Por tanto, las salidas del acuífero, equivalentes a los recursos medios anuales, son del orden de 3 hm^3/año, cifra ésta superior a las entradas sobre el afloramiento permeable de la Sierra de Teba, lo cual hace pensar en la existencia de aportación subterránea desde otros acuíferos adyacentes.

Las facies hidroquímicas predominantes en el acuífero carbonatado son bicarbonatadas cálcicas. El agua del manantial de Torrox es bastante mineralizada, tiene una conductividad eléctrica superior a 1.000 µS/cm, con valores máximos del orden de 1.465 µS/cm, y concentraciones relativamente altas en sulfatos (entre 190 y 330 mg/L) que superan incluso a las de los bicarbonatos (entre 150 y 300 mg/L). También los contenidos en cloruros y sodio son elevados (mayor de 150 mg/L y 100 mg/L, respectivamente) para lo que es habitual en un acuífero carbonatado. Las altas concentraciones de sales disueltas en el agua y el hecho de que su temperatura sea también algo más elevada que la temperatura media ambiente hacen pensar en la existencia de flujos profundos procedentes de sectores alejados del manantial. Por otra parte, las concentraciones de nitratos en el agua, que con frecuencia superan 20 mg/L, y de nitritos (0,3-0,4 mg/L) indican una posible contaminación del agua del manantial que parece razonable atribuir a la infiltración en el acuífero de aguas del Río de la Venta. Este río recibe el vertido de contaminantes procedentes de núcleos urbanos y explotaciones ganaderas y aportes de un manantial salino que hay al norte del cerro de la Lentejuela, lo cual origina una conductividad eléctrica relativamente alta de las aguas de escorrentía, superior a 2.000 µS/cm, de facies clorurada-sulfatada sódica-cálcica.

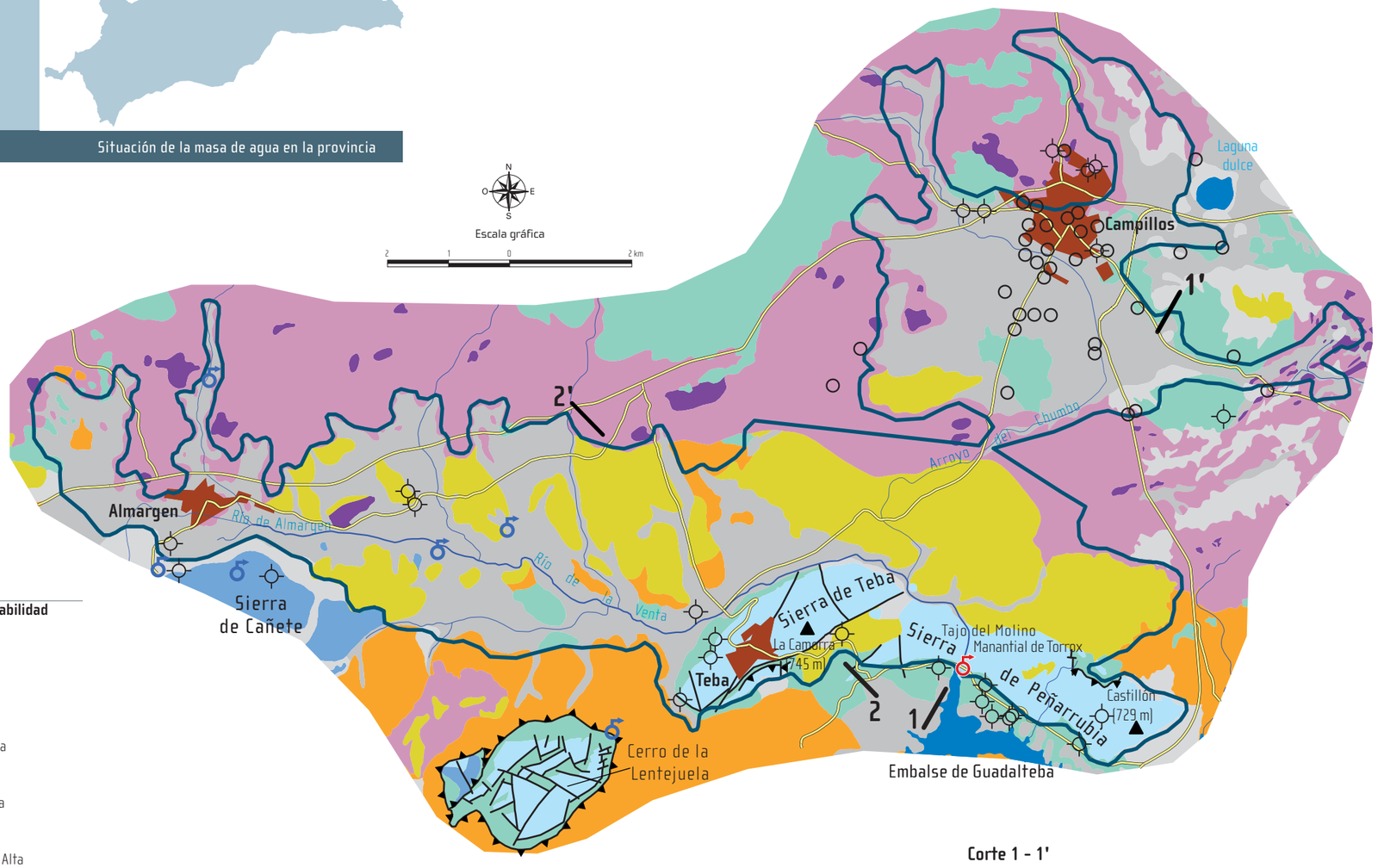
Mapa y cortes hidrogeológicos

Sierra de Teba - Almargen - Campillos

(M.A.S. 060.035)

Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España
málaga.es diputación



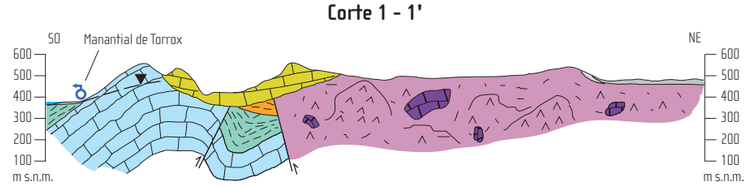
Leyenda

Edad		Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas			
Cuaternario	9 / 8	9 Aluvial	Alta
Mioceno — Superior	7	8 Indiferenciado	Media
Flysch		7 Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
Cretácico - Terciario	6	6 Arcillas y areniscas	Muy baja
Zona Subbética		5 Margocalizas y margas	Baja
Cretácico - Terciario	5	4 Calizas	Muy alta
Jurásico — Malm	4	3 Dolomías	Alta
Jurásico — Dogger	4	2 Calizas y dolomías	Media - Alta
Jurásico — Lías	3	1 Arcillas y evaporitas	Baja-Media
Triásico — Keuper	1 / 2		

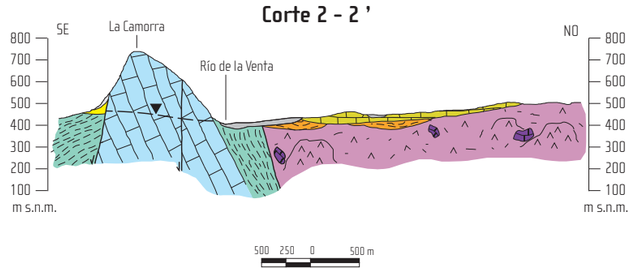
Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Aguas superficiales (embalse, laguna)
- Red hidrográfica
- Manantial
- Manantial con hidrograma adjunto
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Falla
- Núcleo de población
- Carretera

Corte 1 - 1'



Corte 2 - 2 '



2.

4.13 Sierra de Teba - Almargen - Campillos

Sondeo de abastecimiento a Campillos

Los afloramientos de materiales miocenos existentes al norte de las Sierras de Teba y Peñarrubia también son acuíferos. Los más orientales están situados sobre el acuífero carbonatado y, entre ambos, existe comunicación hidrogeológica. Se trata de acuíferos por porosidad intergranular cuya alimentación se produce por la infiltración del agua de lluvia y de la escorrentía superficial y por aportación desde acuíferos adyacentes. La descarga se realiza a través de manantiales, generalmente de escaso caudal, y mediante drenaje difuso hacia los cursos de agua o hacia el acuífero carbonatado jurásico. La trasmisividad de los materiales del Mioceno está comprendida entre 50 y 2000 m^2/día y su coeficiente de almacenamiento es del orden del 1%.

Los sedimentos cuaternarios constituyen acuíferos detríticos ubicados en los Llanos de Almargen y en los de Campillos. El acuífero cuaternario de Almargen está formado por los depósitos aluviales del Río de la Venta. La recarga de este acuífero se produce por infiltración de agua de lluvia y del río y por alimentación lateral desde la Sierra de Cañete. El acuífero cuaternario de Campillos está constituido por gravas, arenas y limos, con un espesor máximo de 25 m, que se encuentran en un área donde hay pequeñas cuencas endorreicas ocupadas por lagunas de escasa superficie. En este caso, la recarga se produce por infiltración del agua de lluvia.

La masa de agua subterránea está sometida de distintas presiones originadas por fuentes de contaminación, tanto puntuales como difusas: vertidos de aguas residuales urbanas, de industrias y de purines procedentes de las explotaciones ganaderas (granjas de cerdos, fundamentalmente) junto con una importante actividad agrícola. El gran desarrollo alcanzado por las granjas de cerdos en los términos de Almargen y Campillos ha motivado la aparición de industrias relacionadas con el sector porcino, como mataderos, fábricas de embutidos, de piensos y de materiales para la construcción de las explotaciones. Todas estas actividades constituyen peligros de contaminación, tanto de las aguas superficiales como de las subterráneas. Por tanto, conviene llevar a cabo una ordenación de las explotaciones ganaderas y actividades asociadas, compatible con la preservación de la calidad natural del agua subterránea. Particularmente importante es definir perímetros de protección de las captaciones de agua existentes en las Sierras de Teba y de Peñarrubia para abastecimiento urbano.

Pozo en los Llanos de Campillos, cerca de una granja porcina

Llanos de Almargen y Río Almargen

2.4.14

Sierra del Valle de Abdalajís (M.A.S. 060.036)

2.4.14

Sierra del Valle de Abdalajís

Antonio Pulido Bosch
Alfredo García de Domingo
Juan Gisbert Gallego
Ángela Vallejos Izquierdo
Juan José Durán Valsero

La masa de agua subterránea 060.036 se localiza al oeste de la población del Valle de Abdalajís. Está atravesada por el Río Guadalhorce, que da origen al desfiladero de los Gaitanes en El Chorro, y la divide en dos sectores: el occidental, formado por la Sierra de Almorchón (663 m) y el oriental, constituido por una serie de alineaciones montañosas separadas por zonas más deprimidas, todas ellas orientadas según una dirección este-oeste. Las cotas más elevadas de este sector oriental son: Sierra de Huma (1191 m), Sierra del Valle de Abdalajís (1186 m) y Sierra Llana (857 m).

La precipitación media anual de la región, durante el período 1984/2004, en las estaciones de Pantano de Guadalhorce (326 m s.n.m.) y Antequera-La Fresneda (820 m s.n.m.), consideradas como representativas de esta zona, es de 508 y 673 mm, respectivamente. La temperatura media anual es de 16,5 ºC. La temperatura media del mes más frío (enero) varía entre 7,9 y 9,6 ºC, mientras que para el mes más cálido (agosto) está comprendida entre 24,2 y 27,2 ºC. La evapotranspiración potencial media (ETP), calculada mediante el método de Thornthwaite, es de 946 mm. La evapotranspiración real (ETR) de esta zona, con una capacidad de campo 25 mm, presenta un valor medio anual superior al 58 % de la precipitación media. La infiltración directa del agua de lluvia, calculada mediante del método de Kessler, aplicable a terrenos kársticos, es del 51 % de la precipitación.

Desde el punto de vista geológico, la Sierra del Valle de Abdalajís pertenece a la Zona Externa de la Cordillera Bética, concretamente, al dominio Penibético o Subbético Interno Occidental. Está formada, fundamentalmente, por rocas carbonatadas y margosas de edad mesozoica que afloran desde el Río Guadalhorce hacia el este. La secuencia litológica comienza con dolomías del Triásico Medio (Muschelkalk) y sedimentos arcillo-yesíferos del Triásico superior (Keuper), que se han detectado en sondeos. La serie estratigráfica continúa con dolomías y calizas del Jurásico Inferior, calizas oolíticas del Jurásico Medio y calizas nodulosas del Jurásico Superior, cuyo espesor conjunto es superior a 400 m. Hacia techo, hay margas y margocalizas del Cretácico-Paleógeno. En la región también afloran arcillas y areniscas del Flysch del Campo de Gibraltar. Discordantes sobre todos los materiales anteriores, hay calcarenitas y conglomerados del Mioceno Superior, que afloran en la margen derecha del Río Guadalhorce (Sierra de Almorchón), y depósitos detríticos del Cuaternario, fundamentalmente asociados a laderas.

Panorámica, desde el oeste, de la estructura anticlinal del sector del Tajo del Cuervo

Terminación oriental del compartimento de La Capilla-Valle de Abdalajís

La estructura geológica de la Sierra del Valle de Abdalajís está formada por pliegues "en cofre", de dirección ENE-OSO, cuyo apretamiento ha dado lugar a fallas con la misma orientación. Estas fallas han sido interpretadas de formas muy diferentes, desde cabalgamientos hacia el norte que se amortiguan lateralmente y se relevan entre ellos, hasta fallas normales que han dado lugar a una estructura de bloques hundidos ("graben") y levantados ("horst"). Hay fallas que tienen traza rectilínea en la cartografía, por lo que parecen estar verticales y son de tipo normal. En cualquier caso, las fallas compartimentan la estructura plegada previa y la estructuración interna de cada compartimento es muy variada, desde series monoclinales con escaso buzamiento, hasta anticlinales y sinclinales prácticamente invertidos y con vergencia norte. Existe otro sistema de fallas, de direcciones N20E y N140E, transversales a las anteriores, que tienen una componente direccional importante y compartimentan la estructura geológica, todavía más, en bloques de menores dimensiones y distorsionan las grandes líneas estructurales. Los sedimentos detríticos del Mioceno Superior que afloran en la margen derecha del Río Guadalhorce muestran buzamientos suaves y se consideran postorogénicos. Estos materiales fosilizan el relieve que, cuando se depositaron, existía sobre las rocas del Penibético.

El comportamiento acuífero de los materiales descritos anteriormente es variable. Así, los carbonatos del Triásico Medio, los yesos y sales del Triásico Superior y las calizas y dolomías del Jurásico constituyen acuíferos por fisuración y karstificación, mientras que los sedimentos detríticos del Mioceno Superior y del Cuaternario forman acuíferos por porosidad intergranular. Todos ellos constituyen la masa de agua subterránea de la Sierra del Valle de Abdalajís, cuyos límites hidrogeológicos, en las cuatro direcciones geográficas, están formados por materiales de baja permeabilidad (arcillas y areniscas) del Flysch del Campo de Gibraltar. La geometría interna de la masa de agua se encuentra dividida en varios compartimentos hidrogeológicos, cuyos límites quedan definidos por las principales fracturas que existen. En el sector meridional se han diferenciado los compartimentos de Huma, con 2,7 km^2 de material permeable aflorante, Tajo del Cuervo y La Capilla, los dos últimos con una superficie total permeable de 3,73 km^2. Hacia el norte, se pueden diferenciar los compartimentos del Valle de Abdalajís (4,75 km^2), Salto de la Zorra (3,58 km^2), Sierra Llana (4,33 km^2) y Puerto de Ramos (0,53 km^2). La superficie permeable total de estos compartimentos es de unos 20 km^2 y la conexión entre ellos aún no está bien establecida, debido a la ausencia de datos piezométricos fiables. En cuanto a la geometría de los compartimentos en profundidad, se tiene escasa información, sólo la obtenida de algunos sondeos realizados para abastecimiento de la población de Valle de Abdalajís y de sondeos y documentos cartográficos efectuados para la construcción del túnel del tren de alta velocidad (AVE), que atraviesa estas sierras.

En cada uno de los compartimentos hidrogeológicos definidos anteriormente se han inventariado puntos de agua que están situados a diferentes cotas. Los manantiales más caudalosos de esta masa de agua se encuentran concentrados en su borde oriental y a lo largo del curso del Río Guadalhorce, donde se encuentran los puntos de cota más baja de los afloramientos carbonatados. Así, el compartimento de Tajo del Cuervo descarga por los manantiales de la Fuente de Arriba (325 m s.n.m.),

Modelado de tipo Torcal en la sierra del Valle de Abdalajís

Nacimiento (450 m s.n.m) y La Fresneda (480 m s.n.m.). El compartimento de Huma se drena, directamente hacia el Río Guadalhorce, en el desfiladero de los Gaitanes. El compartimento de La Capilla descarga por la Fuente de la Reina (390 m s.n.m) y por el manantial de Los Atanores (415 m s.n.m), que presenta una surgencia asociada a cota ligeramente superior (*trop-plein*). En el compartimento de Valle de Abdalajís no se han reconocido puntos de descarga natural.

Los manantiales responden rápidamente a las precipitaciones (tiempo de respuesta comprendido entre 1 y 2 días), sobre todo los de Los Atanores y La Fresneda, que también son los que responden antes, con descensos del caudal, a los periodos de estiaje prolongado. En general, la evolución del caudal de los manantiales en el compartimento de La Capilla es más regular y menos rápida que la observada en los manantiales del compartimento del Tajo del Cuervo, lo cual indica que el primero es más importante ó que su karstificación funcional está menos desarrollada; así, los manantiales tienen una mayor capacidad de regulación natural. Los manantiales situados a cotas altas, como los de Los Atanores y La Fresneda, se secan en los periodos de estiaje mientras que los manantiales situados a cotas más bajas, como el de la Reina y Fuente de Arriba, mantienen un flujo de base que no llega a agotarse, con caudales inferiores a 2 L/s.

Modelado kárstico en la parte alta de la Sierra del Valle de Abdalajís

Garganta de El Chorro, desfiladero de Los Gaitanes

2.

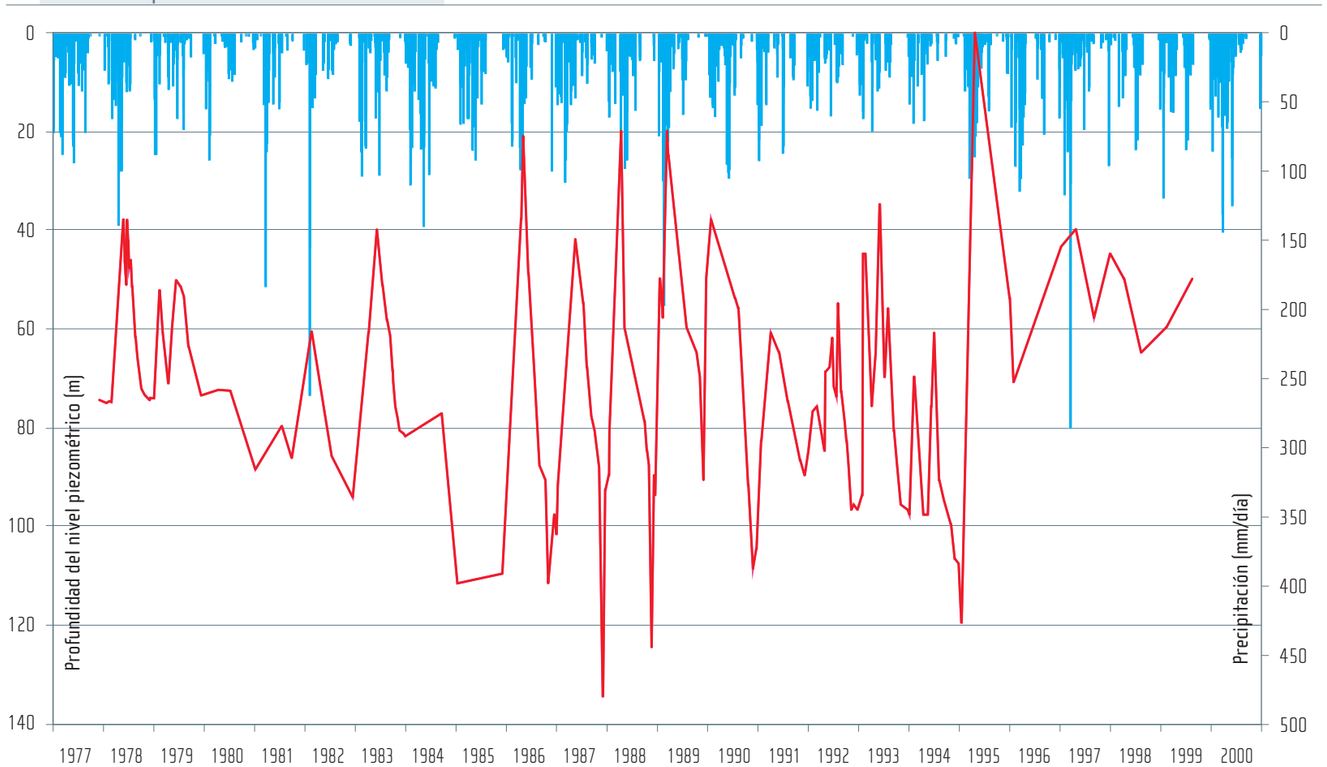
4.14 Sierra del Valle de Abdalajís

En la masa de agua subterránea de la Sierra del Valle de Abdalajís solo existen, según el inventario actual, cuatro puntos con posibilidad de tomar medidas del nivel piezométrico. La evolución del nivel en el piezómetro del extremo oriental de la sierra muestra ascensos después de cada máximo de precipitaciones, con un tiempo de respuesta de unos 2 días, y, además, presenta gran variabilidad de la profundidad del nivel, debido a su situación próxima a una zona de bombeo. La profundidad media del nivel piezométrico es de 70 m, con valores máximos de 140 m y mínimos de casi 0 m, datos que demuestran las notables fluctuaciones del nivel en ese entorno.

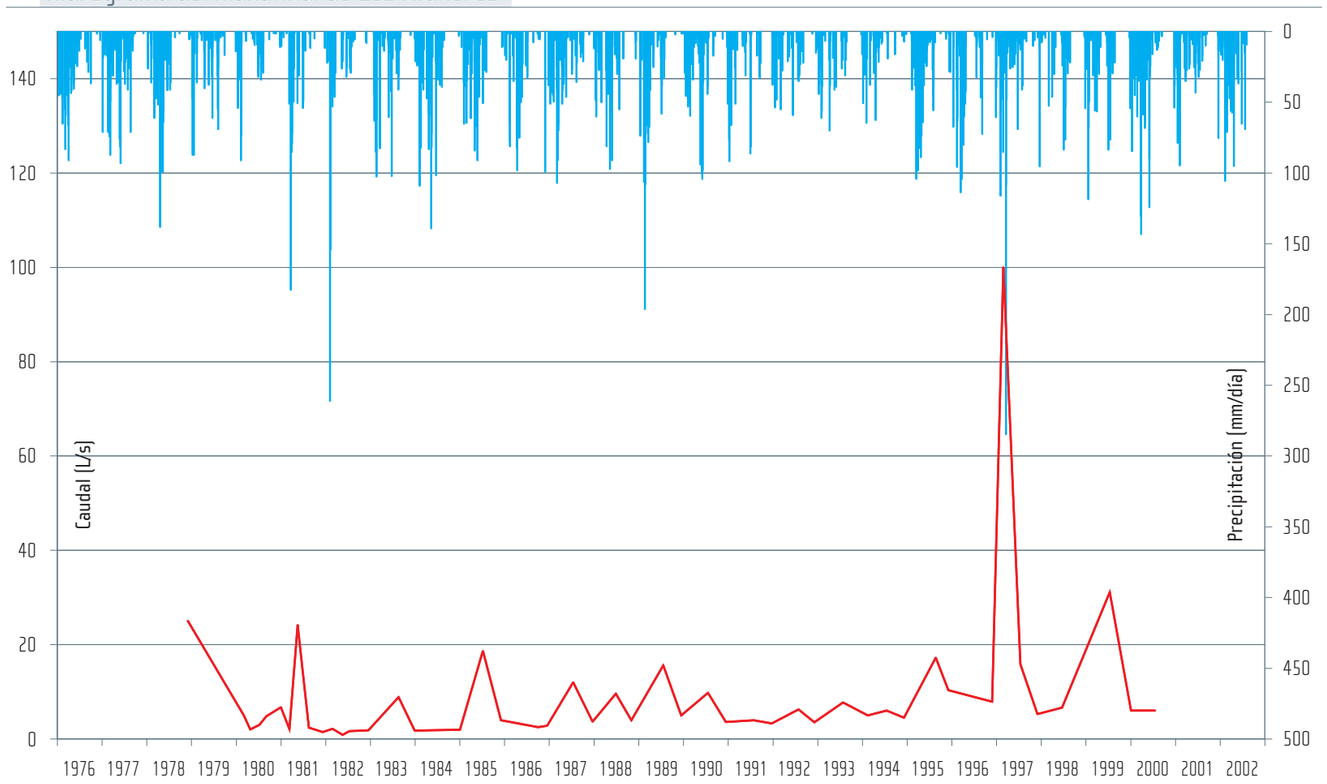
Los recursos medios de los acuíferos carbonatados que constituyen la masa de agua subterránea de la Sierra del Valle de Abdalajís se estiman en 6-7 hm^3/año. Estos recursos se drenan mediante manantiales y se explotan en varios sondeos para abastecimiento a la localidad de Valle de Abdalajís (aproximadamente 0,4 hm^3/año) y, en menor medida, para otros usos, fundamentalmente regadío. Los sondeos de explotación se encuentran emplazados en el compartimento del mismo nombre que la masa de agua subterránea (Sierra del Valle Abdalajís) y están situados en el borde oriental de ésta, próximos a la carretera que comunica las localidades de Valle de Abdalajís y Antequera. No se conocen los recursos hídricos medios anuales de los materiales acuíferos del Mioceno, cuya descarga se realiza hacia el cauce del Guadalhorce.

Manantial en Valle de Abdalajís

Evolución piezométrica 1643-2-0007



Hidrograma del manantial de Los Atanores



Mapa y corte hidrogeológico

Sierra del Valle de Abdalajís

(M.A.S. 060.036)

Situación de la masa de agua en la provincia

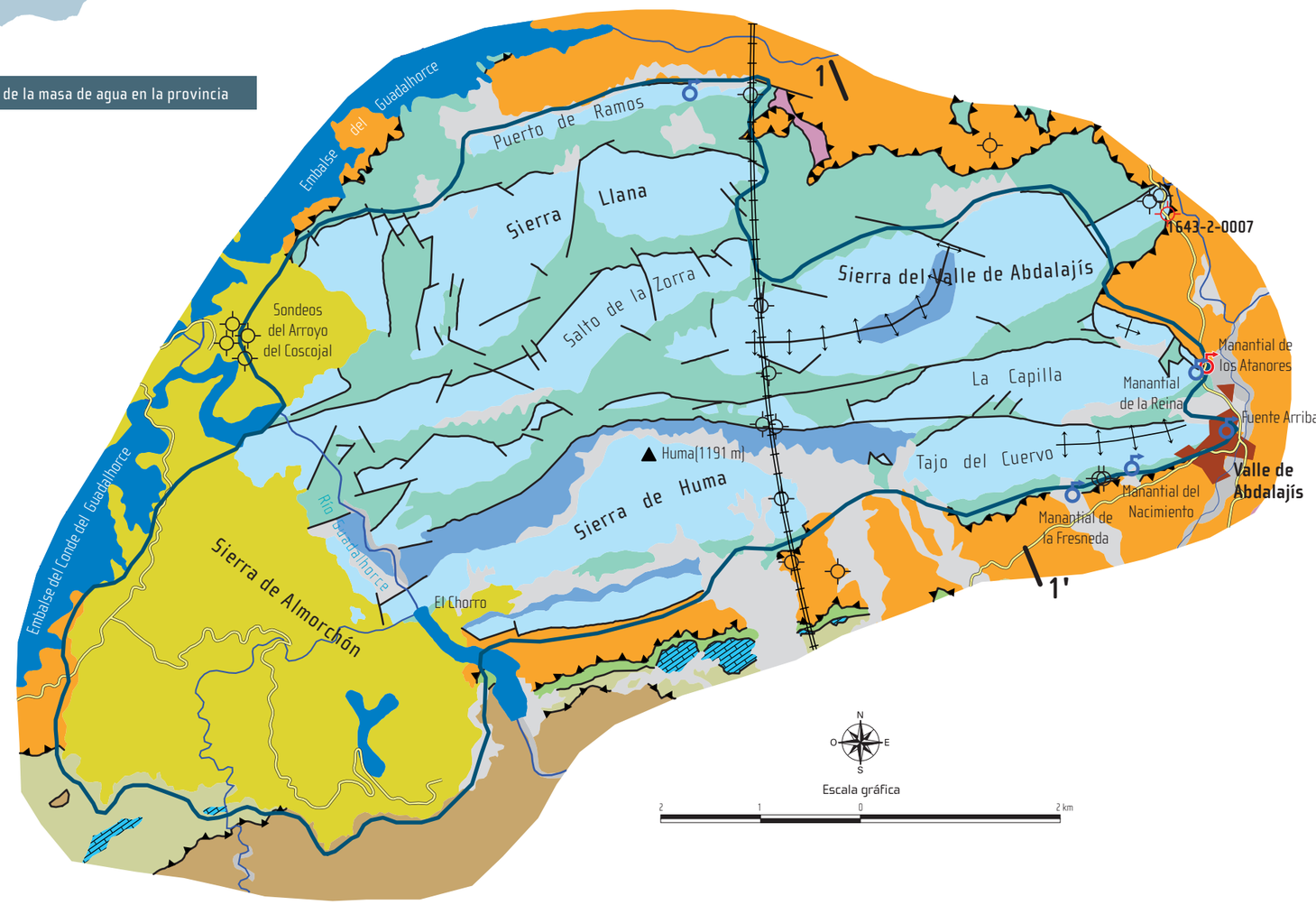
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación

Leyenda

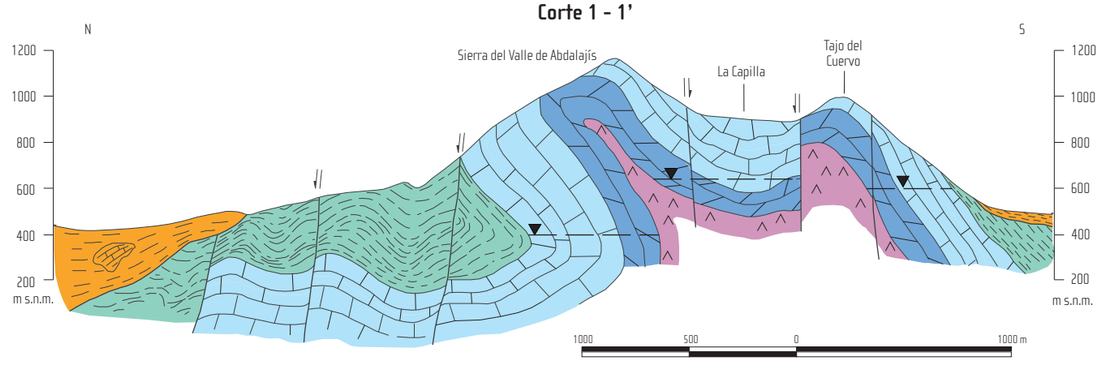
Edad			Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas				
Cuaternario		12 / 11	12 Aluvial	Alta
Mioceno	Superior	10	11 Indiferenciado	Media
			10 Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
Flysch			9 Arcillas y areniscas	Muy baja
Cretácico - Terciario		9	8 Margocalizas y margas	Baja
Zona Subbética			7 Calizas	Alta - Muy alta
Cretácico - Terciario		8	6 Dolomías	Alta
Jurásico	Malm	7	5 Arcillas y yesos	Baja - Media
	Dogger	6	4 Margocalizas, margas y arcillas	Baja
	Lías		3 Calizas y dolomías	Alta
Trásico	Keuper	5	2 Conglomerados, areniscas y arcillas Filitas, pizarras y calizas alabeadas	Baja
Complejo Maláguide			1 Gneises, esquistos y filitas	Baja
Cretácico - Terciario		4		
Jurásico		3		
Triásico				
Paleozoico		2		
Complejo Alpujárride				
Paleozoico		1		

Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Embalse
- Red hidrográfica
- Manantial
- Manantial con hidrograma adjunto
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Núcleo de población
- Carretera
- Trazado del AVE



Corte 1 - 1'



2.

4.14 Sierra del Valle de Abdalajís

En el extremo NO de la masa de agua y en la margen izquierda del Guadalhorce, concretamente en el Arroyo del Coscojal, se perforaron cuatro sondeos durante la metasequía de 1995, todos ellos con profundidades mayores de 200 metros. Estos sondeos atravesaron las calcarenitas del Mioceno, y en su caso las margocalizas del Cretácico, hasta llegar a las calizas del Jurásico; en ninguno de ellos se cortaron materiales triásicos. En los sondeos del Arroyo del Coscojal se bombearon caudales de varios centenares de L/s para abastecimiento a Málaga, con descensos aceptables. No obstante, el agua presentaba una elevada salinidad (5-6 mS/cm de conductividad eléctrica), fundamentalmente debida a los elevados contenidos en sulfatos y cloruros, por lo cual debía de ser mezclada con otra menos salina para su aprovechamiento. En cualquier caso, el agua bombeada en estos sondeos tenía una salinidad inferior a la del embalse, que era muy mineralizada, debido a las descargas de los manantiales salinos de Meliones. Por tanto, en este sector (compartimentos de Sierra Llana y Salto de La Zorra), el acuífero carbonatado contiene una mezcla de agua infiltrada en las dolomías y calizas con agua salina procedente del embalse del Guadalhorce. Los sondeos del Arroyo del Coscojal han sido sellados por la Cuenca Mediterránea Andaluza del Agua, por entender que podrían suponer un peligro para la seguridad de la presa del Guadalhorce.

Situación de los sondeos de abastecimiento y depósito de aguas de Valle de Abdalajís

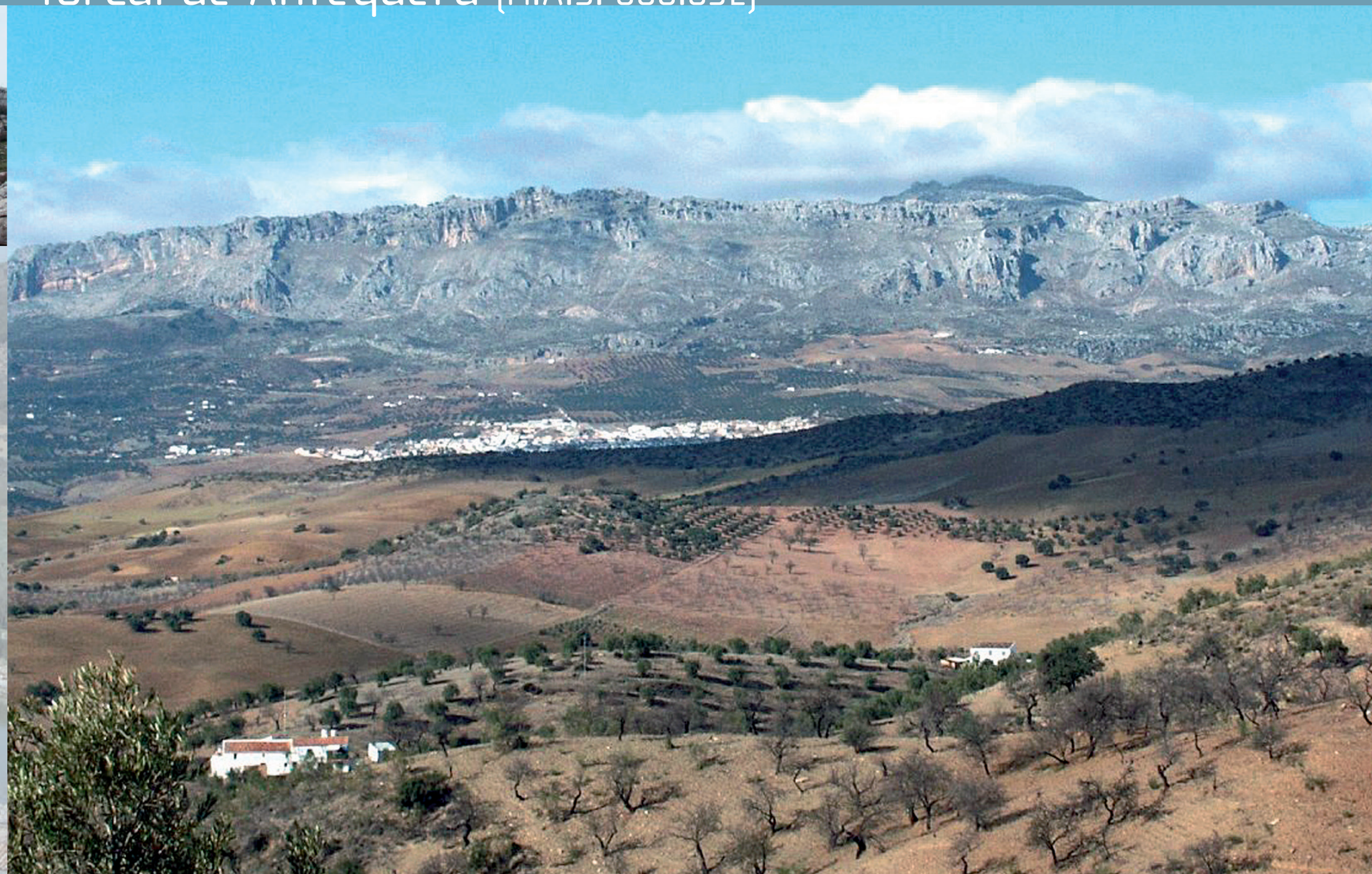
El agua de los manantiales localizados en los acuíferos carbonatados es de facies bicarbonatada cálcica y/o cálcico-magnésica o magnésico-cálcica, en función de la concentración en magnesio procedente de la disolución de rocas dolomíticas. En los manantiales de la Reina (sector oriental del compartimento de La Capilla) y de Fuente de Arriba (compartimento de Tajo del Cuervo), se detecta un mayor contenido en sulfatos indicativo de la influencia de los niveles yesíferos del Triásico. La conductividad eléctrica de las aguas procedentes del manantial de la Reina varía a lo largo del ciclo anual, con valores comprendidos entre 525 µS/cm, en el mes de noviembre, y 602 µS/cm, en agosto. Las calizas jurásicas son muy vulnerables a la contaminación pero la escasa actividad humana encima de ellas, conlleva un bajo riesgo de contaminación y, en general, la calidad del agua es buena para abastecimiento urbano y para regadío.

En la masa de agua subterránea de la Sierra del Valle de Abdalajís se han construido recientemente los túneles para el trazado del tren de alta velocidad Málaga-Córdoba. Esta obra lineal atraviesa la parte central de la masa de agua, con dirección aproximadamente N-S, y ha afectado a varios compartimentos hidrogeológicos que corta en su trazado, en los cuales el nivel piezométrico se encontraba por encima de los túneles. Concretamente, los compartimentos afectados han sido los de Huma, La Capilla y Valle de Abdalajís, cuya perforación ha proporcionado elevados caudales instantáneos, comprendidos entre 400 L/s y los 40 L/s actuales (final de la obra). Ello ha provocado un vaciado parcial de los compartimentos acuíferos afectados, con las consiguientes modificaciones en el régimen de descarga de sus manantiales, algunos de los cuales se han secado. Las obras de los túneles contemplan acciones de refuerzo e impermeabilización que, una vez efectuadas, permitirán la recuperación de la piezometría natural de los acuíferos y sus variaciones dependerán exclusivamente de la climatología y de la explotación a la que se encuentre sometida la masa de agua.

Pilar de agua en la parte alta de la Sierra del Valle de Abdalajís

2.4.15

Torcal de Antequera (M.A.S. 060.032)



2.4.15

Torcal de Antequera

Antonio Pulido Bosch
Ángela Vallejos Izquierdo

Desarrollo del modelado kárstico en el Torcal

La masa de agua 060.032 (Torcal de Antequera), situada al sur de la ciudad de Antequera, ocupa una extensión aproximada de 35 km^2. Se trata de un importante relieve calizo donde se desarrolla uno de los paisajes naturales más impresionantes, con un modelado exokárstico, en el que se combina una compleja red kárstica desmantelada, junto con dolinas, lapiaces y simas. Fue declarado Paraje Natural el 18 de Julio de 1989 (Ley 2/1989 de la Comunidad Autónoma de Andalucía), con lo cual se dotó a la zona de una protección especial para sus importantes valores, tanto de tipo geológico como biológico. Dentro de esta masa de agua se incluye El Torcal, en sentido estricto, y las Sierras Pelada y Chimenea. El macizo del Torcal continúa hacia el oeste con la Sierra Chimenea, donde se localiza el pico del Camorro Alto que, con sus 1.377 m, supone la mayor altitud del área. El conjunto de las Sierras de Chimenea y Torcal se alinea según una dirección aproximada E-O. En Sierra Pelada la cota máxima es de 1.190 m (Camorro de los Monteses o cerro de "Los Repetidores").

Las condiciones climáticas invernales se aproximan a las del tipo oceánico templado, con algunas heladas; mientras que el verano se caracteriza por una fuerte insolación diurna, cuyos efectos quedan algo amortiguados por los frecuentes vientos y la relativa proximidad al mar. Las precipitaciones pueden superar 1000 mm/año, aunque se estima una precipitación media anual de 860 mm para un período de 60 años. Los meses más lluviosos son noviembre y diciembre, y los más secos julio y agosto. Algunas precipitaciones se producen en forma de nieve, aunque ésta raramente se mantiene más de una semana. La evapotranspiración potencial estimada por el método de Thornthwaite supera 800 mm/año. La aplicación del método de Kessler, como método específico para estimar la infiltración en acuíferos kársticos, a la estación de Sierra Pelada, ubicada en el mismo macizo, arroja valores comprendidos entre 37 y 69 % de la precipitación, con un valor medio de 65 % para el período 1977-1985. Este valor es algo superior al obtenido comparando las entradas y las salidas para el período 1974-75/1979, que es de 51-55 %. Desde el punto de vista hidrográfico, destaca la falta total de flujo de aguas superficiales, incluso durante la época lluviosa.

El Torcal de Antequera pertenece al dominio geológico del Penibético o Subbético Interno occidental, el más interno de la Zona Externa, en el sector occidental de la Cordillera Bética. Al norte del Torcal aflora el Trías de Antequera, constituido por materiales triásicos de facies germano-andaluza, y un conjunto de formaciones postorogénicas que van desde el Mioceno hasta el Cuaternario. El macizo se encuentra rodeado por una serie de unidades geológicas de carácter flyschoide y procedencia alóctona (Flysch del Campo de Gibraltar). Más al este se encuentra la Sierra de las Cabras, correspondiente a la gran unidad paleogeográfica de la Alta Cadena, de afinidad Subbético Medio.

La serie estratigráfica de la Sierra del Torcal, de abajo a arriba, está constituida por dolomías de edad Lías Inferior, con un espesor del orden de 100 m. Sobre ellas se sitúa un tramo de calizas intraesparíticas blancas de 60 m de espesor. Le siguen calizas oolíticas y pisolíticas blancas, de edad Dogger, que constituyen uno de los tramos más representativos del macizo, con más 250 m de espesor. Sobre el tramo anterior reposan calizas nodulosas rojas, con una potencia de 150-200 m, de edad Jurásico Superior. Encima de las rocas carbonatadas hay margas y margocalizas cretácicas.

La estructura del Torcal, de manera simplificada, se describe como un pliegue en cofre, de dirección E-O, y charnela muy bien desarrollada, con estratos subhorizontales que rápidamente se verticalizan e incluso, localmente, tienden a invertirse en los flancos del pliegue. El Torcal se encuentra separado de la Sierra de las Cabras por una falla paralela a la carretera que hay hasta el Puerto de la Boca del Asno. Dentro del macizo existe una fracturación muy intensa debida a dos juegos conjugados de fracturas, de direcciones N40-60E y N110-120E; estos sistemas sufren una ligera curvatura por rotación dextrógira del conjunto, de manera que las direcciones van evolucionando hasta valores N70-80E y N130-150E, en la parte más oriental del Torcal. De las medidas en campo se constata que estas fracturas son esencialmente subverticales en El Torcal y en Sierra Pelada mientras que en la Boca del Asno y Sierra Chimenea no lo son tanto.

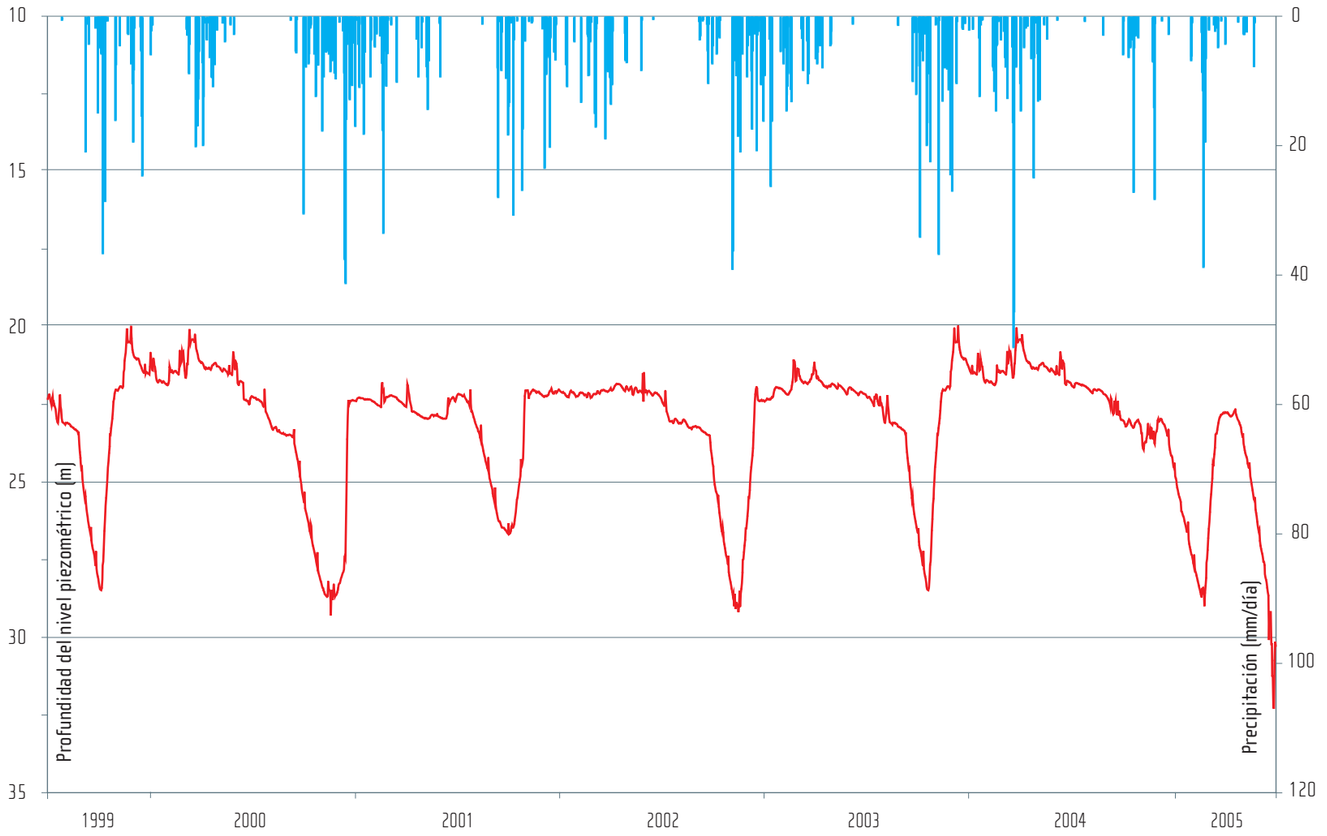
La conjunción de la litología, con cambios de composición y de propiedades mecánicas, la estructura –estratos prácticamente horizontales en amplias superficies-, la densa fracturación, la elevada pluviosidad y la gelifracción han favorecido notablemente los procesos de karstificación. Las brechas y derrubios ordenados (la forma

Cueva con el nivel piezométrico en las inmediaciones del manantial de La Villa

periglaciar más característica del entorno mediterráneo) que se reconocen en el Torcal se formaron durante periodos fríos del Cuaternario. Los lapiaces de todo tipo, desde crestas agudas a redondeadas, son muy abundantes. Hay, asimismo, algunas kamenitzas que pueden conservar agua durante cierto tiempo. En cuanto a cavidades se refiere, son numerosas, con un claro predominio de las simas sobre las cuevas o cavidades de desarrollo preferentemente horizontal. La única cavidad conocida de este último tipo se sitúa en la surgencia principal, el manantial de La Villa. Las simas están, muchas veces, ligadas a grietas o fracturas abiertas en las que prácticamente no existen evidencias de disolución. Las dolinas son muy numerosas, frecuentemente tapizadas con *terra rossa* y algunas con pequeños sumideros.

El macizo del Torcal – Sierra Chimenea constituye una masa de agua subterránea bien individualizada, con bordes sellados por materiales margosos y arcillosos correspondientes a unidades geológicas y edades diferentes. La mayor parte del agua de las precipitaciones que cae sobre el Torcal queda atrapada en la red endorreica del mismo, que actúa a modo de "embudo" para el conjunto del sistema, de manera que, prácticamente, toda la lluvia útil se transforma en infiltración. Con esta morfología de mesa, el macizo constituye una auténtica esponja y la escorrentía superficial puede considerarse inexistente, salvo en los bordes abruptos. El agua penetra en el macizo a través de las abundantes formas kársticas superficiales (lapiaz, fisuras y dolinas) y progresa, rápidamente en profundidad, hasta ciertos niveles (150 y 200 m según los datos espeleológicos).

Evolución piezométrica en el sondeo cercano al manantial de La Villa



Los sondeos mecánicos realizados en las proximidades de los manantiales de La Villa y Los Berros ponen de manifiesto que existen buenas características hidráulicas en las inmediaciones del principal punto de descarga natural. Las columnas de sondeos de investigación han mostrado la existencia de diaclasas abiertas, parcialmente tapizadas de espeleotemas. Las pruebas de bombeo efectuadas en los sondeos de explotación de La Villa indican que de ellos se puede extraer 200 L/s sin apenas deprimir el nivel piezométrico; es decir, presentan rendimientos muy elevados. La transmisividad estimada es de 60.000 m^2/día y el coeficiente de almacenamiento del 10 %. Sin embargo, en Sierra Chimenea, que está en la misma masa de agua, se han observado descensos de 13 m con caudales de bombeo de 80 L/s (sondeo de El Puntal).

La evolución del nivel del agua registrada en un sondeo de control próximo al manantial de La Villa, durante el periodo de registro de 1999 a 2005, muestra descensos del nivel comprendidos entre 4 y 8 m. El descenso comienza a producirse en junio y julio, aunque la caída más brusca del nivel suele producirse durante los meses de septiembre, octubre y noviembre. El nivel se recupera, rápidamente, un mes después de los periodos de recarga.

Manantial de La Villa

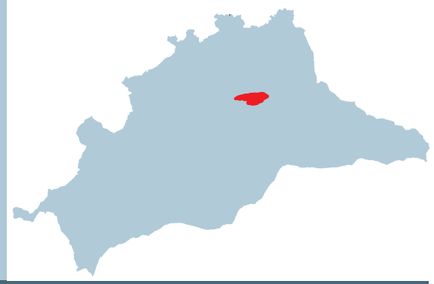
La descarga natural de esta masa de agua se realiza, casi en su totalidad (87 %), por el manantial de La Villa, y en menor medida, por los manantiales de Los Berros y del Bermejal. El primero surge a una cota de 590 m s.n.m. El segundo está situado a unos 850 m de distancia al oeste del manantial de La Villa, aproximadamente a la misma cota. El manantial del Bermejal se encuentra en el extremo occidental de Sierra Chimenea, en el paraje del mismo nombre, a una cota aproximada de 560 m s.n.m., es decir, 30 m más baja que los anteriores. El caudal del manantial de La Villa varía entre 2000 L/s y cero en períodos de sequía, con un caudal medio de 425 L/s (según datos del IGME). Esta surgencia es objeto de regulación mediante dos sondeos, aunque sólo suele estar funcionando uno de ellos, que bombea unos 12.000 m^3/día. Cuando el nivel piezométrico en el sondeo de La Villa se encuentra a 23,75 m de profundidad, se produce descarga de agua por el manantial. La surgencia de Los Berros presenta un caudal muy inferior, entre 0 y 30 L/s. El manantial del Bermejal drena un caudal bajo (8-10 L/s de valor medio), lo cual puede explicarse por la existencia de materiales de baja permeabilidad (margocalizas cretácicas y arcillas del Flysch) y por una tectónica de bloques, que afecta a la serie penibética en este sector.

Manantial del Bermejal

Mapa y cortes hidrogeológicos

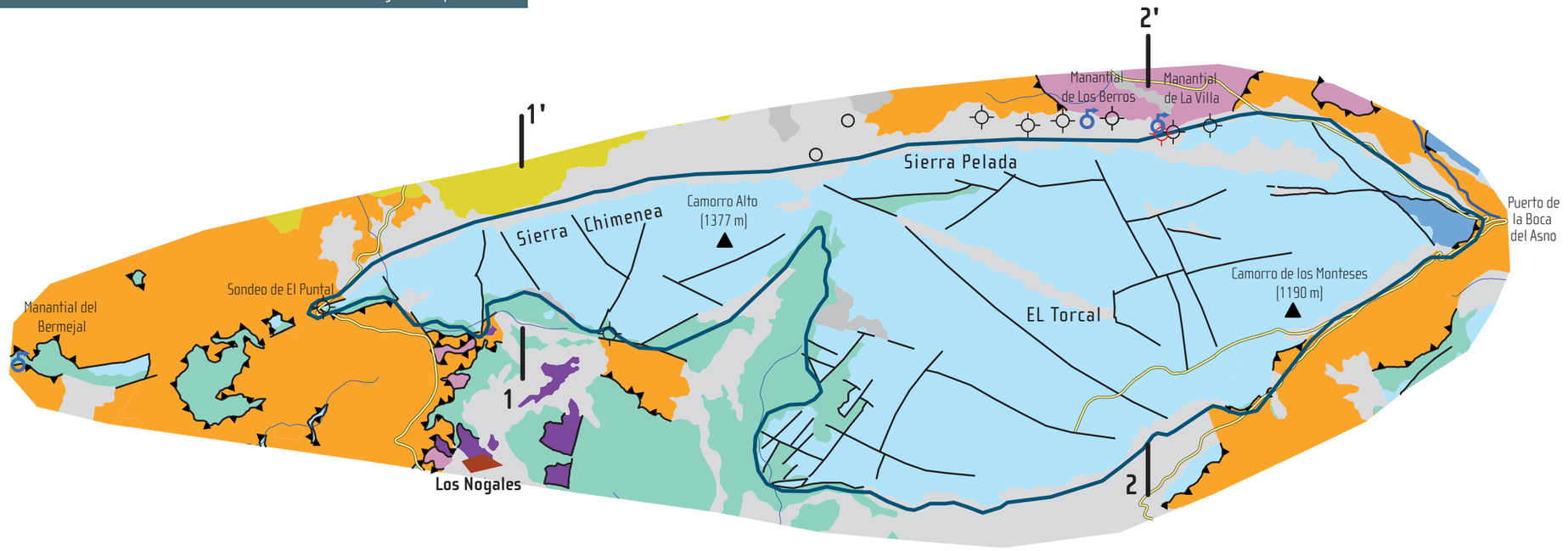
Torcal de Antequera

(M.A.S. 060.032)



Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación



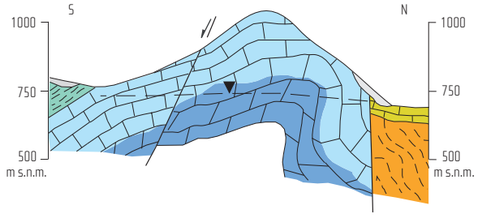
Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Red hidrográfica
- Manantial
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Núcleo de población
- Carretera

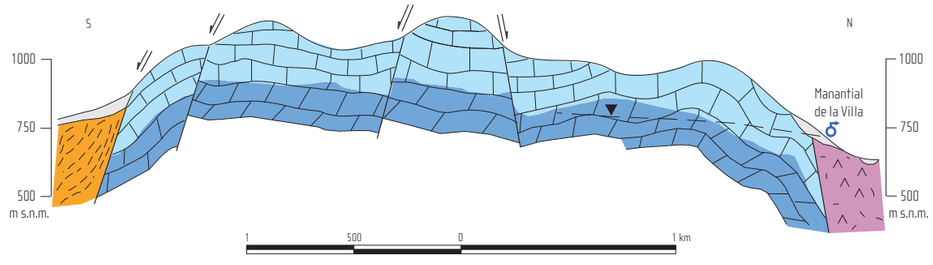
Leyenda

Edad			Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas				
Cuaternario		9 / 8	9 Aluvial	Alta
Mioceno	Superior	7	8 Indiferenciado	Media
Flysch			7 Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
Cretácico - Terciario		6	6 Arcillas y areniscas	Muy baja
Zona Subbética			5 Margocalizas y margas	Baja
Cretácico - Terciario		5	4 Calizas	Alta - Muy alta
Jurásico	Malm	4	3 Dolomías	Alta
	Dogger		2 Calizas y dolomías	Media - Alta
	Lías	3	1 Arcillas y evaporitas	Baja - Media
Triásico	Keuper	1 2		

Corte 1 - 1'



Corte 2 - 2'



2.

4.15 Torcal de Antequera

Manantial de La Villa

Sondeo de Los Berros

Sondeos de regulación del manantial de La Villa

El Torcal de Antequera se considera representativo de los sistemas acuíferos kársticos de gran memoria e inercia. Se estima que toda la masa carbonatada participa en el almacenamiento y transmisión del agua. En el Torcal, el flujo rápido está prácticamente ausente, debido a que la zona saturada está homogéneamente karstificada, con capacidad de regulación superior a 70 días. Los recursos se estiman en unos 16 hm^3/año, considerando una precipitación media de 860 mm/año y un coeficiente de infiltración medio del 55%.

La masa de agua de El Torcal es utilizada para abastecimiento urbano y para agricultura. De los sondeos existentes, en los nacimientos de La Villa y de Los Berros, se derivan unos 200 L/s para abastecimiento a Antequera (6,3 hm^3/año). La notable expansión económica y demográfica que está teniendo la ciudad de Antequera y el consiguiente aumento de la demanda de agua para abastecimiento, unido a la escasez de precipitaciones en los últimos años, han llevado a estudiar los recursos hídricos de la Sierra Chimenea. Se han realizado piezómetros en la ladera norte de la sierra (enero de 2006). De esta sierra se extraen también 0,7 hm^3/año para abastecimiento a Villanueva de la Concepción, Almogía y diseminados de la ladera sur del Torcal. Solo se utiliza agua para regar cuando emerge agua por el manantial de La Villa, pero en los ultimos años no se bombea agua con esta finalidad. La demanda de agua existente actualmente puede cubrirse a partir del acuífero, pero conviene mantener la prudencia en el crecimiento urbanístico para no aumentar la explotación de forma desproporcionada.

Con respecto a las características físico-químicas de las aguas del Torcal, presentan facies bicarbonatada cálcica y contenido total salino inferior a 600 mg/L. La temperatura del agua, en general, es muy estable, en torno a 14 ^{0}C. Localmente se pueden registrar influencias de los materiales salinos triásicos infrayacentes. En definitiva, se trata de aguas de buena calidad para abastecimiento urbano, pues los parámetros fisicoquímicos cumplen los requerimientos de la Reglamentación Técnico-Sanitaria vigente. Para preservar esta buena calidad convendría definir perímetros de protección de las captaciones aprovechadas para abastecimiento urbano, dada la elevada vulnerabilidad a la contaminación del acuífero del Torcal.

