3. Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga

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

3.

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

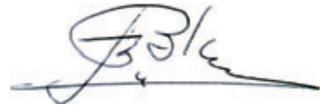
Presentación

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

3.

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; 188 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

Asistencia Técnica: Ador Consultoría, S.L.
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 III: 978-84-7840-700-2
NIPO: 657-07-018-7
Depósito legal: BI-2911-07

Índice

Presentación 2

Índice 5

Equipo de trabajo 6

Agradecimientos y créditos fotográficos 7

Instituciones colaboradoras 8

Primera parte:
Las aguas subterráneas en la historia y la cultura malagueñas

1 Introducción 13

2 Historia del uso del agua en la provincia de Málaga 17

3 Notas para la historia de la hidrogeología en la provincia de Málaga 21

4 Tipos de captaciones de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga 31

5 El agua y los pueblos de Málaga 39

6 Los acueductos de la provincia de Málaga 43

7 Leyendas del agua en las cuevas malagueñas 49

Segunda parte:
Vertiente ambiental de las aguas subterráneas

8 Los espacios naturales protegidos de la provincia de Málaga 57

9 Humedales de la provincia de Málaga 67

10 La vida en las aguas subterráneas 73

11 Patrimonio hidrogeológico de la provincia de Málaga 79

12 Cavidades kársticas con agua en la provincia de Málaga 85

13 Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la provincia de Málaga 99

14 Contaminación de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga 105

15 Vigilancia ambiental: las redes de control de aguas subterráneas en la provincia de Málaga 113

16 Regulación legal de los suelos contaminados en España, el caso de Málaga . 119

17 Riesgos naturales asociados al agua en la provincia de Málaga 127

18 Aguas subterráneas y cambio climático 133

Tercera parte:
Aguas subterráneas: turismo, energía y educación ambiental

19 Aguas minerales naturales en la provincia de Málaga 143

20 Aguas minero-medicinales y balnearios en la provincia de Málaga 147

21 Aguas subterráneas y generación de energía eléctrica 153

22 Recursos de agua no convencionales en la provincia de Málaga 157

23 Posibilidades de aprovechamiento de la energía geotérmica en la provincia de Málaga 163

24 Campos de golf y aguas subterráneas en la provincia de Málaga 167

25 Uso recreativo de las aguas y deportes de naturaleza 173

26 Educación y divulgación de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga 177

27 Bibliografía 181

3.

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 al tomo III del Atlas.

Coordinador General:

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

Equipo de coordinación:

Loreto Fernández Ruíz
(Instituto Geológico y Minero de España)

Raquel Morales García
(Instituto Geológico y Minero de España)

Autores:

Bartolomé Andreo Navarro	(Universidad de Málaga)
José Antonio Berrocal Pérez	(Federación Andaluza de Espeleología)
Luis Carcavilla Urquí	(Instituto Geológico y Minero de España)
Antonio Fermín Castro Gámez	(Junta de Andalucía)
Francisco Carrasco Cantos	(Universidad de Málaga)
Francisco Miguel Catalán Monzón	(Profesional libre)
Mª del Mar Corral LLedó	(Instituto Geológico y Minero de España)
Juan José Durán Valsero	(Instituto Geológico y Minero de España)
Juan Fornés Azcoiti	(Instituto Geológico y Minero de España)
José Francisco Ganfornina Moreno	(G.E.S. de la Sociedad Excursionista de Málaga)
Alfredo García de Domingo	(Instituto Geológico y Minero de España)
Celestino García de la Noceda	(Instituto Geológico y Minero de España)
Juan Manuel González-Aurioles Bentabol	(EMGRISA)
África de la Hera Portillo	(Instituto Geológico y Minero de España)
Luis Linares Girela	(Academia Malagueña de Ciencias)
Juan Antonio López Geta	(Instituto Geológico y Minero de España)
Julio César López Gutiérrez	(Instituto Geológico y Minero de España)
Carlos Martínez Navarrete	(Instituto Geológico y Minero de España)
Raquel Morales García	(Instituto Geológico y Minero de España)
Luis Moreno Merino	(Instituto Geológico y Minero de España)
Miguel Ángel Moriñigo Gutiérrez	(Universidad de Málaga)
Mª Jesús Perles Roselló	(Universidad de Málaga)
José María Pernía LLera	(Instituto Geológico y Minero de España)
Gerardo Ramos González	(Instituto Geológico y Minero de España)
Pedro Agustín Robledo Ardila	(Instituto Geológico y Minero de España)
Damián Sánchez García	(Universidad de Málaga)
Iñaki Vadillo Pérez	(Universidad de Málaga)
Joaquín del Val Melús	(ADOR Consultoría)
Antonio Velasco Orellana	(ENDESA)
Jesús Vías Martínez	(Universidad de Málaga)
Loreto Wallace Moreno	(Federación Andaluza de Espeleología)

Tratamiento gráfico y cartográfico:

Jose Luis Jiménez Baeza	(Pixel CPG, S.L.). Diseño y maquetación
Raquel Morales García	(Instituto Geológico y Minero de España)
Leticia Vega Martín	(Instituto Geológico y Minero de España)

3.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración especial de las siguientes personas:

- Francisco J. Aguilar, por la información facilitada acerca de la galería del Martillo de la cueva del Gato (Benaoján).
- Carmen Antón-Pacheco Bravo (Dirección de Geología y Geofísica del IGME), por la aportación de imágenes de satélite de la provincia de Málaga.
- Lidia Cabello Ligero (Fundación Guadalhorcete), por la información del acueducto de La Magdalena en Antequera.
- Rogelio Ferrer Martín, por su apreciación personal acerca de las características químicas del agua en la galería del Aporte, en la sima del Aire de Tolox.
- Dolores Gómez Escalonill,a por la aportación de los datos de las redes de control del IGME.
- Manuel J. Guerrero, por el conocimiento aportado en relación con la circulación del agua en la sima GESM (Tolox) y en las cavidades de Alfaguara del Cinojal (Tolox) y de El Pozancón (Alpandeire).
- Francisco Gutiérrez González, (Departamento de Cultura del Museo Histórico Etnológico de Mijas) por el envío de los libros "La industria papelera de Mijas; Historias, familias y molinos de la villa de Mijas" y "Aqua nostra. Agua de todos".
- Juan Mayorga, por su comunicación personal respecto a diversas observaciones del nivel del agua en la sima GESM de Tolox.
- Alfonso Santos Olmo (Cuenca Mediterránea Andaluza de la Junta de Andalucía), por la aportación de datos pertenecientes a las redes de control oficiales.

Así como la colaboración de las siguientes empresas y organismos:

- Federación Andaluza de Espeleología, por poner a nuestra disposición el archivo fotográfico de cuevas malagueñas.
- UPH Sur, de Endesa Generación S.A., por la colaboración en la difusión de información de la central de San Pascual.

Créditos fotográficos

se detallan los capítulos y páginas donde se ubican las fotografías y, entre paréntesis, se indica, en su caso, su posición dentro de la página (a: arriba; b: abajo, c centro, d: derecha, i: izquierda, p: portada, ib: izquierda y abajo ad: arriba y derecha)

Bartolomé Andreo Navarro (UMA): 81 (i, d), 100, 102, 103, 104 (a)

Silvino Castaño Castaño (IGME): 33

Antonio Fermín Castro Gámez (Junta de Andalucía): 120, 121, 122, 123, 126

Juan José Durán Valsero (IGME): 16 (b), 19 (b, i), 20, 37 (b), 165, 166

Alfredo García de Domingo y Raquel Morales García (IGME): 13 (p), 14, 15, 16 (d, a), 17 (p), 18, 19 (a), 31 (p), 39 (p), 40, 41, 42 (a, c), Capítulo 6, 53, 54-55 (p), Capítulo 8, Capítulo 9, 73 (p), 76, 77 (b), 81 (c), 82 (i), 83 (a), 84 (b), 98, 99 (p), 106, 119 (p), 127 (p), 128, 129 (d), 130, 132, 133 (p), 134, 137 (a), 138 (a), 140-141 (p), Capítulo 19, 147 (p), 148, 149, 150, 152 (a), 158, 159 (i), 160 (i, d, c), 162 (i), 163 (p), 167 (p), 169, 171, 181 (p), 184, 185

José Antonio Gómez López (IGME): 34 (i), 35 (i), 36 (a), 38 (c), 114, 136

Luis Linares Girela (Academia Malagueña de Ciencias): 24, 25 (i), 26, 29, 32 (d), 36 (ib), 38 (d), 186

Rafael Mayorga: 27

Luis Moreno Merino (IGME): 32(d), 34 (d), 36 (c), 42 (d), 77 (a), 78, 152 (b)

Gerardo Ramos González (IGME): Capítulo 26

José María Ruiz Hernández (IGME): 21 (p), 25 (d), 31(p), 36 (d), 38 (a), 113 (p)

Iñaki Vadillo Pérez (UMA): 105 (p), 108, 109, 111, 112, 168 (b), 172 (d)

Joaquín del Val Menús (ADOR, Consultoría): 82 (d)

Antonio Velasco Orellana (ENDESA): Capítulo 21

Academia Malagueña de Ciencias: 22, 23

Archivo de EMASA: 157 (p), 159 (d), 161, 162 (b)

Archivo del Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga: 10-11 (p), 35 (d), 42 (c), 50, 51, 124, 125, 137 (i), 138 (i), 160 (a), 162 (a), 187

Archivo IGME: 36 (a), 37 (a, d), 38 (ib), 115, 168 (a)

Archivo de la Federación Andaluza de Espeleología:

José Luis Badillo: 87 (a)

José Antonio Berrocal Pérez: 52 (i), 90 (b), 173 (p), 174, 175

Rogelio Ferrer: 75 (a), 87 (d), 88 (i)

José Francisco Ganfornina: 92, 93,

Manuel Gerrero: 87 (b), 88 (b)

GES de la SEM: 52 (d), 74, 75 (b), 79 (p), 87 (b), 88 (a), 89 (i), 176 (b), 176 (d)

Francisco Hoyos y Rafael Manzano (FAE): 49 (p), 94 (d), 96 (d), 176 (i)

Pedro López Ruiz: 95 (b)

Juan Mayoral Valsera: 83 (b), 84 (d), 85 (p), 89 (a, d, b), 94 (d), 95 (a), 95 (d), 96 (i), 97, 176 (a)

Juan Manuel Poyato: 96 (c)

David Torres: 90 (a), 91

Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente: 84 (a), 104 (b), 129 (i), 135, 137 (d), 138 (d), 172 (i)

3.

Instituciones colaboradoras

Las instituciones que han participado en el tomo III 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

ueha Unidad de Estudios Hidrogeológicos Avanzados IGME-UMA

Cuenca Mediterranea Andaluza
Agencia Andaluza del Agua
CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE
JUNTA DE ANDALUCIA

Academia Malagueña de Ciencias

intecsa-inarsa, s.a.

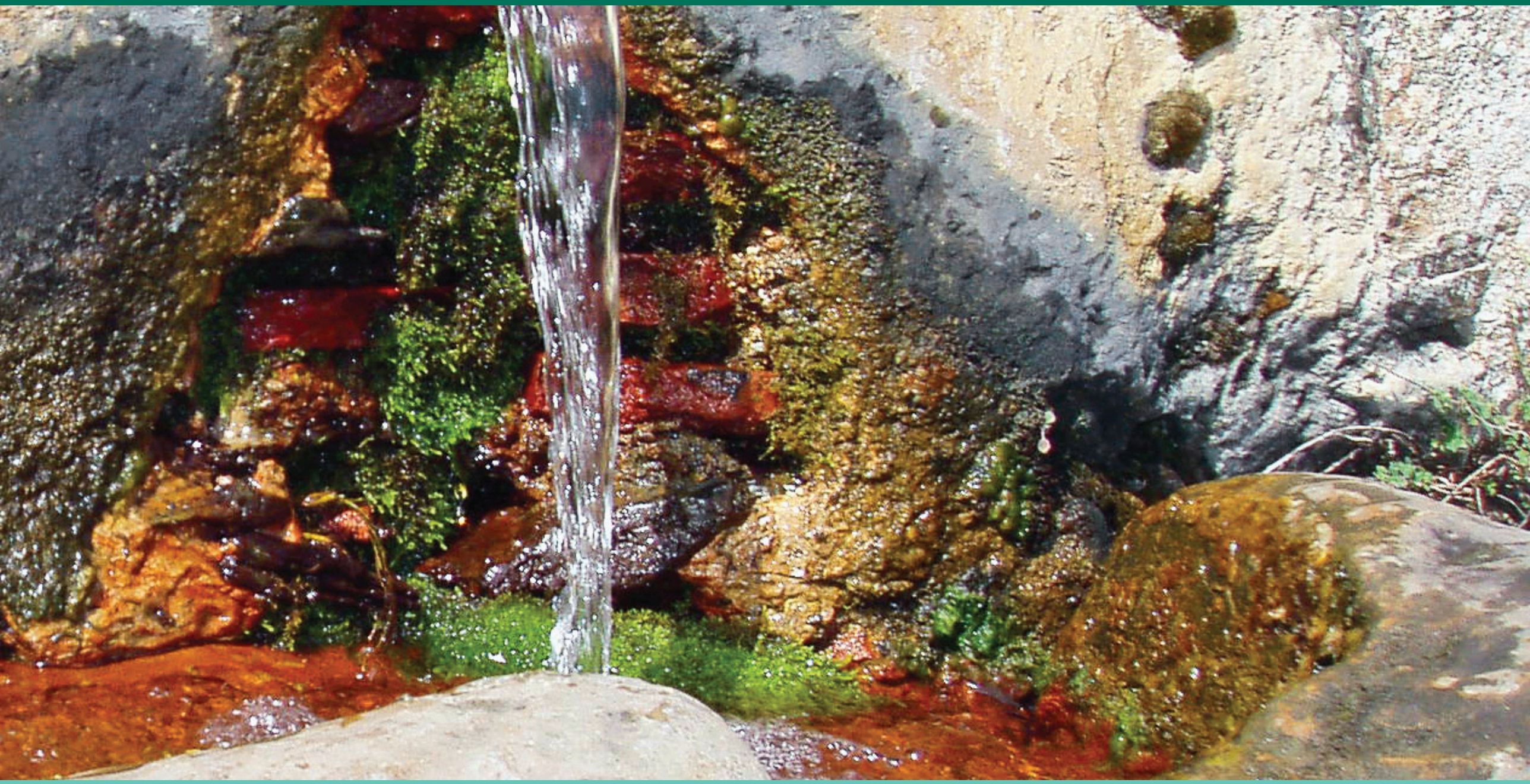
ADOR consultoría
Territorio y Medio Ambiente
Ingeniería y Recursos Naturales

endesa generación

EMGRISA

Primera Parte

Las aguas subterráneas en la historia y la cultura malagueñas



Calle
LA FUENTE

CAÑO DE LA PLAZA

Fuente de "Allalantes"
La primera que se construyó sirviendo
para abastecer a los vecinos de esta villa.
En el año 1.795 una riada destruye
el puente que conducía a la misma
reparándolo el Maestro de Albañilería
Juan García.
Villanueva de Tapia. IV Centenario.
1.603 ~ 2.003.

CALLEJON
DEL
AGUA

3.01

Introducción

3.01

Introducción

Equipo de Coordinación

Desde hace ya algunos años, las aguas subterráneas han despertado un interés creciente por parte de una sociedad cada vez más madura y consciente con la realidad ambiental de su territorio, de manera que la difusión de su conocimiento ha resultado ser la piedra angular en la promoción de su uso racional. Pero, en la actualidad, además del gran avance y de la profundización que se ha producido en el medio hidrogeológico malagueño, existen numerosos aspectos relacionados con las aguas subterráneas que son poco conocidos, incluso prácticamente desconocidos, que desempeñan un papel trascendental, no sólo en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, sino que además suponen elementos de enorme valor cultural y de concienciación social que ayudan a comprender y proteger el entorno y que, por ello, merece la pena exponer. Esta es la idea que ha impulsado a la Diputación Provincial de Málaga a incluir, en la nueva edición del Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga, este Tomo III, con el que culmina una obra que cumple con el doble y ambicioso objetivo de actualizar el conocimiento del medio hídrico malagueño y reunir en una sola obra todos los aspectos actuales relacionados con las aguas subterráneas, enfocados desde distintas vertientes.

Si inicialmente el Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga fue concebido como una obra única, donde tenían cabida los aspectos temáticos ya clásicos relacionados con el ciclo hidrológico, el territorio y el medio ambiente, y la presentación de los acuíferos provinciales, la continua incorporación de contenidos y enfoques enriquecedores, como fue la aplicación de la Directiva Marco del Agua (60/2000/CE) a los acuíferos malagueños, el planteamiento práctico de abordar el abastecimiento público de agua de todos los términos municipales o la incorporación de aspectos tan novedosos y punteros como son los previsibles impactos del cambio climático, hicieron necesario plantear una solución más realista: completar una trilogía que, en conjunto, recorriera con detalle toda la temática hídrica provincial.

Casares

Embalse de Guadalhorce

Torre vigía en las dunas de Ártola (Marbella)

De este modo, el primer tomo recoge, en una primera parte, "Territorio y agua en la provincia de Málaga", los aspectos temáticos relacionados con el medio físico incluidos en 18 capítulos; y, en una segunda parte, "Infraestructuras hidráulicas y aguas subterráneas en los municipios malagueños", el capítulo 19 se dedica a la descripción del abastecimiento de agua municipio a municipio, agrupados por comarcas. Aquí se presentan 8 imágenes de satélite donde se delimitan las 8 comarcas provinciales con una breve evaluación del abastecimiento a nivel comarcal; y se presentan 100 mapas hidrogeológicos, uno por cada término municipal, con la infraestructura de abastecimiento y saneamiento hídrica.

El segundo tomo se dedica exclusivamente a la presentación y minuciosa descripción de las 34 masas de agua subterráneas existentes en la provincia, mostrando sus características fundamentales, acompañadas cada una de ellas por el mapa geológico de la masa delimitada, hecho que supone un gran avance en la aplicación de la Directiva Marco del Agua, junto con uno o varios cortes hidrogeológicos que nos muestran la geometría espacial de los recipientes naturales del agua subterránea.

Y el tercer tomo, que a continuación se presenta, contempla, en tres apartados, distintas perspectivas de las aguas subterráneas. El primero, "Las aguas subterráneas en la historia y la cultura malagueñas", se muestra elocuente con los pueblos, las leyendas y monumentos históricos ligados al agua de la provincia de Málaga. La visión y entendimiento de nuestro pasado, también hídrico, nos proyectará directamente al futuro, un futuro sostenible construido sobre la base del conocimiento y la experiencia de nuestra comunidad. El segundo apartado, titulado "Vertiente ambiental de las aguas subterráneas", refleja aspectos menos conocidos de esta temática, como es la vulnerabilidad de los acuíferos, los riesgos naturales relacionados con el agua, la vida en las aguas subterráneas o los efectos del cambio climático, tan debatidos en todos los foros de opinión. Esta parte proporciona una visión integral del medio ambiente, al tiempo que posiciona a Málaga en la vanguardia de la investigación. Finalmente, el tercer apartado, "Aguas subterráneas, turismo, energía y educación ambiental", pasea especialmente por el entretenimiento, detallando las cavidades kársticas con agua de la provincia, los balnearios o la problemática de los campos de golf; e incluye aspectos más curiosos, y a la vez prácticos, como es la generación de energía eléctrica a partir de las aguas subterráneas. Por último, este Tomo III contiene el mapa hidrogeológico provincial, a escala 1:200.000, que se adjunta en la solapa del ejemplar.

Molino de los Corchos (Alhaurín el Grande)

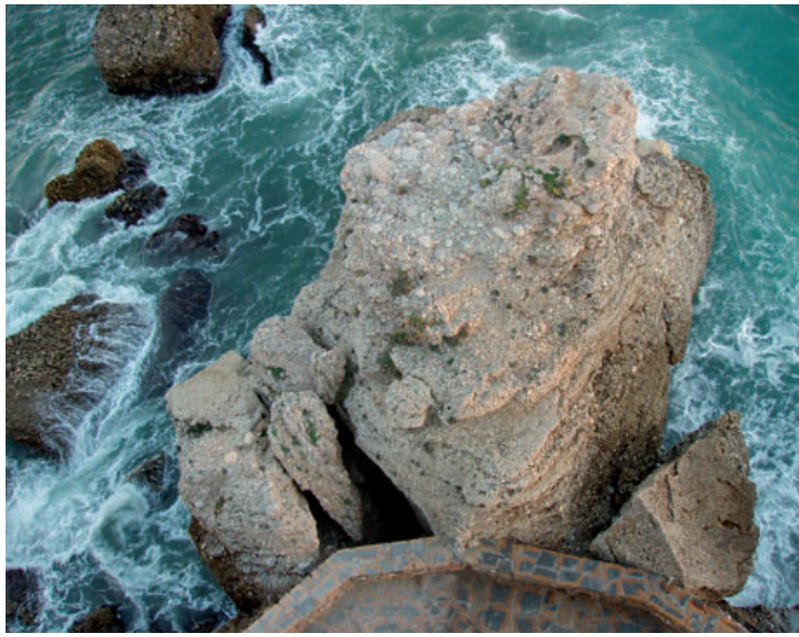
3.

Toda la obra viene acompañada de un conjunto de mapas y figuras auxiliares explicativas que enriquecen notablemente el texto, una bibliografía para aquellos lectores interesados en profundizar en la materia, así como un sinfín de fotografías de gran calidad y valor didáctico. El resultado final es un documento que, sin perder el rigor científico que la materia requiere, pretende llegar a todos los sectores de la sociedad, desde profesionales especializados en hidrogeología, gestores municipales y responsables de la planificación hídrica en las Administraciones Públicas, hasta el público general, ya que posee una gran capacidad de transmitir, con rigor y sencillez, el conocimiento que actualmente se posee de las aguas subterráneas malagueñas.

Por todo ello podemos concluir que el nuevo Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga, constituye el reflejo y señal de identidad de un escenario hídrico provincial moderno y renovado, a la vez que se convierte en un referente de consulta práctico, útil y novedoso; en definitiva, una obra única en su género.

Desembocadura del río Fuengirola

Acantilado de Nerja



Fuente árabe de Cútar

3.02

Historia del uso del agua en la provincia de Málaga

3.02

Historia del uso del agua en la provincia de Málaga

Juan José Durán Valsero

El agua en la prehistoria malagueña

El agua ha sido y es una constante en la historia humana, y el territorio de la actual provincia de Málaga y los pobladores que sobre el mismo se han ido sucediendo desde hace más de un millón de años así lo demuestran. Varios enclaves malagueños relacionan netamente la presencia del hombre prehistórico con el agua. Las terrazas antiguas del Río Guadalhorce en su tramo bajo y de alguno de sus afluentes en su tramo medio, como el Guadalteba, albergan numerosos testimonios de la presencia del hombre hace cientos de miles de años en las cercanías de los ejes fluviales, posiblemente por la presencia de importantes recursos faunísticos que permitían su aprovechamiento. También el hombre prehistórico ha dejado la impronta de su relación con el agua en tiempos más cercanos en las paredes de las cuevas malagueñas que contienen representaciones artísticas rupestres. En las cuevas de La Pileta, Ardales, Nerja y El Higuerón (también conocida como cueva del Tesoro), existen motivos grabados o pintados, relacionados con animales marinos o fluviales, o que viven en entornos acuáticos, del Paleolítico Superior o postpaleolíticos. Igualmente, existen yacimientos paleolíticos de ocupación humana en enclaves ricos en agua, como el de la Cueva del Bajondillo, ubicada en los travertinos originados por los manantiales de Torremolinos, al sureste de la Sierra de Mijas.

También en numerosas cuevas con ajuares neolíticos o calcolíticos existen evidencias de recolección o almacenamiento de agua subterránea mediante recipientes cerámicos, como en la Cueva de la Pileta, la Cueva de la Fájara o en la Cueva del Agua de Canillas de Albaida.

Fábrica romana del interior del manantial sulfuroso de Manilva

La antigüedad clásica

Ya en época histórica, los fenicios tuvieron en la costa malagueña una gran relación con los ríos y, en especial con sus desembocaduras, muy diferentes a las que en la actualidad se pueden contemplar. Muchas de ellas eran estuarios perfectamente navegables, y posteriormente se han transformado en deltas. Algunos ejemplos notables son los de la desembocadura del Río Vélez y la del Guadalhorce, en los que los estudios geoarqueológicos realizados han demostrado que era posible el acceso por mar varios kilómetros tierra dentro.

La civilización romana dejó numerosas huellas de su intensa relación con el agua en general y con la subterránea en particular. Acueductos como los de Ronda o Estepona, y baños como los de las Bóvedas en San Pedro de Alcántara, en la costa, o los de Manilva, en el interior, dan buena muestra de ello. También existen vestigios del aprovechamiento salinero de lagunas saladas, como la de Fuentedepiedra, o de manantiales salados, aunque en este último caso fuera de los límites administrativos actuales de la provincia, en los manantiales de Fuente Camacho.

Recreación de un huerto árabe de la Axarquía, con un pozo

El agua en la Málaga andalusí

Uno de los ejemplos más notables de la interacción de la población árabe en la provincia de Málaga con el agua es, al igual que ocurre en otros territorios de Al-Andalus, la red de acequías para abastecimiento y regadío. Existe aún una red muy amplia de acequías cuyo trazado se sospecha que arranca de los siglos de la dominación musulmana, en las zonas más montañosas de la provincia, es decir en las Sierra Tejeda, Almijara y en la Serranía de Ronda. También se conservan pozos construidos en época árabe, como uno existente en Macharaviaya.

En la comarca de los Montes de Málaga son extraordinariamente frecuentes las minas de agua, o galerías excavadas en los materiales maláguides, de permeabilidad limitada, sobre todo por fracturación, Aún existen algunas, en estado de deterioro (o reconstruidas, como la de Cútar), que ilustran a la perfección las técnicas constructivas de este tipo de aprovechamientos que se ha mantenido prácticamente hasta nuestros días para el abastecimiento de la población diseminada de esta comarca malagueña.

Otras evidencias del intenso aprovechamiento hidráulico árabe son los pozos existentes en algunas fortalezas o castillos, algunos fechados en el siglo X, así como algunas estructuras de almacenamiento de agua, como el Aljibe de Mazmúllar (siglos X-XI), situado cerca de Comares, que sirvió para abastecer a un hábitat árabe o mozárabe.

También se tiene constancia de la utilización de ciertas aguas surgentes y de arroyos para el aprovechamiento de su fuerza motriz, como en el caso del denominado Molino Morisco o de los Corchos, en Alhaurín el Grande, cuyo origen se remonta al siglo XV, hoy aún en perfecto estado de uso y considerado como un elemento importante del patrimonio hidráulico histórico andaluz.

Tuberías de cerámica para la conducción de agua urbana. Museo de los Gálvez de Macharaviaya

Acueducto del Águila

Presa del Agujero

Desagüe del Embalse del Agujero, en el Río Guadalmedina

3.

Del siglo XVI al siglo XXI

Tras la conquista cristiana del Reino de Granada, los Repartimientos dejaron constancia de la existencia de numerosas fuentes y pozos utilizados para el abastecimiento de muchas poblaciones malagueñas.

En el siglo XVI algunas poblaciones se forjaron en torno a la presencia de manantiales cuyas aguas tenían fama de curativas desde antiguo. Un caso emblemático es la localidad de Fuentedepiedra, núcleo urbano construido alrededor de la *Fons Divinus*, o Fuente de la Piedra, de cuya presencia existen testimonios y evidencias desde los tiempos del Emperador Trajano. El agua de esta fuente, citada en numerosos documentos clásicos sobre aguas subterráneas de carácter técnico o literario desde el siglo XVI (aparece citada en unas cartas de Santa Teresa, y en muchos libros de viajes de los siglos XVIII y XIX), parece ser que tenía la virtud de eliminar el "mal de la piedra", lo que la hizo famosa en gran parte del mundo conocido, hasta desaparecer su caudal, tras numerosas vicisitudes, a mediados del siglo XX.

Pero no siempre el binomio agua-hombre ha sido positivo en las tierras malagueñas. Desde el siglo XVI hasta bien entrado el siglo XX, las inundaciones catastróficas han sido una constante en algunos de los ríos provinciales. El caso más significativo, aunque no el único, es el del Río Guadalmedina, auténtico azote de la ciudad de Málaga durante siglos. Durante el siglo XVII, varias riadas excepcionales provocaron la pérdida de más de 1.000 vidas humanas.

Fuente conmemorativa de la construcción de la Presa del Conde de Guadalhorce

En el siglo XVIII la utilización del agua se intensifica en la provincia de Málaga. El Catastro del Marqués de la Ensenada (1752) cita la existencia de 11 molinos harineros y 2 de aceite sólo en la localidad de Mijas, todos ellos movidos por la fuerza hidráulica. A partir de este momento aparecieron numerosos molinos por la provincia, algunos de ellos batanes o fábricas de papel, como uno de los situados en el Arroyo de la Miel, que suministró a la Real Fábrica de Naipes de Macharaviaya, durante las décadas que esta estuvo en funcionamiento.

También siglo fue notable por la solución o el planteamiento de la misma en el abastecimiento hídrico de muchas localidades, incluyendo la capital. Un caso curioso, por la implicación de importantes personalidades del gobierno fue el de Macharaviaya, patria chica de la familia Gálvez, alguno de cuyos integrantes fue ministro de Carlos III. En el último tercio del siglo, se construyeron tres fuentes públicas y se realizó la traída de aguas para su suministro, además de importantes mejoras urbanísticas, de acuerdo con el espíritu ilustrado.

Otros proyectos de ingeniería hidráulica de mayor envergadura se remontan a esos momentos, como el del Acueducto de San Telmo, para intentar garantizar el abastecimiento a Málaga capital a partir del río Guadalmedina, o el del Puente del Rey, para transportar el agua de la Fuente del Rey, en Churriana, hacia huertas y molinos, y servir al tiempo como puente sobre el río Guadalhorce. En este momento, la única manera de vadear ciertos ríos de la provincia (Guadalhorce, Genal, Guadiaro, entre otros) era mediante la utilización de barcas, estratégicamente situadas en ciertos pasos. Este sistema pervivió hasta el siglo XIX, en que la construcción de puentes se generalizó.

En el siglo XIX, algunas fuentes eran aprovechadas por los bandoleros en la Serranía de Ronda para esperar la llegada de los viajeros y atracarlos a su paso. Así ocurría en la denominada Fuente de la Piedra, cerca del Puerto de Encinas Borrachas, en el trayecto entre Ronda y Atajate.

A finales del XIX se construyeron algunos acueductos para los ingenios azucareros de la costa, como el de San Joaquín, al Este de Nerja, del que aún se conserva el majestuoso Acueducto del Águila, que conducía un caudal contínuo de 100 litros por segundo de agua desde el manantial de Maro hasta el ingenio.

Por otra parte, en el año 1884, un gran evento geológico vino a modificar la situación de muchos manantiales de la provincia. Un informe realizado por Domingo de Orueta, inmediatamente después del gran Terremoto de Andalucía, con epicentro al norte de la Sierra Tejeda, detalla con precisión gran cantidad de cambios en muchas surgencias de aguas subterráneas, tanto en cantidad como en calidad, en numerosas poblaciones de la Axarquía malagueña.

También los últimos años de dicho siglo vieron brillar con gran esplendor algunos balnearios malagueños. El Balneario de Carratraca fue un ejemplo de lo que hoy llamaríamos turismo activo, haciendo un aprovechamiento de recursos cercanos al mismo para la realización de excursiones, como por ejemplo a la cercana Cueva de Ardales. Conocido al menos desde el siglo XV, los anteriormente denominados como Baños de Hardales *(sic)*, fueron en el siglo XVII el origen de la actual población de Carratraca; recientemente se les ha devuelto su pasado esplendor, con la reconstrucción del hotel anexo, por el que han pasado los más ilustres y regios visitantes y bañistas.

Los inicios del siglo XX vivieron otra revolución en relación con el uso del agua en la provincia de Málaga: la aparición de la electricidad como fuente de alumbrado público y privado motivó la creación de la Sociedad Hidroeléctrica del Chorro, que junto con la iniciativa pública determinó el inicio de la construcción del gran complejo hidroeléctrico existente en la actualidad en la confluencia de los ríos Turón, Guadalteba y Guadalhorce, en el entorno de los desfiladeros de El Chorro. La primera presa de dicho complejo, la del Pantano del Conde Guadalhorce se terminó en 1921. Un año antes se había terminado la primera gran presa de la provincia, la del Agujero, situada sobre el río Guadalmedina y cuyo propósito era eliminar el riesgo de las inundaciones de la ciudad de Málaga. El capítulo de presas malagueñas de esas décadas iniciales del siglo XX estaría incompleto si no se citara la Presa de los Caballeros o de Montejaque, en la Serranía de Ronda. Fue la mayor presa de bóveda española en su momento, pero en realidad, ha pasado a la historia como un gran monumento a la insuficiencia de estudios geológicos e hidrogeológicos, debido a la incapacidad de la presa de retener el agua embalsada en su vaso, que se pierde por sumideros para incorporarse, vía subterránea, al Sistema Hundidero-Gato, colector natural de las aguas del río Gaduares.

También los primeros sondeos hidrogeológicos realizados con máquinas de vapor fueron realizados en Málaga en el primer tercio del siglo XX. Uno de ellos, realizado en Alhaurín de la Torre, fue considerado en el momento de su realización como el pozo artesiano más caudaloso de España. Desde entonces, el aprovechamiento de las aguas subterráneas en Málaga ha ido en aumento, con numerosas captaciones de todo tipo.

La segunda mitad del siglo XX fue testigo de la construcción de numerosas presas, embalses, canales, trasvases y otras obras de ingeniería hidraúlica. También de la desaparición por desecación y transformación de los usos del suelo de algunos de los humedales emblemáticos de la provincia, como la Laguna de Herrera, cerca de Antequera. Y, por último, en el siglo XXI, las desaladoras han hecho su aparición en el panorama hídrico provincial.

3.03

Notas para la historia de la hidrogeología en la provincia de Málaga

3.03

Notas para la historia de la hidrogeología en la provincia de Málaga

Luis Linares Girela
Francisco Carrasco Cantos

Introducción

Este capítulo pretende ser una aportación a la historia de la hidrogeología de la provincia de Málaga en el periodo más reciente, mediante la referencia de los trabajos de investigación, organismos, empresas y personas que han contribuido a lograr el conocimiento que hoy se tiene de sus aguas subterráneas.

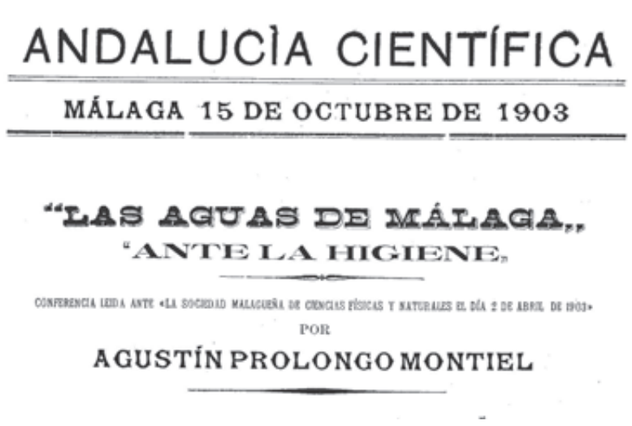
Existen numerosos documentos históricos de fecha anterior al último cuarto del siglo XIX que se refieren a los manantiales de la provincia, sus características y sus usos. Esta época más antigua y estos trabajos son considerados aquí como la "prehistoria" de lo que podría llamarse la hidrogeología moderna. La documentación anterior a 1875 ha sido magistralmente estudiada y analizada por Francisco M. Catalán en su libro *Los manantiales de Málaga*, publicado recientemente (2005) por la Diputación Provincial. A él remitimos a los interesados en este periodo histórico.

Domingo de Orueta Aguirre

Los precursores

Los 75 años que incluyen el último cuarto del siglo XIX y la primera mitad del XX es el periodo en el que comienzan a perforarse captaciones para el aprovechamiento de los acuíferos, al tiempo que se publican algunos trabajos y estudios que permiten establecer las bases de la moderna hidrogeología en la provincia de Málaga.

Los primeros trabajos de contenido hidrogeológico referidos a la provincia fueron realizados por destacados miembros de la Sociedad Malagueña de Ciencias Físicas y Naturales (SMCFN) -posteriormente convertida en la actual Academia Malagueña de Ciencias- que fue fundada por Domingo de Orueta y Aguirre, junto con otros naturalistas e ilustrados malagueños, en 1872. Orueta, que fue su primer presidente, es el autor de un extenso estudio titulado *Bosquejo físico-geológico de la región septentrional de la provincia de Málaga*, publicado en 1877, que puede considerarse el primer trabajo en el que se trata de contextualizar hidrogeológicamente los principales manantiales de este sector.


ANDALUCÌA CIENTÍFICA

MÁLAGA 15 DE OCTUBRE DE 1903

"LAS AGUAS DE MÁLAGA,,
'ANTE LA HIGIENE,

CONFERENCIA LEIDA ANTE «LA SOCIEDAD MALAGUEÑA DE CIENCIAS FÍSICAS Y NATURALES EL DÍA 2 DE ABRIL DE 1903»
POR
AGUSTÍN PROLONGO MONTIEL

Publicación de la conferencia de A. Prolongo (1903)

En 1875, en sesión de la SMCFN fue leído un discurso del que también sería presidente de la corporación Pablo Prolongo, referido a las *Aguas de los pozos de Málaga*; se centra fundamentalmente en la calidad de dichas aguas que entonces eran aprovechadas, mediante pozos, para abastecimiento de los diferentes sectores de la ciudad, justificando las diferencias que se observan entre ellas, entre otros factores, por su relación con los distintos tipos de terreno en que se encuentran excavados. También hace mención a fenómenos de artesianismo en algunas de estas captaciones. Se concluye que la mayor parte de estas aguas son de mala calidad y se pide la conducción hasta Málaga de aguas de los manantiales de Torremolinos. Años más tarde (1903), Agustín Prolongo, sobrino del anterior y también miembro de la SMCFN, pronuncia otra conferencia sobre *Las aguas de Málaga ante la higiene*, donde trata de la calidad de las aguas de los manantiales de Torremolinos, El Almendral y La Culebra y, de nuevo, de las que se explotan mediante pozos en la ciudad. Tienen especial interés las observaciones y datos que aporta sobre características geológicas y comportamiento hidrogeológico de los distintos terrenos existentes en el casco urbano de Málaga. La biblioteca de la Academia Malagueña de Ciencias conserva los manuscritos de estas dos conferencias que, además, fueron publicadas en las actas de la SMCFN y en la revista Andalucía Científica, respectivamente.

Manuscrito de la Conferencia de A. Prolongo (1903)

Los manantiales de Torremolinos. Trabajos de alumbramiento de aguas en la Pellejera es el título de un curioso folleto, publicado en 1910, del que es autor Miguel Marín. En él se aportan numerosos datos sobre los usos y el régimen hídrico de estos manantiales. También se defiende la conveniencia de llevar a cabo captaciones para mejorar su rendimiento y se mencionan las posibles afecciones de tales actuaciones.

Un interesante libro titulado *Aguas subterráneas y pozos artesianos*, cuyo autor es Ignacio Ruiz, fue publicado en 1923. En él se aportan datos de varias perforaciones de profundidad próxima a los 100 metros, realizadas en el entorno de la ciudad de Málaga y en Alhaurín de la Torre donde se produjeron espectaculares fenómenos de artesianismo.

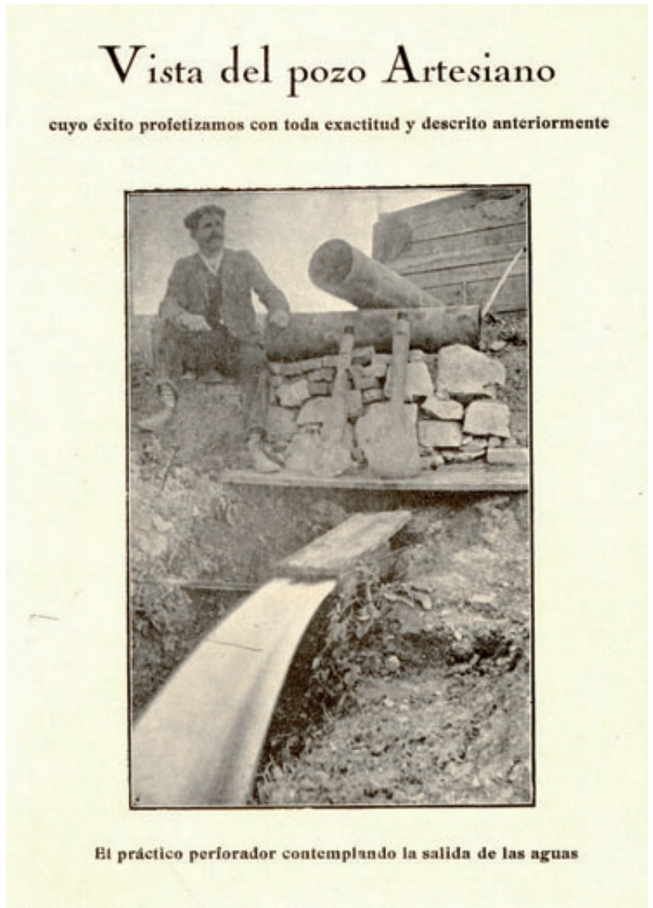
De ese mismo año, 1923, es el primer informe hidrogeológico del Instituto Geológico y Minero de España que conocemos referido a la provincia de Málaga. Fue realizado por Enrique Dupuy de Lôme, atendiendo a una petición del Ayuntamiento de la ciudad en relación con los manantiales de Torremolinos, cuyos caudales se pretendía proteger y aumentar. Con este motivo estudió la que llamó "cuenca hidrológica" de la Sierra de Mijas, analizando las características geológicas y climatológicas del área, definiendo los límites de sus acuíferos, la recarga por infiltración de los mismos y el régimen de descarga de sus manantiales.

La última referencia de la selección de publicaciones que permiten ilustrar este periodo histórico dedicado a los precursores de la hidrogeología, corresponde a Moritz M. Blumenthal. Este suizo, afincado en Málaga durante la década anterior a nuestra guerra civil, es uno de los geólogos más conocidos y prestigiosos entre los que han estudiado la cordillera Bética y es autor del monumental *Estudio geológico de las cadenas costeras al oeste de Málaga, entre el río Guadalhorce y el río Verde*, publicado en España en 1949. Este trabajo incluye un extenso capítulo dedicado a la hidrogeología de las Sierras Blanca y de Mijas, que puede considerarse como el referente del inicio de la hidrogeología moderna en la provincia.