2.4.16

Sierra de las Cabras - Camarolos - San Jorge (M.A.S. 060.031)

2.4.16

Sierra de las Cabras - Camarolos - San Jorge

Matías Mudarra Martínez
Bartolomé Andreo Navarro

Sierra de Camarolos y, al fondo, Sierra de las Cabras

La masa de agua está formada, de oeste a este, por las Sierras de las Cabras, Camarolos, Jobo, Gorda, San Jorge y Tres Mogotes y por otras de menores dimensiones (Sierras del Co y Prieta). Inmediatamente al norte de la masa de agua queda la Sierra de Buitreras. Estas montañas se encuentran en la parte central de la provincia de Málaga, donde configuran un relieve escarpado denominado Alta Cadena. Tiene una forma alargada según una dirección aproximada E-O, ligeramente arqueada en planta, y se extiende desde el Torcal de Antequera hasta el Puerto de los Alazores, formando parte de los términos municipales de Antequera, Villanueva del Rosario y Villanueva del Trabuco, al norte, y de Casabermeja, Colmenar y Riogordo, al sur. Es el área de cabecera de los Ríos Guadalhorce, Guadalmedina y Vélez, todos pertenecientes a la Cuenca Hidrográfica del Sur. La altitud de este conjunto de relieves varía entre 600 m en los bordes y 1640 m en el pico Chamizo.

El clima es de tipo mediterráneo templado, con veranos secos y cálidos e inviernos relativamente suaves y húmedos. La temperatura media anual es de 17 ºC, aunque se pueden registrar valores superiores a 30 ºC en verano y cercanos a 0 ºC en los días más fríos del invierno. Las lluvias se producen principalmente en invierno y primavera, asociadas a vientos húmedos procedentes del oeste-suroeste. La precipitación media anual es del orden de 700 mm, con una distribución muy marcada por la altitud: menos de 600 mm en las partes bajas y hasta 1000 mm en las zonas altas.

Desde el punto de vista geológico la Alta Cadena corresponde a la transición entre los dominios paleogeográficos del Subbético Interno y Subbético Medio, ambos pertenecientes a la Zona Externa de la Cordillera Bética. La serie estratigráfica está formada, en la base, por arcillas rojas con evaporitas de edad Triásico Superior. Encima existe una formación dolomítica de hasta 200 de m de espesor, con algunas intercalaciones de rocas volcánicas, y calizas oolíticas masivas (más de 200 m de potencia), ambas de edad Lías Inferior-Medio. Sobre las rocas carbonatadas anteriores afloran materiales de edad Lías Superior a Malm: margocalizas, calizas nodulosas y margas con niveles radiolaríticos. A techo, hay margas y margocalizas de edad Cretácico a Paleógeno. Al norte y al sur de la Alta Cadena afloran materiales arcillosos pertenecientes al Complejo del Flysch del Campo de Gibraltar. También al sur hay un pequeño aferramiento de rocas atribuidas al Complejo Maláguide (unidad de Robledo), que está incluido en la masa de agua, pero se encuentra aislado del resto de afloramientos de la misma.

Cabecera del Río Guadalhorce. Sierra de San Jorge

Manantial del Arroyo Cerezo (Villanueva del Rosario)

La estructura general muestra una fuerte deformación debido a la posición tectónica del área entre las Zonas Interna y Externa de la Cordillera Bética. Hay pliegues apretados, de dirección E-O, y cabalgamientos o escamas tectónicas con vergencia hacia el sur. Alguna de estas escamas tiene en su base arcillas y evaporitas triásicas que han actuado como nivel de despegue. El Complejo del Flysch ha cabalgado desde el sur, por encima de la unidad tectónica de la Alta Cadena, hasta colocarse en el borde norte de la misma. Todo el conjunto está limitado, al norte y al sur, por fallas de desgarre que posteriormente han funcionado como fallas normales, levantando la Alta Cadena. Además, existen fallas transversales que han compartimentado la unidad y han configurado el relieve actual.

En las sierras de la Alta Cadena existe un modelado kárstico relativamente desarrollado en superficie. Hay abundantes lapiaces y algunas dolinas, sobre todo, en las áreas altas donde los estratos se encuentran menos inclinados. El desarrollo de estas formas de disolución es mayor en las zonas donde afloran las calizas que donde hay dolomías. No se conocen cuevas importantes, aunque existen varias cavidades de pequeñas dimensiones.

La masa de agua subterránea de las Sierras de las Cabras, Camarolos y San Jorge ocupa una superficie aproximada de 70 km² y está formada por las dolomías y calizas del Jurásico Inferior, materiales permeables por fracturación y karstificación. Los límites quedan definidos por las fallas de borde, que ponen en contacto los afloramientos carbonatados con las arcillas del Flysch y, en el extremo sureste, también con las arcillas del Triásico. El contacto entre los materiales permeables y de baja permeabilidad está a cota más baja en el borde norte, por lo que en él se encuentran los manantiales importantes.

En la parte occidental de la masa de agua se encuentra la Sierra de las Cabras, cuyo drenaje se produce por los manantiales de Alhajuela, Parrilla y Yedra, en la vertiente norte, y el de Villanueva de Cauche, en la vertiente sur. En todos los casos se trata de surgencias con caudales de varios L/s. Las variaciones de caudal y de mineralización del agua, en general, son de baja magnitud, lo cual denota un bajo grado de karstificación funcional, acorde con la abundancia de afloramientos dolomíticos en el área de recarga y el escaso grado de desarrollo del modelado exokárstico. El manantial de La Yedra constituye la excepción, pues presenta un funcionamiento más de tipo kárstico, probablemente porque drena los afloramientos calizos de la sierra.

Al norte del Puerto de las Pedrizas se encuentra un pequeño afloramiento de materiales carbonatados, el de Buitreras, fuera de los límites de la masa de agua. Se drena por el manantial de Los Chorrillos, de pequeño caudal y régimen intermitente, situado en el borde septentrional de dicho macizo.

Estación de aforos en el Arroyo Cerezo

2.

4.16 Sierra de las Cabras - Camarolos - San Jorge

Las Sierras de Camarolos y Gorda se drenan, principalmente, por los manantiales del Parroso (término municipal de Antequera) y Arroyo Cerezo (Villanueva del Rosario) y por otros de menor importancia situados en el municipio de Villanueva del Trabuco (La Pita, Eulogio-Las Chocillas). El manantial del Parroso (caudal medio estimado 60 L/s) presenta un régimen de descarga inercial, con respuestas lentas a las precipitaciones. El agua de esta surgencia experimenta diluciones poco acusadas en periodos de crecida, desciende de 400 a 350 µS/cm. Sin embargo, el manantial de Arroyo Cerezo presenta variaciones de caudal desde 0 L/s hasta 1300 L/s ante las precipitaciones y la composición química del agua sufre diluciones bruscas, de 400 a 240 µS/cm. Cerca de este manantial hay sondeos en los que se registran variaciones rápidas e importantes del nivel piezométrico durante épocas de recarga. Todos estos datos demuestran la existencia de drenaje kárstico bien desarrollado en el sector de acuífero drenado por el Arroyo Cerezo.

Manantial de La Yedra

Fuente de los Cien Caños

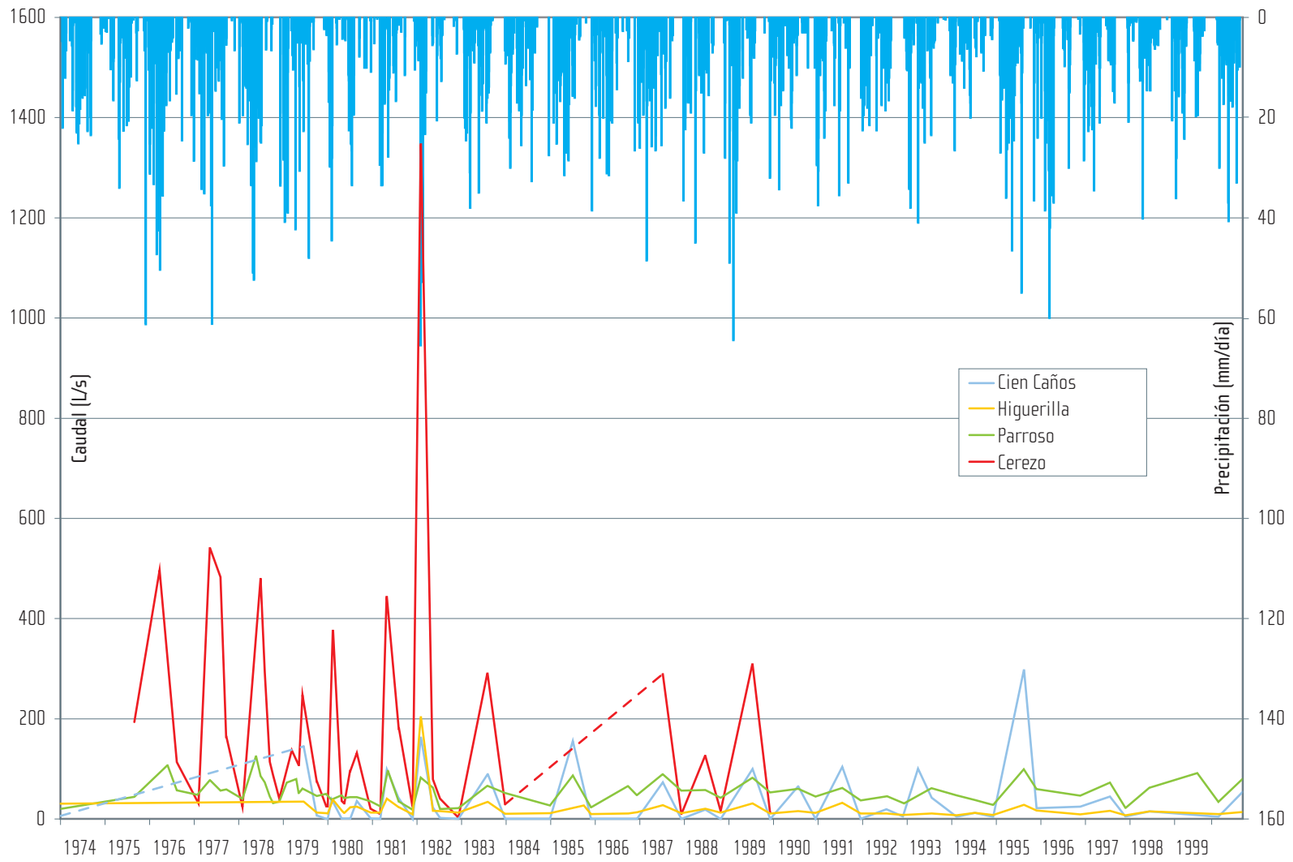
En el paraje de Eulogio-Las Chocillas (Villanueva del Trabuco) se encuentra el manantial de El Loco, que se agota en verano y tiene un caudal alto en época de recarga, y otro (El Bajo) a cota inferior, cuyo caudal en estiaje puede ser del orden de 2 L/s. A cota más alta que la surgencia de El Loco, al lado de un establo para ganado, hay un punto de surgencia (*trop plein*) que funciona sólo en época de importantes lluvias, cuando el agua entra rápidamente en el acuífero a través de la red de conductos kársticos y no puede ser desaguada con facilidad. El manantial de La Pita, en estiaje, tiene un caudal de 4 L/s, aunque en aguas altas aumenta bastante y aparecen surgencias a cota más elevada (*trop plein*).

En el borde meridional se encuentran la Sierra del Co, también formada por calizas y dolomías jurásicas, y la Sierra Prieta, constituida por margocalizas cretácicas. El drenaje de la primera se produce en el manantial del cortijo del Charcón, situado en el borde oeste. Sierra Prieta se drena por el manantial del cortijo del Realengo que se encuentra en su borde sur.

El sector oriental de la masa de agua está formado por las Sierras de San Jorge y Tres Mogotes, cuyo drenaje subterráneo se produce por los manantiales de la cabecera del Río Guadalhorce, sobre todo, por la Fuente de los Cien Caños o de El Higueral (caudal medio de 35 L/s) y por el manantial de La Higuerilla (20 L/s). Se dispone de varios datos de caudal por año, desde 1981, pero no corresponden a un registro continuo, por lo que hay una parte importante del caudal (épocas de crecida) no medida. El manantial de El Higueral muestra grandes aumentos de caudal en respuesta a las precipitaciones, lo que sugiere un cierto grado de karstificación funcional del sistema en ese sector. Sin embargo, en el manantial de La Higuerilla las variaciones de caudal son menos pronunciadas.

La masa de agua subterránea de las Sierras de las Cabras, Camarolos y San Jorge, está formada por acuíferos libres, cuya recarga se origina de la infiltración de una parte de las precipitaciones, a través de las abundantes fisuras y de las formas exokársticas desarrolladas sobre las calizas y dolomías. Los recursos medios del conjunto de la masa de agua se estiman en 20 hm^3/año. Las salidas se producen, básicamente, por los manantiales, que se aprovechan para abastecimiento urbano y para regadío de fincas cercanas. En concreto, los manantiales de La Higuerilla, Las Chocillas-El Loco y La Pita se utilizan para abastecimiento a Villanueva del Trabuco. Por su parte el nacimiento del Arroyo Cerezo se aprovecha para abastecimiento a Villanueva del Rosario.

Hidrogramas de manantiales



Mapa y cortes hidrogeológicos

Sierra de las Cabras - Camarolos - San Jorge

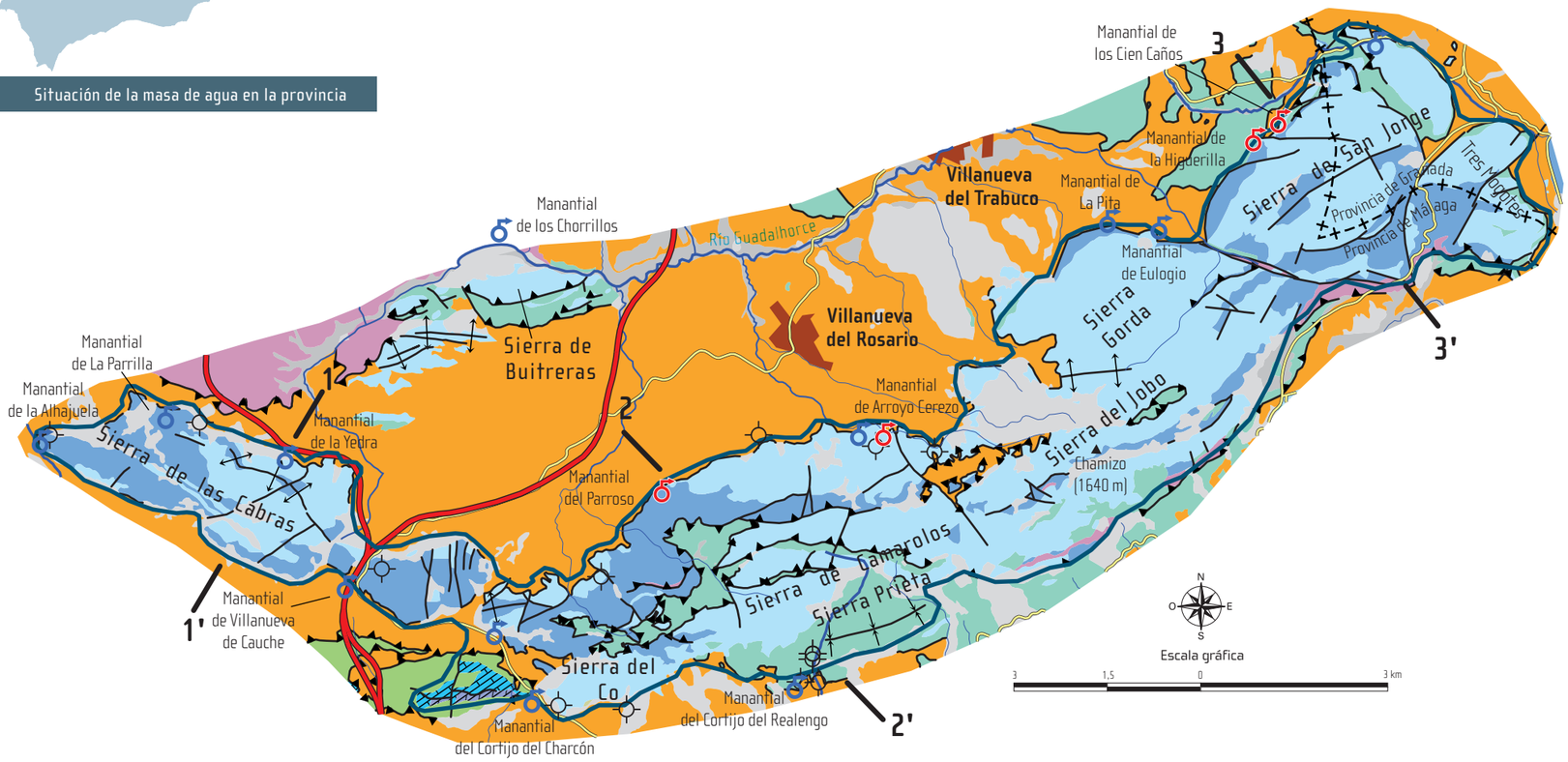
(M.A.S. 060.031)

Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación

Leyenda

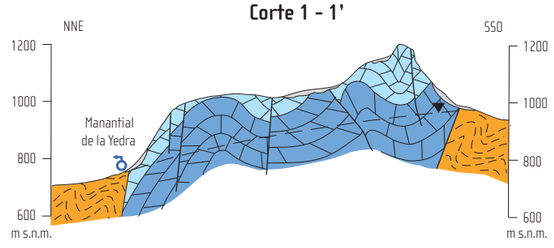
Edad			Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas				
Cuaternario		10 / 9	10 Aluvial	Alta
			9 Indiferenciado	Media
Flysch				
Cretácico - Terciario		8	8 Arcillas y areniscas	Muy baja
			7 Margocalizas y margas	Baja
Zona Subbética			6 Calizas	Alta - Muy alta
Cretácico - Terciario		7	5 Dolomías	Alta
Jurásico	Dogger-Malm	7	4 Arcillas y evaporitas	Baja - Media
	Lías Superior	7	3 Margocalizas, margas y arcillas	Baja
	Lías Inf.-Med.	6 / 5	2 Calizas	Alta
Triásico	Keuper	4	1 Dolomías	Alta
Complejo Maláguide				
Cretácico - Terciario		3		
Jurásico		2		
Triásico		1		



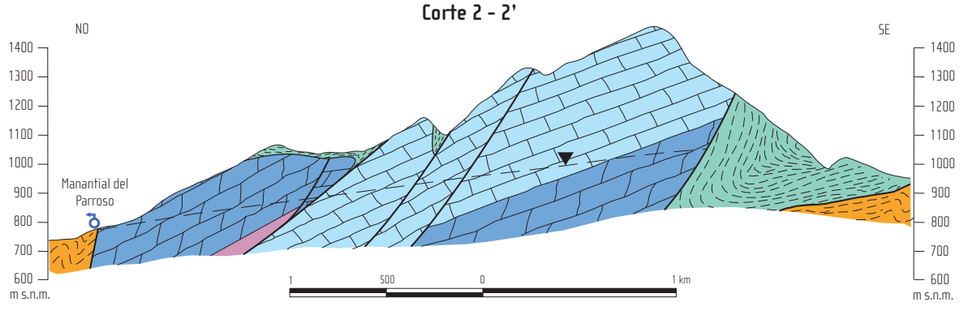
Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Límite de provincia
- Red hidrográfica
- Manantial
- Manantial con hidrograma adjunto
- Sondeo, piezómetro
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Anticlinal
- Sinclinal
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera

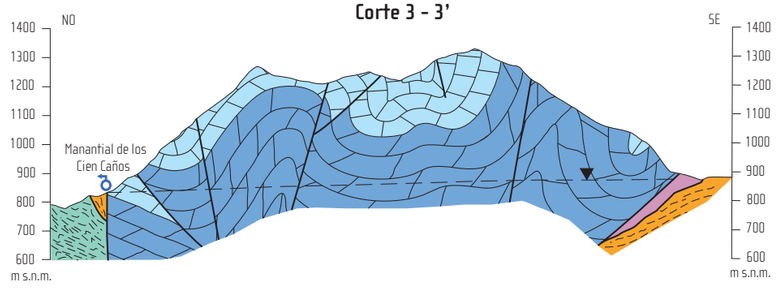
Corte 1 - 1'



Corte 2 - 2'



Corte 3 - 3'



2.

4.16 Sierra de las Cabras - Camarolos - San Jorge

La explotación mediante bombeos es escasa, inferior a 1 hm^3/año. Únicamente se bombea agua para abastecimiento de Colmenar y Casabermeja en un sondeo situado al oeste del manantial del Parroso y de otro sondeo perforado en el nacimiento de Arroyo Cerezo para abastecer a Villanueva del Rosario en estiaje, cuando el manantial queda prácticamente agotado. Recientemente se ha realizado una nueva perforación en el paraje de El Hondonero (al E del manatial), para completar el abastecimiento de este último municipio, ante el aumento de la demanda generado por el campo de golf y viviendas asociadas que se están llevando a cabo en el municipio.

El régimen de aprovechamiento actual del agua está supeditado a la disponibilidad de caudal en los manantiales, parámetro que no es nada estable teniendo en cuenta el contexto climático en el que se encuentra la masa de agua y la respuesta kárstica de varias sugerencias importantes. El aprovechamiento actual de los recursos del sistema, dentro de los municipios de Villanueva del Trabuco y Villanueva del Rosario, se podría intentar mejorar con la regulación de algunos manantiales mediante sondeos, aunque conviene tener presente que el régimen kárstico de varios manantiales dificulta dicha regulación. Este hecho y la escasez de emplazamientos adecuados, desde el punto de vista hidrogeológico, reducen las posibilidades de éxito de las perforaciones, tal como ha ocurrido con varias de ellas efectuadas en Sierra Gorda (han resultado negativas) y en las cercanías del manantial del Arroyo Cerezo (con rendimiento relativamente bajo). Además, cualquier bombeo que se llevara a cabo en el acuífero tendría repercusión en los caudales de los manantiales y, consecuentemente, en las zonas recreativas existentes en sus inmediaciones (Fuente de los Cien Caños, Arroyo del Cerezal). Todos estos aspectos deben ser tenidos en cuenta antes de llevar a cabo proyectos urbanísticos que impliquen un aumento desproporcionado de la demanda de agua.

La calidad química de las aguas es buena, tanto para consumo humano como para regadío. Son de facies bicarbonatada cálcica y mineralización ligera, con valores de conductividad eléctrica generalmente inferiores a 400 µS/cm. Los contenidos en sulfatos más elevados se detectan en el agua del manantial del Parroso, aproximadamente 80 mg/L. Por lo que respecta a la concentración en nitratos es inferior a 15 mg/L.

La masa de agua subterránea de las Sierras de las Cabras, Camarolos y San Jorge presenta un grado alto de vulnerabilidad a la contaminación en buena parte de la misma, lo cual está en consonancia con la respuesta rápida y el comportamiento kárstico de varios manantiales importantes. Encima de las calizas y dolomías hay pocas actividades potencialmente contaminantes, por lo que el riesgo de contaminación actualmente es bajo, en conjunto. No obstante, el camping de Villanueva del Trabuco y las concentraciones de ganado que hay en Sierra Gorda, junto con una cantera y los posibles vertidos contaminantes en la autovía A-44 a su paso por el Puerto de Las Pedrizas, constituyen ejemplos de actividades que es preciso controlar para evitar la contaminación de las aguas subterráneas. La posibilidad de contaminación aumenta cuando los peligros se sitúan en lugares próximos a los manantiales o en zonas de recarga preferencial de los acuíferos, como ocurre en algunos sitios donde el ganado se concentra en zonas de escasa pendiente o ligeramente endorreicas. Cuando hay elevada vulnerabilidad y existen peligros de contaminación, entonces, el riesgo de la contaminación es elevado. Hasta el momento no se han registrado eventos de contaminación del agua subterránea y los únicos indicios de la actividad ganadera son bajas concentraciones de nitratos en el agua de algunos manantiales, muy inferiores a los límites establecidos por la legislación para abastecimiento urbano. Para preservar la calidad del agua convendría definir perímetros de protección de las captaciones destinadas al abastecimiento humano.

Manantial de La Higuerilla. Depósito de abastecimiento a Villanueva del Trabuco

Manantial de La Alhajuela (Sierra de las Cabras)

Manantial del Parroso

2.4.17

Sierra de Gibalto - Arroyo Marín (M.A.S. 060.028)

2.4.17

Sierra de Gibalto - Arroyo Marín

Luis Linares Girela

Esta masa de agua subterránea se encuentra en el extremo noreste de la provincia de Málaga y en ella se incluyen dos relieves diferentes: el macizo montañoso de la Sierra de Gibalto y, al oeste, los llanos que constituyen la cabecera del Arroyo Marín, tributario del Guadalhorce por la margen derecha.

Panorámica del borde sureste de la Sierra de Gibalto

La Sierra de Gibalto tiene una altitud máxima de 1.486 m, un área de 12 km^2 (2,3 km^2 en la provincia de Málaga) y es compartida con la vecina provincia de Granada. En esta sierra se encuentra la divisoria hidrográfica entre las Cuencas Hidrográficas del Guadalquivir y del Sur: la parte nororiental vierte al Río Genil, mientras que la occidental lo hace al Guadalhorce. Al noroeste de la Sierra de Gibalto y a ambos lados de la autovía Málaga-Granada existe una altiplanicie surcada por varios arroyos (el de la Fuente de La Lana, Vivarenas y Fuente del Fresno) que recogen el agua de escorrentía así como la procedente de numerosas zanjas y acequias construidas para favorecer el drenaje de lo que, en otro tiempo geológico, debió ser un área endorreica. Los tres cauces confluyen en el Arroyo Marín, poco antes de que éste se encaje en los materiales triásicos que afloran al sur de Archidona.

La precipitación en la Sierra de Gibalto alcanza un valor medio anual del orden de 920 mm, de acuerdo con los datos de la cercana estación pluviométrica del Puerto de Los Alazores. Para la caracterización termométrica de esta sierra, la estación más representativa es la de Alfarnate, donde la temperatura media anual es de unos 13ºC. En los llanos de La Lana-Vivarena-Fuente del Fresno, la precipitación media anual se puede establecer a partir de la estación de Villanueva del Trabuco, donde se registran 650 mm, y la temperatura media anual es de 14,3ºC, según los datos de la estación termométrica de Villanueva del Rosario. La evapotranspiración potencial media anual de los respectivos sectores es de 710 mm (estación de Alfarnate) y 750 mm (estación de Villanueva del Rosario).

Desde el punto de vista geológico, en la Sierra de Gibalto se encuentran representadas varias series estratigráficas del dominio Subbético, muy parecidas entre sí. Todas presentan en la base una formación de dolomías y calizas del Lías Inferior-Medio y, sobre ella, el Lías Superior, representado por margas y margocalizas en la parte occidental de la sierra y calizas con sílex en la oriental. El Jurásico Medio y Superior está formado por radiolaritas y margocalizas en el sector occidental y calizas nodulosas y calizas con sílex en el oriental. Tanto en el Lías Superior como en el Jurásico Medio-Superior, los espesores son mayores en la parte occidental. Las series estratigráficas terminan con margas y margocalizas del Cretácico. Por lo que respecta a la estructura geológica, la Sierra de Gibalto está formada por pliegues de dirección NNE-SSO y vergentes hacia al noroeste, los cuales han sido deformados por una sucesión de escamas tectónicas, con la misma orientación y vergencia, que implican a los términos estratigráficos anteriormente descritos. Todo el conjunto de pliegues y cabalgamientos ha sido afectado por fracturas transversales más recientes.

Al noroeste de la Sierra de Gibalto, en las proximidades de la aldea de Mariandana, hay un afloramiento de dolomías, localmente calizas, atribuidas al Lías Inferior, que alcanzan una superficie de 1,3 km^2 y presentan un espesor de al menos 150 m en su extremo más oriental, según datos de sondeos. Existe un estrechamiento en la parte central del afloramiento que casi lo divide en dos partes, pero no llega a perderse totalmente la continuidad entre las dolomías de ambos sectores. Estas rocas carbonatadas se encuentran encima de las arcillas con evaporitas del Trías, que las limitan por el norte. Al sur, hay depósitos de ladera y aluviales (brechas, arenas y cantos rodados con proporciones variables de arcillas y limos), discordantes sobre las rocas carbonatadas de la Sierra de Gibalto y de Mariandana, entre las cuales es probable que exista continuidad en profundidad, aunque no se observa en superficie. Los depósitos detríticos aluviales y fluviales afloran ampliamente hacia el oeste de la Sierra de Gibalto en los llanos de La Lana-Vivarenas-Fuente del Fresno, donde ocupan una superficie de 20 km^2 y se encuentran discordantes sobre las arcillas del Flysch y del Trías.

La masa de agua subterránea de la Sierra Gibalto-Arroyo Marín esta formada por acuíferos carbonatados, calizas y dolomías jurásicas de la Sierra de Gibalto, y acuíferos detríticos (materiales cuaternarios de La Lana-Vivarenas-Fuente del Fresno) entre los cuales existe continuidad hidrogeológica. Los límites de la masa quedan definidos por las arcillas del Trías y, sobre todo en el sector de la Sierra de Gibalto, por arcillas del Flysch. En esta sierra, además de la divisoria hidrográfica (de aguas superficiales), existe una divisoria hidrogeológica (de aguas subterráneas) que determina el drenaje hacia el borde oriental (provincia de Granada), donde se encuentra el manantial de El Charcón y hacia la Fuente de La Lana en el sector occidental (provincia de Málaga). La compleja estructura interna de esta sierra puede dar lugar a alguna barrera de permeabilidad, que dificulte o impida totalmente la conexión hidrogeológica entre éstos u otros sectores de la masa de agua.

Los manantiales de El Charcón, a cota 740 m s.n.m., y La Lana, a cota 780 m s.n.m., constituyen los elementos fundamentales de la descarga natural visible de la Sierra de Gibalto. También merece destacarse, en las proximidades de este último manantial, la existencia de un *trop-plein* que funciona tras episodios de recarga excepcionales. Los dos manantiales tienen un caudal medio muy similar (26-27 L/s, de acuerdo con el historial de aforos que de ellos se dispone), aunque el régimen de descarga de El Charcón es más irregular que el de La Lana, hecho que podría estar relacionado el mayor desarrollo de la karstificación funcional del sector de la sierra drenado por el primero. El manantial de La Lana se encuentra afectado en la actualidad por los bombeos en los sondeos cercanos, perforados para abastecimiento a Villanueva del Trabuco.

Manantial de La Lana

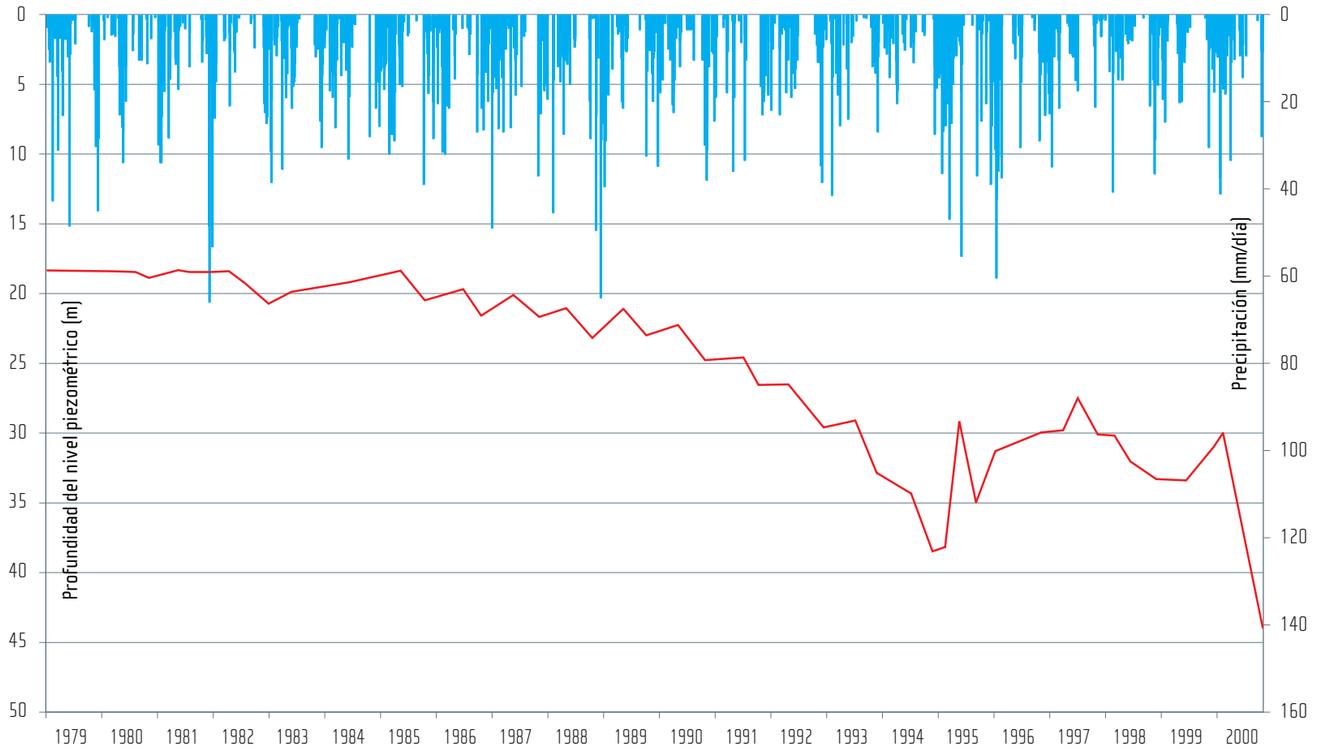
Borde sur de la Sierra de Gibalto

Afloramientos carbonatados de Mariandana. Al fondo, la Sierra de Gibalto

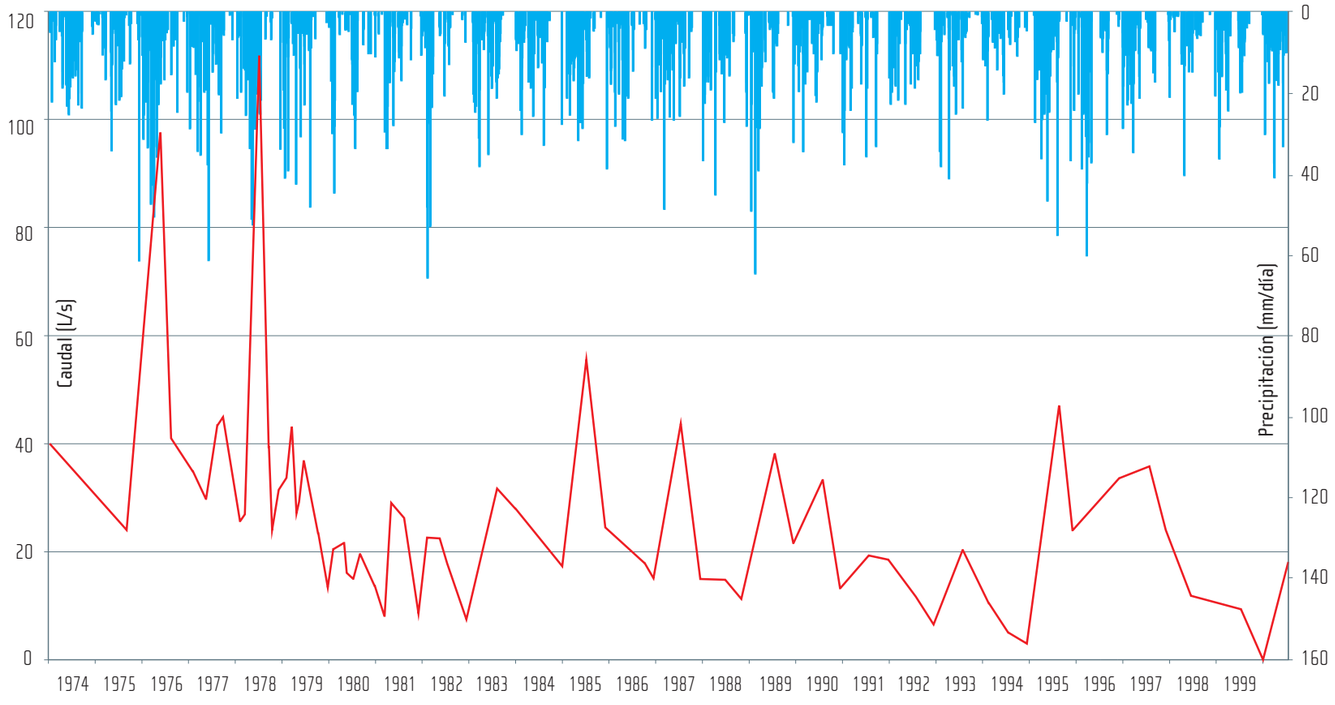
2.

4.17 Sierra de Gibalto - Arroyo Marín

Evolución piezométrica 1742-7-0035



Hidrograma del manantial de La Lana



La alimentación de los acuíferos de la Sierra de Gibalto se produce a partir de la infiltración de las precipitaciones y es del orden de 3,8 hm^3/año. La descarga visible a través de los manantiales de La Lana y El Charcón es de 1,7 hm^3/año. La explotación por medio de captaciones se realiza mediante varios sondeos para abastecimiento a Villanueva del Trabuco, en los cuales se extraen aproximadamente 0,2 hm^3/año. Para equilibrar este balance es preciso admitir una descarga subterránea, no visible, de 1,9 hm^3/año hacia el acuífero aluvial del Arroyo de la Fuente de La Lana y hacia el afloramiento carbonatado de Mariandana. En este último hay varios sondeos, uno de los cuales se utiliza para abastecimiento de la aldea y el resto para regadío. El volumen total bombeado se estima en 0,7 hm^3/año, cifra notablemente superior a la que corresponde por infiltración de las precipitaciones (0,3 hm^3/año), a pesar de lo cual no se observan evidencias de sobreexplotación. Los sondeos perforados en la parte oriental de este afloramiento presentan una cota piezométrica muy similar a la de la Fuente de La Lana, como también son muy parecidas las características químicas de sus aguas. Sin embargo, en el sector occidental, la cota de la superficie piezométrica es ligeramente más alta y el agua de los sondeos presenta una mayor salinidad, debido a la proximidad de los materiales arcilloso-evaporíticos del Trías.

Perforación de un sondeo en el entorno de la Fuente de La Lana

Mapa y corte hidrogeológico

Sierra de Gibalto - Arroyo Marín

(M.A.S. 060.028)

Situación de la masa de agua en la provincia

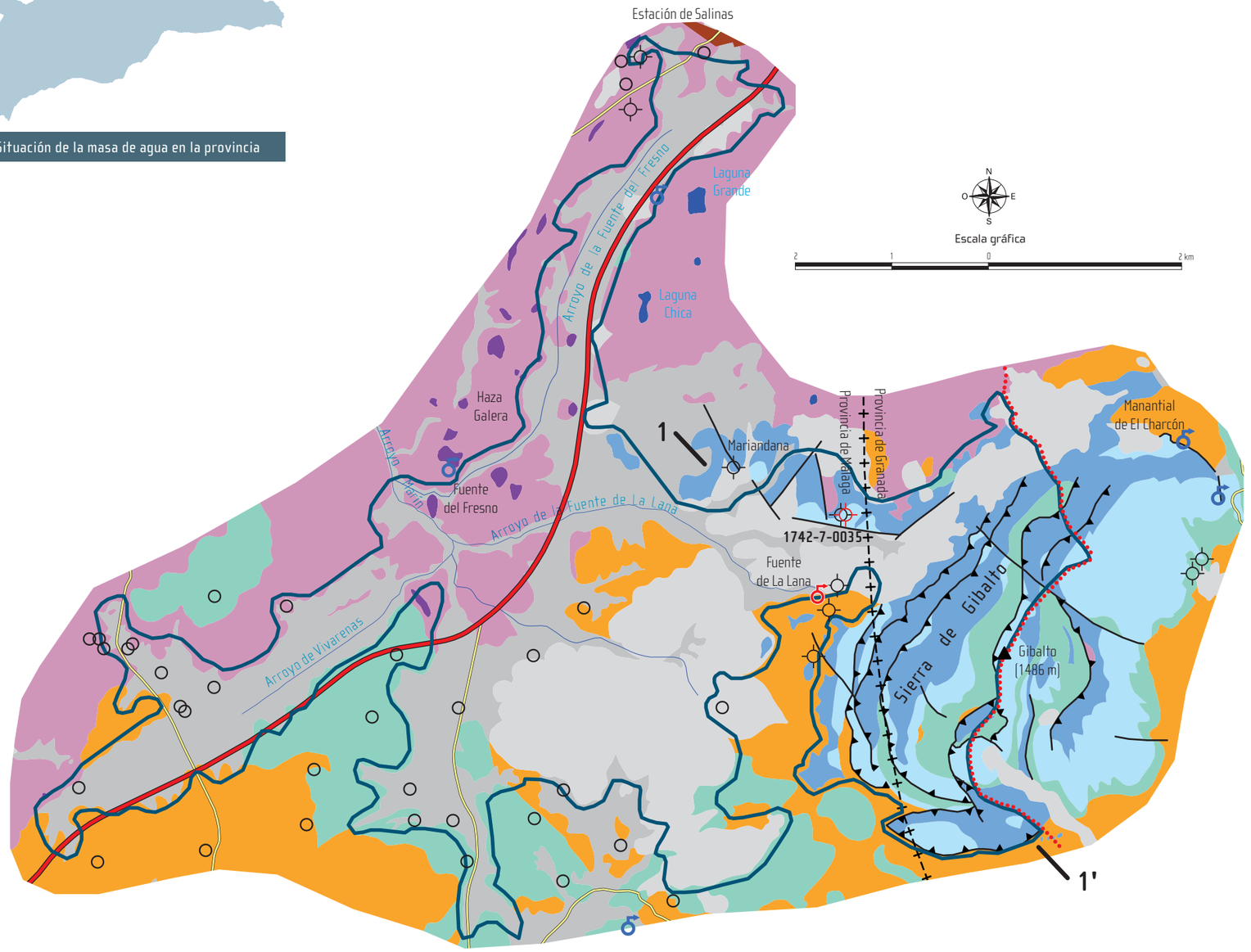
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación

Leyenda

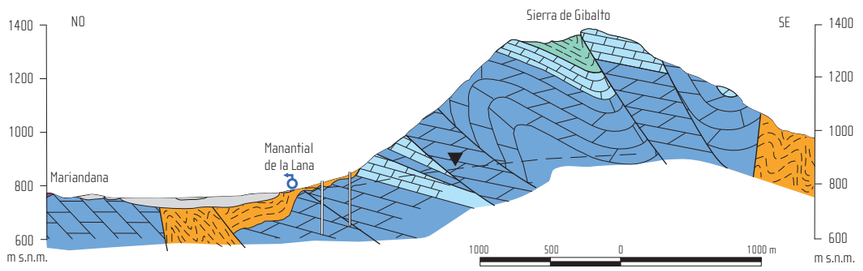
Edad			Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas				
Cuaternario		8 / 7	8 Aluvial	Alta
			7 Indiferenciado	Media
Flysch				
Cretácico - Terciario		6	6 Arcillas y areniscas	Muy baja
			5 Margocalizas y margas	Baja
Zona Subbética			4 Calizas	Alta - Muy alta
Cretácico - Terciario		5	3 Dolomías	Alta
Jurásico	Dogger-Malm		2 Calizas y dolomías	Media - Alta
	Lías Superior		1 Arcillas y evaporitas	Baja - Media
	Lías Inf.-Med.	4 / 3		
Triásico	Keuper	1 / 2		

Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- +-+ Límite de provincia
- Aguas superficiales (laguna)
- Red hidrográfica
- Límite de cuencas hidrográficas
- Manantial
- Manantial con hidrograma adjunto
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera



Corte 1 - 1'



4.17 Sierra de Gibalto - Arroyo Marín

Fuente del Fresno

Captación de agua en la surgencia de Haza Galera

Estos datos llevan a pensar en la existencia de discontinuidad hidrogeológica entre ambos sectores del afloramiento carbonatado de Mariandana. El hecho de que en el sector oriental no se detecte agua de elevada salinidad se explicaría por la proximidad y la mejor conexión hidogeológica del mismo con la Sierra de Gibalto.

En continuidad hidrogeológica con los afloramientos carbonatados de la Sierra de Gibalto y de Mariandana se encuentra el acuífero detrítico de la Fuente de La Lana, que se extiende hacia el oeste hasta contactar con los materiales aluviales de La Vivarena-Fuente del Fresno. Al sur del Arroyo de la Fuente de La Lana, este acuífero tiene un espesor inferior al metro en algunos puntos y se encuentra topográficamente por encima del cauce que lo drena, próximo al cual existe un pequeño manantial a cota similar al de La Lana, por lo que el interés hidrogeológico es bastante limitado en este sector. Sin embargo, al norte del arroyo, en la vega de La Lana propiamente dicha, el acuífero presenta mayor espesor (hasta una decena de metros) y recibe alimentación subterránea de los acuíferos carbonatados sobre los que se apoya, por lo que tiene algo más de interés hidrogeológico y se explota mediante pozos, en general de gran diámetro y poca profundidad. El acuífero detrítico de La Lana descarga, de manera natural, hacia el arroyo del mismo nombre que, aguas abajo, contacta con los materiales aluviales de los Arroyos de Vivarenas y Fuente del Fresno. Estos depósitos constituyen el relleno de un área topográficamente deprimida, con dirección aproximada NE-SO que, en origen, debió ser endorreica y su génesis probablemente estuvo relacionada con la disolución y el colapso de cavidades kársticas en las evaporitas triásicas.

La alimentación del acuífero de Vivarenas-Fuente del Fresno se produce, fundamentalmente, por infiltración procedente de las precipitaciones y de la escorrentía que llega a ellos desde las áreas adyacentes. No se descarta que también pueda recibir alimentación lateral subterránea desde el aluvial del Arroyo de la Fuente de La Lana. Los recursos medios de los acuíferos aluviales se estima que son del orden de 1 hm^3/año. La descarga de estos acuíferos se produce por pequeñas surgencias (Fuente del Fresno, Haza Galera), por drenaje hacia los cauces de los arroyos, facilitado por las zanjas excavadas para evitar el anegamiento de las tierras de cultivo, y también mediante bombeos en numerosos pozos de gran diámetro, cuya profundidad es generalmente inferior a los 10 metros. El agua bombeada se aprovecha para regadío de los terrenos colindantes y, en menor medida, para abastecimiento de los caseríos diseminados del lugar (Haza Galera y Fuente del Fresno).

En relación con la calidad del agua cabe destacar que, el agua de los acuíferos carbonatados de Sierra de Gibalto y Mariandana tiene una conductividad eléctrica del orden de 400 µS/cm y es de facies bicarbonatada cálcica. En el sector de Mariandana se observa un incremento de la concentración de cloruros y sodio conforme desciende el nivel piezométrico por los bombeos, por la llegada de aguas más salinas desde los materiales triásicos adyacentes. En algunos pozos de los aluviales de Vivarenas-Fuente del Fresno se han medido valores de conductividad eléctrica que varían entre 915 y 1363 µS/cm, indicativas de un mayor grado de mineralización. La presencia de nitratos es frecuente en todos los casos, debido a las actividades agrícolas y ganaderas que se llevan a cabo sin control. La Fuente de La Lana presenta una concentración nitratos ligeramente superior al máximo admisible para abastecimiento urbano, que debe tener relación con la acumulación de estiércol y las actividades ganaderas en las inmediaciones de la surgencia. El uso de fertilizantes y biocidas para la agricultura intensiva que se desarrolla sobre los aluviales hace previsible la existencia de elementos contaminantes en sus aguas, que no deberían ser destinadas a abastecimiento humano.

Es importante señalar que la Fuente de La Lana presenta un apreciable descenso de su caudal en los últimos años, debido a los bombeos localizados en su inmediata proximidad que explotan el acuífero de la Sierra de Gibalto, y alertar sobre la posible desaparición definitiva de la surgencia, si dichas extracciones se incrementan. Por el mismo motivo, cabe esperar que disminuya la alimentación subterránea desde este macizo al aluvial de la Fuente de La Lana y la consiguiente afección a las captaciones que en él existen. Finalmente, parece oportuno insistir en la conveniencia de controlar los vertidos en los sectores próximos a las captaciones y manantiales que se destinan a abastecimiento para proteger adecuadamente la calidad del agua.

2.4.18

Sierra de Enmedio - Los Tajos (M.A.S. 060.029)

2.4.18

Sierra de Enmedio - Los Tajos

Matías Mudarra Martínez
Bartolomé Andreo Navarro

La masa de agua subterránea está formada por las Sierras del Rey, Los Tajos y de Enmedio, esta última conocida también como Sierra de Alfarnate o de Gallo-Vilo. Estas sierras se encuentran en el extremo nororiental de la provincia de Málaga, en la comarca de la Axarquía, donde conforman un conjunto de relieves muy escarpados situados al sur y este de la Alta Cadena y al oeste de la Sierra de Alhama. La altitud varía entre 500 m en las zonas más bajas del borde meridional y 1.415 m del pico Vilo. La masa de agua queda incluida dentro de los términos municipales de Alfarnate y Alfarnatejo, por el norte, y Riogordo y Periana, por el sur. Constituye el área de cabecera de los Ríos Sabar y Guaro, cuya confluencia da lugar al Río Vélez.

El clima existente en la zona es de tipo mediterráneo templado, con veranos cálidos y secos e inviernos húmedos y templados. Las lluvias se producen principalmente en invierno y primavera, asociadas a los vientos húmedos del oeste, aunque también está expuesta a los vientos marinos procedentes del sur que generan humedad y brumas. La precipitación media anual es del orden de 850 mm, con una distribución fuertemente marcada por la altitud: inferior a 600 mm en las partes bajas y hasta 1000 mm en las zonas más elevadas. La temperatura media anual es de 18ºC, aunque en verano se pueden alcanzar valores superiores a 30ºC y cercanos a 0ºC durante el invierno en las zonas altas.

Desde el punto de vista geológico, las Sierras de Enmedio y Los Tajos están incluidas en el dominio del Subbético Interno (Zona Externa de la Cordillera Bética), aunque la segunda corresponde, más concretamente, al Penibético. La serie estratigráfica de la Sierra de Enmedio comienza en el Triásico Superior con la presencia de arcillas rojas y verdes, conglomerados y niveles de dolomías claras, cuya potencia total visible es del orden de 150 m. Encima, se encuentra una formación dolomítica con niveles de margas, de 60 m de espesor y edad Lías Inferior. La serie continúa con 250 m de calizas oolíticas del Jurásico Inferior y Medio, calizas margosas rojas, calizas con sílex y silexitas. A techo, hay margas y margocalizas de edad Jurásico Superior a Oligoceno-Mioceno. Por lo que se refiere a la serie estratigráfica de Los Tajos, está formada, de muro a techo, por 150 m de dolomías de edad Lías Inferior. Continúa con 100 m calizas oolíticas de edad Lías-Dogger y calizas nodulosas del Malm. Sobre la serie carbonatada anterior afloran margas y margocalizas blancas y rojas de edad Cretácico-Terciario. Además de los materiales antes descritos, tanto al norte como al sur de las Sierras de Los Tajos y de Enmedio, afloran materiales arcillosos pertenecientes al Complejo del Flysch.

Alfarnatejo y la Sierra de Enmedio

La estructura geológica de la Sierra de Enmedio consiste en un domo anticlinal de dirección NO-SE, cuyo eje presenta una ligera inmersión hacia el SE, razón por la cual en la parte NO de la sierra afloran las arcillas versicolores triásicas. En Los Tajos, la estructura geológica está muy tectonizada, ya que ha sido expuesta a una fuerte deformación en el área de contacto entre las Zonas Interna y Externa de la Cordillera Bética. El Complejo del Flysch ha cabalgado desde el sur, por encima de las unidades tectónicas de Los Tajos y Gallo-Vilo, hasta situarse en el borde norte de estas sierras. Posteriormente, ambas unidades tectónicas, junto con la de la Alta Cadena, han sido afectadas por retrocabalgamientos de vergencia sur-sureste. En la zona existen fallas de desgarre como la que limita por el sur la Sierra de Enmedio y Los Tajos o la que pasa al norte de la Alta Cadena, las cuales han funcionado después como fallas normales que han levantado más las sierras. Además, hay fallas tardías, de diferentes tipos y orientaciones, que compartimentan y complican la estructura de dichas unidades geológicas.

En estas sierras existe un modelado kárstico relativamente desarrollado en superficie. Hay amplios campos de lapiaz, sobre todo en afloramientos calizos de las áreas altas desprovistas de suelo. No obstante, las formas kársticas son más abundantes en la Sierra del Rey, donde las calizas del Penibético presentan un modelado parecido al del Torcal de Antequera.

La masa de agua subterránea Sierra de Enmedio-Los Tajos está formada por las calizas y dolomías jurásicas, que afloran en una superficie cercana a 20 km² y son permeables por fracturación y karstificación. Los límites de la masa de agua están definidos por las fallas de borde, que ponen en contacto las rocas carbonatadas con las arcillas del Flysch. Este contacto se encuentra a cota más baja en el borde meridional, razón por la cual se encuentran en él los manantiales más importantes. La geometría de la masa de agua está condicionada por la estructura geológica, particularmente por el núcleo anticlinal de arcillas triásicas, que individualiza dos sectores hidrogeológicos correspondientes a los flancos del pliegue.

El flanco norte de la Sierra de Enmedio se drena por el manantial del Batán (situado a 640 m s.n.m.) y por el manantial del Cortijo de Zapata (710 m s.n.m.). El primero tiene un caudal medio de 70 L/s, con escasas variaciones ante las precipitaciones. El agua de esta surgencia experimenta diluciones poco acusadas en periodos de crecida, pues la conductividad eléctrica desciende de 330 a 300 µS/cm. Sin embargo, los manantiales de Zapata, con un caudal medio de 35 L/s, tienen un régimen de descarga más variable que el anterior y funcionan principalmente en épocas de recarga, como surgencias *trop plein* del Batán. Por tanto, en el sector septentrional de la Sierra de Enmedio existe karstificación funcional, al menos en algunas zonas, aunque las respuestas del manantial principal, el que está situado a cota más baja, demuestren una cierta capacidad de amortiguación de las entradas de la lluvia, probablemente porque la karstificación disminuya en profundidad. También puede tener influencia en el régimen de descarga del manantial del Batán el hecho de que no se encuentre directamente en el borde de las calizas sino en depósitos del pie de monte adyacente, los cuales parecen ser algo menos permeables.

Panorámica, desde el oeste, de Los Tajos

Vertiente meridional de la Sierra de Enmedio

2.

4.18 Sierra de Enmedio - Los Tajos

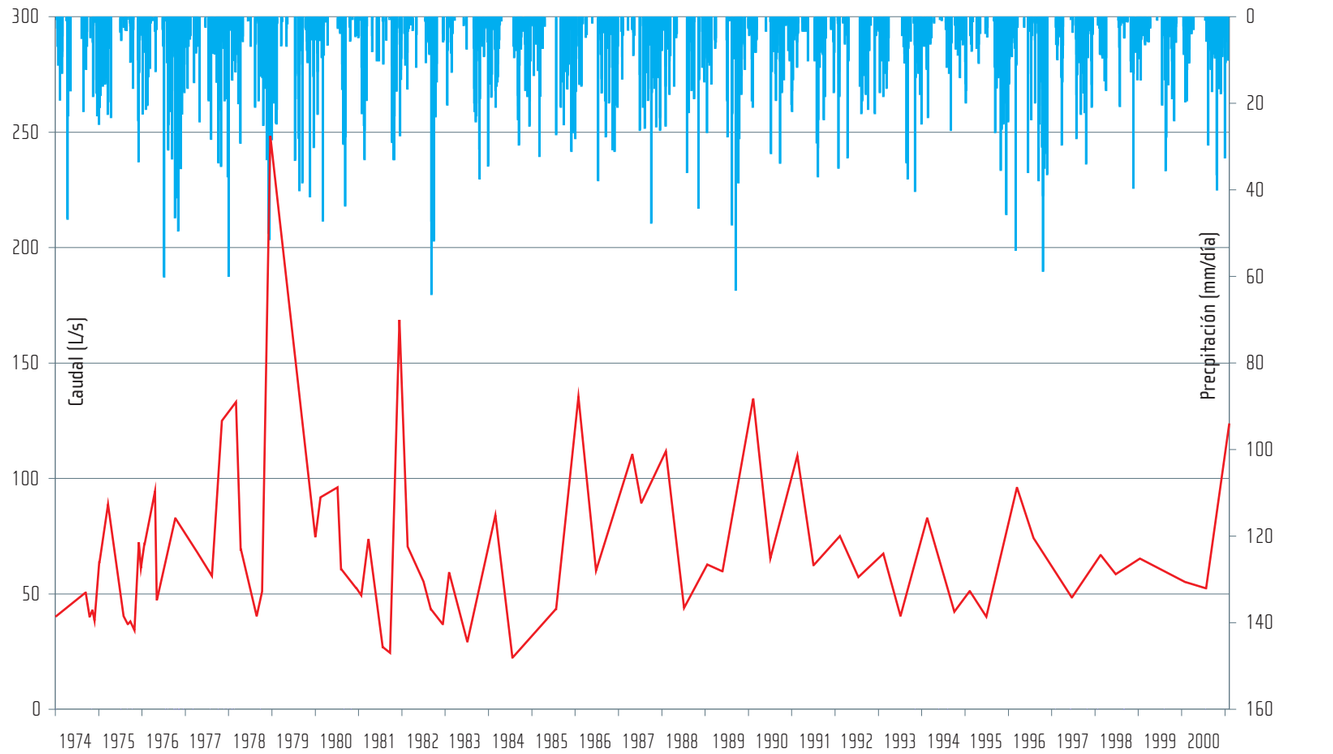
Sondeo de abastecimiento a Alfarnate

En el sector meridional de la masa de agua se encuentra la Sierra de Los Tajos, cuyo drenaje subterráneo se produce por el manantial de Auta, situado a la cota 610 m s.n.m., con un caudal medio de 130 L/s. Este caudal es superior al que corresponde por la infiltración de agua de lluvia sobre la superficie de afloramientos permeables que hay en la Sierra de Los Tajos (3 km^2). Dada la proximidad geológica de la Sierra de Enmedio, parece razonable admitir que el flanco meridional de la misma esté conectado hidrogeológicamente con la Sierra de Los Tajos. Al oeste de esta última se encuentra el pequeño afloramiento de la Sierra del Rey, drenado por el manantial del Rey, a la cota 635 m s.n.m. y con un caudal medio de varios L/s. Los dos manantiales anteriores presentan variaciones significativas ante las precipitaciones, pero el de Auta es el que registra las más importantes, tanto en lo que se refiere al aumento de caudal (desde 15 L/s hasta 1000 L/s) como a la dilución que experimenta el agua durante la crecida (la conductividad eléctrica desciende de 650 a 580 µS/cm). Estos datos sugieren un cierto grado de karstificación funcional del acuífero drenado por el manantial de Auta. En el cauce del Río Sabar hay otra surgencia, a cota 525 m s.n.m., que también está relacionada con la descarga del sector meridional de la masa de agua Sierra de Enmedio-Los Tajos, con un caudal medio del orden de varias decenas de L/s, aunque con grandes variaciones estacionales. El agua de este manantial presenta una conductividad eléctrica de 1600 µS/cm, debido a sus elevados contenidos en sulfatos y calcio, y una temperatura de 20 ºC. El manantial de los Baños de Vilo (510 m s.n.m.), en el extremo suroriental de la Sierra de Enmedio, drena un caudal de varios L/s de agua sulfurosa y 19 ºC de temperatura, lo que hace pensar, al igual que ocurre con el Río Sabar, que se trata de aguas que han circulado a relativa profundidad dentro del acuífero.