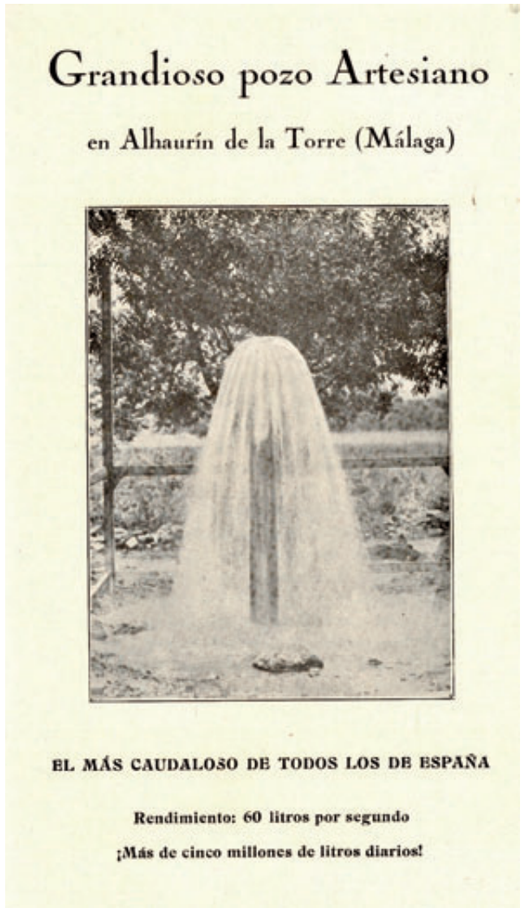
M. Blumenthal (foto publicada en el Boletín del IGME, 1949)

Portada del Boletín del IGME (1949) donde se publicó el estudio geológico de Blumenthal sobre las cadenas costeras al O de Málaga

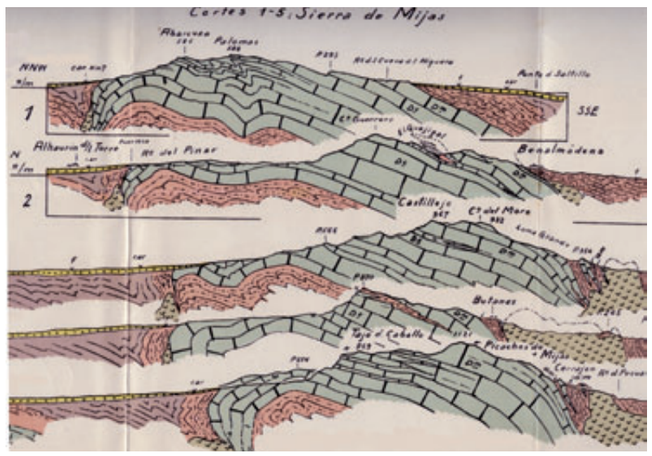
Pozo artesiano en Alhaurín de la Torre (Ruíz, 1923)



El artesianismo en Alhaurín de la Torre (Ruíz, 1923)



Marbella y Sierra Blanca al fondo (Boletín IGME, 1949)



Cortes Geológicos de la Sierra de Mijas según Blumenthal (1949)

3.

La hidrogeología moderna en la provincia

A partir del último tercio del pasado siglo XX tiene lugar en la provincia un importante impulso de la investigación hidrogeológica por parte de diferentes organismos de Administración: Instituto Geológico y Minero de España, Servicio Geológico de Obras Públicas, Confederación Hidrográfica del Sur, Ministerio de Medio Ambiente, Diputación Provincial, Junta de Andalucía y Universidades andaluzas. Las actuaciones más sobresalientes realizadas por estos organismos son analizadas en los siguientes apartados.

Abastecimiento de Antequera, Manantial de la Villa (1976)

Bombeo de ensayo del sondeo la Villa I (Antequera)

Cartel del IGME indicativo del estudio hidrogeológico del Manantial de la Villa

El Instituto Geológico y Minero de España

En los primeros años de la década de 1970 el IGME inició de manera sistemática los trabajos de investigación hidrogeológica en la provincia. Comenzó la realización del que fue denominado *Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Sur. Zona comprendida entre el límite occidental y el río Adra*, incluido en el Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas. Se llevó a cabo un inventario exhaustivo de los puntos de agua -manantiales y captaciones- existentes en la provincia, el reconocimiento hidrogeológico básico de la misma y la perforación de unos 17.000 metros de sondeo en 138 emplazamientos, que fueron realizados con maquinaria del IRYDA (Instituto para la Reforma y Desarrollo Agrario del Ministerio de Agricultura) y del propio IGME. En estos años comenzó también la colaboración del IGME con la Diputación Provincial de Málaga, que se materializó en la elaboración de numerosos informes de asesoramiento y perforaciones, destinados fundamentalmente al abastecimiento de agua a diversos municipios de la provincia.

A la segunda mitad de esta década corresponden los informes que recogen los resultados de las investigaciones básicas y sondeos realizados en los acuíferos de la Cadena de los Torcales, Sierra Gorda, Serranía de Ronda y Bajo Guadalhorce. Algunos de estos estudios fueron dirigidos a la regulación de los manantiales de La Villa –para garantizar el abastecimiento de Antequera- y de Guaro (Periana), para el cual se propuso la realización de una galería que sería perforada años más tarde por la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía. En relación con los acuíferos del Bajo Guadalhorce, las investigaciones se habían centrado fundamentalmente en conocer su funcionamiento hidrogeológico para proponer captaciones destinadas al abastecimiento de Málaga capital y al aeropuerto, que fueron realizadas por el propio IGME en los parajes de Puente del Rey, San Isidro, Fahala y Río Grande y que aún hoy siguen estando operativas.

A lo largo de esta década se seleccionaron puntos de agua y se perforaron piezómetros para implementar redes de control de hidrometría, piezometría y calidad de las aguas subterráneas, cuyo seguimiento a lo largo de los últimos 30 años ha proporcionado abundante información, almacenada en una base de datos de miles de registros que recoge la evolución de los acuíferos provinciales durante el último cuarto de siglo.

Detalle del bombeo de ensayo del sondeo la Villa I (Antequera, 1978)

Desde los primeros años de la década de 1980, se llevó a cabo una importante labor de recopilación y tratamiento de los múltiples datos y observaciones obtenidos en la década anterior, resultado de la cual fue la edición de varios documentos de síntesis entre los que destaca el denominado *Investigación hidrogeológica de las cuencas del Sur de España (sector occidental)* (1983). Esta síntesis incluye 12 informes técnicos, la mayor parte de ellos referidos a los diferentes sistemas acuíferos que fueron definidos en la provincia, en los cuales se analiza con detalle su funcionamiento hidrogeológico. Se trata de un documento que, aún en la actualidad, sigue siendo de referencia y consulta. A este periodo corresponden también la síntesis *Definición y funcionamiento de los sistemas acuíferos de la cuenca sur (sector occidental)* (1982), que forma parte de la contribución del IGME al Plan Hidrológico Nacional, el *Estudio hidrogeológico de la cuenca de Fuente de Piedra"* (1984) y el *Estudio del sistema acuífero nº 38 Sierra Blanca-Sierra de Mijas. Hidrogeología, calidad y utilización del agua* (1985). En la segunda mitad de esta década, el IGME también participó activamente en la redacción del primer *Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga*, aportando al mismo una extensa síntesis de sus acuíferos, documento que sería publicado por la Diputación Provincial en 1988.

En la época más reciente, desde 1990 a la actualidad, el IGME ha continuado realizando sus tradicionales labores de seguimiento de las redes de control de acuíferos. También ha realizado estudios monográficos sobre diversos temas, entre los que cabe destacar la aplicación de técnicas de modelización para el estudio de regulación de los manantiales más significativos de la cuenca media y alta del Guadalhorce (1995), la *Modelización matemática del flujo subterráneo en el sistema acuífero del Bajo Guadalhorce* (1996), el *Modelo de gestión para uso conjunto de aguas superficiales-aguas subterráneas en la Costa del Sol occidental* (1997-1999), el *Estudio hidrogeológico de posibilidades de mejora de los abastecimientos urbanos del norte de la provincia de Málaga* (2000), en convenio con la Junta de Andalucía, y más recientemente, (2004), en colaboración con el Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (GHUMA) efectuó para la Confederación Hidrográfica del Sur la *Redefinición de las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Sur de España.* En estos estudios fueron colaboradoras del IGME las empresas IDRENA, ESTRAINSA, INYPSA e INIMA y la Universidad de Málaga, participando, entre otros técnicos de las mismas, Gonzalo López-Arechavala, Juan Antonio Navarro, Juan de Dios Gómez, Alfredo Arias, Alfredo García de Domingo, Luis Linares, Francisco Carrasco y Bartolomé Andreo.

Realización del sondeo Málaga I en el bajo Guadalhorce

Desde que, al principio de la década de 1980, inició la investigación hidrogeológica de la Cuenca de Fuente de Piedra, el IGME ha llevado a cabo una permanente labor de asesoramiento al patronato de la Reserva Natural de la laguna del mismo nombre, emitiendo informes periódicos sobre la situación de los acuíferos y su incidencia en el espacio natural. En los últimos años, además, un equipo de técnicos e investigadores de este organismo está desarrollando un proyecto dirigido fundamentalmente a definir en detalle el modelo conceptual del flujo del sistema hidrogeológico de la laguna y su funcionamiento. Participan en dicho proyecto, entre otros, Javier Heredia, José María Ruíz, Luis Araguás y Alfredo García de Domingo.

Investigación hidrogeológica en Fuente de Piedra

3.

En relación con los abastecimientos urbanos de la provincia, durante el periodo comprendido entre los años 1973 y 2000, el IGME emitió un total de 139 informes o notas técnicas referidas a 46 municipios, en muchos de los cuales también llevó a cabo captaciones de abastecimiento que fueron cedidas para su incorporación a los dispositivos de abastecimiento de diversos núcleos de población. Son de destacar los 24 informes referidos a Málaga, 17 a Antequera y 11 a Archidona. La mayor parte de estos estudios y captaciones se realizaron en el marco de convenios y acuerdos de colaboración con la Diputación Provincial en diferentes épocas. El conjunto de estudios e investigaciones del IGME en la provincia de Málaga en este periodo han quedado recogidos en más de 300 notas técnicas que son conservadas en el Centro de Documentación de este organismo, al igual que el resto de los estudios monográficos de mayor envergadura que se han mencionado. Los resultados de muchas de estas investigaciones han sido divulgadas en numerosas publicaciones y comunicaciones en congresos y simposios relacionados con la hidrogeología.

Entre los técnicos del IGME que han sido responsables de los trabajos en la provincia, en diversas épocas, cabe mencionar a Manuel del Valle, Juan Antonio López-Geta, José Luis R. Padilla, Juan Carlos Rubio y Juan José Durán. Este último, además, realizó varios trabajos sobre el Trías de Antequera y posteriormente efectúo su tesis doctoral sobre los sistemas kársticos de la provincia.

En todos los estudios e investigaciones realizadas por el IGME en la provincia colaboró de forma continua la Empresa Nacional ADARO de Investigaciones Minera S.A. que mantuvo un equipo de trabajo y una oficina en Málaga desde 1973 a 1994 en que, tanto el equipo como la oficina, pasaron a depender de la empresa INIMA que continuó esta colaboración hasta 2004. Durante la década de 1970 fueron responsables de este equipo, sucesivamente, José Luis M. Láinez y José Luis Guzmán y, desde 1980 a 2004, Luis Linares. También intervinieron en los trabajos promovidos por el IGME en Málaga, entre otros técnicos de ADARO e INIMA, José A. Díaz de Isla, Jean Pierre Thauvin, Miguel Arenas, Luis Dichtl, Antonio Carrasco, Leovigildo Trenado, Andrés Rivera, Francisco Catalán y José Juárez.

Sondeo San José I para abastecimiento a Torremolinos

Cartel del IGME correspondiente a la realizacion de sondeos de abastecimiento a Torremolinos

Sondeo San José para abastecimiento a Torremolinos

El Servicio Geológico de Obras Públicas

Al comienzo de la década de los setenta del pasado siglo, el Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP) constituyó una delegación en Málaga, cuya labor se extendió hasta el año 1988, fecha en que fue incorporada a la desaparecida Confederación Hidrográfica del Sur de España (CHSE). Esta oficina estuvo dirigida por Rafael Conejo con la participación de los técnicos Francisco Carrasco y Rafael Mayorga y el apoyo de un competente equipo de sondistas con sus correspondientes equipos de perforación.

Durante este periodo el SGOP efectuó una amplia investigación hidrogeológica en la que destacan los estudios en el acuífero de río Vélez y los dedicados al conocimiento de los manantiales salinos asociados al Trías de Antequera (Meliones y Cañaveralejo), como causantes de la salinización de las aguas del embalse del río Guadalhorce.

Manantial de Meliones (1989)

Este organismo también llevó a cabo reconocimientos hidrogeológicos de carácter local y perforaciones para captación de agua subterránea destinadas al abastecimiento de diversos municipios de la provincia entre los que destacan los de Alfarnate, Almogía, Campillos, Cártama, Casabermeja, Colmenar, Nerja, Rincón de la Victoria, Torrox, Vélez-Málaga y Yunquera. Una labor complementaria fue la realización de piezómetros, principalmente en los acuíferos del río Vélez, Sierra de Archidona, Almijara Meridional, rio Chillar, río Torrox, costero Marbella-Estepona, Bajo Guadalhorce, Sierras Blanca y Mijas y Fuente de Piedra.

Otros trabajos realizados por este organismo fueron el *Estudio de los recursos hidráulicos de la cuenca del río Grande y su integración en el Plan Guadalhorce* (1982), la Síntesis de las unidades hidrogeológicas del territorio peninsular (1988) y el *Estudio hidrogeológico de las Sierras Tejeda, Almijara y Guájares* (1991). En el último de ellos colaboró la empresa INGEMISA.

La Confederación Hidrográfica del Sur

En la década de 1980, la Confederación Hidrográfica del Sur comenzó los estudios básicos para la redacción del Plan Hidrológico de la cuenca que, a lo largo de su desarrollo, ha contado con la asistencia técnica de INTECSA.

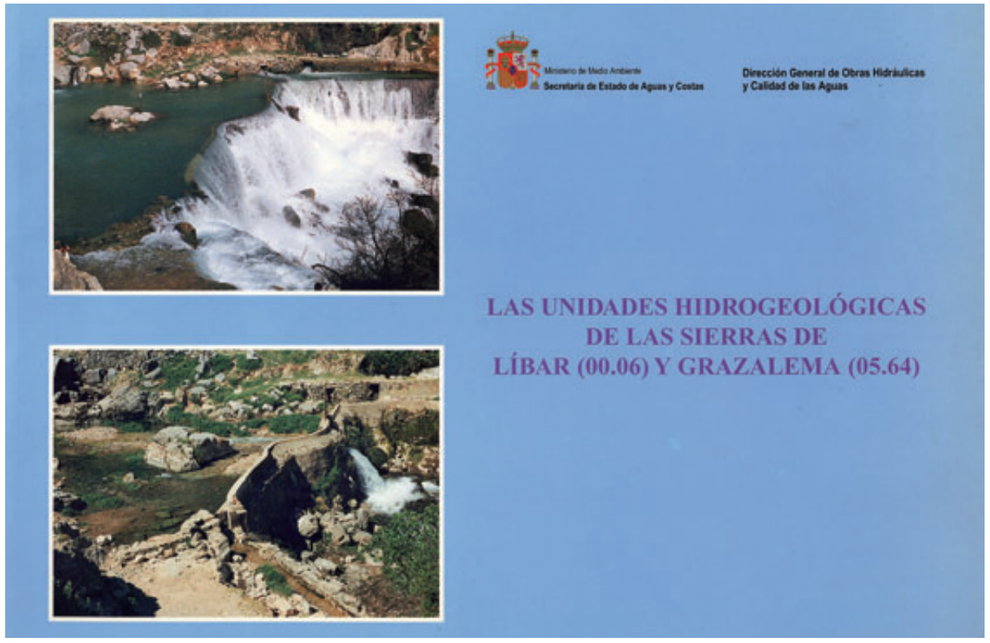
Uno de los acuíferos estudiados con más detalle por este organismo ha sido el acuífero aluvial del río Vélez, en el que Agustín Escolano dirigió, en el año 1987, el *Estudio Hidrológico de los ríos Vélez y Benamargosa* y posteriormente (1997) efectuó el estudio de seguimiento del informe anterior y el control de la calidad del acuífero, ambos con la colaboración de la empresa CGS. En los dos proyectos se perforaron numerosos piezómetros para control del acuífero.

Una aportación importante realizada por este organismo fue el estudio de las surgencias de aguas subterráneas en el mar a lo largo del litoral de Málaga y otras provincias andaluzas, mediante la utilización de sensores térmicos aeroportados con apoyo de técnicas oceanográficas e hidrogeológicas (1988), en el que colaboraron las empresas ADARO e INTECSA.

La sierra de Mijas también ha sido objeto de atención por parte de la Confederación Hidrográfica del Sur. En primer lugar se efectuó el *Estudio hidrogeológico y de evaluación de recursos subterráneos en la zona de Alhaurín de la Torre* (1989-1991), dirigido por A. Escolano, con la participación de la empresa ADARO.

Sondeo de investigación del SGOP

Detalle de la realización de un sondeo de investigación del SGOP

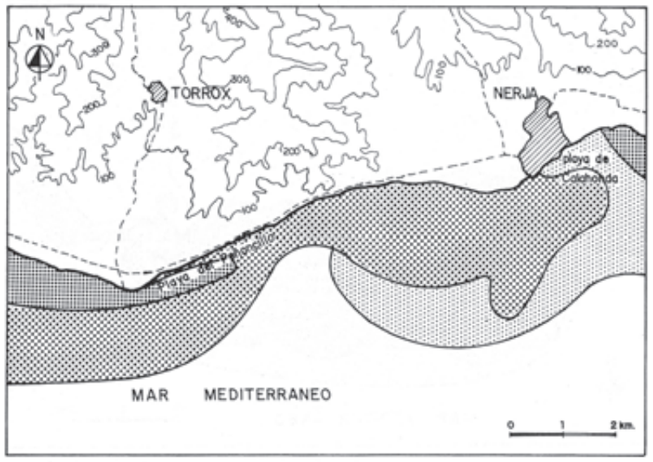


Portada del estudio de las unidades hidrogeológicas de las Sierras de Líbar y Grazalema

Portada del documento de redefinición de las unidades hidrogeológicas de la Cuenca Sur

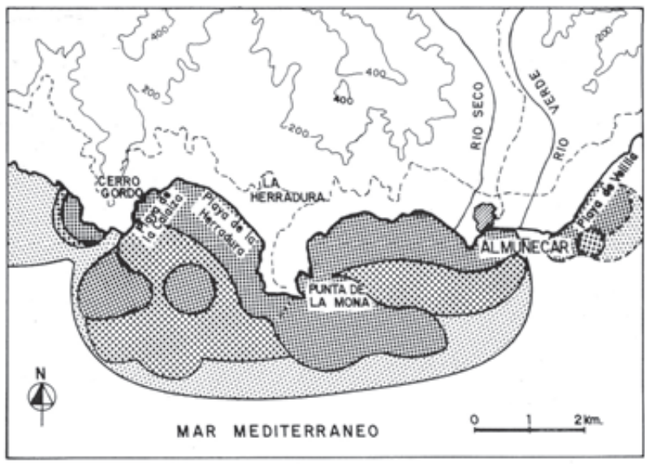
Más recientemente (2001) se ha llevado a cabo el *Estudio de utilización conjunta de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la cuenca del río Guadalhorce*, mediante asistencia técnica de INTECSA e INIMA. Fue director de este proyecto Juan A. Rodríguez y responsable de la asistencia técnica Rafael Fernández.

Durante la sequía de la primera mitad de la década de 1990, este organismo realizó una importante inversión en la construcción de captaciones de agua subterránea con el fin de dotar a diversas comarcas de la provincia de dispositivos de emergencia para abastecimiento urbano. Desgraciadamente, muchas de ellas desaparecieron o fueron incorporadas para su uso permanente a las redes de abastecimiento de los municipios, quedando invalidadas para cumplir los objetivos para los que fueron concebidas.



Para llevar a cabo el seguimiento de los acuíferos de la Cuenca Sur, la CHSE, con la colaboración con INIMA, desarrolló un proyecto dirigido a diseñar de una red de puntos de control, su localización y sus características (1994-1999), construyendo posteriormente algunos de los piezómetros que fueron incorporados a ella.

Recientemente se ha realizado el estudio de *Redefinición de las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Sur de España* (IGME-CHS, 2004) que ha servido de base para el establecimiento de las masas de agua subterránea de esta cuenca. Con posterioridad (2005), y una vez transferido este organismo a la Junta de Andalucía bajo la denominación de Cuenca Mediterránea Andaluza, se ha realizado el *Estudio para la protección de los recursos hídricos subterráneos de la Sierra de Mijas* con la colaboración de INIMA, GHUMA. En la actualidad este organismo está efectuando los trabajos necesarios para la implantación de la Directiva Marco de la Unión Europea en su territorio.



El Ministerio de Medio Ambiente

La Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas del Ministerio de Medio Ambiente ha patrocinado varios estudios hidrogeológicos en nuestra provincia. En el año 1989 efectuó el estudio de *Las unidades hidrogeológicas de las Sierras de Líbar (00.06) y Grazalema* (05.64). Posteriormente (2000) se realizó un estudio sobre las *Propuestas para la redacción del Plan de Protección Hídrica de la Laguna de Fuente de Piedra*, con el apoyo técnico de INIMA.

La empresa ACUSUR dependiente de este ministerio, ha llevado a cabo el estudio acerca de la *Gestión Integral de los recursos hídricos de la Costa del Sol y de la ciudad de Málaga* (2005) con la colaboración de INTECSA.

Localización de anomalías térmicas en el sector de Nerja-Almuñécar. El sistema de representación se basa en isoáreas de diferente intensidad de tramado, más o menos denso según corresponda a zonas de emisión (surgencias submarinas de agua dulce más fría), de interfase o de difusión. Figuras extraídas del "Inventario de surgencias de aguas de origen continental en el litoral mediterráneo de la cuenca Sur, mediante utilización de sensores térmicos aerotransportados con apoyo de técnicas oceanográficas e hidrogeológicas" realizado por la Confederación Hidrográfica del Sur en 1988

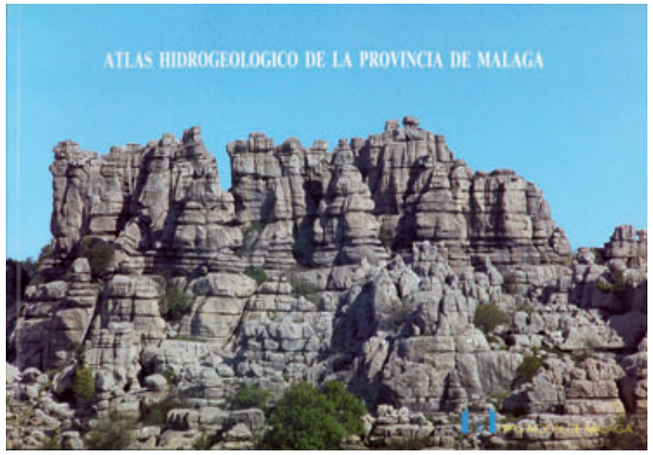
La Diputación Provincial de Málaga

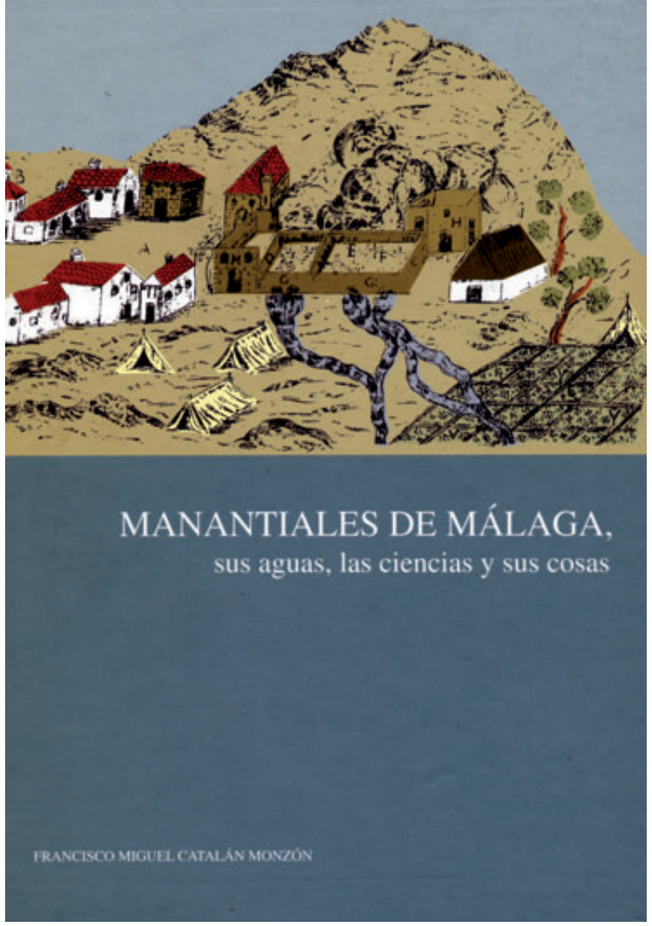
El hecho de que la mayor parte de los municipios de la provincia se abastezcan con aguas subterráneas ha sido la causa de que, tradicionalmente y a través de sus servicios técnicos, la Diputación Provincial asista y asesore a dichos municipios mediante la ejecución de obras de captación y la elaboración de informes y dictámenes de carácter hidrogeológico. Esta labor se ha llevado a cabo de forma directa o mediante asistencias técnicas y contratas con empresas y profesionales y por medio de convenios con otros organismos especializados en hidrogeología como es el caso del IGME.

En los últimos años, han sido los servicios de Vías y Obras y, más recientemente, de Medio Ambiente los encargados de esta labor. En diferentes épocas, los técnicos Francisco Ruiz y José A. Villalva fueron responsables e impulsores de estas actuaciones de carácter hidrogeológico, aunque es obligado destacar la dedicación especializada de hidrogeólogos, iniciada a finales de la década de 1970 por Juan M. González-Aurioles y que en la actualidad continúa Mª Teresa Jiménez.

Hay que mencionar también la publicación por este organismo provincial de algunos trabajos de carácter específicamente hidrogeológico y destacar entre ellos el *Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga*. Este trabajo, realizado con la colaboración del IGME y ADARO y editado en 1988, fue el primer documento dirigido a divulgar la importancia de las aguas subterráneas en la provincia y las características de sus acuíferos y constituye el antecedente del que ahora incluye este resumen histórico. Más recientemente, la Diputación Provincial ha publicado un interesante trabajo sobre los *Manantiales de Málaga*, sus aguas, las ciencias y sus cosas (2005), del que es autor Francisco M. Catalán que ha plasmado en él los resultados de una meticulosa investigación histórica sobre el tema, junto con el relato de algunas vivencias y anécdotas de su dilatada experiencia profesional en relación con los acuíferos de la provincia.

Portada del primer Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga, publicado en 1988





Portada del libro Manantiales de Málaga, sus aguas, las ciencias y sus cosas

La Junta de Andalucía

La constitución de la Junta de Andalucía, al comienzo de la década de 1980, ha permitido que diferentes organismos de la administración autonómica lleven a cabo actuaciones relacionadas con la hidrogeología de la provincia.

La Consejería de Agricultura, a través del IARA, realizó estudios hidrogeológicos de la Sierra de Mollina-Alameda y de los Llanos de Antequera (1988), así como de la Sierra de Almijara en su vertiente malagueña (1991). También acometió la construcción de la galería de Periana para regulación del manantial de Guaro (1991-1992), que años atrás (1980) había sido propuesta y proyectada por el IGME. En relación con este dispositivo de regulación también se llevó a cabo un control hidrogeológico durante el bombeo experimental que tuvo lugar entre 1992 y 1993. Arturo Sánchez fue el técnico responsable de estos trabajos, en los que colaboraron los técnicos de la oficina de la E.N. ADARO.

La Consejería de Obras Públicas y Transportes, a través de su DGOH, desde la década de 1990, ha promovido varios estudios hidrogeológicos destinados fundamentalmente a satisfacer demandas urbanas. Destacan entre ellos el *Estudio previo de la determinación de fuentes de abastecimiento de agua a Antequera* (1994) y el *Estudio previo para determinación de fuentes alternativas de abastecimiento de agua a los municipios de Archidona y Villanueva del Trabuco* (1995), que fueron realizados mediante asistencia técnica por la empresa Francisco Ruiz García S.A., con la colaboración de ADARO-INIMA y el Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga. Esta misma Consejería promovió el *Estudio hidrogeológico de la Sierra de Cañete* (2002), realizado en asistencia técnica por INIMA. Jorge Robles fue el director técnico de estos trabajos e intervinieron en ellos los hidrogeólogos Luis Linares, Antonio Carrasco, Bartolomé Andreo y Francisco Catalán.

Recientemente la Consejería de Medio Ambiente ha efectuado el estudio sobre el contexto hidrogeológico de los humedales de la provincia (2005), enmarcado dentro de los objetivos del Programa Andaluz de Gestión de Humedales. El estudio ha sido dirigido por Manuel Rendón y realizado por el Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga.

Interior de la galería de Guaro

Entrada a la galería de Guaro

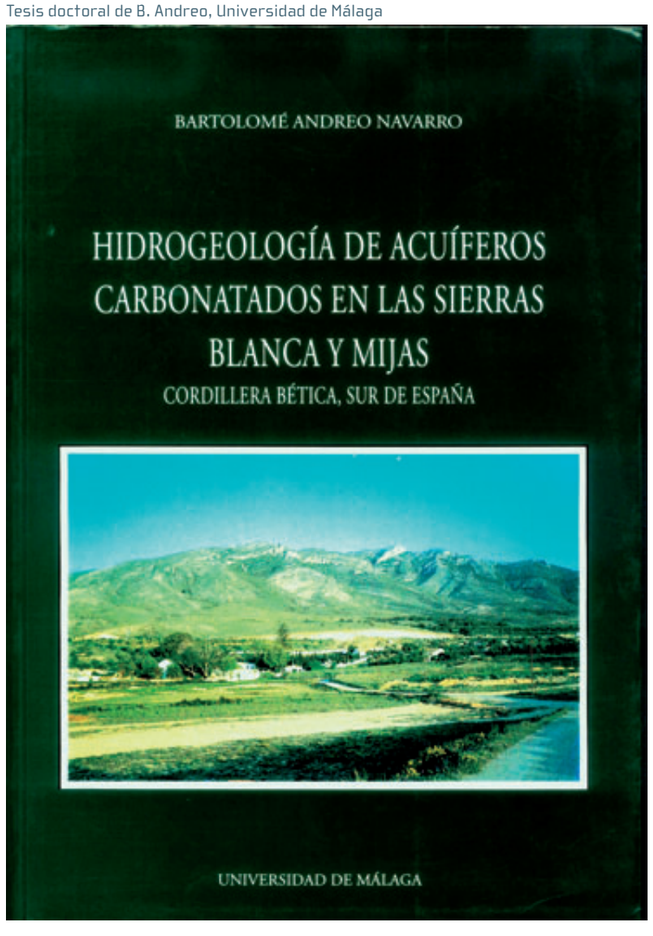
3.

La Universidad de Granada

El Grupo de Trabajo de Hidrogeología constituido por R. Fernández-Rubio en la década de los años setenta realizó investigaciones en los acuíferos más septentrionales de la provincia, principalmente en el Torcal, vega de de Antequera y en el sector de Ronda. Por estos años Cruz Sanjulián realizó investigaciones sobre el funcionamiento hidrogeológico del sector de Teba-Cañete la Real.

A partir de los años ochenta, se defendieron en esta Universidad una serie de tesis doctorales relacionadas con la hidroquimica y el karst en los yesos del Trías de Antequera (Carrasco, 1986; Calaforra, 1998 y Guzman, 2003) y con las zonas húmedas del norte de la provincia (Linares, 1990; Almécija, 1997 y Rodríguez, 2002). En relación con los acuíferos detríticos, García Arostegui (1998) defendió su tesis sobre la hidrogeología del acuífero aluvial del río Vélez.

Tesis doctoral de B. Andreo, Universidad de Málaga



La Universidad de Málaga

En la década de los noventa comenzó la actividad del Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga que está realizando una importante labor de investigación en los acuíferos de la provincia, fundamentalmente en materia de hidrogeología kárstica. En esta línea de investigación se presentó la tesis doctoral realizada en los acuíferos carbonáticos de las Sierras Blanca y Mijas (Andreo, 1997) y sobre la hidrogeología de los acuíferos kársticos en las Sierras de Nieves, Yunquera, Prieta y Alcaparaín (Liñán, 2003).

Se han realizado otras investigaciones en relación con la contaminación y la protección de los recursos hídricos frente a la contaminación. En el año 2003 se presentó la tesis doctoral de I. Vadillo sobre contaminación por lixiviados de residuos sólidos urbanos en acuíferos kársticos de la Costa del Sol, con especial referencia al acuífero de Marbella y, en lo que respecta a la protección de la calidad de los recursos hídricos, J. Vías (2005) presentó su tesis doctoral sobre cartografía del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas y su aplicación en varios acuíferos de la provincia.

Por otra parte, los investigadores de este grupo han realizado, mediante contratos Empresa-Universidad, diversos estudios hidrogeológicos de la provincia. Son de destacar, además de los ya mencionados en el capítulo, los realizados en la cuenca del río Guadalhorce y Axarquía en relación con el abastecimiento de agua a Málaga y a otros municipios, los estudios del Bajo Guadalhorce para la captación de aguas subterráneas destinadas a una planta desaladora de Málaga capital, el análisis del funcionamiento de los acuíferos carbonáticos de la provincia y el estudio del karts de la cueva de Nerja.

Las empresas y profesionales

No sería justo ignorar, en este resumen histórico, la labor anónima de las numerosas empresas y profesionales vinculados a la hidrogeología. Unas y otros han contribuido a alcanzar el nivel de conocimiento que hoy se tiene de los acuíferos malagueños. AFORMHIDRO, AFOROS JIMENEZ, FERRÁNDIZ 48, HIDROTOPO, INHIDROS, INYDES, NARVAL INGENIERIA, MEDITERRÁNEO, PEREDA 4, PERSOND, Lourdes Álvarez, Rafael Boloix, Rafael Cabanás, Antonio F. Castro, Eduardo Espejo, Luis García, Francisco Illana, Joaquín Medina, Alfonso Núñez, Román González, Leovigildo Trenado, Jerónimo Troya y José Zofío, entre otros, son algunas de las empresas y profesionales que han trabajado o trabajan en Málaga en el ámbito de las aguas subterráneas.

3.04

Tipos de captaciones de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga

3.04

Tipos de captaciones de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga

Juan José Durán Valsero
Carlos Martínez Navarrete

La gran variedad de tipologías acuíferas, junto con la evolución en el tiempo del nivel socioeconómico y tecnológico, han propiciado una amplia diversidad de sistemas de extracción de aguas subterráneas para satisfacer los diversos usos del agua.

A efectos de ilustrar las surgencias y las diferentes captaciones, éstas han sido clasificadas en doce tipos, sintetizándose sus características en la tabla adjunta e incorporando las zonas con captaciones representativas en el mapa auxiliar.

Manantial Nacimiento de la Villa (Antequera)

Manantiales

Existe una gran cantidad de manantiales como refleja la existencia de más de setecientas surgencias incluidas en el inventario de puntos de agua del IGME o las dos mil indicadas por Catalán (2005), que cita términos municipales como Antequera y Ronda con más de ochenta manantiales.

Su uso ha sido continuo a lo largo de la historia para abastecimiento a la población, riego, ganadería, aprovechamientos minero medicinales, termales e industriales. La necesidad de ampliar los recursos disponibles requeridos para los diferentes usos por el modelo de desarrollo actual ha propiciado la intervención humana en los alrededores de las surgencias naturales. Esto ha provocado efectos en el medio ambiente, afección a manantiales, muchos de ellos regulados o han dejado de fluir por el descenso del nivel piezométrico.

El manantial "Nacimiento de la Villa", situado en la vertiente norte del Torcal de Antequera, constituye el principal punto de descarga (87%) del Torcal de Antequera (acuífero kárstico desarrollado en calizas rodeado de materiales impermeables), presentando caudales elevados (superiores a 1.000 m^3/hora).

Se ha utilizado para abastecimiento de Antequera ya desde el siglo XV, así como para riegos en la vega de Antequera y para mover los numerosos molinos que existieron aguas abajo en las fábricas textiles, batanes para papel y molinos harineros y aceiteros. Actualmente, junto con los sondeos cercanos que lo regulan y que provocan que normalmente esté seco, es la fuente principal de abastecimiento a Antequera,

Manantial Baños de Carratraca

Esquema hidrogeológico del macizo kárstico del Torcal, según Burillo (1998)

Los Chorros (Ojén)

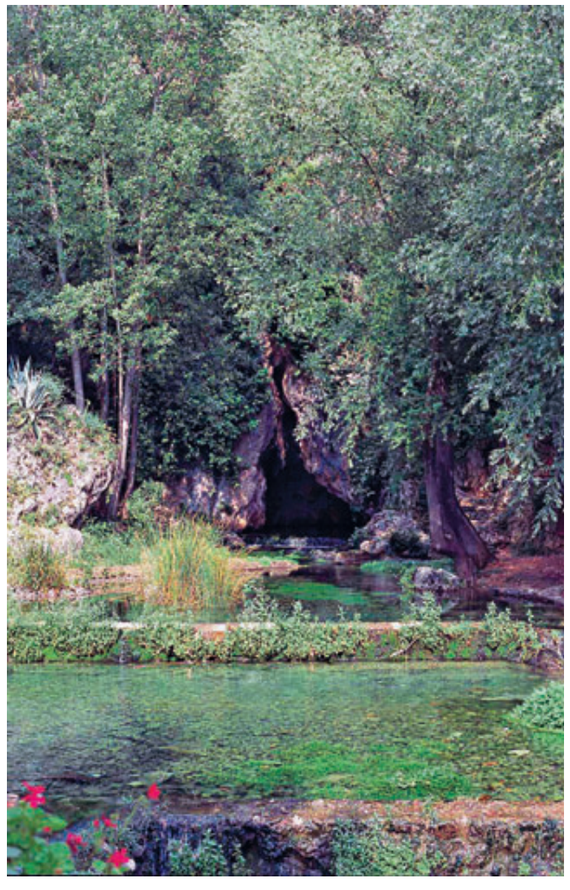
se emplea además para riego de algunas explotaciones agrícolas y constituye un área para uso lúdico con zonas verdes y recreativas.

El manantial "Baños de Carratraca" constituye un buen ejemplo de balneario de aguas minero-medicinales. Sus aguas, sulfatada-bicarbonatada cálcica, fueron declaradas de utilidad pública en 1849 inaugurándose el edificio del balneario actual en 1855. Éste engloba la surgencia en un pozo de escasa profundidad cuya pared es la roca madre de esta agua. No obstante, sus propiedades han sido reconocidas ya desde la época de los Reyes Católicos en diversos documentos que destacan este "Agua Hedionda" como indicador claro de su carácter sulfuroso.

Hay numerosas fuentes públicas ubicadas en el casco urbano como la de "El Chorro" (Istán), mencionándose ya su uso desde la época musulmana; o la de "Los Chorros" (Ojen), ubicada en la Plaza de la Iglesia e inaugurada en 1905, que tiene cuatro chorros en su frontal, uno lateral y un abrevadero para el ganado. Sus aguas proceden del nacimiento del Charcón y son empleadas además para un molino de aceite.

El carácter medioambiental y paisajístico es patente en el "Manantial de Igualeja" y en el "Manantial del Charco del Moro" (Cortés de la Frontera), importante punto de descarga de la Sierra de Líbar. El agua que se infiltra en la Sima del Republicano, a unos 12 km al norte de la surgencia, se drena por este nacimiento en el cauce del Río Guadiaro.

El Chorro (Istán)



Manantial de Igualeja

3.

04 Tipos de captaciones de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga

Sondeo realizado a percusión (Torre del Mar)

Fuente de uso ganadero (Ardales)

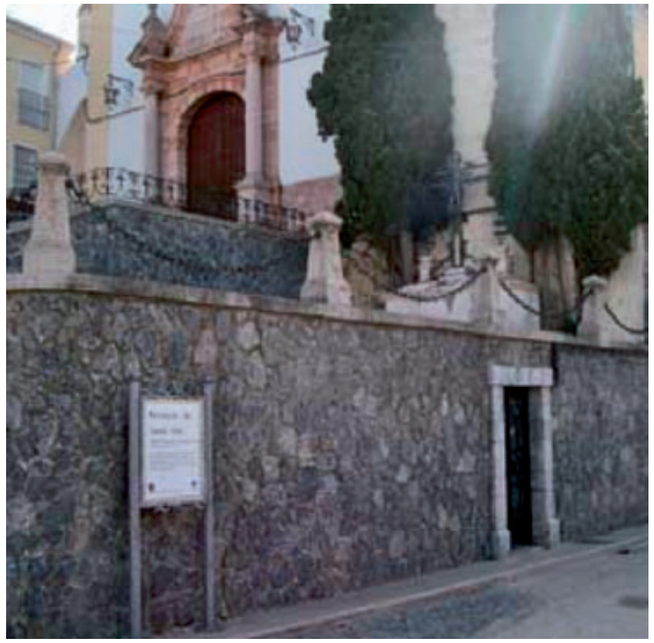
Características de las sugerencias y captaciones de agua subterránea en la provincia de Málaga

Tipología surgencias y captaciones	Materiales captados	Sistema de construcción de la captación	Rango de profundidad	Tipo de revestimiento	Sistema de extracción	Instalaciones ligadas a la captación en superficie	Principales usos en la actualidad	Zonas con captaciones seleccionadas
A. Manantial	Diversas litologías y permeabilidades	Surgencias naturales	- -	- -	Gravedad	Zonas verdes y recreativas. Fuentes (abastecimiento, ganado)	Urbano, agrícola, ganadero, minerales y termales	Antequera, Carratraca, Istán, Ojén, Cortes de la Frontera
B. Manantial con galería	Diversas litologías y permeabilidades	Perforación galerías manualmente o con máquinas perforar drenes	- -	Piedras, ladrillos, tubería ranurada	Gravedad	Zonas verdes y recreativas. Fuentes (abastecimiento, ganado)	Urbano, agrícola, ganadero	Archidona
C. Galería en rocas poco permeables	Materiales de baja permeabilidad (Ej: Peridotitas)	Perforación galerías manualmente	- -	Cemento, ladrillo	Gravedad, bomba	Fuentes (abastecimiento, ganado)	Urbano	Fuengirola
D. Pozo tradicional	Diversas litologías y permeabilidades (Ej: Detríticos cuaternarios)	Excavación de 2 -4 m de diámetro manualmente o con explosivos	5 – 20 m	Piedras, ladrillos	Poleas y cubos, noria, bomba eje vertical, bomba sumergible	Brocal pozo	Urbano, agrícola, ganadero	Fuente de Piedra, Antequera, Campanillas
E. Pozo anillo cemento	Materiales detríticos	Máquina perforación rotación, retroexcavadora	5 – 20 m	Anillos de cemento perforados	Bomba eje vertical, bomba sumergible	Brocal pozo	Agrícola, ganadero	Fuente de Piedra
F. Pozo con galería	Diversas litologías y permeabilidades (Ej: Detríticos)	Excavación manual, máquina perforar drenes	5 – 20 m	Piedras, ladrillos, tubería ranurada	Bomba eje vertical, bomba sumergible	Brocal pozo	Urbano, agrícola, ganadero	Estepona
G. Pozo gran diámetro formaciones costeras	Diversas litologías y permeabilidades (Ej: Detríticos)	Excavación manual de 2 – 4 m de diámetro	5 – 20 m	Ladrillos	Bomba sumergible	Brocal pozo	Urbano, agrícola	Torre del Mar, Mijas
H. Pozo gran diámetro formaciones poca permeabilidad	Materiales de baja permeabilidad (Ej: Materiales del flysch)	Excavación manual de 2 – 4 m de diámetro	5 – 20 m	Piedras	Poleas y cubos, bomba eje vertical, bomba sumergible	Brocal pozo	Agrícola, ganadero	Villanueva de la Concepción
I. Pozo ranney	Detríticos (Ej: Arenas y gravas)	Excavación de 5– 6 m de diámetro. Gatos hidráulicos, maquina perforar drenes	15 – 60 m	Hormigón, cemento, tubería ranurada (drenes)	Bomba eléctrica sumergible	Caseta sala de bombas	Abastecimiento, industria	Málaga, Vélez-Málaga
J. Sondeo investigación	Diversas litologías y permeabilidades	Máquina perforación (Rotación, percusión)	50 – 300 m	Tubería, filtros, empaque de gravas	- -	Cierre o caseta protección	Investigación hidrogeológica	Fuente de Piedra
K. Sondeo explotación	Diversas litologías y permeabilidades	Máquina perforación (Rotación, percusión) 450 – 650 mm diámetro	40 – 200 m	Tubería hierro, filtros, empaque de gravas	Bomba eléctrica sumergible	Centro transformación electricidad. Caseta protección captación	Urbano, agrícola, ganadero, industrial	Benalmádena
L. Galería moderna	Materiales carbonatados (Ej: Calizas, dolomías y mármoles)	Máquina perforación y excavación galería	- -	Cerchas y chapa (pared galería)	Bomba eléctrica sumergible y gravedad	Boca galería	Urbano, agrícola	Periana

Pozo tradicional (Fuente de Piedra)

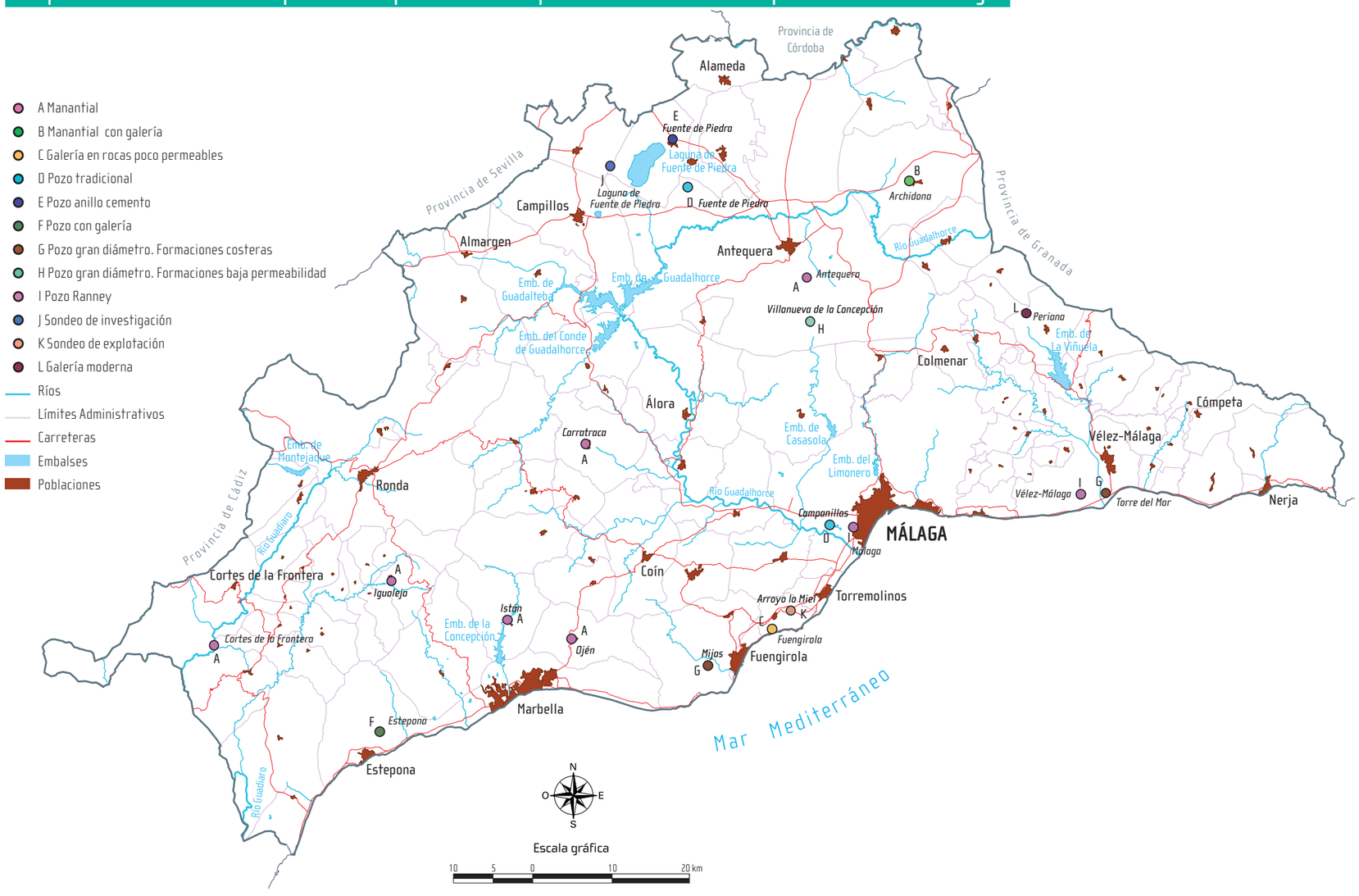
Manantiales con galerías

La "Galería Iglesia Plaza Santa Ana" (Archidona) mejora el rendimiento de la surgencia natural allí ubicada. Tiene dos galerías, de unos 50 m de longitud, orientadas hacia el subsuelo de la Iglesia de Santa Ana drenando los relieves carbonatados (calizas y dolomías jurásicas de alta permeabilidad) de la Sierra de Archidona. Los sondeos de abastecimiento ubicados en la Sierra de Archidona han provocado una gran disminución del caudal que drena.



Galería Iglesia Plaza Santa Ana (Archidona)

Mapa de situación de tipos de captaciones representativas en la provincia de Málaga



3.

Galerías en rocas poco permeables

Las captaciones de El Higuerón (Fuengirola) ubicadas cerca del límite con Benalmádena se utilizaban hasta los años 1987-1988 por el ayuntamiento de Fuengirola para abastecimiento al barrio de El Carvajal. La captación más importante consistía en una galería de más de 20 m de longitud equipada con una bomba que captaba el agua de la capa superficial de peridotitas serpentinizadas, capa recargada por la infiltración lateral diferida procedente de los mármoles de la Sierra de Mijas. Ésta captación, junto con unas surgencias difusas en los mismos materiales, proporcionaban en conjunto un caudal de 5 L/s. Al bombear en la galería se afectaba a un pozo particular próximo por lo que se abandonó la explotación de dicha galería.

Pozo tradicional en la Cuenca detrítica de Antequera, de uso ganadero

Pozo tradicional en el cauce del Río Campanillas

Pozo tradicional en Fuente de Piedra

Pozo tradicional

Existen numerosos pozos tradicionales dispersos por toda la provincia como por ejemplo en la localidad de Fuente de Piedra o en la Cuenca detrítica de Antequera donde podemos encontrar, entre tantos, un pozo excavado empleado para la ganadería, de 10,85 m profundidad y un diámetro de 2,25 m, revestido de ladrillo y equipado con un motor eléctrico y bomba centrífuga, que capta el acuífero de arenas y gravas del cuaternario.

Por su parte en el cauce del Río Campanillas (Campanillas) el arrastre de los sedimentos aluviales por las avenidas ha dejado al descubierto casi dos metros de la obra, en su embocadura, de un pozo que explotaba su aluvial y permite observar detalles de la técnica constructiva.

Pozo tradicional en Fuente de Piedra

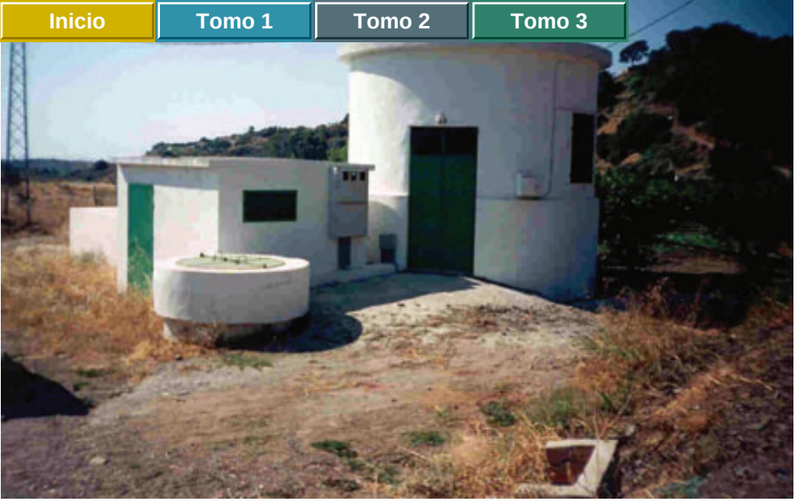
Pozo de anillos de cemento

En la localidad de Fuente de Piedra y su entorno hay diversos ejemplos de estas captaciones. Se realizan empleando el sistema de perforación a rotación introduciendo posteriormente los anillos de cemento con agujeros que permiten la entrada de agua; o mediante la excavación de un agujero con máquina retroexcavadora, la colocación de los anillos y el rellenado del entorno, equipándose con bomba de eje vertical o sumergible.

Perforación a rotación de pozo de anillos de cemento (Fuente de Piedra)

Anillos de cemento perforados (Fuente de Piedra)

Bomba de eje vertical en pozo de anillos de cemento (Fuente de Piedra)



Pozo con galería (Estepona)

Pozo de gran diámetro en Mijas

Pozos Ranney

El sistema Ranney permite aumentar la superficie de captación construyendo galerías colectoras horizontales, así se aumenta el caudal de la captación y se reduce además la velocidad media de filtración, lo que evita el peligro de colmatación de los tubos. El descenso de nivel hidrostático para igual caudal de bombeo es notablemente inferior al que se produce en un pozo ordinario. De esto resulta una economía en la potencia e instalación de los grupos de elevación y permite explotar acuíferos de poco espesor que con pozos ordinarios requeriría una diversidad de instalaciones.

Pozo con galería

En la localidad de Estepona se ubica una captación de este tipo, consistente en un pozo de 10 m de profundidad, realizado mediante excavación, que explota en todo su espesor las arenas del cuaternario del Río Padrón. Tiene una galería excavada en el fondo, orientada hacia una pequeña represa existente en el mismo Río, para incrementar su rendimiento. Está equipado con una bomba de eje horizontal, de 14 L/s de capacidad, y se emplea para el abastecimiento de dicha localidad.

Pozos de gran diámetro en formaciones costeras

En el término municipal de Mijas se ubica una captación que ilustra un pozo de gran diámetro. Se trata de un pozo excavado de 5,60 m de profundidad y 2,2 m de diámetro, revestido de ladrillo que capta el detrítico de la costa de Málaga.

Para la ejecución de los pozos Ranney se perfora el pozo central hasta la capa impermeable con los sistemas tradicionales revistiéndolo de hormigón. Sus dimensiones internas dependen de la necesidad de superficie para la perforación e instalación de los colectores horizontales y necesidades de la casa de bombas. Se dejan a una altura conveniente del fondo del pozo unos orificios cerrados con tapones que se expulsarán al introducir mediante gatos hidráulicos o sistemas alternativos los tubos perforados, de unos 200 mm de diámetro interior, que actúan como colectores horizontales. Como ejemplo de este tipo de captaciones puede señalarse los existentes en Vélez- Málaga y los ubicados en Málaga. En esta última se ubica un pozo Ranney excavado de 57 m de profundidad que capta las arenas y gravas del detrítico de Málaga. De 0 a 20 m tiene 7 m de diámetro y de 20 a 57 (reprofundización posterior) 5 m de diámetro. Tiene una bomba eléctrica sumergida con capacidad de 500 L/s y 5 motores eléctricos, empleándose para abastecimiento.

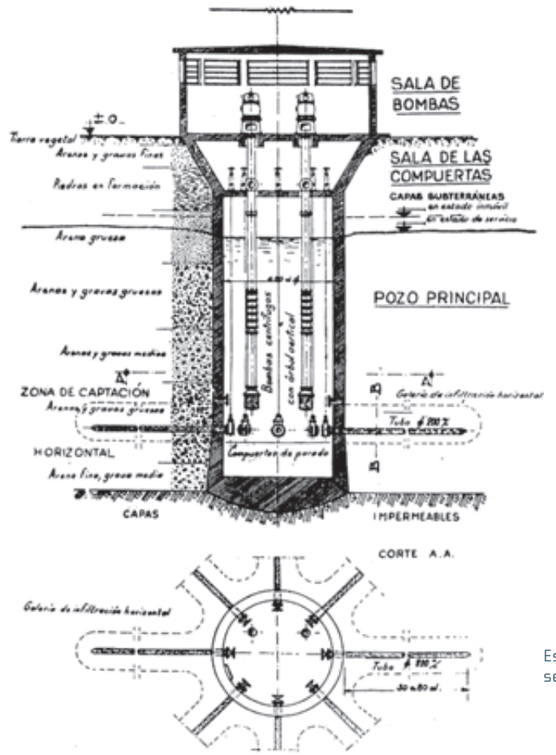
Pozo Ranney de abastecimiento a Málaga

Pozo de gran diámetro en formaciones poco permeables (Villanueva de la Concepción)

Pozos de gran diámetro en formaciones poco permeables

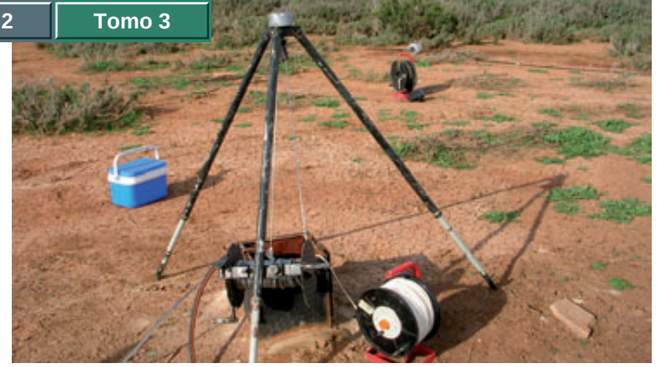
Estas captaciones son frecuentes, entre otras, en la localidad de Villanueva de la Concepción. Son pozos de gran diámetro que captan materiales del flysch del Campo de Gibraltar, empleándose habitualmente para agricultura y ganadería.

Pozo de gran diámetro (Villanueva de la Concepción)



Esquema de Pozo Ranney, según Zapata Tejedor (1953)

3.



Testificación en sondeo de investigación (Fuente de Piedra)

Sondeos de investigación

Los sondeos de investigación hidrogeológica, como los ubicados en Fuente de Piedra, permiten aumentar el conocimiento de la geometría (con levantamiento de columnas geológicas de detalle y testificación geofísica), de las características hidrodinámicas de los acuífero, así como establecer controles de seguimiento de piezometria o calidad química.

Sondeo de investigación (Fuente de Piedra)

Sondeo de investigación (Fuente de Piedra)

Sondeos de explotación

Sondeo de explotación (Benalmádena)

El sondeo de explotación ubicado en el arroyo de la Miel, a 3,5 km al noreste del núcleo urbano de Benálmadena, se emplea por el ayuntamiento de esta localidad para abastecimiento humano estando conectado por ello a un depósito de distribución cercano. Tiene una profundidad de 150 m y capta los mármoles triásicos de Sierra Blanca y Sierra de Mijas. Fue realizado a percusión con un diámetro de 600 mm de 0 a 150 m y revestido en toda su profundidad con tubería de hierro de 550 mm de diámetro y 6 mm de espesor. La profundidad del agua el 18 de diciembre de 1988, cuando aún no había empezado a bombear por estar construyéndose aún el depósito de regulación, era de 37,0 m, con una cota absoluta de 39,0 m s.n.m.. Tiene una bomba eléctrica sumergida Pleuger con una capacidad de 130 L/s.

Galería moderna

Las surgencias naturales de Guaro (Periana) drenan parcialmente el macizo carbonatado de Sierra Gorda. Sus fuertes oscilaciones estacionales de caudal dificultan su aprovechamiento. Para evaluar la viabilidad de su regulación el IGME efectuó estudios en la década de los setenta para cuantificar las disponibilidades hídricas del acuífero, su esquema de regulación y sistemas de explotación considerando como reserva regulable el agua almacenada en el sistema en los 50 m de acuífero existente por debajo del nivel de manantial.

El IGME perforó en 1977-78 un sondeo de explotación ("Sondeo antiguo") con 250 m de profundidad. Su bombeo, con un caudal de 104 L/s durante 60 horas, produjo una depresión máxima de 48 cm. Por razones de índole económica se pospuso la construcción de una galería para su regulación desde la que realizar una batería de sondeos con su consiguiente ahorro energético al reducir la altura de elevación del agua.

El IARA acometió en 1991-1992 la construcción de la galería y de otro sondeo de 255 m ("sondeo nuevo") cercano al anteriormente perforado por el IGME.

Galería moderna de Guaro (Periana)

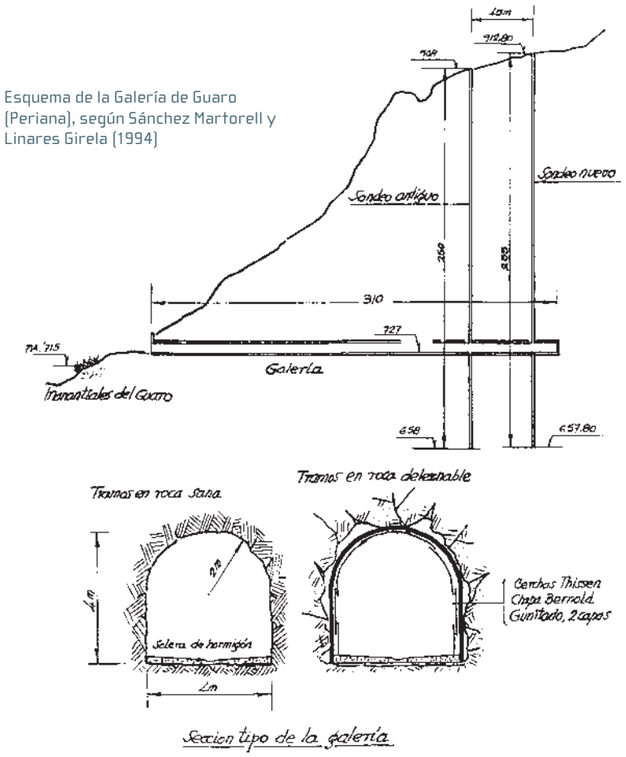
Galería moderna de Guaro en crecida (Periana)

La galería fue proyectada de modo que interceptase a los dos sondeos previamente realizados con el fin de que desde ella se pudiera realizar su explotación reduciendo notablemente los costes de energía para la elevación del agua. Una vez finalizadas la galería y el sondeo se efectuó un bombeo experimental, de julio de 1992 a octubre de 1993, que incluía dos campañas de bombeo intenso para riego y abastecimiento con estiajes especialmente prolongados y secos. Se controlaron los volúmenes extraídos de los sondeos, las precipitaciones producidas y la evolución de nivel en el acuífero, medida en los sondeos, prologándose ésta hasta que se alcanzó la base de la galería y el agua salia por ella de modo natural.

El mínimo histórico de nivel (-33 m desde la galería) se alcanzó al final del periodo de bombeo. Las lluvias de octubre de 1993 provocaron su recuperación total en 19 días retomándose el flujo natural de agua a través de la galería.

Los resultados de estas pruebas permiten conocer la extracción necesaria por cada metro de descenso piezométrico. Por lo tanto, fijando un descenso máximo del acuífero desde la base de la galería y conociendo la profundidad de la superficie piezométrica al comenzar la campaña, se puede obtener el volumen máximo que se puede bombear incrementando así mediante estas instalaciones la regulación del recurso empleado para regadío y abastecimiento.

Esquema de la Galería de Guaro (Periana), según Sánchez Martorell y Linares Girela (1994)



3.05

El agua y los pueblos de Málaga

3.05

El agua y los pueblos de Málaga

Francisco Miguel Catalán Monzón

Desde los tiempos más remotos los humanos han procurado tener siempre cerca las fuentes desde donde abastecerse de agua; el transcurso del tiempo ha hecho que los usos y costumbres, fundamentalmente de las pequeñas comunidades, se hayan ido vinculando de una manera semejante y profunda con las aguas que surgen en sus alrededores, al fin y al cabo en un primer estadio han obtenido de las mismas el sustento y con ello la vida.

No debe extrañarnos por tanto, que entorno al agua existan una serie de costumbres y ritos, las más de las veces curiosos, por desconocidos, de los que frecuentemente, los poco arraigados habitantes de la metrópoli no terminamos de comprender el sentido, y por ello nos encontramos en situación de meros turistas, incapaces de comprenderlos. Eso sí, los captamos con todo tipo de artilugios porque en el fondo llaman nuestra atención y posiblemente envidiamos sanamente a aquellos que por convicción no dudan en mostrarse tal y como son.

Estas costumbres forman parte del folclore (en lo concerniente a costumbre original), que únicamente se manifiesta en significados momentos conmemorativos, y en situaciones profundamente vinculantes para los nativos, tanto por motivaciones tristes como alegres.

De esta manera, cuando llegan momentos de incertidumbre y penuria por la falta de lluvias y antes de que aparezca la sombra de las medievales "hambrunas", hombres y mujeres se cargan las andas y sacan en rogativa a sus patronos, con objeto, no solamente de que la lluvia fertilice los campos, en el fondo también desean que las precipitaciones sean abundosas, de esta manera se recarguen los acuíferos, para que surjan de nuevo los manantiales, con lo que las aguas cubrirán las necesidades pluriestacionales de la comunidad.

En tal sentido se manifiestan en muchas poblaciones de nuestro entorno, aunque en esta ocasión quiero ceñirme a las de Antequera y la salida procesional del "Cristo de la Salud y de las Aguas" (atribuye el saber popular a esta bella imagen conocida por "El Señor" el poder de conminar a las nubes para que vacíen su contenido sobre la tierra de la vega; de hecho, en épocas de sequía se ha procesionado fuera de su tiempo para implorar su intercesión. Existe también el dicho de que moviendo al Señor llegan las aguas.); o de Alhaurín de la Torre con su San Francisco de Paula y la ofrenda del "bacalao" (en la ermita de El Alamillo, que data de 1875, se rinde culto a San Francisco de Paula, a quien los campesinos hacían rogativas de lluvia en épocas de sequía. La tradición marcaba que debía colocarse un bacalao seco bajo el santo). Y no es cuestión de la religión oficial u oficiosa, resulta tan arraigado y recurrente en nuestros pueblos que ya en la época de dominación árabe, nuestros ancestros hicieron "plegarias multitudinarias de rogativa (istisqa'), para pedir la lluvia en época de sequía".

Iglesia del Cristo de la Salud y de las Aguas (Antequera)

Mosaico del Cristo de la Salud y de las Aguas (Antequera)

Fuente de la Higuera (Álora)

Baños de la Hedionda (Casares)

Cavidades originadas al aplicar el barro en los Baños de la Hedionda (Casares)

No resulta extraño por tanto que las poblaciones vinculen sus patronazgos a advocaciones halladas o aparecidas allí donde surgen las aguas, en las fuentes o en los manantiales, tales hechos forman parte de la historia, siglos más tarde escrita tanto en Cañete la Real (fuente de Caños Santos) como en Coin o Pizarra (fuentes santas) e incluso nominen a sus vástagos con los patronímicos de las advocaciones/ manantiales de Caños Santos o Fuensanta.

En cuanto a los usos culinarios, también existen inveteradas costumbres y tradiciones, sirvan de ejemplo la realización en Álora de las "sopas perotas" que para ser auténticas han de estar aderezadas con el agua de la fuente de la Higuera, curiosas anécdotas conozco de transportarla a más de mil kilómetros con dicho fin; o la exquisitez (ampliamente publicitada por un moderno industrial panadero) de las harinas molturadas en el modernamente laureado viejo "Molino de los Corchos", movido con las aguas que brotan del manantial de Las Torres en Alhaurín el Grande.

También se celebran junto a los manantiales, los acontecimientos más gozosos y dispares, tanto solemnes como profanos, desde la romería de San Miguel junto a los manantiales de Torremolinos, o la de San Isidro a los manantiales del Alcázar de Alcaucín, o la de la Santa Cruz junto al manantial de Jorox de Alozaina o la de la Fuensanta en el manantial del mismo nombre de El Burgo; una variante singular se lleva a cabo con la procesión de Igualeja hasta el más espectacular de los nacederos del Genal, para que el patrón San Gregorio bendiga las aguas y que de esta manera sigan brotando frescas y abundantes todo el año; también junto a ellos se rememoran las reivindicaciones obreras del primero de Mayo, tanto en la fuente de la Higuera de Arriate, como en el paraje de la Sierrecilla "en medio de alegres manantiales y fuentes de frías aguas" en Humilladero.

Más adelante cuando llega el solsticio de verano, allá por la noche de San Juan, las gentes se dirigen a las fuentes, para llevar a cabo los ritos tradicionales, con objeto de cumplimentar sus creencias y buscar augurios benefactores, es el caso tanto de Cuevas de San Marcos y su "zambuquía en el pilar", en la fuente del "chorrillo" de Moclinejo, o en la fuente Albarrada de Salares, o el conocido "sanjuanear" en las Pilas de Barrionuevo de Alfarnate para con los lavados de rostro y manos conservar la belleza; también se sabe que en esa misma noche en la fuente perdida de Daimalos se celebraban pedidas de novios así como ritos de fertilidad ya en la época de dominación sarracena.

Tampoco merece desdén una arraigada costumbre que tienen los trabuqueños, todos los días del año que al paso por la plaza del Prado, no dejan de beber las aguas de su espléndida fuente varias veces durante el transcurso de sus paseos, que hacen pasar una y otra vez para colocar sus labios bajo sus broncíneos caños; resulta exquisita pero debe tener algo más que sólo los habitantes de Villanueva del Trabuco conocen. También empieza a ser significativo el peregrinar originado por súbditos extranjeros para tomar las aguas y barros de los Baños de la Hedionda en Casares, tal vez animados por el espíritu de Julio César que según cuenta la leyenda parece que fue su primer usuario foráneo y quien las recomendaba para quitar la sarna de sus legiones. En la actualidad las aguas sulfurosas de los Baños y el barro del entorno (Arcillas con Tubotumaculum) se utilizan por los lugareños con fines terapéuticos y cosméticos.

Molino morisco de Los Corchos (Alhaurín el Grande)

3.

El asunto de los noviazgos, es un tema serio para las gentes y tampoco puede escapar a los ritos acuícolas, y es que en muchas poblaciones, aún recurren a las aguas con objeto de procurar los hados favorables; tradicionalmente así se dice que ha venido ocurriendo tanto en la fuente de los Caños del Pontil de Torrox, como en la fuente de Baldeinfieno en Vélez-Málaga, Daimalos en Arenas, o en Estepona, donde hasta hace poco se vinculaban los comienzos de los noviazgos a los paseos hasta la fuente de Maria Gil de las mozas; hacia todas estas fuentes acudían las jóvenes para satisfaciendo a sus progenitores con agua fresca, tener oportunidad de ser cortejadas por los miembros del otro sexo que las acompañaban; trasnochada costumbre que podría ser descrita por cualquiera de nuestros mayores en los entornos más lejanos y dispares de la provincia o de la nación. Con espectaculares excepciones, como la de Comares, donde tras producirse un hecho penoso/luctuoso en dichos contactos, se estableció una costumbre de que los hombres no dirigen la palabra a las jóvenes que van camino de la fuente.

Algunas veces, esta fama y veneración por las aguas fue aprovechada con fines comerciales; cuando con el fin de elevar el conocimiento de un determinado núcleo, se montaron imaginarias campañas publicitarias, como la que refiere la estancia de la empreratriz Eugenia de Montijo o del rey Fernando VII "el deseado" (que tal vez nunca lo fue tanto) en los baños de Carratraca, personajes que nunca estuvieron en ellos, aunque por el hecho de "promocionar las aguas" no se dudó en emplear subterfugios como éstos.

Algo poco reglamentario hubo también de hacerse en los baños de Tolox, cuando mediado el siglo XIX, y dado lo exiguo de su caudal, se acometieron obras, en distintos años, para conducir aguas desde otros manantiales; tras la construcción del balneario en un alejado lugar, decidiéndose también aprovechar la fama que de antiguo tenían las aguas de la fuente Amargosa, añadiendo el nombre de la misma y conociéndose éste desde entonces como Balneario de Fuente Amargosa de Tolox.

Baños de Carratraca

Aunque en otras ocasiones se cae en el esperpento y en el mas estruendoso ridículo, como ocurrió en la pedanía arenusca de Daimalos donde contando con numerosos artículos de prensa convirtieron su "fuente árabe" en la "fuente del amor".

El paroxismo llega con la celebración en la coqueta población de Faraján, al sur de Ronda, en la cabecera del Genal (donde resulta necesario indicar que tradicionalmente han tenido un agua de boca de ínfima calidad, procedente del manantial de El Charco), de sendas jornadas festivas en los respectivos meses de agosto de 1991 y 2002; pues bien en el citado verano de 1991 ante la inauguración de la nueva traída de aguas (desde la fuente del Corchuelo de Chúcar), a los ediles del lugar no se les ocurrió otro motivo que el de celebrar "el bautizo del agua"; esta solemne ceremonia contó naturalmente con una madrina, que cual botadura de barco estrelló una botella en la fuente de la plaza entre vítores y aplausos, que al decir del cronista "el grifo, puro pedernal, aguantó la embestida", constituyendo todo un acontecimiento para la población.

Ayuntamiento de Faraján

Balneario de Fuente Amargosa de Tolox

Fuente de los Caños del Pontil (Torrox)

Hasta aquí nada demasiado llamativo, pero ocurre que años más tarde como la situación anterior no había mejorado, incluso por una cuestión de cantidad habían tenido que mezclarla con las deleznables aguas de El Charco (que curiosamente emergen junto a las ruinas de la vieja aldea árabe de Balastar), la situación volvió a ser insostenible, así que en el verano del 2002, los ediles (supongo que distintos, por simple cuestión generacional) decidieron afrontar de nuevo la situación casando a la joven, pues según la voz popular la "juntera" no había sido provechosa; así lo celebraron en agosto de 2002, según el cronista el novio era "vecino de Faraján, siempre ha vivido en la plaza (...) se le conoce como el Ayuntamiento", terminando la crónica "una boda especial y simbólica en la que los contrayentes, el Agua y el Ayuntamiento, harán públicos sus compromisos de cuidarse, estar juntos y ayudarse mutuamente".

No ha sabido del posterior desarrollo de tal unión, sí ha quedado sin embargo constancia de la importancia de las traídas de aguas a los pequeños núcleos urbanos, e incluso de la inauguración del nuevo edificio del Ayuntamiento (motivo real de la boda) así como de las celebraciones habidas con tales motivos; sin embargo el acto hubiese sido mucho más solemne si algún nativo hubiese rememorado las palabras del rondeño Vicente Espinel, que unos cuatrocientos años antes, como un Nostradamus cualquiera, había anunciado la intercomunicación de las aguas (que en aquél tiempo resultaba técnicamente imposible), cuando en el descanso de su "Vida del escudero Marcos de Obregón" empieza diciendo:

Hay dos pueblecillos en la Sierra de Ronda, entre otros muchos, uno llamado Balastar, y el otro -si bien me acuerdo- Chucar [ambos ya desaparecidos por entonces], entre los cuales andando un cabrero moro apacentando su ganado, apretándole la sed y no hallando agua, (...). Pero este tema será mas factible en otra ocasión.

Y es que mientras para las gentes de ciudad el agua apenas es algo más que el fluido que surge cuando se le da un pellizco/retortijón al artilugio de la pared, en las pequeñas comunidades las aguas dan para mucho mas de lo que parece, y en ellas se sabe y se vive mucho, de y en ello.

3.06

Los acueductos de la provincia de Málaga

3.06

Los acueductos de la provincia de Málaga

Francisco Miguel Catalán Monzón

Con objeto de facilitar la subsistencia, desde los tiempos más antiguos, los asentamientos humanos se ubicaron siempre en las inmediaciones de las aguas, aunque con el transcurso del tiempo la erosión haya hecho fluctuar tanto los cursos superficiales como los caudales que aportan.

Así han venido cambiando y profundizando los cauces, menguando los caudales o desapareciendo las surgencias, hasta el punto de modificar sensiblemente las condiciones de suministro en el punto de toma de aguas; cuando estas circunstancias ocurrieron en núcleos relativamente grandes, bien por fallo en el suministro o a causa de un sensible aumento de población, sus moradores tuvieron que avivar el ingenio recurriendo a considerables dispositivos de conducción de las aguas desde lugares cada vez más alejados de las urbes.

Para solucionar el problema, la civilización romana desarrolló técnicas en las que alcanzaron una sorprendente habilidad, se trata de los acueductos, monumentales proyectos con los que acercar las aguas a los usuarios, tal y como los hicieron tanto en Segovia (desde el manantial de la Fuenfría), como en Tarragona (desde el Río Gayá hasta las Ferreras) ó Mérida (acueducto de los Milagros desde la presa de Proserpina, o el acueducto de San Lázaro desde la presa de Cornalvo), por no mencionar sino los más conocidos de los que se levantaron sobre las tierras de Iberia.

Acueducto de Cártama

Bien es verdad que en la provincia de Málaga no se conocen obras tan colosales, aunque desde luego sí que pueden admirarse los restos de ejemplares mucho más sencillos, no por ello menos eficaces, pertenecientes también a aquella civilización, como son los que todavía pueden observarse en Ronda (acueducto desde la fuente de la Arena hasta El Predicatorio en el Barrio de San Francisco), Casares (desde la fuente Grande de Matagallar hasta la antigua ciudad de Lacipo) ó Cártama; por las citas literarias se sabe de otros que ya desaparecieron, en Málaga (fuente del Rey-Huerta del Correo), Antequera (arroyo del Alcázar-Singilia), Alhaurin el Grande (cercano a la fuente Lucena) o en Carratraca; e incluso algún otro que intuyo cuyos vestigios aparecerán algún día, para dar gloria al lugar por donde debe discurrir.

Además de los más vetustos, conviene rescatar aquí y ahora, los humildes pero eficientes sistemas de conducción y reparto de las aguas que desde la época árabe todavía riegan los bancales en muchos de los términos de nuestra provincia, como los existentes en Algarrobo, Alpandeire, Antequera, Árchez, Canillas de Albaida, Cañete la Real, Carratraca, Coin, Cómpeta, Faraján, Frigiliana, Istán, Júzcar, Mijas, Ojén, Teba, Torrox, Yunquera, etc.

Los restos de otros ejemplares de los siglos XVI a XIX también pueden contemplarse a lo largo y ancho de nuestro ámbito provincial, sobre todo alrededor de las grandes agrupaciones humanas: Málaga, Antequera, Ronda, Marbella, etc. Al objeto de ordenar su descripción se relacionan a continuación por orden de antigüedad, expresando también el punto cardinal de procedencia de las aguas.

Antequera (este)

El más antiguo acueducto de la ciudad del Torcal traía las aguas desde el arroyo del Alcázar. Se construyó en 1544 por el maestro rondeño Illán Sancho de Toledo, en la actualidad solamente se utiliza para regadío.

Ardales

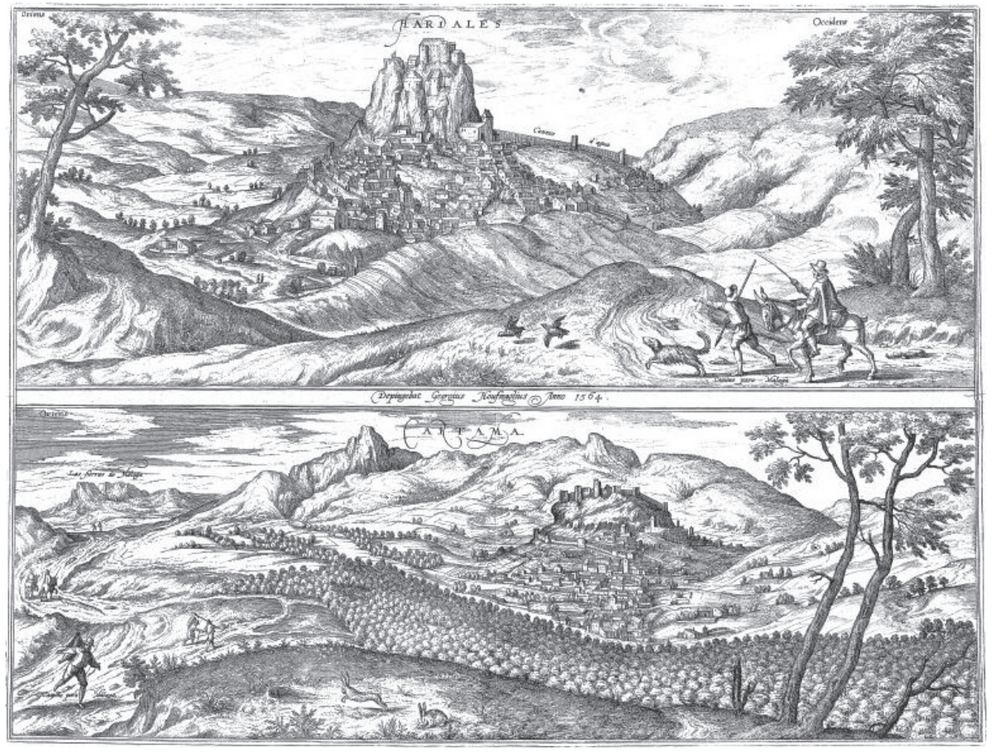
En una vista panorámica de la población del año 1564 (grabado de Joris Hoefnagle para el Civitatis Orbis Terrarum), se puede ver un "canno de agua", que desde la vecina sierra de Alcaparain traía las aguas para el abastecimiento de la villa; hoy numerosas casas apoyan los muros sobre sus restos.

Antequera (suroeste)

Acueducto de la Magdalena construido en el siglo XVI, no obstante se mantiene en perfecto estado de funcionamiento, pues cuando ocasionalmente el manantial de los Bombillos drena el acuífero, todavía es capaz de aportar su exiguo caudal al abastecimiento de la ciudad de los Narváez.

Málaga (oeste)

El acueducto de las aguas de la Trinidad, que traía las aguas desde las minas del Almendral del Rey y del arroyo de la Culebra, en lo más alto de Teatinos, hasta la alcubilla de la Granja Suárez y desde ésta a la de la plaza de Montaño; estuvo en funcionamiento desde el siglo XVI hasta que a finales del XIX hubo de abandonarse por la colmatación progresiva de sus tuberías. A causa de transcurrir su trazado por una zona de expansión actual, está siendo desmantelado poco a poco por las obras de urbanización en la zona intermedia de su recorrido. En la segunda mitad del siglo pasado aunque se derribaban los vestigios y escondían sus epígrafes, al menos se respetó su trazado, dando lugar a la calle más angosta de la capital, aquella en la que se emplazaba la alcubilla de la Granja de Suárez, se trata de la hoy denominada Sierra de Almaden, a la que por cierto, como muestra de recuerdo a su origen bien pudiera cambiarse su actual denominación, a la vez que de alguna manera se volviera a emplazar la inscripción alegórica que se ocultó no ha mucho tiempo, en alguna dependencia municipal.



Grabados de Joris Hoefnagle (extraída del Archivo Díaz de Escovar, Fundación Unicaja)

Arquilla de control del acueducto de la Magdalena (Antequera)

Restos de la conducción del acueducto de la Magdalena (Antequera)

3.

Inscripción del acueducto de Marbella (Norte)

Detalle de la inscripción del acueducto de Marbella

Marbella (norte)

En 1632 se terminó la traída de aguas desde el manantial de Puerto Rico hasta la alcubilla que da lustre a la fachada del ayuntamiento, el urbanismo irrespetuoso con el patrimonio va haciendo desaparecer poco a poco tanto el trapiche que durante los siglos XVII y XVIII movían sus aguas, así como los escasos tramos que todavía perduran en la zona del hotel Don Miguel.

Málaga (suroeste)

Era un proyecto en el que había puestas muchas esperanzas, comenzado en 1726 para traer las aguas desde la fuente del Rey de Churriana, se hizo llegar hasta el Guadalhorce en 1733, aunque el poder fáctico de los terratenientes de la vega, que facilitaron su transcurso por la margen derecha, nunca permitieron su paso hasta la margen izquierda del Río; desbaratando con ello tanto el paso elevado y seguro sobre el Río, como los molinos que se iban a instalar sobre el trazado de la margen izquierda, antes de la ciudad.

Acueducto de Ronda (este)

condes de Casa Chaves, sobre el barranco de la Coladilla (ó de Maro). Por encima de sus 37 arcos de medio punto superpuestos en cuatro pisos todavía circulan las aguas del caudaloso manantial de Maro, que desde finales del XIX fueron capaces de poner en movimiento las pesadas mazas que molturaban la caña de azúcar en la vieja fábrica de San Joaquín en el pago de las Mercedes, el cese del proceso fabril facilitó la fertilización de las tierras adyacentes; lástima que el impacto ambiental generado por la moderna autovía haya eclipsado la bella postal que desde la fachada septentrional del mismo podía admirarse, sirviendo de carta de presentación de la villa de Nerja.