La masa de agua de la Sierra de Enmedio y Los Tajos está formada por acuíferos libres, donde la recarga procede de la infiltración de parte del agua de lluvia a través de las fisuras y formas exocársticas desarrolladas sobre las calizas y dolomías. Los recursos medios del conjunto de la masa de agua se han estimado, aproximadamente, en 8 hm^3/año. Las salidas se producen, principalmente, por los manantiales, que se aprovechan para el abastecimiento urbano y para el regadío de terrenos de cultivo. Así, el manantial de Auta se utiliza para abastecimiento del municipio de Riogordo. Por su parte, el manantial del Batán se aprovecha para abastecimiento de algunas pedanías de Periana. También hay salidas por bombeos que se estima pueden ser del orden de 1 hm^3/año, aunque conviene llevar a cabo un control preciso de las explotaciones para conocer realmente el volumen extraído. El agua bombeada en la Sierra de Enmedio se utiliza para el abastecimiento urbano de Alfarnate y Alfarnatejo, y para regadío en el primer municipio. En el sector de Alfarnate, el nivel piezométrico ha descendido en los últimos años como consecuencia de la puesta en funcionamiento de sondeos para regadío, por lo que parece adecuado mantener una explotación controlada y sostenible de los recursos hídricos del acuífero en dicho sector.

Manantial del Batán

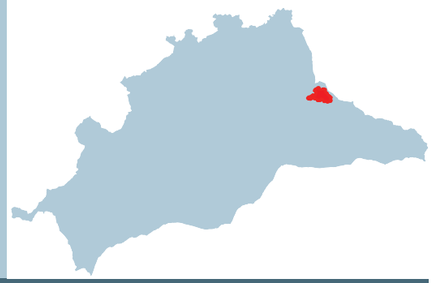
Hidrograma del manantial del Batán



Mapa y cortes hidrogeológicos

Sierra de Enmedio - Los Tajos

(M.A.S. 060.029)

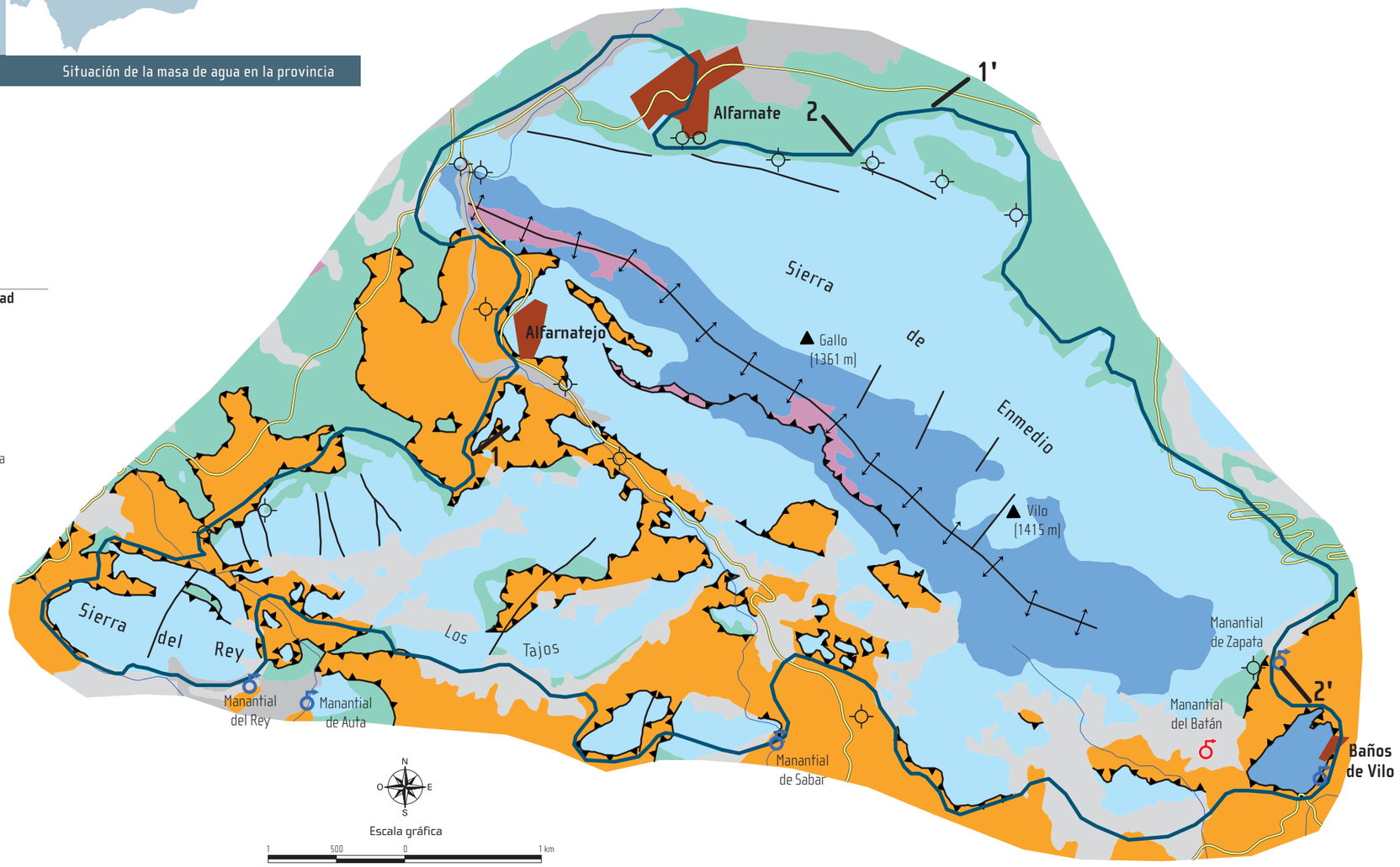


Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación

Leyenda

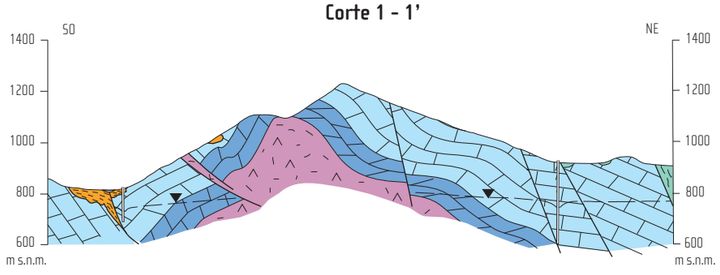
Edad			Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas				
Cuaternario		7	7 Aluvial	Alta
		6	6 Indiferenciado	Media
Flysch				
Cretácico - Terciario		5	5 Arcillas y areniscas	Muy baja
Zona Subbética				
Cretácico - Terciario		4	4 Margocalizas y margas	Baja
Jurásico	Dogger-Malm		3 Calizas	Alta - Muy alta
	Lías Superior	3	2 Dolomías	Alta
	Lías Inf.-Med	2	1 Arcillas	Baja - Media
Triásico	Keuper	1		



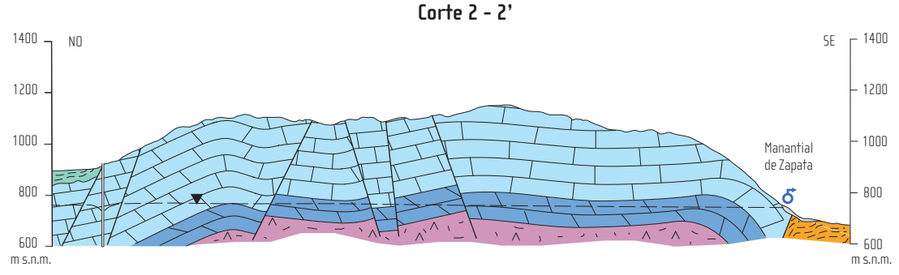
Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Red hidrográfica
- Manantial
- Manantial con hidrograma adjunto
- Sondeo, piezómetro
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Núcleo de población
- Carretera

Corte 1 - 1'



Corte 2 - 2'



2.

4.18 Sierra de Enmedio - Los Tajos

El agua subterránea de la Sierra de Enmedio-Los Tajos es de buena calidad para abastecimiento urbano y para regadío. Presentan una facies hidroquímica de tipo bicarbonatada cálcica y una mineralización relativamente baja, con valores de conductividad eléctrica generalmente inferiores a 650 µS/cm. Los contenidos en sulfatos más elevados se detectan en el agua del manantial del Auta, aproximadamente 110 mg/L. Por lo que respecta a la concentración en nitratos, el valor más elevado se detecta en los manantiales de Auta y del Rey, en ambos casos inferior a 15 mg/L. El agua de los manantiales de Sabar y Baños de Vilo no es de buena calidad para consumo humano pero gracias a su carácter termomineral son apropiadas para uso terapéutico o recreativo. Son de facies clorurada-sulfatada sódica y mineralización media, con valores de conductividad eléctrica del orden de 2000 µS/cm. Estas aguas contienen gas sulfhídrico disuelto que les da un tono azulado y un olor característico a "huevos podridos".

La masa de agua subterránea de las Sierras de Alfarnate y Los Tajos presenta un grado moderado-alto de vulnerabilidad a la contaminación, de acuerdo con la respuesta rápida y el comportamiento kárstico de algunos manantiales importantes.

Manantial del Rey

Panorámica de la Sierra del Rey-Los Tajos y situación de los manantiales de Auta y del Rey. Al fondo, el vértice Chamizo (Alta Cadena)

Sin embargo, el riesgo de contaminación es bajo porque hay pocas actividades potencialmente contaminantes encima de las calizas y dolomías. Ahora bien, las concentraciones de ganado que hay en algunos lugares de la Sierra de Enmedio y al sur de Los Tajos, el cultivo intensivo de parcelas agrícolas cercanas a los materiales acuíferos o a los propios sondeos de Alfarnate y Alfarnatejo, constituyen ejemplos de actividades que es preciso controlar para evitar la contaminación de las aguas subterráneas. Hasta el momento no se han registrado eventos de contaminación del agua subterránea pero los contenidos en nitratos del agua de los manantiales de Auta y del Rey, aunque inferiores a los límites establecidos por la legislación para consumo humano, llevan a recomendar la delimitación de perímetros de protección para evitar el deterioro de la buena calidad del agua.

Manantial de Auta

2.4.19

Sierra Gorda - Polje de Zafarraya (M.A.S. 060.025)

2.4.19

Sierra Gorda - Polje de Zafarraya

Manuel López Chicano

En el extremo nororiental de la provincia de Málaga se encuentra la Sierra de Alhama, cuya continuación hacia el norte es la Sierra Gorda de Loja (provincia de Granada). Ambas constituyen un macizo montañoso con un rango de altitudes comprendido entre 450 y casi 1700 m y una extensión total de 300 km^2. Al ENE de la Sierra de Alhama se extiende la depresión cerrada del polje de Zafarraya, también en la provincia de Granada, con altitudes que varían entre 880 y 1000 m y una superficie del orden de 25 km^2.

El macizo de Sierra de Alhama-Sierra Gorda se encuentra entre las Cuencas Hidrográficas Guadalquivir y del Sur. Los únicos cursos de agua permanentes son los que se generan en el extremo septentrional de Sierra Gorda, en las proximidades de Loja, como es el caso de Riofrío. En el sector meridional tiene importancia el Río Guaro, tributario del Río Vélez, cuyo funcionamiento hidrológico está ligado principalmente al drenaje de la Sierra de Alhama. La cuenca endorreica de Zafarraya, incluida administrativamente en la Cuenca Sur, corresponde, en su mayor parte, a la cuenca hidrográfica del Arroyo de la Madre, cuya escorrentía superficial termina infiltrándose en sumideros kársticos localizados, principalmente, en el extremo occidental del polje. Este sector es susceptible de sufrir inundaciones de varios meses de duración en los años más húmedos. Desde el año 1992 existe un azud y un túnel de trasvase desde el Arroyo de la Madre hacia la cuenca del Río Guaro o Vélez, cuyo funcionamiento se limita teóricamente a las épocas de riesgo de inundación.

Sector occidental de la Sierra de Alhama

Polje de Zafarraya inundado

La precipitación media anual en Sierra Gorda-Sierra de Alhama varía entre 500 mm en las partes más bajas y 1000 mm en las zonas más altas. En el conjunto del macizo, el valor medio representativo de la precipitación es 800 mm/año. No obstante, la variabilidad interanual de las precipitaciones es grande, de manera que, las lluvias caidas en un año muy húmedo pueden triplicar a las correspondientes a un año muy seco. La temperatura media anual está comprendida entre 12 y 17ºC; el primer dato se registra, lógicamente, en las áreas de mayor altitud. Los correspondientes valores de evapotranspiración potencial son: 900 mm y menos de 700 mm. La evapotranspiración real está comprendida entre 500 mm y algo más de 600 mm (entre el 40 y el 60 % de la precipitación). La lluvia útil que se genera en los macizos carbonatados de Sierra Gorda y Sierra de Alhama genera infiltración y no tiene relevancia la escorrentía superficial, excepto en la cuenca vertiente al polje de Zafarraya.

Desde el punto de vista geológico, Sierra de Alhama y Sierra Gorda se localizan en el dominio Subbético, dentro de la Zona Externa de la Cordillera Bética, aunque muy próximas al contacto con la Zona Interna (Dorsal Bética y Complejo Alpujárride) y con implicaciones de materiales del Flysch del corredor Colmenar-Periana. Se distinguen dos unidades tectónicas y estratigráficas principales: unidad de Sierra Gorda y unidad de Zafarraya. La primera aflora en los sectores central, septentrional y oriental del macizo montañoso, mientras que la segunda lo hace al sur y suroeste. Ambas unidades se caracterizan por presentar una potente serie de materiales calizos y dolomíticos de edad Jurásico Inferior que descansan sobre materiales arcilloso-evaporíticos del Triásico, los cuales no afloran en superficie. Encima de los materiales carbonatados anteriores hay calizas nodulosas o calizas con sílex, de edad Jurásico Medio y Superior, con un espesor muy reducido respecto a los infrayacentes. La serie termina con una potente formación de margas y margocalizas del Cretácico.

En la depresión tectónica de Zafarraya hay sedimentos neógeno-cuaternarios (postorogénicos), cuya serie estratigráfica está formada, en la base, por conglomerados cementados y calcarenitas bioclásticas, con una potencia que puede alcanzar varias decenas metros. Encima hay una sucesión, de hasta 150 m de espesor, de lutitas ocres y margas azuladas con algunos niveles de calcarenitas bioclásticas intercalados. Por último, se observan sedimentos aluviales cuaternarios, asociados a la red de drenaje actual, y arcillas de descalcificación.

En la Sierra de Alhama, al norte de la aldea de Guaro, la estructura geológica de la unidad de Zafarraya responde a un anticlinorio vergente hacia el suroeste, con su flanco sur invertido y afectado por una falla inversa de gran ángulo. El anticlinorio también está afectado por una gran falla normal, con componente en dirección, situada en el borde sur del polje de Zafarraya (falla de Ventas de Zafarraya). Por lo que se refiere a la unidad de Sierra Gorda, presenta una estructura en domo anticlinal alargado en dirección N-S, producto de la interferencia de dos sistemas distintos de pliegues, ligados también a fallas inversas y fallas de salto en dirección. En ambas sierras existen abundantes fallas, generalmente de tipo normal y con planos verticalizados, y un denso diaclasado.

La gran extensión de materiales carbonatados y su pureza en carbonato cálcico, las abundantes precipitaciones y la intensa fisuración de las rocas han propiciado la disolución de éstas y la formación de un paisaje kárstico. En Sierra Gorda, el relieve aplanado en la parte alta ha permitido el desarrollo de formas del modelado kárstico a todas las escalas, tanto superficiales (lapiaz, dolinas, uvalas, poljes y paleopoljes) como subterráneas (simas), todo ello en un contexto montañoso desprovisto de vegetación y suelos, donde alternan áreas aplanadas y relieves cónicos residuales.

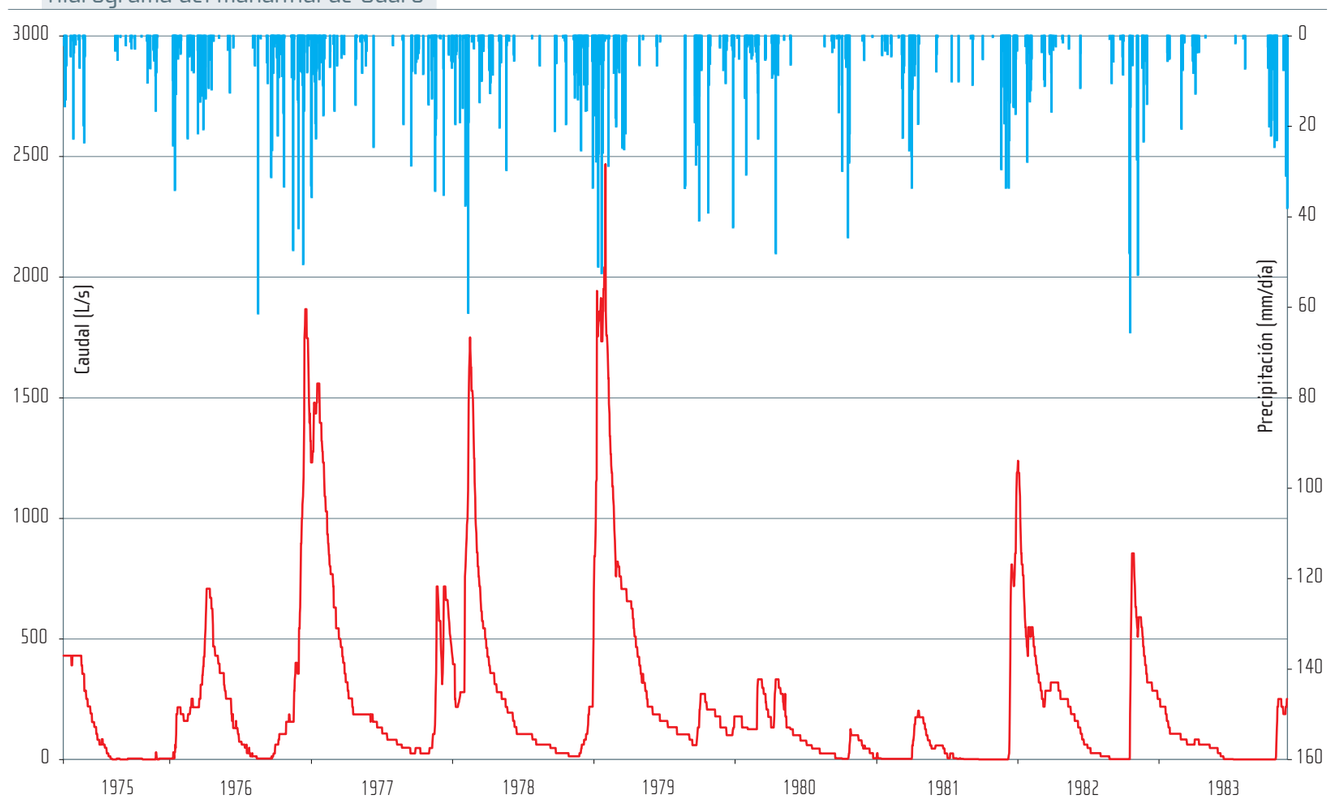
La masa de agua de Sierra Gorda-Polje de Zafarraya (060.025) está constituida por los materiales carbonatados que afloran en la Sierra de Alhama y en la parte meridional de Sierra Gorda, con espesores mínimos de unos 500 m y una superficie total de 100 km^2 (13 km^2 en la provincia de Málaga). El relleno detrítico aluvial del polje de Zafarraya, con espesor máximo de 60 m y extensión de 25 km^2, también forma parte de la masa de agua, pues, en determinados sectores, se encuentra en conexión hidráulica con los materiales carbonatados anteriores. Al norte y este, los límites de la masa de agua son de carácter permeable, coinciden con la divisoria hidrográfica entre las cuencas vertientes al Río Guadalquivir y al polje de Zafarraya (Cuenca Sur), que se encuentra en rocas carbonatadas permeables. Hacia el oeste y suroeste, el borde impermeable está constituido por materiales arcillosos del Flysch del Complejo Colmenar-Periana, sobre los cuales se superpone tectónicamente la unidad de Zafarraya. El borde sureste está jalonado por materiales metapelíticos de baja permeabilidad que garantizan la desconexión hidrogeológica con la Sierra Tejeda.

Vertiente meridional de la Sierra de Alhama y aldea de Guaro, donde se encuentra el manantial homónimo

4.19 Sierra Gorda - Polje de Zafarraya

Manantial de Guaro en crecida

Hidrograma del manantial de Guaro



Galería de Guaro en aguas altas

Estos límites son los definidos por el Ministerio de Medio Ambiente y son los que se señalan en la figura adjunta, aunque no tienen justificación hidrogeológica, porque el acuífero de Sierra Gorda tiene continuidad hacia el norte y, además, incluyen materiales acuíferos pertenecientes a otra masa de agua (Sierra Tejeda). Tampoco tienen justificación hidrográfica, porque la divisoria de aguas superficiales no está bien trazada, y no incluyen toda la cuenca vertiente al polje de Zafarraya.

La base impermeable, en la mayor parte de la masa de agua, debe estar constituida por materiales arcilloso-evaporíticos del Triásico. El acuífero detrítico del polje de Zafarraya se superpone directamente sobre los materiales carbonatados jurásicos en el sector oriental de la depresión. En el sector central y occidental se intercalan entre ambos otros de baja permeabilidad cretácicos o miocenos, que pueden alcanzar espesores máximos del orden de 200 m; no obstante, en los bordes del polje, los materiales detríticos contactan con los carbonatos y existe conexión hidrogeológica entre ambos.

Tanto el acuífero aluvial del polje de Zafarraya como el carbonatado de Sierra Gorda-Sierra de Alhama constituyen acuíferos fundamentalmente libres. A partir de los datos de piezometría disponibles, se observa que el entorno del polje de Zafarraya constituye una área de recarga importante de la masa de agua subterránea, tanto por existir aquí un máximo pluviométrico como por la recarga lateral oculta que tiene lugar desde el acuífero detrítico al acuífero carbonatado (aunque la situación puede invertirse excepcionalmente en épocas de precipitaciones muy abundantes) y la recarga indirecta desde la red fluvial. Los niveles piezométricos más altos en el acuífero carbonatado se observan en la parte oriental del polje de Zafarraya (900 m s.n.m.). En este sector se establece un flujo hacia el oeste, con gradiente relativamente elevado (2,5 %), que probablemente está condicionado por la recarga natural procedente de la infiltración del Arroyo de la Madre a su entrada en el polje. En la parte occidental del polje existe un umbral piezométrico que actúa de divisoria hidrogeológica entre el sector septentrional de la masa de agua subterránea, drenado por los manantiales próximos a Loja (gradiente medio en torno a 1.3 %), y el sector meridional drenado por el manantial de Guaro (gradiente medio del 2.2 %). En este sector se han observado fluctuaciones espectaculares del nivel piezométrico (ascensos de hasta 150 m en 3 días) que tienen repercusiones en la ocurrencia de las inundaciones del polje al desaparecer completamente la zona vadosa del acuífero carbonatado. Estas variaciones están estrechamente ligadas a la recarga pluviométrica, lo que indica la existencia de importantes conductos kársticos de alta transmisividad y baja capacidad de almacenamiento. De hecho, el manantial de Guaro presenta una gran irregularidad en los caudales, con puntas superiores a 2 m^3/s y periodos de completo secado. Estas características son indicativas de una mayor karstificación funcional en su área de alimentación y de su comportamiento como manantial tipo *trop plein* u *overflow*.

Mapa y corte hidrogeológico

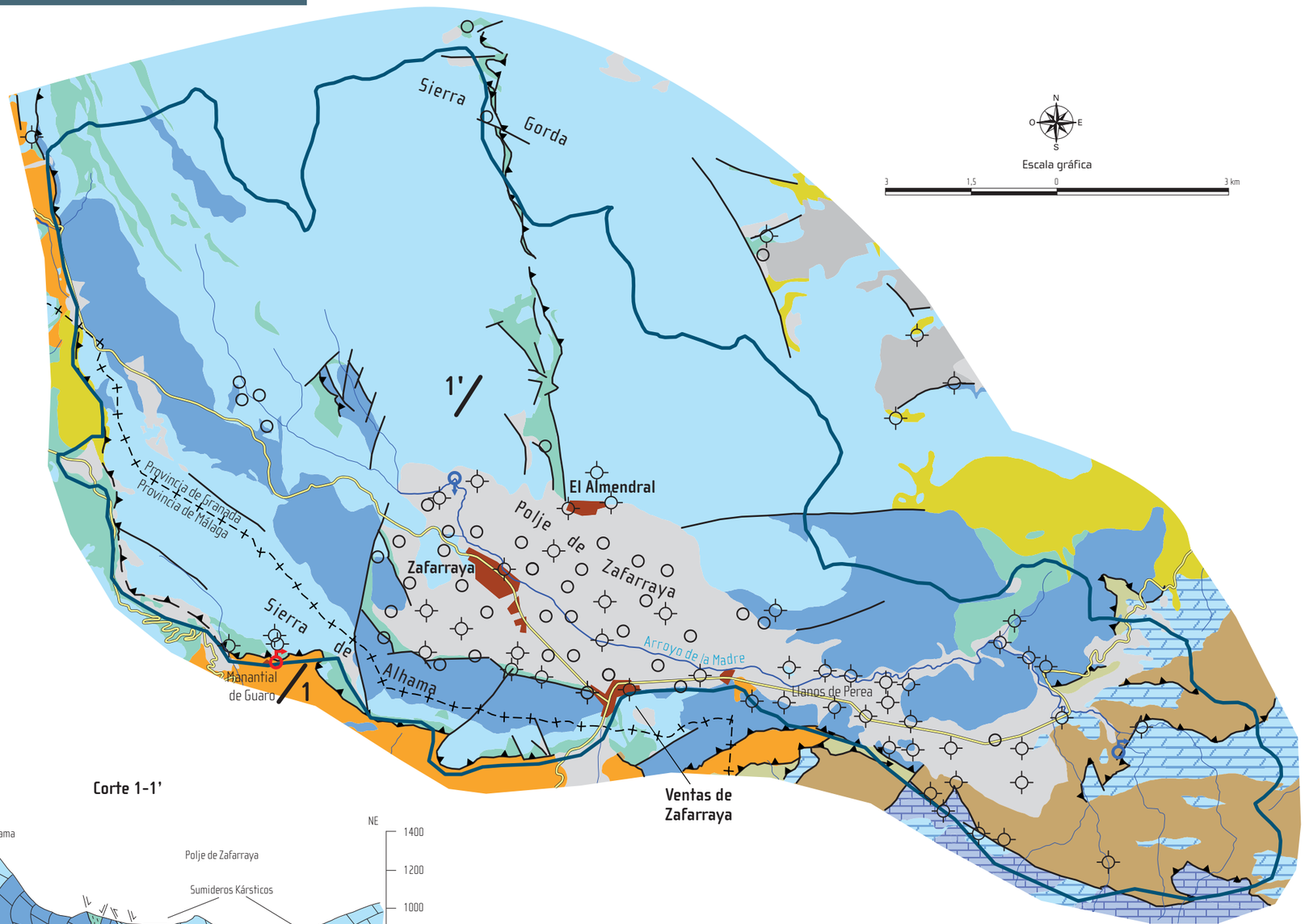
Sierra Gorda - Polje de Zafarraya

(M.A.S. 060.025)

Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA — Instituto Geológico y Minero de España

málaga.es diputación



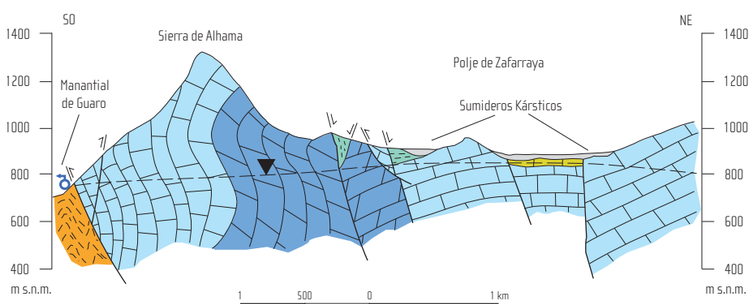
Leyenda

Edad			Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas				
Cuaternario	11	10	11 Aluvial con arcillas de descalcificación	Media - Alta
Mioceno	9		10 Indiferenciado	Media
			9 Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
Flysch			8 Arcillas y areniscas	Muy baja
Cretácico - Terciario	8		7 Margocalizas y margas	Baja
Zona Subbética			6 Calizas	Alta - Muy alta
Cretácico - Terciario	7		5 Dolomías	Alta
Jurásico: Dogger-Malm	7		4 Conglomerados, areniscas y arcillas Filitas, pizarras y calizas alabeadas	Baja
Jurásico: Lías Superior	7		3 Mármoles calizos con calcoesquistos	Alta
Jurásico: Lías Inf.-Med.	6	5	2 Mármoles dolomíticos	Alta
Complejo Maláguide			1 Gneises, esquistos y filitas	Baja
Paleozóico-Triásico Inf.	4			
Complejo Alpujárride				
Triásico Superior	3			
Triásico Medio	2			
Triásico Inferior	1			
Paleozoico	1			

Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Límite de provincia
- Red hidrográfica
- Manantial
- Manantial con hidrograma adjunto
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Sumidero kárstico
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Cabalgamiento supuesto
- Núcleo de población
- Carretera

Corte 1-1'



4.19 Sierra Gorda - Polje de Zafarraya

Sondeo de reconocimiento que se perforó antes de llevar a cabo la galería de Guaro

Sumidero kárstico en el polje de Zafarraya. Área muy vulnerable a la contaminación

La heterogeneidad y anisotropía de la conductividad hidráulica (12 - 260 m/d) a cierta escala es la característica principal del acuífero carbonatado de Sierra Gorda. Los parámetros hidrogeológicos característicos tienen valores diferentes de unos sectores a otros, incluso si se trata de sectores próximos. El coeficiente de almacenamiento medio es del 1,5 %, mientras que la transmisividad varía en un rango muy amplio, entre 10 y $3 \cdot 10^5$ m^2/d. Uno de los sectores más transmisivos se encuentra en las proximidades del manantial de Guaro (13.600 m^2/d), lo que indica una cierta jerarquización de la red kárstica en este sector. Las velocidades de flujo, obtenidas en ensayos de trazado de aguas subterráneas (casi siempre en épocas de crecida) parecen ser muy altas, entre 150 y 1.000 m/d. En el acuífero detrítico del polje de Zafarraya se han obtenido valores del 13 % para el coeficiente de almacenamiento y entre 20 y 200 m^2/d para la transmisividad.

En el conjunto de la masa de agua subterránea de Sierra Gorda – Polje de Zafarraya (060.025), las entradas más importantes son las de la infiltración directa del agua de lluvia, estimadas en aproximadamente 45 hm^3/año, mientras que la recarga procedente del Arroyo de la Madre apenas totaliza 5 hm^3/año. De estos recursos, 12 hm^3/año se drenan por el manantial de Guaro y el resto, junto con toda la descarga natural de Sierra Gorda, se drena por los manantiales del sector septentrional (Loja-Riofrío). El volumen medio de explotación en pozos y sondeos no es demasiado importante (unos 12 hm^3/año), aunque existen áreas como el Llano de Pereo (sector oriental del polje de Zafarraya) donde la concentración de captaciones es excesiva y genera problemas entre los usuarios. El agua bombeada en captaciones, junto a la derivada y/o bombeada en manantiales, se aprovecha para abastecimiento de una gran parte de los núcleos de población limítrofes (Periana en la provincia de Málaga) y para regadío de cultivos (especialmente en el polje de Zafarraya). La actividad ganadera, importante en este macizo, se abastece esencialmente a partir de aljibes que recogen el agua de lluvia.

En la ladera sur de la Sierra de Alhama hay dos sondeos perforados para regular la descarga del manantial de Guaro: el más septentrional tiene una profundidad de 250 m y fue realizado por el IGME, mientras que el otro tiene 255 m de profundidad y fue perforado por el Instituto Andaluz de Reforma Agraria (IARA). Los aforos realizados en el sondeo del IGME permitieron bombear un caudal de 104 L/s durante varios días, con un descenso inferior a 0,5 m. Dada la elevada cota de emplazamiento de los sondeos en esa zona, el IARA construyó en 1991-1992 una galería horizontal, a cota ligeramente por encima del manantial, para disminuir la altura de bombeo y abaratar el gasto de energía eléctrica. El agua de los sondeos se aprovecha para abastecimiento a Periana y para regadíos en este sector.

Las aguas del acuífero carbonatado son potables y de buena calidad para el regadío. La facies hidroquímica dominante es la bicarbonatada cálcica y, en menor medida, la bicarbonatada magnésica. Las aguas menos mineralizadas corresponden al sector del polje de Zafarraya y manantiales del borde sur, con temperaturas generalmente bajas (12 a 14 °C), baja salinidad (conductividad eléctrica de 250 a 450 µS/cm) y pH entre 7,20 y 7,90. No obstante, se han dado casos aislados de contaminación por materia orgánica en el manantial de Guaro. Asimismo, la aplicación de fertilizantes en el polje de Zafarraya ha provocado un aumento en la concentración de nitratos de las aguas drenadas por el manantial de Guaro, sin que actualmente se superen los límites tolerables para aguas de consumo humano. En el acuífero detrítico del polje de Zafarraya se han observado aguas con facies anómala sulfatada cálcico-magnésica, junto a concentraciones muy altas en nitrato (superiores a 50 mg/L) y residuo seco superior a 450 mg/L, como consecuencia de procesos de contaminación por las actividades agrícolas que se llevan a cabo en esta zona desde hace varias décadas.

Las características morfológico-kársticas de la masa de agua subterránea implican una cierta vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas. Las zonas más vulnerables son el polje de Zafarraya, (niveles piezométricos altos, gran desarrollo de la karstificación, concentración de focos potenciales de contaminación), el sector de acuífero drenado por el manantial de Guaro (Sierra Alhama-polje de Zafarraya) y las proximidades de las zonas de descarga, donde el agua subterránea se encuentra más próxima a la superficie. Por ello, es importante delimitar bien el área de recarga del manantial y captaciones de Guaro, que se utilizan para abastecimiento de Periana, y definir un perímetro de protección de las mismas.

2.4.20

Sierra Tejeda (M.A.S. 060.064)

2.4.20

Sierra Tejeda

Isaac Pérez Ramos
Bartolomé Andreo Navarro

Sierra Tejeda se sitúa en el límite de las provincias de Málaga y Granada, en la comarca de la Axarquía, y forma parte del Parque Natural de las Sierras de Tejeda, Almijara y Alhama. Concretamente, se extiende desde la localidad de Alcaucín, en Málaga, hasta Játar, en Granada. Es una alineación montañosa de dirección E-O y de gran altitud, que alcanza los 2065 m en el pico Maroma. Sus laderas son escarpadas, especialmente en la vertiente sur, donde existe un desnivel de 2000 m en 20 km de distancia al mar, la mayor parte del cual (1400 m) se produce en los 4 km más cercanos al pico Maroma, por la cara sur.

Las cumbres de Sierra Tejeda constituyen la divisoria entre las Cuencas Hidrográficas de Zafarraya y del Guadalquivir, en la vertiente septentrional, y del Sur, en la vertiente meridional. La masa de agua 060.064 ocupa una extensión total de 67 km^2, de los cuales 45 km^2 corresponden a la mitad occidental de Sierra Tejeda, que incluye la vertiente meridional y la vertiente a la cuenca endorreica de Zafarraya, esta última englobada administrativamente en la Cuenca Sur (Cuenca Mediterránea Andaluza).

Los cursos fluviales más importantes en Sierra Tejeda son los Ríos Salia, Bermuza, Almanchares y de la Fuente (afluente del Rubite), todos ellos tributarios del Río Vélez por la izquierda. Estos ríos suelen presentar un cierto caudal a lo largo del año, como consecuencia del drenaje subterráneo de Sierra Tejeda, aunque en épocas de aguas altas llevan también abundante agua de escorrentía superficial de sus respectivas cuencas vertientes. Las crecidas de dichos ríos han sido laminadas mediante varias presas de regulación que se construyeron a mediados de la década de los 90, para trasvasar el agua hacia el embalse de La Viñuela, situado al suroeste de Sierra Tejeda.

La temperatura ambiente en las áreas bajas de la sierra presenta un valor medio anual de unos 15-16ºC, ligeramente menor que en el sector costero y similar a áreas próximas como Sierra Almijara. En las zonas de cumbres altas, la temperatura es menor, lo cual permite que sean frecuentes las precipitaciones en forma de nieve durante el invierno. Las precipitaciones ocurren principalmente a partir de noviembre y se prolongan hasta la primavera, con una media anual histórica de unos 900 a 1000 mm.

Pequeño nevero en la parte alta de Sierra Tejeda

Sierra Tejeda

Desde el punto de vista geológico, en Sierra Tejeda y su entorno existen dos unidades tectónicas superpuestas, la de Tejeda, en posición inferior, y la de Guájares, en posición superior, ambas pertenecientes al Complejo Alpujárride, dentro de la Zona Interna de la Cordillera Bética. La unidad de Tejeda aflora en la sierra del mismo nombre y está formada por una secuencia litológica de rocas metamórficas, con metapelitas del Paleozoico-Trías Inferior en la parte inferior y mármoles triásicos en la parte superior, dentro de los cuales se distinguen dos tramos. El más bajo tiene una potencia que puede llegar a ser de 500 m y está constituido por mármoles dolomíticos blancos muy diaclasados, de edad Trías Medio, que afloran principalmente en la vertiente sur de Sierra Tejeda. Encima, existen mármoles de tonos más oscuros (grisáceos a azulados) y de naturaleza caliza, que presentan intercalaciones de calcoesquistos y afloran ampliamente en toda la sierra; el espesor total de esta formación varía desde 30 a 100 m y su edad es Trías Medio-Superior. Al noroeste de Sierra Tejeda, en el área de Los Rodaderos, afloran esquistos y mármoles, similares a los anteriores, pero de la unidad alpujárride superior (Guájares).

Los sedimentos cuaternarios que existen en el área son de tipo aluvial y coluvial. Además, cabe hacer referencia al afloramiento travertínico de gran espesor situado al oeste del Río Salia, relacionado con antiguas surgencias procedentes de la Sierra de Alhama. En el sector de Játar (Granada) existen materiales de edad neógeno-cuaternaria, discordantes sobre los mármoles alpujárrides, pertenecientes al relleno sedimentario de la depresión de Granada.

Dolina cerca del pico Puerto, al sur de Játar

La estructura interna del macizo de Tejeda está formada por un gran anticlinorio de dirección E-O, que es responsable del relieve general de la sierra. Sus flancos están formados por repliegues de menor tamaño, también de dirección E-O, cuya vergencia cambia aproximadamente en la zona de charnela del antiforme mayor, de tal manera que, al norte del mismo, las estructuras poseen vergencia sur, mientras que en el flanco sur, la vergencia es hacia el norte. Los límites norte y oeste de Sierra Tejeda son fallas normales, en cuyo bloque hundido (topográficamente más bajo) afloran metapelitas de la unidad de Guájares. En el borde sur, a diferencia de los anteriores, el contacto entre esquistos y mármoles es, básicamente, un contacto estratigráfico. Por último, el límite oriental, lo constituye el contacto de los mármoles con los materiales de la depresión de Granada, que fundamentalmente es de tipo tectónico, aunque los depósitos neógeno-cuaternarios son discordantes sobre los mármoles.

Los afloramientos marmóreos de Sierra Tejeda no presentan una karstificación superficial generalizada en toda su extensión, aunque se observan campos de lapiaz y dolinas en varios sectores. Así, en el entorno del pico del Puerto, al sur de Játar, existen dolinas de hasta un centenar de metros de diámetro. En los alrededores del pico Maroma se han descrito dolinas y simas de escasa profundidad, originadas por la disolución que provocan las aguas frías de fusión nival. El lapiaz presenta un cierto desarrollo en muchas zonas donde afloran los mármoles calizos, que son más solubles. También hay cuevas, algunas con un desarrollo notable, como por ejemplo en Játar (cueva del Linarejo) y, sobre todo, en el paraje de Los Charcones, situado entre Canillas de Aceituno y el vértice Maroma, aunque la mayor cavidad conocida es la cueva de La Fájara, con más de 1 km de desarrollo.

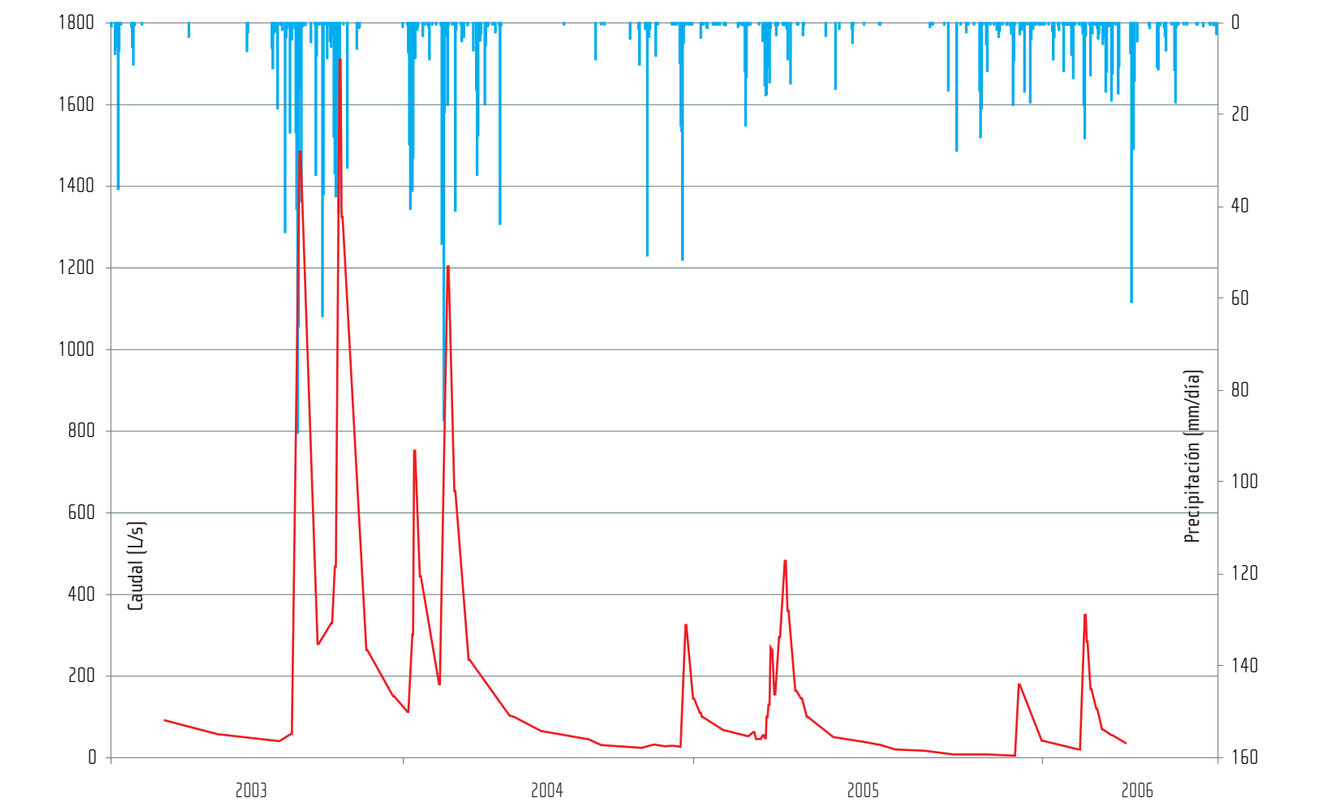
Garganta del Río Almanchares

2.

4.20 Sierra Tejeda

Acequia del Barranco del Alcázar

Hidrograma del manantial de La Fájara



Manantial de La Fájara

Los mármoles de Sierra Tejeda constituyen un acuífero cuya recarga se produce por la infiltración del agua de lluvia y de fusión nival. La descarga tiene lugar por manantiales, entre los cuales cabe citar el de La Fájara (a cota 420 m s.n.m., con un caudal medio de 155 L/s) y varias surgencias existentes en el Barranco del Alcázar, al norte de Alcaucín, entre las cotas 600 a 800 m s.n.m, con un caudal medio conjunto de 100 L/s. También hay descarga en la provincia de Granada, principalmente por los manantiales del Río Alhama (1016 m s.n.m., 300 L/s), de Játar (990 m s.n.m., 260 L/s de caudal conjunto) y del Linarejo (1015 m s.n.m., 60 L/s). Existen puntos de descarga de menor entidad que los anteriores, como por ejemplo los de la cabecera del Río Almanchares y del Río de la Fuente, en la vertiente sur, o aguas arriba del Nacimiento del Río Alhama, en la provincia de Granada. Éstos presentan caudales medios en torno a 50 L/s y son el resultado de la descarga de numerosas surgencias a lo largo del cauce principal.

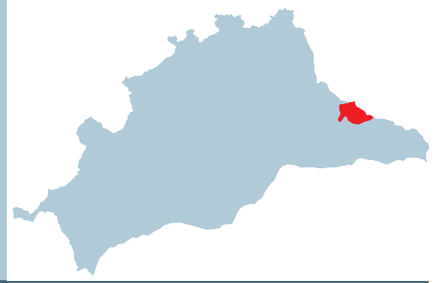
Los manantiales de Sierra Tejeda muestran comportamientos hidrodinámicos dispares. Tanto los manantiales más caudalosos de la vertiente granadina como los del Barranco del Alcázar responden, en general, de forma relativamente lenta y amortiguada a los periodos lluviosos, lo cual es indicativo de un bajo desarrollo del drenaje kárstico en el interior del acuífero. Sin embargo, los manantiales de La Fájara y del Linarejo, presentan respuestas muy rápidas ante las precipitaciones. Así, el manantial de La Fájara, el más importante de la vertiente malagueña de Sierra Tejeda, alcanza caudales superiores a 2000 L/s en épocas de crecida y menos de 10 L/s durante un estiaje prolongado. El agua de este manantial disminuye su temperatura y mineralización, según la magnitud de la recarga; la conductividad eléctrica puede variar entre 400 µS/cm al final del estiaje y menos de 250 µS/cm, en respuesta una recarga importante. Por su parte, el manantial del Linarejo también presenta un régimen de descarga muy irregular, con caudales de crecida superiores 1000 L/s y caudales inferiores a 5 L/s en estiaje. Todo ello pone de manifiesto el mayor grado de desarrollo del drenaje kárstico en los sectores de Sierra Tejeda drenados por los manantiales de La Fájara y del Linarejo, lo cual es coherente con la existencia de cuevas cerca de ambos manantiales por las que fluye agua en situaciones de recarga.

El balance hidrogeológico para el conjunto de afloramientos permeables de Sierra Tejeda (87 km^2), durante el periodo 2003-2006, de tipo medio desde el punto de vista de las precipitaciones (900-1000 mm), presenta unas entradas o recursos medios de 37 hm^3/año, correspondientes a una infiltración eficaz del 45-50% de la precipitación media. Este coeficiente de infiltración se ha deducido por varios métodos (balance de cloruros, balance de Thornthwaite) y es coherente con las descargas. Así, las salidas producidas por manantiales son de 12 hm^3/año hacia la Cuenca Hidrográfica del Sur (provincia de Málaga) y 21 hm^3/año hacia la Cuenca del Guadalquivir (provincia de Granada). Existen pocos bombeos y algunas derivaciones en manantiales, principalmente para abastecimiento a Alcaucín, Alhama, Játar, Canillas de Aceituno y otras pequeñas poblaciones del entorno, cuya cuantía es del orden de 2 hm^3/año. Los 2 hm^3/año restantes, hasta completar las entradas, se estima que alimentan subterráneamente al acuífero detrítico de la depresión de Granada.

Mapa y corte hidrogeológico

Sierra Tejeda

(M.A.S. 060.064)

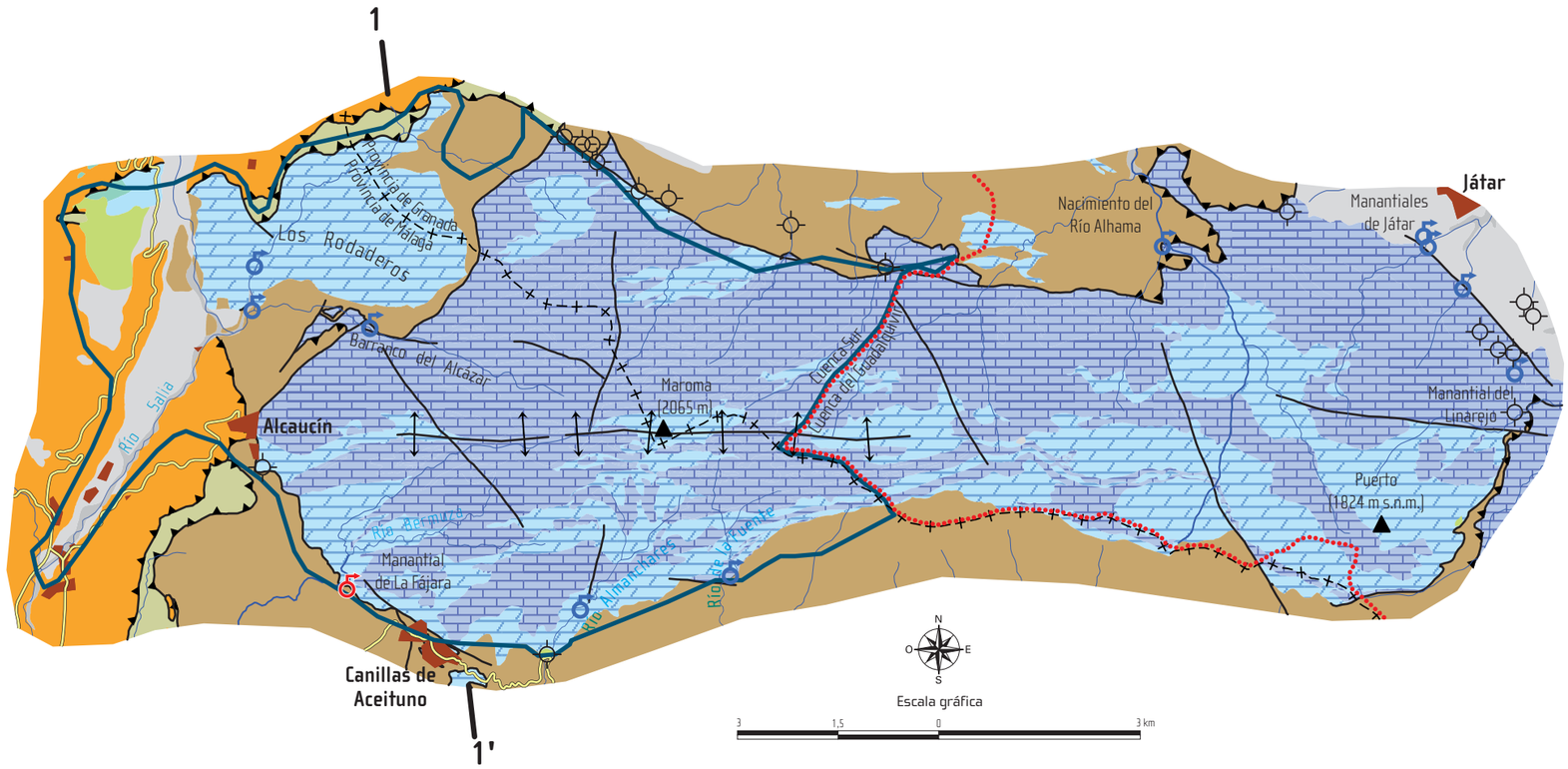


Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación

Leyenda

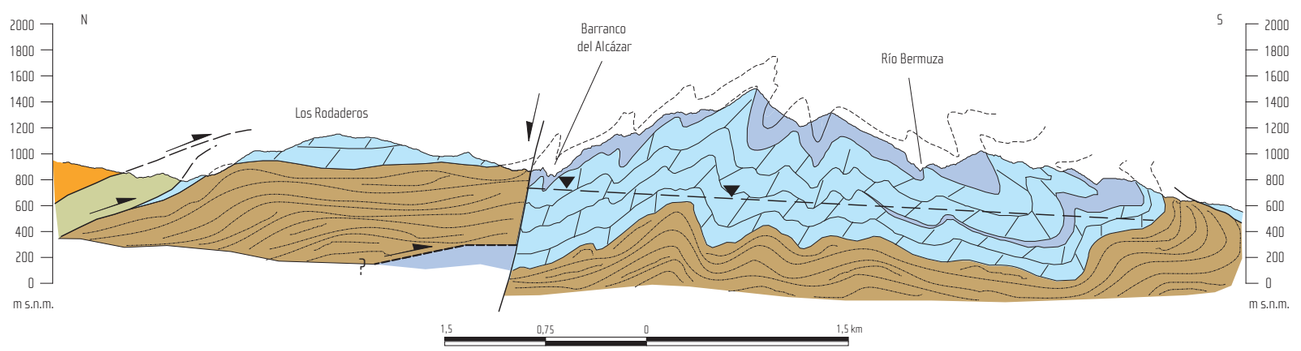
Edad				Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas					
Cuaternario	10	9	8	10 Travertinos	Alta
				9 Aluvial	Alta
				8 Indiferenciado	Media
Flysch					
Cretácico - Terciario	7			7 Arcillas y areniscas	Muy baja
Zona Subbética					
Cretácico - Terciario	6			6 Margocalizas y margas	Baja
Jurásico	5			5 Calizas	Alta - Muy alta
Complejo Maláguide					
Paleozoico-Triásico Inf.	4			4 Conglomerados, areniscas y arcillas Filitas, pizarras y calizas alabeadas	Baja
Complejo Alpujárride					
Triásico – Superior	3			3 Mármoles calizos con calcoesquistos	Alta
Triásico – Medio	2			2 Mármoles dolomíticos	Alta
Triásico – Inferior	1			1 Esquistos y filitas	Baja
Paleozoico	1				



Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Límite de provincia
- Red hidrográfica
- Límite de cuencas hidrográficas
- Manantial
- Manantial con hidrograma adjunto
- Sondeo, piezómetro
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Anticlinal
- Núcleo de población
- Carretera

Corte 1 - 1'



2.

Los recursos de Sierra Tejeda correspondientes a la superficie de 45 km^2, incluida en la denominada masa de agua subterránea 060.064, son 19 hm^3/año. La recarga que se produce en el área de Los Rodaderos y en los depósitos cuaternarios del sector occidental se estima globalmente en 4 hm^3/año, cuyo drenaje se produce hacia el Río Salia. Por tanto, los recursos totales de la masa de agua 060.064 son del orden de 23 hm^3/año.

Las aguas subterráneas de Sierra Tejeda presentan un valor medio de la conductividad eléctrica de 300 a 400 µS/cm y facies bicarbonatada cálcica o cálcico-magnésica. El agua es de buena calidad química, por lo que se aprovecha para abastecimiento urbano y para regadío. Con ella se abastecen los municipios situados en el borde la sierra: Alhama de Granada, Játar, Arenas de Rey, Alcaucín, Sedella y Canillas de Aceituno.

El acuífero de Sierra Tejeda presenta una elevada vulnerabilidad a la contaminación, aunque el riesgo de deterioro de la calidad de agua es bajo, puesto que hay pocas actividades potencialmente contaminantes sobre los mármoles acuíferos. Sierra Tejeda es un macizo muy abrupto, con poca población asentada sobre él, que se encuentra protegido ambientalmente como Parque Natural. No obstante, conviene extremar las precauciones en relación con determinadas actividades como canteras y pequeñas explotaciones ganaderas, que están emplazadas sobre los mármoles acuíferos y, en algún caso, a poca distancia puntos de agua aprovechados para abastecimiento urbano. Para preservar la buena calidad del agua, sería conveniente realizar perímetros de protección en los manantiales y sondeos de abastecimiento.

Terminación occidental de Sierra Tejeda al norte de Alcaucín, sector del Barranco del Alcázar

Río Bermuza, aguas abajo del manantial de La Fájara

Manantial del Linarejo (Játar)

2.4.21

Sierra Almijara (M.A.S. 060.024) y Alberquillas (M.A.S. 060.063)

2.4.21

Sierra Almijara y Alberquillas

Isaac Pérez Ramos
Bartolomé Andreo Navarro

Sierra Almijara es un abrupto relieve montañoso que se extiende desde la parte suroriental de la provincia de Málaga hasta la provincia de Granada y constituye la divisoria hidrográfica entre las Cuencas del Guadalquivir y del Sur. Gran parte de su superficie pertenece al Parque Natural de las Sierras de Tejeda, Almijara y Alhama, dada la rica diversidad biológica que presenta. En la vertiente meridional de la sierra que está dentro de los límites de la provincia de Málaga, el Ministerio de Medio Ambiente definió dos masas de agua: Alberquillas y Almijara. La masa de agua subterránea de Alberquillas corresponde al sector meridional, tiene una forma alargada en planta según la orientación NO-SE, ocupa una superficie de 70 km^2 y se extiende desde la población de Cómpeta hasta el paraje natural de Cerro Gordo, pasando por municipios como Torrox, Frigiliana y Nerja. La altitud de sus relieves disminuye de forma gradual de NO a SE, desde los 1100 m, en las inmediaciones de Cómpeta, hasta el nivel del mar, al pie de Cerro Gordo. La masa de agua subterránea de Almijara se encuentra inmediatamente al norte de la anterior, ocupa una superficie de 95 km^2 y posee una abrupta orografía, con altitudes máximas que superan los 1800 m. Ambas masas de agua son atravesadas por cauces de orientación N-S (Turvilla, Torrox, Higuerón, Chíllar, Barranco de Maro, Río de la Miel), que presentan corta longitud y pendientes elevadas, sobre todo, en las áreas de cabecera.

El clima de la región es de tipo mediterráneo. La temperatura media es algo inferior a 18ºC en las zonas cercanas a la costa, pero pueden registrarse valores de 35ºC algunos días de verano. Las temperaturas mínimas (inferiores 0ºC en invierno) se dan en las cotas más elevadas. Los valores medios anuales de precipitación son del orden de 700 mm, aunque existe una distribución dependiente de la altitud, de manera que en las zonas más elevadas pueden ser del orden de 1000 mm, mientras que cerca de la costa raramente superan 500 mm. Las precipitaciones suelen ocurrir a partir de noviembre y se prolongan hasta abril o mayo.

Desde el punto de vista geológico, toda Sierra Almijara pertenece al Complejo Alpujárride de la Zona Interna de la Cordillera Bética. La secuencia litológica está formada por rocas metamórficas, metapelitas paleozoicas en la parte baja de la serie y mármoles triásicos encima. Dentro de estos mármoles se distinguen, a su vez, dos tramos. El inferior tiene una potencia de hasta 500 m y está constituido por mármoles dolomíticos blancos, muy diaclasados, de textura granuda-sacaroidea y edad Trías Medio, que afloran ampliamente en la vertiente sur de Sierra Almijara. Encima, aparecen mármoles calizos con intercalaciones de calcoesquistos, que dan colores más oscuros, azulados-grisáceos, en el paisaje; su potencia es muy variable, desde menos de 30 m hasta más de 100 m y la edad asignada es Trías Medio-Superior. Discordantes sobre las rocas alpujárrides, en el área de Frigiliana-Nerja, existen materiales atribuidos al Plioceno: conglomerados y arenas depositados en ambiente marino, en los afloramientos más próximos a la costa actual, y sedimentos continentales, en las áreas más cercanas a la sierra. A techo de los materiales pliocenos aparecen unas brechas del Pleistoceno, muy cementadas, con matriz rojiza, cuya potencia es de 50 m en las áreas más próximas a la sierra y 10-15 m en los puntos más cercanos a la costa. Estos depósitos cuaternarios dan unos característicos relieves aplanados (glacis), ligeramente inclinados hacia el mar, que se pueden observar en el Barranco de Maro. Al sureste de la localidad de Maro se encuentra un afloramiento de travertinos depositado por las aguas incrustantes del manantial homónimo, durante el Pleistoceno Superior.