Acueducto de San Telmo (Málaga)

Aunque el más monumental y notable de todos ellos, que sirvió para abastecer a la ciudad de Málaga a finales del siglo XVIII, con sus casi 11 km y 30 puentes fue la obra más significativa de la ingeniería hidráulica del siglo de las luces. Hoy va feneciendo entre las edificaciones de la mal denominada Ciudad Jardín, que aun contando con que el más hermoso medio de irrigación pasaba dominando sus tierras, no supo utilizarlo sino destruirlo, para especular ocupando paulatinamente los terrenos de su dominio.

Benalmádena (Arroyo de la Miel)

En las casas de La Tribuna todavía se reconocen restos del acueducto que en 1784 mandó construir el italiano Félix Solesio, para llevar las aguas del manantial del Cao (hoy San Fernando) hasta los molinos de papel, donde se preparaba la pasta de papel para los naipes que con destino a las américas, se fabricaban con exclusividad en Macharaviaya.

Málaga (sur-suroeste)

Las necesidades de abastecimiento de la capital hicieron valer los derechos otorgados por los Reyes Católicos a la metrópoli sobre las aguas de los manantiales de Torremolinos, acabando con la industria molinera que dio origen a la población; una primera traída de las aguas se llevó a cabo en 1876 y cincuenta años más tarde la segunda, con lo que la Málaga de finales del siglo XIX y principios del XX tuvo por fin agua en cantidad y calidad.

Ronda (este)

Construido en 1799 para abastecer al barrio del Mercadillo desde las manantiales de Coca-Hidalga, al igual que en el caso del acueducto de la fuente de la Arena, fue destrozado por el ejército francés de ocupación; se reconstruyó en 1867 y aunque hace muchos años que no funciona, todavía pueden verse los restos de sus arcos en la salida norte de la ciudad, sobre el FF.CC. en el km 2 de la carretera de El Burgo.

Acueducto del Águila (Nerja)

El más difundido de todos, por las casi infinitas instantáneas que los turistas plasmaron dándolo a conocer por todo el mundo, fue creado con fines agro-industriales. Se trata del acueducto del Aguila (Nerja) que fue construido por el alarife Francisco Cantarero (1879-1880), por mandato de los marqueses de Tous y

Acueducto del Águila (Nerja)

3.

Se trata del acueducto de San Telmo, que gracias al ímpetu de unos turolenses de finales de la Ilustración, distribuyó las aguas derivadas del Guadalmedina por toda la ciudad a cambio de acudir hasta alguna de las cercanas y numerosas fuentes o caños con que se dotó el abastecimiento urbano. Y es que desde 1782, con los caudales que el cabildo catedralicio tenía previstos para la terminación de las obras de la catedral, y más adelante con los propios del obispo, fueron desviados por su titular Don José Molina Lario Navarro, para patrocinar el arte constructivo del arquitecto José Martín de Aldehuela, que unido a la organización-planeamiento del canónigo Ramón Vicente y Monzón Moreno (tres turolenses que coincidieron en Málaga en la misma época, por deseo expreso del primero de ellos, aunque no para este fin), llevaron a feliz término la traída de las aguas en septiembre de 1784 por medio de un tubo oculto en la conducción de unos 20 cm. de diámetro.

La finalización del proyecto en 1785, haciendo llegar el líquido elemento hasta las fuentes de la plaza de la Merced (6 de agosto), plaza del Obispo y Alcazaba (29 de agosto), puerta de la Caba en la actual calle Cañón (3 de septiembre) y hasta la plaza Mayor, Puerta del Mar, explanada del embarcadero y aguada del Puerto (7 de septiembre) constituyeron el mayor regalo -al decir de un amigo- que se ha hecho jamás a la mujer malagueña, aproximando el agua a las viviendas que diariamente tenían que abastecer, con el ancestral acarreo de cántaros y búcaros; al propio tiempo las aguas -conducidas por el canal superior- fertilizaban numerosas huertas mucho más elevadas que el río, proporcionando también fuerza motriz a los molinos de San Telmo, con objeto de que Málaga no volviese a quedar desabastecida cada vez que periódicamente el Guadalhorce se desbordaba, no pudiendo por ello llegar a la urbe el pan tradicionalmente tahonado para los habitantes de la capital en las septentrionales faldas de la Sierra de Mijas.

Hoy, los más o menos maltrechos puentes sobre los arroyos de Humaina (emparedado entre dos viaductos, por arte de nuestra necesidad de vías rápidas), Hondo (escondido cerca de los Molinos de San Telmo, con una vista espectacular, propia de latitudes mucho más septentrionales) y de Quintana (con sus horrendas aunque salvadoras "muletas") y la inclinada arca final de la calle Refino (conocida popularmente por su utilización de matiz cofradiero), todavía muestran orgullosos el poderío arquitectónico que representaron en los últimos años del reinado de Carlos III; el problema radica en disfrutarlo, antes de que "el progreso" acabe con tan espectacular a la vez que emblemática construcción.

Detalle del acueducto de San Telmo en los Montes de Málaga

Acueducto de San Telmo en los Montes de Málaga

Acueducto de San Telmo en Ciudad Jardín, Málaga

3.07

Leyendas del agua en las cuevas malagueñas

3.07

Leyendas del agua en las cuevas malagueñas

José Antonio Berrocal Pérez
Loreto Wallace Moreno

Introducción

Desde que el hombre, durante la Prehistoria, buscó refugio en las cavernas a causa de las inclemencias del tiempo, de una manera u otra se ha sentido atraído hacia esos lugares subterráneos donde todo lo misterioso y lo numinoso podía tener lugar.

En ellas se ha habitado, sobre todo en los lugares más cercanos al exterior, pero también se han utilizado como lugar de enterramiento. Para ello se aventuraron por sus galerías a considerable distancia de la entrada, a la luz de sus antorchas. Ese mundo oscuro y silencioso, tan diferente al del exterior, debió despertar en ellos encontrados sentimientos.

Los relatos de tipo fantástico, entre ellos los relacionados con las cuevas, aparecen desde muy temprano en la literatura universal. En un principio se transmitirían por vía oral, a través de los poetas, de los viejos, de los ciegos que iban de pueblo en pueblo... No es hasta 1850 cuando se utilizará la palabra "leyenda" en el sentido de sucesos tradicionales a los que se les ha mezclado más o menos fantasía. A partir de este momento se va a producir una intensa labor de búsqueda de estos relatos por parte de los folkloristas. En España, Vicente García de Diego publicará una buena muestra de leyendas españolas en su "Antología de las leyendas de la literatura universal" en el año 1953.

Las Leyendas acerca de cuevas son un aspecto muy concreto y especial dentro del mundo del folklore. Por su situación, están muy relacionadas con todos los elementos de la naturaleza. El agua, como tal, aparece en muchas de ellas.

Una de las más antiguas creencias la conocemos a través de Platón. Este filósofo pensaba que todas las aguas continentales procedían del Océano. El regreso de las aguas al mar se hacía a través del Tártaro, sima de dimensiones prodigiosas por debajo de la cual estaban las raíces de la Tierra y del Mar.

Igualmente son muy abundantes las historias en que las sitúan como moradas de seres sobrenaturales, muchos de los cuales habitan en los lagos y ríos subterráneos.

Aquí vamos a reseñar las que tienen relación con el territorio malagueño y con el agua: elemento vital para la vida y que ha sido también el origen de un interesante y complejo mundo subterráneo.

Surgencia de la Fuente-Quebrada

Esta surgencia se encuentra en el término de Casarabonela. Existe la creencia entre los habitantes del pueblo de que la fuente es la marca de agua de toda Andalucia, y es considerado nefasto en aguas y en suerte, para toda la región, el año que no brota. Que tengamos constancia ha brotado las dos últimas veces en 1968 y en enero de 1977.

Entorno de la surgencia de la Fuente-Quebrada (Casarabonela)

Cueva del Agua

Esta leyenda es recogida por el historiador malagueño Diego Vázquez Otero en su libro "Tradiciones Malagueñas". Dice haberla oído en varios pueblos con ligeras modificaciones. En resumen, trata del castigo ejemplar que una aldea insignificante dio a un ambicioso pastor moro.

Vicente Espinel ya la mencionaba en su libro "El Escudero Marcos Obregón" en el Descanso 14, y cuenta que su amigo Don Juan de Luzón se la refirió. Espinel hace intervenir en ella a sólo dos pueblos: Balastazar y Chúcar, ya desaparecidos, aunque son en realidad tres los pueblos que, supuestamente, reciben las aguas procedentes de la gruta, y que son Balastar, Júzcar y Pandeire.

Moretti también la refiere en su "Historia de la muy noble, muy leal ciudad de Ronda", pero el protagonismo lo hace recaer en un personaje llamado Tajarillo.

Mosaico de bienvenida al municipio de Júzcar

La versión recogida por Diego Vázquez dice así:

"Hay tres pueblecitos en la sierra de Ronda: Balastar, Júzcar y Pandeire, entre los cuales andaba un cabrero musulmán apacentando su ganado. Apretóle la sed y no hallando agua ni señal donde pudiera haberla, desapareciósele un perro, y al cabo de algún tiempo vino mojado todo y muy contento; coleando al amo y haciéndole muchas fiestas. Extrañado de aquello el cabrero, le dio muy bien de comer y lo ató aguardando a que le tornase la sed, diligentísima despertadora de la pereza. Atóle un cordel y dejole ir, y siguiendo el amo, fue saltando matas, rasgándose las manos y el rostro y siguióle con todas estas dificultades hasta que en unas grandes espesuras se adentró por la boca de una cueva que por debajo de altos riscos estaba naturalmente hecha, con algunos resquicios que le daban luz que había menester. En medio de la cueva había un clarísimo arroyo que se dividía en tres partes: bebió el moro e hinchó su zaque y admirado de la novedad, dio en una traza, a su parecer buena, que después le costó la vida; y fue que atajó con unas piedras dos de aquellos arroyos, echando toda el agua por una parte para ver al día siguiente a donde iba a parar.

Fuese a su ganado y averiguó al día siguiente que había faltado el agua en Júzcar. El moro que sabía el secreto fuese al pueblo diciendo que si se lo pagaban bien, les daría su agua y otra tanta más, y contó el caso como había sucedido.

El poco tiempo que les faltó el agua los obligó de manera que le dieron doscientos ducados porque les diese su agua y parte de la de los otros pueblos. En recibiendo su dinero fue a la cueva y soltó el agua por aquella parte en mayor cantidad. Viéndose con su agua tan crecida, conociendo la inconstancia y codicia del cabrero, antes que los de Balastar y Pandeire le corrompiesen con esperanza de mayor interés acordaron los de Júzcar darle garrote, quedándose con la mayor parte del agua y el moro sin vida, sin que hasta hoy se haya sabido en qué parte está el secreto del célebre manantial ni el lugar en que se bifurca. En la actualidad se ven rastros de que en algún tiempo llevó el agua otra dirección, por la guijas y piedras que la manifiestan".

Así refiere la leyenda narrada por Vázquez Otero, que a su vez la tomó del poeta y músico Vicente Espinel, y que procedía de la tradición popular.

Cueva de la Pitilla del Perro

Esta leyenda nos la contaron personalmente en un bar del pueblo de Cartajima.

Se refiere a un pastor que apacentaba su ganado en los montes de la Sierra del Oreganal, en los que el agua escasea, Un día, hallándose bajo un sol abrasador, su perro se alejó, volviendo al rato muy alegre, con síntomas de haber aplacado su sed en algún lugar. Por más que intentó dar con el sitio no lo logró, ya que no conseguía que el animal lo llevara hasta allí.

Esto se repitió varias veces, ya que en una hora del día el perro desaparecía en un momento de descuido, reapareciendo un vez calmada su sed. El pastor decidió de una vez por todas aclarar el misterio. Un dia ató al animal al tronco de un árbol, no dándole de beber en toda la mañana. Al mediodía, cuando el sol más quemaba, lo soltó y se dispuso a seguirlo sin que se apercibiera de ello.

Y así fue cómo descubrió que se dirigía hacia la parte baja de una roca, y al asomarse encontró una pequeña poza de agua fresquísima. Este lugar nos fue mostrado, y en él beben los pastores y cazadores durante todo el año, aún en los meses de verano.

Vista del municipio de Cartajima

3.

Cueva de Belda

Acerca de esta cueva, situada en las cercanías del pueblo de Cuevas de San Marcos, se narran desde muy antiguo unas historias relacionadas con un personaje siniestro que en ella tenía su morada. Diego Vázquez Otero la recoge y dice así:

"En la cañada donde hoy se asienta el pueblo de Cuevas de San Marcos, entre los cerros Toscares y Martillo, al pie de la sierra El Camorro, en las estribaciones de la de Archidona, se emplazó antiguamente una ciudad romana: la rica Belda, núcleo importante en aquel entonces.

Afirma la tradición que los moradores de la expresada ciudad, apercibidos de los robos y atropellos que venían cometiendo los vándalos, uno de los pueblos germanos que destruyeron el imperio romano de Occidente, acordaron ocultar sus joyas y tesoros en la gruta que aún se conoce con el nombre de Belda, para librarlos de la rapacidad de aquellas hordas feroces.

Muertos o desaparecidos los habitantes de la famosa ciudad, quedaron los tesoros encerrados en la cueva. A su busca se vienen entregando los hombres desde entonces, pues no faltan en nuestros días quienes se esfuerzan en cavar y remover la tierra, soñando encontrar el oro y las joyas depositadas en aquellos ámbitos que dieron cobijo al propio Lucifer, considerado su dueño.

Entrada a la Cueva de Belda (Cuevas de San Marcos)

En torno a esta cueva lóbrega y misteriosa, que doselan caprichosas estalactitas, se han urdido infinidad de leyendas como la que refiere que, al descubrir los tesoros, tras penosos trabajos, en el momento de ir a posesionarse de ellos, al tocarlos, quedaban convertidos por arte diabólico en renegridos carbones.

Hacia 1650 empieza a correr en Cuevas de San Marcos la leyenda acerca de un misterioso personaje enlutado, de barbilla puntiaguda y mirar siniestro, que se dejaba ver en los más apartados rincones de aquellos lugares: labradores y arrieros lo habían visto en la cañada de Prado Hondo, Huertas del Torbiscal, en el camino de Antequera y en el de Iznájar, y hasta más de un pastor lo vio caminar cruzando las sierras del Malnombre y Peñas Altas.

Antes de estas apariciones sólo se le había visto en la gruta de Belda, de la que no salía, siendo el encargado, según opinaban todos, de custodiar y vigilar los tesoros que en su seno guardaba. También se hablaba de que este personaje en cierta ocasión pagó al barquero para cruzar el Río Genil con varias monedas de oro, y cual no sería el asombro de aquél cuando encontró más tarde las monedas convertidas en trozos de carbón.

Se oía contar que más de una vez, al sonar la primera campanada de la queda, a la medianoche, la cueva se iluminaba con una luz extraña, y se percibían gritos horribles y aullidos infernales. Entonces se le veía andar de un lado para otro, ejecutando conjuros y evocando a los espíritus malos para celebrar aquelarre.

Cierto día, al caer la tarde, unos guerreros cristianos de los que combatían a los moros en la frontera, se equivocaron de camino y, extraviados en aquellas sierras, fueron a acampar para pasar la noche en la entrada de la cueva. A medianoche vieron aparecer en ella un dragón horroroso, al tiempo que salía del antro gran cantidad de humo que oscureció la luna que brillaba en medio del firmamento. Llenos de espanto, huyeron despavoridos, a pesar de haber probado en combates su valor y fiereza.

De vuelta al Real, pusieron el hecho en conocimiento del capellán, un frailecito de la orden de Santo Domingo, muy inteligente y animoso. Al día siguiente ordenó a los que habían presenciado el hecho que le acompañaran a la cueva a la medianoche, con el fin de atar al diablo y conseguir ahuyentarlo para siempre de aquel lugar. Los soldados, no sin algún recelo, pero alentados por el valor del capellán, le acompañaron hasta cosa de un tiro de bala de arcabuz de la entrada de la gruta, a la que se dirigió sola, precisamente en los momentos en que la torre de la iglesia dejaba caer la primera campanada de la queda.

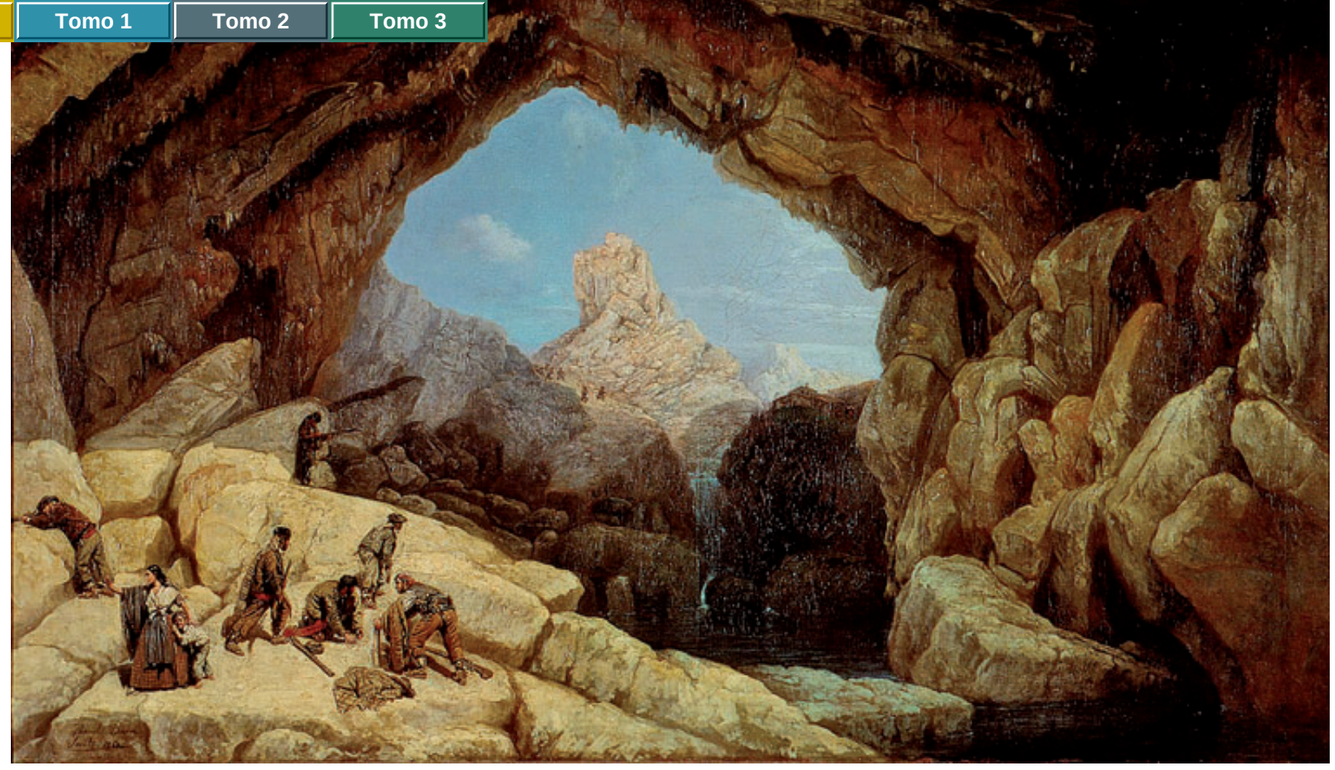
Interior de la Cueva de Belda (Cuevas de San Marcos)

Apenas se extinguió la vibración metálica, el personaje enlutado encendió un hachón verde y a su luz púsose a leer en un mamotreto enorme. Poco después, separó la vista de los pajizos pergaminos, pronunció unas palabras, trazó en el aire unos signos cabalísticos y, de súbito, apareció en el suelo de la oquedad como un lago de fuego que la iluminó toda con un resplandor siniestro, como luz de azufre. Al mismo tiempo, comenzaron a volar sobre el lago en llamas murciélagos gigantescos y a salir serpientes de todos los tamaños que se retorcían y enroscaban en las columnas petrificadas. El enlutado mismo desapareció convertido en uno de aquellos repugnantes reptiles.

El fraile, de cuerpo pequeño, pero de alma grande y templada, no se arredró. Pronunció fervorosamente el nombre de Jesús y penetró resueltamente en la cueva, sin que el fuego del suelo quemase sus pies. Sacó la cruz que llevaba oculta en el pecho. Al elevarla apareció nimbada de vivísimo resplandor celestial, colocándola después sobre un montón de tierra que tenía la forma de un ara, en donde crecían unas flores amarillas que anudó para significar simbólicamente que el diablo quedaba vencido en aquella batalla y atado a los pies de la cruz de Cristo.

Al instante oyese en el interior una explosión formidable que hizo retemblar la tierra. El fuego del suelo desapareció, quedando convertido en un lago de aguas cristalinas, que aún existe, y quedando el recinto iluminado del resplandor de la cruz, cuya sola vista hizo huir a los malos espíritus que no volvieron a presentarse en la gruta.

De entonces data la costumbre de los vecinos de Cuevas de salir al campo todos los años en la festividad de San Marcos el veinticinco de abril, para atar al diablo. La sencilla ceremonia consiste en echar un nudo en los jaramagos, a la sazón en plena florescencia, y consumir a continuación una abundante y suculenta merienda, todo ello bajo el azul de un cielo radiante".



"Bandoleros en la Cueva del Gato", obra de Barrón y Carrillo

La Cueva del Gato

Esta cueva, conocida desde siempre por los habitantes de estas sierras debido al gran tamaño de sus dos bocas, ha sido utilizada desde épocas muy remotas, como la prueba la cantidad de restos cerámicos neolíticos y del Bronce que se han hallado en su entrada en diversas excavaciones.

Francis Carter, infatigable viajero británico del siglo XVIII, en su conocido libro "Viaje de Gibraltar a Málaga" reseña una leyenda relacionada con ella y que dice textualmente:

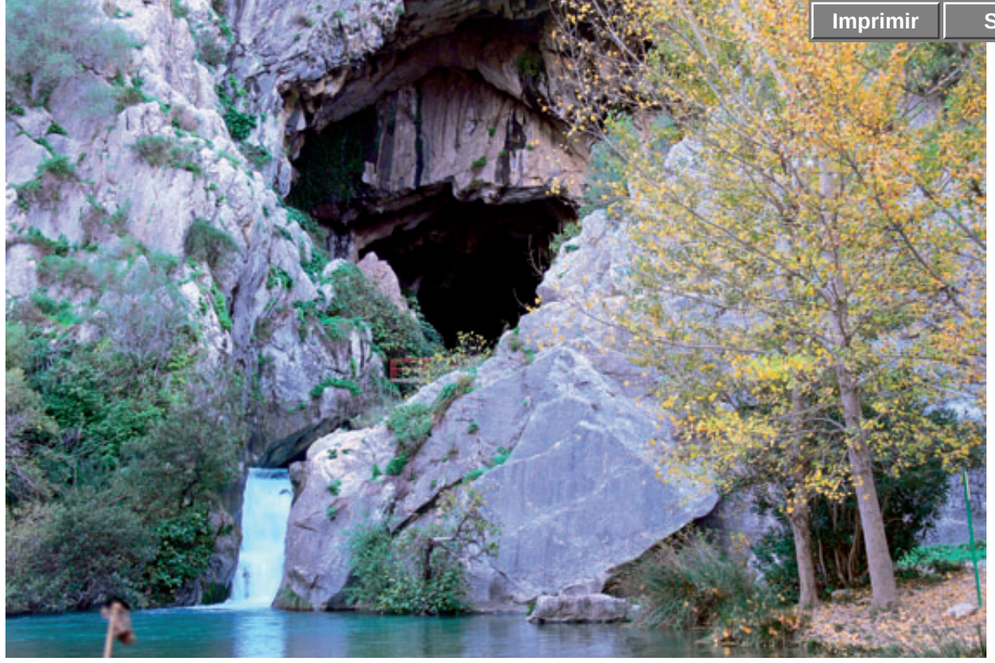
"La Cueva del Gato merece el primer puesto entre las maravillas de la Serranía de Ronda: tiene casi una legua de larga y una altura increíble; el Río Guadiaro, como ya he dicho, corre en su interior, añadiéndosele una corriente considerable que nace en esta misma cueva; sin embargo hacia finales de año se puede entrar, puesto que entonces el río está más bajo; cuando estuve en Ronda, en el mes de Mayo, se podía penetrar; los que por curiosidad habían entrado hasta donde pudieron me aseguraron que habían penetrado un cuarto de legua cuando tuvieron que detenerse ante un profundo lago, en cuyas orillas se veían las ruinas de un gran edificio, del que todavía quedaban en pie el portal y parte de las paredes; entre los del lugar corre el rumor de que este edificio era un templo dedicado a los dioses infernales".

Esta historia, que corría entre los lugareños, vuelve a ser mencionada por otro inglés, William Jacob, en su libro "Travels in the south of Spain" (Londres, 1811) en su visita a Ronda.

Es de especial interés el que por primera vez se hace mención al recorrido subterráneo del Río Guadiaro a través de la montaña. Jacob termina así su escrito sobre la cueva: "El final de esta cueva está a unas cuatro millas de su comienzo, donde el Guadiaro vuelve otra vez a hacerse visible, y continúa su curso por Algaucín hasta llegar al mar Mediterráneo".

Más adelante, en 1.838, el capitán Rochfort Scout, en su libro "Excursions in the mountains of ronda and Granada, with caracteristic sketches of the inhabitants of the south of Spain" describe estas ruinas, pero atribuyéndolas a una época romana y no a un templo de los dioses.

En el siglo XIX la cueva sirvió de refugio a los bandoleros que asolaban la Serranía de Ronda. El pintor sevillano Barrón y Carrillo lo reflejó en su óleo titulado "Bandoleros en la Cueva del Gato".



Cueva del Gato (Benaoján)

Cueva de Toma y Bebe

Esta cueva, de pequeño tamaño, se halla situada en la parte alta de la Sierra de Camorolos, sobre el pueblo de Villanueva del Rosario. Allí nos narraron el relato siguiente, que se cuenta con ligeras diferencias en varios pueblos de la zona:

"Se cuenta que cierto día un pastor de la zona se encontraba en el interior de la cueva saciando su sed con el agua de una poza que en ella se conserva, incluso en los meses de verano y en aquellos años en que llueve poco. En eso estaba cuando oyó un ruido en el exterior y se percató que alguien se disponía a entrar.

Con esa precaución eterna que tienen estos lugareños, el pastor se escondió en un recodo de la sala para controlar mejor al visitante. El recién llegado no encontró con facilidad el jarrillo que solía haber en el lugar para uso común de todos los que allí llegaran, y andaba trasteando de un lado a otro en la penumbra a la que sus ojos no se terminaban a acostumbrar.

El pastor que permanecía agazapado en la oscuridad, al ver tan cómica situación, se limitó a alargar la mano con el jarrillo, al tiempo que decía "Anda, toma y bebe". El otro que no lo identificó, se asustó de semejante aparición, y retrocedió hacia la salida con tal ímpetu, que se dio un fuerte golpe en la cabeza causándole al instante la muerte".

Hay otra versión de esta historia que dice que el hombre salió espantado de la cueva y corrió hacia el pueblo de tal forma, que murió a los pocos minutos de contar que en una cueva de la sierra se había topado con el mismo diablo.

Segunda Parte

Vertiente ambiental de las aguas subterráneas

3.08

Los espacios naturales protegidos de la provincia de Málaga

3.08

Los espacios naturales protegidos de la provincia de Málaga

África de la Hera Portillo

En Málaga, la preocupación por la protección de la naturaleza es un hecho asumido desde hace mucho tiempo atrás, dentro de las actividades emprendidas por la Junta de Andalucía en materia de medio ambiente. No en vano, el Parque Natural de la Sierra de Grazalema es uno de los representantes más antiguos de esta protección (declarado Reserva de la Biosfera desde 1977).

La legislación existente para la protección de los espacios naturales protegidos es muy amplia y abarca ámbitos internacionales, nacionales y autonómicos. En el ámbito internacional, la normativa que afecta a los humedales andaluces incluye el programa Man and Biosphere, de la UNESCO, bajo cuya jurisprudencia se declaran las denominadas "Reservas de la Biosfera" y de las que hay dos representantes en la provincia de Málaga: la Sierra de Grazalema y la Sierra de las Nieves y su entorno. También en el marco internacional, a escala europea, existen dos importantes directivas ambientales que afectan a los espacios naturales protegidos. Se trata de la Directiva Aves (79/409/CEE del Consejo de 2 de abril de 1979, relativa a la conservación de las aves silvestres) y de la Directiva Hábitats (92/43/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres). La primera de ellas, reconoce las llamadas Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPAs). La segunda permite identificar las denominadas Zonas de Especial Conservación (ZEC) y los Lugares de Interés Comunitario (LICs). Ambas figuras integran la red Natura 2000, red ecológica europea que identifica una serie de Zonas de Importancia Comunitaria (ZIC) en función del ámbito biogeográfico. Málaga forma parte de la ecoregión mediterránea.

Las Zonas Especialmente Protegidas de Importancia para el Mediterráneo (ZEPIM), son zonas protegidas internacionalmente en el marco del Convenio de Barcelona en 1976, por el Protocolo sobre las Zonas Especialmente Protegidas y la Diversidad Biológica del Mediterráneo, de 1995. Se trata de áreas marinas y costeras que garantizan la supervivencia de los valores y recursos biológicos del Mediterráneo al incorporar los hábitats mediterráneos más representativos y las áreas mejor conservadas. En el caso de la provincia de Málaga, la propuesta relativa a ZEPIM corresponde exclusivamente al Paraje Natural de los Acantilados de Maro-Cerro Gordo.

La trasposición de la legislación internacional en materia de espacios naturales protegidos, a la legislación nacional, se refiere básicamente a la Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Protegidos y de la Flora y Fauna Silvestres. Esta ley estatal establece cuatro categorías de protección: Parques, Reservas naturales, Monumentos naturales y paisajes protegidos. A su vez, su adaptación a la legislación autonómica, corresponde a la Ley 2/1989, de 18 de julio, por la que se aprueba el inventario de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía y se establecen medidas adicionales para su protección, que da lugar a la creación de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía (RENPA). La Comunidad Autónoma de Andalucía añade tres nuevas categorías de protección: Parajes Naturales, Parques Periurbanos y Reservas Naturales Concertadas.

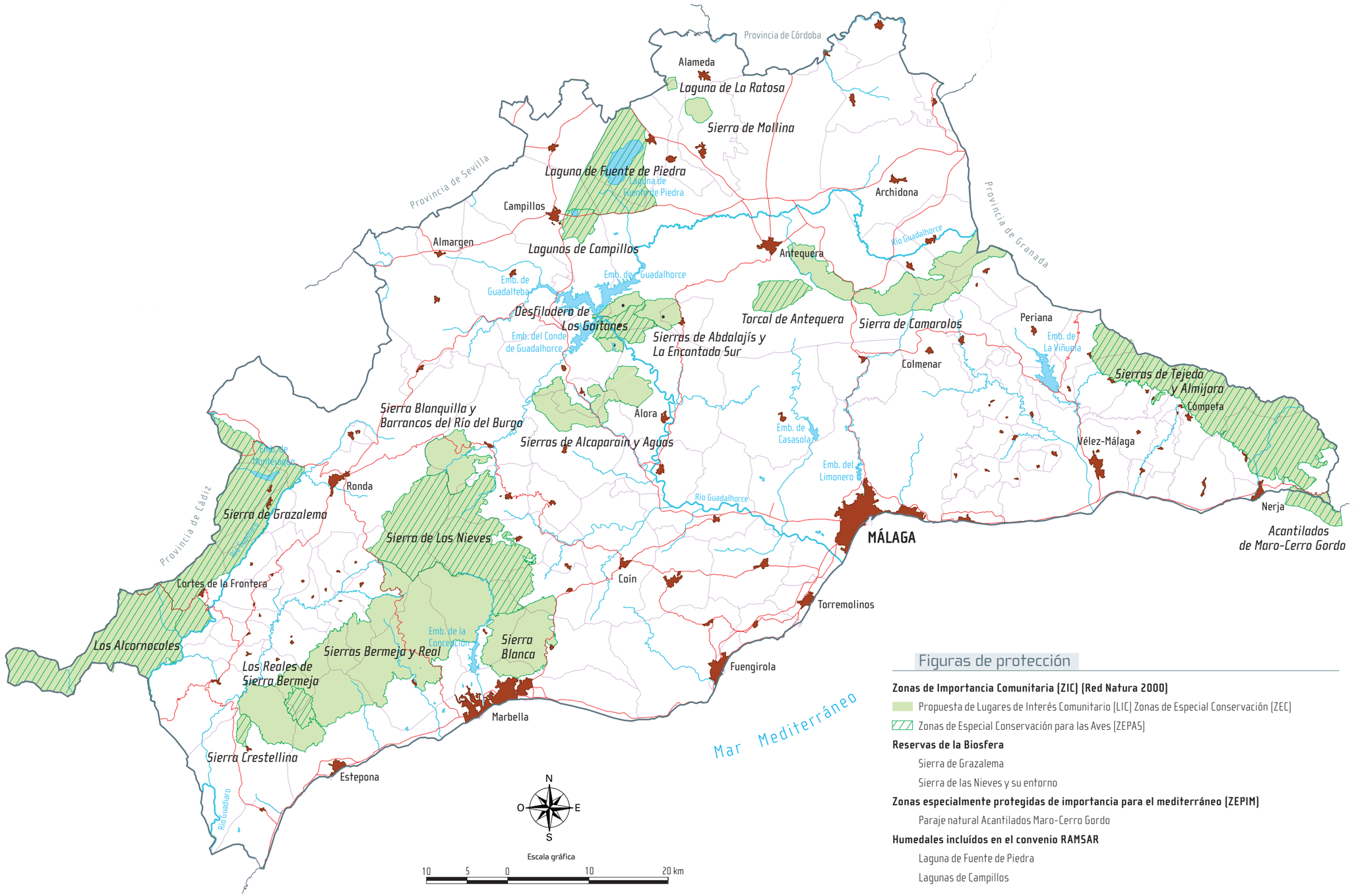
La Red Natura 2000

La Red Natura 2000 es, como ocurre en el resto de las comunidades autónomas españolas, el eje vertebrador y regulador de la red de espacios protegidos. La Red Natura 2000 se deriva de la directiva Hábitats, en la que se indica que la EU "crea una red ecológica europea coherente de zonas especiales de conservación, denominada Natura 2000. Dicha red ( ) deberá garantizar el mantenimiento o restablecimiento, en un estado de conservación favorable, de los tipos de hábitats naturales y de los hábitats de las especies de que se trate en su área de distribución natural". La UE a través de la Comisión Europea, tiene la responsabilidad de tutelar todo el proceso y asegurar que se cumplen los objetivos marcados en las diferentes directivas europeas. En el Estado Español, las Comunidades Autónomas son las responsables últimas de definir y gestionar la red, y a las que corresponde proponer los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC).

La red de LIC en la provincia de Málaga está integrada por 17 lugares. Además, la Red Natura 2000 en Málaga cuenta con 10 Zonas de Especial Protección de Aves (ZEPAs). De este modo, si se suma la extensión de los LIC y las ZEPAS, que en ciertas áreas de la provincia se solapan, como en los casos de las Sierras de Tejeda y Almijara, el Torcal de Antequera, La laguna de Fuente de Piedra, La Sierra de las Nieves, los Reales de Sierra Bermeja, la Sierra de Crestellina, la Sierra de Grazalema y Los alcornocales, su superficie total representa aproximadamente un 35 % de la superficie total de la provincia.

La Sierra de Líbar forma parte del Parque Natural de la Sierra de Grazalema

Mapa de espacios naturales con protección internacional en la provincia de Málaga



Figuras de protección

Zonas de Importancia Comunitaria (ZIC) (Red Natura 2000)

- Propuesta de Lugares de Interés Comunitario (LIC) Zonas de Especial Conservación (ZEC)
- Zonas de Especial Conservación para las Aves (ZEPAS)

Reservas de la Biosfera

- Sierra de Grazalema
- Sierra de las Nieves y su entorno

Zonas especialmente protegidas de importancia para el mediterráneo (ZEPIM)

- Paraje natural Acantilados Maro-Cerro Gordo

Humedales incluídos en el convenio RAMSAR

- Laguna de Fuente de Piedra
- Lagunas de Campillos

3. Los espacios naturales protegidos (RENPA)

La provincia de Málaga cuenta con un total de 23 espacios naturales protegidos: cinco Parques Naturales, cuatro Reservas Naturales, seis Parajes Naturales, cinco Monumentos Naturales y tres Parques Periurbanos. La riqueza de los parques estriba en que son áreas que se mantienen bastante vírgenes de la mano del hombre y que acreditan un singular valor científico, educativo, ecológico o estético. El principal objetivo de los parques naturales es preservar y potenciar la riqueza de flora, fauna y paisajística que poseen.

Parque Natural de los Alcornocales

Dentro del conjunto citado, uno de los ejemplares más representativos es el Parque Natural de los Alcornocales. Tiene una superficie de 167.767 ha, y se extiende a través de 17 municipios. La población asciende a más de 380.000 personas. Este Parque Natural contiene el alcornocal más extenso de toda la Península Ibérica y uno de los mayores del mundo. Además, este espacio acoge unos bosques galerías excepcionales formados por especies típicas de regiones subtropicales, ausentes en la actualidad del continente europeo, que se encuentran en los valles profundos y estrechos excavados por los ríos.

Dunas de Ártola (Marbella)

Flamencos en la Laguna de Fuente de Piedra

Espacios naturales protegidos de la provincia de Málaga

Figuras de protección de acuerdo con la Ley 2/89	Nombre del Espacio Natural Protegido	Superficie total (ha)	Figuras de protección internacional	Municipios de la provincia de Málaga
Parque Natural	Los Alcornocales	167.767	LIC	Cortes de la Frontera
	Sierra de Grazalema	53.411	Reserva de la Biosfera, LIC, ZEPA	Benaoján, Montejaque, Cortes de la frontera, Jimera de Líbar y Ronda
	Montes de Málaga	4.996		Málaga, Casabermeja y Colmenar
	Sierra de las Nieves	20.163	Reserva de la Biosfera, LIC, ZEPA	El Burgo, Istán, Monda, Parauta, Ronda, Tolox y Yunquera
	Sierras de Tejada y Almijara	40.663	LIC, ZEPA	Alcaucín, Canillas de Aceituno, Canillas de Albaida, Cómpeta, Frigiliana, Nerja, Salares y Sedella
Reservas Naturales	Laguna de Fuente de Piedra	8.543	LIC, ZEPA	Fuente de Piedra
	Laguna de la Ratosa	176	LIC	Alameda, Humilladero
	Lagunas de Archidona	204		Archidona
	Lagunas de Campillos	1.342	LIC, ZEPA	Campillos
Paraje Natural	Acantilados de Maro-Cerro Gordo	1.815	LIC, ZEPA, ZEPIM	Nerja
	Desembocadura del Guadalhorce	67		Málaga
	Desfiladero de los Gaitanes	2.016	LIC, ZEPA	Álora, Ardales y Bobadilla
	Los Reales de Sierra Bermeja	1.236	LIC, ZEPA	Casares, Estepota y Genalguacil
	Sierra Crestellina	478	LIC, ZEPA	Casares
	Torcal de Antequera	1.171	LIC, ZEPA	Antequera
Monumento Natural	Cañón de las Buitreras	21,90	LIC, ZEPA	Cortes de la Frontera, Benalauría y Benarrabá
	Dunas de Ártola o Cabopino	19,30		Marbella
	El Tornillo del Torcal	0,20	LIC, ZEPA	Antequera
	Falla de la Sierra del Camorro	108,60		Cuevas de San Marcos
	Pinsapo de las Escaleretas	0,20	LIC, ZEPA	Parauta
Parque Periurbano	Dehesa del Mercadillo	138		Ronda
	Pinar del Hacho	85		Antequera
	Sierra de Gracia	35		Archidona

Fuente: Consejería de Medio Ambiente

Parque Natural de la Sierra de Grazalema

Situado al noreste de la provincia de Cádiz y al noroeste de la de Málaga, presenta una superficie de 53.411 ha e incluye un total de 14 municipios de las dos provincias, cuya población asciende algo más de 74.000 habitantes. Está dotado de gran biodiversidad cultural en las manifestaciones de su forma de vida tradicional, que hacen que el lugar goce de un considerable encanto. Aún en la actualidad, las economías locales se articulan en torno a actividades que permanecen como la ganadería y sus derivados. Una de las características más destacables de este Parque Natural es que presenta las precipitaciones más altas de la Península Ibérica (2.200 mm/año) y contiene el bosque de mayor extensión del pinsapo, abeto relíctico del Terciario, junto con el alcornoque y la encina. Su localización, en las estribaciones orientales de la Cordillera Bética, explica su naturaleza kárstica. Las altas precipitaciones dan lugar a numerosas surgencias de agua en ríos y fuentes. La Sierra de Grazalema fue la primera Reserva de la Biosfera creada como tal en territorio español en 1977.

Parque Natural de los Montes de Málaga

El Parque Natural de Montes de Málaga tiene su origen en las repoblaciones hidrológico-forestales de pinares que se realizaron en la cuenca del Río Guadalmedina para evitar las inundaciones que Málaga venía sufriendo durante siglos. Este espacio se encuentra comprendido entre los 100 y los 1.100 m s.n.m., con desniveles, por tanto, apreciables.

Montes de Málaga

Parque Natural de la Sierra de las Nieves

El parque corresponde a un territorio montañoso recortado por profundos barrancos como el de la Caína, con más de 100 m de caída. Es de destacar también la existencia de profundas simas, como la de Gesm, la tercera en el mundo en profundidad con sus 1.100 m. La mayor altitud corresponde a la cima Torrecilla (1.919 m s.n.m.), en la Sierra de Tolox.

Se localiza en una zona de frontera entre el dominio atlántico y el mediterráneo, lo que le confiere una flora y fauna variada y especial. Son de destacar el pinsapo, que aquí alcanza una extensión de 3.000 ha, siendo el bosque más importante de pinsapos de la zona; y la cabra montés, que junto al corzo, constituyen las dos únicas especies salvajes autóctonas de grandes mamíferos ungulados que existen en este Parque.

No conviene pasar por alto la presencia de uno de los lugares más pintorescos en el entorno del Parque: la localidad de Ronda, asentada sobre una meseta a 723 m s. n.m., asomada a un profundo escarpe en cuyo fondo discurre el río Guadalevín.

Sierra de las Nieves

3.

Parque Natural de las Sierras de Tejeda y Almijara

Las sierras que constituyen el Parque Natural de las Sierras de Tejeda, Almijara y Alhama, dibujan un impresionante macizo montañoso situado como barrera geográfica entre las provincias de Málaga y Granada, a las que separan mediante su línea de cumbres. En la primera, constituye la espina dorsal de la comarca conocida como "Axarquia" (la oriental de los árabes), bastión irreductible de la cultura mudéjar. Para la segunda, se articula como telón de fondo en las tierras de la Alhama, como contraste físico de sus fértiles campos de olivares y cereal.

Este espacio abarca la gran parte del Macizo montañoso que va desde el Río Puente de Piedra en Alcaucín (Málaga), hasta la carretera de la cabra montés en Otívar (Granada). Aparentemente estas montañas guardan una gran similitud con los macizos montañosos del norte, en especial con Picos de Europa; se caracteriza por sus blancas rocas calcáreas, y la presencia de cursos de agua que fluyen indómitos hacia la costa mediterránea. No obstante, destaca también la presencia de enclaves de cuarcita, esquistos y gneis de edad superior a 500 millones de años. Los mármoles dolomíticos son uno de los elementos más representativo; este material es el responsable de un paisaje original, dominado por tonos blancos y grises, con una particular disgregación arenosa (kakiritización) que interviene en la erosión.

Una consecuencia de la componente geológica es la cobertura vegetal. Las arenas dolomíticas son excesivamente permeables, reteniendo escasamente el agua de precipitación. Esto, unido a ciertos componentes minerales, como el magnesio, van a generar un paisaje vegetal igualmente singular en el que abundan especies endémicas. Como elementos geológicos singulares, es de destacar la Cueva de Nerja, declarada monumento nacional, u otras de menor entidad como la Sima de la Marona o la Cueva de la Fájara en Canillas de Aceituno.

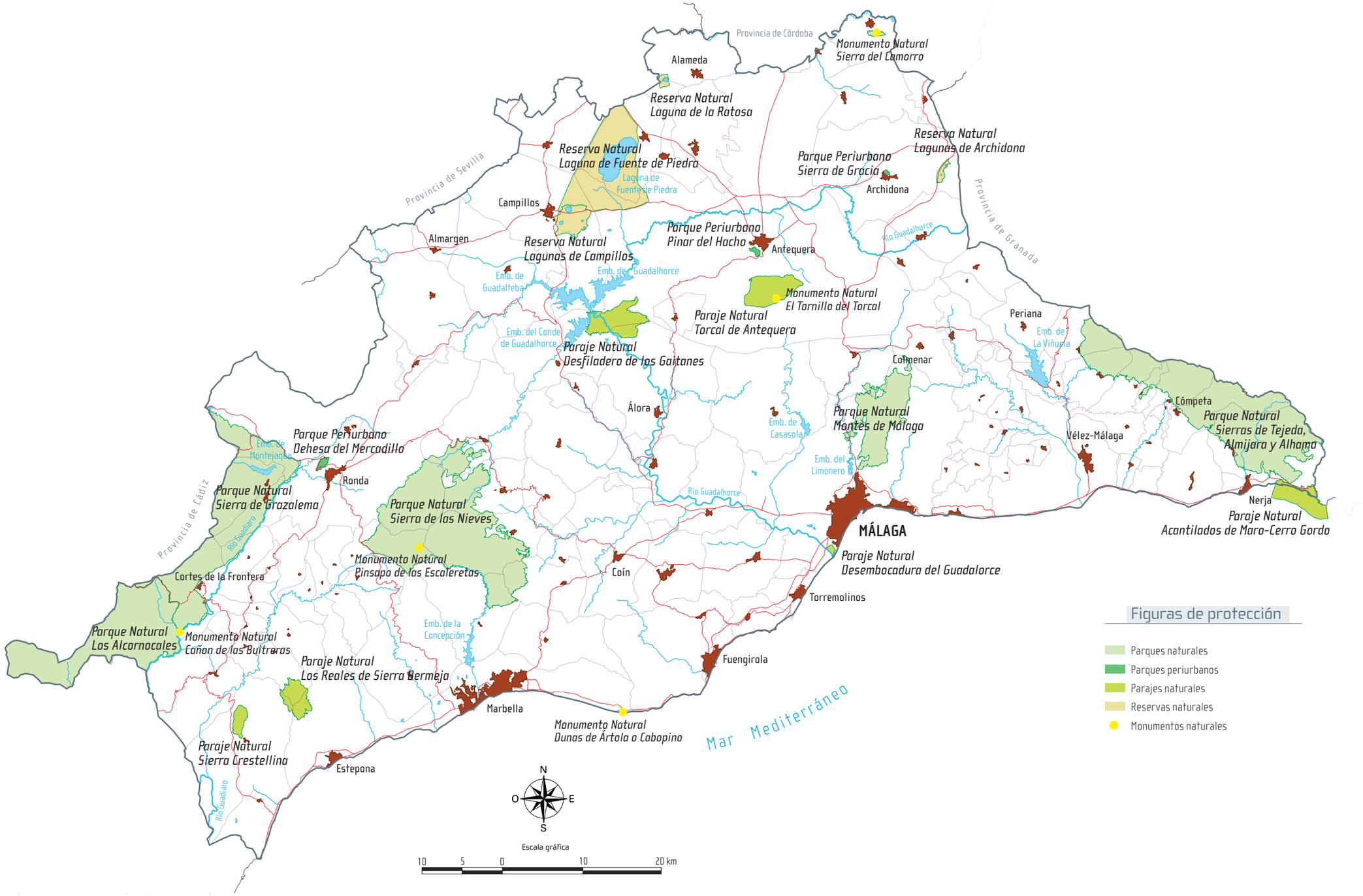
Sierra Tejeda

Reserva Natural de la Laguna de Fuente de Piedra

Se localiza al norte de la provincia de Málaga a una altitud media de 400 m.s.n.m. y es la segunda laguna en extensión de España después de la de Gallocanta (Zaragoza). Constituye el nivel de base y descarga natural de una enorme cuenca endorreica de 15.350 ha, siendo este endorreísmo una de las principales características de este humedal, junto con su extrema salinidad procedente de la disolución de sales incluidas en el sustrato.

Laguna de Fuente de Piedra

Mapa de espacios naturales protegidos de ámbito nacional y autonómico en la provincia de Málaga



Acantilado de Marco-Cerro Gordo

Paraje Natural Acantilados de Maro-Cerro Gordo

El Paraje Natural Acantilados Maro-Cerro Gordo constituye una estrecha franja de 12 km de largo, paralela a la línea de costa. Su superficie total es de 1.814,7 ha y se caracteriza principalmente por poseer abruptos acantilados, de hasta 75 m de desnivel, y numerosas calas, fruto de la erosión y regresión marina sobre las últimas estribaciones de la Sierra de Almijara, entre los términos de Almuñecar en Granada y Nerja en Málaga.

Es un enclave de gran valor ambiental debido a lo peculiar de sus formaciones geológicas y a la gran biodiversidad que alberga tanto en su espacio terrestre como en el interior de la milla marítima, manifestada por la presencia de endemismos.

Por su relevancia en la cuenca mediterránea, las Naciones Unidas han declarado este esapcio como Zona Especialmente Protegida de Importancia para el Mediterráneo (ZEPIM).

Paraje Natural de la Desembocadura del Río Guadalhorce

Este Paraje Natural constituye un área deltaica cuyos humedales naturales han desaparecido y se han desarrollado ambientes palustres en graveras abandonadas cuyo mayor interés es su función como hábitats para una abundante flora y fauna. Presenta bosques en galería bien conservados de curso fluvial bajo.

Otras Reservas Naturales

Próximas a la Laguna de Fuente de Piedra, se sitúan las reservas naturales de la Laguna de La Ratosa y las Lagunas de Campillos, que comparten con ella su carácter endorreico y su salinidad, aunque no su temporalidad, ya que son estacionales. Más al este, se localiza otra reserva natural, las Lagunas de Archidona, que también se caracterizan por su naturaleza endorreica; las lagunas están rodeadas por una serie de promontorios que le confieren un carácter de paisaje semicerrado.

Desembocadura del Guadalhorce

Desfiladero de los Gaitanes

Paraje Natural de los Reales de Sierra Bermeja

El Paraje Natural de los Reales de Sierra Bermeja comprende una superficie de 1.236 ha distribuidas entre los municipios de Casares, Estepona y Genalguacil (Málaga).

Este espacio tiene un conocido interés geológico-petrológico, pues constituye el enclave más representativo para la observación de las rocas intrusivas ultrabásicas asociadas a las unidades alpujárrides de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas; la Unidad Peridotítica de Los Reales, es uno de los mayores afloramientos del mundo de rocas ultrabásicas, de gran importancia científica. Su particular geoquímica contribuye decisivamente al mantenimiento de uno de los ecosistemas más singulares de Andalucía, el pinsapar.

Paraje Natural de la Sierra Crestellina

El Paraje Natural de Sierra Crestellina se localiza en el municipio de Casares con una superficie de 477,50 ha. Se caracteriza por la presencia de especies de flora en peligro de extinción y por su elevada importancia faunística, destacándo la presencia del buitre leonado y del águila perdicera).

Paraje Natural del Desfiladero de los Gaitanes

Localizado en los municipios de Álora, Ardales y Bohadilla y con una extensión de 2.016 ha, el Paraje Natural Desfiladero de los Gaitanes constituye un enclave de extraordinario interés geomorfológico y uno de los lugares más impresionantes de la provincia de Málaga. Se trata de una garganta abierta por el Río Guadalhorce en las calizas y dolomías jurásicas en el lugar conocido como El Chorro que conforma un cañón de 3 km de recorrido, alturas de 300 m y anchuras menores a 10 m.

Junto al propio desfiladero destaca una discordancia erosiva de conglomerados y calcarenitas miocenos, horizontales, sobre los estratos verticales de calizas jurásicas, con abundantes estructuras sedimentarias, restos de fósiles de ballenas y modelados tipo taffoni los primeros y abundante fauna fósil los segundos. El macizo se encuentra karstificado, contabilizándose más de veinte cavidades de gran importancia geológica y arqueológica, colgadas en ocasiones del cauce del río.

Es también Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) y Lugar de Interés Comunitario (LIC).

El Paraje Natural del Torcal de Antequera

El primer territorio de Andalucía reconocido como espacio natural protegido es el Paraje Natural Torcal de Antequera, al ser declarado "Sitio Natural de Interés Nacional" en el año 1929. Las diversas figuras de protección que ha disfrutado a lo largo de su historia, han tenido la misma finalidad: reconocer sus importantes valores naturales, manifestados en su geomorfología, flora, fauna y paisaje.

El Torcal encierra en su reducida extensión (20 km^2 dentro del Paraje) una de las muestras más impresionantes de paisaje kárstico de toda Europa. Geomorfológicamente comprende cuatro zonas bien diferenciadas:

- Sierra Pelada, al este del Paraje, consistente en una extensa área de lapiaz y frecuentes dolinas. Su cota máxima es de 1.198 m s.n.m.

- Torcal Alto, al suroeste, encierra la mejor zona de relieve kárstico del macizo. Una gran cresta rocosa, Las Vilaneras, la separa del Torcal Bajo, situándose en ella el punto de máxima altura del Paraje: el Camorro de las Siete Mesas (1.336 m s.n.m.).

Torcal de Antequera

- Torcal Bajo, situado entre las dos anteriores, es similar al Torcal Alto aunque menos espectacular. Dominan las grandes úvalas y dolinas, así como amplios corredores no tan angulosos como en el Torcal Alto.

- Tajos y laderas, delimitan casi perimetralmente el Paraje, siendo más espectaculares en la cara Sur; su grandeza y variaciones geomorfológicas les confieren un carácter sobrecogedor.

El Torcal está constituido por rocas calizas de tres tipos: oolíticas, brechoides y clásticas, de origen marino y edad jurásica. La erosión y el hundimiento de estos materiales ha producido lo que se denominan "corredores" o callejones, característico del modelado kárstico. Los procesos fundamentales que han actuado en este paisaje son la gelifracción, o fractura de la roca por la acción de cuña que supone el agua que absorbe la roca y se hiela por la acción del frío; junto con la disolución diferencial de las distintas calizas por el efecto ácido del CO_2 atmosférico presente en el agua de lluvia.

En cuanto a formas subterráneas, el Torcal presenta una enorme riqueza de simas, cuevas y otras formas subterráneas, algunas de ellas de gran importancia histórica como la cueva del Toro. Su origen se relaciona igualmente con procesos de disolución y ensanche de las calizas subterráneas por la acción del agua de lluvia.

Panel informativo del Pinsapo de las Escaleretas

Los Monumentos Naturales

Como Monumentos naturales destacan el Cañón de las Buitreras, impresionante y estrecho tajo de más de 100 m de profundidad sobre el Río Guadiaro, cuya singularidad viene dada por el paisaje y el proceso geomorfológico que formó el cañón y, además, por la presencia del Buitre leonado (Gyps fulvus); el Tornillo del Torcal, ejemplo de una de las formaciones características del paisaje kárstico originada por la disolución diferencial de los estratos calizos que, por su original aspecto, parecido al de un tornillo, es utilizado como símbolo del Paraje Natural del Torcal de Antequera; o la Falla de la Sierra del Camorro, Formación geológica que reúne unas condicones excepcionales para el análisis geológico por ser un elemento vertebrador del espacio que la rodea, constatándose en sus laderas diversas cavidades y asentamientos de poblaciones desde tiempos prehistóricos.

Otros Monumentos naturales de la provincia son el Pinsapo de las Escaleretas, ejemplar de excepcionales dimensiones perteneciente a la especie Abies pinsapo Boiss, localizado en el Parque Natural Sierra de las Nieves, en el municipio malagueño de Parauta; y las Dunas de Ártola o Cabopino que constituyen un sistema de dunas fósiles y móviles que conforman un enclave natural en un entorno profundamente transformado como es la costa marbellí y que además alberga un elemento de arquitectura militar y defensiva, la Torre de los Ladrones, declarada Bien de Interés Cultural.

Pinsapo de las Escaleretas

Los Parques Periurbanos

Los Parques Periurbanos son espacios naturales que atienden a las necesidades recreativas de la población. Así, el Parque Periurbano Dehesa del Mercadillo, dada su proximidad a la ciudad de Ronda, es muy utilizado por sus habitantes como zona de esparcimiento y recreo. La mayor parte de su extensión está cubierta por un pinar de pino piñonero y pies aislados de encina y pino negral. La denominación de este espacio proviene posiblemente de la existencia, en otros tiempos, de un mercado de ganado, dada su cercanía al casco urbano de Ronda y a la confluencia en el mismo de varias vías pecuarias.

Otra importante zona de recreo es el Parque Periurbano Pinar del Hacho, localizado cercano al núcleo de de Antequera. La mayor parte de su extensión está cubierta por un pino piñonero de repoblación de unos 40 años de edad y en él encierra yacimientos arqueológicos de entidad: dos catalogados de tipo I por el Plan General de Ordenamiento Urbano (PGOU) que son la torre del Hacho y el Arquillo; y un tercer yacimiento de tipo III.

Finalmente, el Parque periurbano Sierra de Gracia, constituye una zona de esparcimiento próxima, en este caso, a la localidad de Archidona. Entre sus valores ambientales destaca el hecho de que se encuentre en él el Castillo de Archidona, declarado Bien de Interés Cultural por la Ley 16/1985, de 25 de junio.

3.09

Humedales de la provincia de Málaga

3.09

Humedales de la provincia de Málaga

Alfredo García de Domingo

Muchos de los espacios naturales protegidos en la provincia de Málaga se encuentran estrechamente relacionados con el agua, pero la dependencia de éste elemento con el espacio no es sólo la que se percibe en la actualidad sino que existen otras relaciones, como son las condiciones de formación, que definen algunos de los atributos más característicos por los que éstos lugares han alcanzado la condición de protección.

Con este último criterio cabe incluir, en el conjunto de lugares protegidos, no sólo a aquellas zonas en las que existen surgencias, cursos o retenciones de agua, ya sea de origen superficial como subterránea, sino también a los espacios en los que éste elemento ha sido esencial para su formación, tales como: el Desfiladero de los Gaitanes, formado por la incisión erosiva que ha provocado el discurrir del Río Guadalhorce entre las barras calcáreas del Jurásico en el sector occidental de la Sierra del Valle de Abdalajís; o el Torcal de Antequera, formado por procesos kársticos de disolución y colapso que actúan sobre las calizas del Jurásico superior.

En Málaga, se localizan varios sistemas lagunares que se encuentran emplazados sobre dos ámbitos geográficos y geológicos muy concretos. Uno de estos ámbitos se sitúa en los márgenes de la zona litoral. Son humedales cuya formación se encuentra relacionada con procesos morfogenéticos costeros. El otro ámbito lagunar se localiza en el sector septentrional de la provincia e incluye 16 lagunas (Inventario de la Junta de Andalucía) distribuidas entre los términos municipales de Fuente de Piedra, Campillos, Alameda y Archidona.

Por último hay que indicar que en esta provincia los humedales han sufrido, como en el resto del estado español, etapas de presión ambiental que afectaron a su supervivencia llegando, algunos de ellos, incluso a desecarse como sucedió con la Laguna de Herrera. Este humedal, situado en la franja septentrional de provincias, y muy próximo a la localidad de Antequera, se extendía por unas 125 ha, desecándose definitivamente en 1969. Actualmente, el terreno está dedicado al cultivo de herbáceos de secano y regadío. A pesar de las obras de drenaje, una parte de este antiguo humedal continúa inundándose en años de intensas lluvias, como ocurrió en el período 2003-2004, por lo que se recuperaría fácilmente como zona húmeda, después de realizar las obras necesarias.

Humedales de Málaga en el Convenio de Ramsar

Andalucía ha incluido hasta la actualidad 20 humedales en la Lista del Convenio de Ramsar (Irán, 1971) o "Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas". Con el paso de los años, la Convención ha ampliado su alcance con el fin de abarcar todos los aspectos de la conservación y el uso racional de los humedales, reconociendo que estos ambientes son ecosistemas extremadamente importantes para la conservación de la diversidad. Dos son los humedales del conjunto Ramsar andaluz situados en la provincia de Málaga, la Laguna de Fuente de Piedra y el Complejo lagunar de Campillos, indicando la trascendencia que esta provincia presenta en el ámbito de las zonas húmedas.

Detalle del estiaje en la Laguna de Fuente de Piedra

Laguna de Fuente de Piedra en período de estiaje

Laguna de Fuente de Piedra

La Laguna de Fuente de Piedra fue incluida en el Convenio Ramsar por Acuerdo del Consejo de Ministros de 15 de diciembre de 1982. El nombre de esta laguna y el de la población cercana a ella, se encuentra relacionada con una antigua fuente de aguas minerales, situada actualmente en el centro del pueblo, construida originalmente por los romanos y que quedó al descubierto cuando se recuperó esta construcción en años recientes. La fundación de esta localidad, en 1547, se encuentra relacionada con el alumbramiento de este tipo de aguas minerales cuyos primeros edificios estaban destinados a alojar a los que se desplazaban para tomar estas aguas medicinales.

Esta zona húmeda, junto con los humedales situados en su entorno, Laguna de Cantarranas y Laguneto del Pueblo, han sido declarados como Zona de Protección y Reserva Natural por la Junta de Andalucía, por la Ley 2/1989 de 18 de julio.

La Laguna de Fuente de Piedra es uno de los humedales más importantes del Mediterráneo occidental, en donde los flamencos (Phoenicopterus ruber) consiguen anidar, alcanzando una extensión máxima de encharcamiento, en épocas de lluvias, que puede llegar a ocupar una superficie de 1.300 ha, con una profundidad media comprendida entre 50-60 cm.

Este humedal, se asienta sobre sedimentos arcillo-yesífero-salinos del Complejo Caótico Subbético, datado como Mioceno medio, y sobre calcarenitas postectónicas del Mioceno superior. Estos materiales forman importantes acuíferos cuyas aguas alimentan, en parte, a la laguna caracterizando en gran medida la naturaleza salina de sus aguas.

El origen de esta laguna está relacionado con procesos de karstificación en los materiales yesífero-salinos del Complejo Caótico Subbético, dando lugar a hundimientos y colapsos en donde se emplaza.

Colonia de flamencos en la Laguna de Fuente de Piedra

Laguna de Fuente de Piedra

3.

Complejo lagunar de Campillos

El Complejo Lagunar de Campillos, situado a unos 10 km al suroeste de la Laguna de Fuente de Piedra, esta formado por cinco lagunas de carácter temporal denominadas: Dulce, Salada, de Cerero, de Camuñas y Capacete. Estas lagunas se incluyeron en el Convenio de Ramsar, según Acuerdo de Consejo de Ministros de 16 de diciembre de 2005. Estos humedales, junto a la Laguna Redonda y la Laguna de Lobón, situadas en el entorno de la localidad de Campillos, han sido declaradas como Reserva Natural por la Ley 2/1989 de 18 de julio de la Junta de Andalucía.

Estos humedales se ubican sobre sedimentos de similares características a los descritos para la Laguna de Fuente de Piedra, es decir depósitos arcillo-yesífero-salinos del Complejo Caótico Subbético y calcarenitas del Mioceno superior, que conforman acuíferos cuyas aguas recargan a estas lagunas caracterizando la hidroquímica de sus aguas. Así, la Laguna Dulce, que se asienta sobre sedimentos calcareníticos del Mioceno superior, forma un acuífero con agua de naturaleza dulce o salobre que fluye hacia esta laguna, mientras que las lagunas que se asientan sobre los depósitos de Complejo Caótico son extremadamente salinas.

La génesis de este sistema lagunar esta relacionada, al igual que la Laguna de Fuente de Piedra, con los hundimientos y colapsos producidos por la disolución de los materiales yesífero-salinos que forman el Complejo Caótico Subbético.

Laguna de Campillos

Vista panorámica de la Laguna de Campillos

Humedales de Málaga en los espacios naturales protegidos (RENPA)

De los 23 espacios protegidos declarados en la provincia de Málaga, cinco de ellos se asocian con zonas húmedas: Laguna de Fuente de Piedra, Lagunas de Campillos, Lagunas de Archidona, Laguna de la Ratosa y desembocadura del Guadalhorce. Los dos primeros humedales, como se ha indicado anteriormente, se encuentran incluidos en la Lista del Convenio de Ramsar, mientras que de los restantes, las lagunas de Archidona y la Ratosa, se sitúan en la franja septentrional de la provincia asociados a un ámbito genético continental kárstico y el último, la desembocadura del Guadalhorce, se localiza en la costa, formado por procesos litorales.

Lagunas de Archidona

Este conjunto lagunar agrupa a dos lagunas importantes: Laguna Grande y Laguna Chica, además de otras más pequeñas. Fueron declaradas Reserva Natural por la Ley 2/1989 de 18 de julio.

Estos humedales se asientan sobre materiales de composición arcillo-yesífero-salino del Complejo Caótico Subbético cuyos afloramientos de distribuyen por la zona septentrional de esta provincia. Sus procesos genéticos formacionales están relacionados con fenómenos de disolución y hundimiento en un sistema kárstico desarrollado sobre yesos y sales. La naturaleza de este sustrato es uno de los factores que determinan la salinidad de las aguas de estas lagunas mientras que su origen, kárstico, es el responsable de la morfología de estos humedales.

La Laguna Grande, con una morfología circular, presenta una profundidad máxima de unos 4 metros, permanece con agua todo el año mientras que la Chica mantiene un régimen estacional, secándose en la época estival, tiene una morfología arriñonada originada por la coalescencia de dos dolinas próximas con una profundidad máxima de 1,5 metros. La alimentación de estas lagunas, sobre todo de la Laguna Grande, se produce, en una gran parte, por alumbramiento de aguas subterráneas procedentes del acuífero kárstico.

Además de estas dos lagunas principales existen otras más pequeñas que se inundan en breves periodos de tiempo, normalmente en periodos de lluvias excepcionales.

Laguna Grande de Archidona

Laguna de la Ratosa

Este humedal se sitúa a unos nueve kilómetros al norte de la Laguna de Fuente de Piedra, cercana a la localidad de Alameda. Su cuenca endorreica dibuja el límite entre la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir y la Cuenca Hidrográfica del Sur.

Esta humedal junto con la Laguna de la Herriza de los Ladrones, situada a una decena de metros, al norte, de la Laguna de la Ratosa fueron declarados Reserva Natural por la Ley 2/1989 de 18 de julio.

Se encuentra emplazada sobre sedimentos del Mioceno medio incluidos en el Complejo Caótico Subbético constituidos por una matriz de arcillas, yesos y sales con bloques heterométricos y heterogéneos, fundamentalmente de naturaleza calcárea. Su génesis esta relacionada con procesos de disolución y colapso producidos en un sistema kárstico en yesos y sales. La morfología de esta zona húmeda es circular como corresponde a una laguna formada por procesos kársticos.

Esta laguna mantiene un régimen temporal, con largos periodos sin agua. Su alimentación se produce, en parte, por agua subterránea procedente del acuífero kárstico, por agua superficial y agua de lluvia, caída directamente sobre la laguna.

Vista panorámica de la Laguna de la Ratosa

3.

Desembocadura del Guadalhorce

Este lugar fue declarado Paraje Natural por la Ley 2/1989 de 18 de julio. Se ubica sobre el delta formado en la desembocadura del Río Guadalhorce, cuando este curso fluvial entra en el mar. La construcción de los embalses del Guadalhorce, que han provocado la disminución de aportes de sedimentos, y el encauzamiento de sus brazos en la desembocadura, han paralizado el desarrollo deltaico.

Los sedimentos sobre los que se asienta este humedal rellenan la cuenca sedimentaria de Málaga, de origen postorogénico. Estos sedimentos detríticos depositados entre el Plioceno y el Cuaternario forman dos acuíferos con alto interés hidrogeológico. El inferior está constituido por intercalaciones arenosas durante el Plioceno y el acuífero superior, formado por depósitos aluviales del Cuaternario.

En las últimas décadas, este paraje ha sido recuperado en su funcionalidad como zona húmeda. Desde 1977 la zona se explotó como cantera de áridos naturales, formándose varias pozas de forma artificial originadas por las labores de extracción de arenas y gravas. Posteriormente, y después de la finalización de la concesión de estos trabajos mineros, los huecos se anegaron, formando importantes lagunas que sirven, fundamentalmente, como áreas de descanso para las aves migratorias que se dirigen hacia el Estrecho de Gibraltar.

Desembocadura del Río Guadalhorce

Desembocadura del Río Vélez

Otros humedales de la provincia de Málaga

En la provincia de Málaga, existen otras zonas húmedas que no presentan ninguna figura de protección de las citadas anteriormente. Entre ellas cabe destacar a los humedales formados en la desembocadura del Río Vélez.

La desembocadura de este curso fluvial provoca la construcción de un pequeño delta cuyas variaciones y evolución han inducido a la formación de varias zonas húmedas situadas en sectores próximos a la costa y a lo largo de la desembocadura del curso fluvial. La morfología de estas lagunas evoluciona muy rápidamente en función de la periodicidad de las inundaciones, de carácter torrencial, que sufre este curso fluvial y de las tempestades marinas que modifican el límite de costa, con cambios bruscos en las corrientes marinas y en la distribución de sedimentos, que provocan la formación de nuevas lagunas y la colmatación de las antiguas.

Otras lagunas de interés situadas dentro de esta provincia son las lagunas de la Caja, los Prados, Viso y Chaparral.

3.10

La vida en las aguas subterráneas

3.10

La vida en las aguas subterráneas

Luis Moreno Merino
Miguel Ángel Moriñigo Gutiérrez

La vida, tal y como la conocemos sobre la superficie de nuestro planeta, requiere al menos de tres condiciones para poder desarrollarse adecuadamente: una fuente de materiales con los que construir el armazón físico que la sustenta, principalmente carbono, nitrógeno y azufre; una fuente de energía, que en los organismos autótrofos es, en la mayoría de los ocasiones, aunque no siempre, el sol y en los organismos heterótrofos otros organismos o sus residuos, y por último, agua líquida en el seno de la cual tendrán lugar las reacciones químicas que permiten el desarrollo del metabolismo. Es necesario no olvidar que las fuentes de carbono o nutrientes pueden ser muy variadas, las de energía también, y la evolución ha creado organismos adaptados a vivir a expensas de las más variadas fuentes de materia y energía, lo que la evolución no ha podido evitar es la necesidad absoluta de agua líquida, medio en el cual se desarrollan los procesos vitales.

En contra de lo que se suele creer, en el universo existe mucho agua, en realidad es la tercera molécula más abundante en la vía láctea, el problema es su distribución, y el estado físico en el que se suele encontrar, pues para el desarrollo de la vida es necesario que esté en forma líquida, precisamente la más abundante en la superficie terrestre, donde se encuentra almacenada principalmente en el mar y los casquetes polares, que juntos suman el 99,34% del total. No obstante el agua subterránea es, con el 0,61% la mayor reserva de agua dulce líquida, frente al 0,009% de las aguas superficiales, el 0,005 de la humedad del suelo y el 0,001% del agua atmosférica. Estos datos son importantes, nos permiten ver como el medio subterráneo puede ser un importante soporte de vida, que oculta a la vista, juega un papel determinante en la estructura y funcionamiento de la biosfera.

En este capítulo, se presenta una introducción a la vida ligada de forma directa al medio subterráneo, dejado para otros apartados de la obra los ecosistemas, que como los humedales o los bosques de rivera, dependen del agua subterránea para existir, pero cuyas aguas son consideradas como superficiales.

Características del medio subterráneo como soporte de vida

Los acuíferos, como ecosistemas, son medios difíciles para el desarrollo de la vida. Son sistemas oligotróficos (pobres en nutrientes) en los que los organismos vivos deben enfrentarse continuamente a una notable penuria energética y nutricional. De forma muy resumida las condiciones que caracterizan el medio subterráneo como soporte de seres vivos pueden agruparse en dos grandes grupos, favorables y adversas:

Condiciones que favorecen la vida en los acuíferos

- Humedad y temperatura favorables y estables, así como protección de condiciones climáticas adversas. Los organismos que habitan el interior de los acuíferos no tienen en general que enfrentarse a frio ni calor extremos y suelen tener siempre a su disposición el agua que necesitan.

- Escasez de depredadores

Sifón de la cueva de Zarzalones

Condiciones que dificultan la vida en los acuíferos

- Falta de nutrientes, mayor al profundizar en el acuífero. En general las aguas subterráneas son oligotrofas siendo el factor limitante más importante su bajo contenido en materia orgánica que se consume en su casi totalidad en el suelo antes de llegar a la zona saturada, y la ausencia de fósforo que con el calcio, en general muy abundante en la matriz sólida, da lugar a formas insolubles.

- La falta de luz impide el desarrollo de productores primarios resultando que la práctica totalidad de estos seres son heterótrofos dependientes de la entrada de materia orgánica de la superficie que en su mayor parte es mineralizada por la acción de hongos y bacterias en las primeras capas del suelo.

- Dificultad de propagación y migración a nuevos habitats. El medio subterráneo, salvo en materiales karstificados o fracturados, dificulta enormemente el movimiento de los organismos vivos.

Así pues, los pobladores del mundo subterráneo han tenido que sufrir un intenso proceso de adaptación, el medio en el que se desarrollan presenta condiciones de vida altamente desfavorables aunque predecibles, lo que ha llevado a una estrategia de selección tipo A, son muy resistentes a la carencia de nutrientes y bajos niveles de oxígeno. Las particulares características de este medio hacen que en general se trate de organismos oportunistas no especializados capaces de aprovechar cualquier fuente de carbono.

Las particulares características del medio subterráneo traen como consecuencia una cadena alimentaria relativamente sencilla, en la que los microorganismos como las bacterias sirven de alimento a consumidores secundarios como protozoos, nemátodos y crustáceos, y los invertebrados predadores marcan el final de la cadena.

Estafilínido (domene gevia), especie endémica de la sima GESM

Las cuevas son un hábitat tanto para organismos superespecialistas, como los peces ciegos como para oportunistas, que encuentran en ellas refugio de los predadores y de las inclemencias del tiempo (Sima del Aire)

Los cuatro biotopos

Un biotopo es el espacio físico natural y limitado donde se desarrolla la biocenosis, es decir, la parte viva de un ecosistema. Desde la perspectiva del agua subterránea existen cuatro biotopos tipo: las cavernas o en general los grandes huecos y la vida que se desarrolla en el agua que contienen, la vida que se desarrolla directamente a expensas de los manantiales en el punto de surgencia, la zona hiporreica ligada al nivel de agua subterránea en conexión con los cursos superficiales, y por último, la zona profunda saturada de los acuíferos.

A continuación se presenta de forma muy sucinta las principales características de estos biotopos y de sus pobladores más representativos.

Las cavernas

Seguramente este sea el medio en el que primero se piensa cuando se plantea la vida en el agua subterránea, si embargo, de toda la fauna que puede encontrarse en una caverna solo un pequeño grupo, denominado "troglobios" son exclusivos de este hábitat. Presentan adaptaciones de comportamiento y fisiológicas, despigmentación, atrofia ocular, etc. que les impiden abandonar el mundo subterráneo. En este grupo se encuentran muchos peces, crustáceos e insectos.

Los otros grupos de habitantes de las cavernas son los "trogloxenos" (murciélagos por ejemplo) que encuentran en la caverna un refugio o abrigo, pero que desarrollan la mayor parte de su vida, sobre todo su alimentación, fuera de ella y los "troglofilos", que estando adaptados ecológicamente a las cavernas no presentan ninguna especialización que les impida su desarrollo también en el exterior (es el caso de muchas arañas, crustáceos, apiliónidos e insectos).

Los troglobios lógicamente dependen de la presencia de agua subterránea, de hecho muchos de ellos son peces albinos o incluso anfibios como las salamandras y muestran una notable variedad de una cueva a otra. Como ya se apuntó la dificultad para moverse de un lugar a otro causa una gran abundancia de especies endémicas, habitantes exclusivos de una determinada cavidad o conjunto de cavidades geográficamente cercanas, se trata pues de seres muy sensibles al impacto humano, de forma que la alteración, a veces mínima, de su reducido habitat es suficiente para hacer desaparecer definitivamente una especie del planeta.

3.

Los manantiales

La vida ligada directamente al agua subterránea que surge en los manantiales, y especialmente en los termales ha llamado la atención de los científicos desde siempre. Así, una notable figura de la ciencia malagueña, y española, el doctor en Farmacia y Ciencias, D. Pablo Prolongo García (1806-1885), que fue presidente de la Sociedad Malagueña de ciencias en los periodos 1877-1882 y 1883-1884 y por cuya botica pasaron reputados botánicos de la época, ya se fijó en la riqueza de la vida que sustentaban la aguas sulfurosas del balneario de Carratraca y describe en una pequeña obra titulada "Historia de los copos de azufre que salen mezclados con las aguas del manantial de los baños de Carratraca: Sulfuraria Carratraquense" lo que para él era un nuevo organismo vivo y para la ciencia actual, es un todo un complejo sistema de vida en el que están implicadas bacterias del ciclo del azufre.

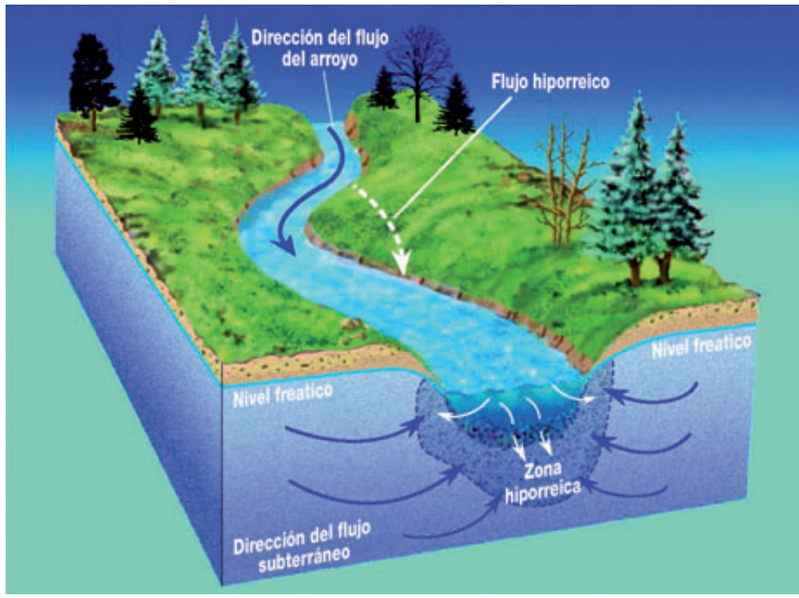
Los manantiales suelen presentar una flora microbiana característica, adaptada a las particulares condiciones de sus aguas, en especial cuando estas son como en el citado caso de Carratraca, sulfurosas, o cuando se trata de aguas termales en las que se desarrollan organismos termófilos. En el caso de las fuente termales, predominan las bacterias heterótrofas oligotróficas de los géneros: Pseudomonas, Bacillus, Micrococcus, Staphylococcus, Enterobacter, Acinetobacter y Arthrobacter. En menor número se encuentran microorganismos autótrofos (quimilitotrofos y fototrofos). También puede haber en ellas microorganismos alóctonos, procedentes de otros hábitats, considerados contaminantes, que coexisten con los anteriores, pero es rara la presencia de indicadores fecales y bacterias patógenas. En los manantiales hipertermales predominan las bacterias Gram positivas mientras que en los mesotermales son los bacilos Gram negativos y los cocos Gram positivos.

Manantial Baños de la Hedionda

La zona hiporreica

Se conoce como flujo hiporreico el que discurre a través de la arena, grava, o en general los sedimentos conectados a un curso de agua superficial. También llamado flujo intersticial por extensión se aplica, no sólo al proveniente del curso de agua sino al del agua que se infiltra en su entorno. El flujo hiporreico se produce incluso cuando el flujo superficial ha cesado, de hecho en zonas áridas puede ser mayor que aquel. La zona hiporreica es el espacio subterráneo a través del cual se produce el flujo hiporreico.

La importancia ecológica de la zona hiporreica y de sus pobladores es muy grande, en esta zona gran parte de la materia orgánica transportada por el agua se consume y mineraliza, produciéndose una activa depuración debido a la elevada actividad microbiana y al gran área de filtrado que presenta. Además, muchas plantas obtienen agua y nutrientes precisamente de esta zona.

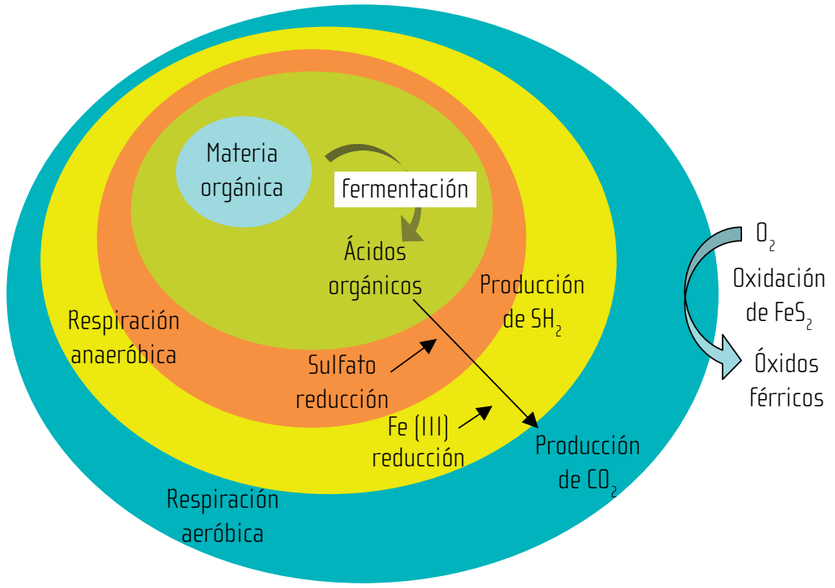


Esquema de situación de la zona hiporreica (Alley *et al.*, 2004)

Las particulares características de las aguas de algunos manantiales permiten el desarrollo de una vida altamente especializada

Pero en la zona hiporreica no sólo habitan numerosos géneros bacterianos y fúngicos, sino que están representados muchos otros taxones (acari, copepoda, syncarida, amphioda, isopoda, plecoptera, etc.), a estos minúsculos invertebrados que desarrollan completamente su ciclo vital en los intersticios de los materiales que forman la zona hiporreica, se les da el nombre genérico de estigobiontes recordando el Estigia, uno de los cinco ríos del inframundo de la mitología griega, sinónimo de las aguas subterráneas y de los seres vivos que en ellas habitan. Los estigobiontes no sólo pueblan los acuíferos, las obras humanas como los pozos o los filtros de arena con los que se equipan también son lugares adecuados para su desarrollo.

Los estigobiontes muestran un remarcable conjunto de características morfológicas y fisiológicas que pueden ser interpretadas como adaptaciones a su vida en el agua subterránea: se trata de seres de aspecto vermiforme, sin pigmentos y sin ojos. Comparados con organismos similares de aguas superficiales los estigobiontes tienen unas vidas mucho más prolongadas, 15 veces más largas e incluso más, viviendo en una especie de ralentí que hace que las diversas fases se prolonguen. Su metabolismo está reducido e incluso la reproducción es más lenta que la de sus equivalentes de superficie, aunque debido a su prolongada vida el número de descendientes puede ser similar al de sus homólogos de superficie.



En la figura se muestra un esquema de las diversas áreas de respiración microbiana que se desarrollan en el entorno de la materia orgánica en el medio subterráneo. En la foto se observa, desde la superficie del suelo al nivel freático, las zonas aeróbicas de oxidación de hierro, anaeróbicas de reducción de sulfato y las de fermentación y acumulación de materia orgánica

Figura tomada de:
Manual of Enviromental MIcrobiology.
ASM Press, Washingtong, D.C., USA.
2002

La zona hiporreica, ligada a cauces superficiales, como el río Guadalmedina, constituye uno de los sistemas de depuración natural del agua más importantes

La zona saturada profunda

La zona saturada profunda es el dominio de los microorganismos más pequeños, principalmente bacterias. Hay que tener en cuenta que en este ambiente las condiciones de falta de nutrientes son extremas y sobre todo, la posibilidad de acceso a organismos de un cierto tamaño, mayor de algunos cientos de micras, está limitado por el efecto de filtrado mecánico ejercido por los materiales que forman el acuífero. Una excepción lo constituyen los acuíferos kársticos o fisurados a través de cuyos canales, si tienen suficiente tamaño, pueden viajar seres de mayor porte a gran velocidad directamente desde el área de infiltración del agua.

Las comunidades microbianas activas en los acuíferos pueden determinar el carácter y calidad de las aguas y su adecuación para el consumo humano, esto depende de la actividad de cada grupo microbiano, que pueden por ejemplo: (1) eliminar aquellos compuestos orgánicos que producen olor y sabor en el agua; (2) solubilizar minerales, produciendo un aumento de los sólidos disueltos, así como una alteración en la permeabilidad del sistema; y en el caso de acuíferos anaerobios (3) catalizar las reacciones que producen elevadas concentraciones de compuestos indeseables, como el ión ferroso o el ácido sulfídrico.