Vista general del relieve de Sierra Almijara desde el noroeste

Sierra Almijara, en conjunto, presenta una estructura geológica compleja, muy plegada y deformada mediante fracturas. Existe un pliegue mayor, un gran anticlinal de dirección aproximada NO-SE, cuya traza coincide a grandes rasgos con la línea de cumbres, es decir, con la divisoria hidrográfica, y, hacia el sur, aparecen pliegues asimétricos con la misma dirección. No obstante, en el sector meridional, la estructura es algo menos complicada, pues los mármoles presentan una disposición casi tabular, con un buzamiento suave hacia el mar. Por otra parte, desde Canillas de Albaida hasta Arroyo de la Miel aparecen fallas plurikilométricas, de dirección NO-SE, que definen el límite sur de la sierra. Al norte de Canillas de Albaida y Cómpeta hay una falla inversa que se extiende hasta el Río Chíllar, la cual ha provocado el afloramiento de los esquistos de la base a lo largo de una estrecha banda. Y, en las cercanías de la cabecera del Arroyo Colmenarejos aparece otra falla de dirección NO-SE, que se pierde en el mar a la altura de Cerro Gordo, a favor de la cual también afloran metapelitas. Además, existen abundantes fracturas (fallas y diaclasas) de dirección NNE-SSO a NE-SO y NO-SE a NNO-SSE, a todas las escalas, que condicionan las direcciones de drenaje superficial y de flujo subterráneo. De hecho, los mármoles que afloran en Sierra Almijara están muy fracturados, aunque poco karstificados, tanto en superficie como en profundidad. Entre las formas exokársticas cabe destacar algunos campos de lapiaz y dolinas aisladas, mientras que las formas endokársticas son poco abundantes y de dimensiones reducidas, a excepción de la Cueva de Nerja.

La masa de agua subterránea de Alberquillas comprende el afloramiento de mármoles más meridional, el que queda al sur de las fallas inversa y falla normal mencionadas en el párrafo anterior. Los mármoles que aparecen inmediatamente al norte de dichas fallas se han incluido en la masa de agua de Almijara. No obstante, conviene precisar que los datos de nivel piezométrico medidos a un lado y otro de ambas fallas demuestran que existe continuidad hidrogeológica entre las dos masas de agua, a pesar de la presencia de esquistos, que no parecen tener un papel relevante como barrera hidráulica. En el Río Higuerón (paraje de Alcóncar) y en el Río Chíllar (aguas abajo de la central hidroeléctrica) hay sondeos emplazados sobre la denominada masa de agua de Alberquillas, que tienen varios centenares de metros de profundidad y son surgentes, probablemente porque llegan a intersectar líneas de flujo procedentes de áreas topográficamente más elevadas, que podrían corresponder a la masa de agua de Almijara.

Es importante señalar, por tanto, que toda la vertiente meridional de Sierra Almijara constituye un único acuífero cuya alimentación se produce por infiltración de agua de lluvia y de fusión nival, a través de las formas exokársticas y, sobre todo, de las abundantes fracturas que afectan a los mármoles. La descarga tiene lugar, principalmente de forma natural, por manantiales y, en menor medida, por bombeos en captaciones. La mayoría de los manantiales importantes se encuentran en el sector meridional (masa de agua de Alberquillas), a través del cual se produce la mayor parte de la descarga del acuífero, aunque también hay surgencias, generalmente difusas, en el sector septentrional (masa de agua de Almijara). En cualquier caso, la piezometría deducida de los puntos de agua existentes, tanto sondeos como manantiales, indica que el sentido principal de flujo es aproximadamente norte-sur, coherente con la descarga a través de los cauces de los principales ríos: Turvilla, Torrox, Higuerón, Chíllar y de la Miel, cuyas cotas de surgencia principales son 770, 510, 500, 420 y 40 m s.n.m. respectivamente. Los manantiales suelen presentar un régimen de descarga bastante inercial, responden de manera lenta a las precipitaciones y sólo registran una o dos crecidas anuales, de acuerdo con la distribución temporal de la pluviometría. Las variaciones del nivel piezométrico se producen de manera amortiguada y diferida en el tiempo, con respecto a la señal de entrada. Análogamente, la composición química del agua de estas surgencias varía poco en respuesta a las precipitaciones. Todo ello es indicativo del bajo grado de desarrollo del drenaje kárstico que existe en Sierra Almijara, cuyo funcionamiento hidrogeológico es propio de acuífero fisurado o de flujo difuso.

Cahorros del Río Chíllar, zona de descarga de agua subterránea de Sierra Almijara

Cuenca alta del Río Chíllar, con el Tajo del Almendrón en primer plano

Descarga subterránea de Sierra Almijara en el Río de la Miel

2.

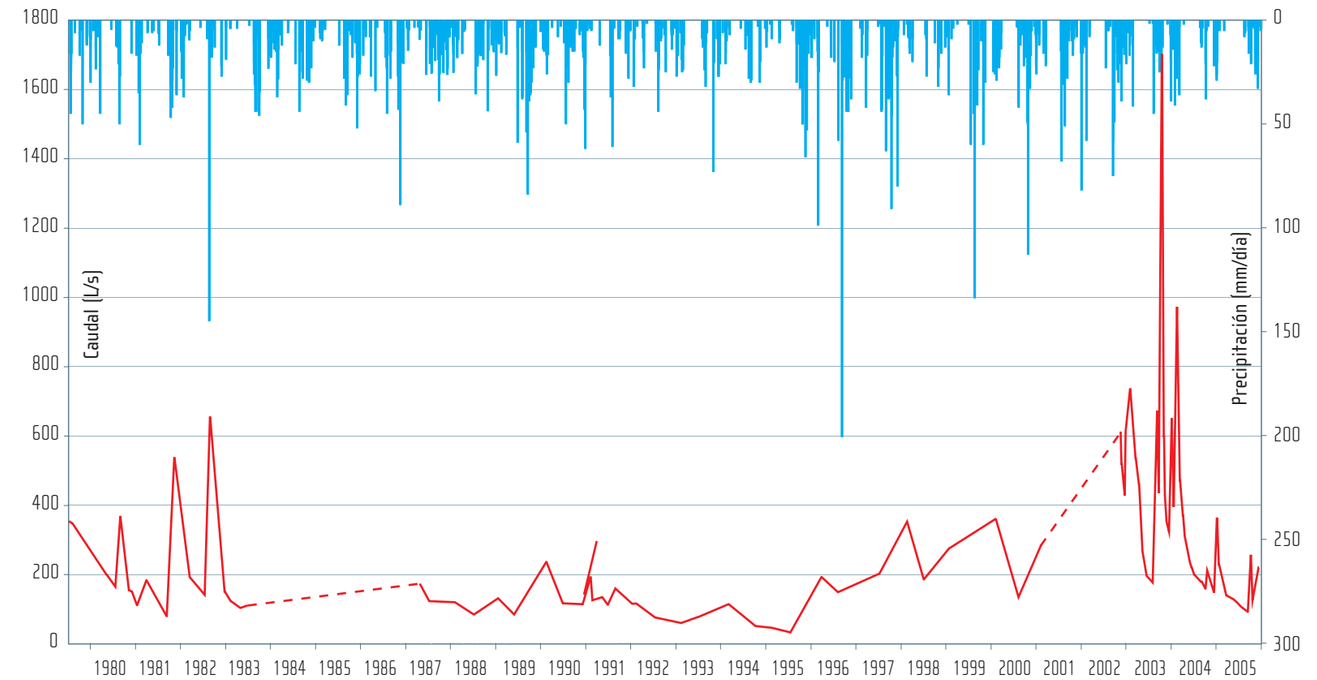
4.21 Sierra Almijara y Alberquillas

El manantial de Maro constituye una excepción significativa en cuanto a la forma de surgencia (puntual, fuera del cauce de un río) y al régimen de descarga. Presenta rápidos incrementos de caudal ante las precipitaciones, desde 90 L/s en estiaje hasta 1700 L/s en época de crecida, con un valor medio del orden de 300 L/s. La temperatura media del agua es de 18,6ºC y presenta variaciones estacionales coherentes con las de la temperatura ambiente y descensos durante periodos de recarga. La conductividad eléctrica del agua varía, bruscamente, entre valores superiores a 700 µS/cm durante el agotamiento y algo menos de 400 µS/cm en crecida. La composición isotópica del agua, concretamente el valor empobrecido de $\delta^{18}O$ (-6.7 ‰ de promedio), indica que el área de recarga del manantial tiene una elevada altitud media, lo cual es compatible con una cuenca de alimentación situada al norte. En el entorno del manantial se efectuaron dos sondeos de reconocimiento para intentar regularlo pero solo resultó productivo el más cercano, el cual atravesó el conducto kárstico que alimenta a la surgencia, con la particularidad de que el caudal de bombeo es equivalente al caudal drenado por el manantial. Todos estos datos, unidos al hecho de que el manantial se encuentra a cota 120 m s.n.m., del orden de 30-40 m más alta que el nivel piezométrico regional en esa zona, parecen indicar que el manantial de Maro está relacionado con una red de drenaje kárstico superior dentro del acuífero de la Sierra Almijara meridional. Esta hipótesis sería congruente con el hecho de que el manantial lleva situado en este punto, al menos, desde el Pleistoceno superior, como demuestran las dataciones efectuadas en el travertino asociado.

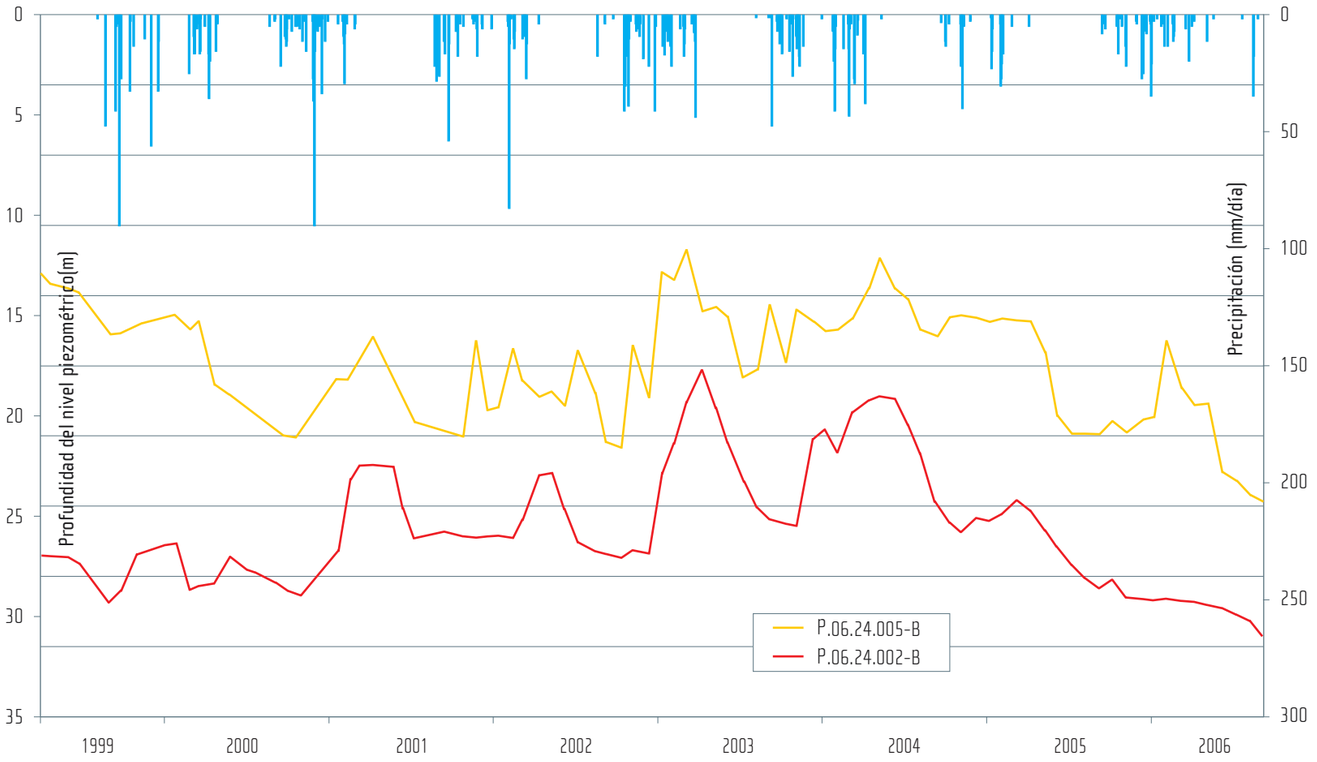
A partir de los valores de precipitación media (aproximadamente 700 mm), superficie permeable (165 km²) y coeficiente de infiltración eficaz (40-45%), obtenido éste mediante balance de cloruros y el método APLIS, se estima que los recursos medios de toda la vertiente meridional de Sierra Almijara son del orden de 50 hm³/año. De esta cantidad, 20 hm³/año corresponderían al sector meridional (masa de agua de Alberquillas) y el resto, unos 30 hm³/año, al septentrional (masa de agua de Almijara), según se deduce de la superficie ocupada por cada uno de ellos. Durante el periodo 2003-2005, de tipo medio desde el punto de vista climático, las salidas naturales medidas en toda la Sierra Almijara meridional han sido 38 hm³/año. Por último, las extracciones por bombeos, localizadas casi en su totalidad en el borde sur de la sierra, se estiman en 15 hm³/año. El balance presenta un resultado negativo, es decir, las salidas han sido superiores a las entradas, al menos durante el periodo de control considerado, debido a los bombeos. Este resultado es coherente con evoluciones piezométricas descendentes registradas desde el año 2004, en el entorno de áreas de bombeo.

Manantial de Maro en crecida

Hidrograma del manantial de Maro



Evoluciones piezométricas



Mapa y cortes hidrogeológicos

Sierra Almijara

(M.A.S. 060.024)

Alberquillas

(M.A.S. 060.063)

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA — Instituto Geológico y Minero de España

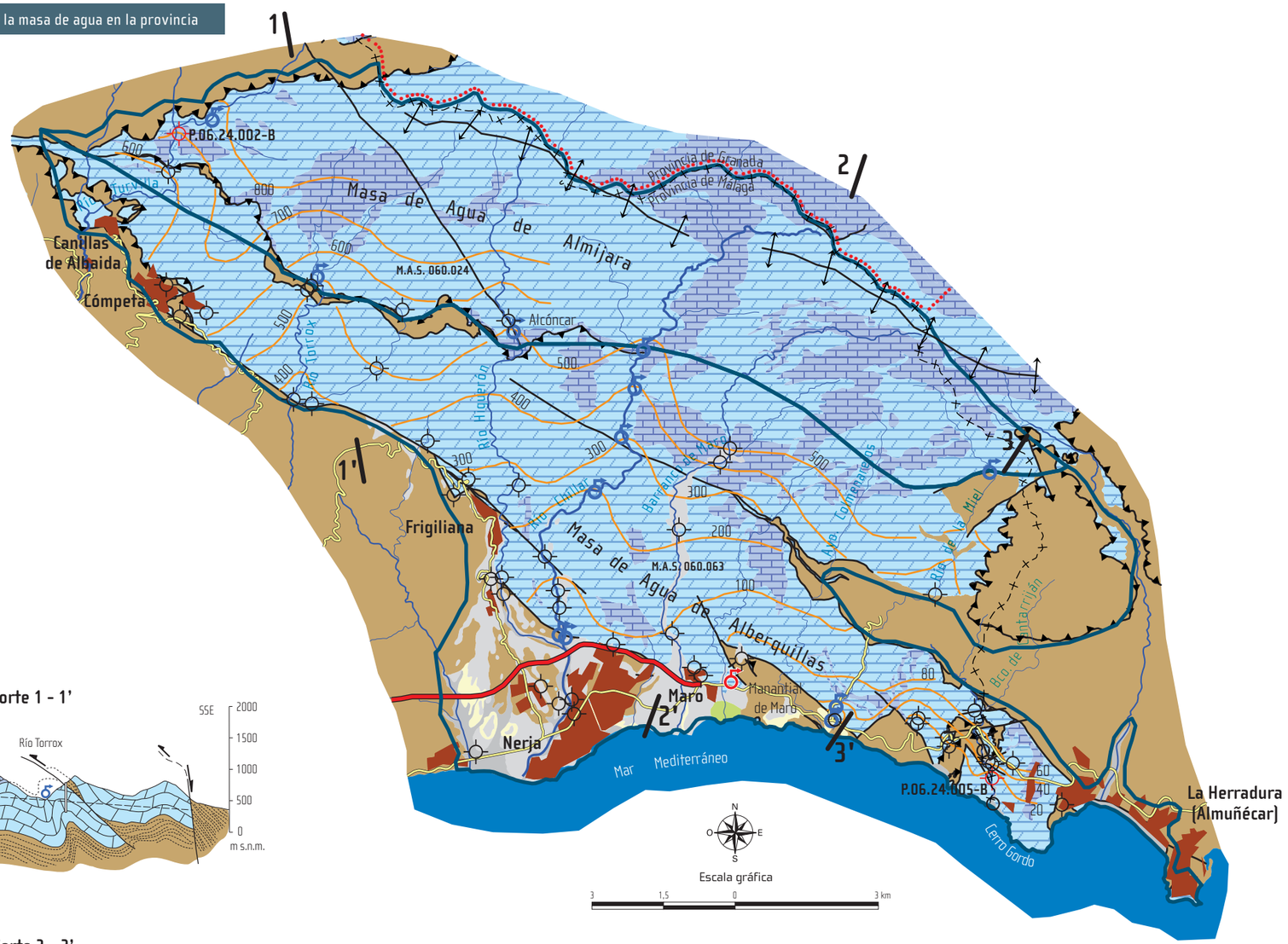
málaga.es diputación

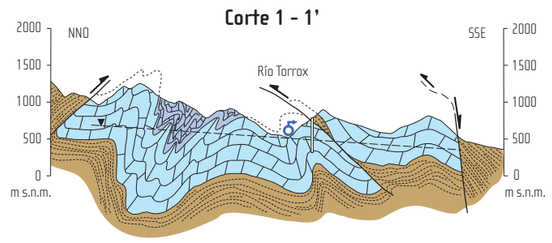
Leyenda

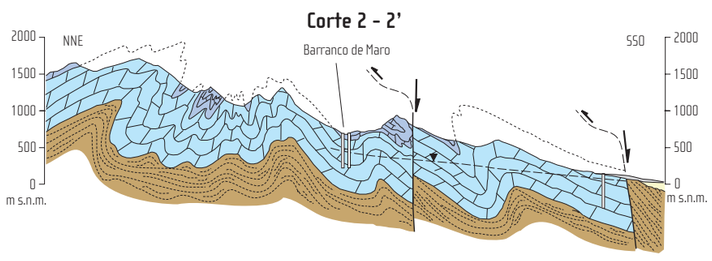
Edad	Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas		
Cuaternario / Plioceno	7 Travertinos	Alta
	6 Aluvial	Alta
	5 Indiferenciado	Media
	4 Limos, arenas y conglomerados	Media
Complejo Alpujárride		
Triásico – Superior	3 Mármoles calizos	Alta
Triásico – Medio	2 Mármoles dolomíticos	Alta
Triásico – Inferior / Paleozoico	1 Esquistos y filitas	Baja

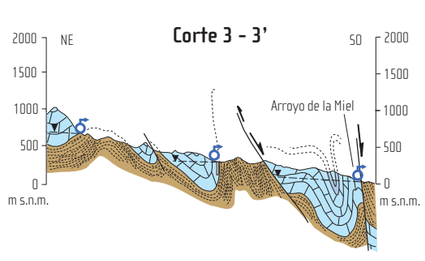
Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Límite de provincia
- Aguas superficiales, mar
- Red hidrográfica
- Límite de cuencas hidrográficas
- Manantial
- Manantial con hidrograma adjunto
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- Isopieza con altitud en m s.n.m.
- Falla
- Falla inversa, cabalgamiento
- Anticlinal
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera









2.

4.21 Sierra Almijara y Alberquillas

Un aspecto a tener en cuenta es que los mármoles de Sierra Almijara contactan directamente con el mar en el paraje de Cerro Gordo. Observaciones históricas y estudios realizados en las últimas décadas, mediante técnicas de balances hidrogeológicos (diferencias entre las entradas y salidas del acuífero) y mediante el estudio de anomalías térmicas y salinas en el agua de mar próxima a la costa, han puesto de manifiesto la existencia de descarga submarina en esta zona. Sin embargo, investigaciones realizadas a finales de 2006, en condiciones climáticas secas, mediante isótopos radioactivos del Radio, control de extracciones (del orden de 2-3 hm^3/año en sondeos del Barranco de Cantarriján y su entorno) y redefinición de los esquemas de flujo subterráneo a partir de los datos piezométricos actualizados, no permiten detectar una descarga significativa, computable a efectos de balance hidrogeológico. En estas condiciones de explotación, el balance parece estar prácticamente equilibrado en dicha zona, sin necesidad de contemplar una descarga submarina importante. Los registros de salinidad efectuados, a finales de 2006, en los sondeos del Barranco de Cantarriján y su entorno demuestran que no existe intrusión marina significativa, aunque hay ligeros indicios de mezcla con agua de mar en algunos puntos. Esto indica que, al menos locamente, existe un flujo contrario al que cabría esperar si existiera descarga hacia el mar.

Aforo de un sondeo en Frigiliana

Las explotaciones por bombeo que se llevan a cabo en Sierra Almijara se aprovechan, principalmente, para abastecimiento urbano de los municipios colindantes: Canillas de Albaida, Cómpeta, Torrox, Frigiliana, Nerja y Almuñécar. Además, hay varias comunidades de regantes que también aprovechan el agua del acuífero en Torrox, Frigiliana y Nerja. Los recursos hídricos del conjunto de Sierra Almijara permitirían cubrir la demanda de agua de estos municipios pero el aumento de la población, sobre todo en la zona costera, ha llevado a aprovechar el agua del embalse de La Viñuela como fuente complementaria. Además, la concentración de bombeos en determinados sitios (Río Torrox, Río Chíllar y Barranco de Cantarriján), por razones de accesibilidad a la hora de emplazar los sondeos, provoca descensos piezométricos localmente importantes, sobre todo en periodos secos. En el Río Chíllar, los bombeos han provocado la desecación de los manantiales de Fuensanta y Bolichero que se encontraban cerca del borde del acuífero. Las extracciones afectan, principalmente, al sector meridional (masa de agua de Alberquillas), ya que está más cerca de las poblaciones citadas y es más accesible para emplazamiento de captaciones. En este sector, deberían controlarse de manera precisa las extracciones por bombeo y llevar a cabo una adecuada planificación de las mismas para evitar efectos indeseados. En el sector septentrional (masa de agua de Almijara) apenas existen sondeos y el agua se deriva del cauce de los ríos, por medio de acequias, aprovechando las elevadas cotas de surgencia de los manantiales. Algunas de estas acequias son importantes y derivan la casi totalidad del caudal del río en estiaje, como por ejemplo la acequia de Lízar, en el Río Higuerón (80 L/s), o el canal del Río Chíllar (hasta 240 L/s). El agua derivada por acequias se aprovecha principalmente para regadíos y, en el caso del canal del Río Chíllar, además, se utiliza para generar energía eléctrica.

El agua subterránea de Sierra Almijara es de buena calidad química para abastecimiento urbano y regadío. La conductividad eléctrica es del orden de 400 µS/cm y las facies hidroquímicas predominantes son bicarbonatadas cálcicas y cálcico-magnésicas, de acuerdo con la naturaleza carbonatada de los mármoles acuíferos. En sondeos de la zona costera (Barranco de Cantarriján), la conductividad eléctrica aumenta, hasta llegar a más de 1500 µS/cm (datos de noviembre de 2006). Este incremento se debe al aumento de cloruros y de sodio, porque los bombeos provocan la entrada de pequeñas cantidades de agua marina en el acuífero. En el caso del manantial de Maro, sin embargo, el agua es de facies sulfatada-bicarbonatada cálcica. Sobre el origen de los sulfatos del agua de este manantial se han apuntado dos posibles orígenes, disolución de evaporitas (sulfatos) y oxidación de sulfuros, aunque es un tema pendiente de investigar de forma detallada.

Sierra Almijara, en su conjunto, presenta una vulnerabilidad media-alta a la contaminación. Sin embargo, las actividades potencialmente contaminantes son escasas y están concentradas, sobre todo, en el sector meridional (masa de agua de Alberquillas), dada su cercanía a núcleos urbanos. En este sector existe un cierto número de urbanizaciones emplazadas directamente sobre afloramientos de mármoles, algunas de ellas todavía en fase de construcción, que podrían constituir un peligro potencial de contaminación del agua. En el Barranco de Maro se encuentra el antiguo vertedero de residuos sólidos urbanos de Nerja, clausurado desde hace años. Y en el Río de la Miel hay un vertedero de escombros, rellenando el hueco de una antigua cantera. Cabe destacar un último peligro de contaminación relacionado con la posibilidad de vertidos contaminantes por accidentes en la autovía A-7, cuyo trazado discurre por mármoles desde Maro a Cerro Gordo. Conviene, por tanto, no ubicar actividades potencialmente contaminantes sobre los mármoles y tomar las medidas oportunas para evitar el deterioro de la buena calidad química que, de modo natural, tiene el agua subterránea de Sierra Almijara. En las captaciones de abastecimiento urbano es preciso definir perímetros de protección.

Sector costero de Maro-Cerro Gordo

2.4.22

Guadiaro - Genal - Hozgarganta (M.A.S. 060.047)

2.4.22

Guadiaro - Genal - Hozgarganta

Raquel Morales García

La masa de agua subterránea de Guadiaro-Genal-Hozgarganta se encuentra en el sector suroccidental de la provincia de Málaga y en la parte sureste de la Cádiz. Se extiende desde el término municipal de Benadalid, al norte, hasta la desembocadura del Río Guadiaro, en Sotogrande (San Roque), ya en la comarca gaditana del Campo de Gibraltar.

Desde el punto de vista fisiográfico la masa está formada, al norte, por los relieves que separan los valles de los Ríos Guadiaro y Genal (montes de Benadalid-Algatocín y Hacho de Gaucín) y, hacia el sur, por el propio valle del Guadiaro (aguas abajo de San Pablo de Buceite, en Cádiz) y de sus afluentes: el Genal al Este (aguas abajo de Gaucín, en Málaga), y el Hozgarganta al Oeste (aguas abajo de Jimena de la Frontera, en Cádiz). A medida que el relieve desciende hacia la costa, es menos pendiente y el cauce del Río Guadiaro se amplía hasta formar un estuario en su desembocadura.

El área vertiente al Río Guadiaro recoge la escorrentía de las Serranías de Ronda y Grazalema y se incluye en la denominada Cuenca Hidrográfica del Sur, ahora llamada Cuenca Mediterránea Andaluza. En el área de cabecera, recibe las aportaciones de los Ríos Guadalevín y Genal, por la margen izquierda, y el Río Gaduares (manantial de la Cueva del Gato), por la margen derecha. Por su parte, el Río Hozgarganta nace en la confluencia de dos arroyos (Pasadablanca y Pasadallana), en la Sierra del Aljibe (Cádiz).

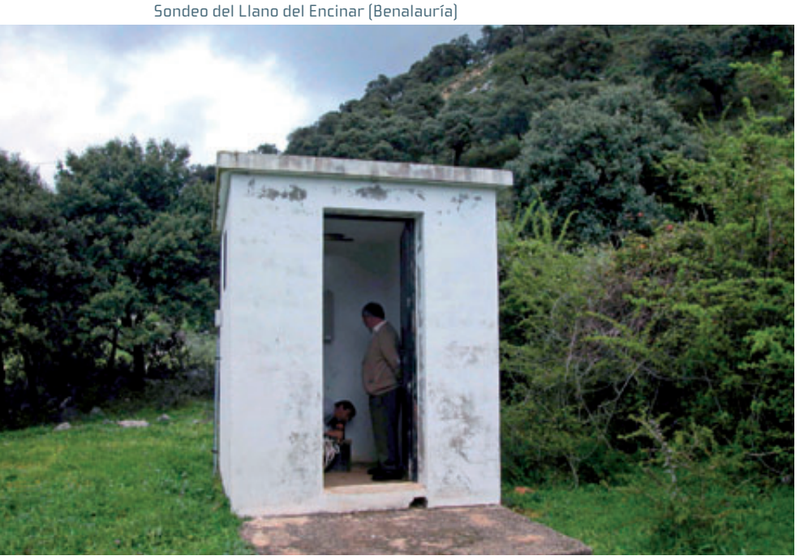
Valle del Río Genal (en Casares)

Una de las actuaciones más importantes llevadas a cabo en la cuenca vertiente al Río Guadiaro ha sido la construcción del trasvase Guadiaro-Majaceite, que entró en funcionamiento el año 2000. Se trata de un túnel de 12 km de longitud que parte de la Cañada del Real Tesoro (cuenca hidrográfica del Guadiaro) y emerge en la Garganta de Barrida, cuyo caudal desemboca en el Río Ubrique (afluente del Río Majaceite). Este túnel permite trasvasar un caudal de agua importante hasta el embalse de Guadalcacín-Los Hurones para su posterior aprovechamiento, en abastecimiento urbano y agrícola, en la comarca del Campo de Gibraltar. La ley 17/1975, de 1 de junio, que regula el funcionamiento de esta obra especifica que no se trasvasará agua mientras no circule por el Río Guadiaro un caudal mínimo de 5 m^3/s. El caudal máximo que se puede trasvasar es de 30 m^3/s, sin que el volumen anual pueda superar 110 hm^3. Desde su entrada en funcionamiento hasta diciembre de 2006 el volumen de agua trasvasada ha sido próximo a 500 hm^3.

La climatología de la zona es de tipo mediterráneo subtropical y existe una gradación de las variables climáticas en función de la orografía y de la distancia a la costa. Así, en los relieves montañosos del norte, los valores medios anuales de precipitación y temperatura son de 900 a 1000 mm y de 16 a 17ºC, respectivamente, mientras que la franja costera se registran valores de 800 a 900 mm y de 17 a 18ºC.

Desde el punto de vista geológico, los materiales que afloran en la región pertenecen a varios dominios de la Cordillera Bética. En el sector septentrional se encuentran margas y margocalizas cretácicas del Subbético Interno occidental o Penibético (Sierra de Espartinas), metapelitas alpujárrides y maláguides (al SO del macizo Los Reales), y rocas carbonatadas jurásicas del dominio de la Dorsal (Sierra de Benadalid-Algatocín y Hacho de Gaucín). En el sector meridional aflora, ampliamente, el Flysch del Campo de Gibraltar, formado por rocas de naturaleza arcilloso-margosa y series alternantes de arcillas versicolores y areniscas (Areniscas del Aljibe), junto con calizas de "Microcodium". Sobre los materiales anteriores se disponen, discordantes,

Sondeo del Llano del Encinar (Benalauría)



Nacimiento del Salitre (Algatocín)

los depósitos postorogénicos del Plioceno, predominantemente arenas, que rellenan la cubeta costera de Sotogrande, y los sedimentos cuaternarios aluviales (gravas, arenas y limos), depositados por los Ríos Guadiaro y Hozgarganta, y de playa en la franja litoral.

La masa de agua subterránea Guadiaro-Genal-Hozgarganta, está formada por acuíferos carbonatados de montaña (Sierras de Benadalid-Algatocín y Gaucín) y por acuíferos detríticos en el sector costero (acuífero plioceno de Sotogrande y aluvial de los Ríos Guadiaro y Hozgarganta).

Las rocas carbonatadas que afloran en las Sierras de Benadalid-Algatocín (5,5 km^2) y Hacho de Gaucín 1,3 km^2) son permeables por fisuración y karstificación. Constituyen acuíferos pequeños, aislados, cuya recarga se produce por infiltración de agua de lluvia. Las entradas o recursos medios se estiman en 2 y 0,5 hm^3/año, respectivamente. La descarga natural se realiza a través de manantiales como el de San Antonio en Gaucín; los de Salitre, Las Pilas y Chiculina en Algatocín; El Piche en Benadalid y Azanaque y Huerta Albate en Benalauría. Del caudal drenado por estos manantiales, únicamente, 0,3 hm^3/año se aprovechan para el abastecimiento de las poblaciones cercanas (Algatocín, Benadalid y Benalauría).

Areniscas del Aljbe

Nacimiento de Las Pilas (Algatocín)

2.

4.22 Guadiaro - Genal - Hozgarganta

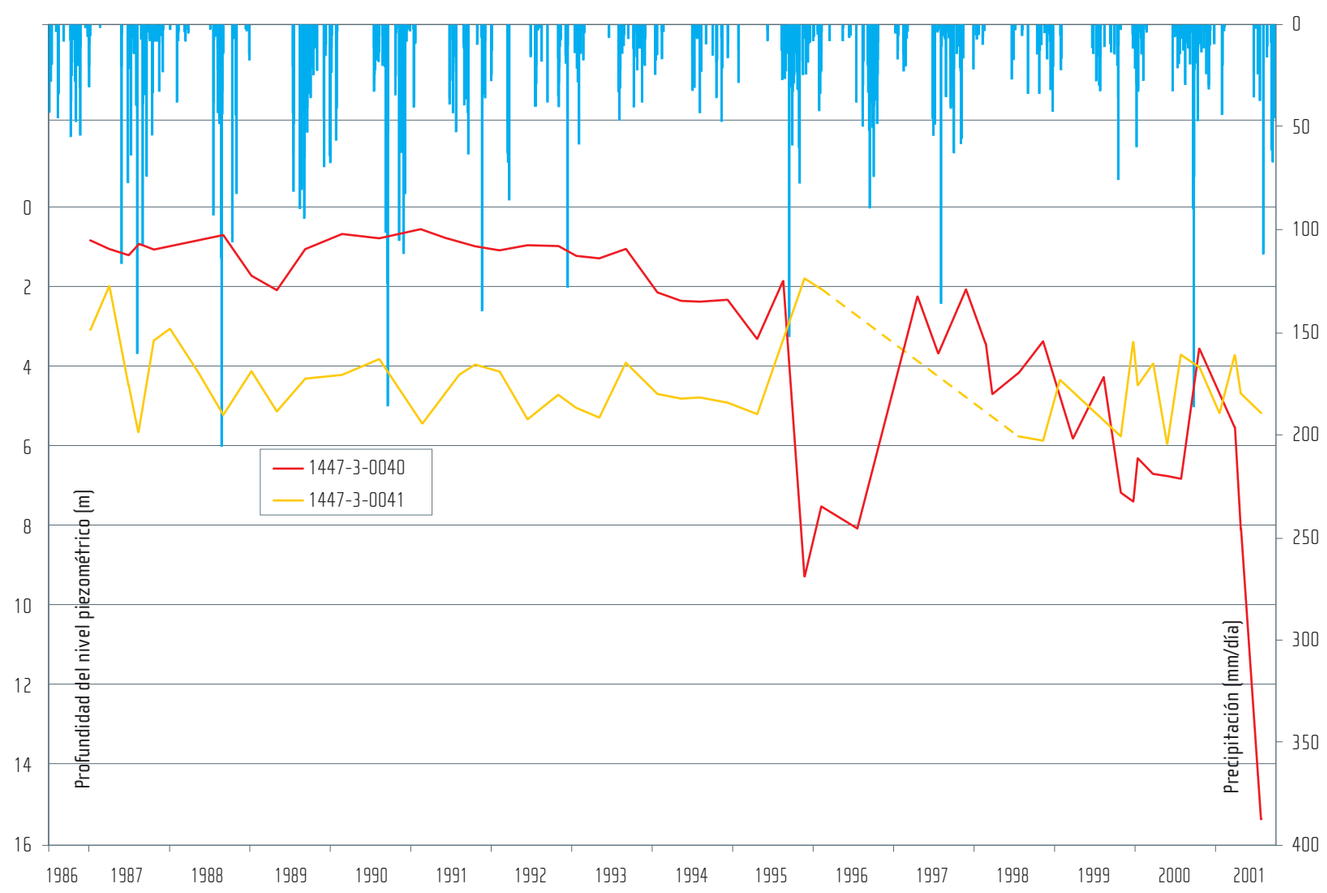
El acuífero de Sotogrande está formado por las arenas, a veces areniscas, de edad Plioceno y ocupa una extensión del orden de 20 km^2. Su geometría es la del relleno de una cubeta, limitada en sus bordes y en profundidad por materiales impermeables del Flysch del Campo de Gibraltar. El espesor del acuífero aumenta desde los bordes hacia el centro de la cubeta, el valor medio puede ser de 50 m y el máximo de 100 m; en sondeos de la urbanización de Sotogrande se han atravesado hasta 95 m. La superficie piezométrica se encuentra entre 80 y 0 m s.n.m., y el sentido general del flujo es de NO a SE, desde los bordes hacia el mar. El gradiente hidráulico puede variar entre el 1 y el 4%. La evolución piezométrica registrada en este acuífero muestra una tendencia descendente, con un valor medio de 0,42 m/año. La recarga se produce por infiltración de la precipitación sobre sus afloramientos permeables e infiltración de la escorrentía procedente de los materiales impermeables de borde. La descarga tiene lugar mediante manantiales o descarga difusa hacia los cauces (Arroyo de Guadalquitón y Río Guadiaro) y por drenaje subterráneo hacia el mar, a lo largo del frente costero.

El acuífero cuaternario de los Ríos Guadiaro y Hozgarganta está constituido por arenas, limos y gravas aluviales y antiguas terrazas fluviales donde se encuentran las vegas de estos ríos. Además, en la zona costera, existen depósitos arenosos de ambientes litorales. Los límites del acuífero están definidos por materiales arcillosos del Flysch del Campo de Gibraltar. La anchura de los depósitos cuaternarios, en superficie, no suele superar 600 m y siempre es inferior a 2000 m. La superficie total es de 60 km^2 y el espesor es muy variable. Así, en el Río Guadiaro varía desde 2,5 m, en San Pablo de Buceite, a más de 50 m, en San Enrique de Guadiaro. En el Río Hozgarganta también presenta espesores 40-50 m en la desembocadura, aunque normalmente son inferiores a 10 m. La superficie piezométrica se encuentra a cotas comprendidas entre 30 m s.n.m., a la altura de San Pablo de Buceite, y el nivel del mar, por lo que el gradiente hidráulico medio es de 1‰. La profundidad del agua suele ser menor de 5 m en la mayor parte del acuífero, con variaciones anuales de 1 a 3 m. En el aluvial del Guadiaro y Hozgarganta la alimentación procede, además de la infiltración del agua de lluvia y de la escorrentía superficial del borde impermeable, de los retornos de riego y de la recarga de la escorrentía de dichos ríos.

Entre el acuífero plioceno y el aluvial cuaternario existe continuidad hidráulica en el área de la desembocadura del Río Guadiaro. Los recursos medios del acuífero plioceno ascienden a 5 hm^3/año (4,5 hm^3/año por infiltración directa de las precipitaciones y 0,5 hm^3/año procedentes de la escorrentía de borde). Los recursos medios del acuífero aluvial se han evaluado en 16,5 hm^3/año (10 hm^3/año procedentes de la infiltración directa del agua de lluvia, 4 hm^3/año de la escorrentía de borde y 2,5 hm^3/año de la infiltración desde los ríos). En total, los recursos medios para el conjunto de materiales detríticos de la masa de agua subterránea Guadiaro-Genal-Hozgarganta son del orden de 21,5 hm^3/año. Las salidas naturales tienen lugar hacia los ríos y hacia el mar en el aluvial del Guadiaro y Hozgarganta (9 hm^3/año) y en el plioceno de Sotogrande (3,2 hm^3/año). Por manantiales sólo se ha cuantificado una descarga de 0,7 hm^3/año en el acuífero de Sotogrande. Las extracciones por bombeo se han considerado tradicionalmente poco significativas, aunque en la actualidad se bombean, para el abastecimiento urbano de San Roque y Jimena de la Frontera (Cádiz), 5,5 hm^3/año (1,8 hm^3/año del aluvial cuaternario y 3,7 hm^3/año del plioceno).

Depósitos aluviales del Río Genal

Evoluciones piezométricas



Mapa y corte hidrogeológico

Guadiaro - Genal - Hozgarganta

(M.A.S. 060.047)

Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA — Instituto Geológico y Minero de España

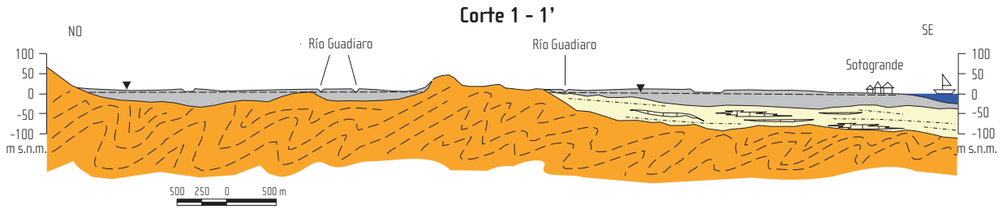
málaga.es diputación

Leyenda

Edad			Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas				
Cuaternario	13	12	13 Aluvial	Alta
Plioceno	11		12 Indiferenciado	Media
			11 Arenas	Media
Flysch			10 Arcillas y areniscas	Muy baja
Cretácico - Terciario	10		9 Margocalizas y margas	Baja
Zona Subbética			8 Margocalizas y margas	Baja
Cretácico - Terciario	9		7 Calizas blancas, calizas con sílex y calizas nodulosas	Media - Alta
Complejo de la Dorsal			6 Dolomías	Alta
Cretácico - Terciario	8		5 Calizas	Alta
Jurásico Inferior	7		4 Dolomías	Alta
Triásico Superior	6		3 Conglomerados, areniscas y arcillas Filitas, pizarras y calizas alabeadas	Baja
Complejo Maláguide			2 Mármoles dolomíticos	Alta
Jurásico Inferior	5		1 Gneises, esquistos y filitas	Baja
Triásico	4			
Paleozoico	3			
Complejo Alpujárride				
Triásico Medio	2			
Triásico Inferior	1			
Paleozoico	1			

Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Límite de provincia
- Aguas superficiales, mar
- Red hidrográfica
- Manantial
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- Núcleo de población
- Autovía, autopista
- Carretera



El balance hídrico del acuífero aluvial del Guadiaro y Hozgarganta es claramente excedentario y podría incrementarse su explotación. No ocurre lo mismo con el acuífero plioceno de Sotogrande que está siendo sometido a una explotación cercana al límite de los recursos medios anuales, aspecto éste que se refleja en la evolución de sus niveles piezométricos. Convendría plantearse una reordenación de los aprovechamientos del agua en la zona y la racionalización del elevado consumo que se produce en las instalaciones de ocio y deportivas del complejo turístico de Sotogrande y de todo el sector costero en general.

Las aguas subterráneas del aluvial del Guadiaro y Hozgarganta y del plioceno de Sotogrande presentan facies bicarbonatadas cálcicas y una mineralización débil a media, con valores de conductividad eléctrica de 700 y 650 µS/cm, respectivamente. Los contenidos medios de nitratos en ambos acuíferos no son muy elevados, inferiores a 15 mg/L, y la concentración en sulfatos es mayor en el aluvial (valor medio de 75 mg/L) que en el plioceno (16 mg/L). Por tanto, en ambos acuíferos, las aguas presentan una calidad química aceptable y son aptas para consumo humano.

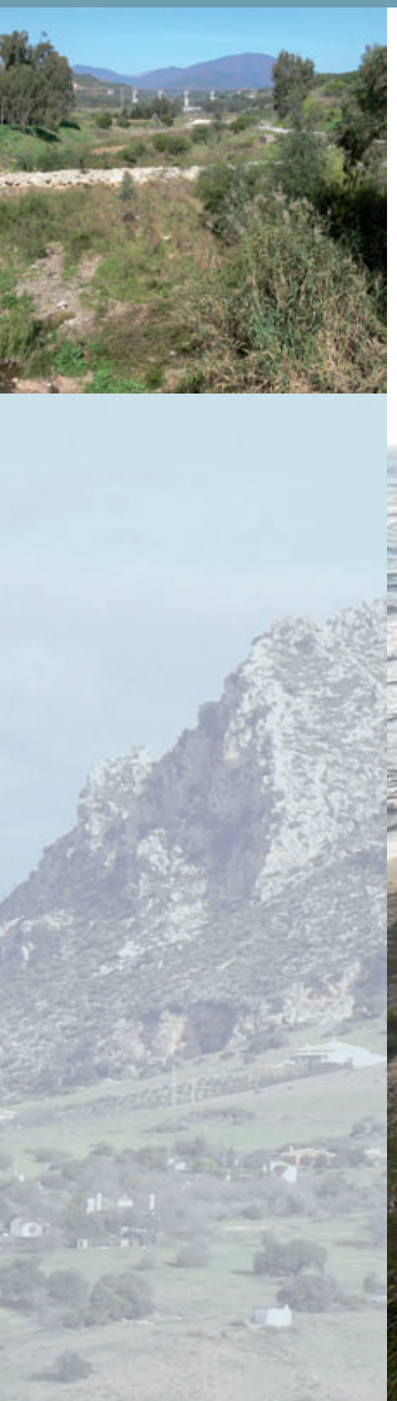
Al tratarse de acuíferos que están en contacto con el mar, son vulnerables a la intrusión marina, hecho que ocurre periódicamente. En muchos casos se trata de procesos relacionados con el avance de las mareas a lo largo del Río Guadiaro, más que de intrusión marina en sentido estricto. Los contenidos en cloruros aumentan de 3 a más de 20 veces la concentración habitual. Por otro lado, debido al carácter detrítico de los acuíferos plioceno y cuaternario, con permeabilidad media a alta, y dada la escasa profundidad del nivel piezométrico, estos acuíferos presentan una vulnerabilidad media-alta a la contaminación por actividades antrópicas (agricultura, vertidos sólidos y líquidos, etc.).

Captación de aguas subterráneas en el acuífero aluvial del Río Guadiaro para abastecimiento a la Costa del Sol

Captación para uso agrícola en el acuífero aluvial del Guadiaro-Hozgarganta

2.4.23

Marbella - Estepona (M.A.S. 060.040)



2.4.23

Marbella - Estepona

Eduardo Lupiani Moreno

La masa de agua subterránea 060.040 se extiende a lo largo de la franja costera del sector occidental de la provincia, entre la Cala de Mijas, al este, y Manilva, por el oeste. Al norte, queda delimitada por la cadena montañosa que va desde la Sierra Bermeja (en la parte occidental) hasta las estribaciones meridionales de la Sierra Alpujata (en la parte oriental), pasando por Sierra Blanca. Estos relieves constituyen la cabecera de muchos ríos de régimen irregular, entre los que cabe citar, de oeste a este, los siguientes: Padrón, Castor, Velerín, Guadalmansa, Guadalmina, Guadaiza, Verde y Real. En esta masa de agua, el Ministerio de Medio Ambiente incluyó la unidad hidrogeológica Marbella –Estepona y una serie de acuíferos menores, como son los carbonatados de Sierras de Crestellina (Casares), de los Canutos o de la Utrera (Manilva) y de Benahavís y los pequeños acuíferos detríticos costeros de Manilva y la Cala de Mijas.

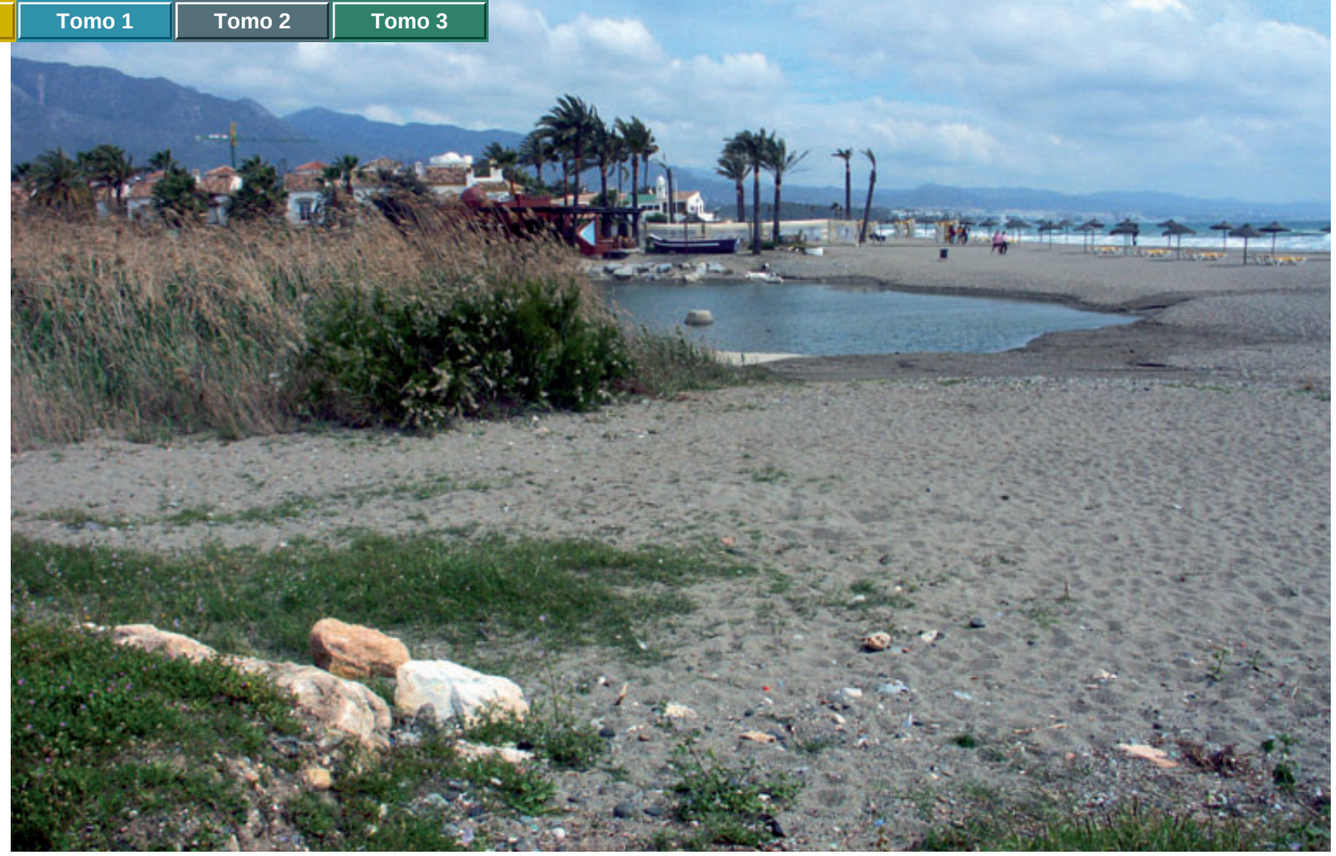
La Costa del Sol presenta un clima mediterráneo con temperaturas suaves en verano e inviernos poco fríos, debido al efecto de la litoralidad. Este efecto se favorece por los relieves costeros que actúan de pantalla frente a los vientos fríos procedentes del interior de la provincia. La temperatura media es del orden de 18ºC en la estación de Marbella-Puerto Banús. La precipitación media histórica es de 680 mm/año en la estación de Marbella, que puede considerarse representativa de la zona costera.

La franja costera está formada por dos conjuntos sedimentarios principales, uno inferior de edad Plioceno y otro superior del Cuaternario, que se apoyan, discordantes, sobre un sustrato de peridotitas y gneises del Compleo Alpujárride y pizarras y grauvacas del Maláguide. Dentro del conjunto plioceno, a su vez, se pueden distinguir dos tramos: uno basal, que aflora principalmente al norte de Puerto Banús y en las inmediaciones de Estepona, tiene 20-40 m de espesor y está formado por conglomerados que, hacia el sur, disminuyen de tamaño de grano; y, un tramo superior, con arenas en la base y hacia el borde septentrional de los afloramientos (sector de la Mezquita de Marbella) y margas, más o menos arenosas, hacia techo y hacia el mar (Marbella, San Pedro de Alcántara, Estepona). El conjunto de materiales pliocenos se encuentra ligeramente basculado hacia el mar, con un buzamiento generalizado de 5 a 10º, y alcanza los mayores espesores (hasta 150 m) en la línea de costa, aunque la potencia media es de 100 a 120 m.

Los sedimentos cuaternarios se encuentran discordantes sobre los anteriores y son, fundamentalmente, de dos tipos: fluviales y eólicos. Los primeros están formados por cantos rodados, gravas y arenas, con una escasa matriz limo-arcillosa, y han sido depositados por los ríos actuales. Los principales afloramientos se localizan en los Ríos Padrón, Castor, Guadalmansa, Guadalmina, Guadaiza y Verde, donde llegan a alcanzar anchuras de 500 m y potencias cercanas a 40 m en algún caso. Los sedimentos eólicos son arenas de granulometría muy homogénea, que constituyen un antiguo manto de dunas situado en la zona de Elviria-Cabo Pino, de hasta 500 m de anchura y 12 m de espesor.

Depósitos aluviales en el cauce de Río Verde

Sierra Crestellina



Depósitos de playa en Puerto Banús

Río Guadalmansa

Por lo que respecta a la Sierra de Crestellina (Complejo Maláguide) y otras menores situadas al norte de Casares (Complejo Alpujárride), cabe señalar que están formadas por lutitas, filitas y esquistos del Trías Inferior y dolomías y calizas (metamorfizadas en la parte oriental) del Trías Medio-Superior. Estas rocas se encuentran plegadas y fuertemente falladas en una serie de escamas tectónicas vergentes hacia el este. Desde el punto de vista hidrogeológico, las rocas carbonatadas constituyen afloramientos permeables, con una superficie 3,2 km^2 en Sierra Crestellina y 2 km^2 en los afloramientos situados al este, generalmente con poca continuidad hidráulica por la compartimentación asociada a la estructura geológica. La alimentación de estos acuíferos se produce por infiltración de agua de lluvia y se estima en aproximadamente 2 hm^3/año. La descarga tiene lugar por manantiales, el más importante de los cuales es el de la Chorla, con un caudal medio de varias decenas de L/s y por sondeos que se utilizan para abastecimiento a Casares.

La Sierra de la Utrera pertenece al dominio Penibético o Subbético Interno occidental y, como tal, su serie está formada por arcillas con evaporitas del Trías superior, que no afloran en superficie, dolomías y calizas jurásicas que constituyen la mayor parte de la sierra y, en el borde oriental, aparecen margas y margocalizas del Cretácico. Las rocas carbonatadas ocupan una superficie de 3,4 km^2 y también son permeables por fisuración y karstificación, por lo que constituyen un acuífero. Los recursos de este sistema pueden ser del orden de 1,5 hm^3/año y se drenan por el manantial de la Hedionda, que en otro tiempo se aprovechaba como balneario, dada la composición sulfurosa de sus aguas.

En el entorno de Benahavís y al norte de Estepona existen una serie de afloramientos de pequeña extensión (3,7 y 2 km^2, respectivamente), formados por mármoles triásicos del Complejo Alpujárride. Las entradas o recursos medios de estos afloramientos se estiman en 1,5 y 0,8 hm^3/año y la descarga tiene lugar hacia el cauce de los ríos que atraviesan dichos enclaves marmóreos. En los afloramientos carbonatados de Benahavís existen captaciones para abastecimiento municipal.

Los pequeños afloramientos detríticos costeros de Manilva y la Cala de Mijas, tienen superficies de 2 y 1,2 km^2 y sus escasos recursos proceden de la infiltración de las precipitaciones y del agua de escorrentía que circula por los cauces que los atraviesan. La descarga se produce hacia la parte baja de los ríos, hacia el mar y mediante bombeos en captaciones.

Tanto la Sierra de Crestellina como la de la Utrera, los afloramientos carbonatados de Benahavís y los detríticos de Manilva y Cala de Mijas fueron incluidos en la masa de agua 060.40, fundamentalmente, por razones de proximidad geográfica y para evitar definir masas de agua de pequeñas dimensiones. Ahora bien, conviene tener presente que no existe continuidad hidrogeológica entre los afloramientos de rocas carbonatadas, ni entre ellos y los materiales de la franja costera.

Los acuíferos más importantes de la masa de agua subterránea están formados por los materiales pliocenos y cuaternarios que afloran entre Estepona y el límite y la Cala de Mijas, con una superficie total de 80 km^2. La gran longitud de afloramientos pliocuaternarios (40 km) en relación con su anchura (2 km), unida a las variaciones de espesores y de litologías de los materiales acuíferos, hace que se puedan diferenciar varios sectores, desde el punto de vista de la gestión y explotación, de oeste a este: Estepona-aluvial del Padrón, Aluvial del Guadalmina, San Pedro-Medranas, Aloha-Puerto Banús, aluvial del Río Verde, Señorío de Marbella y Marbella-sector oriental.

Los materiales pliocenos constituyen un acuífero detrítico multicapa, con el tramo basal confinado hacia la costa y libre hacia el interior, excepto en el sector del Señorío de Marbella, donde el acuífero libre llega hasta la costa y los niveles permeables contactan con el mar. Los sedimentos pliocenos con mayor tamaño de grano presentan, en su conjunto, buenas características hidráulicas, aunque existe una distribución irregular de los mismos a lo largo de sus afloramientos. La transmisividad de estos materiales acuíferos está comprendida entre 250 y 500 m^2/día, e incluso llega a ser de 2.000 m^2/día en alguna áreas, mientras que el coeficiente de almacenamiento varía entre $5{,}7{\cdot}10^{-3}$ y $2{,}6{\cdot}10^{-4}$. En la mayor parte del acuífero, el nivel piezométrico se encuentra entre 10 y 40 m de profundidad y, en gran parte de su extensión, tiene un comportamiento propio de acuífero confinado; de hecho hay sondeos artesianos, situados en cotas bajas o cerca de la costa. Las isopiezas varían desde 15 m s.n.m. en el borde septentrional y 0 m s.n.m. en la línea de costa. Las isopiezas tienen un trazado general paralelo al litoral, con gradientes hacia el sur, que varían entre el 6% bajo la ciudad de Marbella y el 0,5 % en San Pedro de Alcántara. Durante periodos de sequía, se han registrado niveles piezométricos

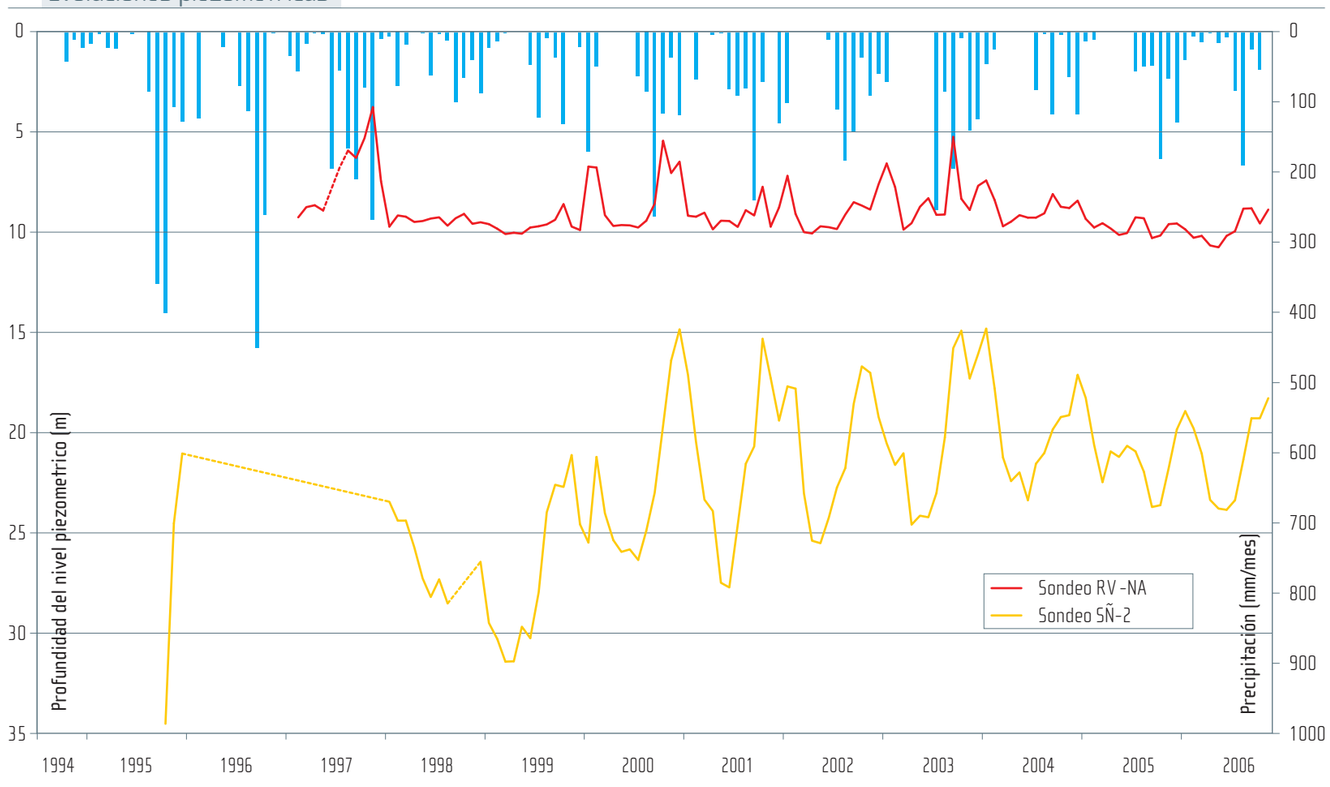
2.

4.23 Marbella - Estepona

Pozo en Río Verde para abastecimiento a Marbella

por debajo del nivel del mar. Desde el año 2000 se está realizando recarga artificial en el acuífero plioceno, concretamente en la zona del Señorío de Marbella, aprovechando agua del manantial de Camoján, situado en la vertiente meridional de Sierra Blanca. El dispositivo de inyección empleado corresponde a un sondeo con capacidad de admisión en torno a 40 L/s, con el que se ha logrado contener los descensos piezométricos y la intrusión marina que afectaban a este sector.

Evoluciones piezométricas



Los sedimentos cuaternarios también constituyen acuíferos, tanto los depósitos fluviales asociados a los ríos actuales, como los eólicos de las dunas de Elviria-Cabo Pino. De estos últimos no se tiene mucha información hidrogeológica; hay algunos datos de sondeos en los que el nivel piezométrico queda próximo al muro de las arenas de duna y el agua suele presentar salinidad elevada. Por lo que respecta a los depósitos aluviales, cabe destacar los asociados a los Ríos Padrón, Guadaiza, Guadalmina y Verde, que tienen transmisividades muy elevadas, entre 2.000 y 16.000 m^2/día, y el coeficiente de almacenamiento es del 5 al 10 %. Se trata de acuíferos libres cuyo nivel piezométrico se encuentra, normalmente, a menos de 10 m de profundidad y el gradiente piezométrico es del 1 al 1,5%, en el sentido de la pendiente del terreno. Los datos piezométricos disponibles indican la existencia de saltos y discontinuidades entre los acuíferos plioceno y cuaternario. Por lo general, el nivel piezométrico se encuentra a mayor cota en la parte septentrional de los acuíferos aluviales, mientras que en las proximidades a la costa la cota piezométrica es más alta en el acuífero plioceno.

Las evoluciones piezométricas disponibles, del acuífero plioceno y del cuaternario, muestran importantes variaciones, estacionales y plurianuales, ligadas al régimen de explotación y a las precipitaciones. Las variaciones estacionales son de orden métrico (5 a 10 m), con máximos en primavera y mínimos en octubre, y afectan tanto al plioceno como a los aluviales. A escala plurianual se registran variaciones decamétricas en el acuífero plioceno y mucho más atenuadas en los aluviales, con mínimos en periodos secos.

Sondeo Padrón Alto para abastecimiento a Estepona

Desembocadura del Río Verde (Marbella)

Toma de agua del manantial de Camoján, para recarga artificial

Mapa y corte hidrogeológico

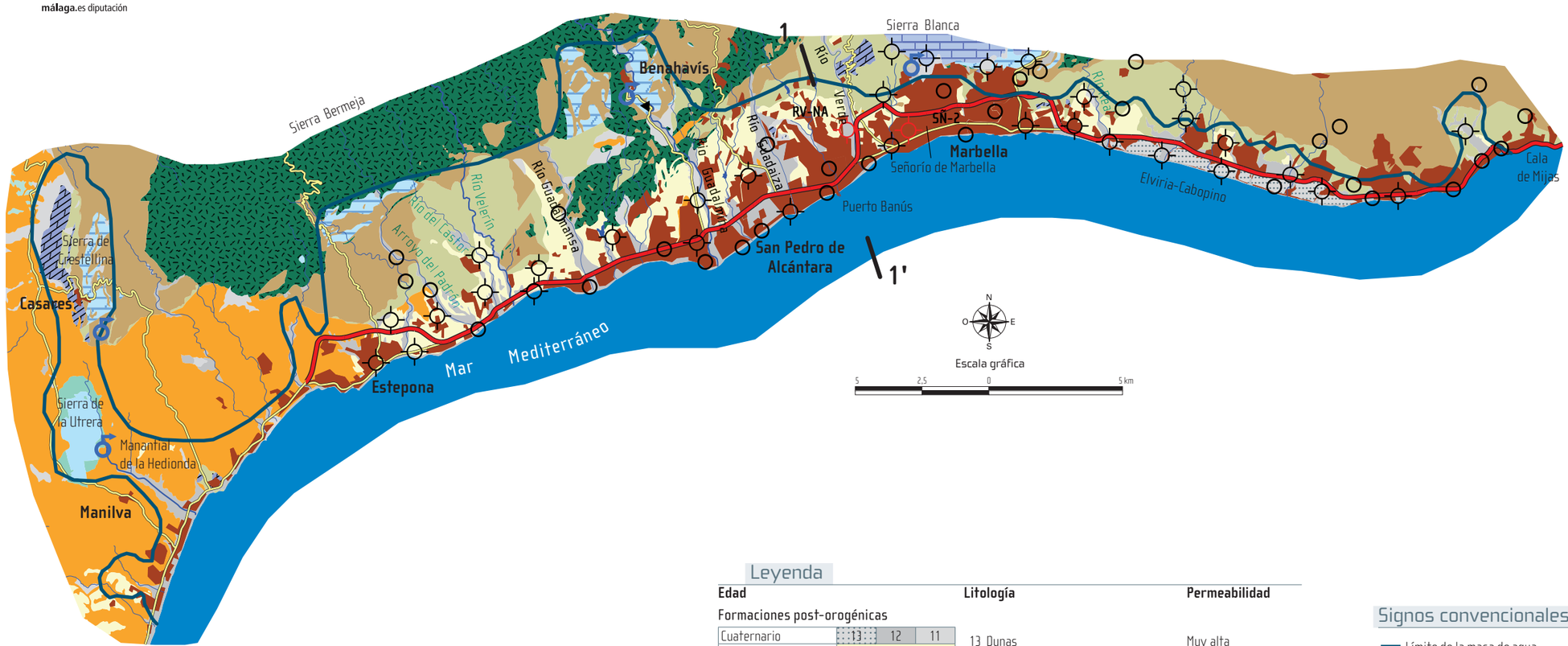
Marbella - Estepona

(M.A.S. 060.040)

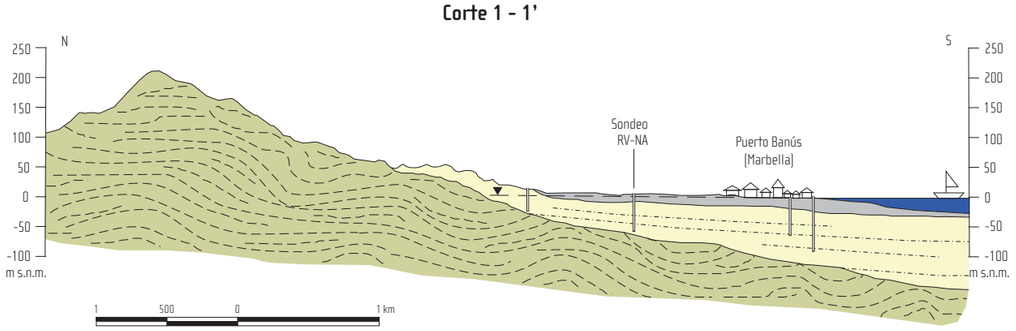
Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA — Instituto Geológico y Minero de España

málaga.es diputación



Corte 1 - 1'



Leyenda

Edad

Formaciones post-orogénicas

Cuaternario	13	12	11
Plioceno	10		

Flysch

Cretácico-Terciario	9

Zona Subbética

Cretácico-Terciario	8
Jurásico	7

Complejo Maláguide

Triásico	6
Paleozoico	5

Complejo Alpujárride

Triásico	Superior	4
	Medio	3
	Inferior	2
Paleozoico		1

Litología	Permeabilidad
13 Dunas	Muy alta
12 Aluvial	Alta
11 Indiferenciado	Media
10 Arenas y margas	Baja - Media
9 Arcillas y areniscas	Muy baja
8 Margocalizas y margas	Baja
7 Calizas y dolomías	Alta - Muy alta
6 Dolomías	Alta
5 Conglomerados, areniscas y arcillas Filitas, pizarras y calizas alabeadas	Baja
4 Mármoles calizos con calcoesquistos	Alta
3 Mármoles dolomíticos	Alta
2 Gneises, esquistos y filitas	Baja
1 Peridotitas	Baja

Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Aguas superficiales, mar
- Red hidrográfica
- Manantial
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera

La recarga de los acuíferos costeros se produce, fundamentalmente, por infiltración de una parte de las precipitaciones que caen sobre los afloramientos permeables y por infiltración de escorrentía superficial que circula por los cauces. La primera componente debe ser más importante en la alimentación del acuífero plioceno, dada la mayor extensión de éste. A partir de una precipitación media de 680 mm y un coeficiente de infiltración medio del 18-20% (valor promedio del balance hidrometeorológico), resulta una recarga de 10 hm^3/año. Por lo que respecta a la infiltración de la escorrentía debe ser mayor en los acuíferos aluviales, dada su relación con los cauces fluviales. El caudal de los ríos que atraviesan la masa de agua tiene un marcado carácter estacional y, en condiciones medias, totaliza más de 100 hm^3/año, de los que una cantidad no bien cuantificada pasa a alimentar los acuíferos aluviales y, eventualmente, al plioceno. En los balances previos de la unidad hidrogeológica Marbella-Estepona se evaluó esta alimentación desde los cauces entre 20,8 y 28,3 hm^3/año. La construcción de la presa de Río Verde y varios azudes en los ríos situados al oeste (Guadalmansa, Guadalmina y Guadaiza), para laminar las crecidas y trasvasar el agua hacia el embalse de Río Verde, han disminuido esta componente de la recarga. Como entradas hay que contabilizar, también, el caudal de agua que se utiliza para hacer recarga artificial en el acuífero plioceno (0,175 a 0,25 hm^3/año) y los retornos de riegos, que cada vez son menos, por lo que ambas componentes son de escasa magnitud a efectos del balance hidrogeológico global. Así, los recursos medios anuales de los acuíferos costeros de Marbella-Estepona, en las condiciones hidrológicas actuales, pueden ser del orden de 25-30 hm^3/año.

Las salidas de agua se producen hacia el mar, de manera natural, y mediante bombeos. En la masa de agua subterránea 060.040 hay más de un centenar de pozos y sondeos, que captan tanto el acuífero plioceno como el cuaternario. El agua bombeada en las captaciones se aprovecha para el abastecimiento de los núcleos urbanos, urbanizaciones y campos de golf de los términos municipales de Marbella y Estepona, e incluso regadío de algunas zonas agrícolas que se encuentran en clara recesión. En 1984, el Instituto Geológico y Minero de España evaluó las extracciones en 23 hm^3/año. Más recientemente las extracciones para uso urbano (municipal y de urbanizaciones) en los municipios de Marbella y Estepona, se han estimado en 8 y 5 hm^3/año, respectivamente, a los que hay que sumar los bombeos para complementar el riego de los 14 campos de golf de la zona, cuya demanda total es de 5 hm^3/año, pero solo 2 hm^3/año son de recursos subterráneos, más los regadíos que aún quedan concentrados en Estepona. En definitiva, las extracciones actuales, a falta de su contraste con datos de campo rigurosos, deben ser inferiores a 20 hm^3/año. De ser ciertos estos valores, las descargas al mar se habrían reducido a unos 5-10 hm^3/año (en otro tiempo se estimaron en 10 a 22 hm^3/año).

En años secos, la infiltración de escorrentía desde cauces, principal fuente de alimentación, disminuye drásticamente, por lo que se genera un déficit temporal de recarga que ha desembocado en episodios de intrusión marina. Estos procesos se han identificado en los acuíferos aluviales y en determinados sectores del acuífero plioceno (Señorío de Marbella y Río Padrón en Estepona).

El abastecimiento público de Estepona y Marbella, históricamente, se ha realizado con aguas subterráneas, inicialmente de manantiales ubicados en las sierras y más tarde con pozos ubicados en los acuíferos costeros. Para cubrir el aumento de la demanda de agua generado por el crecimiento de estos municipios, en 1972 se construyó la presa de Río Verde o de La Concepción, que es la fuente principal del suministro mancomunado de agua a la Costa del Sol Occidental, y, desde 1996, también se dispone de una planta desalinizadora en Marbella, con capacidad para aportar hasta 20 hm^3/año. En la actualidad, sólo un 15% del abastecimiento de Estepona se lleva a cabo con aguas subterráneas, desde la captación en el Río Padrón y varios sondeos situados en el casco urbano, además de los manantiales de Sierra Bermeja. Por su parte, el municipio de Marbella dispone del manantial de Puerto Rico, en Sierra Blanca, y una docena de pozos, localizados cerca de la ciudad, en Río Verde, e inmediaciones de San Pedro de Alcántara, con los que cubre algo menos del 30 % de su demanda. Para el riego de campos de golf y de jardines se aprovechan del orden de 3 hm^3/año de aguas residuales depuradas.

El agua extraída de las captaciones suele ser de facies bicarbonatada cálcica y cálcico-magnésica, de mineralización baja a media (conductividad eléctrica entre 400 y 600 µS/cm). Estas características la hacen apropiada para consumo humano, aunque se producen variaciones de la composición química en las formaciones permeables que están en contacto con el mar, donde se han generado episodios de intrusión marina. El más importante se registró en verano de 1995, cuando la interfase salada penetró por el aluvial de Río Verde y afectó a captaciones situadas a 1,5 km del mar; la conductividad eléctrica aumentó hasta 10.000 µS/cm. No obstante, un hecho característico de los acuíferos aluviales de esta zona es la facilidad de expulsión del agua salada y la ausencia de salinidad residual, una vez que se recuperan las condiciones hídricas medias. La intrusión marina, en la actualidad, está controlada por los usuarios más importantes de la masa de agua, abastecimientos de Estepona y Marbella, que modulan las extracciones en función de la profundidad del nivel piezométrico y la conductividad eléctrica y, además, se lleva a cabo recarga artificial, para mantener la salinidad dentro de valores que permitan el aprovechamiento del agua.

Planta desalinizadora de Marbella

Limpieza, con aire, de un sondeo utilizado para hacer recarga artificial (Marbella)

Salida del túnel del trasvase del Río Guadalmina al Guadaiza

2.4.24

Río Fuengirola (M.A.S. 060.039)

2.4.24

Río Fuengirola

Antonio Castillo Martín
Luis Sánchez Díaz
José Benavente Herrera

Fuengirola se encuentra sobre la masa de agua del río homónimo

Al noroeste de la localidad de Fuengirola, en la parte más baja de la cuenca del río del mismo nombre, se encuentra la masa de agua subterránea del Río Fuengirola. Corresponde a la franja litoral comprendida entre la línea de costa y, aproximadamente, la cota 100. La precipitación media anual sobre esta zona varía entre 550 mm (Fuengirola) y 700 mm (Mijas) y la temperatura media anual entre 16 y 18ºC, lo que se corresponde con un área templada-subhúmeda desde el punto de vista climático.

La superficie del acuífero detrítico de Fuengirola conforma una suave llanura cuya extensión es de 18 km^2. El substrato del acuífero está formado por materiales preorogénicos de baja permeabilidad: metapelitas, de edad Paleozoico, pertenecientes a los complejos Alpujárride y Maláguide de la Cordillera Bética. Sobre dicho substrato se dispone, de manera discordante, una formación de edad Plioceno, integrada por conglomerados en la base y margas con tramos arenosos hacia arriba, cuya permeabilidad de conjunto es media-baja. Estos materiales afloran, sobre todo, en el borde norte de la franja litoral de Fuengirola, el más elevado topográficamente, donde ocupan una extensión cercana a los 8 km^2. La potencia media de esta formación detrítica es del orden de 100 m, aunque en algunos sondeos recientes se han detectado espesores mayores de 200 m.

Cauce del Río Fuengirola y captaciones de agua en sus proximidades

Panorámica del acuífero detrítico de Fuengirola. Al fondo, la Sierra de Mijas

Encima de la formación pliocena anteriormente descrita, aparecen materiales cuaternarios. Están constituidos, en su mayor parte, por depósitos aluviales del Río Fuengirola y de otros cauces menores (Arroyos Real y Pajares) y, en menor medida, por depósitos de playa en la franja litoral. Se trata de gravas, arenas y limos que ocupan una extensión de aproximadamente 10 km^2 y su espesor es muy variable de unos sectores a otros, desde pocos metros hasta casi el centenar en el tramo bajo del Río Fuengirola.

Los materiales pliocenos y cuaternarios descritos se considera que están conectados hidráulicamente entre sí, constituyendo una masa de agua subterránea, correspondiente al acuífero detrítico pliocuaternario de Fuengirola. No obstante, los cambios bruscos de permeabilidad entre ambas formaciones, tanto en la vertical como en la horizontal, pueden inducir una serie de efectos, como son, por ejemplo, variaciones en el gradiente piezométrico, en la calidad de las aguas subterráneas y en el rendimiento de las captaciones que las explotan. En este sentido, puede señalarse que los conglomerados de base del Plioceno que se han detectado en varios sondeos de cierta profundidad (de 200 a 300 m), perforados en el casco urbano de Fuengirola (calle Isla Gomera y plaza González Anaya), constituyen un acuífero de hasta 50 m de espesor, confinado en algunos sectores, del que se pueden extraer caudales relativamente elevados (60 L/s). No obstante, el funcionamiento de este acuífero confinado está aún por estudiar, particularmente, las circunstancias en que se produce su alimentación y descarga.

Los materiales aluviales cuaternarios presentan, en conjunto, una permeabilidad relativamente alta, por lo que constituyen el tramo acuífero de más interés, en el cual se sitúan la mayoría de las captaciones. La piezometría establecida para este acuífero muestra una estrecha relación con los cursos superficiales y, más concretamente, con el Río Fuengirola. En general, la superficie piezométrica se halla próxima a superficie del terreno y adquiere una disposición descendente hacia la línea de costa. En las partes más elevadas del acuífero, el nivel piezométrico se encuentra a unos 25 m de profundidad, lo que favorece una alimentación procedente de las aguas de escorrentía superficial. Esta situación puede llegar a invertirse en los tramos bajos de los ríos y arroyos, especialmente en periodos lluviosos, recibiendo en tal caso los cauces la descarga del acuífero. El mencionado esquema de relación río-acuífero implica, pues, la existencia de un tramo de curso influente en cabecera, que pasa aguas abajo a ser efluente en las inmediaciones de la desembocadura. Estas mismas circunstancias se han identificado en otros acuíferos aluviales costeros próximos.

Los recursos del acuífero pliocuaternario se estiman en aproximadamente 10 hm^3/año, según datos propios sin publicar, aunque otras evaluaciones llegan a duplicar esa cantidad. La razón de esta disparidad de estimaciones está en la difícil cuantificación de la recarga por infiltración de las aguas de superficie y del retorno de riegos, la partida de alimentación mayoritaria. A partir de unos recursos totales de 45 hm^3/año (aguas superficiales y subterráneas) calculados para la cuenca vertiente al acuífero (150 km^2), se estima, por comparación con lo que ocurre en otros sistemas costeros próximos mejor conocidos hidrogeológicamente, que la recarga producida desde las aguas de superficie puede ser del orden de 8 hm^3/año y la recarga por precipitación directa sobre el acuífero es del orden de 2 hm^3/año.

La descarga del acuífero se produce a través de extracciones por bombeo, aproximadamente 5 hm^3/año, y mediante drenaje oculto hacia el mar, componente estimada en otros 5 hm^3/año, aunque, como es lógico, estas cifras son cambiantes con los años en función de las condiciones hidrometeorológicas. Una explotación mayor, que tendiera a igualar las extracciones con los recursos medios, acentuaría los descensos piezométricos y, consecuentemente, la penetración del agua marina hacia el continente. Conviene tener presente que gran parte de la descarga subterránea al mar se produce durante el invierno, dada la insuficiente capacidad reguladora de este acuífero. Ello ha de ser tenido en cuenta a la hora de valorar la posibilidad de recargar el acuífero con excedentes superficiales y con aguas residuales previamente tratadas, como métodos para aumentar los recursos subterráneos, la regulación del sistema y, consecuentemente, de luchar contra la intrusión marina. Por el contrario, eventuales actuaciones tendentes a regular las aguas superficiales de la cuenca mediante la construcción de embalses en cabecera, actualmente en proyecto en los Ríos Fuengirola y Ojén (aguas arriba de Entrerríos), tendría entre sus consecuencias la disminución de la recarga al acuífero y, consecuentemente, una mayor vulnerabilidad del mismo frente a la intrusión marina. El deterioro de calidad también se favorecería al reducirse la dilución a partir de aguas relativamente menos salinas procedentes de la infiltración en cauces superficiales.

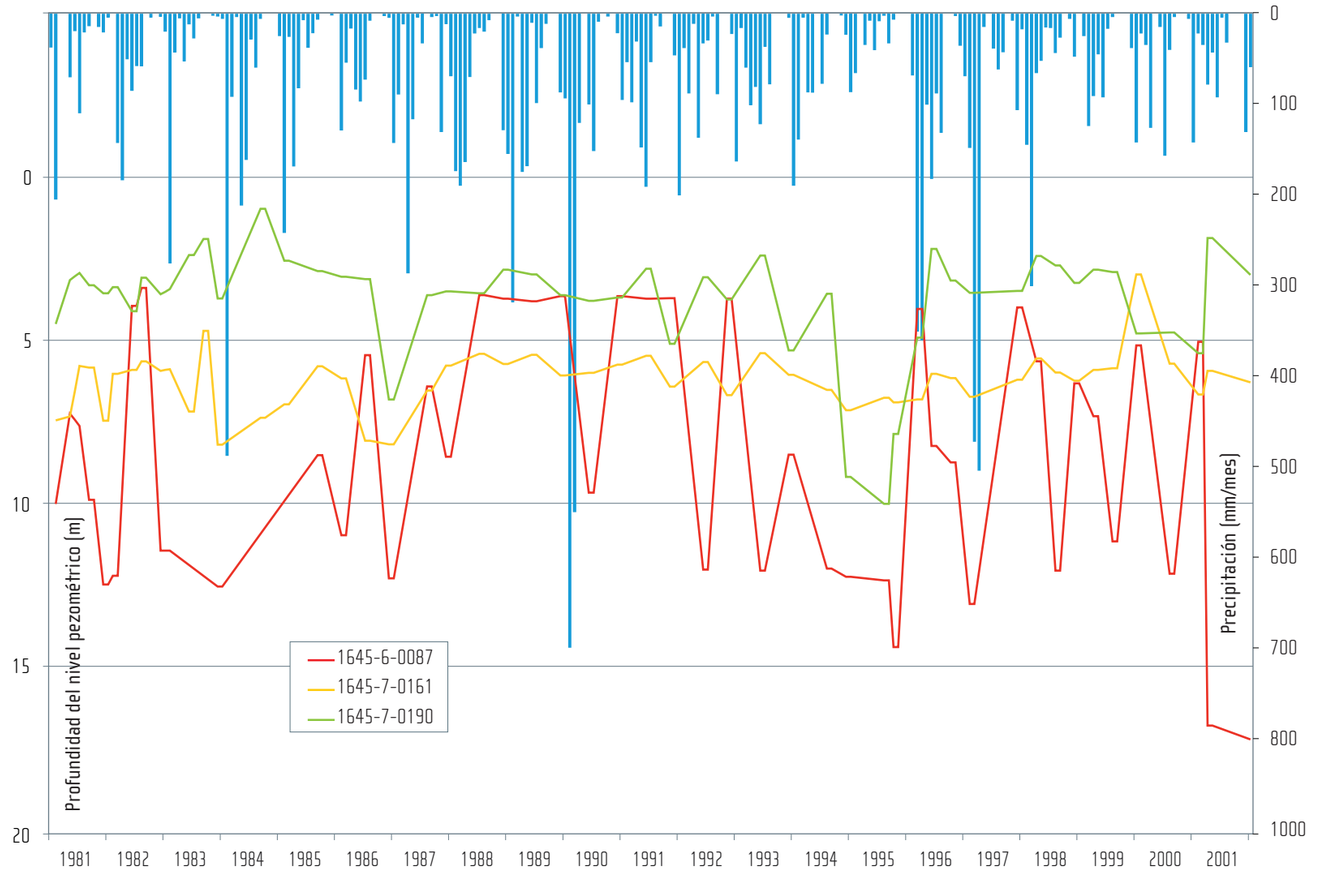
2.

4.24 Río Fuengirola

La evolución de niveles piezométricos (1981-2001) en tres puntos representativos de los sectores alto, medio y bajo del acuífero presenta oscilaciones temporales que se pueden vincular con variaciones en la relación recarga/explotación. Son más acusadas, en el sector de cabecera que hacia la desembocadura, como es lógico esperar en un acuífero conectado con el mar. Con la información disponible, no se detectan tendencias significativas en la evolución piezométrica del acuífero para el periodo estudiado. No obstante, la explotación actual mediante bombeos genera algunos conoides o depresiones piezométricas en los tramos bajos del aluvial, donde se concentra la mayor extracción de aguas subterráneas, pues existen captaciones que permiten extraer hasta 40 L/s (sondeos de Realenga, Romería, Conde, etc.). La concentración de la explotación del acuífero en dicho sector, y su mayor permeabilidad y espesor, favorecen también la penetración tierra adentro de agua del mar, de manera relativamente rápida (intrusión marina), cuando se producen descensos de nivel piezométrico por debajo de la cota cero. Ahora bien, en periodos húmedos la importante recarga asociada a los elevados niveles piezométricos induce la expulsión de la cuña de agua salina hacia el mar. Este hecho está favorecido por la geometría del acuífero aluvial saturado, una banda relativamente estrecha, y la verosímilmente alta permeabilidad del mismo.

Confluencia de los Ríos Alaminos y Ojén (Entrerríos) en condiciones de estiaje

Evoluciones piezométricas



Captación de agua en el acuífero aluvial del Río Fuengirola

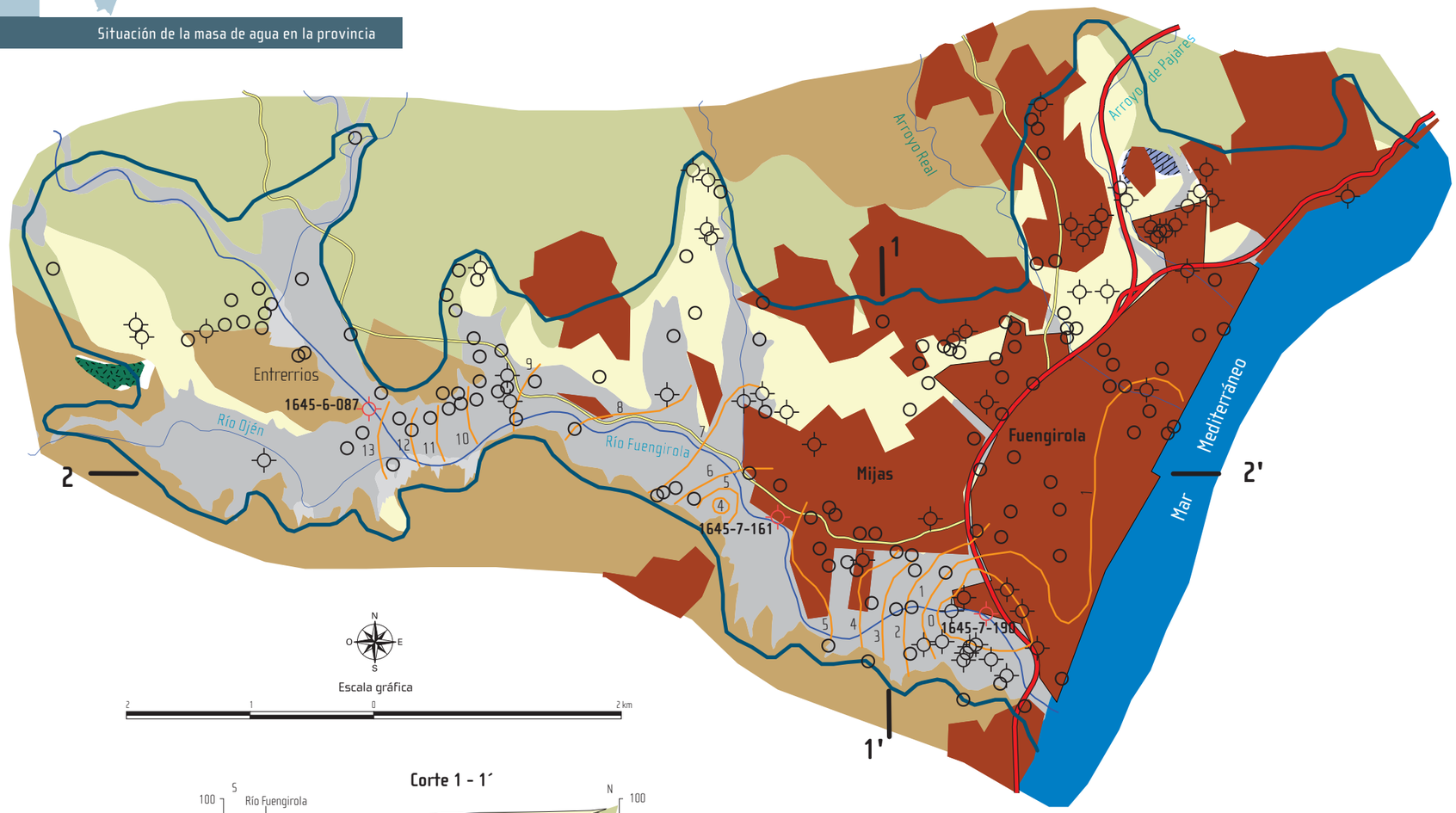
Mapa y cortes hidrogeológicos

Río Fuengirola

(M.A.S. 060.039)

Situación de la masa de agua en la provincia

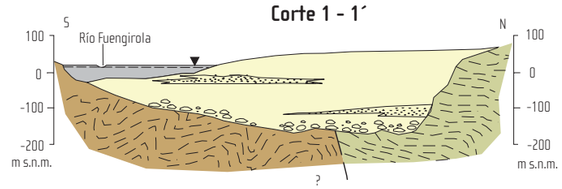
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación



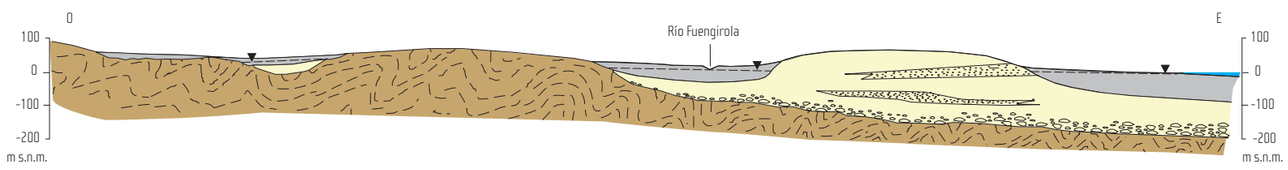
Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Aguas superficiales, mar
- Red hidrográfica
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- Isopieza con altitud en m s.n.m.
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera

Corte 1 - 1´



Corte 2 - 2´



Leyenda

Edad			Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas				
Cuaternario	7	6	7 Aluvial	Alta
Plioceno	5		6 Indiferenciado	Media
			5 Margas y arenas	Baja - Media
Complejo Maláguide			4 Dolomías	Alta
Triásico	4		3 Conglomerados, areniscas y arcillas Filitas, pizarras y calizas alabeadas	Baja
Paleozoico	3		2 Gneises, esquistos y filitas	Baja
Complejo Alpujárride			1 Peridotitas	Baja
Triásico Inferior	2			
Paleozoico				
	1			

2.

Los rápidos procesos de intrusión y extrusión marina, el limitado poder regulador del acuífero y las alternativas de gestión para aumentar dicha regulación son, probablemente, los aspectos más destacables de la masa de agua subterránea de Fuengirola, desde el punto de vista hidrogeológico.

Por lo que respecta a la calidad de las aguas subterráneas del acuífero del Río Fuengirola, cabe señalar que se ha deteriorado con los años, no sólo por los reiterados procesos de salinización, sino también por enriquecimientos de nitratos ligados a fertilizantes agrícolas y por presencia de microorganismos patógenos procedentes de fugas y vertidos de aguas residuales. El agua de algunas captaciones profundas, que explotan los conglomerados de base del Plioceno, presentan valores anómalamente altos de metales pesados de origen natural.

Las aguas del acuífero aluvial son de moderada mineralización (de 0,7 a 1 g/L) de sólidos disueltos) y de facies bicarbonatada cálcico-magnésica, salvo en las zonas próximas a la línea de costa, donde son de tipo clorurado sódico, con una salinidad de varios g/L, debido a procesos de intrusión marina actuales o relictos, si bien la calidad del agua fluctúa bastante de invierno a verano. El agua procedente de los tramos pliocenos presenta generalmente una calidad más deficiente; la mineralización es mayor (superior a 1 g/L), con valores elevados de hierro y manganeso de origen natural, sobre todo, en los sondeos profundos que captan el conglomerado basal.

El municipio de Fuengirola, el principal del área en que se localiza la masa de agua subterránea descrita, se ha abastecido históricamente de captaciones existentes en el área del Higuerón, en la parte noreste del término, y de pozos y sondeos situados en los materiales cuaternarios y pliocenos permeables, que ocupan buena parte del término. Hacia los años 70 del pasado siglo, coincidiendo con el desarrollo urbanístico y turístico de la Costa del Sol, comenzaron los problemas de abastecimiento de aguas de esta población, ya que no dispone en la superficie de su término municipal de un acuífero con características suficientemente favorables, sobre todo en cuanto a calidad de sus aguas. En la actualidad, el municipio de Fuengirola se abastece casi en su totalidad del embalse de La Concepción o de Río Verde.

En el entorno de la masa de agua subterránea de Fuengirola existe una elevada demanda de agua para abastecimiento urbano y agrícola, especialmente en verano, que no puede satisfacerse con la explotación del acuífero. En muchas urbanizaciones se explota el acuífero para riego de jardines y campos de golf. Actualmente, el 94 % del abastecimiento urbano procede del embalse de La Concepción, con caudales servidos comprendidos entre 20.000 y 30.000 m^3/día, y el resto se suple de sondeos. Aún así, la moderada extracción de aguas subterráneas (de 4 a 6 hm^3/año) es suficiente para causar situaciones puntuales y estacionales de sobreexplotación, según se ha descrito. Los procesos de intrusión marina se manifiestan en los sectores más transmisivos del acuífero, como es el caso del tramo bajo del aluvial del Río Fuengirola. Sin embargo, el acuífero experimenta rápidas recargas en épocas húmedas, con buenas condiciones de reversibilidad de las condiciones de salinización.

La masa de agua subterránea de Fuengirola precisa una investigación detallada para conocer su estado actual en lo relativo a inventario, grado de explotación, balance y presiones por actividades humanas, como base para una adecuada gestión del agua subterránea.

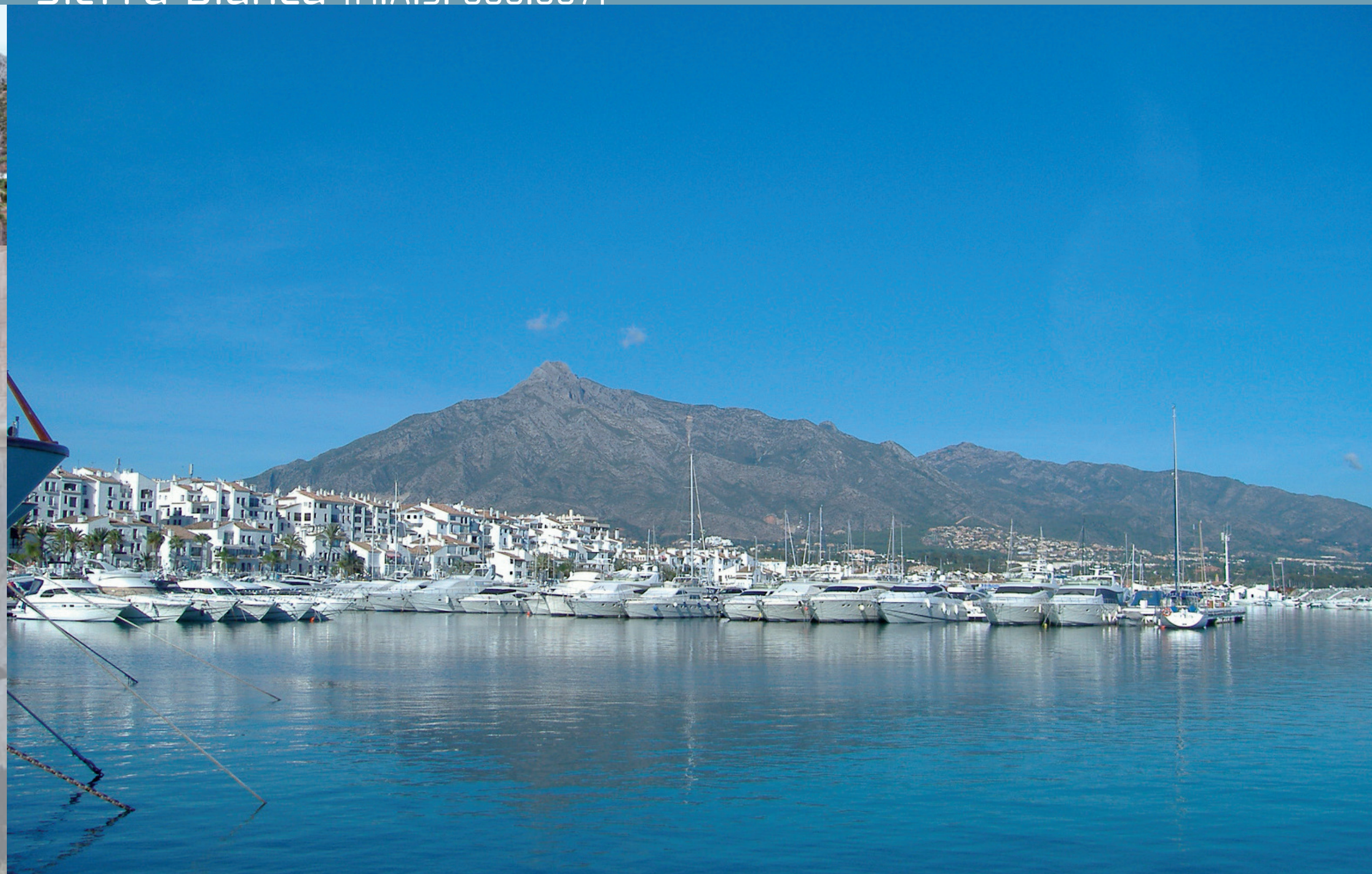
Captación en el acuífero plioceno para riego de un campo de golf

Sondeo en el casco urbano de Fuengirola

Captación de agua subterránea en el acuífero aluvial del Río Fuengirola

2.4.25

Sierra Blanca (M.A.S. 060.067)



2.4.25

Sierra Blanca

Bartolomé Andreo Navarro

Panorámica de los Llanos de Coín, desde el Puerto de los Pescadores

La masa de agua de Sierra Blanca está formada, fundamentalmente, por el macizo montañoso del mismo nombre. Incluye también la Sierra de Guaro, adyacente a la localidad homónima, por razones de proximidad geográfica y afinidad geológica, pero están desconectadas hidrogeológicamente. La Sierra Blanca está situada entre las localidades de Coín y Monda (al norte), Marbella (al sur), Ojén (al este) e Istán (al oeste). Constituye la divisoria hidrográfica entre los arroyos vertientes al Río Guadalhorce (al norte), tributarios del Río Verde (oeste) y cauces que descargan directamente en el Mar Mediterráneo (al sur). El clima de la zona es mediterráneo, pero con una clara influencia atlántica. Los valores medios anuales de precipitación y temperatura son, respectivamente, inferiores a 800 mm y 18ºC.

Vista de Sierra Blanca (Sierra Canucha) al oeste de Monda

Desde el punto de vista geológico, Sierra Blanca y Sierra de Guaro forman parte del Complejo Alpujárride de la Cordillera Bética. Su serie estratigráfica está formada por un conjunto de metapelitas del Paleozoico, con un espesor mínimo de 300 m, y una formación carbonatada de mármoles triásicos, de unos 600 m de espesor máximo. Dentro de la formación marmórea se pueden diferenciar dos tramos: uno, inferior, constituido por mármoles blancos dolomíticos muy diaclasados, que aflora mayoritariamente en el sector oriental de Sierra Blanca y en la Sierra de Guaro, y otro, superior, formado por mármoles calizos, que se encuentra principalmente en Sierra Blanca occidental. En este último sector, la estructura está formada por una interferencia de pliegues con direcciones E-O y N-S, mientras que en el sector oriental solo se han identificado los pliegues E-O. Todas las estructuras plegadas han sido afectadas por fracturas, de direcciones preferentes NNE-SSO y NNO-SSE.

La Sierra Blanca occidental constituye un abrupto relieve limitado por fallas al N, O y S, que han propiciado el levantamiento del macizo durante el Neógeno-Cuaternario. Probablemente por ello existe un escaso grado de desarrollo del modelado kárstico, tanto exokárstico como endokárstico. En superficie, se pueden observar zonas de lapiaz, alguna dolina aislada y la "combe" de los Llanos de Juanar (area deprimida rodeada de cumbres) que ha sido capturada por la erosión remontante del Arroyo Seco, tributario del Guadalhorce. Por lo que respecta a las cuevas son poco abundantes, de dimensiones reducidas y condicionadas por la fracturación; la más relevante de ellas es la de Nagüeles, situada en las proximidades del manantial del mismo nombre. En Sierra Blanca oriental, las formas del relieve más características son las áreas de topografía plana que se desarrollan sobre los mármoles dolomíticos: Llanos de Pula y Llanos de Coín. La red de drenaje superficial está más desarrollada en Sierra Blanca occidental, donde la pendiente es mayor y afloran mármoles calizos. En el sector oriental la pendiente es menor y la red de drenaje superficial está menos desarrollada sobre los mármoles dolomíticos diaclasados que allí afloran.

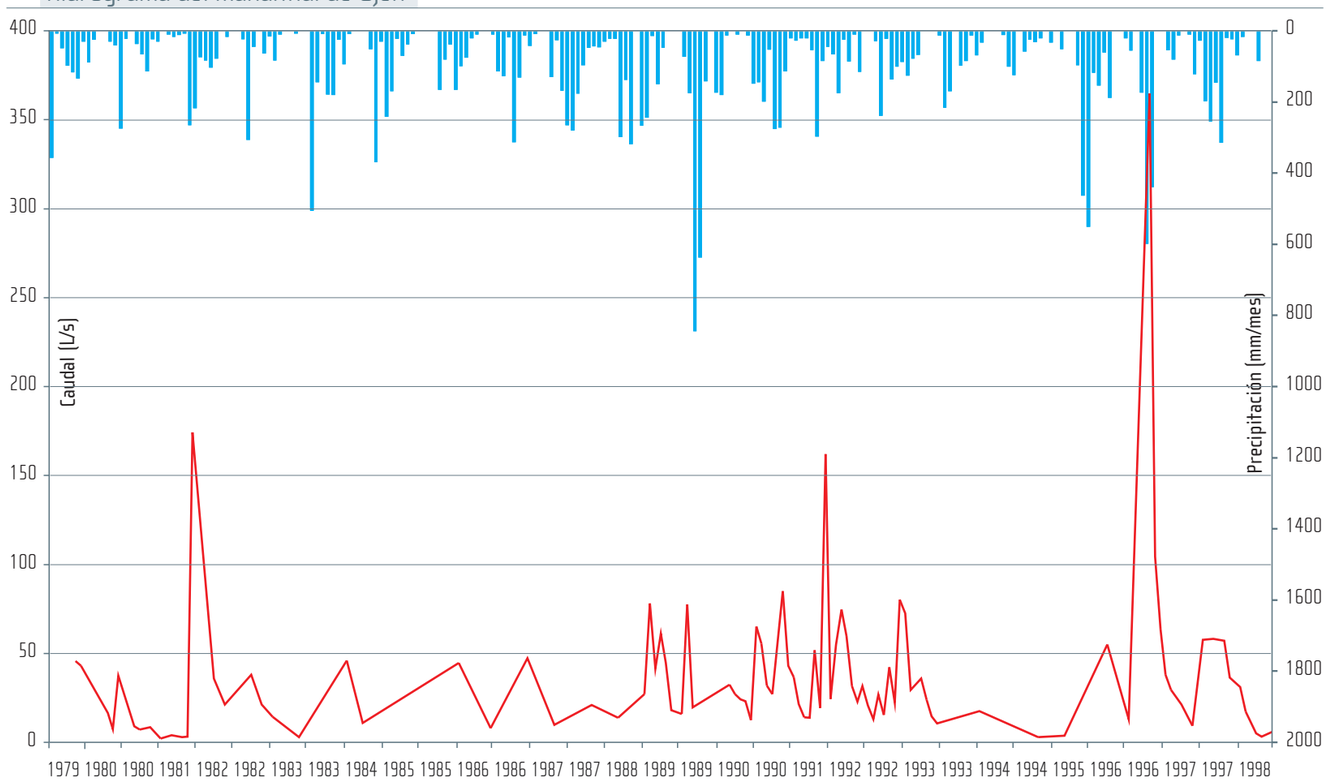
La Sierra Blanca tiene aproximadamente 90 km^2 de superficie y está limitada en sus bordes por materiales de baja permeabilidad: arcillas del Flysch y margas del Plioceno, al norte; y migmatitas, peridotitas y gneises alpujárrides, al sur, este y oeste. La Sierra de Guaro constituye un pequeño acuífero de 1,3 km^2 de superficie, cuyos recursos medios pueden ser del orden de 0,3-0,4 hm^3/año. De este acuífero se abastece la población homónima a partir de un sondeo de 80 m de profundidad que capta agua de los mármoles.

Manantial de Ojén

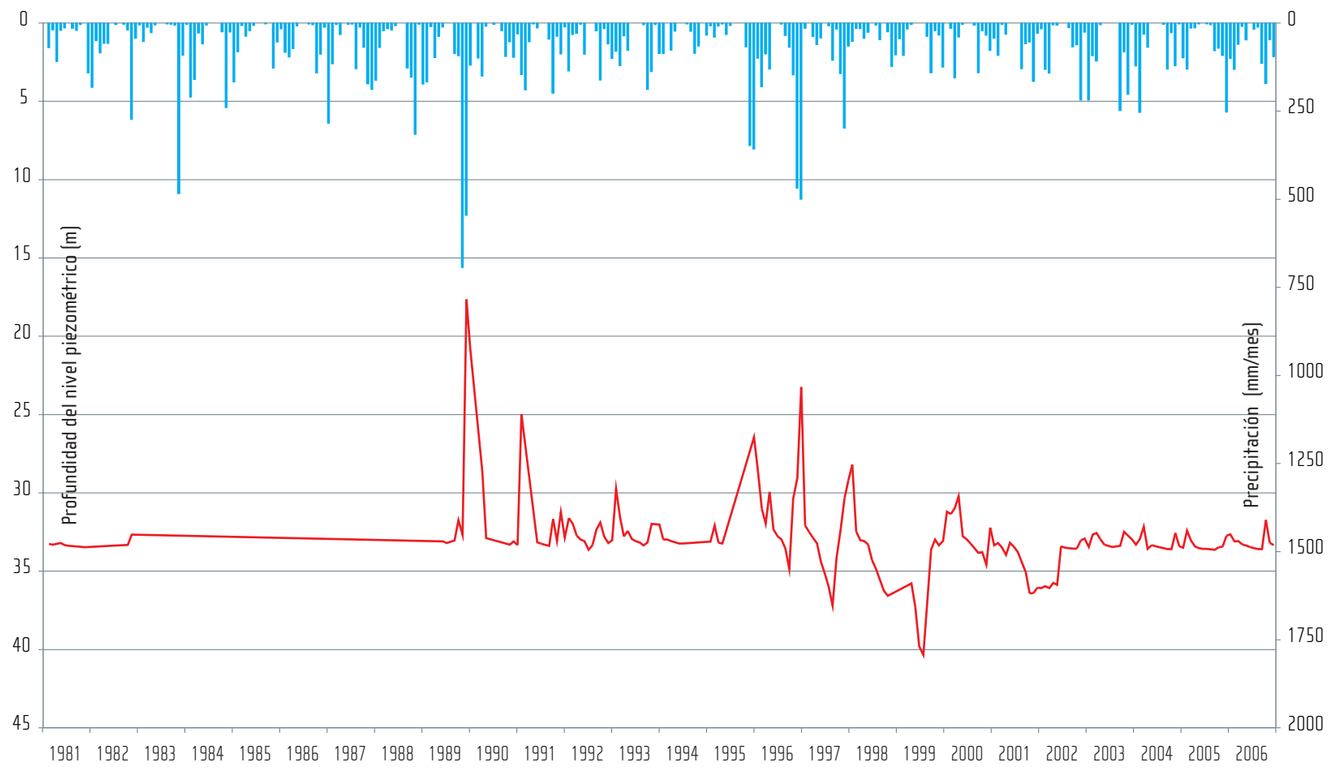
En la Sierra Blanca propiamente dicha, se distinguen dos sectores hidrogeológicos, con sistemas acuíferos de diferente geometría, condicionada por la estructura geológica. El sector occidental está formado por tres acuíferos (Istán, Marbella y Ojén) con geometrías en forma de "fondo de saco", debido al carácter tumbado de los pliegues sinclinales de borde y a que la vergencia de los mismos es siempre hacia el interior de la sierra. Sin embargo, el sector oriental de Sierra Blanca constituye un único acuífero (Coín) de geometría relativamente tabular.

En el sector occidental de Sierra Blanca los manantiales surgen a diferentes cotas: 330-440 m s.n.m. en la parte septentrional (manantiales de Istán y Moratán, respectivamente), 175-192 m s.n.m. en la meridional (manantiales de Nagüeles y Camoján) y 290-405 m s.n.m. en la oriental (Fuente Cañada y Puerto Rico y Ojén). En los manantiales de este sector se registran bruscos aumentos de caudal ante las precipitaciones, pasan de estar prácticamente agotados a drenar caudales de varios centenares de L/s e incluso m^3/s. La evolución piezométrica presenta una forma similar al hidrograma de los manantiales y el nivel freático varía normalmente por encima de la cota de surgencia de éstos, de manera proporcional a la magnitud de la recarga. Las aguas de estos manantiales presentan baja mineralización (conductividad eléctrica <400 µS/cm), son de facies bicarbonatada cálcica y experimentan importantes diluciones por la infiltración rápida de las aguas de lluvia. Por tanto, los sistemas acuíferos del sector occidental de Sierra Blanca presentan un cierto grado de karstificación funcional, sobre todo en la zona no saturada, con escasa inercia ante las precipitaciones.

Hidrograma del manantial de Ojén



Evolución piezométrica 1545-8-0161

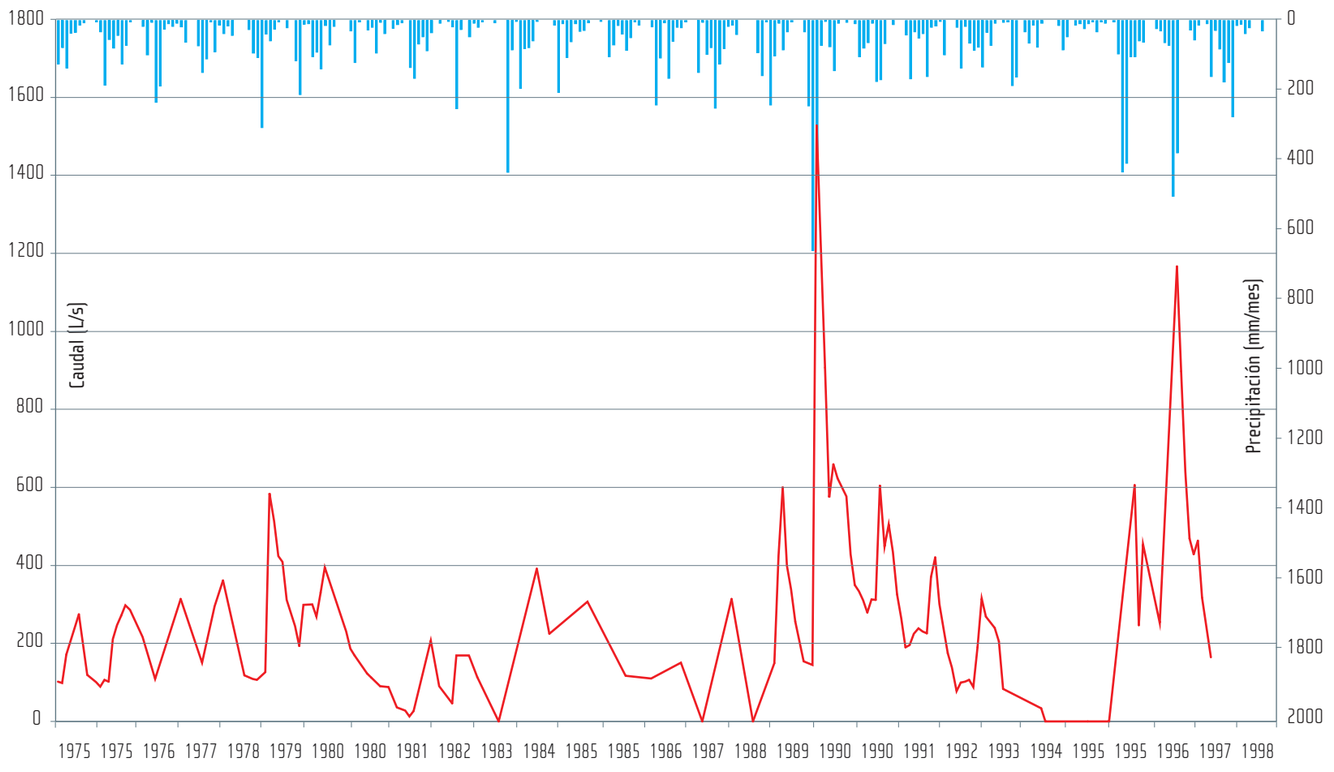


2.

Fuente de La Jaula (Monda)

El sector oriental de Sierra Blanca constituye un único sistema (Coín), cuyos manantiales emergen en los cauces que drenan hacia el norte (Arroyos Alcazarín y Pereilas), a cota ligeramente superior a 300 m s.n.m. Fuera de estos cauces hay algunos manantiales de bajo caudal como la Fuente de La Jaula (Monda). El principal punto de descarga natural, es el manantial de Coín, situado a cota 300 m s.n.m. en el extremo noreste del acuífero. En el borde sureste se halla el manantial de Barranco Blanco a cota ligeramente inferior. Los manantiales de Sierra Blanca oriental suelen presentar variaciones de caudal menos pronunciadas y más amortiguadas en el tiempo que los de Sierra Blanca occidental. Las variaciones de caudal del manantial de Coín están muy condicionadas por los bombeos que se llevan a cabo en sus inmediaciones y que han provocado su agotamiento durante periodos secos. La evolución del nivel piezométrico muestra ascensos lentos y amortiguados en el tiempo ante los episodios de recarga, y descensos, por debajo de la cota de surgencia, originados como consecuencia de los bombeos. Las aguas subterráneas son más mineralizadas (conductividad eléctrica >400 µS/cm) que en Sierra Blanca occidental y la composición química es bicarbonatada cálcico-magnésica, con mayores concentraciones en Mg^{2+}, SiO_2 y SO_4^{2-}, iones normalmente asociados a flujos lentos dentro del acuífero. La composición química de las aguas varía lentamente en respuesta a la recarga. Todos los datos hidrodinámicos e hidroquímicos indican que se trata de un acuífero carbonatado fisurado, poco karstificado, de flujo difuso.

Hidrograma del manantial de Coín



Manantial de Coín

Mapa y cortes hidrogeológicos

Sierra Blanca

(M.A.S. 060.067)

Situación de la masa de agua en la provincia

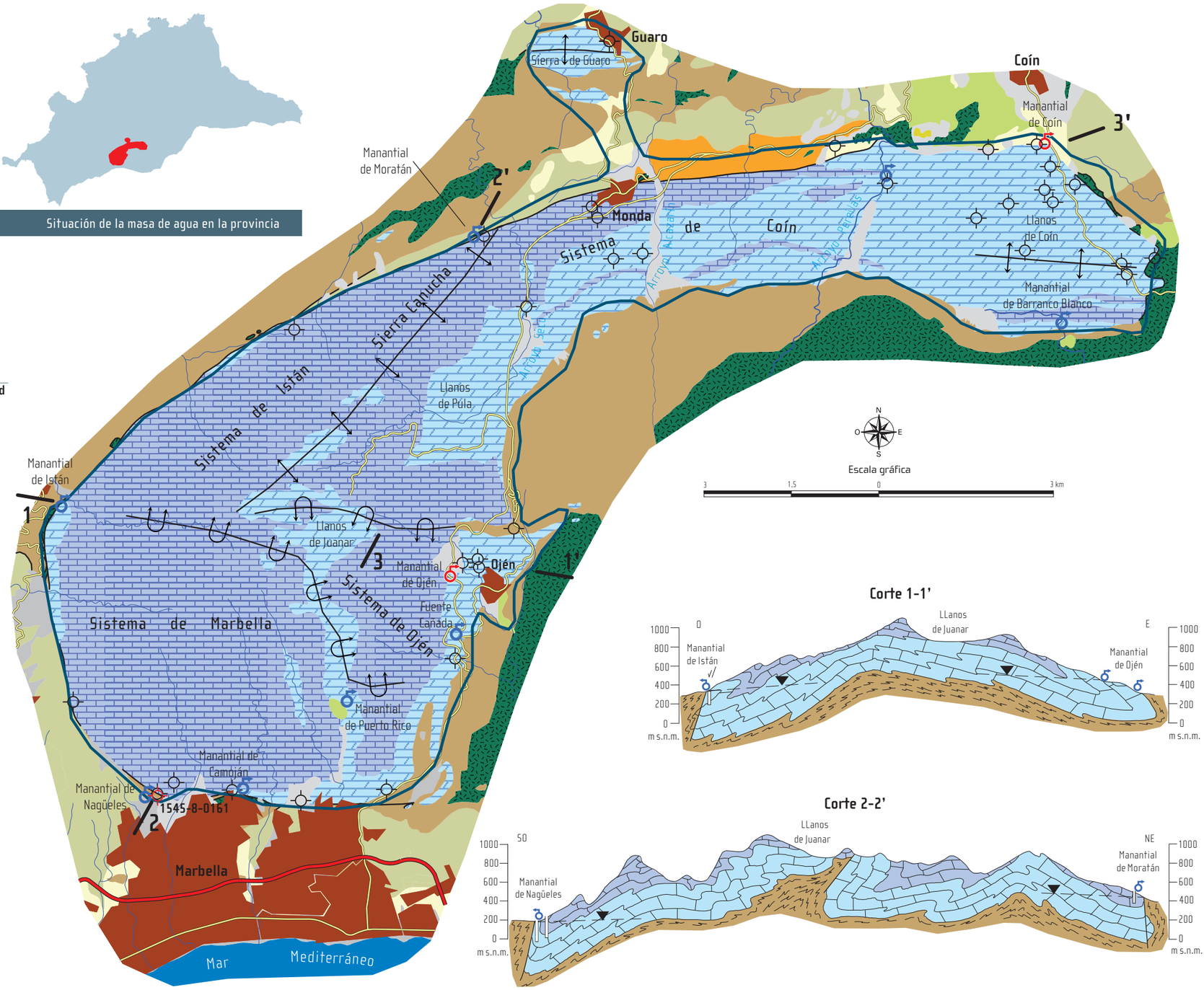
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación

Leyenda

Edad				Litología	Permeabilidad
Formaciones Post-Orogénicas					
Cuaternario	10	9	8	10 Traventino	Alta
Plioceno	7			9 Aluvial	Alta
Flysch				8 Indiferenciado	Media
Cretácico - Terciario	6			7 Margas y arenas	Baja - Media
Complejo Maláguide				6 Arcillas y areniscas	Muy baja
Triásico Inferior Paleozoico	5			5 Conglomerados, areniscas y arcillas Filitas, pizarras y calizas alabeadas	Baja
Complejo Alpujárride				4 Mármoles calizos con calcoesquistos	Alta
Triásico Superior	4			3 Mármoles dolomíticos	Alta
Triásico Medio	3			2 Gneises, esquistos y filitas	Baja
Triásico Inferior	2			1 Peridotitas	Baja
Paleozóico	1				

Signos convencionales

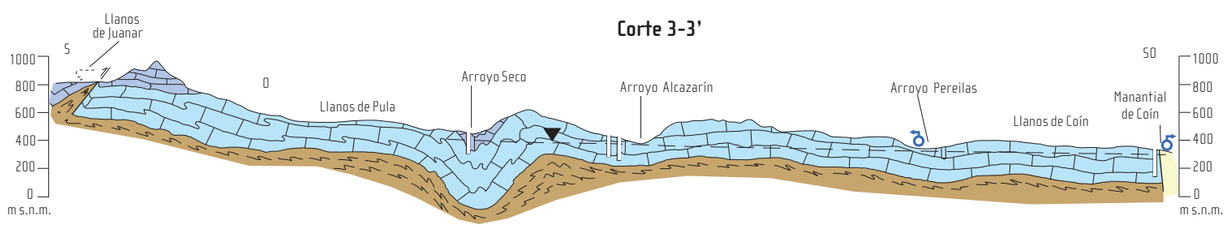
- Límite de la masa de agua
- Red hidrográfica
- Manantial
- Manantial con hidrograma adjunto
- Sondeo, piezométrico
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- Falla
- Anticlinal
- Anticlinal tumbado
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera



Corte 1-1'

Corte 2-2'

Corte 3-3'



2.