3.

El desarrollo de los microorganismos en el acuífero, donde otras condiciones suelen ser bastante estables, se ve influido principalmente por el potencial redox que es además directamente modificado por la acción microbiológica, en especial por la disponibilidad de un aceptor final de electrones que permita tener una fuente de energía eficiente. En el agua subterránea estos aceptores son, ordenados de mayor a menor rendimiento energético, el oxígeno, NO^{3-}, Mn (IV), Fe (III), SO_4^{2-}, y CO_2 . En la figura se presenta un esquema que muestra este complejo sistema.

La presencia de los diversos aceptores, los controles fisiológicos ejercidos por cada grupo bacteriano y los valores umbrales para la utilización de donadores electrónicos, determina la actividad de grupos más o menos especializados como las bacterias reductoras del Fe(III), las sulfatoreductoras, las metanogénicas, etc.

Además se observa que los acuíferos, y en especial la zona no saturada, es muy irregular generando microambientes con gran actividad microbiana en las proximidades, por ejemplo, de acumulaciones de materia orgánica.

El acuífero es una estructura muy variable en el que pueden desarrollarse microambientes (en la foto alrededor de raices en descomposición) que permitan el desarrollo de poblaciones microbianas fuertemente especializadas

Las aguas subterráneas contaminadas, un nuevo hábitat

Como se ha dicho en apartados anteriores, el principal límite al desarrollo de la vida en las aguas subterráneas es la ausencia de nutrientes. No obstante, el desarrollo humano ha provocado la aparición de una situación totalmente nueva, los vertidos contaminantes introducen en los acuíferos enormes cantidades de materia orgánica, y de los más diversos nutrientes, en la mayoría de las ocasiones en forma de un "caldo" nutritivo complejo que a su vez aporta una gran carga microbiana. No se conoce todavía el impacto real que esta nueva situación puede provocar, pero ya son evidentes los efectos sobre la calidad de las aguas de abastecimiento que en ocasiones están seriamente afectadas.

La contaminación de las aguas subterráneas está causando una profunda modificación de sus características como soporte de vida, al aumentar, en varios órdenes de magnitud, su contenido en nutrientes

En resumen

Aunque el medio subterráneo presenta serias limitaciones al desarrollo de la vida, sobre todo por la ausencia de luz y la dificultad que tienen sus habitantes para encontrar fuentes de carbono orgánico, la evolución ha permitido que numerosas formas de vida se desarrollen en este medio aunque de forma lenta y como súper-especialistas, es precisamente esa especialización lo que hace que mucha de las comunidades subterráneas sean muy sensibles al impacto de la actividad humana. Por otra parte, los vertidos contaminantes, en especial los de carácter orgánico están modificando la composición de numerosas masas de aguas subterráneas al aportar nutrientes que de forma natural nunca hubieran llegado al interior de los acuíferos, los efectos ambientales de esta situación aún están por determinar.

3.11

Patrimonio hidrogeológico de la provincia de Málaga

3.11

Patrimonio hidrogeológico de la provincia de Málaga

Luis Carcavilla Urquí
Joaquín del Val Melús

La provincia de Málaga posee un rico y variado patrimonio hidrogeológico, caracterizado por la presencia de numerosos enclaves hidrogeológicos singulares y condicionados por una notable geodiversidad.

Este rico patrimonio hidrogeológico ha sido recientemente puesto de manifiesto gracias al inventario realizado en el año 2006 a través de un convenio firmado por el Instituto del Agua de Andalucía, de la Agencia Andaluza del Agua (Junta de Andalucía) y el Instituto Geológico y Minero de España: "Inventario de lugares de interés hidrogeológico de Andalucía". En este estudio se han identificado, descrito y seleccionado 63 enclaves andaluces que destacan por su interés hidrogeológico, esto es, los denominados Lugares de Interés Hidrogeológico (cuyo acrónimo es LIH) de Andalucía. Diez de ellos se sitúan en la provincia de Málaga.

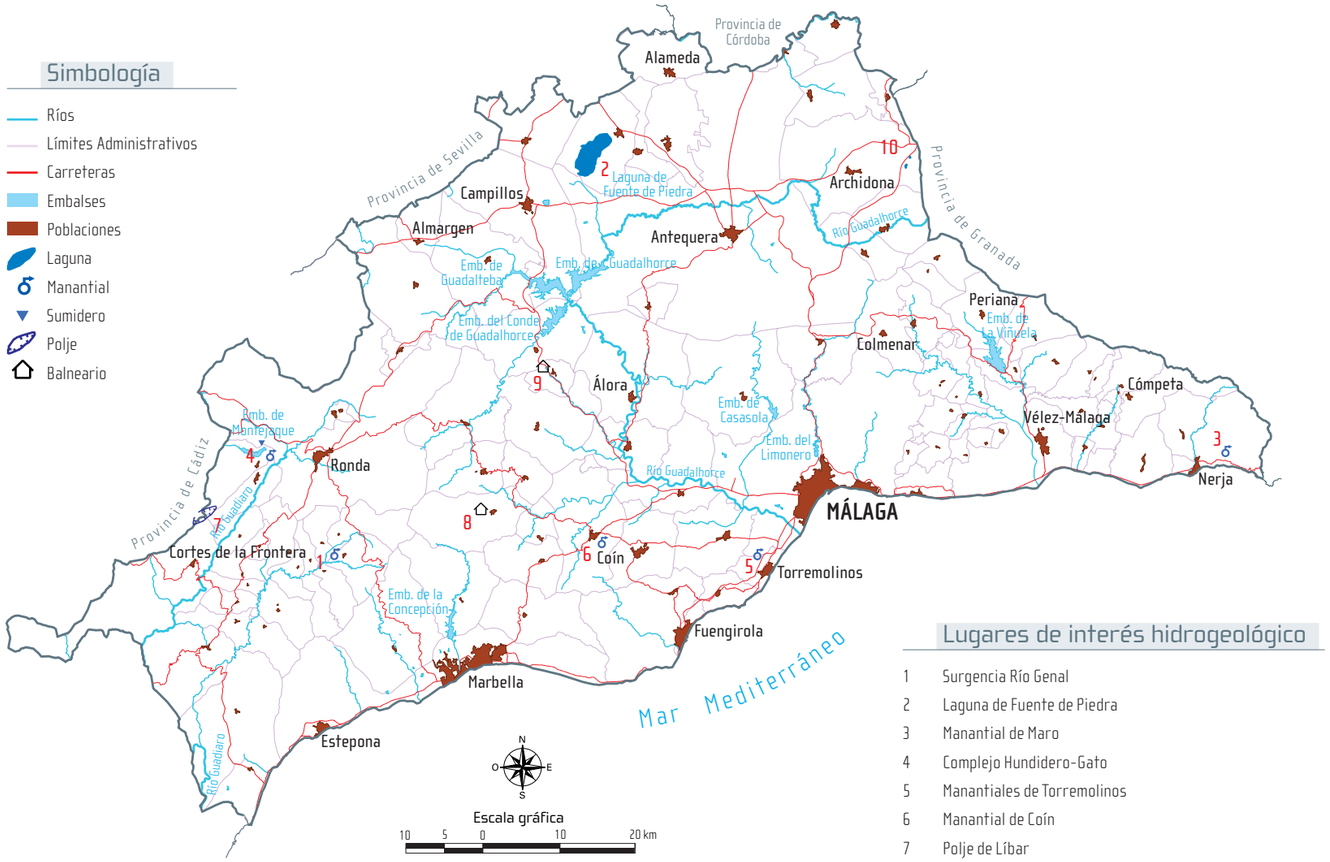
Los "Lugares de Interés Hidrogeológico" son enclaves singulares relacionados con el patrimonio hídrico natural de interés histórico y cultural. En ellos se conjugan, por tanto, aspectos científicos, culturales, sociales, medioambientales, didácticos y recreativos. En conjunto forman el patrimonio hidrogeológico, compuesto por "todos aquellos lugares en los que el recurso agua presenta particular interés por su belleza natural, desde un punto de vista histórico, por su importancia o por su uso específico en un momento dado, por su belleza arquitectónica directamente relacionada con el uso del agua, así como por el volumen que representa dentro del total de los recursos de la comunidad".

De la definición anterior se deduce que forman parte del patrimonio hidrogeológico los elementos ligados directa o indirectamente con los acuíferos o con el agua subterránea, como por ejemplo, una surgencia o un acuífero completo. Pero también aquellos lugares que muestren el particular uso que de las aguas subterráneas hace el hombre y no sólo en la actualidad, sino también los enclaves que muestran la utilización de las aguas subterráneas durante siglos, utilizando las más diversas tecnologías. Esto ha dado lugar a un patrimonio arquitectónico, histórico y arqueológico-industrial relacionado con las aguas subterráneas, formado por fuentes ornamentales, arquitectura balnearia, pozos abandonados, canalizaciones, norias y otras estructuras de alto valor histórico y cultural.

Conocer el patrimonio hidrogeológico de un lugar como la provincia de Málaga nace de la necesidad de relacionar el patrimonio hidrogeológico con la geodiversidad en el ámbito de favorecer la gestión y conservación del medio ambiente hídrico natural. Además, permite conocer y analizar el estado de conservación de los lugares de interés hidrogeológico, identificando posibles alteraciones, amenazas para su conservación, carencias y modificaciones sufridas, lo que permite orientar su gestión.

En la provincia de Málaga han sido identificados diez lugares de interés geológico de relevancia, al menos, regional. De ellos, seis corresponden a surgencias naturales, algunas de las cuales incluso son utilizadas en balnearios, como ocurre en Carratraca y Tolox. Otros dos LIHs son humedales, con una relevancia ecológica y paisajística notable, como son las lagunas de Fuente de Piedra y de Archidona. Y por último, destaca la existencia de una zona de infiltración, como son los poljes de la Sierra de Líbar.

Mapa de lugares de interés hidrogeológico de la provincia de Málaga



Manantial Albercón del Rey (Torremolinos)

Manantiales de Torremolinos

En las proximidades de esta localidad se sitúan una serie de manantiales que históricamente han servido para el abastecimiento de agua a la ciudad de Málaga. Se trata de seis manantiales que constituyen los principales puntos de descarga natural de la mitad oriental de la Sierra de Mijas, en el contacto entre los mármoles triásicos de la sierra (acuíferos) y las margas pliocenas del litoral (materiales de baja permeabilidad).

Estas surgencias naturales, como todas las de la Sierra de Mijas, están secas desde mediados de los años ochenta, debido a la sobreexplotación a la que es sometido el acuífero de Torremolinos para el abastecimiento de las poblaciones de su entorno, en permanente expansión. Representan un ejemplo didáctico de cómo un recurso que ha sido utilizado de manera sostenible durante siglos se ve seriamente afectado por la falta de planificación y, en este caso, por un desarrollo urbanístico desproporcionado. El entorno de los manantiales se encuentra actualmente adecuado para la visita turística, lo que permite conocer cualquiera de los 19 molinos que llegaron a estar en funcionamiento a principios del siglo XX, alguno de los cuales se encuentra restaurado, así como la ermita rociera que acoge, anualmente, la romería de San Miguel.

Entorno del Balneario de Fuente Amargosa (Tolox)

Manantial de Coín

La surgencia natural de Coín es un importante y emblemático manantial de la comarca del Guadalhorce que a mediados del siglo XX movía siete molinos y era aprovechado por seis fábricas de harina y varios aserraderos de mármol y minicentrales hidroeléctricas, además de ser utilizado para el riego de 650 hectáreas de cultivos. Sin embargo, en la actualidad y al igual que los manantiales de Torremolinos, debido a los bombeos realizados en sus inmediaciones la surgencia natural de Coín se encuentra seca y sólo emerge en épocas de recarga abundante.

Balneario de Fuente Amargosa

En las proximidades de la localidad de Tolox, al pie de la Sierra de las Nieves, se encuentra una surgencia natural de aguas minero-medicinales que son aprovechadas por el Balneario de Fuente Amargosa. Conocido desde antiguo el carácter minero-medicinal de las aguas del manantial, el balneario se construyó en 1869 y sigue activo en la actualidad. El manantial representa la salida del agua circulante a partir de la red de fracturas existentes en el macizo peridotítico. Proporciona aguas blandas, frías y de elevado pH, y constituye un buen ejemplo de manantial en medios de baja permeabilidad.

Nacimiento de Coín

3.

Balneario de Carratraca

Este famoso balneario, que fue durante el siglo XIX el más importante de Andalucía, aprovecha uno de los manantiales que drenan el acuífero kárstico de la Serrezuela de Carratraca. Formado por mármoles dolomíticos de edad triásica, constituye un acuífero libre. La propia localidad de Carratraca ha ido creciendo alrededor del manantial, cuyas propiedades curativas eran conocidas ya desde épocas romanas, lo que ha sido aprovechado para poner nombre al actual balneario.

Lagunas Grande y Chica de Archidona

Estos dos humedales situados en las proximidades de Archidona conjugan interés hidrogeológico, geomorfológico, paisajístico y ecológico, por lo que fueron declarados Reserva Natural por la Junta de Andalucía. Se trata de dos depresiones cerradas de origen kárstico desarrolladas sobre materiales evaporíticos, cuyo fondo se sitúa por debajo del nivel freático, con facies sulfatada-clorurada sódico-cálcica. Las lagunas se sitúan en un sector que hace de divisoria entre la cuenca mediterránea y la atlántica, en una zona donde la red de drenaje está poco definida, favoreciendo los fenómenos endorreicos. Además de las dolinas que ocupan las lagunas Grande y Chica, en el entorno abundan otras depresiones de origen kárstico, algunas de las cuales funcionan como zonas de recarga del sistema y que se inundan después de precipitaciones intensas.

Polje de Líbar

Esta espectacular manifestación kárstica se sitúa en la Sierra de Líbar, a pocos kilómetros de la localidad de Montejaque. Posee unas moderadas dimensiones (4,3 x 1,5 km) y constituye un buen ejemplo de modelado kárstico sobre un relieve estructural. En el fondo escalonado del polje se sitúan varios sumideros que recargan el acuífero de la Sierra de Líbar. A su interés científico se une el paisajístico, al ubicarse en un entorno atractivo y muy bien conservado, así como su potencial didáctico, al ser un excelente ejemplo para estudiar la recarga de acuíferos kársticos.

Fachada principal del balneario de Carratraca

Polje de Líbar

Laguna de Fuente de Piedra

Laguna de Fuente de Piedra

Este humedal de excepcional interés, que fue declarado Reserva Natural por la Junta de Andalucía, constituye la laguna más extensa de Andalucía y uno de los complejos salino-lagunares de mayor superficie de España. Con un origen kárstico sobre rocas evaporíticas del Trías, constituye la zona de descarga natural de los acuíferos de las sierras de Humilladero y La Camorra. Además, acoge a la mayor colonia de flamencos de la Península Ibérica, así como a otras especies de aves acuáticas. Ocupa el fondo plano de una extensa depresión que se sitúa en un entrono eminentemente llano. En los inviernos más lluviosos la lámina de agua puede alcanzar el metro y medio de altura, mientras que en los estiajes más acusados llega a secarse totalmente, cubriendo el fondo de una costra de depósitos salinos que han sido explotados desde la época romana. La Laguna de Fuente de Piedra posee un alto interés científico, didáctico y turístico, y cuenta con un Centro de Interpretación que ayuda a divulgar mejor su funcionamiento geológico e hidrogeológico así como su relevancia ecológica.

Complejo Hundidero-Gato

El complejo subterráneo de Hundidero-Gato constituye uno de los sistemas endokársticos más relevantes de Andalucía. Está formado por una red de conductos de casi diez kilómetros de recorrido y se desarrolla en rocas carbonatadas jurásicas y cretácicas. El gigantesco sumidero del Hundidero y el manantial de la Cueva del Gato forman un conjunto espectacular, lo que hace de él uno de los principales reclamos de la zona. Para aprovechar su interés científico y didáctico se ha construido un centro de interpretación en la localidad de Montejaque.

Complejo Hundidero-Gato. Sala de las Dunas (Montejaque-Benaoján)

3.

Manantial de Maro

Este manantial constituye el principal punto de descarga de la Sierra Almijara, relieve abrupto y escarpado cuyos mármoles de edad triásica presentan varias manifestaciones kársticas de interés, entre las que se sitúa la cercana Cueva de Nerja y el propio manantial. La Sierra alcanza el litoral, dando lugar a una costa acantilada en la que se sitúan otros manantiales por los que el acuífero descarga importantes caudales, en algunos casos bajo el mar, como ocurre en los acantilados de Cerro Gordo. Al interés hidrogeológico y paisajístico se une el cultural, al existir en el entorno numerosas construcciones utilizadas para el aprovechamiento de los recursos hídricos como acequias, albercas, molinos y acueductos, así como torres-vigía de los siglos XV y XVI declaradas Bien de Interés Cultural.

Acantilados en el entorno de Maro (Nerja)

Cascada al mar de agua procedente del Manantial de Maro (Nerja)

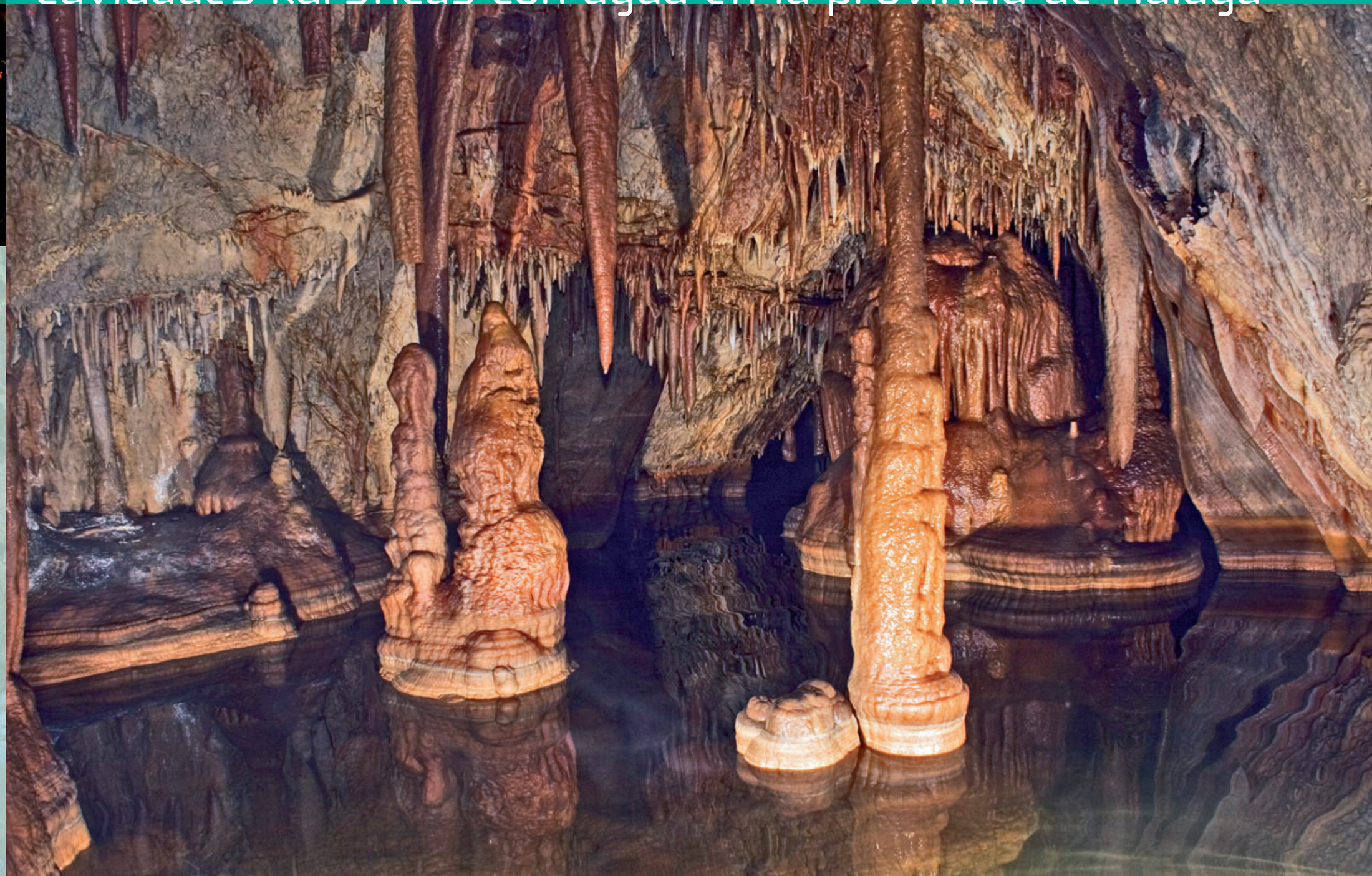
Surgencia del Río Genal (Igualeja)

Surgencia del Río Genal

La surgencia natural del Río Genal constituye uno de los puntos de descarga del acuífero de la Sierra de Las Nieves, donde se presenta un excepcional modelado kárstico. Se trata de un manantial de tipo vauclasiano donde, por un sifón de decenas de metros de profundidad, asciende el agua subterránea hasta la boca de una cueva y desde ésta mana a la superficie. El manantial se utiliza para abastecer a la población de Igualeja. La surgencia da origen al Río Genal, en un paraje de elevado interés paisajístico y ecológico, con representación de ecosistemas muy diversos, singulares y bien conservados. Se trata, por tanto, de un paraje natural, que combina aspectos geológicos y ecológicos de interés.

3.12

Cavidades kársticas con agua en la provincia de Málaga



3.12

Cavidades kársticas con agua en la provincia de Málaga

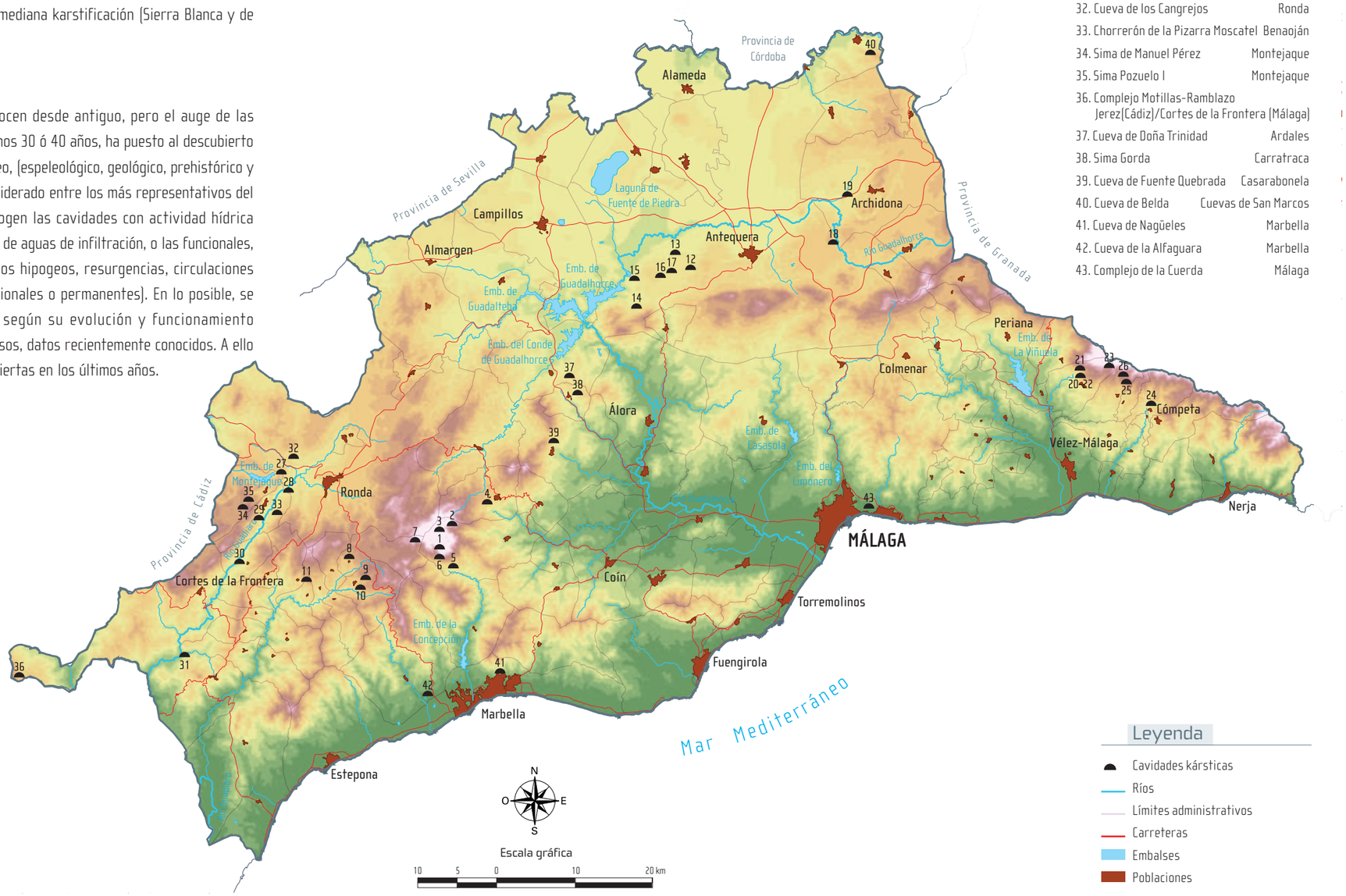
José Francisco Ganfornina Moreno

Del notable conjunto de formaciones montañosas de altitud media o Sierras, desplegadas a lo largo y ancho de la geografía provincial, destacan un buen número de macizos kársticos pertenecientes a la Zona Externa (Dominio Penibético, Trías) e Interna (Complejo Alpujárride, Maláguide, Dorsal Bética) de la Cordillera Bética. En general, estos macizos han sido clasificados como de alta (Sierra de Líbar, de las Nieves, Tejeda- Almijara, entre otros) o mediana karstificación (Sierra Blanca y de Mijas, por ejemplo).

Algunas cavidades importantes se conocen desde antiguo, pero el auge de las exploraciones espeleológicas, en los últimos 30 ó 40 años, ha puesto al descubierto un importantísimo patrimonio subterráneo, (espeleológico, geológico, prehistórico y biológico), en este territorio, siendo considerado entre los más representativos del Sur peninsular. En este capítulo se recogen las cavidades con actividad hídrica comprobada: las que contienen depósitos de aguas de infiltración, o las funcionales, (cavidades absorbentes, pérdidas, cursos hipogeos, resurgencias, circulaciones freáticas, surgencias estacionales, ocasionales o permanentes). En lo posible, se intentará caracterizar cada cavidad según su evolución y funcionamiento hidrogeológico, aportando, en algunos casos, datos recientemente conocidos. A ello se añadirán las nuevas cavidades descubiertas en los últimos años.

Cavidades con agua en la Provincia de Málaga

1. Sima GESM	Tolox	16. Cueva Higuerones XIV	Antequera
2. Sima del Aire	Tolox	17. Cueva Lagunillas VIII	Antequera
3. Sima Prestá	Tolox	18. Surgencia del Barranco de Cea	Archidona
4. Surgencia de Zarzalones	Yunquera	19. Cueva del Agua	Archidona
5. Alfaguara del Cinojal	Tolox	20. Cueva de la Fájara	Canillas de Aceituno
6. Cueva Río Verde de Tolox	Tolox	21. Cueva del Cañón	Canillas de Aceituno
7. Sima de la Nava	Parauta	22. Surgencia de la Fájara	Canillas de Aceituno
8. Cueva de la Minilla	Parauta	23. Cueva del Púlpito	Canillas de Aceituno
9. Cueva de las Excéntricas	Igualeja	24. Cueva del Agua	Canillas de Albaida
10. Surgencia del Genal	Igualeja	25. Cueva de la Cascada	Sedella
11. El Pozancón	Alpandeire	26. Surgencia Oreá	Sedella
12. Cueva Sima del Negro	Antequera	27. Cueva de Hundidero	Montejaque
13. Cueva Juncar I	Antequera	28. Cueva del Gato	Benaoján
14. Sima Águila I	Antequera	29. Cueva de la Pileta	Benaoján
15. Cueva Higuerones IX	Antequera	30. Cueva del Chapi	Jimera de Líbar
		31. Surgencia de las Buitreras	Gaucín
		32. Cueva de los Cangrejos	Ronda
		33. Chorrerón de la Pizarra Moscatel	Benaoján
		34. Sima de Manuel Pérez	Montejaque
		35. Sima Pozuelo I	Montejaque
		36. Complejo Motillas-Ramblazo	Jerez(Cádiz)/Cortes de la Frontera (Málaga)
		37. Cueva de Doña Trinidad	Ardales
		38. Sima Gorda	Carratraca
		39. Cueva de Fuente Quebrada	Casarabonela
		40. Cueva de Belda	Cuevas de San Marcos
		41. Cueva de Nagüeles	Marbella
		42. Cueva de la Alfaguara	Marbella
		43. Complejo de la Cuerda	Málaga



Sima GESM. Meandro del futuro

Sierra de las Nieves

Sima GESM (TO-1 GESEM)

Tolox
Recorrido: 5.944 m
Desnivel: 1.112 m (2006)

La sima más importante y conocida de Andalucía se compone de una sucesión vertical de pozos de variadas longitudes (de hasta 158 m) conectados por meandros generalmente estrechos y sinuosos, una típica morfología de circulación hídrica de tipo vadoso. Un exiguo arroyo aparece en la cabecera del llamado Gran Pozo y ya no abandonará todo el recorrido, jalonado de charcos y marmitas, con desfondes, pérdidas y resurgencias frecuentes. Con la profundización, y tras superar el pozo Paco de la Torre, el caudal hídrico circula con un apreciable incremento gracias a los aportes que se observan en los meandros inferiores, (Manuel Morales y Tolox). Finalmente, el agua se embalsa en el conocido Lago E.R.E.

Este sifón se desarrolla en una rampa de arcilla, que a los 130 m, alcanza un fondo de 24 m; en los siguientes 70 m asciende, y sale a un pequeño lago en una gran galería seca descubierta en 1990, y recientemente explorada en julio de 2007.

Diversas observaciones se han citado en relación con las crecidas invernales: señales en torno a 1 m de ascenso habitual de nivel en los meandros inferiores y hasta de 2 m en el lago E.R.E. como consecuencia de una primera tormenta otoñal. El importante descubrimiento de una Vía lateral en el año 2003, a partir de la cota -360 m ha supuesto un incremento de las exploraciones que, en los últimos años, han alcanzado los -919 m., y casi duplicado el desarrollo de la sima. La circulación en esta nueva vía es de similares características, manteniendo un pequeño curso de agua desde el inicio.

Este se reactiva con aportes desde el pozo Paulino Plata y el meandro del futuro hasta el final conocido, cercano a un pequeño lago de gran belleza (lago Puff), según información personal de M.J. Guerrero del año 2006.

Se ha realizado un trazado con fluoresceína entre el lago E.R.E. y las principales surgencias de la zona, con resultado positivo para la de Zarzalones, el nacimiento del río Grande, que dista en línea recta unos 7.500 m y presenta una diferencia de cota de unos 150 m.

Sima GESM

Sima del Aire (TO-61 GESEM)

Tolox
Recorrido: 6.100 m
Desnivel: -650 m (2005)

La Sima-Cueva del Aire es una de las cavidades andaluzas de mayor profundidad; tiene una estructura peculiar, en claro contraste con todas las conocidas actualmente en la Sierra de las Nieves. En su comienzo, presenta una gran verticalidad, con estrechos pozos y meandros hasta la cota de -520 m, por donde se encauza la corriente de aire que le da nombre. La sima desemboca en una red horizontal de envergadura, en estado fósil, (galería del Metro) que, a su vez, conecta con una red más profunda (galería del Cañón), y un nivel freático, supuestamente colgado, a -640 m. Esta red activa se muestra a través de numerosos sifones. En sentido descendente, se suceden los denominados Primer Sifón (-632 m, impenetrable), Sifón Doble (-632 m), Sifón de la Campana (-640 m), y Sifón Negro (-640 m). Los tres últimos, han sido conectados recientemente mediante exploraciones subacuáticas, definiendo una galería freática contínua. Otros sifones de menor entidad, y, al parecer, no funcionales, se encuentran a niveles superiores, como los dos hallados en la galería del Padre, o el situado al fondo de la galería lateral descendente en la galería del Aporte (-570 m). Resultan destacables los afluentes de agua a través de caídas verticales (Trifurcación, galería del Aporte), así como una pequeña y curiosa surgencia de agua espesa y de intenso color rojo, posiblemente ferruginosa, según las apreciaciones de R. Ferrer en 2006.

Una experiencia de trazado con eosina, realizado por la Universidad de Málga, en uno de los sifones ha confirmado su conexión con la Surgencia de Zarzalotes.

Sima del Aire

Sima del Aire. Vertido de trazador

3.

12 Cavidades kársticas con agua en la provincia de Málaga

Sima Prestá (TO-75 - GESEM)

Tolox
Recorrido: 1.056 m
Desnivel: -800 m (2007)

El último descubrimiento espeleológico de importancia en la Sierra de las Nieves, ha pasado a ser, tras recientes exploraciones, la segunda cavidad más profunda de Andalucía, con gran futuro potencial.

Como la mayor parte de estas simas, por su carácter vadoso, mantiene un curso de agua permanente a partir de la cota -180 m en que aparece un aporte lateral. Continúa hasta los - 320 m, donde se hace intermitente en los meandros (meandro Crítico), y vuelve a reaparecer en la sala Nagana a - 355 m. Tras el vivac de -400, sigue su curso a través del meandro Karstigo y el pozo del Centenario (-659 m).

Las últimas exploraciones (agosto de 2007), han logrado superar la cota de -800 m, contactando, al igual que la Sima del Aire, con una red de galerías horizontales.

Sima Prestá

Surgencia de Zarzalones (YU-1 GESEM)

Yunquera
Desarrollo: 1.970 m
Desnivel: 71,6 m (-41,9; +29,7)

Sin duda se trata de una de las surgencias kársticas más destacadas de la Península, tanto si se analiza desde el punto de vista hidrogeológico (con caudales medios entre 1.500 y 2.000 L/s.), como espeleológico, superando los 1900 m de galerías inundadas de grandes dimensiones y fuertes desniveles que dificultan técnicamente la exploración. Prácticamente inundada en todo su recorrido, contiene sólo tres burbujas de aire en su interior, así como una galería seca cercana a la boca con restos arqueológicos del Neolítico. Su comprobada conexión hidrológica mediante trazadores con Sima G.E.S.M y Sima del Aire, unida al conocimiento de la estructura sinclinal (drenaje a través del eje SO al NE) que vertebra esta parte de la Sierra de las Nieves, hace presumir la existencia de un gran complejo endokárstico del que Zarzalones constituiría su avenamiento final.

La surgencia es un claro ejemplo del tipo II (de la clasificación de Ford y Williams), con desarrollo en profundidad.

Alfaguara del Cinojal

Tolox
Desarrollo: 716 m
Desnivel: 56 m (-40 /+16) (2006)

Tras este sonoro nombre, quizás el más bello de entre todas las cavidades andaluzas, se esconde una gran surgencia temporal cuyo sorprendente alumbramiento espeleológico tuvo lugar hace poco tiempo, en julio de 2004.

Su galería principal, de grandes dimensiones, contiene un lago residual de 22 m de longitud, un primer sifón corto, y un segundo sifón aún inexplorado, y, al parecer, bastante profundo. Pero lo más interesante es la aparición de una corriente hipogea en la galería seca que vuelve a desaparecer, detectándose también su actividad en un tramo de galería a un nivel inferior, que se conecta a través de sendos pozos de 10 y 25 m con la galería principal, funcionando éstos, probablemente, como chimeneas

Zarzalones, topografiando

de crecida. El potente ascenso del nivel freático de sus aguas en los periodos de fuertes precipitaciones ha quedado atestiguado en forma curiosamente accidental mediante una marca de hollín (procedente de las cenizas de un grave incendio forestal que arrasó la zona en 1991) en la pared de la galería, que en algunos puntos se eleva a unos 5 m sobre el suelo, casi la mitad de la altura total del conducto.

La situación de esta cavidad en la cuenca del nacimiento del río Verde, a menos de un kilómetro de distancia, y por encima de ésta, hace probable una conexión hidrológica real, lo que convertiría el curso activo de la cueva en un tramo subterráneo del río Verde.

Alfaguara del Cinojal

Cueva Río Verde de Tolox

Tolox
Recorrido: 300 m
Desnivel: +30 m (2006)

Descubierta en diciembre de 2006, y apenas en los preliminares de su exploración, promete añadirse, en los próximos años, a la selecta lista de grandes cavidades de la Sierra de las Nieves. Se trata de una pérdida en el talweg seco de la cuenca alta del río Verde, situada por encima de la Alfaguara del Cinojal, y, - en espera de futuras investigaciones-, en probable relación con ella y la surgencia inferior. La pérdida accede a una galería de grandes proporciones por la que circula un caudaloso curso subterráneo, que termina en un sifón. En sentido ascendente, tras más de 300 m de recorrido, y la superación de una cascada, el río vuelve a sifonarse, aunque un remonte permite su continuidad. Todo ello, junto a las numerosas incógnitas detectadas, asegura el gran interés espeleológico e hidrogeológico de esta nueva cavidad.

Sima de la Nava (CES-8)

Parauta
Recorrido: 918 m
Desnivel: -220 m

El pequeño arroyo que atraviesa, en épocas de lluvia, el llano de la Nava, se adentra en esta sima que actúa como sumidero, siendo, por tanto, sólo practicable en verano. La cavidad se desarrolla en materiales de la denominada Brecha de la Nava, y consta de una sucesión de meandros y pozos donde el agua circula por gravedad, con diversas pérdidas y resurgencias, y, a veces, se embalsa en forma de sifones, cinco en total, de los cuales, al menos tres son someros, y pueden ser superados con sistemas de vaciado manual.

Sima de la Nava

Cueva de la Minilla

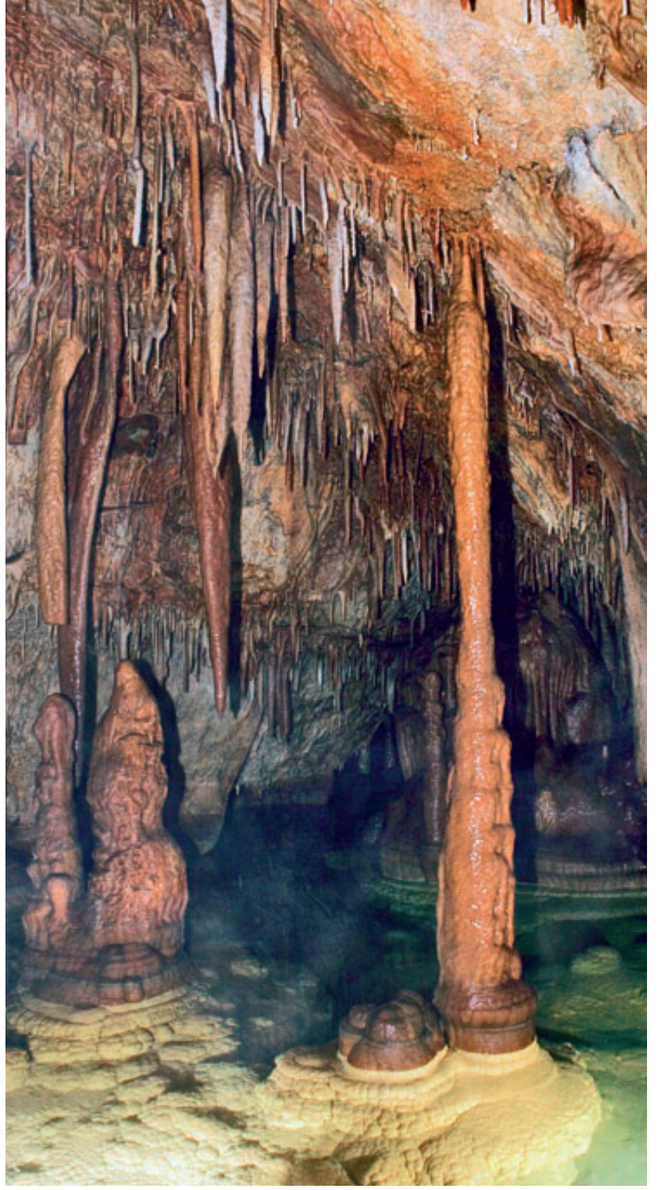
Parauta
Recorrido: 507 m
Desnivel: -36 m

Surgencia temporal, en los meses de lluvia intensa puede inundarse totalmente, funcionando como un trop-plein que desagua un considerable caudal. Por el contrario, en épocas de estiaje, el agua se concentra en algunos puntos bajos de la cavidad: El sifón I (de hasta 25 m de longitud), el lago intermedio, normalmente sifonado (de 2 m de longitud), y el sifón II, situado bajo un pozo vertical de 9 m, aún no explorado. Todos ellos se superan sólo con técnicas de espeleobuceo excepto el lago intermedio en épocas muy secas.

Cueva de las Excéntricas

Igualeja
Recorrido: 172 m
Desnivel: -15 m

Esta bella cavidad presenta acumulaciones de agua de infiltración, especialmente en el llamado lago del Anillo, que ocupa la sala de las Excéntricas. El lago tiene unos 20 m de longitud por 4 a 5 m de anchura, y una profundidad entre 0,5 y 1,5 m en la zona del paso del Anillo, situado junto a un gour que represa las aguas. Su nombre proviene quizás de los anillos de cristalizaciones epifreáticas que rodean las columnas y estalagmitas, indicando cierta estabilidad del nivel de las aguas.



Cueva de las Excéntricas, en Igualeja

Cueva de las Excéntricas, Igualeja

Cueva de las Excéntricas, Igualeja

3.

Surgencia del Genal

Igualeja

El nacedero del río Genal (270 L/s de caudal) surge de una amplia caverna que en pocos metros sifona. Ha sido explorada por J. Mayorga en sus primeros 200 m, alcanzando los 32 m de profundidad.

El Pozancón

Alpandeire

Cavidad subvertical inundada que funciona estacionalmente como fuente vauclusiana, cuando su crecida desborda, vertiendo sus aguas a través de un torrente al exterior con gran caudal. Las ondas de crecida, asociadas a épocas de grandes precipitaciones, suelen tener una duración de 4 a 5 horas según M. J. Guerrero al cabo de las cuales, el nivel vuelve a estacionarse.

Cueva Juncar I

Yesos Triásicos

Se han catalogado unas 105 cavidades en yeso, distribuidas principalmente en la zonas de Gobantes, Antequera y Archidona. Tipológicamente, son cavidades de absorción y circulación vadosa temporal. Sólo ocho de ellas se consideran con agua permanente, debido a su mayor desarrollo o carácter de surgencia activa.