4.25 Sierra Blanca

Manantial de Istán. Una parte de su caudal se aprovecha para abastecimiento a Istán

Arroyo Pereilas en aguas bajas. La mayor parte de su caudal se aprovecha para regadío

Sierra Blanca, en conjunto, tiene unas entradas o recursos medios de 27 hm^3/año. En el sector occidental, la precipitación media es de 40 hm^3/año, a partir de la cual se genera una evapotranspiración de 20 hm^3/año, una escorrentía de 7 hm^3/año hacia los arroyos vertientes a Río Verde y hacia el Mar Mediterráneo y una recarga a los acuíferos de 13 hm^3/año por infiltración del agua de lluvia. Estos recursos medios se distribuyen, aproximadamente, del siguiente modo: 5 hm^3/año el acuífero de Istán, 5 hm^3/año el de Marbella y 3 hm^3/año el de Ojén. Dado el comportamiento kárstico de estos acuíferos, las reservas de agua por debajo de la cota de los manantiales son escasas y los sondeos realizados en su entorno presentan bajo rendimiento, hasta el extremo de que la mayoría no se han instalado, porque los mármoles presentan pocos tramos karstificados en la zona saturada. Así, los acuíferos funcionan en régimen de descarga natural y el aprovechamiento de los recursos de agua es bastante limitado, básicamente para abastecimiento urbano de Istán y Ojén y para regadío de menos de 100 hectáreas en cada uno de ambos municipios. El municipio de Marbella aprovecha las aguas drenadas por el manantial de Puerto Rico, de caudal muy variable por su régimen kárstico, y un sondeo ubicado en las proximidades del manantial de Camoján.

En Sierra Blanca oriental la precipitación media es de 25 hm^3/año, la evapotranspiración 11 hm^3/año y la infiltración o recursos de 14 hm^3/año. Las reservas de agua por debajo de la cota de surgencia de los manantiales son de varias decenas de hm^3 en condiciones aceptables de explotación. Los sondeos realizados en el acuífero de Coín permiten la regulación parcial de sus recursos y también la explotación de sus reservas en épocas de déficit pluviométrico. En este caso hay mayor aprovechamiento del agua que en Sierra Blanca occidental, mediante bombeos que se estiman en 5 hm^3/año y, consecuentemente, los manantiales se agotan durante épocas de sequía. El agua subterránea almacenada en el acuífero de Sierra Blanca oriental permite cubrir el abastecimiento urbano de Coín y Monda y regar más de 1000 hectáreas, como se hace actualmente, siempre que no se aumente la demanda con proyectos urbanísticos desproporcionados.

Las aguas subterráneas de Sierra Blanca son de buena calidad química para abastecimiento urbano y para regadío. Presentan una conductividad eléctrica (salinidad) moderada. Los contenidos en nitratos son inferiores a 3 mg/L, lo cual denota la inexistencia de contaminación por compuestos nitrogenados. No obstante, conviene tener presente que todos los acuíferos de la masa de agua de Sierra Blanca presentan un grado medio-alto de vulnerabilidad a la contaminación. Por ello no es conveniente emplazar actividades potencialmente contaminantes (urbanizaciones, cultivos) encima ellos, sobre todo en las inmediaciones de las zonas de descarga (Arroyos Alcazarín y Pereilas y manantial de Coín), donde el nivel piezométrico está más cerca de la superficie. En este sentido las urbanizaciones que se están llevando a cabo en la parte oriental de los Llanos de Coín y en la población de Ojén suponen una presión sobre los acuíferos infrayacentes, no sólo por el aumento de la demanda de agua y de la explotación que conllevan, sino también por el peligro de deterioro de la buena calidad natural del agua.

2.4.26

Sierra de Mijas (M.A.S. 060.038)

2.4.26

Sierra de Mijas

Bartolomé Andreo Navarro

La Sierra Mijas está situada al suroeste de la ciudad de Málaga, entre los núcleos urbanos de Alhaurín el Grande, Alhaurín de la Torre y Churriana, al norte; Torremolinos, al este; y Mijas y Benalmádena, al sur. Constituye la divisoria hidrográfica entre arroyos tributarios del Río Guadalhorce en la parte septentrional y cauces vertientes directamente el Mar Mediterráneo en la ladera meridional. La precipitación media anual en el área es del orden de 600 mm, la temperatura 18ºC y la evapotranspiración potencial 900 mm.

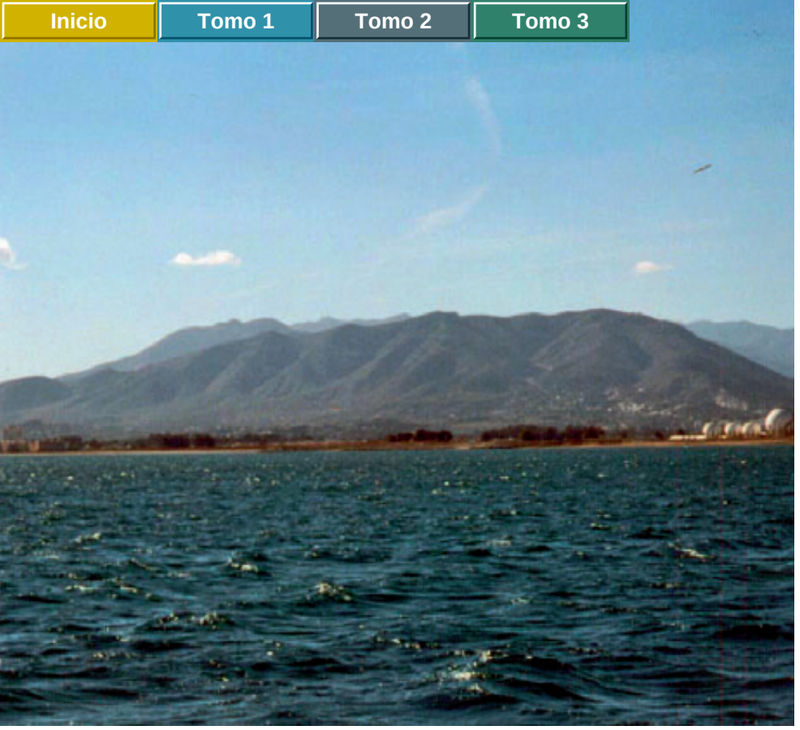
Desde el punto de vista geológico, la Sierra de Mijas forma parte del Complejo Alpujarride de la Cordillera Bética. Su serie estratigráfica está formada por metapelitas del Paleozoico en la parte inferior y, encima, una sucesión de mármoles triásicos, de más de 500 m de espesor, dentro de la cual se pueden distinguir dos tramos. Los mármoles inferiores afloran en la mayor parte de la sierra, son de color blanco y composición dolomítica y están muy fisurados; con frecuencia presentan una textura granuda, de aspecto sacaroideo o arenoso. Los mármoles superiores afloran en el centro de la sierra y en el extremo NE de la misma; son de colores azulados y de composición predominantemente caliza.

Las rocas antes descritas han sido afectadas por pliegues isoclinales de dirección ESE-ONO, con la vergencia o inclinación del plano axial hacia el norte en la parte meridional y hacia el sur en la septentrional. Existe un sinclinal central, en cuyo núcleo afloran los mármoles calizos, limitado al norte y al sur por sendos anticlinales, de los cuales el meridional es de mayores dimensiones y da lugar a las máximas elevaciones de la sierra. El núcleo anticlinal septentrional es más marcado hacia el este, en el sector del vértice Abarcuza. El borde sur de la Sierra de Mijas está formado por una estructura sinclinal con el flanco meridional invertido. Las estructuras plegadas han sido afectadas por fracturas como las que limitan la sierra por el norte y, en algunos tramos, por el borde sur. Hay otras fallas más tardías, transversales a las estructuras plegadas con dirección predominante NNO-SSE, como las que hay al este de Mijas y de Benalmádena, y NNE-SSO, como la que constituye el borde oriental de la sierra.

La estructura geológica condiciona en gran medida el escarpado relieve de la sierra, con pendientes superiores al 35% en la mayor parte de la misma y al 50% en el tercio occidental. El modelado exokárstico está poco desarrollado, únicamente se observan algunos campos de lapiaz allí donde los mármoles no están cubiertos de suelo. Por lo que respecta al modelado endokárstico, se conocen pocas cuevas y de reducidas dimensiones. En definitiva, las formas del modelado kárstico están poco desarrolladas en la Sierra de Mijas debido, en gran parte, al levantamiento tectónico experimentado por la sierra, a favor de las fallas que la afectan, durante los tiempos neógeno-cuaternarios y también a la baja solubilidad de los mármoles, fundamentalmente dolomíticos, que la constituyen.

Los mármoles que afloran en la Sierra de Mijas son permeables, debido a las abundantes fracturas que presentan, a veces ensanchadas por disolución, por lo cual este macizo constituye una masa de agua subterránea, con una superficie de 80 km^2. Los mármoles acuíferos que la forman se hunden bajo los sedimentos margosos de edad Plioceno que hay en la cuenca sedimentaria del Bajo Guadalhorce, por la actuación de las fallas que jalonan los bordes norte y este. Al sur, la masa de agua queda limitada por las metapelitas paleozoicas. Y, al oeste, la Sierra de Mijas está separada de Sierra Blanca por un afloramiento de peridotitas, en el área del Puerto Pescadores.

Panorámica del borde sur de la Sierra de Mijas, en su sector occidental

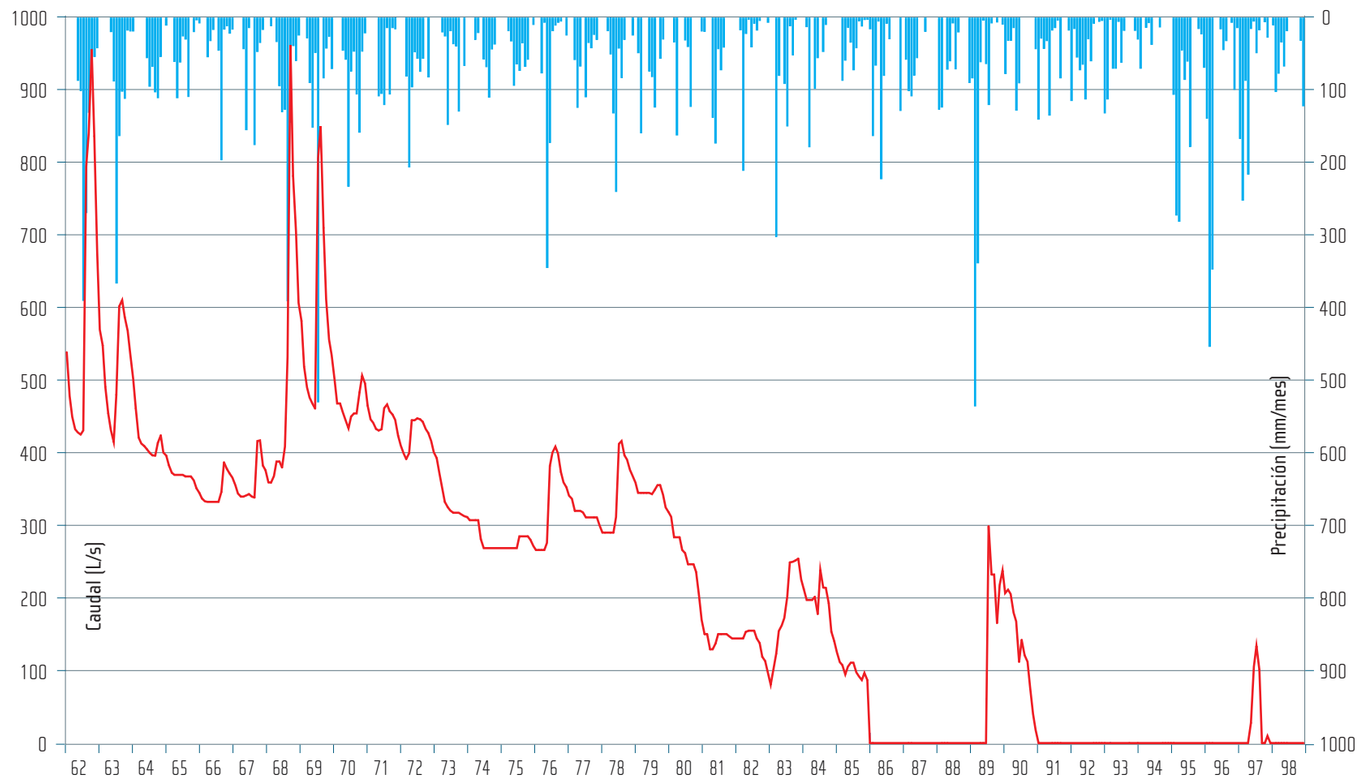


Panorámica del borde oriental de la Sierra de Mijas, desde el mar

La estructura geológica plegada de la Sierra de Mijas, y las fracturas que la afectan determinan la geometría de los mármoles acuíferos. Así, el núcleo anticlinal que da lugar a las mayores elevaciones de la sierra constituye una divisoria hidrogeológica entre la vertiente norte y sur de la misma. Además, las fallas de dirección NNO-SSE contribuyen a la compartimentación de la masa de agua en varios acuíferos, que presentan geometrías en "fondo de saco" condicionadas por la vergencia de los pliegues hacia el interior de la sierra. Por todo ello, los manantiales están situados a cotas diferentes según el área de que se trate: 280-300 m s.n.m en Alhaurín el Grande, 400-485 m s.n.m. en Mijas, 210-220 m s.n.m. en Benalmádena, 125-145 m s.n.m. en Alhaurín de la Torre y 55-74 m s.n.m. en Torremolinos. La estructura geológica y las cotas de surgencia de los manantiales permiten distinguir cuatro acuíferos dentro de la masa de agua de la Sierra de Mijas: Alhaurín el Grande, Mijas, Benalmádena y Torremolinos.

La mayoría de los manantiales se encuentran secos actualmente como consecuencia de los bombeos que se producen en la sierra y solo emergen en situaciones de recarga excepcional. En régimen de descarga natural, únicamente se dispone de datos históricos de caudal de los manantiales de Torremolinos, durante el periodo 1962-1973, los cuales permiten constatar que la respuesta a las precipitaciones se producía de manera lenta y amortiguada; la punta de la crecida se registraba varios meses después del máximo de precipitaciones. Las variaciones en la composición química de las aguas ante las precipitaciones son de poca magnitud y amortiguadas en el tiempo, en consonancia con las variaciones hidrodinámicas. Los datos hidrodinámicos e hidroquímicos ponen de manifiesto que la masa de agua de la Sierra de Mijas presenta un funcionamiento hidrogeológico de flujo difuso, con respuestas lentas ante las precipitaciones, porque los mármoles están poco karstificados y altamente fisurados.

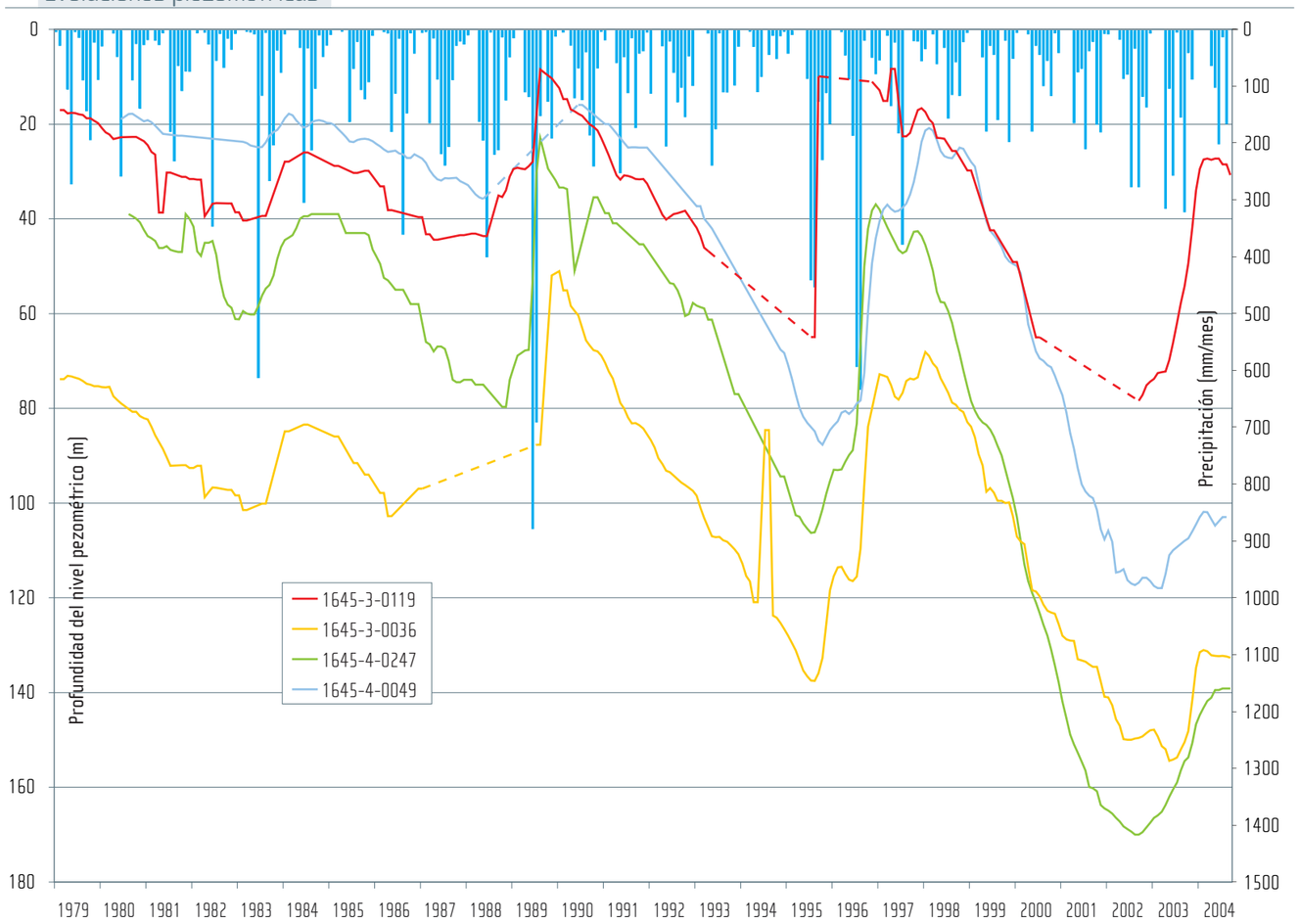
Hidrograma total de los manantiales de Torremolinos



Fuente del Rey (Churriana, Málaga), seca por bombeos en los sondeos de Churriana

Manantial de Albercón del Rey (Torremolinos), seco por bombeos en Torremolinos y Arroyo de la Miel

Evoluciones piezométricas



La evolución del nivel piezométrico en los acuíferos de la Sierra de Mijas muestra descensos importantes por los bombeos, sobre todo durante los periodos secos, y ascensos que tienen lugar en años de abundante recarga: 1983/84, 1989/90, 1995/96, 1996/97-1997/98 y, en menor medida, 2003/2004. Los descensos han aumentado progresivamente en el tiempo, debido al incremento del volumen de agua bombeado. En los acuíferos de Benalmádena, Torremolinos y Mijas el nivel ha llegado a estar a más de 100 m por debajo de de la cota de los manantiales. En estas condiciones piezométricas y dada la presencia del sustrato metapelítico en el núcleo anticlinal que constituye el cerro Abarcuza, se han individualizado dos sectores hidrogeológicos dentro del acuífero de Torremolinos: el de Alhaurín de la Torre, al norte, y el de Arroyo de la Miel-Torremolinos, al sur. Durante los años húmedos se ha producido una recuperación importante del nivel piezométrico e incluso algunos manantiales han vuelto a manar y el umbral hidrogeológico antes mencionado en el acuífero de Torremolinos queda cubierto por el nivel del agua. No obstante, debido al aumento progresivo de las extracciones ha sido necesario que, después de un periodo de sequía (1992/93-1994/95), se produjeran varios años húmedos (1995/96 a 1997/98) para que la recuperación fuera completa. Un año húmedo aislado, como el 2003/2004, no es suficiente para recuperar de manera significativa el nivel piezométrico en los acuíferos más explotados (Torremolinos y Benalmádena).

En la Sierra de Mijas se han hecho varios balances hidrogeológicos por diferentes métodos, con motivo de las investigaciones en ella se han realizado. La precipitación media es del orden de 50 hm^3/año, la mitad de la cual se estima que produce evapotranspiración y la otra mitad, unos 25 hm^3/año, constituye una cifra representativa de sus entradas o recursos medios anuales para el periodo 1977/78 a 2003/2004. Estos recursos se distribuyen, aproximadamente, del siguiente modo: 5,5 hm^3/año en el acuífero de Alhaurín el Grande, 2,5 hm^3/año en el de Mijas, 2,5 hm^3/año en el de Benalmádena y 14,5 hm^3/año en el de Torremolinos. Los sondeos existentes permiten la regulación parcial de los recursos y también la explotación de las abundantes reservas que existen. El volumen de agua bombeado durante el año 2004, representativo de las condiciones actuales, se aproxima a 35 hm^3, cifra que supera claramente a los recursos medios anuales. Los acuíferos que actualmente presentan balances menos desequilibrados son los de Alhaurín el Grande y Mijas, pero en los otros sistemas las extracciones superan ampliamente las entradas, sobre todo en el de Torremolinos donde se bombean 22 hm^3/año. Por tanto, la masa de agua de Sierra de Mijas tiene una elevada capacidad de almacenamiento de agua, pero se debe hacer un aprovechamiento sostenible de ésta y no aumentar las extracciones, sino disminuirlas, especialmente en los sistemas más explotados, para evitar la sobreexplotación.

En la Sierra de Mijas se han perforado más de 200 sondeos, según datos de un inventario actualizado en el año 2005. De la mitad de estos sondeos se conoce la columna litológica que, en general, muestra la existencia de tramos fracturados y poco karstificados, más abundantes en las proximidades de los manantiales. La mayor parte de los sondeos han tenido resultados satisfactorios, permiten bombear caudales de varias decenas de L/s y, en los acuíferos de Torremolinos o Alhaurín el Grande, hasta 100 L/s, con descensos aceptables. Los caudales específicos de los sondeos suelen ser bastante elevados: entre 10 y hasta 100 L/s·m en algunos puntos. En cualquier caso, los caudales específicos mayores se registran, generalmente, en las proximidades de los manantiales, donde la transmisividad es más alta (del orden de 10^3 m^2/d).

Galería del Peñón Rodado (Mijas). Se seca por los bombeos en los sondeos de Mijas

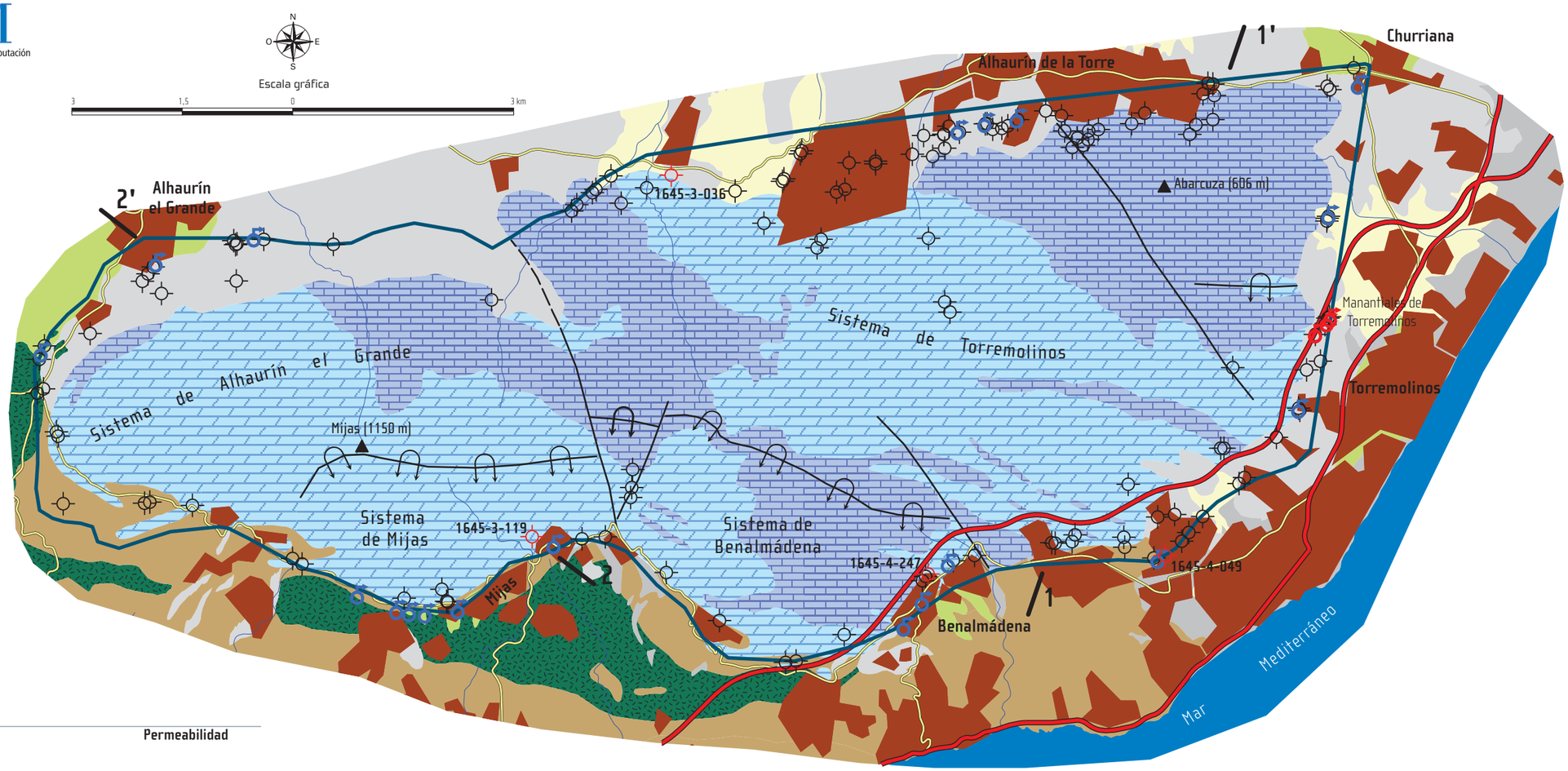
Mapa y cortes hidrogeológicos

Sierra de Mijas

(M.A.S. 060.038)

Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España
málaga.es diputación



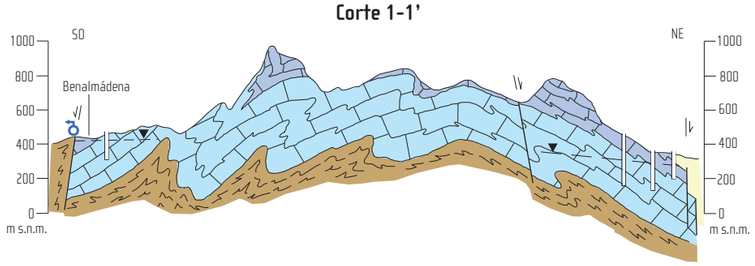
Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Aguas superficiales, mar
- Red hidrográfica
- Manantial
- Manantial con hidrograma adjunto
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- Falla
- Falla supuesta
- Anticlinal tumbado
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera

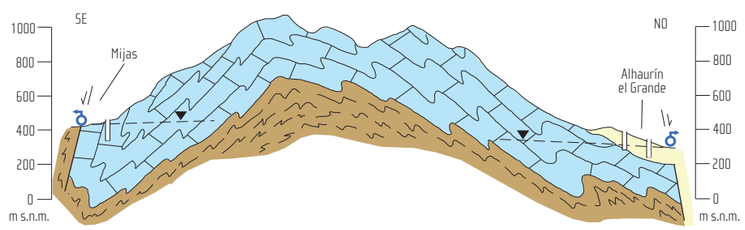
Leyenda

Edad		Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas			
Cuaternario	8 7 6	8 Traventinos	Alta
		7 Aluvial	Alta
		6 Indiferenciado	Media
Plioceno	5	5 Margas y arenas	Baja - Media
Complejo Alpujárride			
Triásico – Superior	4	4 Mármoles calizos con calcoesquistos	Alta
Triásico – Medio	3	3 Mármoles dolomíticos	Alta
Triásico – Inferior	2	2 Gneises, esquistos y filitas	Baja
Paleozoico	1	1 Peridotitas	Baja

Corte 1-1'



Corte 2-2'



2.

La estrecha dependencia del agua subterránea que tienen las poblaciones colindantes a la Sierra de Mijas, no lleva asociado, sin embargo, el desarrollo de medidas destinadas a la protección de la buena calidad natural que tienen las aguas subterráneas para todos los usos. Antes al contrario, los acuíferos, que presentan una vulnerabilidad moderada-alta a la contaminación, se encuentran sometidos a una fuerte presión antrópica debido al desarrollo turístico del área: construcción de urbanizaciones, carreteras, canteras y focos puntuales de contaminación (vertederos de residuos sólidos, gasolineras, cementerios, etc.). Este tipo de actividades son especialmente abundantes en el sector oriental de la Sierra de Mijas, donde la presión urbanística es mayor. Las urbanizaciones construidas encima de los mármoles, sobre todo en los términos municipales de Alhaurín de la Torre y Benalmádena, además de constituir un peligro potencial de contaminación, suponen una disminución de la superficie de recarga.

Fuente del Chorrillo (Benalmádena). Se seca por los bombeos en las captaciones de Benalmádena

Manantial de Urique (Alhaurín el Grande), cuyas aguas se aprovechan para regadío

La mayor parte del agua descargada por los manantiales y captaciones de la Sierra de Mijas, históricamente, se ha utilizado para riego. Según datos inéditos de mediados del siglo XIX, sólo se utilizaba para abastecimiento urbano de la ciudad de Málaga un tercio del volumen drenado por los manantiales de Torremolinos y los dos tercios restantes eran aprovechados para riego; incluso, había periodos excedentarios en los que no se aprovechaba todo el caudal de descarga. En el siglo XX, a lo largo de la década de 1970, la Costa del Sol se consolidó como zona turística y se produjo un aumento importante de la población de los municipios costeros. En dicha época se perforaron los primeros sondeos en la Sierra de Mijas, cuyo número y profundidad han ido aumentando con el paso de los años y aún continúan haciéndolo en la actualidad. El turismo se ha convertido en la principal fuente de ingresos de la región, lo cual ha dado lugar a un gran desarrollo urbanístico, campos de golf incluidos, en detrimento de la actividad agrícola tradicional, con el consiguiente aumento de la demanda de agua. Actualmente, la mayor parte del agua que se bombea es para abastecimiento urbano; sólo los municipios del interior (Alhaurín el Grande y, en menor medida Alhaurín de la Torre) utilizan unos 2 hm^3/a de agua para riego. El agua de la Sierra de Mijas debería preservarse para abastecimiento urbano, dada su buena calidad, y utilizar las aguas residuales depuradas para regadíos agrícolas y de campos de golf existentes en la zona. Se debería hacer un esfuerzo importante en ordenar las explotaciones en esta masa de agua, tratando de disminuir las actualmente existentes para adaptarlas a los recursos disponibles. Asímismo, es necesario definir perímetros de protección de las captaciones destinadas a abastecimiento urbano.

Vista del borde sur de la Sierra de Mijas (Arroyo de la Miel), donde el crecimiento urbanístico ha alcanzado a los mármoles acuíferos

Manantial de Fuenseca (Alhaurín de la Torre), aprovechado históricamente para regadío. Se seca por los bombeos en las captaciones de Alhaurín de la Torre

Perforación de un sondeo para abastecimiento de Mijas

2.4.27

Bajo Guadalhorce (M.A.S. 060.037)

2.4.27

Bajo Guadalhorce

Iñaki Vadillo Pérez
Francisco Carrasco Cantos
Damián Sánchez García

Bajo Guadalhorce en el sector de Álora. Al fondo, Sierra de Huma y del Valle de Abdalajís

Al oeste de la ciudad de Málaga existe una depresión orográfica (Hoya de Málaga), por la que circula el curso del bajo del Río Guadalhorce, y se extiende desde los desfiladeros de El Chorro hasta la desembocadura del río, en el Mar Mediterráneo. Está limitada, al norte, por los Montes de Málaga y, al sur, por la Sierra de Mijas.

La climatología de la zona, de tipo mediterráneo, está caracterizada por una estación seca y calurosa, entre los meses de mayo a septiembre, y un periodo menos caluroso y con mayores precipitaciones entre los meses de octubre a abril. El valor medio de temperatura, para el periodo 1971-2000, en la estación del Aeropuerto de Málaga es de 18ºC, pero en las poblaciones más continentales (Pizarra, Álora) puede disminuir hasta los 16ºC. La precipitación media anual, para la misma estación meteorológica y el mismo periodo, es de 520 mm.

La depresión donde se encuentra la Hoya de Málaga se conformó a partir del Terciario como una cuenca sedimentaria postorogénica (cuenca de Málaga) en el ámbito de la Cordillera Bética. El sustrato de dicha cuenca está constituido por mármoles alpujárrides de edad Triásica en el sector meridional (Sierra de Mijas) y central (Sierra de Cártama); pizarras y grauvacas maláguides en el borde oriental (Montes de Málaga) y arcillas cretácico-terciarias del Flysch del Campo de Gibraltar en zonas más septentrionales de la cuenca. El relleno sedimentario está formado por una sucesión de materiales de edad Neógeno-Cuaternario que presentan una posición estructural próxima a la horizontal. El término más antiguo de esta secuencia sedimentaria es una formación discontinua de calcarenitas y conglomerados de edad Mioceno Superior, con espesores superiores a 100 m, que aflora principalmente en los hachos de Álora y Pizarra y al SE de la Sierra de Cártama. El Plioceno está constituido por un conglomerado basal, también discontinuo, sobre el que se superpone un potente tramo de margas (> 400 m), con intercalaciones arenosas hacia el techo, cuyo espesor es generalmente inferior a 20 m, aunque pueden llegar hasta 40 m. Hacia los bordes de la cuenca, la serie pliocena presenta sedimentos arenosos a techo. El relleno sedimentario termina con depósitos cuaternarios: brechas, conglomerados y travertinos, en los bordes, sedimentos aluviales (cantos rodados, arenas y limos) depositados por el Río Guadalhorce y sus afluentes, hacia el centro, y arenas de playa, en el sector costero.

El relieve de la cuenca de Málaga presenta varias formas características según los condicionantes geológicos. En el centro destaca la Sierra de Cártama que constituye una elevación tectónica *(horst)* del sustrato de la cuenca. Los hachos de Álora y Pizarra también constituyen áreas geológicamente levantadas por acción de las fallas que los delimitan. Los materiales margosos pliocenos dan lugar a suaves colinas. En el borde sur existen superficies ligeramente inclinadas hacia el centro de la cuenca (glacis) originadas sobre las brechas de pie de monte. Y, en las márgenes del Río Guadalhorce, hay terrazas fluviales.

Desde el punto de vista hidrogeológico, los materiales de la cuenca de Málaga se han agrupado en la masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce. Ocupa una extensión de 270 km^2. El substrato de la masa está formado por materiales de baja permeabilidad alpujárrides, maláguides y del Flysch, excepto en el borde sur (Sierra de Mijas), donde existen mármoles acuíferos. Los mármoles de la Sierra de Cártama, aunque también forman parte del substrato, se consideran integrados hidrogeológicamente en la masa de agua. Encima del sustrato existen cuatro formaciones acuíferas principales: las calcarenitas y conglomerados del Mioceno Superior (acuífero mioceno), los conglomerados de la base de la formación pliocena (acuífero inferior plioceno), las intercalaciones arenosas de la parte alta de la serie margosa del Plioceno (acuífero superior plioceno) y el aluvial cuaternario del Río Guadalhorce (acuífero cuaternario).

Los materiales acuíferos de edad Mioceno ocupan una extensión del orden de 35 km^2 y se encuentran en tres afloramientos acuíferos: Hacho de Álora, Hacho de Pizarra y Doñana-El Romeral (al SE de la Sierra de Cártama). Constituyen acuíferos de interés local, debido a su reducida extensión, cuya descarga se produce por pequeños manantiales y mediante bombeos en sondeos.

Valle del Guadalhorce y Hacho de Álora

Los sedimentos pliocenos, con una superficie total de 120 km^2, afloran ampliamente en toda la masa de agua. En la base de este conjunto sedimentario puede existir el acuífero inferior plioceno, con espesor comprendido entre 10 y 70 m. Dicho acuífero no siempre está presente, dado el carácter discordante y erosivo de los depósitos conglomeráticos que lo forman pero, cuando está, suele encontrarse confinado bajo la potente serie margosa que tiene encima y los sondeos que lo han alcanzado, generalmente, han sido surgentes. Las intercalaciones de arenas y/o gravas finas de la parte superior de la formación margosa (acuífero superior plioceno) tienen espesores inferiores a 20 m, aunque pueden presentar cierta continuidad lateral a lo largo del eje del valle del Guadalhorce: hasta 3 km de longitud y 1-2 km de anchura. En algunos puntos, estos materiales detríticos parecen estar conectados hidrogeológicamente con el acuífero aluvial suprayacente, mediante las captaciones que atraviesan ambos acuíferos. No obstante, el conjunto del acuífero superior plioceno debe considerarse confinado o, al menos, semiconfinado.

El acuífero aluvial cuaternario ocupa una superficie de 115 km^2 y presenta una geometría propia del relleno de un cauce fluvial. A partir de columnas litológicas obtenidas mediante sondeos, se ha deducido que los mayores espesores del acuífero (30-50 m) se encuentran en la margen derecha del actual Río Guadalhorce, en torno al Aeropuerto de Málaga. En este sector, los sedimentos son de mayor tamaño de grano, procedentes de la erosión de las sierras carbonatadas próximas. En la margen izquierda del río disminuyen el espesor del paleocauce (< 20 m) y el tamaño de grano de los sedimentos fluviales.

Desembocadura del Río Guadalhorce

2.

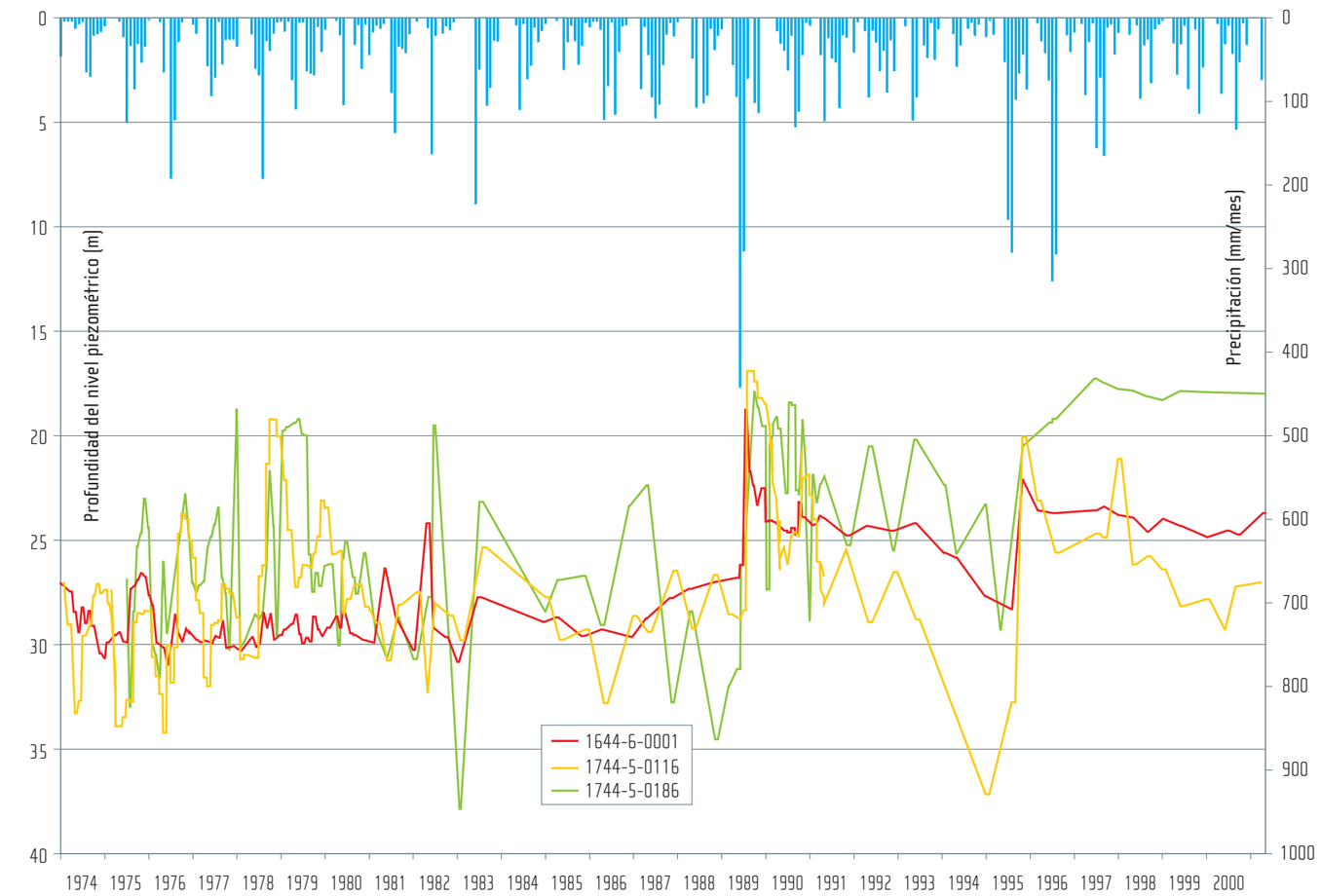
4.27 Bajo Guadalhorce

La profundidad del nivel piezométrico es inferior a 5 m en las zonas próximas a la costa y al Río Guadalhorce, y entre 5 y 10 m en sectores más septentrionales de la cuenca. Sin embargo, en los sectores más alejados del río, cercanos a los bordes de la cuenca, se pueden medir profundidades superiores a los 10 m. Los registros históricos muestran fluctuaciones del nivel piezométrico generalmente inferiores a 2 m y ausencia de sobreexplotación en la masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce. De hecho, desde la década de 1990, los niveles piezométricos se encuentran a cotas más altas que en períodos precedentes.

Las medidas de niveles piezométricos sólo se han realizado en puntos de agua localizados en el acuífero aluvial y en el acuífero superior plioceno. En el primer caso, las recuperaciones del nivel se producen de forma rápida, incluso en épocas con bajas precipitaciones, lo que indica infiltración rápida desde el río hacia el acuífero aluvial y, por tanto, una buena conexión hidráulica entre ambos. En sondeos alejados del eje del río, hacia los bordes de la cuenca, las evoluciones piezométricas son más suaves y lentas, y los efectos de las recargas y extracciones se prolongan durante periodos de tiempo mayores que en los piezómetros próximos al río.

Las variaciones piezométricas en el acuífero superior plioceno son de mayor magnitud, lo cual es característico de acuíferos semiconfinados sometidos a explotación por bombeo, como es el caso de este acuífero. No obstante, la recuperación de los niveles se produce de forma rápida cuando cesan las extracciones, dadas las buenas características hidráulicas del acuífero y la posible recarga desde el acuífero aluvial. Los niveles mínimos suelen situarse varios metros por debajo del nivel del mar.

Evoluciones piezométricas



Antiguo pozo Ranney de Intelhorce

En una situación de aguas altas (Mayo 1996) la superficie piezométrica del acuífero aluvial se encuentra por encima del nivel del mar, con un gradiente medio del 1,5‰, por lo que existe un flujo subterráneo hacia el mar, lugar al que se dirige toda la descarga natural del sistema, y también hay descarga hacia el cauce del Río Guadalhorce (río ganador) en el tramo de la desembocadura. En periodos de estiaje (Julio 1996), las cotas piezométricas del acuífero aluvial llegan a ser negativas en zonas próximas a la costa donde existen bombeos. La superficie piezométrica, en esta situación hidrogeológica, presenta formas abiertas al mar, lo que favorece la intrusión marina, más acentuada en la margen izquierda del río. Este proceso es reversible durante las épocas de recarga, ayudado por las características hidráulicas de los materiales acuíferos.

Los parámetros hidráulicos del acuífero aluvial, en el cual se concentran la mayor parte de las captaciones, muestran valores de transmisividad entre 5 y 800 m^2/día. La permeabilidad es del orden de 10^{-3} m/s y la porosidad eficaz está comprendida entre el 5 y 10 %.

La ausencia de información detallada sobre todas las entradas y salidas de agua complican la elaboración de un balance hidrogeológico de la masa de agua subterránea, por lo que los valores que se citan a continuación deben considerarse aproximados. Las entradas o recursos medios son del orden de 55 hm^3/año y proceden de infiltración de agua de lluvia y retorno de riegos sobre los materiales acuíferos (25 hm^3/año), recarga lateral de lluvia y regadíos sobre materiales colindantes (15 hm^3/año), y recarga lateral de acuíferos detríticos aluviales y de la Sierra de Mijas (15 hm^3/año). Las relaciones acuífero-río están muy influenciadas por las extracciones mediante bombeos. Las salidas se producen por bombeos en el acuífero aluvial (22 hm^3/año) y en el acuífero superior plioceno (4 hm^3/año), por descargas del acuífero aluvial al río (23 hm^3/año) y por descarga subterránea hacia el mar (6 hm^3/año).

El agua de los acuíferos del Bajo Guadalhorce presenta, en general, una alta mineralización y facies hidroquímicas mixtas. Las aguas del acuífero cuaternario tienen principalmente una facies hidroquímica clorurada-sulfatada magnésico-cálcica, mientras que las del acuífero superior plioceno son bicarbonatadas cálcicas. En las zonas cercanas a costa, se han detectado facies cloruradas sódicas y, en las proximidades de las sierras carbonatadas, facies bicarbonatadas cálcicas. En general,

Mapa y corte hidrogeológico
Bajo Guadalhorce
(M.A.S. 060.037)

Situación de la masa de agua en la provincia

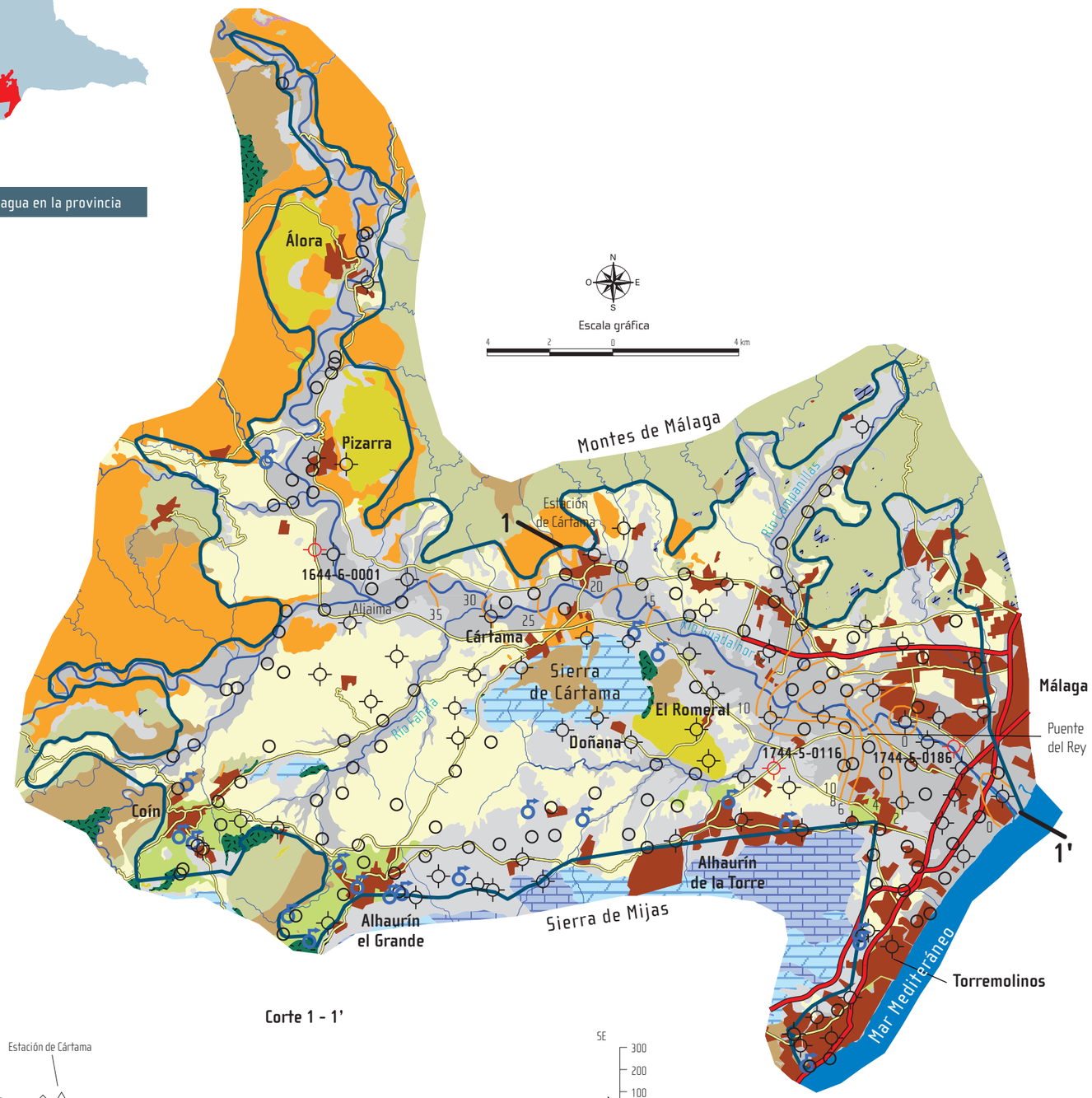
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA — Instituto Geológico y Minero de España — málaga.es diputación

Leyenda

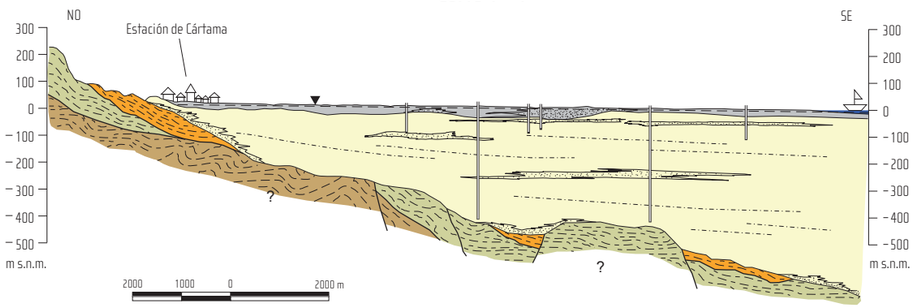
Edad				Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas					
Cuaternario		12	11	10 Travertinos	Alta
Plioceno		9		11 Aluvial	Alta
Mioceno	Superior	8		10 Indiferenciado	Media
Flysch				9 Margas y arenas	Baja - Media
Cretácico - Terciario		7		8 Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
Complejo Maláguide				7 Arcillas y areniscas	Muy baja
Triásico		6		6 Dolomías	Alta
Paleozoico		5		5 Conglomerados, areniscas y arcillas Filitas, pizarras y calizas alabeadas	Baja
Complejo Alpujárride				4 Mármoles calizos con calcoesquistos	Alta
Triásico	Superior	4		3 Mármoles dolomíticos	Alta
	Medio	3		2 Gneises, esquistos y filitas	Baja
	Inferior	2		1 Peridotitas	Baja
Paleozoico		1			

Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Aguas superficiales, mar
- Red hidrográfica
- Manantial
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- 385 Isopieza con altitud en m s.n.m.
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera



Corte 1 - 1'



las aguas han experimentado un progresivo deterioro de su calidad, debido a las actividades agrícolas (aumento de los contenidos en nitratos, sulfatos y plaguicidas), intrusión marina (cloruro y sodio) y el riego con agua procedente del embalse del Guadalhorce, que es muy mineralizada por la disolución de evaporitas (halita y yeso). Dentro del acuífero aluvial, la conductividad eléctrica del agua disminuye desde el borde costero (valores comprendidos entre 3.000 y 5.500 µS/cm) hacia el interior (menos de 1.000 µS/cm). La concentración en cloruros varía entre 70 mg/L cerca de la Sierra de Mijas y más de 400 mg/L en el borde costero; en lugares con cotas piezométricas negativas se han llegado a detectar 2.000 mg/L. Es frecuente encontrar concentraciones de sulfato por encima de 220 mg/L. Investigaciones isotópicas recientes basadas en la determinación de $\delta^{34}S_{SO4}$ han permitido constatar que gran parte de los sulfatos disueltos en el agua subterránea del Bajo Guadalhorce proviene de los fertilizantes aplicados en los cultivos. Esta actividad agrícola es la que también genera altas concentraciones de nitratos, con valores cercanos a 50 mg/L, límite establecido por la legislación española para aguas de consumo humano; en áreas de cultivos intensos el contenido en nitratos supera el valor de 50 mg/L y alcanza máximos de hasta 100 mg/L.

Río Guadalhorce en Aljaima

Sondeos de Puente del Rey

Con respecto a la calidad del agua del acuífero inferior plioceno, cabe señalar que presenta elevada conductividad eléctrica, con valores superiores a 4.600 µS/cm, equivalente una salinidad del orden de 3 g/L, y concentraciones de cloruros cercanas a los 1.300 mg/L. Es, por tanto, un agua de mala calidad, que debe ser descartada como una posible fuente de abastecimiento humano.

La topografía llana de la zona y la bondad del clima Mediterráneo han favorecido la agricultura de regadío (cítricos, hortalizas, caña de azúcar) cuyas necesidades de agua se cubren con las acequias de riego que gestiona la Cuenca Mediterránea Andaluza (antigua Confederación Hidrográfica del Sur), aunque los agricultores de la zona suelen apoyar los riegos con agua subterránea extraída en sondeos. Sobre los materiales pliocenos y aluviales se ha producido una gran transformación del uso agrícola tradicional del suelo. Se ha realizado el encauzamiento del tramo final del Río Guadalhorce, que ha supuesto la desaparición de los importantes bombeos que antes se hacían para regadíos en la desembocadura. También se ha reducido el uso industrial del agua del Bajo Guadalhorce; actualmente solo la aprovechan las empresas de San Miguel y Coca-Cola. En la margen izquierda se han emplazado polígonos industriales y una de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) de Málaga, además de áreas comerciales y un pabellón deportivo. En la margen derecha la superficie de área cultivada es mayor, aunque también se viene observando desde hace algunos años la transformación de suelo de uso agrícola, con la construcción de polígonos comerciales y la ampliación del aeropuerto. La demanda de agua para abastecimiento de la ciudad de Málaga se ha cubierto, en parte, con captaciones realizadas en el aluvial del Bajo Guadalhorce. Hasta la década de 1990 las captaciones se ubicaban en Fahala y Puente del Rey, pero el empeoramiento de la calidad del agua determinó el abandono de las de Puente del Rey. Tras un periodo de inactividad de 10 años, debido a problemas de calidad del agua, los bombeos se reiniciaron con la puesta en marcha de la desaladora de "El Atabal". En las captaciones de Fahala se bombearon 4-6 hm^3/año durante el periodo de sequía 1993-1995. En el sector de Aljaima, junto al azud de Barullo, se perforaron 17 pozos y sondeos durante los años 1994 y 1995, desde donde la Empresa Municipal de Aguas de Málaga (EMASA) bombeó volúmenes de agua comprendidos entre 2,5 hm^3 (1998) y 13,5 hm^3 (2000). Del acuífero aluvial se abastecen poblaciones situadas aguas arriba, concretamente, Pizarra y Cártama.

Dada la mala calidad del agua para abastecimiento urbano, convendría aprovechar el agua subterránea del Bajo Guadalhorce preferentemente, para regadío. En aquellos sectores donde la calidad sea aceptable, se podrían reordenar las captaciones y optimizar el uso del agua para abastecimiento urbano. Allí donde el problema sea solo de salinidad del agua, no de contaminación por nitratos o plaguicidas, el agua también podría ser aprovechada después de su tratamiento en la planta desaladora del Atabal. Un aspecto interesante a investigar en el futuro es la posible recarga artificial del acuifero aluvial, con aguas residuales depuradas o la reutilización de estas aguas para regadío, dada la próximidad de la EDAR del Guadalhorce.

Bajo Guadalhorce y Montes de Málaga

2.4.28

Río Vélez (M.A.S. 060.027)

2.4.28

Río Vélez

José Luis García Aróstegui
José Benavente Herrera
José Javier Cruz San Julián

Acuífero detrítico aluvial en la confluencia de los Ríos Vélez y Benamargosa

Río Vélez, cerca de la desembocadura. Al fondo, cerro de Almayate

La masa de agua subterránea del Río Vélez está situada en el sector costero central de la comarca de la Axarquía, a unos 30 km al este de la ciudad de Málaga. La superficie del acuífero pertenece, en su mayor parte, al extenso término municipal de Vélez-Málaga y corresponde a una llanura, tradicionalmente utilizada para la agricultura ("Vegas de Vélez-Málaga y Torre del Mar", en la terminología local), que ocupa la parte baja de la cuenca del Río Vélez y de su afluente principal, el Río Benamargosa. La masa de agua incluye también los depósitos aluviales costeros del Río Seco, situado más al este.