Cueva Sima del Negro

Cueva Sima del Negro (AN-84 GESEM)

Antequera
Recorrido: 1.235,75 m
Desnivel: 50,24 m

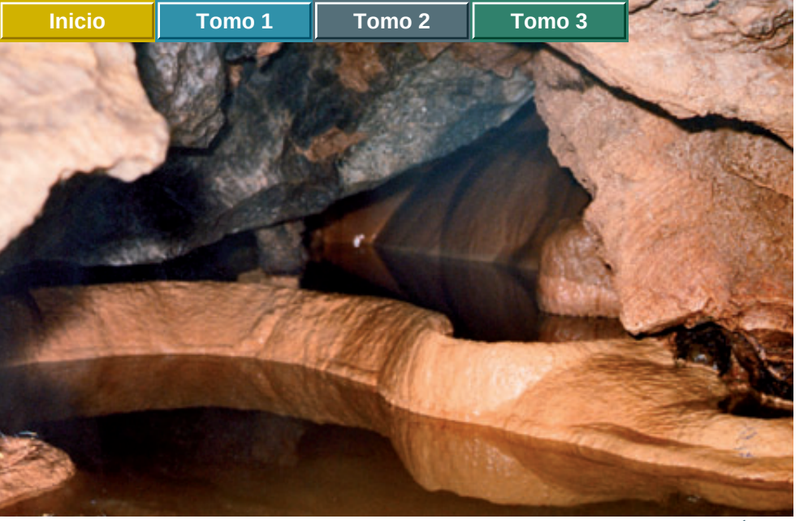
La mayor cavidad en yesos de la provincia, es el desagüe natural de una extensa cuenca cerrada en la zona de Antequera. Posee una galería general con niveles fósiles, meandros y tubos que llegan a formar hasta cinco niveles superpuestos.La zona central es sifonante, con circulación de un pequeño curso de agua a partir de los 200 m de la entrada, que crece con rapidez en caso de lluvias.

Nacimiento del Río Genal

Cueva Juncar I (AN-85/87 GESEM)

Antequera
Recorrido: 704,80 m
Desnivel: 25,96 m

Bello complejo compuesto por una pérdida temporal que pronto contacta con una galería fósil, y una planta inferior activa. Ambos extremos de esta última acaban en sendos sifones. El inferior, tras 25 m, resurge en forma de manantial penetrable unos 5 m (AN-87).



Gours en la Sima Águila I

Sima Águila I (AN-89)

Gobantes (T.M. de Antequera)
Recorrido: 301,5 m
Desnivel: -112 m

La mayor vertical en yesos de la provincia, es atravesada por una galería que contiene un curso de agua perenne a partir de los -60 m de profundidad. Aguas arriba se desarrollan las galerías llamadas del Tiritón y Granada, que forman, en algunos puntos, bóvedas sifonantes por embalsamiento de gours. Aguas abajo, el curso finalmente se pierde por un estrecho meandro, no sin antes excavar algunas marmitas de erosión bajo las caídas más importantes.

Cueva Higuerones IX (AN-88 GESEM)

Gobantes (T.M. de Antequera)
Recorrido: 359,60 m
Desnivel: 18,79 m

Posee la mayor cuenca de recepción de la zona de Gobantes, con un km. cuadrado de superficie. Su alta galería, levemente descendente, termina en un amplio sifón.

Cueva Higuerones IX

Cueva Higuerones XIV (AN-94 GESEM)

Gobantes (T.M. de Antequera)
Recorrido: 183,6 m
Desnivel: -36,44 m

Estrecha galería meandriforme con pequeña circulación de agua a partir de los 60 m de la entrada.

Cueva Lagunillas VIII (AN-91 GESEM)

Gobantes (T.M. de Antequera)
Recorrido: 615,85 m
Desnivel: -83,42 m

Meandro muy estrecho jalonado de algunos pozos. Tiene circulación perenne a partir de los 100 m de recorrido.

Surgencia del Barranco de Cea (ARCH-15 GESEM)

Archidona
Recorrido: 40 m

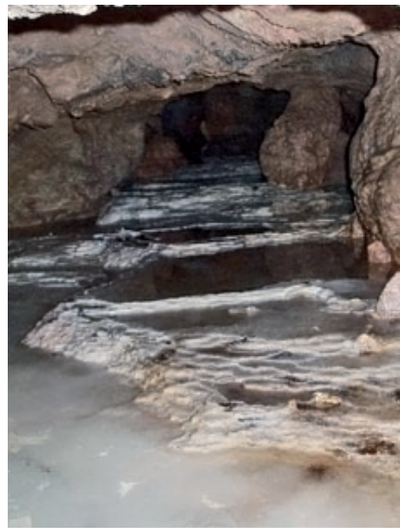
Surgencia activa penetrable unos 40 m.

Cueva del Agua (ARCH-12 GESEM)

Archidona
Recorrido: 310 m
Desnivel: +10 m

Surgencia importante del karst en yesos de Archidona, tiene una galería activa de 140 m de desarrollo en sentido ascendente, que recoge un apreciable caudal de la surgencia interior situada en su punto final. A ello se añade una amplia galería fósil y niveles colgados.

Cueva del Agua (Archidona)



Surgencia del Barranco de Cea

Sierra de Tejeda/Almijara

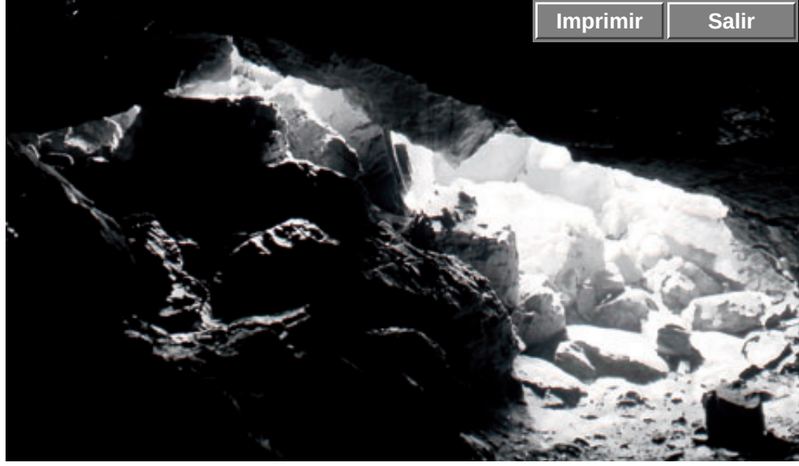
Cueva de la Fájara (CA-1 –GESEM)

Canillas de Aceituno
Recorrido: 1.500 m
Desnivel: -50 m

Esta cavidad emblemática de la Sierra de Tejeda es de origen freático, pero en la actualidad, perdida su función de surgencia permanente en favor del Nacimiento del río Bermuza (a escasos 80 m), mantiene un régimen epifreático con intensas crecidas invernales en trop-plein. Se articula en tres pisos o niveles de cavernamiento, siendo lógicamente el inferior, denominado galerías bajas, el que contiene la circulación hídrica en régimen anegado, con pequeñas circulaciones vadosas en algunos puntos. Toda esta zona es difícilmente transitable debido a su morfología, una intrincada red de laminadores buzantes según la inclinación de la estratificación (30º), con abundantes sedimentos arenosos de grano muy fino, por la abrasión de los mármoles. En los últimos años se realiza su exploración con técnicas de espeleobuceo, mediante la cual se han franqueado tres sifones consecutivos, previéndose todavía un amplio desarrollo. Por último, hay que destacar la magnitud de las crecidas en esta cavidad, que en algún caso excepcional comprobado, ha supuesto una oscilación de hasta 25 m sobre la rasante del régimen de verano, aunque lo habitual es que ascienda unos 15 m para activar el arroyo que parte de su boca.

Surgencia de la Fájara

Cueva de la Fájara, contraluz de la boca



Cueva del Cañón (CA-17 / CA-54 GESEM)

Canillas de Aceituno
Recorrido: 201 m
Desnivel: 23 m

Cavidad cercana a la Fájara, se abre a unos 180 m al NO en el mismo cañón de los Charcones. Se originó por una serie de pérdidas masivas del cañón, que evacuarían sus aguas hacia la cueva de la Fájara, cuyas galerías se encuentran exactamente debajo. Aunque el sifón terminal no ha podido ser superado debido a su estrechez, es indudable su conexión hidrológica con esta cueva con la que coincide en sus niveles de crecida, tanto normales como excepcionales.

Habiéndose comprobado pequeñas pérdidas en el lecho del cañón en actividad a favor de la cueva de la Fájara, se concibe un modelo espeleogenético evolutivo cañón-cuevas- surgencia temporal- surgencia activa interrelacionados en este sector de contacto mecánico entre los mármoles (Unidad de Tejeda) y los esquistos oscuros (Unidad del Charcón).

Surgencia de la Fájara o Nacimiento del Río Bermuza (CA-3 GESEM)

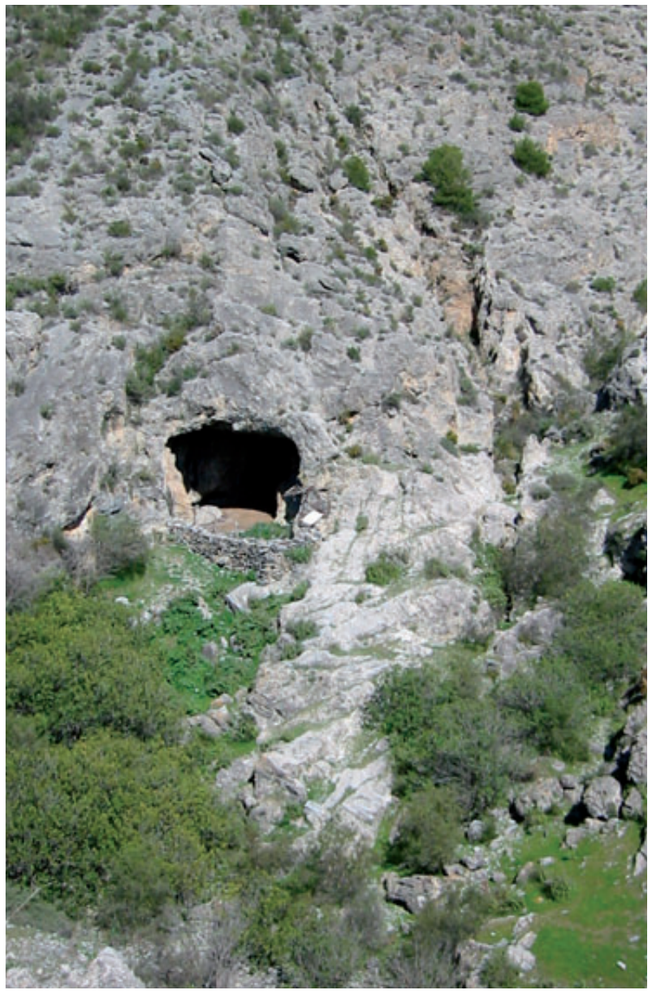
Canillas de Aceituno

El cuarto elemento del sistema, la surgencia permanente (150 L/s de caudal medio), sólo ha sido explorada de forma parcial, con técnicas de espeleobuceo. Las inmersiones descubrieron un conjunto de galerías y pequeñas salas hasta una profundidad de -13 m en que un estrechamiento con acumulación de cantos rodados obstaculiza el paso hacia un pozo inundado a mayor profundidad.

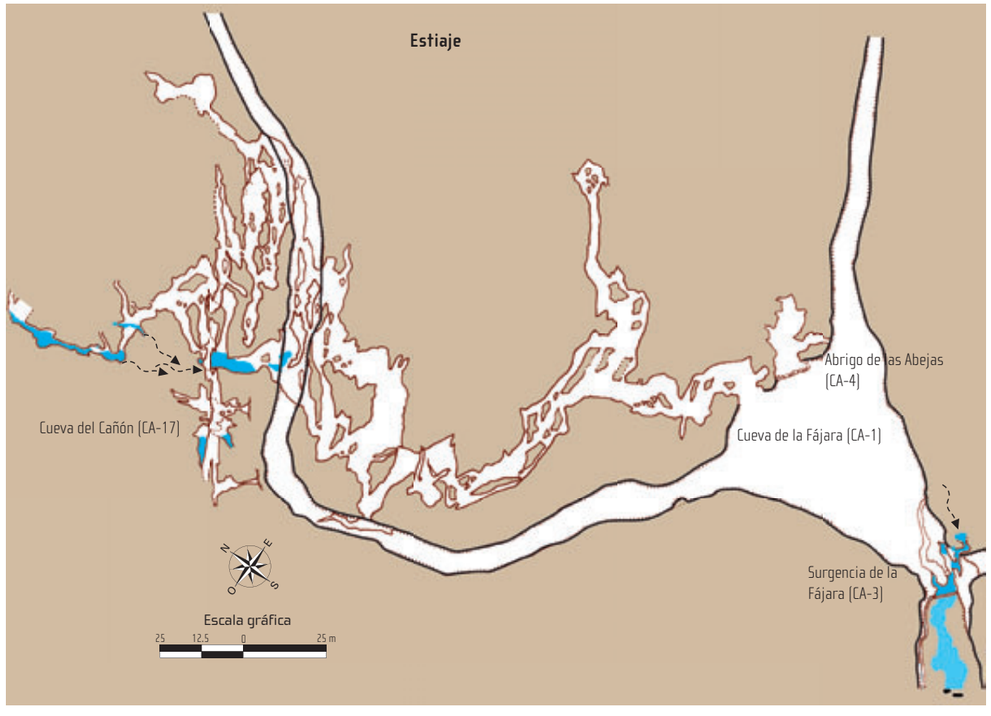
En el mes de febrero de 2007, se logró superar este paso por J. Lopera y continuar la exploración subacuática hasta -17 m, a través de laminadores muy dificultosos, que se dirigen claramente hacia la Cueva de la Fájara.

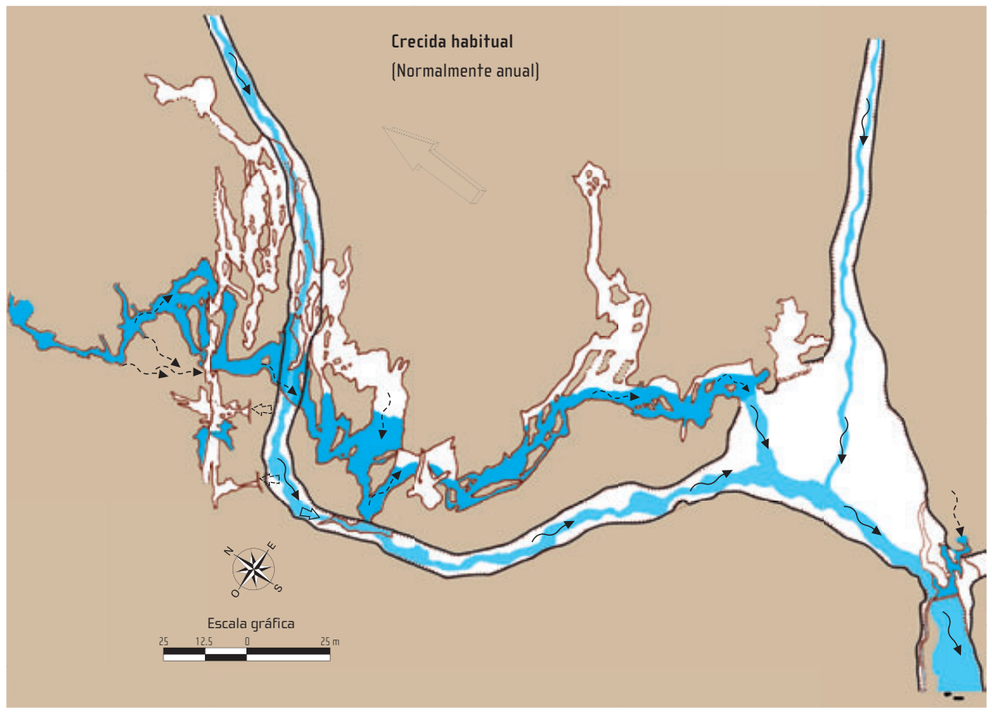
Por sus características podemos clasificar este manantial como de tipología II (de Ford y Williams), represado. Se han realizado por el IGME algunos análisis de isótopos de oxígeno en muestras de agua para averiguar la altitud de infiltración superficial, resultando ser de unos 1.200 m s.n.m.

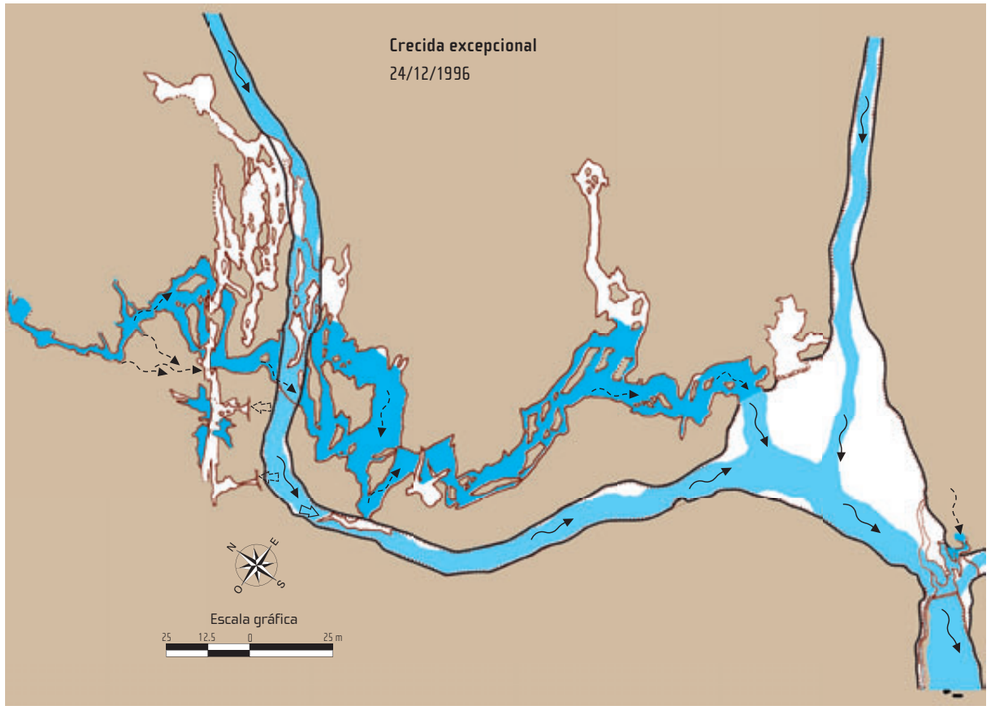
Panorámica de la zona de la Fájara



Cueva de la Fájara: esquema de inundación







Dirección de flujo hídrico subterráneo
Dirección de flujo hídrico superficial
Paleopérdidas
Pérdida funcional
Cañón kárstico

Cueva de la Fájara, sala de las estrellas

Cueva del Púlpito (CA -5 GESEM)

Canillas de Aceituno
Recorrido: 110 m
Desnivel: -15,70 m

Cavidad interesante por cuanto muestra una morfología freática, no muy habitual en la posición topográfica que ocupa en la actualidad, rozando la zona de cumbres, a más de 1.800 m de altitud, lo que nos habla de su antigüedad y el prolongado levantamiento del macizo de Tejeda.

Presenta, a diferentes niveles, espeleotemas semiesféricos adosados a las paredes llamados localmente púlpitos, que indican una larga alternancia de episodios fríos activos con otros cálidos de generación litoquímica durante el Cuaternario, así como un encajamiento progresivo de estrechos meandros con fondos ahora ocupados por agua de infiltración, sin circulación aparente.

Cueva del Púlpito

3.

12 Cavidades kársticas con agua en la provincia de Málaga

Cueva del Agua (CAB-1-GESEM)

Canillas de Albaida
Recorrido: 227 m
Desnivel: 39,73 m

Cavidad importante de esta zona de Sierra Almijara, es la única que contiene un lago residual de infiltración de considerables proporciones ocupando el fondo de la sala final. El lago, con unas dimensiones de 20 m de longitud por 6 m de anchura, es muy somero en su lado sur, pero siguiendo la inclinación natural del suelo gana rápidamente profundidad hasta 3 ó 4 m en el lado norte. Al final del lago existe una abertura descendente impenetrable, que al parecer funciona como rebosadero pocos centímetros por encima del nivel del agua.

Cueva de la Cascada (SE-6-GESEM)

Sedella

Pequeña cavidad en forma de tubo en el interior de un edificio travertínico situado en el río de la Fuente, a favor del cual se ha generado un salto de agua de unos 20 m de altura. Parte de esta escorrentía se encauza a través de la cavidad en una ligera pero contínua circulación vadosa originando suelos de gours con algunas formaciones pisolíticas.

Surgencia Oreá (SE-4-GESEM)

Sedella

Situada en la cabecera del valle del río de la Fuente, bajo la conocida cueva Oreá, es una pequeña surgencia colgada cuya agua circula por gravedad (tipo I de Ford y Williams). Se hace impenetrable a los 10 m de recorrido.

Sala en Hundidero

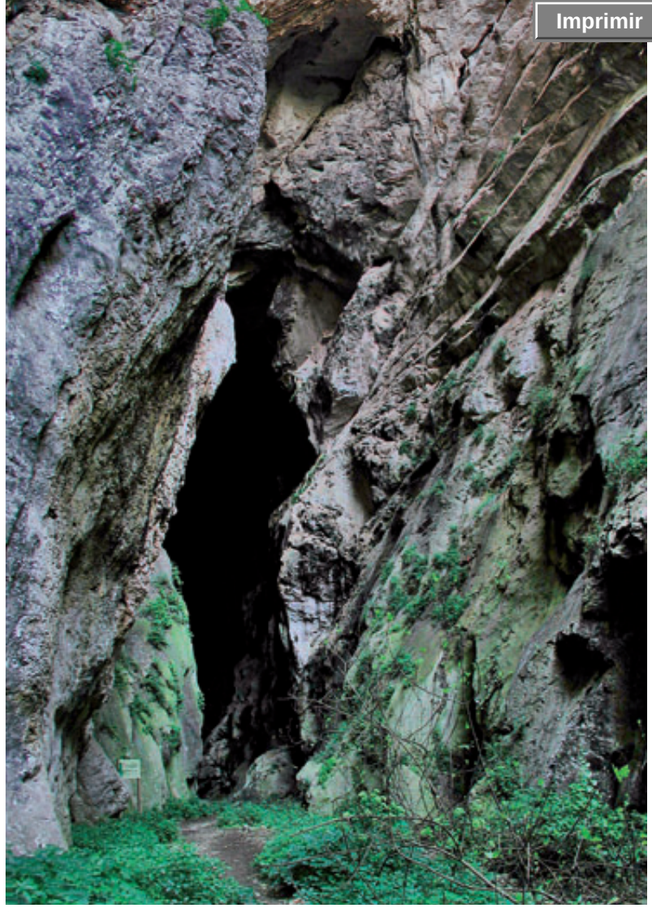
Sierra de Líbar

Sistema Hundidero-Gato

Montejaque- Benaoján
Recorrido: 7.818 m
Desnivel: 212 m (-162 m +50 m)

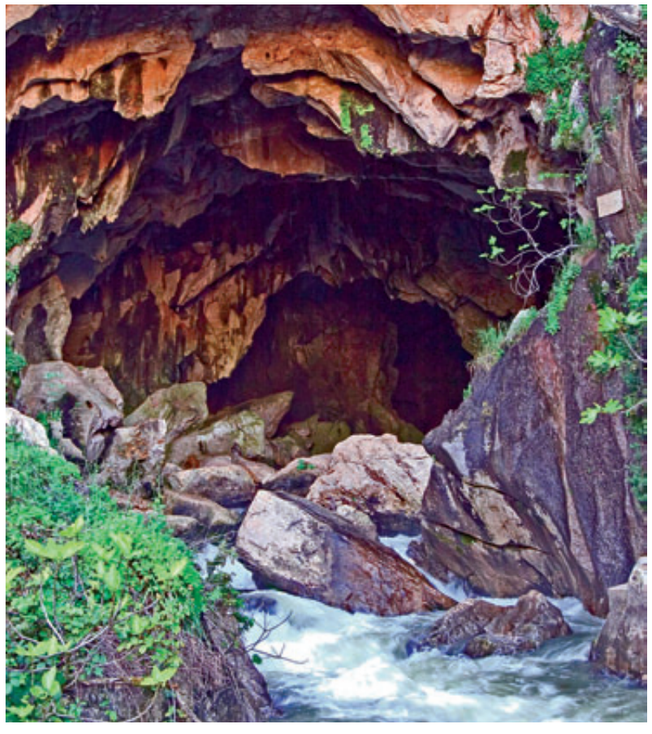
Sus especiales características (galerías de un impresionante volumen, imponente, y, a veces, peligroso sistema hídrico con numerosos lagos, pérdidas, sifones, surgencias, etc.) hacen de este complejo kárstico, uno de los más conocidos y respetados de Andalucía.

Detalle de Hundidero



Cueva de Hundidero: panorama de la boca

Cueva del Gato



Cueva del Gato

El sistema no era más que un tramo endokárstico del curso fluvial del Gaduares, que, tras internarse por la boca de Hundidero, y discurrir más de 4,2 km, resurgía por la boca de Gato, tributando sus aguas al río Guadiaro. Pero, a partir de 1920, la construcción de la presa de los Caballeros, poco antes de Hundidero, cortó el flujo superficial, interfiriendo notablemente la hidrología natural de la cueva. Este hecho ha ocasionado que, en la actualidad, el funcionamiento hidrogeológico subterráneo sea muy complejo en detalle, y aún no haya sido desentrañado en su totalidad. Debido a las filtraciones kársticas del vaso de la presa, (que nunca llegó a embalsar agua), se produce un efecto acumulativo en el acuífero subterráneo, incidiendo en la cavidad en el tramo de galerías comprendido entre La Ciénaga y el Cabo de las Tormentas, con aportes importantes (sobre todo en épocas de crecida), en los Toriles y la galería de la Puerta, afluentes por el margen derecho. A partir de aquí, se desarrolla el nivel activo, muy peligroso en aguas altas, como lo atestiguan los accidentes acaecidos en esta cavidad. Un nuevo e importante aporte procedente de la zona del arroyo de Montejaque lo encontramos en la galería 1100. Aquí se ha descrito la existencia de cantos blandos de arcilla, y cantos de arcilla armados, como consecuencia de crecidas rápidas y turbulentas en su sifón final. Por último, las aguas se pierden en la sima de las Dunas, en la sala homónima, reapareciendo en la boca de Gato a través de la surgencia de la galería del Martillo. Otra surgencia, más estable, en el margen izquierdo de la boca de Gato, puede provenir, al menos en parte, del semipolje de Benaoján y la vertiente sureste de la sierra de Juan Diego, lo que implicaría la existencia de una segunda red hidrológica. Esta hipótesis se vería corroborada por exploraciones subacuáticas que parecen mostrar surgencias a nivel del suelo (6 m de profundidad) en el interior del lago de la entrada de Gato.

Cueva de la Pileta

Benaoján
Recorrido: 2.000 m

Internacionalmente conocida por su santuario de arte rupestre prehistórico es, a la vez, una cueva importante desde el punto de vista espeleológico, con magníficas salas, galerías y pozos, en muchas ocasiones, -sobre todo en los pisos inferiores-, adornados con cantidad y variedad de espeleotemas.

Hidrológicamente, la cavidad funcionaría en un principio como un antiguo colector de los poljes superiores hacia el río Guadiaro, cuyo nivel de base, mucho más alto que el actual, determinaría un régimen freático o anegado. Más tarde, el encajamiento del valle propiciaría el descenso del nivel freático, generándose un activo crecimiento de espeleotemas. Existen también indicios de una posterior reactivación, con arroyadas que dejaron sus huellas en bloques y columnas en las galerías bajas. En la actualidad, la cueva no presenta más actividad hídrica que la derivada del goteo y la infiltración superficial, concentrándose las aguas en algunos charcos y pequeños lagos temporales, como el de la llamada Sala del Lago.

Cueva del Chapi

Cueva del Chapi

Jimera de Líbar
Recorrido: 891 m
Desnivel: 60 m

Es una importante surgencia kárstica estacionalmente activa que se desarrolla en tres niveles visibles. Un nivel profundo inundado, un nivel intermedio parcialmente sifonado y niveles superiores vadosos. Las galerías altas contactan con fallas verticales que conectan con el nivel inundado. La subida de este nivel por aportes de agua de lluvia provoca la descarga del sistema. En invierno se hace inaccesible al sifonarse algunos tramos de la galería principal.

Surgencia de las Buitreras

Gaucín
Recorrido: 300 m
Desnivel: -62 m

Surgencia subacuática que se abre a 7 m de profundidad en el río Guadiaro, a la salida del cañón de las Buitreras. La entrada, de 2,5 m de altura por 6 m de anchura, da acceso a una amplia galería descendente de unos 30º de inclinación y sección lenticular que ha sido explorada en diversas ocasiones hasta la cota conocida.

Cueva de los Cangrejos (RO-53)

Recorrido: 120 m

Surgencia activa con caudal regular que ocupa la práctica totalidad de su única galería. Las profundidades se sitúan en torno a 1,5 m, llegando a dejar, en algunos puntos, unos pocos centímetros entre el nivel del agua y el techo. Su nombre proviene del hallazgo en su interior de cangrejos de río ligeramente despigmentados.

Cueva de los Cangrejos

3.

Chorrerón de la Pizarra Moscatel (BJ-19-PL)

Benaoján
Recorrido: 20 m

Tubo a presión de escaso diámetro y sección elíptica casi circular, que funciona como surgencia ocasional a través de sus tres bocas con gran fuerza (alfaguara). Sus aguas son recogidas 50 m más abajo, por un arroyo afluente del Guadiaro.

Sima de Manuel Pérez (MQ-1-EK)

Montejaque
Recorrido: 750 m
Desnivel: -311 m

Se trata del sumidero más importante del Polje de Líbar de unos 85 Km^2 de superficie. En épocas de actividad drena, a través de sus pozos y meandros en circulación forzada, el gran volumen de agua recogido en esta depresión, hasta el sifón final (-311 m). Las oscilaciones observadas en el sifón según las temporadas de lluvias, hacen sospechar su contacto con un nivel freático o anegado general.

Pozuelo I

Sima Pozuelo I

Sima Pozuelo

Montejaque
Recorrido: 470 m
Desnivel: -284 m

Situado a unos 300 m del anterior, este sumidero es de similares características, finalizando en un estrecho meandro (-284 m) muy colmatado de barro que termina por sifonarse. Las fluctuaciones detectadas, de hasta 5 m, parecen confirmar la hipótesis de un nivel inundable cercano a capas impermeables.

Complejo Motillas-Ramblazo

Jerez (Cádiz) / Cortés de la Frontera (Málaga)
Recorrido: 6.200 m
Desnivel: -157 m

Este magnífico complejo, compuesto por los sumideros de Ramblazo y Parralejo, las simas G.I.E, de la Murcielaguina y Cochinos, la cueva de las Motillas (fósil), y la cueva del Agua (surgencia) se sitúa entre las provincias de Cádiz y Málaga.

Las pérdidas de dos torrentes provenientes de la loma de los Arrieros, en la parte malagueña, alimenta una amplia red hidrológica de varios niveles de galerías más o menos horizontales, unidas por pozos o rampas. El nivel superior, fósil, está formado por la galería Parralejo- Motillas. El nivel inferior, inundado, pero en circulación libre, resurge por la cueva del Agua, que se sitúa, (junto con las Motillas y algunas otras), en la provincia de Cádiz. Por último, se cita una red freática, con resurgencia ascendente o alternativamente inundada, en tramos sifonantes, y surgencia al nivel del valle de Pasada Blanca, en los Charcos Hediondos.

Motillas

Motillas

Sima Gorda, del Cadete o de la Ermita

Carratraca
Desnivel: -121 m

Esta cavidad vertical, situada en la Serrezuela de Carratraca, termina en un pozo acampanado que forma una sala final inundada en toda su planta por un gran lago, (que constituye un registro del mismo nivel freático que la cueva de Ardales). Este ha sido explorado en algunas ocasiones, descubriéndose un conjunto de pequeñas salas sumergidas de unos 50 m de recorrido, sin continuidad aparente. Se han relacionado estas aguas con la importante surgencia sulfurosa, de ligera afinidad termal, del cercano Balneario de Carratraca.

Cueva de Fuente Quebrada

Casarabonela
Recorrido: 25 m
Desnivel: -14 m

Surgencia temporal que sólo se activa en ciclos de lluvias excepcionales, brotando entonces por su boca un gran manantial de extraordinaria belleza por el paraje en que se ubica. Su actividad más reciente se remonta a los inviernos de 1968 y 1977.

Sierra Prieta/ Alcaparaín/ Carratraca

Cueva de Doña Trinidad o de Ardales

Ardales
Recorrido: 1.577 m
Desnivel: 34 m

Excelentemente recuperada, es otra importante estación de arte rupestre prehistórico, que destaca especialmente por sus grabados.

Se compone de dos niveles de salas y galerías anexas, denominándose a la principal, Sala de las Estrellas. Contiguas a ella, y ligeramente más bajas, se sitúan la Sala del Lago y la galería del Arquero, ocupadas por gours activos y un pequeño lago permanente donde se concentran las infiltraciones. Un estudio hidrogeológico del macizo donde se ubica la cavidad, determinó unos valores aproximados para las oscilaciones del nivel freático general entre 535 y 500 m s.n.m. Como la cota absoluta en la Sala del Lago y la galería del Arquero, coincide con la de carga máxima del acuífero, se deduce que sus aguas afloran,- y llegan a ocupar la totalidad del piso de esta zona de la cueva,- en épocas muy lluviosas. Estos volúmenes de agua, aunque relativamente someros, tendrían una positiva influencia en el equilibrio climático de la cavidad.

Sierra del Camorro

Cueva de Belda

Cuevas de San Marcos
Recorrido: 350 m

Sazonada de leyendas, quizás inspiradas en su lóbrego corazón oscurecido por el guano de las copiosas colonias de murciélagos que la habitaron antaño, esta cueva contiene en su fondo tres lagos residuales ocupando el fondo de otras tantas salas, unidas por meandros. Tanto las paredes de la cueva como el agua de los lagos (de unos 3 m de anchura por 5 ó 6 m de longitud media), aparecen ennegrecidas, revelando su inactividad.

3.

Sierra Blanca

Cueva del Tesorillo o de Nagüeles (MB-1-SEM)

Marbella
Recorrido: 1.000 m
Desnivel: -33 m

Cavidad conocida de antiguo en esta localidad, en estado fósil, fue objeto, hace unos años, de una exploración con escalada en su galería principal, descubriéndose una nueva zona en paralelo, que desciende hasta un nivel inundado.

Cueva de la Alfaguara (IS-1-SEM)

Istán
Recorrido: 53 m
Desnivel: -2 m

Como su nombre indica, se trata de una surgencia activa estacional o trop-plein.

El Cantal

Complejo de la Cuerda

Málaga
Recorrido: 1.864 m
Desnivel: -32 m

De todas las cavidades conocidas en el Cantal Bajo- Fábrica de cemento, de gran interés espeleológico y arqueológico (como el Complejo de la Araña), se singulariza este sistema por ser el único que contiene un curso de agua subterráneo, apareciendo las aguas en algunos tramos, o detectándose, en otros, a través de sumideros en la galería principal. El arroyo hipogeo termina contactando con el nivel del mar cercano, mezclando sus aguas con las saladas de mar.

Complejo de la Araña

3.13

Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la provincia de Málaga

3.13

Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la provincia de Málaga

Bartolomé Andreo Navarro
Mª Jesús Perles Roselló
Jesús Vías Martínez

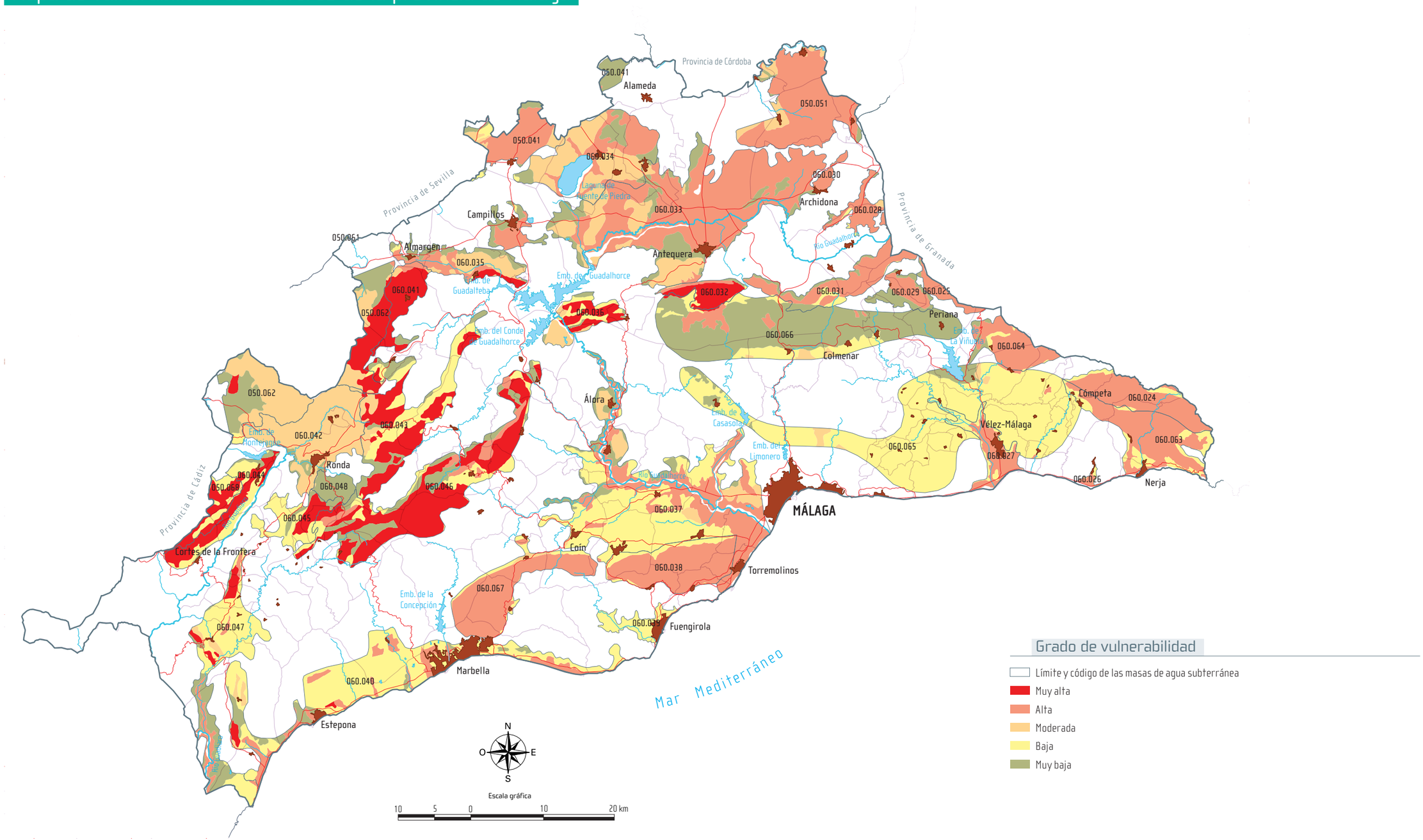
La vulnerabilidad a la contaminación se define, de una manera sencilla, como la susceptibilidad de un acuífero a la contaminación por actividades humanas. De forma más precisa, la vulnerabilidad intrínseca de un acuífero queda determinada por las características del entorno del mismo (geológicas, geomorfológicas, hidrogeológicas, climáticas y biológicas) que determinan la sensibilidad del agua subterránea a la contaminación por la actividad humana.

Conviene distinguir entre vulnerabilidad del acuífero y vulnerabilidad de la captación o punto de agua, ya sea éste manantial o sondeo. En el primer caso la vulnerabilidad depende de las condiciones de infiltración y del tiempo que tarda el contaminante en alcanzar la zona saturada, es decir, del espesor y naturaleza de las capas que hay por encima de ella. En el segundo caso, además de los parámetros anteriores hay que tener en cuenta el flujo del agua subterránea (y del potencial contaminante) en la zona saturada del acuífero hacia la captación.

En relación con la vulnerabilidad a la contaminación existen conceptos asociados como el de peligro, vulnerabilidad del medio humano y riesgo. Los peligros son las fuentes de contaminación que pueden existir sobre los acuíferos, como puede ser el caso de los vertederos de residuos sólidos urbanos, las fosas sépticas, las gasolineras, las carreteras y sus sistemas de drenaje, los campings, las urbanizaciones o las explotaciones ganaderas. La vulnerabilidad del medio humano dependiente del agua del acuífero tiene en cuenta, entre otros aspectos, la cantidad de población que se abastece del mismo, el grado de dependencia de la población y las actividades respecto al recurso hídrico contaminado o las alternativas de abastecimiento existentes. El riesgo de contaminación de aguas subterráneas es el resultado de la evaluación conjunta de la peligrosidad, la vulnerabilidad intrínseca del acuífero y la vulnerabilidad del medio humano.

Panorámica de la masa de agua subterránea del Bajo Guadalhorce, donde se puede apreciar la gran actividad antrópica, potencialmente contaminante, que se desarrolla sobre ella. En segundo plano se observan los Montes de Málaga, formados por pizarras que presentan una vulnerabilidad Baja a la contaminación. Al fondo, las Sierras Tejeda y Almijara

Mapa de vulnerabilidad de acuíferos de la provincia de Málaga



Grado de vulnerabilidad

- Límite y código de las masas de agua subterránea
- Muy alta
- Alta
- Moderada
- Baja
- Muy baja

3.

13 Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la provincia de Málaga

Para determinar la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación pueden tenerse en cuenta diferentes parámetros del acuífero y su entorno, tales como la litología (tanto de la zona no saturada como de la zona saturada), la permeabilidad y la conductividad hidráulica, el grado de desarrollo del suelo, la profundidad del nivel piezométrico (o espesores de las capas suprayacentes), la topografía y las características de la recarga. El número de factores y su precisión dependen de la escala de trabajo, de las fuentes de información disponibles y del propósito del estudio. Los estudios de evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación se han llevado a cabo, en diferentes lugares del mundo, generalmente a escala de poco detalle y sobre áreas extensas (centenares a miles de km^2), donde concurren una gran variedad de contrastes litológicos. Se han aplicado diferentes métodos, unos utilizan muchos parámetros de evaluación y otros que utilizan pocos, aunque, según ha podido observarse en las aplicaciones realizadas, el grado de ajuste de los resultados puede ser similar para ambos casos. No obstante, la cartografía resultante depende en gran medida del método utilizado para su elaboración. Otro problema asociado a la evaluación de la vulnerabilidad se relaciona con el hecho de que los parámetros requeridos no siempre se conocen lo suficientemente bien, sobre todo en el caso de acuíferos de reducidas dimensiones (decenas a centenares de km^2), por lo que es necesario evaluarlos de forma indirecta, sobre todo a partir de la litología; como consecuencia, la cartografía resultante es, en ocasiones, poco precisa y/o fiable para objetivos que exijan una delimitación espacial detallada. La calidad de los mapas de vulnerabilidad está muy condicionada por la información disponible sobre los parámetros antes citados.