El clima del área costera es de tipo mediterráneo subtropical, con valores medios anuales de precipitación de 510 mm y temperatura de 19ºC. La mayor parte de la cuenca hidrográfica del Río Vélez posee este régimen climático, con una precipitación media mayor (630 mm/año) y temperaturas algo menores (16ºC), de modo que hay una transición progresiva a clima mediterráneo marítimo a medida que se asciende hacia las cumbres situadas más al norte. La evapotranspiración potencial media anual calculada para la estación de Vélez-Málaga es de 935 mm y la evapotranspiración real se ha estimado en 415 mm, teniendo en cuenta las características predominantes de los suelos de la vega.

La masa de agua subterránea del Río Vélez constituye el relleno de un valle cuyo sustrato está formado por materiales metapelíticos de baja permeabilidad, pertenecientes a los Complejos Alpujárride y Maláguide de la Cordillera Bética (principalmente esquistos, de edad paleozoica). Sobre este sustrato se depositaron calcarenitas, de edad Mioceno Superior, que han sido detectadas en un sondeo perforado en el delta, pero se desconoce su continuidad lateral y en profundidad. Encima, hay un conjunto de materiales de edad Plioceno, formado por un tramo discontinuo de conglomerados y una potente formación margosa con algunos niveles más arenosos (calcarenitas en el Cerro de Almayate). La secuencia litológica culmina con los depósitos aluviales (gravas, arenas y limos aluviales) cuaternarios.

Las calcarenitas del Mioceno Superior suelen tener una permeabilidad media pero únicamente constituirían un acuífero si tuvieran cierta extensión o continuidad lateral y en profundidad, aspecto éste difícil de precisar en el estado actual de conocimientos. Los materiales pliocenos, en conjunto, afloran en una superficie de 10 km^2 y tienen baja permeabilidad, aunque el tramo conglomerático basal es permeable y, cuando está presente, constituye el acuífero profundo plioceno, de carácter confinado. En las proximidades del campo de fútbol de Vélez-Málaga, en 1995, se perforó un sondeo que atravesó 64 m de margas del Plioceno hasta alcanzar al acuífero profundo, el cual tiene un espesor de 10 m en este punto, y el nivel piezométrico ascendió hasta 3 m. De este sondeo se podía bombear un caudal de 16 L/s con el nivel piezométrico a 60 m de profundidad.

Los depósitos detríticos cuaternarios constituyen el acuífero principal, de carácter libre, con una superficie de 20 km^2. Los mayores espesores se detectan en el sector central, en la confluencia de los Ríos Vélez y Benamargosa, donde se alcanzan 70 m, así como en el sector deltaico, con más de 50 m de potencia. En este último sector se han diferenciado dos tramos acuíferos –confinado, el inferior- separados por un nivel limo-arcilloso poco permeable. A unos 4 km de la costa se observa un apreciable estrechamiento de los afloramientos de los materiales aluviales, coincidiendo con una elevación del sustrato que se sitúa a la cota del nivel del mar. La existencia de este umbral del sustrato tiene una notable repercusión hidrogeológica, dado que permite distinguir en el acuífero un sector continental y un sector costero, los cuales han llegado a quedar independizados en épocas de intensa sequía (finales del estiaje del año 1995), debido al descenso de los niveles piezométricos por debajo de la cota del mencionado umbral. Esta situación resulta ventajosa, desde el punto de vista hidrogeológico, ya que imposibilita un hipotético avance de la intrusión marina aguas arriba de dicha zona. La permeabilidad media del acuífero es de unos 70 m/día, si bien se han obtenido valores entre 30 y 300 m/día. La porosidad eficaz está comprendida entre el 2% y el 10%.

El Río Vélez en crecida (enero de 1996), cerca de la desembocadura

El régimen hidrológico de la masa de agua está condicionado por la regulación artificial de la cuenca del Río Vélez (610 km^2), que fue completada a mediados de la década de los años noventa del pasado siglo, con la entrada en funcionamiento del sistema del embalse de La Viñuela. Tradicionalmente, el abastecimiento a la población de la Costa del Sol oriental se efectuaba a partir de aguas subterráneas, mientras que el riego de cultivos, que se concentraba en las "vegas" de la parte baja de la cuenca, se llevaba a cabo con aguas superficiales, derivadas del río mediante acequias. Las aguas superficiales excedentarias circulaban hacia el mar y el caudal de esta descarga, por lo menos de forma estacional, solía ser importante. A partir de finales de los años setenta, se produjo un aumento paulatino de la demanda para abastecimiento y riego, con una ampliación sustancial de la superficie dedicada a los cultivos subtropicales sobre las laderas del valle aluvial. Ello provocó el incremento del caudal bombeado en un número creciente de captaciones de agua subterránea y la sustitución de captaciones de excavación manual (pozos) por sondeos. Entre los años 1984 y 1995 el número de captaciones se incrementó de 420 a 721, aunque, en el último año citado, sólo unas 430 captaciones podían considerarse activas. La explotación de las aguas subterráneas contribuyó al desarrollo económico de la comarca, pero la falta de planificación pronto dio lugar a la aparición de síntomas de explotación intensiva. Así, en los estiajes se registraban importantes descensos de los niveles piezométricos, especialmente en periodos secos, y empezó a advertirse un progresivo deterioro de la calidad del agua subterránea asociada a la intrusión marina.

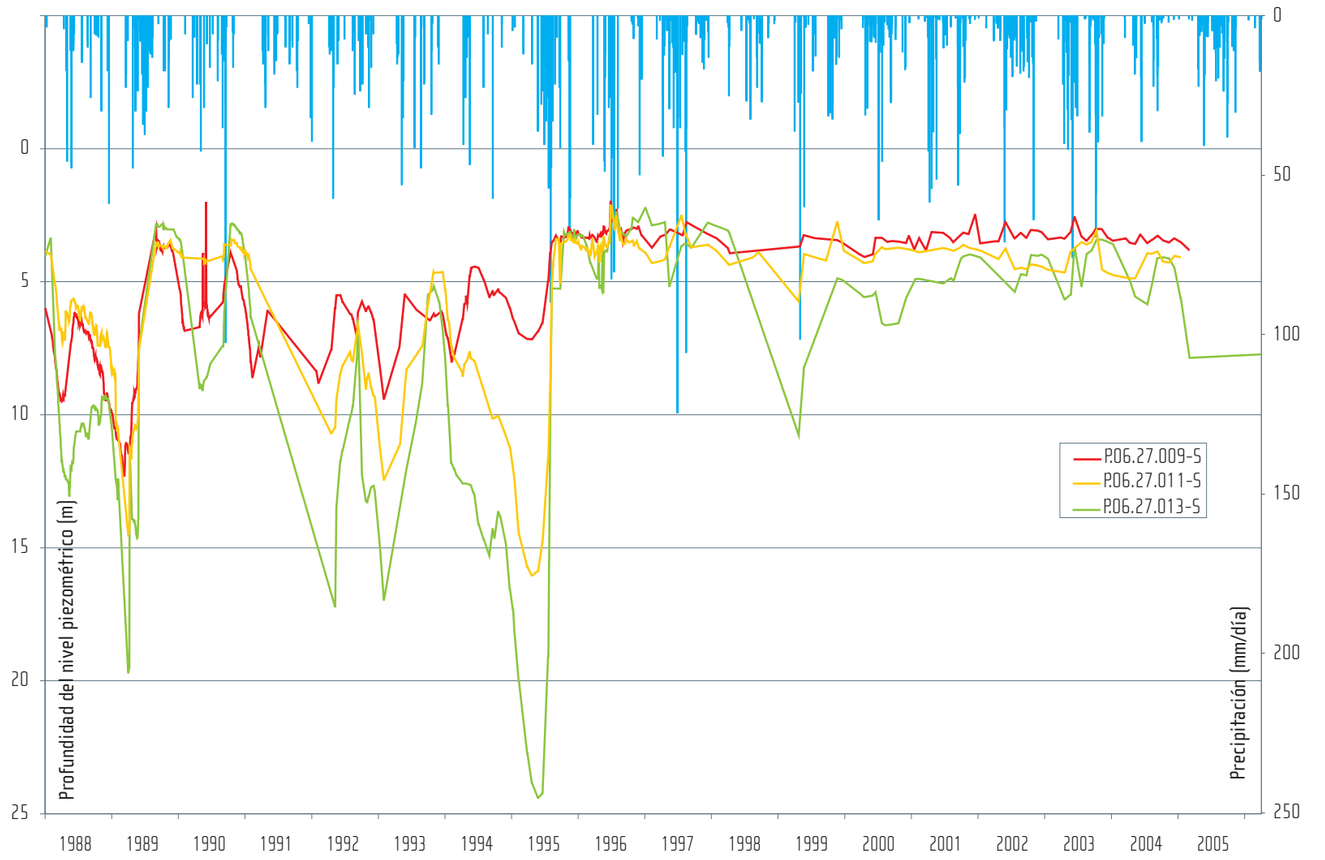
El sistema del embalse de La Viñuela, incluido dentro del denominado "Plan Guaro", está constituido por la presa de La Viñuela (173 hm^3 de capacidad) y ocho presas de derivación para trasvasar caudales excedentarios de los principales ríos de la cuenca hacia dicho embalse. Se logra regular así una superficie de unos 440 km^2, lo que supone el 72% de la superficie total de la cuenca hidrográfica. Las aguas embalsadas se destinan al riego de los cultivos situados por debajo de la cota 140 m s.n.m., al abastecimiento de los núcleos urbanos de la Costa del Sol oriental (entre Málaga y Nerja) y, eventualmente, contribuyen al suministro de la ciudad de Málaga. La entrada en servicio del embalse se produjo en el año 1989 y, durante el primer quinquenio de la década de los noventa, coincidiendo con un importante periodo de sequía, se fueron terminando las obras complementarias (presas de derivación y canales principales de abastecimiento y riego). En este periodo, el acuífero del Río Vélez vio

Bombeo en un pozo abierto en la Vega de Torre del Mar

reducidos considerablemente sus recursos hídricos, con unos descensos de niveles cada vez más acusados en los estiajes. La situación más alarmante se alcanzó a finales del estiaje de 1995, con escasas reservas en el embalse y en el acuífero, lo que afectó al abastecimiento de la población y al regadío. Las importantes aportaciones pluviométricas de los años 1996 y 1997 pusieron fin al periodo de sequía. Se produjo el llenado del embalse e, incluso, hubo que realizar varios desembalses, en previsión de intensas precipitaciones. Durante estos años se regularizó el abastecimiento de la población desde el embalse, iniciado en 1994, y comenzaron a realizarse desembalses para riego. Los niveles piezométricos se recuperaron con enorme rapidez entre finales de noviembre de 1995 y principios de febrero de 1996 y la cuña de intrusión marina retrocedió considerablemente, de tal manera que a finales de 1996 el acuífero ya no presentaba problemas al respecto, situación que se mantiene en la actualidad.

La recarga del acuífero en los años 1984-1985 fue estimada en unos 33 hm^3/año, de los cuales 28 hm^3/año procedían de la infiltración de las aguas de los Ríos Vélez y Benamargosa y el resto del retorno de riegos (3 hm^3/año) e infiltración de la precipitación (2 hm^3/año). Las estimaciones más recientes corresponden al periodo 1993/94-1996/97, con los siguientes valores: 36 hm^3 en 1993/94, 6 hm^3 en 1994/95, 60 hm^3 en 1995/96 y más de 100 hm^3 en 1996/97; en todos los casos, la infiltración en el cauce supuso más del 90% de esas cifras. Con las condiciones actuales de regulación de la cuenca, la recarga media reciente resulta difícil de evaluar, debido a la variabilidad de los desembalses efectuados y la inexistencia de aforos diferenciales en el cauce y en las derivaciones de acequias. El volumen de material acuífero es de algo más de 500 hm^3, del que puede llegar a estar saturado hasta el 90%, y se estima una capacidad máxima de almacenamiento de agua subterránea del acuífero próxima a 30 hm^3.

Evoluciones piezométricas



Pozo Ranney en el acuífero aluvial del Río Vélez

Ensayo de bombeo en un sondeo ubicado en el acuífero del Río Vélez

Mapa y corte hidrogeológico

Río Vélez

(M.A.S. 060.027)

Situación de la masa de agua en la provincia

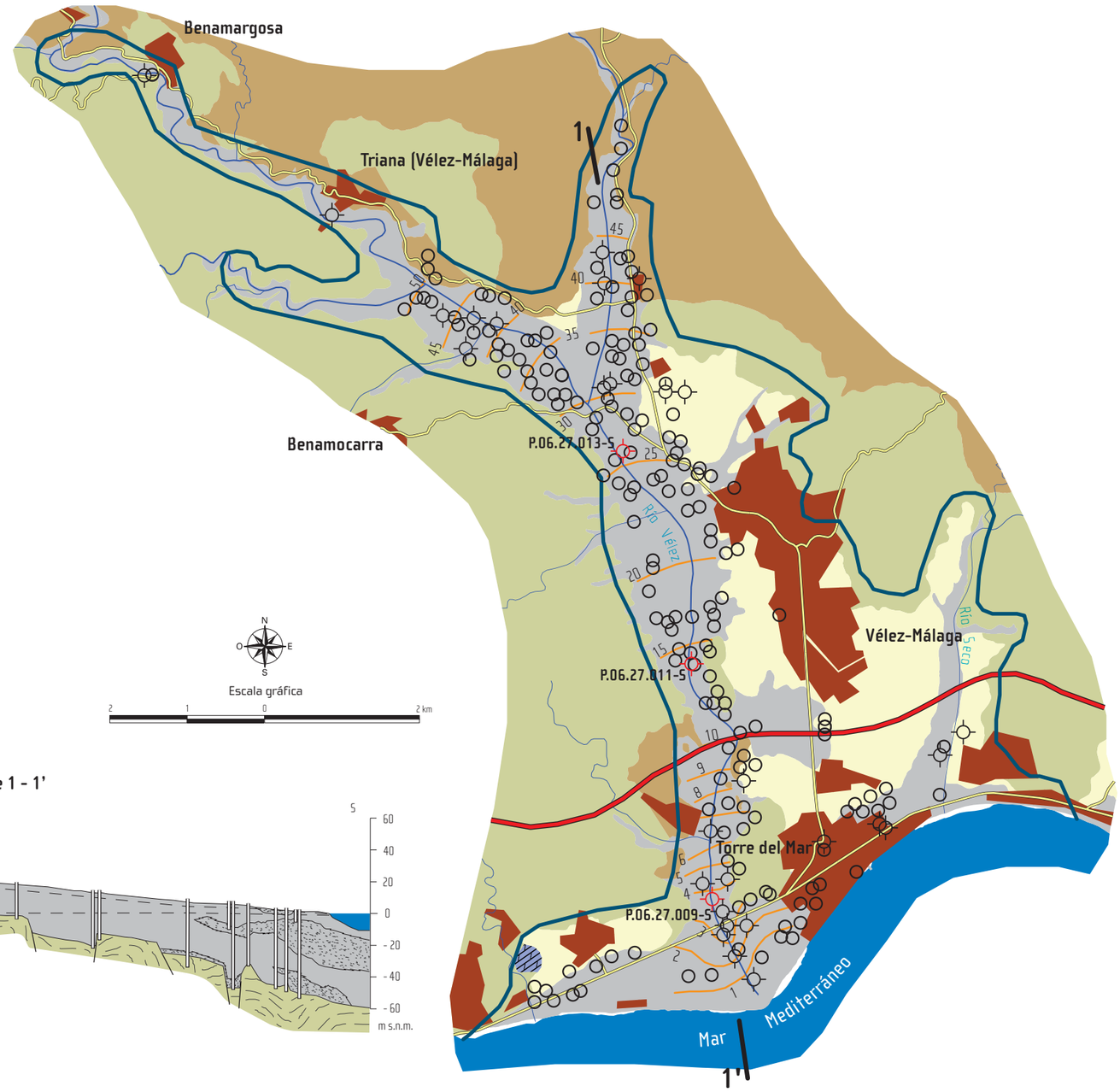
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA — Instituto Geológico y Minero de España — málaga.es diputación

Leyenda

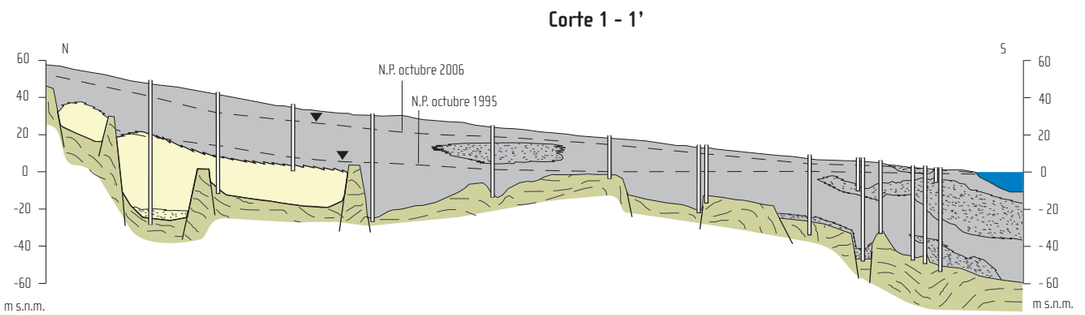
Edad		Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas			
Cuaternario	5	5 Aluvial	Alta
Plioceno	4	4 Margas y arenas (calcarenitas)	Baja - Media
Complejo Maláguide			
Triásico	Med-Sup	3 Dolomías	Alta
	Inferior		
Paleozoico	2	2 Filitas y pizarras	Baja
Complejo Alpujárride			
Triásico	Inferior	1 Esquistos	Baja
Paleozoico	1		

Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Aguas superficiales, mar
- Red hidrográfica
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Sondeo con evolución piezométrica adjunta
- Isopieza con altitud en m.s.n.m.
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera



Corte 1 - 1'



Cambio del uso del suelo de agrícola a urbano en la Vega de Torre del Mar

Las salidas principales del acuífero se producen por bombeo. Las estimaciones disponibles de extracciones anuales totales y de su distribución para riego y para abastecimiento son: 40 hm^3 (34 hm^3 y 6 hm^3) en el año 1984/85; 39 hm^3 para (28 hm^3 y 11 hm^3) en 1993/94; 28 hm^3 (27 hm^3 y 1 hm^3) en 1994-95; 18 hm^3 (14 hm^3 y 4 hm^3) en 1995/96 y sólo 6 hm^3 (5 hm^3y 1 hm^3) en 1996/97. En la situación actual, el abastecimiento a la población y los denominados "riegos de la margen izquierda del Plan Guaro" se efectúan exclusivamente con aguas del embalse de La Viñuela, por lo que no utilizan las captaciones de agua subterránea. La explotación por bombeo actual se ha reducido significativamente respecto a la de mediados de los años 90 y se destina al exiguo regadío tradicional ubicado sobre el acuífero y a los riegos de la margen derecha, que, mediante conducciones provisionales y de forma local, también emplean aguas del embalse. Actualmente se están planteando los estudios necesarios para la consolidación de esta zona regable de la margen derecha y culminar así los objetivos del mencionado Plan Guaro.

Pozo abierto en la Vega de Torre del Mar

A partir de los registros piezométricos disponibles puede inferirse que el balance hídrico está compensado en la actualidad. Por otra parte, en lo que se refiere a las relaciones río-acuífero, durante la mayor parte del año existe un tramo de río ganador o en equilibrio en los últimos 4-5 km del Río Vélez antes de su desembocadura.

Desde el punto de vista hidroquímico, en el denominado sector continental del acuífero aluvial, la facies es mayoritariamente bicarbonatada cálcico-magnésica y la salinidad aumenta como consecuencia de la agricultura intensiva. A medida que progresa el flujo, la facies evoluciona en el seno del acuífero y en el sector deltaico se observa una mayor diversidad de facies hidroquímicas: bicarbonatadas, bicarbonatadas-sulfatadas y también cloruradas sódicas.

Durante la década de los noventa, el problema de la escasez de recursos hídricos debido a la sequía se vio agravado por el deterioro de la calidad de las aguas subterráneas. La concentración de bombeos en el sector costero provocó el avance de la intrusión marina y, con ello, la salinización de numerosas captaciones. Por otra parte, el acuífero es altamente vulnerable a la contaminación y la agricultura intensiva que se desarrolla sobre el mismo, con elevadas dosis de fertilizantes, ha dado lugar a altos contenidos en nitratos en las aguas subterráneas. Durante los años hidrológicos 1993/94 y 1994/95, el agua del 70% de las captaciones existentes presentaba contenidos en nitratos superiores a 50 mg/L, con valores máximos que superaban los 250 mg/L en los sectores central y deltaico. El problema de la contaminación por nitratos persiste en la actualidad y algunos estudios también han puesto de manifiesto la presencia de plaguicidas.

La masa de agua subterránea del Río Vélez dispone actualmente de unos recursos hídricos que pueden ser explotados de forma controlada, para evitar la intrusión marina y minimizar los efectos sobre las relaciones río-acuífero. Una reordenación del emplazamiento de los bombeos y sus caudales de explotación, y su integración con los recursos del embalse de la Viñuela y las aguas residuales depuradas, permitirían mantener el acuífero con un buen estado cuantitativo. Por otro lado, la importancia evidente de los problemas planteados ha promovido la realización de diversas investigaciones hidrogeológicas, entre cuyos objetivos prioritarios destacan los relativos a la comprensión del funcionamiento del acuífero, con especial énfasis en los procesos de intrusión marina, en el impacto de la construcción del embalse de La Viñuela sobre el régimen hidrológico del acuífero y en el uso conjunto embalse-acuífero-aguas residuales depuradas. El acuífero de Vélez es uno de los que dispone actualmente de una mayor densidad de puntos de control piezométrico e hidroquímico (intrusión marina) en toda la Cuenca Mediterránea Andaluza. Esta infraestructura de control, junto al conocimiento adquirido del acuífero en los diferentes estudios realizados hasta ahora, permiten considerarlo como un "laboratorio natural" para investigar, a escala real, cuestiones hidrogeológicas del máximo interés como las anteriormente señaladas.

Río Vélez, aguas arriba de la autovía

2.4.29

Río Torrox (M.A.S. 060.026)

2.4.29

Río Torrox

Bartolomé Andreo Navarro
Matías Mudarra Martínez

La masa de agua se encuentra en la parte oriental de la provincia de Málaga, concretamente en el municipio de Torrox, al sur del pueblo del mismo nombre. Está formada por el curso bajo y la llanura de inundación del Río Torrox, junto con el sector costero existente a ambos lados de la desembocadura. La cuenca hidrográfica de este río se extiende ampliamente hacia el norte, por la vertiente meridional de Sierra Almijara.

El clima existente en la zona costera es de tipo subtropical semicálido, con un régimen de humedad mediterráneo seco. La precipitación media anual es del orden de 450 mm y la temperatura media anual de 18,5ºC. El valor medio anual de la ETP se estima en 900 mm.

Desde el punto de vista geológico, la cuenca baja del Río Torrox está formada por materiales de edad Cuaternario, que se pueden agrupar en dos grandes conjuntos, discordantes sobre esquistos del Complejo Alpujárride. El tramo más antiguo (probablemente Pleistoceno) aflora bajo la localidad de Torrox y en las márgenes del cauce actual. Tiene un espesor máximo de 40-50 m y está formado por brechas y conglomerados, muy cementados en el sector más próximo al pueblo. Estos materiales presentan, a techo, una superficie endurecida (glacis) con ligera inclinación hacia el mar. Proceden de la erosión de Sierra Almijara y los relieves próximos, y se depositaron en abanicos aluviales y por el propio Río Torrox, cuando el nivel de base estaba más alto. Actualmente, el muro de esta formación se encuentra por encima del cauce del río, en el sector septentrional del afloramiento.

El conjunto de materiales más modernos (atribuido al Holoceno) está constituido, principalmente, por los depósitos asociados a la dinámica del Río Torrox (arenas, gravas, cantos rodados y limos), que describen una ligera morfología deltaica en superficie, según la cual aumentan su anchura de afloramiento desde el pueblo hasta el mar. Este conjunto tiene una potencia de 20-30 m y es discordante y erosivo sobre el anterior. Tal es así que los materiales cuaternarios antiguos han sido erosionados por el río y los depósitos modernos, en profundidad, están directamente en contacto con los esquistos del sustrato. En continuidad con los sedimentos recientes del Río Torrox hay depósitos de playa (arenas y limos) originados por la dinámica litoral. Al oeste, existen más sedimentos fluviales recientes, asociados a cauces o ramblas de importancia menor.

La masa de agua del Río Torrox está formada por el relleno sedimentario de la cuenca baja del río, con una superficie total de afloramiento de 3,5 km^2. Se encuentra limitada, en la base y en los bordes, por materiales de baja permeabilidad (esquistos alpujárrides), excepto en el límite meridional, donde la masa entra en contacto con el mar. Las brechas y conglomerados tienen una escasa capacidad de almacenamiento de agua subterránea en el sector septentrional, porque están colgados con respecto al cauce actual y su permeabilidad es relativamente baja, debido al grado de cementación que presentan. A medida que se aproximan hacia el mar presentan más interés hidrogeológico porque están menos cementados y contactan con los depósitos fluviales y costeros más recientes. Éstos son los que presentan mayor importancia como acuífero, dado que presentan geometría favorable para el almacenamiento de agua y buenas características de permeabilidad y porosidad eficaz.

Todos los materiales cuaternarios constituyen un acuífero libre, cuya alimentación se produce por infiltración del agua de escorrentía que circula por el Río Torrox y por infiltración directa de las precipitaciones y por retorno de riegos. El flujo subterráneo se produce hacia el cauce, en las proximidades de la desembocadura, y, sobre todo, hacia el mar de forma submarina. Los datos disponibles de nivel freático muestran una estrecha relación con las aguas superficiales que fluyen por el Río Torrox. La superficie piezométrica se encuentra a varios metros de profundidad y es, prácticamente, paralela a la superficie del terreno. Esta profundidad varía según las condiciones climáticas y de bombeo y, en consecuencia, se puede modificar la relación hidrogeológica del río (efluente o influyente) y del acuífero.

Depósitos aluviales en la desembocadura del Río Torrox

Mapa y corte hidrogeológico

Río Torrox

(M.A.S. 060.026)

Situación de la masa de agua en la provincia

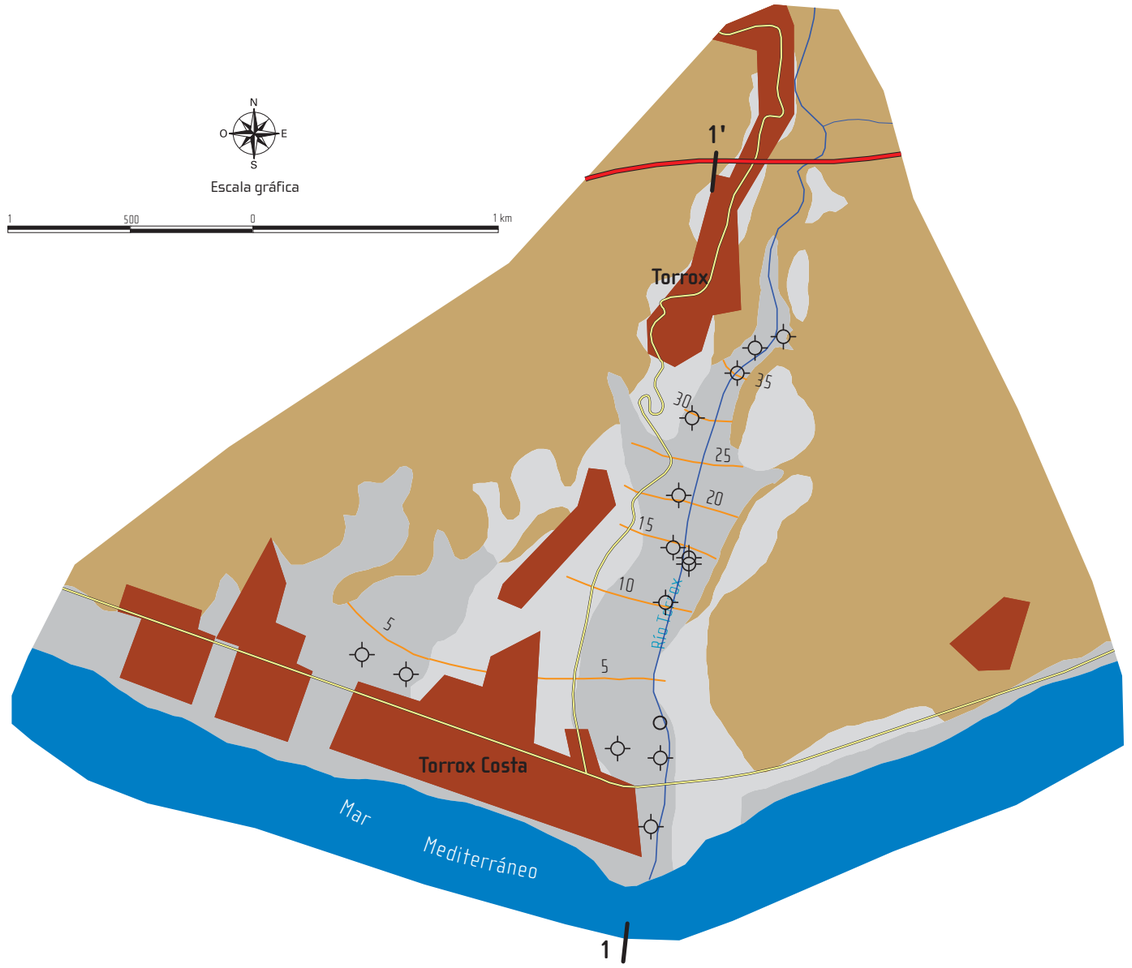
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España
málaga.es diputación

Leyenda

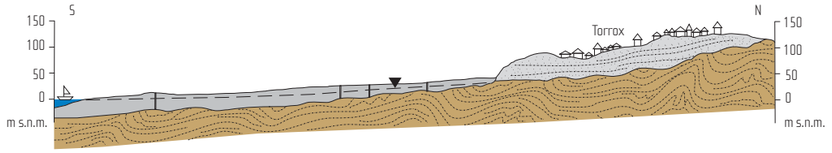
Edad	Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas		
Cuaternario (3, 2)	3 Aluvial	Alta
	2 Brechas y conglomerados	Media
Complejo Alpujárride		
Paleozoico (1)	1 Esquistos	Baja

Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Aguas superficiales, mar
- Red hidrográfica
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Isopieza con altitud en m s.n.m.
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera



Corte 1 - 1'



2.

La cuenca hidrográfica del Río Torrox presenta una elevada capacidad de regulación natural, porque está formada, en gran parte, por mármoles, permeables por fisuración y karstificación, lo cual contribuye a laminar las crecidas de río, que pueden alcanzar varios m^3/s en la zona de desembocadura. Existe una descarga subterránea del acuífero carbonatado de Sierra Almijara que se mantiene prácticamente durante todo el año, incluso en situaciones de baja pluviometría, con un caudal medio de 220 L/s. Sin embargo, desde tiempos históricos, la mayor parte de este caudal se deriva mediante acequias, antes de su entrada en el acuífero, para regadío de la vega que hay sobre el mismo. Los recursos de agua procedentes de la infiltración de la escorrentía dependen mucho de las condiciones climáticas y su valor medio se estima en 0,5 hm^3/año. La recarga directa por agua de lluvia y la aportación por retorno de riegos, conjuntamente, pueden suponer una cantidad similar a la anterior. Por tanto, los recursos medios de la masa de agua subterránea del Río Torrox, pueden ser del orden de 1 hm^3/año.

La descarga de los recursos se produce, de manera natural, directamente hacia el mar o hacia el cauce, cerca de la desembocadura. Además, desde tiempos históricos, han existido bombeos en captaciones para regadío de la importante actividad agrícola existente en la zona. En menor medida, se ha bombeado agua para abastecimiento urbano de Torrox (principalmente de las urbanizaciones del sector costero), a partir de una captación que hay al lado del cauce del río, aguas arriba de la carretera nacional N-340, y de otros pozos dispersos por las urbanizaciones. La existencia de captaciones de bombeo cerca de la costa ha provocado, tradicionalmente, procesos de intrusión marina en buena parte del acuífero. No obstante, el agua salada era expulsada con facilidad en épocas de recarga importante, dada la elevada permeabilidad de los materiales acuíferos.

Durante la última década, los bombeos han disminuido considerablemente por la entrada en funcionamiento de la conducción de agua procedente del embalse de La Viñuela. La superficie de cultivo en la vega (unas 100 ha) se ha reducido por el aumento de la urbanización del sector costero, cuyo abastecimiento se cubre con agua del embalse. No obstante, hay un plan de regadíos para que la superficie regable que ha sido ocupada por urbanizaciones sea recuperada a cotas más altas, en las laderas de la cuenca vertiente al Río Torrox. De esta manera, la superficie total a regar por la Comunidad de Regantes de Torrox, la cual cultiva la mayor parte de las tierras de la vega y otras del municipio, seguirá siendo de 425 ha. Las necesidades de agua para riego, teóricamente, no aumentarán sino que se mantendrán y se seguirán cubriendo con el agua procedente de las derivaciones del río y, en caso de necesidad, con las aguas residuales depuradas. En la situación actual, el aprovechamiento de las aguas subterráneas de este acuífero es muy limitado y se reduce a escasos bombeos para regadío, de forma que no se detectan procesos de intrusión marina.

Las aguas de la masa de agua subterránea del Río Torrox presentan una mineralización moderada, incluso en condiciones climáticas secas, como en febrero de 2007, cuando los valores de conductividad eléctrica medidos en la parte alta fueron de 800 µS/cm, 500 µS/cm en la parte central y, más abajo, aumentaban hacia el sector costero. Estas variaciones en la mineralización del agua subterránea pueden estar relacionadas con procesos de dilución al ir ganando anchura y espesor el acuífero pero, a medida que se acerca al mar, aumenta la conductividad eléctrica por la mezcla con agua salada.

La calidad del agua de este acuífero se ha deteriorado durante las últimas décadas, como consecuencia de la utilización de fertilizantes y pesticidas en la importante actividad agrícola que se desarrolla en la zona. Este hecho, junto a la relativa facilidad con que se producen los procesos de intrusión y extrusión de agua marina, demuestra la elevada vulnerabilidad a la contaminación que tiene el acuífero, como consecuencia de sus características hidrogeológicas (alta permeabilidad y escasa profundidad del nivel piezométrico).

Los recursos hídricos de la masa de agua subterránea del Río Torrox, actualmente, solo se están aprovechando en una mínima proporción. Ciertamente, son recursos escasos, por las reducidas dimensiones del acuífero, y son de mala calidad para abastecimiento urbano. Ahora bien, se podrían aprovechar para regadío en agricultura o en jardines, siempre que se haga de manera controlada para evitar los procesos de intrusión marina. Así, mediante un adecuado plan de explotación del acuífero, se estima que podrían cubrirse parte de las necesidades de agua para riego de la vega que hay sobre él o para riego de jardines en las urbanizaciones.

Cauce del Río Torrox y captaciones de agua subterránea en sus inmediaciones. Al fondo, Sierra Almijara

Derivación de agua para riego en el Río Torrox

2.4.30

Metapelitas de Sierras Tejeda - Almijara (M.A.S. 060.065)

2.4.30

Metapelitas de Sierras Tejeda - Almijara

Isaac Pérez Ramos

En el sector central y oriental de la provincia de Málaga se encuentran los relieves de los Montes de Málaga y de la comarca de la Axarquía, en los cuales el Ministerio de Medio Ambiente definió la masa de agua subterránea denominada "Metapelitas de Sierras Tejeda-Almijara". Esta masa de agua se extiende desde el valle del Río Guadalhorce hasta el Río Torrox. Comprende una estrecha franja, con dirección aproximadamente NO-SE, de los Montes de Málaga y buena parte de los relieves situados al sur y oeste de la Sierras Tejeda y Almijara, con una superficie total de 380 km^2. La orografía de la zona, en general, es accidentada, con pendientes relativamente importantes, aunque no se alcanzan altitudes superiores a 1000 m. Estas montañas son atravesadas, en dirección prácticamente N-S, por numerosos cauces de régimen irregular, a veces torrencial, entre los cuales cabe citar los siguientes: Campanillas, Guadalmedina, Totalán y Vélez.

El clima de la región es de tipo mediterráneo. La temperatura media anual es del orden de 16º C, aunque está muy condicionada la altitud. Así, en las zonas cercanas a la costa el valor medio puede ser de 18º C, mientras que en la parte alta de los Montes de Málaga es inferior a 15º C. Las precipitaciones medias anuales son del orden de 500-600 mm, pero también dependen de la altitud. Los mayores valores se dan en los Montes de Málaga, superiores a 700 mm, mientras que el mínimo se registra en las zonas costeras y en el valle del Río Vélez, con un promedio de unos 500 mm.

Desde el punto de vista geológico, la región está formada por rocas pertenecientes a dos dominios geológicos la Zona Interna de la Cordillera Bética, que están superpuestos tectónicamente: el Maláguide, en posición estructural superior, y el Alpujárride, en posición inferior. El primero aflora ampliamente en los Montes de Málaga, aunque también se encuentra el Alpujárride -debajo del anterior-, en lo que se denomina una ventana tectónica en el sector occidental. No obstante, los afloramientos más extensos de materiales alpujárrides aparecen en los relieves que hay al sur y oeste de las Sierras Tejeda y Almijara.

La serie estratigráfica de los Montes de Málaga está constituida, fundamentalmente, por tres formaciones rocosas de edad paleozoica: la inferior y superior son, predominantemente detríticas, mientras que la intermedia es ligeramente carbonatada. La formación detrítica inferior está constituida por filitas, pizarras y areniscas de colores pardo-grisáceos y verdosos, con delgados niveles de cuarcitas, y está atravesada por diques de rocas ígneas denominadas diabasas que son de edad Mioceno Inferior. La formación carbonatada, conocida como calizas alabeadas, comprende litologías que varían entre calizas relativamente puras y calizas pizarrosas; son de color gris oscuro a negro y presentan abundantes venas rellenas de calcita blanca. La formación detrítica superior presenta silexitas en la base y, encima, pizarras, grauvacas y conglomerados de colores pardo-verdosos, parecidos a la formación inferior. Sobre los materiales paleozoicos, en el entorno de Almogía y de la ciudad de Málaga, existen algunos afloramientos de lo que se llama cobertera del Maláguide, formada por arcillas, areniscas y conglomerados del Permotrías y, encima, rocas carbonatadas jurásicas (Cerro Coronado, Cerro de San Antón y Los Cantales).

El Complejo Alpujárride, que aflora al oeste de las Sierras Tejeda-Almijara, está constituido por metapelitas de edad Paleozoico. La secuencia litológica es bastante monótona y está formada por esquistos de color gris a negro, con tramos de cuarcitas.

Las rocas de los dos dominios geológicos antes descritas han sido afectadas por varias etapas de plegamiento y fracturación, por lo que han sufrido deformaciones importantes y metamorfismo asociado, mayores en el Complejo Alpujárride. Posteriormente, toda la región se ha visto sometida a la acción de fracturas, tanto fallas como diaclasas, de orientaciones diversas, aunque predominan las NNE-SSO y NNO-SSE.

Afloramiento de esquistos en la Axarquía (Torrox)

Mapa de afloramientos

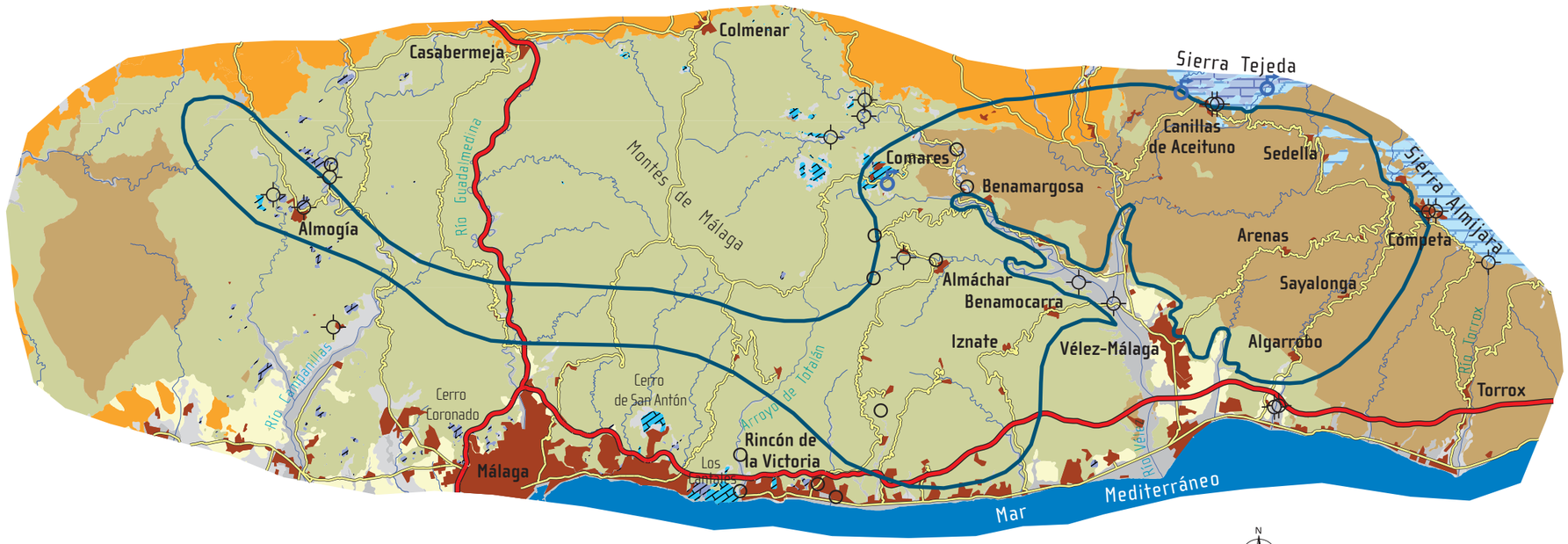
Metapelitas de Sierras Tejeda - Almijara

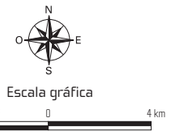
(M.A.S. 060.065)

Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA — Instituto Geológico y Minero de España

málaga.es diputación





Escala gráfica

4 2 0 4 km

Leyenda

Edad		Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas			
Cuaternario	10 9	10 Aluvial	Alta
Plioceno	8	9 Indiferenciado	Media
Flysch		8 Margas y arenas	Baja - Media
Cretácico - Terciario	7	7 Arcillas y areniscas	Muy baja
Complejo Maláguide		6 Calizas	Alta
Jurásico	6	5 Dolomías	Alta
Triásico	5	4 Conglomerados, areniscas y arcillas Filitas, pizarras y calizas alabeadas	Baja
Paleozoico	4	3 Mármoles calizos con calcoesquistos	Alta
Complejo Alpujárride		2 Mármoles dolomíticos	Alta
Triásico - Superior	3	1 Esquistos y cuarcitas	Baja
Triásico - Medio	2		
Triásico - Inferior / Paleozoico	1		

Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Aguas superficiales, mar
- Red hidrográfica
- Manantial
- Pozo
- Sondeo, piezómetro
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera

2.

4.30 Metapelitas de Sierras Tejeda - Almijara

Fuente de La Reina (Montes de Málaga)

Areniscas y arcillas del Permotrías y dolomías de la cobertera maláguide en el sector de Almogía

Desde el punto de vista hidrogeológico, las rocas metapelíticas (pizarras, esquistos) que afloran en los Montes de Málaga y en la Axarquía son, predominantemente, materiales de baja permeabilidad. En estos materiales la fracción de agua de lluvia que no se evapotranspira, fundamentalmente, produce escorrentía superficial. Es decir, que no constituyen acuíferos propiamente dichos, aunque puedan almacenar algo de agua en la zona de alteración superficial o en áreas donde existan fracturas, a través de las cuales puede haber flujo subterráneo. Posteriormente, el agua se drena hacia los cauces superficiales en forma de manantiales o surgencias de escaso caudal, cuyo régimen de descarga está muy ligado a las precipitaciones. Las rocas que pueden tener un poco de interés hidrogeológico son las calizas alabeadas, sobre todo cuando están muy fracturadas. Constituyen niveles acuíferos locales, de reducida extensión y, generalmente, sin conexión entre ellos, como se deduce de las distintas cotas de emergencia de los manantiales. La extensión de materiales permeables en la masa de agua es muy pequeña; se trata de depósitos detríticos cuaternarios recientes, de reducida extensión y colgados en las laderas, sin capacidad para almacenar agua.

El tipo de captaciones más frecuentes son las minas o pequeñas galerías horizontales excavadas en la roca y los pozos de gran diámetro que pretenden captar el agua de la zona de alteración superficial de las rocas, donde la permeabilidad es menos baja. También existen sondeos que pueden atravesar fracturas en profundidad, pero son poco numerosos. En cualquier caso, el rendimiento de las captaciones es bajo, raramente se pueden extraer caudales continuados superiores a 1 L/min, cuando no se agotan al cabo de poco tiempo de bombeo. Además de los abundantes caseríos y lagares de la zona, hay varios municipios, como por ejemplo Comares, Almogía o Almáchar, que han aprovechado, desde tiempos históricos, el agua subterránea de estos materiales de baja permeabilidad. No obstante a medida que ha ido aumentando la demanda de agua ha sido necesario buscar recursos de agua complementarios o alternativos, procedentes de acuíferos y embalses.

La existencia de aprovechamientos urbanos ha sido la razón fundamental por la que se definió la masa de agua denominada Metapelitas de Sierras Tejeda-Almijara, pero en realidad se trata de unos materiales de baja permeabilidad, con escasos recursos de agua subterránea, que presentan una baja vulnerabilidad a la contaminación. Por ello, en este tipo de terrenos es donde pueden situarse actividades potencialmente contaminantes de las aguas subterráneas, siempre que se disponga de un adecuado un conocimiento hidrogeológico del área seleccionada para tal fin y previa delimitación de los perímetros de protección de las captaciones existentes.

Tramo del acueducto de San Telmo, construido en el S. XVIII para llevar agua desde el Río Guadalmedina a la ciudad de Málaga

2.4.31

Corredor Villanueva de la Concepción-Periana (M.A.S. 060.066)

2.4.31

Corredor Villanueva de la Concepción - Periana

Juan José Durán Valsero

La masa de agua subterránea denominada Corredor Villanueva de la Concepción-Periana es una de las definidas por agrupamiento de abastecimientos urbanos de unas serie de localidades mayores y de pequeños núcleos diseminados, aunque no posee una entidad hidrogeológica definida.

La masa presenta una forma alargada, según un eje mayor este-oeste, con una extensión de unos 270 km^2. Se localiza en el sector central de la provincia de Málaga, al sur del arco montañoso carbonatado constituido por las Sierras del Torcal, las Cabras, Jobo, Camarolos, San Jorge, Sierra de Enmedio y Sierra de Alhama.

Desde el punto de vista fisiográfico, el relieve está muy compartimentado, con escasa energía, constituido por colinas alomadas, de cotas intermedias, disectadas por una serie de ríos orientados en dirección norte-sur, que vierten al Río Campanillas en el sector oeste, al Río Guadalmedina, en el sector central y al Río Vélez en el sector oriental. Los tributarios del Río Vélez aportan sus aguas al embalse de La Viñuela.

El clima de la región es netamente mediterráneo, con temperaturas medias anuales entre 14 y 16º C y precipitaciones medias anuales entre 700 y 1.000 mm.

Desde el punto de vista geológico, los materiales aflorantes son relativamente homogéneos, aunque, dentro de ellos, se pueden diferenciar dos dominios principales: los de tipo Flysch, pertenecientes al Complejo del Campo de Gibraltar, mayoritarios, que ocupan toda la zona central de la masa, y los atribuidos al Complejo Maláguide, que afloran en el borde sur y en algunos enclaves del sector central. Existen también algunos pequeños afloramientos subbéticos en el extremo noroccidental. La mayor parte de las litologías aflorantes son de baja permeabilidad (arcillas y margas de las unidades flyschoides y materiales maláguides).

El interés hidrogeológico de estas formaciones es muy escaso, limitado a pequeños aprovechamientos situados en vaguadas o en las cercanías de los cauces superficiales, en ocasiones, ligados a la presencia de depósitos aluviales de escaso espesor. Los materiales maláguides presentan, ocasionalmente, algunas galerías horizontales (minas), que aprovechan las aguas subterráneas infiltradas a través de las discontinuidades de los metasedimentos paleozoicos.

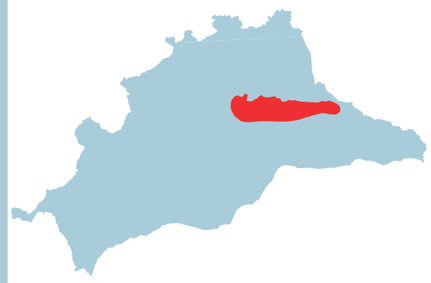
Arcillas del Flysch al norte de Valle de Abdalajís

Embalse de La Viñuela sobre arcillas del Flysch del Corredor Colmenar-Periana. Al fondo, Sierra de Alhama

Mapa de afloramientos

Corredor Villanueva de la Concepción - Periana

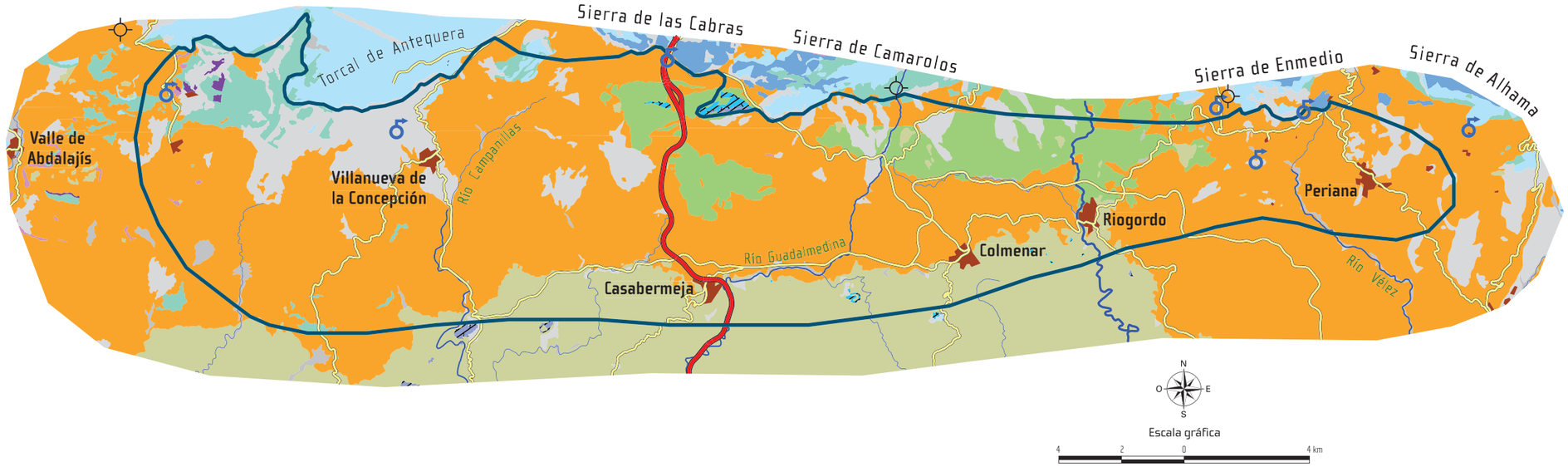
(M.A.S. 060.066)



Situación de la masa de agua en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA — Instituto Geológico y Minero de España

málaga.es diputación



Leyenda

Edad				Litología	Permeabilidad
Formaciones post-orogénicas					
Cuaternario			12 / 11	12 Aluvial	Alta
				11 Indiferenciado	Media
Flysch					
Cretácico - Terciario			10	10 Arcillas y areniscas	Muy baja
Zona Subbética					
Cretácico-Terciario			9	9 Margocalizas y margas	Baja
Jurásico	Dogger-Malm		9	8 Calizas	Alta - Muy alta
	Lías	Superior	9	7 Dolomías	Alta
		Inf.-Med.	8 / 7	6 Calizas y dolomías	Media - Alta
Triásico	Keuper		5 / 6	5 Arcillas y yesos	Baja - Media
Complejo Maláguide					
Cretácico-Terciario			4	4 Margocalizas, margas y arcillas	Baja
Jurásico			3 / 2	3 Calizas	Alta
Triásico			2	2 Dolomías	Alta
Paleozoico			1	1 Conglomerados, areniscas y arcillas Filitas, pizarras y calizas alabeadas	Baja

Signos convencionales

- Límite de la masa de agua
- Red hidrográfica
- Manantial
- Sondeo, piezómetro
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera

2.

4.31 Corredor Villanueva de la Concepción - Periana

Flysch de Colmenar

Existen algunos manantiales de pequeño caudal, en las cercanías de la pedanía de La Joya, al Norte de Villanueva de la Concepción y al noroeste de Periana. Estas localidades, junto con Casabermeja, Colmenar y Riogordo se encuentran incluidas en el perímetro de la masa, aunque su abastecimiento se realiza a partir de los acuíferos carbonatados situados al norte.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la masa de agua subterránea no puede ser considerada como un acuífero en sentido estricto. La fracción de agua de lluvia que no se evapotranspira (lluvia útil) se transforma en escorrentía superficial. Cuantitativamente, es casi imposible realizar un balance de la masa de agua. En cualquier caso, los recursos subterráneos disponibles son muy limitados.

La calidad química del agua en los pocos puntos en los que se dispone de análisis es buena, apta para cualquier uso. Las presiones en la masa son las derivadas de la actividad agrícola, granjas e industrias de transformación de la aceituna.

Flysch en el sector de Villanueva de la Concepción. Al fondo, los Montes de Málaga

Flysch al norte de Colmenar. Al fondo la Alta Cadena

2.05

Características de otros materiales

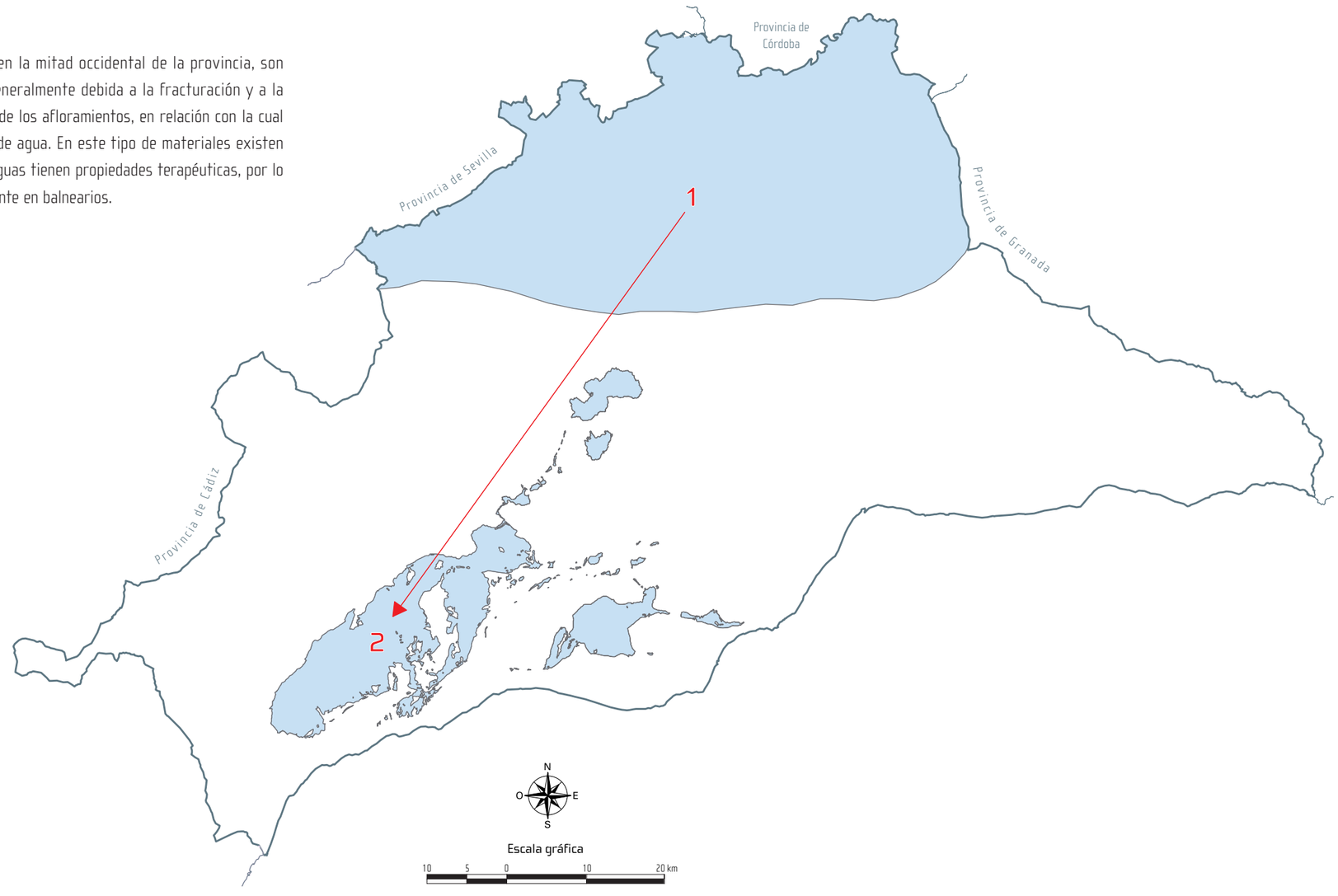
2.

05 Características de otros materiales

En la provincia de Málaga existen otros materiales que no han sido incluidos en las masas de agua subterránea definidas por el Ministerio de Medio Ambiente, a pesar de que presentan un comportamiento acuífero similar, o incluso más marcado, que algunos de los materiales que conforman dichas masas de agua. Por esta razón se dedica, a continuación, un capítulo al denominado Trías de Antequera y otro a las peridotitas de Ronda.

Los materiales arcilloso-evaporíticos que constituyen el denominado Trías de Antequera afloran ampliamente al norte de la provincia y muestran evidencias de brechificación y karstificación, características éstas que les confieren un marcado comportamiento acuífero.

Las peridotitas de Ronda, situadas en la mitad occidental de la provincia, son materiales de baja permeabilidad, generalmente debida a la fracturación y a la alteración en la zona más superficial de los afloramientos, en relación con la cual pueden existir pequeñas surgencias de agua. En este tipo de materiales existen también algunos manantiales cuyas aguas tienen propiedades terapéuticas, por lo que se han aprovechado tradicionalmente en balnearios.



2.5.1

El Trías de Antequera

2.5.1

El Trías de Antequera

Francisco Carrasco Cantos
Juan José Durán Valsero
José María Calaforra Chordi

Se conoce como Trías de Antequera al afloramiento de materiales triásicos que se extiende, siguiendo una franja de dirección E-O, por el norte de la provincia de Málaga. Son materiales alóctonos pertenecientes a los denominados Complejos Caóticos Subbéticos de la Zona Externa de la Cordillera Bética. Se trata de masas de rocas con estructura interna caótica, en las que hay un amplio predominio de litologías triásicas de afinidad subbética, pero que contienen, además, olistolitos y bloques postriásicos de diferentes unidades béticas, a veces incluidos en sedimentos del Mioceno Medio.

Los materiales triásicos son de facies germano-andaluza. Están constituidos, principalmente, por un conjunto de arcillas y areniscas de colores abigarrados entre las que se intercalan concentraciones estratiformes o irregulares de yeso y sal gema, calizas dolomíticas negras y ofitas. Es frecuente que, sobre estos materiales, se encuentren pequeños afloramientos de carniolas y brechas dolomíticas. Generalmente, el yeso se presenta masivo y, a veces, se encuentra en forma de brecha poligénica constituida por fragmentos de yeso con pequeñas proporciones de arcillas, calizas y dolomías negras, cuyo origen puede estar asociado a resedimentaciones de tipo tectosedimentario. La sal gema no aflora, aunque puede estar diseminada en las arcillas y, además, deben existir grandes acumulaciones de esta roca evaporítica, porque hay manantiales y lagunas cuyas aguas presentan alta salinidad, con elevados contenidos en cloruros y sodio. Las rocas subvolcánicas, ofitas, constituyen pequeños afloramientos, el más extenso de los cuales está situado al sur de Archidona.

En ocasiones se ha limitado la denominación de Trías de Antequera a los materiales de esta edad que afloran entre Antequera y Campillos, diferenciándolo de un Trías subbético situado al norte que presenta iguales características. En este capítulo se incluye bajo la denominación de Trías de Antequera a todos los afloramientos que se encuentran en la zona norte de la provincia, entre las poblaciones de Villanueva del Trabuco, Antequera y Almargen, por el sur, y Archidona, Alameda y Campillos, por el norte. Parte de estos materiales están cubiertos, discordantemente, por sedimentos postorogénicos del Mioceno Superior y del Cuaternario de la Vega de Antequera, Llanos de Campillos y Almargen y de la cuenca endorreica de Fuente de Piedra.

Laguna Salada (Campillos) sobre materiales del denominado Trías de Antequera

Laguna de Viso (Antequera)

Laguna Grande (Archidona)

El límite sur del Trías de Antequera, en el sector occidental, está formado por la alineación montañosa de las Sierras del Valle de Abdalajís y del Torcal de Antequera, pertenecientes al dominio Penibético o Subbético Interno occidental, y en el sector oriental, por las Sierras de las Cabras, Camarolos, del Jobo, San Jorge y Gibalto, que constituyen la Alta Cadena, una unidad de transición entre los dominios Subbético Interno y Medio. Hacia el norte, los materiales triásicos se extienden ampliamente en la provincia de Córdoba, formando parte del Subbético Medio.

La precipitación media anual sobre los afloramientos del Trías de Antequera, en la provincia de Málaga, está comprendida entre 450 y 600 mm. La temperatura media anual se encuentra entre 16ºC y 18ºC y la evapotranspiración potencial anual, calculada mediante el método de Thornthwaite, es próxima a 900 mm. La evapotranspiración real, con una capacidad de campo de 100 mm, asciende a 360-375 mm. Los excedentes anuales o lluvia útil varían entre 100 y 200 mm y representan del 24 al 35% de la precipitación.

En el Trías de Antequera se encuentra uno de los complejos kársticos más importantes de España desarrollados sobre materiales evaporíticos. Existen numerosas formas del modelado, tanto exo como endokársticas: lapiaces, dolinas, simas y cuevas. Son frecuentes las cuevas en yesos, entre las que destaca la Cueva del Agua, en el término municipal de Archidona.

Al sur de la depresión de Antequera, el Trías aflora en una altiplanicie inclinada suavemente hacia el oeste, desde la cota 800 m s.n.m., en la parte oriental, a 600 m s.n.m., en la occidental. En esta zona el relieve es suave, con pendiente moderada, y se caracteriza por la existencia de lomas, vaguadas y abundantes depresiones cerradas (endorreicas) de origen kárstico. No obstante, la altiplanicie queda limitada, al norte, por un importante escarpe y, además, aparece cortada por los cañones fluviales, muy encajados, del Río Guadalhorce y del Arroyo Marín. Estos rasgos geomorfológicos pueden estar asociados a las elevaciones de carácter diapírico, ligadas a procesos halocinéticos, dada la existencia de sales en profundidad.

Los procesos halocinéticos se ha deducido, también, a partir de las observaciones realizadas en algunos lugares. Así, en el sector oriental (Los Hoyos), el afloramiento de materiales triásicos presenta una forma subcircular y queda delimitado, prácticamente en todos sus bordes, por materiales cuaternarios, ubicados a cota inferior. De igual manera, en el sector occidental (Gobantes) existen depósitos postorogénicos del Mioceno Superior que, en la proximidad de los materiales triásicos, presentan deformaciones (buzamientos altos) coherentes con movimientos halocinéticos. También pueden estar relacionadas con este origen las denominadas *banquettes*, pequeñas marcas subhorizontales en las paredes de algunas cuevas, como en la del Agua, que indican diferentes niveles de erosión de las aguas subterráneas, probablemente originadas por variaciones del nivel de base asociadas a elevaciones halocinéticas.

La red hidrográfica regional está constituida, fundamentalmente, por el curso del Río Guadalhorce y sus afluentes, los cuales ejercen una acción erosiva remontante, que tiende a capturar las áreas endorreicas ubicadas a la altiplanicie. El Río Guadalhorce atraviesa dos veces el afloramiento meridional del Trías de Antequera y, al igual que uno de sus principales afluentes (Arroyo Marín), ha excavado cañones muy abruptos. En los bordes de estos cañones existen crestas erosivo-estructurales, relacionadas con el encajamiento de la red, procesos diapíricos y fenómenos de disolución.

En el extenso afloramiento del Trías de Antequera hay amplias regiones endorreicas con lagunas estacionales. Entre ellas cabe destacar, de este a oeste: las de Archidona, en el extremo oriental de la provincia; la Loma del Yesar y Peñas Prietas en el sector de Archidona; las lagunas de Caja y Viso en el término municipal de Antequera; pequeñas cuencas del sector de Gobantes y las lagunas de Campillos. Más al norte, se desarrolla la cuenca endorreica de Fuente de Piedra, de grandes dimensiones, en comparación con las citadas, y la de la laguna de Herrera, humedal actualmente desecado mediante un drenaje artificial. En las cuencas endorreicas, la red hidrográfica está constituida por cauces poco ramificados y de pequeña longitud, que desembocan en las lagunas o se pierden en sumideros kársticos y simas.

2.

En general, se considera a los materiales triásicos de facies germano andaluza como la base impermeable de los acuíferos carbonatados jurásicos del dominio Subbético. No obstante pueden constituir acuíferos por la disolución de las evaporitas, particularmente en aquellos sectores en los que son más abundantes las rocas de este tipo. Debido a la diversidad litológica, existe diferente comportamiento hidrogeológico en los materiales del Trías de Antequera. Así, las arcillas y margas presentan baja permeabilidad. Las calizas y dolomías, cuando tienen continuidad suficiente, pueden constituir acuíferos por fisuración y/o karstificación, aunque suelen tener dimensiones reducidas, baja transmisividad y, a veces, están confinados entre las arcillas. Los yesos y la sal gema son muy solubles y permiten un desarrollo rápido de la karstificación, lo cual origina las manifestaciones kársticas ya indicadas.

La dinámica hidrogeológica del karst desarrollado en el Trías de Antequera se inicia con la infiltración de agua de lluvia o de escorrentía superficial, principalmente a favor de las abundantes formas de absorción (dolinas, lagunas de recarga, simas). Una vez infiltrada, el agua subterránea circula y, eventualmente, se almacena en conductos y zonas permeables ensanchadas por la disolución, siguiendo un sistema de flujos superficiales y profundos. La relación entre los procesos hidrodinámicos (flujo subterráneo) y químicos (disolución) condiciona el desarrollo subterráneo del karst y su autorregulación. La descarga del agua subterránea se produce por manantiales, mediante un drenaje difuso hacia cursos de agua superficiales o, de forma subterránea, hacia otros acuíferos.

Salinas próximas al manantial de Cañaveralejo

Manantiales salinos en Fuente Camacho (Granada)

Los manantiales que drenan el Trías de Antequera se encuentran en las márgenes del Río Guadalhorce (Cueva del Agua, La Peña, Meliones, en arroyos dentro de los afloramientos del Trías (Cañaveralejo, Montemayor, Las Pilillas, Rodahuevos, Salado de Almargen), en el contacto de estos materiales con la depresión de Antequera (Saladilla, Valsequillo, Gandigüela, Pinedilla) o relacionados con lagunas (manantial del Molino de los Aguilera). Los manantiales de Fuente Camacho, situados fuera de los límites de la provincia de Málaga, son de bajo caudal, con aguas de elevada mineralización, que tradicionalmente han sido explotadas en una salina, en cuyas inmediaciones se conservan restos arqueológicos de las épocas romana y árabe.

Otras salidas de agua procedente de los materiales triásicos están constituidas por la descarga difusa hacia el Río Guadalhorce, en las dos gargantas en las que el río atraviesa el afloramiento triásico (Loma del Yesar y estrecho de Meliones) y en el Arroyo Marín. También hay descarga hacia la mayoría de los humedales que se desarrollan en las zonas endorreicas (laguna de Fuente de Piedra, lagunas de Archidona y algunas lagunas de Campillos) y hacia los materiales detríticos permeables miocenos y cuaternarios de su entorno, principalmente en la depresión de Antequera.

En el Trías de Antequera existen salidas por bombeos que se producen en pozos y sondeos, generalmente, para uso agrícola. Los caudales de explotación en estas captaciones pueden llegar a ser de decenas de L/s.

En relación con la composición de las aguas subterráneas existen tres tipos de facies hidroquímicas: sulfatada cálcica, clorurada sódica y bicarbonatada magnésico-cálcica. Las aguas sulfatadas cálcicas son las más comunes, debido a la abundancia de yesos. Son aguas que contienen de 1,7 a 2,8 g/L de sales totales disueltas, en su mayor parte sulfato cálcico, con un pequeño porcentaje de cloruro sódico y de bicarbonato cálcico-magnésico.

Mapa y cortes hidrogeológicos

El Trías de Antequera

Situación en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · málaga.es diputación

Leyenda

Edad

Formaciones post-orogénicas

Cuaternario		10 9 8
Mioceno	Superior	7

Flysch

Cretácico - Terciario	6

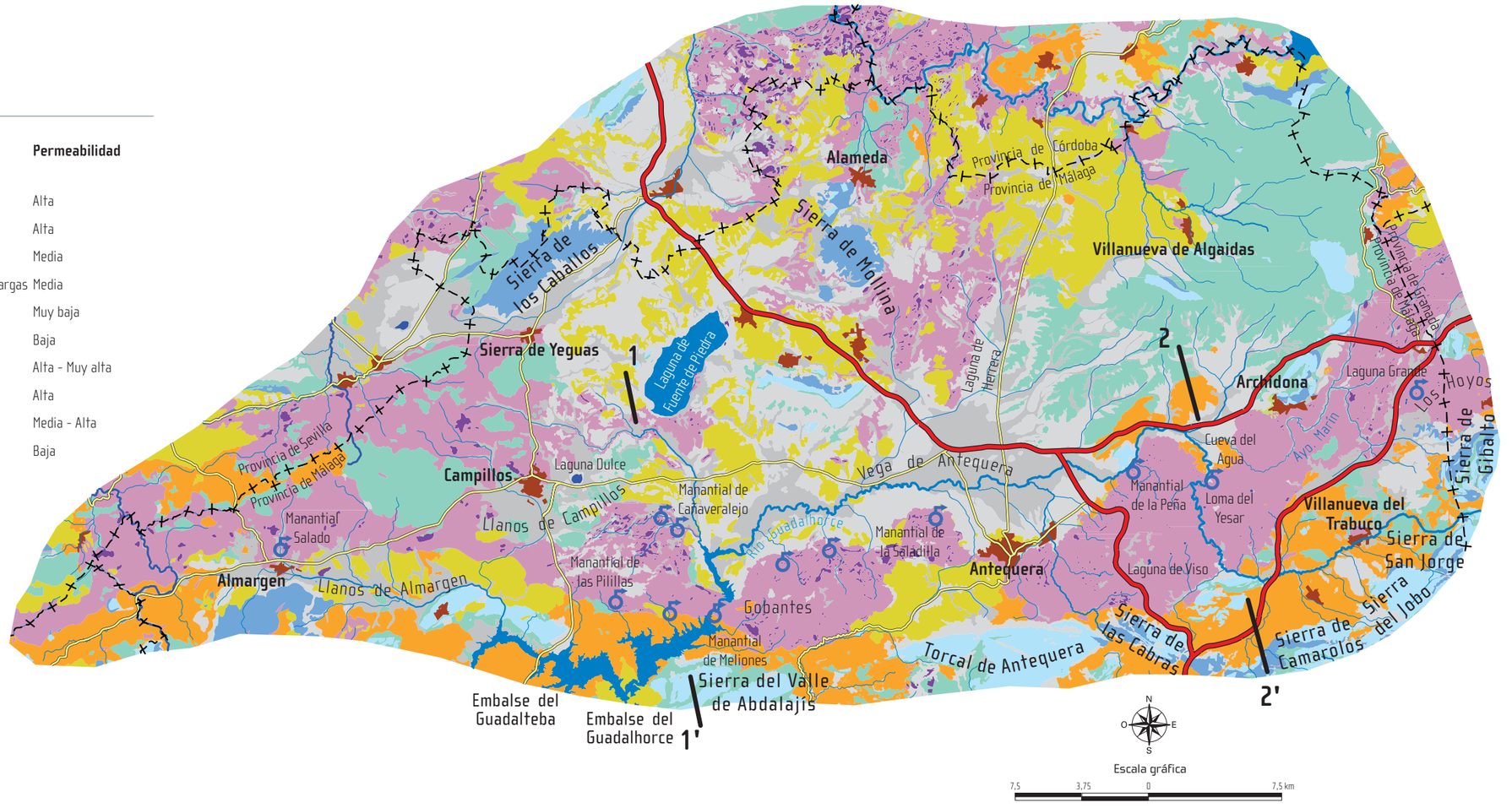
Zona Subbética

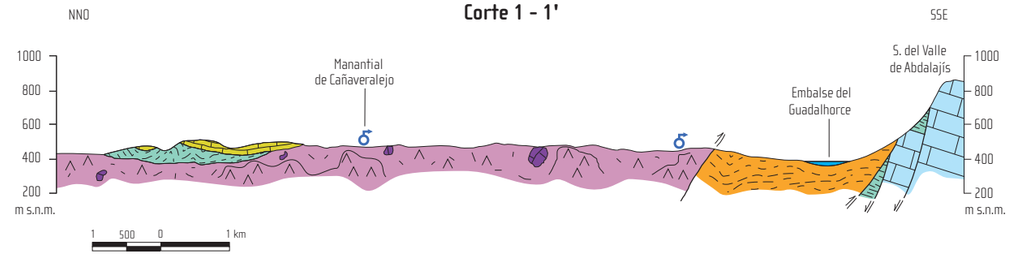
Cretácico-Terciario			5
Jurásico	Dogger-Malm		5
Jurásico	Lías	Superior	5
Jurásico	Lías	Inf.-Med.	4 3
Triásico		Keuper	1 2

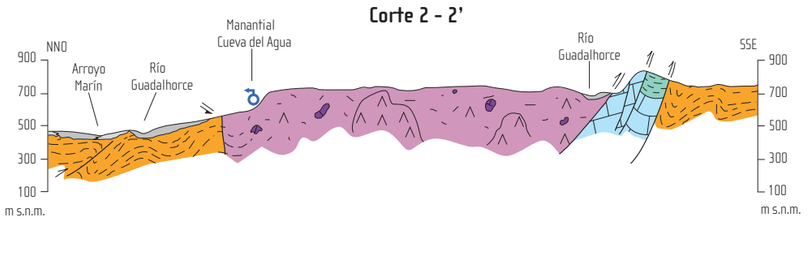
Litología	Permeabilidad
10 Travertinos	Alta
9 Aluvial	Alta
8 Indiferenciado	Media
7 Calcarenitas, conglomerados y margas	Media
6 Arcillas y areniscas	Muy baja
5 Margocalizas y margas	Baja
4 Calizas	Alta - Muy alta
3 Dolomías	Alta
2 Calizas y dolomías	Media - Alta
1 Arcillas y yesos	Baja

Signos convencionales

- Límite de provincia
- Aguas superficiales, lagunas y embalses
- Red hidrográfica
- Manantial
- Núcleo de población
- Autovía
- Carretera







2.

5.1 El Trías de Antequera

Las aguas de facies clorurada sódica se originan a partir de la disolución de sal gema, que no se encuentra en los afloramientos superficiales, porque se lixivia con facilidad, pero que se detecta en sondeos, como el realizado en 1995 por la Confederación Hidrográfica del Sur (actualmente Cuenca Mediterránea Andaluza), en el sector de Gobantes, con una profundidad del orden de 1.000 m. Con esta facies hidroquímica existen alrededor de media docena de manantiales y algunas lagunas, entre ellas la de Fuente de Piedra y varias del complejo de Campillos. El agua de los manantiales tiene una salinidad total comprendida entre varios g/L y más de 100 g/L, en función de la cantidad de sal gema disuelta y de la longitud de los flujos subterráneos. Además, existen importantes variaciones de la salinidad en una misma surgencia, a lo largo del tiempo.

Las aguas de facies bicarbonatada magnésico-cálcica están relacionadas con los pequeños acuíferos localizados en las dolomías triásicas. Suelen presentar un Total de Sólidos Disueltos próximo a 1 mg/L.

Uno de los manantiales de mayor importancia, por su repercusión en la calidad natural de las aguas de la región e incidencia en el abastecimiento de agua a la ciudad de Málaga, es el de Meliones, cuyas aguas son de facies clorurada sódica. Se trata de un manantial, situado en el estrecho del mismo nombre, en la margen izquierda del cañón excavado por el Río Guadalhorce a su paso por el Trías de Antequera. Se encuentra a la cota 345 m s.n.m. y es el principal punto de descarga de la zona kárstica (con abundantes dolinas y varias simas) existente en la región de Gobantes. A partir del año 1976, el manantial quedó inundado por la construcción del embalse en el Río Guadalhorce y sólo queda al descubierto cuando desciende el nivel del embalse.

Antes de su inundación se suponía que el manantial surgía en un único punto. El régimen de descarga era permanente, con caudal variable entre 2 y 20 L/s, aunque había grandes periodos de caudal próximo a 10 L/s y una alta concentración de cloruro sódico. Mediante aforos y análisis químicos en diferentes secciones del Río Guadalhorce, en el entorno del manantial, se comprobó la existencia de otras surgencias salinas que alimentaban al río, por lo que cabe considerar al manantial como polisurgente, subaéreo y subacuático, con un caudal entre 20 y 45 L/s y elevada salinidad (conductividad eléctrica media superior a 90 mS/cm). Durante el periodo anterior a su inundación, se pudo comprobar que, en respuesta a las lluvias, el manantial experimentaba importantes aumentos de caudal y de salinidad y posteriormente, durante la decrecida, disminuía el caudal mientras que la salinidad continuaba elevada.

Estudios realizados por la antigua Confederación Hidrográfica del Sur han permitido localizar surgencias, cuyas aguas tienen una salinidad de hasta 250 g/L de cloruro sódico, y han determinado las aportaciones de sal al embalse del Guadalhorce en una media de 470 toneladas/día para el periodo 1981-2003. Se han realizado numerosas actuaciones con objeto captar las salmueras y evitar la salinización del agua almacenada en el embalse del Guadalhorce. Entre estas actuaciones cabe señalar el bombeo, en sondeos realizados en el entorno del manantial, de agua salada que posteriormente se conducía hacia el mar mediante una tubería, y las actuaciones en el área de recarga del karst de Gobantes, con objeto de disminuir la infiltración del agua por simas, pero el problema no está aún resuelto.

Manantial de Meliones y captaciones para bombear agua salada

Manantial de Meliones

2.5.2

Las peridotitas de Ronda

2.5.2

Las peridotitas de Ronda

Bartolomé Andreo Navarro
Fernando Gervilla Linares

Las peridotitas son rocas ígneas cuya composición mineralógica está formada por minerales como olivino (>60%) y piroxenos (<40%) y una fase alumínica minoritaria (granate, espinela o plagioclasa). El olivino y los piroxenos son ricos en magnesio y hierro, y son pobres en sílice (SiO_2), razón por la cual las rocas son de tipo ultrabásico. A menudo, el olivino y, en menor medida, los piroxenos, se encuentran transformados a minerales del grupo de la serpentina como consecuencia de alteración hidrotermal. Por esta razón, las peritotitas, que son de colores claros (verdes) en corte fresco, se presentan con colores verde oscuro a negro, cuando están serpentinizadas. No obstante, dada su composición ferromagnesiana, se alteran rápidamente en superficie y adquieren tonalidades pardo-rojizas. Estas rocas son muy escasas en el mundo, aunque en la mitad oeste de la provincia de Málaga (en las estribaciones orientales de la Serranía de Ronda) existe un conjunto de afloramientos de los más grandes del planeta. El afloramiento más extenso de la provincia es el que da lugar al conocido como macizo de Ronda (ocupa desde la Sierra Bermeja de Estepona, hasta la Sierra de Tolox), pero hay otros que ocupan cierta superficie: el macizo de Carratraca (Sierra de Aguas)-Casarabonela (Sierra de la Robla), al noreste del anterior, y el macizo de Ojén (Sierra Alpujata), al sureste. En relación con las peridotitas ha habido, históricamente, una importante actividad minera en la provincia, sobre todo de minerales de cromo (cromita) y níquel (niquelina). Ejemplo de ello son las minas del distrito de Los Jarales, en Carratraca, y la mina La Gallega, en Ojén.

Periodotitas de Sierra Alpujata. A la izquierda (al oeste) el pueblo de Ojén

Las peridotitas son duras y difíciles de erosionar. Por eso dan lugar a relieves de cierta altitud, que suelen ser áreas de cabecera de ríos. Así, en el macizo peridotítico de Ronda nacen los ríos que desembocan en el sector costero occidental de la provincia de Málaga: Padrón, Castor, Velerín, Guadalmansa, Guadalmina y Guadaiza. Del mismo modo, Sierra Alpujata es el área de cabecera del Río Real, que desemboca en el mar al este de Marbella, y de los Ríos Ojén y Alaminos, cuya confluencia da lugar al Fuengirola.

Los macizos peridotíticos se encuentran en la zona climática húmeda de la provincia, con valores medios anuales de temperatura y de precipitación comprendidos entre 15-16ºC y 800-1000 mm, respectivamente, aunque en la Sierra de Aguas, la precipitación media anual es más baja (500 mm). En el macizo de Ronda, dada su mayor altitud, se registran precipitaciones en forma de nieve.

Desde el punto de vista geológico regional, las peridotitas forman parte de la unidad de Los Reales, perteneciente al dominio Alpujárride, dentro de la Zona Interna de la Cordillera Bética. Concretamente, las peridotitas se encuentran en la base de la secuencia litológica de dicha unidad, que continúa con rocas metapelíticas (migmatitas, gneises, esquistos y filitas), siguiendo un grado decreciente de metamorfismo, desde muro hacia techo. La cobertera metapelítica de las peridotitas aflora ampliamente al oeste del macizo de Sierra Bermeja (en el valle del Río Genal), al sur de Sierra Alpujata, y, en menor medida, al norte de la Sierra de las Aguas. Estas peridotitas proceden del manto superior terrestre (manto litosférico), situado por encima de la Astenosfera, a profundidades superiores a 60 km; no obstante, la presencia de diamantes grafitizados en ellas sugiere que su profundidad de procedencia es mayor (> 200 km). En la actualidad se encuentran en la superficie como consecuencia de la combinación de diferentes procesos tectónicos e ígneos, que tuvieron lugar durante la orogenia alpina. De hecho, las peridotitas se encuentran tectónicamente superpuestas, mediante contactos de cabalgamiento, sobre rocas metapelíticas y carbonatadas que afloran en las Sierras de las Nieves y Blanca-Mijas, pertenecientes a otras unidades de la Zona Interna Bética. En el interior de los macizos peridotíticos se han establecido zonaciones de rocas basadas, principalmente, en la distribución de facies con diferentes minerales alumínicos y en la presencia de distintos tipos de capas de piroxenitas. Estas piroxenitas, en algunos casos, se encuentran plegadas isoclinalmente como consecuencia del flujo plástico. En episodios más tardíos, las peridotitas se vieron afectadas por abundantes fracturas de diverso tipo (fallas y diaclasas) y a todas las escalas, lo cual favoreció su alteración superficial.

Afloramiento de peridotitas en la Sierra de la Robla

Peridotitas (unidad de Los Reales), en color pardo rojizo, cabalgando sobre rocas carbonatadas (unidad de Las Nieves) en color gris

2.

Por lo que se refiere a las características hidrogeológicas, las peridotitas no constituyen acuíferos en sentido estricto, son rocas de baja permeabilidad. Tal es así que, por ejemplo, el embalse de La Concepción, en Río Verde, se encuentra mayoritariamente sobre peridotitas. En este tipo de materiales, la mayor parte del agua de lluvia o de fusión nival que no se evapotranspira (lluvia útil), genera escorrentía superficial. Sólo se infiltra una pequeña fracción de la lluvia útil, sobre todo en la zona superficial, cuya descarga se produce principalmente de manera difusa, hacia los cauces de los arroyos, en los meses siguientes a las precipitaciones.

El drenaje de las peridotitas también se produce por manantiales de pequeño caudal (varios L/s, en el mejor de los casos). Están relacionados con la zona de alteración, dada la escasa capacidad de almacenamiento de ésta y su proximidad a la superficie, y muestran variaciones de caudal asociadas a las precipitaciones. Las aguas de estos manantiales presentan temperaturas medias similares a los valores de las áreas en las que se encuentran. Se trata de aguas poco mineralizadas, con valores de conductividad eléctrica del orden de 100-200 µ/cm, y baja dureza. Ejemplos de estos manantiales son los pilares o fuentes de agua que hay en la carretera de San Pedro de Alcántara a Ronda y otras surgencias o captaciones que se aprovechan para abastecimiento urbano de algunos municipios, dada la buena calidad del agua. Así, Estepona y Casares, se han abastecido, históricamente, con agua de captaciones que hay en las peridotitas de Sierra Bermeja, aunque el caudal es insignificante para la demanda actual. La obra de captación típica consiste en zanjas y galerías que recogen el agua infiltrada en la zona de alteración de las peridotitas. En el término municipal de Fuengirola (paraje de Torreblanca) se perforó un sondeo en este tipo de materiales para abastecimiento municipal, que permite bombear un caudal de varios L/s, procedente de los 20 m más superficiales, donde es mayor la alteración de las peridotitas.

Balsas contraincendios con agua de la zona de alteración de las peridotitas (Sierra de Tolox)

Las peridotitas son rocas de baja permeabilidad, por eso se pueden ubicar embalses sobre ellas, (como el de La Concepción, en Río Verde)

Surgencia de agua en peridotitas (Casares)

Mapa de afloramientos

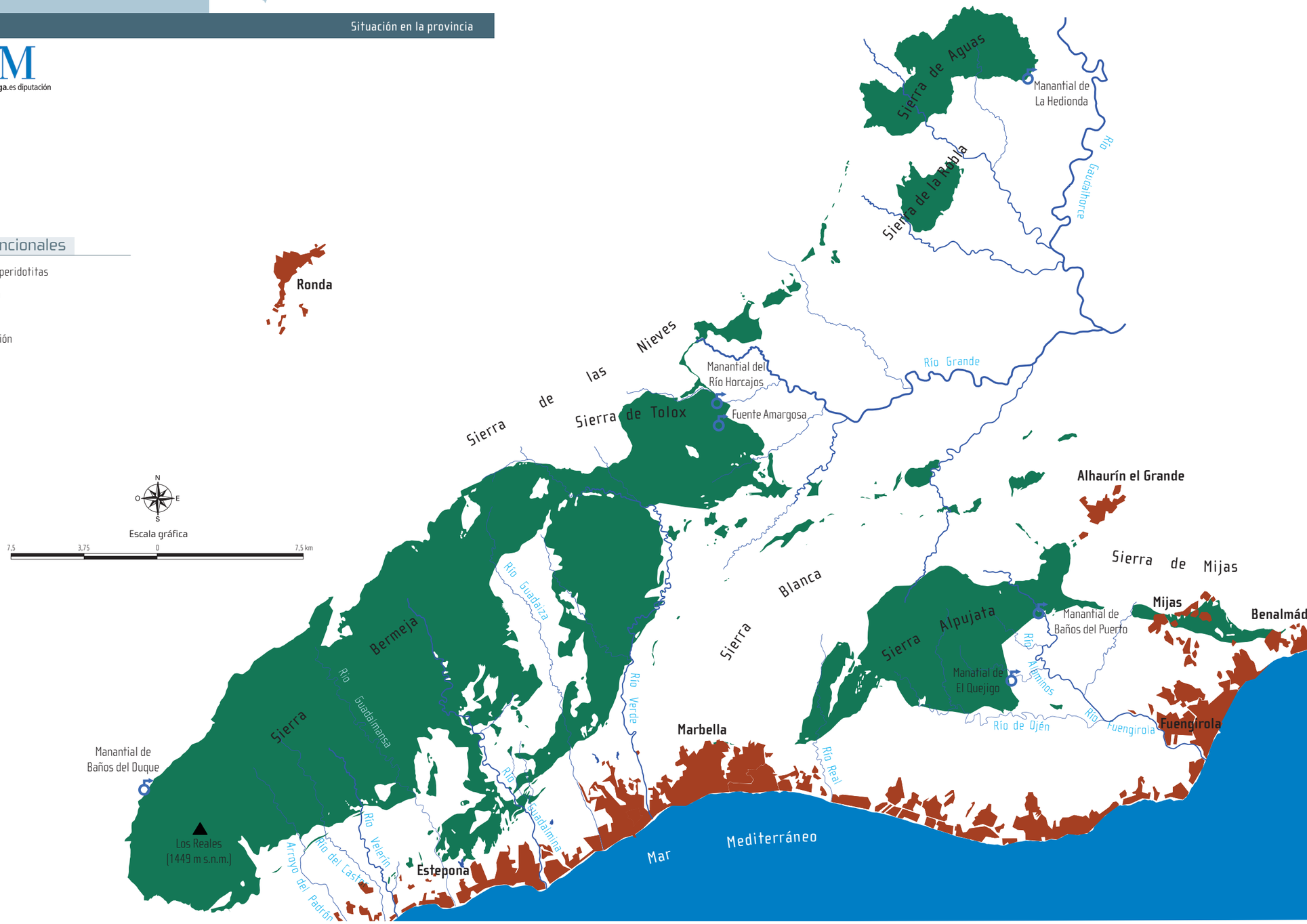
Las Peridotitas de Ronda

Situación en la provincia

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España
málaga.es diputación

Signos convencionales

- Afloramiento de peridotitas
- Red hidrográfica
- Manantial
- Núcleo de población



2.

5.2 Las Peridotitas de Ronda

Hay otras surgencias asociadas a las peridotitas, igualmente de escaso caudal (inferiores incluso a 0,5 L/s), pero permanentes en el tiempo, cuyas aguas son de carácter termal, con pH muy básico, más mineralizadas que las de los manantiales anteriores y gases como metano y sulfhídrico, este último responsable del olor "a huevos podridos", que son indicativos de condiciones de flujo reductoras. Este es el caso de las aguas del manantial de La Hedionda (Álora) y de otros que, precisamente por sus características físico-químicas, se han aprovechado históricamente en balnearios: los Baños del Puerto (Alhaurín el Grande), Baños del Duque (Casares) y el de Fuente Amargosa (Tolox), el cual todavía funciona actualmente. También hay manantiales cuyas aguas carecen de sulfhídrico y presentan facies diversas, como El Quejigo (Mijas). Todo este conjunto de manantiales, está relacionado con la circulación del agua por zonas más profundas, a favor de las fallas que afectan a los macizos peridotíticos.

Por último cabe hacer referencia a manantiales que emergen en peridotitas pero el agua procede de acuíferos carbonatados próximos. Este es el caso del manantial de Las Torres (Alhaurín el Grande), cuyas aguas proceden del sector oriental de Sierra Blanca, y del manantial de Urique (Alhaurín el Grande), así como de algunas minas o galerías que hay al oeste de Mijas y en la zona de El Higuerón (Fuengirola), relacionadas con la descarga de los acuíferos carbonatados de la Sierra de Mijas. Las captaciones de El Higuerón se han utilizado, históricamente, para el abastecimiento de Fuengirola, pero el descenso del nivel piezométrico en la Sierra de Mijas, como consecuencia de los bombeos, ha provocado la desaparición de aquéllas.

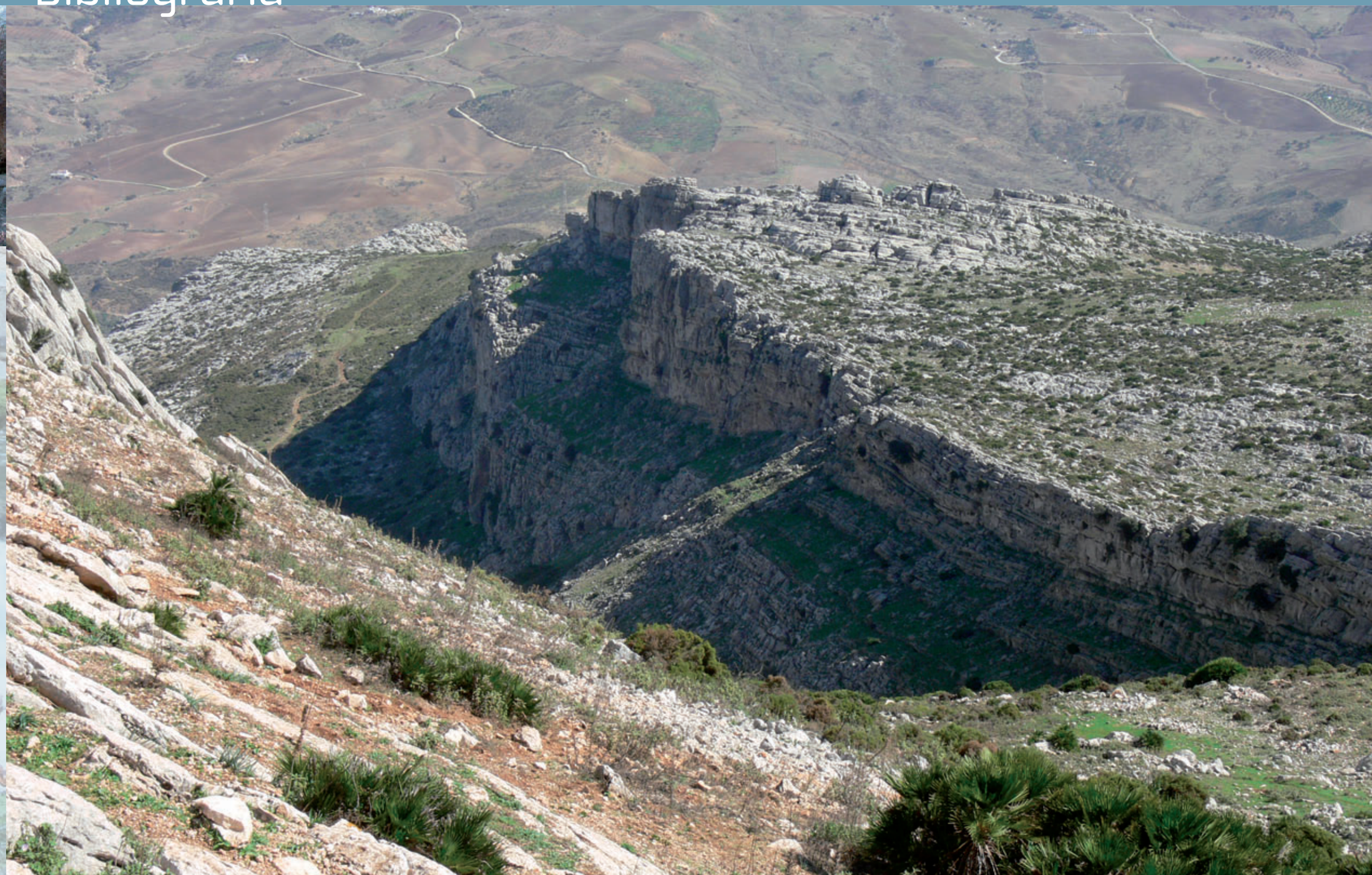
Baños del Puerto (Alhaurín el Grande)

Fuente del Hijar (Tolox)

Balneario de Tolox

2.06

Bibliografía



2.06

Bibliografía

Almécija, C. (1997): Estudio hidrológico e hidroquímico de los sistemas lagunares del norte de la provincia de Málaga. Tesis Doctoral. *Universidad de Granada,* 518 pp.

Andreo, B. (1997): Hidrogeología de acuíferos carbonatados en las Sierras Blanca y Mijas (Cordillera Bética, Sur de España). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga y Confederación Hidrográfica del Sur, 489 pp. Málaga.

Andreo, B.; Carrasco, F. y Benavente, J. (1993): The hydrochemistry of an ultramafic massif in Southern Spain (Sierra Alpujata, Costa del Sol area). *XXIV Congress of IAH Hydrogeology of hard rocks*, 1:388-394. Oslo (Noruega).

Andreo, B.; Carrasco, F.; Catalán, F.; Durán, J.J.; Fernández del Río, G.; Linares, L.; López Arechavala, G.; López-Geta, J.A.; Mayorga, R.; Trenado, L. y Vadillo, I. (2002): Características hidrogeológicas de las Sierras Blanca y Mijas y del Bajo Guadalhorce. En: *Libro Homenaje a Manuel del Valle Cardenete,* 395-416. IGME.

Andreo, B.; Linares, L. y Ruiz, F. (1996): Consideraciones sobre la hidrogeología del sistema acuífero de la Magdalena (Antequera, Málaga). *IV Simposio del Agua en Andalucía*, 1:229-237.

Andreo, B.; Vadillo, I.; Carrasco, F.; Neukum, C; Jiménez, P.; Goldscheider, N.; Hötzl, H.; Vías, J.M. y Pérez, I. (2004): Precisiones sobre el funcionamiento hidrodinámico y la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero kárstico de la Sierra de Líbar (provincias de Málaga y Cádiz, Sur de España) a partir de un ensayo de trazadores. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 17(3-4): 143-146.

Benavente, J.; Carrasco, F.; Almécija, C.; Rodríguez, P. Cruz San Julián, J.J. (1993): La zona de transición agua dulce-salmuera bajo el borde norte de la laguna de Fuente de Piedra (Málaga). *Geogaceta*, 14: 6-8.

Blumenthal, M. (1949): Estudio geológico de las cadenas costeras al Oeste de Málaga entre el Río Gualdalhorce y el Río Verde. *Boletín Geológico y Minero*, 62: 11-203.

Burillo, F.J. (1998): El karst del Torcal de Antequera. En: *Karst en Andalucía* (Durán, J.J. y López, J. Eds.), 153-164. ITGE, Madrid.

Calaforra, J.M. (1998): Contribución al conocimiento de la karstología de yesos. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 350 pp.

Carrasco, F. (1986): Contribución al conocimiento de la cuenca alta del Río Guadalhorce: El medio físico. Hidrogeoquímica. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 435 pp.

Carrasco, F. -Ed.- (1993): Geología de la Cueva de Nerja. *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, nº3. Patronato de la Cueva de Nerja, 354 pp.

Carrasco, F. y Guzmán del Pino, J.L. (1988): Acuíferos costeros de la Cuenca Sur. *Tecnología de la Intrusión de Acuíferos Costeros. TIAC'88*. Almuñécar (Granada).

Carrasco, F.; Andreo, B. y Vadillo, I. (2003): Consideraciones hidrogeológicas sobre el sector costero del acuífero del bajo Guadalhorce. En: *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: Países mediterráneos*. IGME, 67-76.

Castillo, A y Carmona, J. (2000): Reconocimiento hidrogeológico de la Sierra Almijara meridional. *Geotemas*, 1(2): 63-68.

Catalán Monzón, F. (2005): Manantiales de Málaga. Centro de Ediciones de la Diputación de Málaga, 468 pp.

Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (1991): Investigación de los acuíferos de la Sierra de Almijara, Axarquía-Este (Málaga). Informe interno (inédito).

Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (2003): Inventario y caracterización de los regadíos de Andalucía. Actualización 2002. Informe inédito.

Consejería de Obras Públicas y Transportes (1994): Estudio previo de la determinación de fuentes de abastecimiento de agua de Antequera. Dirección General de Obras Hidráulicas, Junta de Andalucía. Informe inédito.

Consejería de Obras Públicas y Transportes (1995): Estudio previo para determinación de fuentes alternativas de abastecimiento de agua a los municipios de Archidona y Villanueva del Trabuco (Málaga). Junta de Andalucía. Informe inédito.

Consejería de Obras Públicas y Transportes (2002): Estudio hidrogeológico de la Sierra de Cañete (Málaga). Junta de Andalucía. Informe inédito.

Cruz San Julián, J. (1981): Evolución geomorfológico e hidrogeológica reciente en el sector Teba-Cañete la Real (Málaga) a la luz de la datación de formaciones travertínicas. *Boletín Geológico y Minero,* 92(4): 297-308.

CHG - ITGE (1993): Propuesta de normas de explotación de la unidad hidrogeológica 05.38. (Pedroso-Arcas). Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Instituto Tecnológico y Geominero de España. Informe inédito.

CHG - ITGE (1993): Propuesta de normas de explotación de las restantes unidades hidrogeológicas, no afectadas por el decreto 735/1971 ni afección a embalses. Tomo VI: Unidad Hidrogeológica 00.07 (05.63) Setenil-Ronda. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Instituto Tecnológico y Geominero de España. Informe inédito.

CHG (1994): Normas de Explotación de las unidades hidrogeológicas: 01, 02, 13, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 38, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 53, 60, 61, 62, y 63 en la Cuenca del Guadalquivir. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

CHG (1995): Plan hidrológico del Guadalquivir. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

CHSE - IGME (2004): Redefinición de las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Sur de España. Confederación Hidrográfica del Sur de España. Instituto Geológico y Minero de España. Informe inédito.

CHSE (1987): Estudio hidrológico de los Ríos Vélez y Benamargosa. Proyecto 12/87. Dirección General de Obras Hidráulicas. Confederación Hidrográfica del Sur de España. Informe inédito.

CHSE (1989): Inventario de surgencias de agua de origen continental en el litoral mediterráneo de la Cuenca Sur, mediante la utilización de sensores térmicos aeroportados con apoyo de técnicas oceanográficas e hidrogeológicas. Confederación Hidrográfica del Sur de España. Informe inédito.

CHSE (1997): Asistencia técnica para el seguimiento, conservación y explotación del estudio hidrológico de los Ríos Vélez y Benamargosa (Málaga) y control de su calidad. Dirección General de Obras Hidráulicas. Confederación Hidrográfica del Sur de España. Informe inédito.

CHSE (1998): Documentación Básica del Plan Hidrológico de la Cuenca Sur de España. Confederación Hidrográfica del Sur de España. Informe inédito.

CHSE (2001): Estudio de utilización conjunta de recursos superficiales y subterráneos de la cuenca del Río Guadalhorce (Málaga). Confederación Hidrográfica del Sur de España. Informe inédito.

CHSE (2001): Informe General de Seguimiento y Revisión del Plan Hidrológico de la Cuenca Sur. Confederación Hidrográfica del Sur de España. Informe inédito.

CHSE (2004): Los embalses del Guadalhorce. Confederación Hidrográfica del Sur de España.

Delannoy, J.J. (1987): Reconocimiento biofísico de Espacios Naturales de Andalucía. Junta de Andalucía, Casa de Velázquez, 50 pp. Madrid.

Del Valle, M.; Linares, L. y Trenado, L. (1983): Piezometría y régimen de descarga del acuífero carbonatado de Sierra Blanca-Sierra de Mijas (Málaga). *II Simposio de Hidrogeología*, 8, 465-475. Madrid.

D.G.O.H. (1991): Estudio hidrogeológico de las Sierras Tejeda, Almijara y Guájares (Málaga y Granada). Informe inédito.

DGOH (1992): Recopilación de datos hidrogeológicos de la Unidad Hidrogeológica Sierra Blanca-Sierra de Mijas. Informe inédito, 97 pp.

DGOH (1998): Las unidades hidrogeológicas de las Sierras de Líbar (00.06) y Grazalema (05.64). Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Secretaría de Estado de Aguas y Costas, Ministerio de Medio Ambiente.

DGOH (2000): Propuestas para la redacción del Plan de Protección Hídrica de la Laguna de Fuente de Piedra (Málaga). Ministerio de Medio Ambiente. Informe inédito.

Diputación de Málaga (1988): Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga. Diputación de Málaga, 151 pp.

Dupuy de Lôme, E. (1923): Estudio acerca de la cuenca hidrológica de la Sierra de Mijas o Torremolinos. Excmo. Ayuntamiento de Málaga. Informe inédito.

Durán, J.J. (1984): Evolución geomorfológica del cañón del Río Guadalhorce en el Trías de Antequera (Archidona, Málaga). *Cuad. Inv. Geogr. Col. Univ. de la Rioja*, 10(1-2):42-55.

Durán, J.J. y Burillo, F.J. (1985): Triassic gypsum karst of the "Loma del Yesar" (Archidona, Málaga; Southern Spain). *Le Grotted'Italia*, 4(12):237-246.

Durán, J.J. y Molina, J.A. (1986): Karst en los yesos del Trías de Antequera (Cordilleras Béticas). *Karstologie Mem.*, 1:37-46.

Espejo, J.M.; Fernández, M.C. y Linares, L. (1988): Inventario de surgencias de agua de origen continental en el litoral mediterráneo del sur de España, mediante la utilización de sensores térmicos aeroportados con apoyo de técnicas oceanográficas e hidrogeológicas. *Tecnología de la intrusión en acuíferos costeros. TIAC'88*, 191-228.

Fernández Gutiérrez del Álamo, R. (1980): Investigaciones hidrogeológicas al norte de Ronda (Málaga). Tesis de Licenciatura. Universidad de Granada, 214 pp.

Fernández Rubio, R. y Delgado, J. (1975): Fisuración y karstificación del Torcal de Antequera (Málaga). *Cuad. Geogr. Univ. Granada*. Serie Mon. 1:93-107.

García, Aróstegui, J.L. (1998): Estudio hidrogeológico y modelización del acuífero de los Ríos Vélez y Benamargosa (Málaga). Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 377 pp.

GHUMA - CHSE (1995): Informe sobre los trabajos realizados en el marco del estudio hidrogeológico para el aprovechamiento de los acuíferos de la Sierra del Valle de Abdalajís y de la cuenca del Guadalteba para el abastecimiento a Málaga. Plan Metasequía. Informe inédito.

Guzmán del Pino, J.L. y Juárez García, J (1981): Esquema del funcionamiento hidrogeológico de la Sierra de Jarastepar y Cartajima (extremo meridional de la Serranía de Ronda). *I Simposio sobre el agua en Andalucía*, 2:689-697.

HC Ingeniería (2006): Proyecto agronómico de modernización de las instalaciones de riego de la Comunidad de Regantes de Torrox. Informe inédito.

Heredia, J.; Ruiz, J.M.; Araguás. L. y García de Domingo, A. (2005): Adquisición de datos para el desarrollo de un modelo de densidad variable del sistema hidrogeológico de la Laguna de Fuente de Piedra (Málaga). *International Workshop "From data gathering and groundwater modelling to integrated management"*. Alicante.

Hidalgo, J. (1974): Estudio hidrogeológico del Polje de Zafarraya y zonas adyacentes (provincias de Granada y Málaga). Tesis de Licenciatura. Universidad de Granada, 165 pp.

IARA (1988): Estudio hidrogeológico del acuífero de los Llanos de Antequera. Instituto Andaluz de Reforma Agraria, Junta de Andalucía. Informe inédito.

IARA (1994): Observaciones hidrogeológicas durante el bombeo experimental de la galería de Guaro realizado entre 1992 y 1993. Instituto Andaluz de Reforma Agraria, Junta de Andalucía. Informe inédito.

IGME (1975): Informe sobre las posibilidades de captación de aguas subterráneas en Gaucín (Málaga). Informe inédito.

IGME (1979): Abastecimiento a Archidona (Málaga). Informe inédito.

IGME (1982): Estudio de los recursos hídricos subterráneos de la comarca del Campo de Gibraltar (Cádiz). Informe inédito.

IGME (1982): Estudio hidrogeológico sobre las posibilidades de captación de aguas subterráneas para abastecimiento a Villanueva de Algaidas (Málaga). Informe inédito.

IGME (1982): Estudio hidrogeológico sobre las posibilidades de captación de aguas subterráneas para abastecimiento a Villanueva de Tapia. Informe inédito.

IGME (1982): Propuesta de un perímetro de protección para las captaciones destinadas al abastecimiento urbano de Archidona (Málaga). Informe inédito.

IGME (1983): Investigación hidrogeológica de las cuencas del Sur de España (Sector occidental). Sistemas acuíferos nº 35-Mioceno Detrítico de Ronda y nº 36- Mesozoico calizo dolomítico de la Serranía de Ronda. Informe técnico nº 4, inédito.

IGME (1983): Investigación hidrogeológica de las cuencas del Sur de España (Sector occidental). Sistema Acuífero nº 37 (Detrítico de Málaga). Informe técnico nº 5, inédito.

IGME (1983): Investigación hidrogeológica de las cuencas del Sur de España. Sistema Acuífero nº38 (mármoles de Sierra Blanca-Mijas). Informe técnico nº6, inédito.

IGME (1983): Investigación hidrogeológica de las cuencas del sur de España (Sector Occidental). Sistema acuífero nº 40-E. Mesozoico calizo-dolomítico de la Sierra Gorda. Informe técnico nº 9, inédito.

IGME (1984): Estudio hidrogeológico de la Laguna de Fuente de Piedra. Informe inédito.

IGME (1985): Estudio del Sistema Acuífero nº38 (Sierra Blanca-Sierra Mijas). Hidrogeología, calidad y utilización del agua. Informe inédito.

IGME (1985): Perímetro de protección de calidad y cantidad de las aguas captadas en el sondeo de abastecimiento a Villanueva de Algaidas (Málaga). Informe inédito.

IGME (2002): Propuesta de actuaciones en relación con los abastecimientos públicos de agua potable a los pueblos del Consorcio de Aguas de la Sierra Sur de Sevilla. Informe inédito.

IGME (2006): Apoyo para la actualización de los conocimientos y explotación sostenible de del acuífero de la Sierra de Estepa (Sevilla). Informe inédito.

IGME, COPT y CTI (1998): Atlas hidrogeológico de Andalucía. Instituto Geológico y Minero de España. Consejería de Obras Públicas y Transportes y Consejería de Trabajo e Industria de la Junta de Andalucía, 216 pp.

IGME - Diputación de Cádiz (2005): Atlas hidrogeológico de la provincia de Cádiz. 264 pp.

IGME - Diputación de Sevilla (2003): Atlas hidrogeológico de la provincia de Sevilla. 208 pp.

IGME - Junta de Andalucía (1999): Plan de integración de los recursos hídricos subterráneos en abastecimiento urbano: Sistema de la Costa del Sol (Málaga). Informe inédito.

IGME - Junta de Andalucía (2001): Estudio hidrogeológico de probabilidades de mejora de los abastecimientos urbanos del norte de la provincia de Málaga. Informe inédito.

ITGE (1992): Informe sobre la situación actual del acuífero carbonatado de Sierra Blanca-Sierra de Mijas (Málaga). Cuenca Sur. Informe técnico nº 389, inédito.

ITGE (1994): Aspectos hidrogeológicos del entorno geográfico del trasvase Guadiaro-Majaceite. Informe inédito.

ITGE (1996): Investigación hidrogeológica para apoyo a la gestión hidrológica en el Bajo Guadalhorce (Cuenca del Sur de España, Málaga). Informe inédito.

ITGE (1997): Resultado del sondeo realizado para el abastecimiento de Gaucín (Málaga). Informe inédito.

ITGE (1998): Hidrogeología de la Reserva Natural de la laguna de Fuente de Piedra. 77 pp.

ITGE (1998): Informe de la calidad del agua subterránea años (1996-1997). Bajo Guadalquivir, Bajo Guadiana y Cuenca Sur (UH 06.47, 06.50 y 06.99). Informe inédito.

ITGE (1999): Calidad química y contaminación de las aguas subterráneas en España, periodo 1982-1993. Cuenca del Sur.

ITGE - Junta de Andalucía (1990-1991): Evaluación del estado actual de las aguas minerales en la comunidad autónoma de Andalucía. Informe inédito.

ITGE - Junta de Andalucía (2000): Convenio de colaboración con la Consejería de Obras Públicas y Transportes para el desarrollo del programa de asistencia en aguas subterráneas para abastecimientos. (Actividad nº 26. Documento 26.2.-Sierra de Cañete).

Jaén, M.; Parellada, C.; Lupiani, E.; Islan, A. y Riera S. (2003): Recarga Artificial en el acuífero costero de Marbella. En: *El agua y la ciudad sostenible: Hidrogeología urbana.*

Jiménez, P; Andreo, B. y Carrasco, F. (2004): Análisis de la descarga del sector nororiental de la Unidad Hidrogeológica de Líbar (Provincias de Málaga y Cádiz, Sur de España). *I Jornadas Luso-Españolas As Águas Subterrâneas no sul da Península Ibérica*, 107-116. Faro (Portugal).

Linares, L. (1990): Hidrogeología de la laguna de Fuente de Piedra (Málaga). Tesis Doctoral. *Universidad de Granada*, 433 pp.

Linares, L. (1997): Situación actual y perspectivas de los acuíferos de la provincia de Málaga. *Tierra y Tecnología*, 16 y 17: 29-37.

Linares, L.; López Arechavala, G.; López Geta, J.A. y Rubio Campos, J.C. (1995): Definición geométrica de acuíferos plio-cuaternarios del valle del Bajo Guadalhorce (Málaga). *VI Simposio de Hidrogeología*, 435-447, Sevilla.

Linares, L.; López Geta, J.A., Parra, J.L. y Alfaro, J.L. (1988): Acuífero detrítico del Bajo Guadalhorce. *Tecnología de la intrusión en acuíferos costeros. TIAC'88*, 287-315, Almuñécar (Granada).

Linares, L. y Trenado, L. (1981): Características hidrogeológicas generales del macizo carbonatado de Sierra Blanca-Sierra de Mijas. *I Simposio sobre el Agua en Andalucía*, 2: 699-705. Granada.

Linares, L. y Trenado, L. (1988): Acuíferos costeros de Marbella-Estepona (Málaga). *Tecnología de la intrusión en acuíferos costeros. TIAC'88*, 2: 337-347.

Liñán, C. (2005): Hidrogeología de acuíferos carbonatados en la Unidad Yunquera-Nieves (Málaga). Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: *Hidrogeología y Aguas subterráneas*, 16, 322 pp.

Liñán, C.; Andreo, B. y Carrasco, F. (2000): Caracterización hidrodinámica e hidroquímica del manantial de Maro (Sierra Almijara, provincia de Málaga). *Geogaceta*, 27: 95-98.

Liñán, C.; Andreo, B. y Carrasco, F. (2005): Características hidrogeológicas de la Unidad Yunquera- Nieves (Provincia de Málaga). En: *Agua, minería y medio ambiente. Libro Homenaje al Profesor Rafael Fernández Rubio*, 147-160.

Liñán, C.; Andreo, B. y Carrasco, F. (2005): Contribución de la hidrotermia al conocimiento hidrogeológico de los acuíferos kársticos. Aplicación a la unidad hidrogeológica Yunquera-Nieves (Provincia de Málaga). *VI Simposio sobre el Agua en Andalucía*, 1: 427-438.

Liñán, C.; Carrasco, F. y Andreo, B. (2001): Consideraciones hidrogeológicas sobre el sistema acuífero de la Sierra de las Nieves (Unidad Hidrogeológica Yunquera-Nieves, provincia de Málaga). *V Simposio sobre el Agua en Andalucía*, 127-139.

López Chicano, M. (1992): Contribución al conocimiento del sistema hidrogeológico kárstico de Sierra Gorda. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 387 pp.

López Chicano, M. (1994): Hidrogeología del acuífero kárstico de Sierra Gorda. Grupo de Investigación Recursos Hídricos y Geología Ambiental, Granada, 429 pp.

López Chicano, M.; Calvache, M.L.; Martín-Rosales, W. y Gisbert, J. (2002): Conditioning factors in flooding of karstic poljes. The case of the Zafarraya polje (South Spain). *Catena*, 49: 331-352.

López Geta, J.A.; Del Valle, M. y Trenado, L. (1981): Adecuación de los recursos hídricos de las surgencias naturales de Guaro a la demanda de la zona. *I Simposio Agua en Andalucía*, 2: 767-784.

López Geta, J.A.; Navarro, J.A.; Gómez, J.D.; Ortega, R.; Linares, L. y Villanueva, L. (2001): Simulación y optimización de la gestión conjunta de recursos hídricos en el sistema Costa del Sol Occidental. *VII Simposio de Hidrogeología*, 23: 197-209.

López Geta, J.A.; Parra, J.L. y Rivera, A. (1988): Acuífero costero de Fuengirola (Málaga). *Tecnología de la intrusión en acuíferos costeros. TIAC'88*, 2: 317-335.

Molina Muñoz, J.A. (1982): Los karsts en yesos en la provincia de Málaga. *Rev. 75 Aniv. Soc. Exc. de Málaga*, 95-112.

Oller, J.; San José, J. y Lupiani, E. (2006): La recarga artificial de acuíferos como sistema para mitigar el déficit hídrico de abastecimiento urbano en la Costa del Sol Occidental. *Congreso Internacional sobre las Aguas Subterráneas en los Países Mediterráneos*, 431-438. Málaga.

Ollero, E. y García, J.L. (1983): Estudio hidrogeológico y agronómico del polje de Zafarraya. Informe para la Diputación Provincial de Granada, 196 pp, inédito.

Padilla, A. y Pulido-Bosch, A. (1995): Study of hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis. *Journal of Hydrology*, 168: 73-89.

Palenque, P. (2004): Recursos hídricos y presión urbanística en la Costa del Sol Occidental (Málaga). Departamento de Humanidades, Universidad Pablo Olavide. Sevilla.

Pérez, I. y Andreo, B. (2006): Análisis de series históricas de datos de lluvia y de caudal en el área de sierra Tejeda-Almijara (sur de España). En: *Karst, cambio climático y aguas subterráneas* (J.J. Durán, F. Carrasco y B. Andreo -Eds.-), Instituto Geológico y Minero de España. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas 18, 495-503.

Pérez, I.; Jiménez, P.; Andreo, B. y Carrasco, F. (2004): Estudio de la descarga de la vertiente meridional de Sierra Tejeda (Málaga) mediante el análisis correlatorio y espectral. *Geogaceta*, 35: 163-166.

Pezzi, M.C. (1977): Morfología kárstica del sector central de las cordilleras Subbéticas. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 450 pp.

Pulido Bosch, A. -Ed.- (1993): Some Spanish Karstic Aquifers. *Grupo de Investigación de Recursos Hídricos y Geología Ambiental*. Universidad de Granada. 310 pp.

Pulido Bosch, A. y Cerón García, J.C. (1991): Variaciones hidrogeoquímicas de periodicidad anual en surgencias kársticas. Ejemplo del manantial de La Yedra (Málaga). *Rev. Soc. Geol. España*, 4(1-2): 51-59.

Pulido Bosch, A.; Gisbert, J. y Vallejos, A. (2006): Caracterización hidrogeológica de los macizos kársticos situados a lo largo de la traza de los túneles del AVE, en el Valle de Abdalajís (Málaga) y su entorno: Estudio Hidrogeológico. Informe Final. ADIF. Informe inédito.

Ruiz, J.M.; Heredia, J.; Araguás. L. y García de Domingo, A. (2005): Caracterización hidrogeoquímica del sistema hidrogeológico de la laguna de Fuente de Piedra (Málaga). *VI Simposio del Agua en Andalucía*, 587-596.

Sánchez Díaz, L. y Castillo Martín, A. -Eds.- (2005): Itinerario hidrogeológico por el litoral mediterráneo andaluz. *Tierras del Sur*, 32. Instituto del Agua de la Universidad de Granada y Agencia Andaluza del Agua.

Thauvin, J.P. (1981): Alimentación y descarga del macizo kárstico del Torcal de Antequera (Málaga). *I Simposio del Agua en Andalucía*, 1, 379-386. Granada.

Vallejo, M. y Durán, J.J. (1996): Estudio hidrogeológico del Parque Natural de los Montes de Málaga. *IV Simposio sobre el Agua en Andalucía*, 1, 347-355.