En el borde occidental de la Sierra de Mijas existe un campo de golf que, en parte, se ubica sobre los mármoles acuíferos que constituyen esta masa de agua subterránea

La cartografía de vulnerabilidad a es una herramienta útil para la ordenación y gestión del territorio; sirve para prevenir la contaminación y, consecuentemente, para la protección de las aguas subterráneas. Con esta perspectiva, en el presente capítulo se analiza, principalmente, la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de los acuíferos de la provincia de Málaga, aunque se incluyen algunos comentarios generales sobre los peligros y el riesgo. Dadas las dimensiones del área de trabajo y la escasez de información suficientemente detallada a esta escala como para aplicar alguno de los métodos conocidos, se ha optado por hacer una aproximación cualitativa de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la provincia. Para ello se ha tenido en cuenta la litología, como variable fundamental que determina la permeabilidad del terreno y la naturaleza acuífera o no del mismo, y el tipo de acuífero en su caso (detrítico o carbonatado). También se ha considerado, de manera indirecta, la profundidad del nivel piezométrico o espesor de la zona no saturada, generalmente menor en los acuíferos detríticos que en los carbonatados de montaña, así como la naturaleza y espesor del suelo (normalmente menos potente en acuíferos carbonatados). En el caso de los acuíferos carbonatados se ha tenido en cuenta, además, el grado de desarrollo del modelado kárstico, dada su influencia en la modalidad de infiltración (concentrada o difusa) y, por tanto, en el tiempo de tránsito del agua y de los potenciales contaminantes desde la superficie hasta la zona saturada.

Desde el punto de vista de la vulnerabilidad a la contaminación se han diferenciado cinco clases a escala del conjunto de masas de agua subterránea de toda la provincia de Málaga. La vulnerabilidad Muy Baja corresponde a las arcillas y areniscas del Flysch del Campo de Gibraltar que se encuentran en todo el corredor Villanueva de la Concepción-Colmenar-Periana y fueron definidas como masa de agua subterránea.

Los esquistos que afloran en algunos relieves de la Axarquía y las pizarras de los Montes de Málaga, que constituyen sendas masas de agua subterránea, tienen una clase Baja de vulnerabilidad. Por su parte, las margas y margocalizas del Jurásico-Cretácico-Terciario que afloran dentro de la Zona Externa de la Cordillera Bética, incluso las margas del Plioceno, también presentan baja vulnerabilidad a la contaminación. Todos estos terrenos constituyen acuíferos pobres, con escaso volumen de agua subterránea almacenado, cuyo aprovechamiento es bastante limitado, generalmente en el abastecimiento de cortijos y pequeñas fincas. Por tanto, el riesgo a la contaminación del agua subterránea en este tipo de materiales es Bajo.

La vulnerabilidad de clase Moderada se atribuye a las calcarenitas de edad Mioceno superior que afloran en la cuenca de Ronda y al norte de la provincia.

Las calizas que constituyen la masa de agua de la Sierra de Líbar presentan una vulnerabilidad Muy Alta a la contaminación, pero los peligros o actividades potencialmente contaminantes que hay sobre la misma son, en conjunto, poco abundantes, por lo que el riesgo a la contaminación es Bajo

Hay dos tipos de materiales acuíferos con vulnerabilidad de grado Alto: los detríticos y los carbonatados fisurados. Los primeros están formados por arenas, gravas, cantos rodados, arcillas y limos que constituyen los depósitos aluviales de los principales Ríos (Guadalhorce, Vélez). Estos sedimentos son permeables por porosidad intergranular; en ellos el nivel piezométrico está normalmente cerca de la superficie, pero suelen presentar un cierto desarrollo edáfico y la recarga se produce de manera difusa y lenta lo cual permite una relativa atenuación de los potenciales contaminantes y, en definitiva, una disminución de la vulnerabilidad. No obstante, dado el carácter suave de la pendiente, el uso antrópico de estas zonas suele ser intenso, por lo que los peligros de contaminación son bastante importantes. Este es el caso de los vertederos de residuos sólidos, las carreteras o las gasolineras, predominantemente en el sector costero, así como de las actividades agrícolas, centradas en el interior de la provincia. Estos acuíferos se aprovechan esencialmente para regadío y, en menor medida, para abastecimiento urbano, dado que su calidad natural se encuentra deteriorada. La herencia adquirida en eventos previos de contaminación puede condicionar también el umbral tolerancia de estos acuíferos a nuevos episodios contaminantes. En consecuencia el riesgo de contaminación puede considerarse Moderado a Alto, según los casos.

3.

13 Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la provincia de Málaga

Los acuíferos carbonatados fisurados, como los que forman las sierras tanto del norte de la provincia (Mollina, Humilladero, Archidona), como del centro (Alcaparaín, Sierra de las Cabras-Camarolos-San Jorge-Gibalto, Alfarnate) y sur (Crestellina, Mijas y Sierras Tejeda-Almijara) también presentan una vulnerabilidad Alta a la contaminación. En ellos existe un escaso desarrollo del suelo y la recarga se produce de manera difusa, a través de una zona no saturada bastante potente. La mayoría de estos acuíferos almacenan grandes volúmenes de agua subterránea, pero se aprovechan por debajo de sus posibilidades. Si, además, se tiene en cuenta que los peligros o actividades potencialmente contaminantes no son abundantes, se llega a la conclusión de que el riesgo de contaminación debe ser Moderado. La excepción más significativa es la de Sierra de Mijas, que almacena un importante volumen de agua, muy explotado para abastecimiento urbano, y sobre ella existen abundantes peligros de contaminación; en este caso, el riesgo de contaminación es Alto.

La vulnerabilidad de grado Muy Alto solo se ha detectado en los acuíferos kársticos de la Sierra de Líbar, Serranía de Ronda, Sierra de las Nieves, Sierra del Valle de Abdalajís y Torcal de Antequera. Se encuentran en el sector de la provincia donde más llueve y, por tanto, mayor es la recarga. Se trata de acuíferos en los que existen abundantes formas kársticas (lapiaces, dolinas, poljes y sumideros kársticos) a favor de los cuales se produce infiltración, a menudo, de manera concentrada. Ello permite la llegada rápida de cualquier contaminante desde la superficie hasta la zona saturada, lo que justifica la elevada vulnerabilidad de los acuíferos. No obstante, existen pocos peligros sobre los acuíferos y el aprovechamiento que se hace de ellos es limitado (a excepción del Torcal), por lo que el riesgo a la contaminación es Bajo a Moderado.

Realizar mapas de vulnerabilidad a partir de una serie de criterios previamente establecidos puede ser sencillo si se dispone de los medios adecuados, pero pocas veces se llega a verificar si realmente los mapas son correctos o no, lo cual puede tener consecuencias negativas en muchos casos. Los mapas de vulnerabilidad a la contaminación adquieren plena utilidad en la ordenación del territorio cuando han sido validados. Para ello pueden utilizarse técnicas hidrodinámicas (hidrogramas, evoluciones piezométricas), hidroquímicas, isotópicas (isótopos estables y/o radioactivos) y ensayos de trazadores artificiales. En general, a escala de la provincia de Málaga, los acuíferos detríticos y carbonatados fisurados presentan variaciones de pequeña magnitud de los parámetros hidrogeológicos (hidrodinámicos, hidroquímicos, isotópicos, etc.). Esto significa que las respuestas ante la recarga de las precipitaciones se produce de manera amortiguada y la vulnerabilidad Alta que presentan estos acuíferos es coherente con su funcionamiento de flujo difuso, los primeros a través de porosidad intergranular y los segundos a través de fisuras más o menos ensanchadas por disolución. Sin embargo, los acuíferos kársticos responden de manera más rápida ante las precipitaciones con bruscos aumentos de caudal y variaciones importantes en los parámetros hidroquímicos e isotópicos; en este caso el flujo se realiza preferentemente a través de conductos kársticos y, por ello, presentan una vulnerabilidad Muy Alta a la contaminación. Mediante ensayos de trazadores artificiales realizados en la Sierra de Líbar se ha constatado que un potencial contaminante tardaría 3 días en alcanzar varios manantiales, por tanto, antes de este tiempo alcanzaría la zona saturada del acuífero, lo cual corrobora la Alta vulnerabilidad que presenta a la contaminación.

La protección de la calidad de las aguas subterráneas constituye un objetivo importante en ámbitos como la provincia de Málaga, donde la presión de los usos antrópicos del territorio acentúa la problemática de la contaminación. El alto grado de dependencia del agua por parte de la población y las actividades económicas provinciales hace que cobren mayor relevancia las consecuencias negativas de un posible evento de contaminación. La cartografía de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero frente a la contaminación, unida a las de peligrosidad y vulnerabilidad del medio humano, constituyen los instrumentos necesarios para la prevención y mitigación de este riesgo.

Panorámica de la Sierra Almijara, formada por mármoles triásicos altamente vulnerables a la contaminación. La foto corresponde al barranco de la Coladilla, donde estaba ubicado el antiguo vertedero de residuos sólidos de Nerja, clausurado hace varios años

Vista aérea del acuífero del Río Vélez, una masa de agua subterránea formada principalmente por depósitos aluviales de vulnerabilidad Alta a la contaminación, sobre los cuales se llevan a cabo cultivos que contaminan las aguas subterráneas

3.14

Contaminación de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga

3.14

Contaminación de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga

Damián Sánchez García
Iñaki Vadillo Pérez

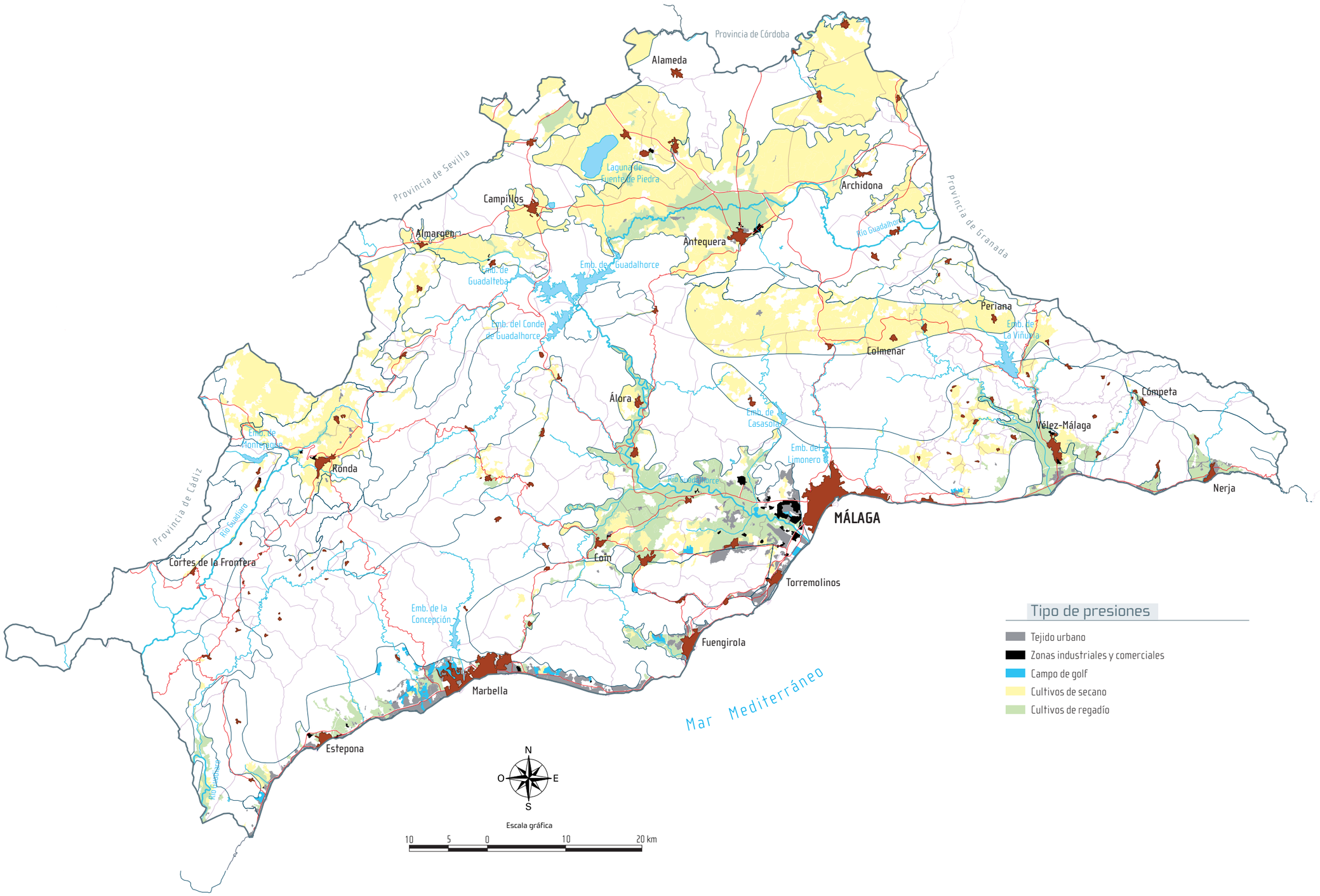
Introducción

El estado de contaminación de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga se puede establecer a partir de estudios hidrogeológicos donde se hayan controlado los compuestos contaminantes característicos de actividades agrícolas, industriales y urbanas. Debido a que existen masas de agua subterránea donde aún no se han desarrollado dichos estudios de calidad y que, cuando se han realizado, no se han analizado gran parte de las sustancias contaminantes, la impresión que se pudiera transmitir es que sólo existen problemas de contaminación por los compuestos analizados en estos estudios y en las zonas donde se han desarrollado dichas investigaciones. Por tanto, un diagnóstico sobre la contaminación de aguas subterráneas debe extenderse a las actividades antrópicas y usos del suelo desarrollados en la provincia y que han sido causantes en otras zonas de España y del resto del mundo de episodios de contaminación.

Cabe indicar que en las áreas kársticas de la provincia, por sus relieves abruptos, existen más dificultades para el desarrollo de actividades agrícolas e industriales, por lo que los episodios de contaminación son menos frecuentes que en los acuíferos detríticos. Sin embargo, es esa dificultad la que provoca que la mayoría de las actividades se ubiquen en los bordes de los acuíferos o en las áreas deprimidas en el interior de estos, como poljes o dolinas. En este caso los episodios de contaminación lleguan a ser más peligrosos porque esas actividades suelen coincidir con puntos de recarga rápida (sumideros) o con zonas de descarga, por lo que coinciden geográficamente las actividades potencialmente contaminantes con la cercanía a los recursos hídricos.

Balsa impermeabilizada de purines con pozo al fondo (Campillos)

Mapa de presiones sobre las masas de agua subterránea de la provincia de Málaga



Contaminación por actividades agrícolas

Las actividades agrícolas se emplazan en las zonas de orografía más suave de la provincia, lo que suele coincidir con acuíferos detríticos, como el Río Vélez, el Bajo Guadalhorce, los llanos de Antequera-Archidona y la Laguna de Fuente de Piedra. Una actividad agrícola particular, y así se considera en las estadísticas de uso de agua, son los campos de golf. En éstos, la inexistencia de suelo natural tiene como resultado una disminución en la capacidad de retención de posibles contaminantes y un tránsito más rápido hacia el subsuelo. En la provincia de Málaga, la mayoría de los campos de golf se ubican en el sector costero occidental, en los términos municipales de Fuengirola, Mijas, Marbella y Estepona, pero sólo los emplazados en materiales detríticos podrían conllevar mayores problemas de alteración de calidad en las aguas subterráneas.

De cualquier modo, ya sea por agricultura intensiva o por campos de golf, estas actividades pueden generar múltiples fuentes y contaminación difusa, lo que agrava el problema, ya que no es posible aplicar procesos de descontaminación.

Los agentes contaminantes derivados de las actividades agrícolas pueden ser de cuatro tipos: (1) fertilizantes, (2) pesticidas, (3) metales pesados y (4) aguas residuales. Es un hecho constatado en la literatura científica la presencia común de los dos primeros agentes en los acuíferos detríticos con agricultura intensiva.

Actividades agrarias en el Valle del Río Campanillas

De los tres elementos principales utilizados para la fertilización (Nitrógeno, Fósforo y Potasio), el primero, en forma de nitrato (NO_3^-), es el que destaca por su alta persistencia en el medio subterráneo. Las altas tasas de fertilización, que provocan excedentes no asimilados por las plantas, y la lixiviación durante los periodos lluviosos del nitrato acumulado en la zona no saturada, provocan que hayan aumentado las concentraciones de NO_3^- por encima de los valores naturales de las aguas subterráneas y, en ciertos acuíferos de la provincia, se haya sobrepasado el límite máximo de 50 mg/L establecido por la legislación. La importancia como contaminantes del fósforo y el potasio, es muy reducida debido a su comportamiento hidrogeoquímico en el suelo. El fósforo, convertido a fosfato (PO_4^{3-}), y el potasio (K^+), son compuestos cuya movilidad en el terreno es muy limitada al sufrir procesos de retención en el suelo existente y en la zona no saturada. Esto provoca que siempre se encuentren en aguas subterráneas en concentraciones muy por debajo de las del nitrato.

Los pesticidas o plaguicidas son compuestos orgánicos que se aplican para prevenir o eliminar "pestes" o plagas de la cosecha. Un exceso de aplicación y la baja tasa de asimilación de estos compuestos por las plantas provocan su lixiviación hacia el medio subterráneo.

Los metales pesados (plomo, cadmio, arsénico) son elementos que forman parte de la composición de los fertilizantes aplicados en los cultivos, especialmente en los del tipo NPK. Los mismos hábitos erróneos que generan excesos en la fertilización de las plantas y la posterior contaminación por nitratos del agua subterránea, son la razón de un posible aumento de metales pesados en el agua subterránea por actividades agrícolas.

Las aguas residuales depuradas, suelen ser un recurso utilizado para el riego de campos de golf; sin embargo, suelen llevar asociadas altos niveles de compuestos nitrogenados (NO_3^-, NH_4^+) y altos valores de demanda química de oxígeno, por la presencia de materia orgánica.

Por último, hay que destacar que pueden aparecer fuentes puntuales de contaminación por derrames o accidentes en los depósitos o almacenamientos de hidrocarburos, plaguicidas y fertilizantes.

Principales Masas de Agua Subterránea afectadas o susceptibles de afección por actividades agrícolas

Los estudios específicos sobre contaminación de aguas subterráneas realizados en las masas de agua subterránea (MAS) Río Vélez, Llanos de Antequera-Vega de Archidona, Bajo Guadalhorce, Fuente de Piedra y Río Fuengirola muestran, en todos ellos, problemas de contaminación por actividades agrícolas.

En la MAS Río Vélez, las concentraciones en nitratos sobrepasan comúnmente los 50 mg/L, alcanzándose máximos de hasta 300 mg/L en el sector central del acuífero. Sólo en los sectores de cabecera, por disminución de uso de suelo agrícola, y en la desembocadura, por procesos de desnitrificación, se han encontrado concentraciones por debajo de los 50 mg/L. Los análisis de plaguicidas efectuados en esta zona (1993-1994) muestran que los compuestos hallados con más frecuencia en las aguas subterráneas son la simazina y metil-paration encontrados en un 36% y 28%, respectivamente de las muestras analizadas. No obstante, hay que indicar que, en aquella época, los plaguicidas detectados aparecieron en concentraciones por debajo del valor unitario de 0,1 mg/L, establecido por la legislación.

En la MAS Llanos de Antequera-Vega de Archidona, se encuentran valores de nitratos cercanos a 100 mg/L, con máximos de 200 mg/L, en la margen derecha del Río Guadalhorce. En la margen izquierda, las concentraciones disminuyen por debajo de los 40 mg/L, influenciado por las aguas de baja mineralización provenientes del río de la Villa.

En el acuífero aluvial del Bajo Guadalhorce, las aguas subterráneas en áreas de cultivos intensos suelen sobrepasar los 50 mg/L, con máximos de más de 150 mg/L. En la zona media y alta del acuífero se encuentran los contenidos más altos de nitrato, en tanto que los más bajos se encuentran en el sector de la desembocadura, donde las concentraciones son siempre inferiores a 1 mg/L, coincidiendo con la aparición de nitrito (NO_2^-) y amonio (NH_4^+), lo que es indicativo de reacciones de desnitrificación. Es de destacar que el contenido de sulfato en el agua del acuífero aluvial sigue una distribución espacial similar a la del nitrato, con concentraciones elevadas en la parte media y alta del acuífero (300-500 mg/L) que disminuyen por debajo de los 50 mg/L en la zona litoral. Esta correlación y valores isotópicos de $\delta^{34}S$ característicos de fertilizantes (< 6 por mil) permiten concluir que una gran parte de los sulfatos disueltos en el agua subterránea del Bajo Guadalhorce proviene también de fertilizantes aplicados en las explotaciones agrícolas.

Contaminación por actividades ganaderas

En la cuenca de Fuente de Piedra, se han detectado altas concentraciones de NO_3^- en los sectores SO y NE de la laguna con 100 mg/L y 180 mg/L, respectivamente. En este último sector es donde se acumulan las explotaciones de olivar por goteo y otros cultivos. Investigaciones desarrolladas en esta misma zona (2001) confirmaron la presencia de 11 plaguicidas organoclorados y seis metabolitos y en todos los casos sus concentraciones sobrepasaban los límites establecidos por la legislación. De los 11 plaguicidas encontrados sólo uno, el Endosulfán, estaba incluido en el registro de productos fitosanitarios del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Es de destacar, por un lado, la presencia de DDT y dos metabolitos (DDE y DDD), así como que las concentraciones máximas de plaguicidas se encontraran en el sector NE de la laguna, coincidiendo con las máximas concentraciones de NO_3^-.

En el acuífero del Río Fuengirola, el contenido de nitratos a veces supera los valores admisibles para aguas potables.

Se pone de manifiesto, por tanto, que en todos los acuíferos detríticos de la provincia donde se han realizado estudios de calidad de aguas subterráneas, se han observado concentraciones de nitratos que sobrepasan el límite de 50 mg/L exigido por la legislación. En el caso de los pesticidas, sólo en la cuenca de Fuente de Piedra se han detectado en concentraciones que sobrepasan los límites legales. En el acuífero del Río Vélez, sin embargo, dichos compuestos aparecieron por debajo del límite establecido.

Hay que indicar que la carencia de estudios específicos en la provincia sobre la presencia y distribución de estos compuestos y su habitual aparición en las aguas subterráneas de zonas agrícolas, permiten pensar que es una problemática generalizada en otros acuíferos detríticos de la provincia.

Desde el punto de vista de contaminación de las aguas subterráneas la ganadería de tipo disperso (rebaños) no provoca problemas significativos en la calidad de las aguas subterráneas. Es, sin embargo, la ganadería intensiva, principalmente porcina y sus deshechos líquidos los que ocasionan afecciones importantes al subsuelo en la provincia. Los procesos de cría y engorde en las granjas requieren un hacinamiento del ganado y, por consiguiente, se acumulan los deshechos de los animales. Las sustancias sólidas (estiércol) y líquidas (purines) de deshecho deben ser eliminadas, por lo que se utilizan como abono del campo o para irrigar campos adyacentes a las granjas. La exposición del estiércol y el abuso de la irrigación con purines provocan lixiviación hacia el subsuelo de los compuestos contaminantes y una contaminación difusa en las zonas de actividad ganadera.

Los agentes contaminantes derivados de las actividades ganaderas son de tres tipos: (1) compuestos nitrogenados, (2) metales pesados y (3) compuestos químicos y farmacéuticos.

El comportamiento de los compuestos nitrogenados del estiércol y de los purines no difiere hidroquímicamente de los generados por las actividades agrícolas ya que el producto final que se encuentra en el agua subterránea es el nitrógeno en su forma oxidada más estable, el nitrato; por este motivo, a veces en zonas donde coexistan actividades agrícolas y ganaderas no es posible discernir el origen del nitrato sólo por la concentración. Sin embargo, es posible discernir el origen del nitrato a través del análisis de los isótopos de la molécula de nitrato ($\delta^{15}N$ y $\delta^{18}O$).

Por lo que respecta a los metales pesados, indicar que a menudo se encuentran concentraciones apreciables de cobre, zinc y cadmio en los suplementos alimentarios y estimulantes de crecimiento de los animales. Estos compuestos son añadidos con frecuencia en exceso y son excretados en el estiércol. La acumulación del estiércol y/o su aplicación al terreno puede generar lixiviación de estos metales hacia el subsuelo.

Por último, los productos químicos y farmacéuticos se utilizan para combatir los riesgos de enfermedades por ausencia de higiene o por infecciones por contacto directo. En ambos casos, la excreta sólida y/o líquida contiene los compuestos aportados al animal, por lo que durante el mismo proceso de exposición al medioambiente de los deshechos se puede producir su movilización hacia la zona no saturada y, con posterioridad, a la zona saturada.

Principales Masas de Agua Subterránea afectadas o susceptibles de afección por actividades ganaderas

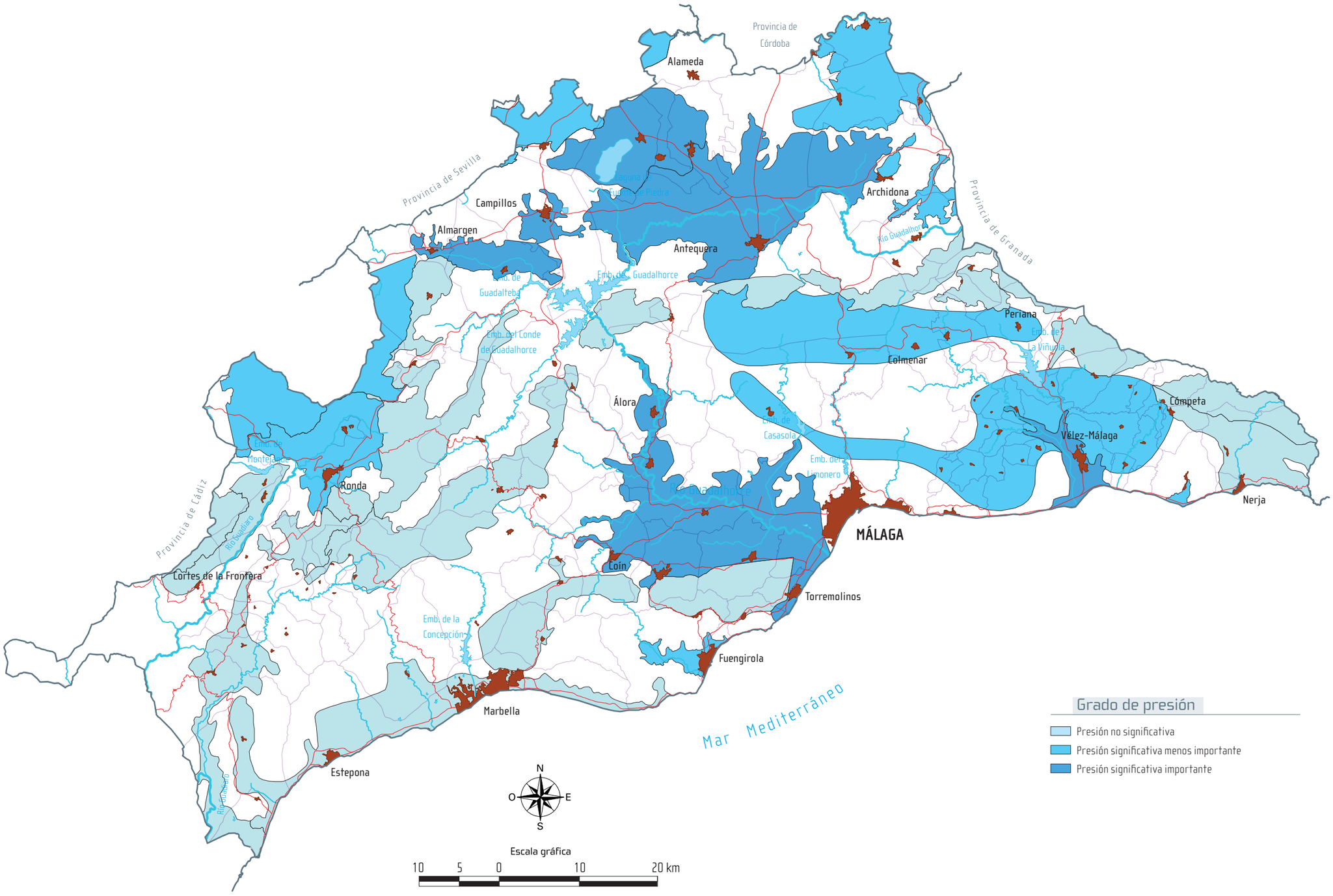
La ausencia de estudios específicos de contaminación por compuestos ganaderos en los acuíferos de la provincia impide establecer una situación actual. Sólo cabe hablar, por tanto, de acuíferos más susceptibles de ser contaminados por la acumulación de estas actividades.

Las actividades ganaderas (porcino) de la provincia se concentran principalmente en los municipios de Almargen, Campillos y Teba que cuentan, respectivamente, con 8.986, 25.822 y 13.433 unidades ganaderas porcinas. En estos sectores se encuentran los afloramientos detríticos noroccidentales de la cuenca del Río Guadalhorce, que corresponden a la Masa de Agua Subterránea de Sierra de Teba-Almargen-Campillos. Existen, también, importantes actividades ganaderas enclavadas en zonas donde predominan los acuíferos carbonatados, como es el caso de la Sierra de Líbar. En estas zonas se suelen encontrar las granjas en los poljes o directamente ubicadas en el afloramiento calizo, lo que podría provocar una infiltración muy rápida de la contaminación.

Granja y balsa de purines

3.

Mapa de sobrantes de nitrógeno procedentes de la agricultura y la ganadería



Contaminación por actividades industriales

Un inventario de usos del suelo por actividades industriales en la provincia de Málaga es clarificador sobre la importancia de esta contaminación. La actividad industrial se concentra principalmente en los polígonos industriales de la ciudad de Málaga y Antequera; no obstante, existen actividades, como gasolineras, y empresas situadas en municipios de menor entidad cuya carga contaminante puede llegar a ser importante, como actividades de procesado de pieles o almazaras.

La contaminación por actividades industriales es, tanto por la variedad de compuestos que pueden producirse como por la toxicidad de éstos, el grupo de actividades más peligrosas para las aguas subterráneas y el medioambiente.

Los agentes contaminantes más comunes encontrados en el agua subterránea por actividades industriales son: (1) Hidrocarburos, (2) compuestos orgánicos específicos y (3) metales pesados.

Los primeros se suelen introducir en el subsuelo a partir de fugas o roturas de los depósitos de almacenamiento. Los compuestos más comunes involucrados en este grupo son los denominados BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno), son compuestos no miscibles en agua y de menor densidad, por lo que su acumulación se produce en la superficie piezométrica.

Aeropuerto de Málaga y polígono industrial del Guadalhorce

Entre los compuestos orgánicos específicos, destacan los disolventes organoclorados (tricloroetano, tetracloroetano, tricloroetileno, tetracloruro de carbono, cloroformo, entre otros) por su extenso uso en múltiples procesos industriales, como desengrasantes y disolventes orgánicos. Todos ellos son compuestos no miscibles en agua y de mayor densidad, por lo que su entrada en el medio subterráneo presenta graves problemas de eliminación, al acumularse en el fondo del acuífero, independientemente del espesor de éste. Además, presentan elevada estabilidad química y se ha demostrado su capacidad cancerígena y mutagénica incluso a muy bajas concentraciones (partes por billón). Estos compuestos son los de más común detección en las zonas industriales. La determinación sistemática de este tipo de compuestos en las aguas subterráneas ha presentado cierta complicación ya que se requerían técnicas analíticas de gran precisión para determinar concentraciones de pocas partes por billón, lo que había motivado carencia de datos en cuanto a presencia y concentración.

Por último, entre los metales pesados se pueden diferenciar los metales catiónicos y metales aniónicos. Los primeros (Aluminio, Cadmio, Cobalto, Cobre, Hierro, Manganeso, Níquel, Zinc, entre otros) no suelen desarrollar episodios de contaminación importantes o de gran extensión espacial ya que en medios oxidantes y a pH por encima de 7 se produce su precipitación en forma de fases minerales o interaccionan con minerales o materia orgánica del suelo. Los segundos (Arsénico, Cromo, Selenio y Vanadio) pueden ocasionar mayores problemas, ya que en medio oxidante forman aniones y su comportamiento en el medio difiere del observado en metales catiónicos. Entre estos cabe destacar el Cromo(VI), que como forma aniónica es más soluble, móvil y cancerígeno que en su forma catiónica (Cr(III)).

Principales Masas de Agua Subterránea afectadas o susceptibles de afección por actividades industriales

Hasta la actualidad sólo se ha constatado presencia significativa de metales en aguas subterráneas (1983) y superficiales (2005) en el sector cercano al polígono industrial del Guadalhorce (Málaga), ubicado en el acuífero detrítico del Bajo Guadalhorce.

En algunas muestras de aguas subterráneas se observaron concentraciones apreciables de Hierro, Plomo, y Cromo(VI). En campañas efectuadas en años posteriores (2005) se ha comprobado que las concentraciones de Aluminio (1,8 mg/L), Hierro (4,2 mg/L), Manganeso (0,31 mg/L), Mercurio (1,2 µg/L) y Plomo (26 µg/L) en el cauce del Río Guadalhorce a su paso por el polígono han sobrepasado los niveles guía establecidos por la legislación. Todo esto es indicativo de una contaminación incipiente de tipo industrial en el agua subterránea, ya que el río, en este sector del acuífero, es ganador, por lo que tanto su caudal, como los compuestos disueltos provienen en gran medida del acuífero detrítico.

No se han realizado analíticas de las aguas para detectar hidrocarburos o compuestos orgánicos específicos en este u otros acuíferos por lo que ni la presencia, ni sus concentraciones en el agua subterránea han podido ser estimadas para otras zonas de la provincia de Málaga.

3. Contaminación por actividades urbanas

14 Contaminación de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga

Los núcleos de población producen dos tipos de deshechos, residuos sólidos urbanos y aguas residuales. Los primeros, aun sometiéndolos a un proceso de reciclado, deben, en último lugar, ser almacenados en vertederos; las segundas deben ser depuradas antes de ser reutilizadas (regadío o recarga artificial) o vertidas a cauces públicos.

En la actualidad, la mayoría de las poblaciones de la provincia tienen mancomunados los servicios de residuos sólidos urbanos, lo que conlleva su almacenamiento en vertederos controlados; es decir, ubicados en enclaves idóneos desde el punto de vista hidrogeológico e impermeabilizados por su base con láminas de polietileno de alta densidad (PEAD) para prevenir la infiltración de lixiviados al subsuelo.

Vertido de aguas residuales (Cártama)

Por lo que respecta a las aguas residuales, la mayoría de los grandes núcleos de población de la provincia realizan tratamiento de depuración de aguas, lo que disminuye la carga contaminante al medioambiente; sin embargo, existen muchos pueblos y pedanías en la provincia cuyas aguas residuales son vertidas sin tratar al cauce de los ríos. Entre las causas de estas prácticas se encuentran, la dificultad de apoyo financiero para el mantenimiento de la depuradora o su infradimensión, es decir, la capacidad proyectada de depuración es inferior al caudal generado por la población actual, por lo que gran parte del caudal de entrada tiene que ser vertido sin depurar a los cauces. Otro aspecto a añadir es que en las pedanías y pueblos pequeños sólo se produce un desbastado. Estos vertidos de aguas residuales podrían ocasionar contaminación en las aguas subterráneas si se produjeran sobre cauces y terrenos permeables.

Los agentes contaminantes son múltiples, ya que cualquier sustancia o producto que forme parte de las actividades diarias de la población o de una ciudad y que sea eliminada a la basura o a la red de saneamiento aparecerá en los lixiviados de vertederos y en las aguas residuales, lo que puede generar una lista interminable de compuestos potencialmente contaminantes.

Los lixiviados de vertederos y las aguas residuales, aun siendo depuradas, suelen llevar asociados altos contenidos en nutrientes (N y P), alta demanda química de oxígeno, por la presencia de materia orgánica, contaminantes microbiológicos (bacterias y virus), detergentes y compuestos farmacéuticos y de higiene personal; estos últimos de interés creciente por su desconocimiento de los efectos sobre el medioambiente. Además de las sustancias mencionadas anteriormente, los lixiviados de vertederos suelen ser líquidos de una alta mineralización, por los contenidos en sales (Na^+, NH_4^+, Cl^-, entre otros) y es frecuente encontrar concentraciones altas de metales pesados (Fe, Mn).

Principales Masas de Agua Subterránea afectadas o susceptibles de afección por actividades urbanas

La gestión mancomunada de los residuos en la provincia de Málaga ha permitido que las basuras generadas en los municipios se almacenen en vertederos controlados que cumplen la normativa medioambiental para prevenir impactos al medioambiente. Sin embargo, existen vertederos que siguen acumulando los residuos anteriores al periodo de gestión mancomunada. En la mayoría de los casos, esta situación no conlleva problemas a las aguas subterráneas por el bajo volumen de residuos que almacenan o porque estas instalaciones se ubican en terrenos de baja permeabilidad. Existen, sin embargo, vertederos ya inactivos cuyo volumen de residuos acumulados, la ausencia de impermeabilización por su base y la disposición sobre materiales acuíferos podrían generar o han generado episodios de contaminación. Este último caso es el del vertedero de La Mina, el antiguo vertedero de residuos sólidos de Marbella, el cual acumula residuos del periodo 1975-1999. Este foco puntual está emplazado sobre los mármoles calizos y dolomíticos de Sierra Blanca, por lo que los lixiviados han desarrollado una pluma contaminante en dicho acuífero carbonatado.

Vertedero de Marbella clausurado

3.15 Vigilancia ambiental: las redes de control de aguas subterráneas en la provincia de Málaga

3.15

Vigilancia ambiental: las redes de control de aguas subterráneas en la provincia de Málaga

Raquel Morales García
Jose Mª Pernía Llera

Introducción

Una red de control es un conjunto de puntos con una distribución espacial determinada donde se efectúa la medida u observación de uno o varios parámetros con el fin de conocer el estado de ese elemento y su evolución en el tiempo. En hidrogeología, las redes de observación o medida son el elemento básico para la caracterización de los recursos hídricos, y tienen como objetivo fundamental suministrar información sobre el estado y evolución de las aguas superficiales y subterráneas.

Existen distintos tipos de redes según su naturaleza, objetivos y ámbito geográfico. Así, según su naturaleza, pueden agruparse en :

- Redes meteorológicas: toman datos relacionados con el clima ya que tanto la precipitación como otras variables meteorológicas intervienen en el proceso de generación de escorrentía, en la recarga de acuíferos y, por tanto, en el cálculo del balance del sistema hídrico.

- Redes de aguas superficiales: sirven para cuantificar los recursos hídricos superficiales y evaluar su calidad a través de la medida de los flujos y almacenamientos de agua en superficie.

- Redes de aguas subterráneas: caracterizan los recursos subterráneos con la información que proporcionan los niveles piezométricos en los acuíferos (red piezométrica), los caudales en los manantiales (red hidrométrica) y los parámetros indicadores de la composición y calidad de las aguas subterráneas (red de calidad y de intrusión).

En función de los objetivos perseguidos, puede distinguirse también entre:

- Redes generales o de evaluación, que se implementan para estudios regionales de alcance nacional y cuyo objetivo es el conocimiento global de los sistemas hídricos. En este grupo se incluyen la red básica, la red de alerta y la red de control.

- Redes específicas o de vigilancia, que se establecen para conocer aspectos detallados del sistema como son las redes de observación y de investigación en masas de agua determinadas.

Para definir e implementar una red de control, ya sea general o específica, de aguas superficiales o subterráneas, es necesario establecer, como mínimo, tres aspectos básicos que intervienen en sus cualidades y que son: el número de puntos y su distribución espacial, los parámetros o elementos a analizar, y la frecuencia de la medida.

Punto 1642-3-0109 de la Red de control piezométrico del IGME (Santillán)

Redes de control de aguas subterráneas

En lo que se refiere a las aguas subterráneas, en la provincia de Málaga destacan por su continuidad temporal, las redes de control de piezometría, hidrometría, calidad e intrusión operadas por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) desde finales de los años 60 hasta el año 2001.

En 1996, las Confederaciones Hidrográficas, dependientes de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas (DGOHCA) del Ministerio de Medio Ambiente, en función de las competencias que les atribuye la ley de aguas en materia de vigilancia de las aguas subterráneas, configuran la red oficial de control, que denominan Red de Control Básica. Esta red se elabora a partir de las redes de control del IGME, después de proceder a su optimización para obtener una distribución más homogénea de los puntos, y se opera conjuntamente por el IGME y la DGOHCA a través de convenios de colaboración que se prolongan hasta el año 2001. Asumidas las competencias por la DGOHCA, el IGME, además del control de la red básica hasta el año 2001, implanta una red específica de investigación que mantiene operativa actualmente en algunos de los acuíferos provinciales, como es el caso de la Red de Investigación de la Reserva Natural Fuente de Piedra que consta de 50 puntos de control piezométrico, que se miden mensualmente.

Redes de control del IGME en el año 2001

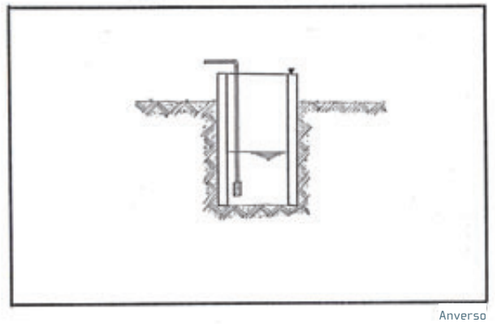
Tipo de red	Número de puntos	Número de medidas
Red de piezometría	326	978
Red de calidad	110	110
Red de hidrometría	100	200
Red de intrusión	54	162

Punto acuífero 1546-1-0023 Red de piezometría

MAPA Y ESQUEMA

Mapa de situación E: 1/50.000

Esquema de referencia de medidas



Anverso

Ficha de la red de control de piezometría del IGME

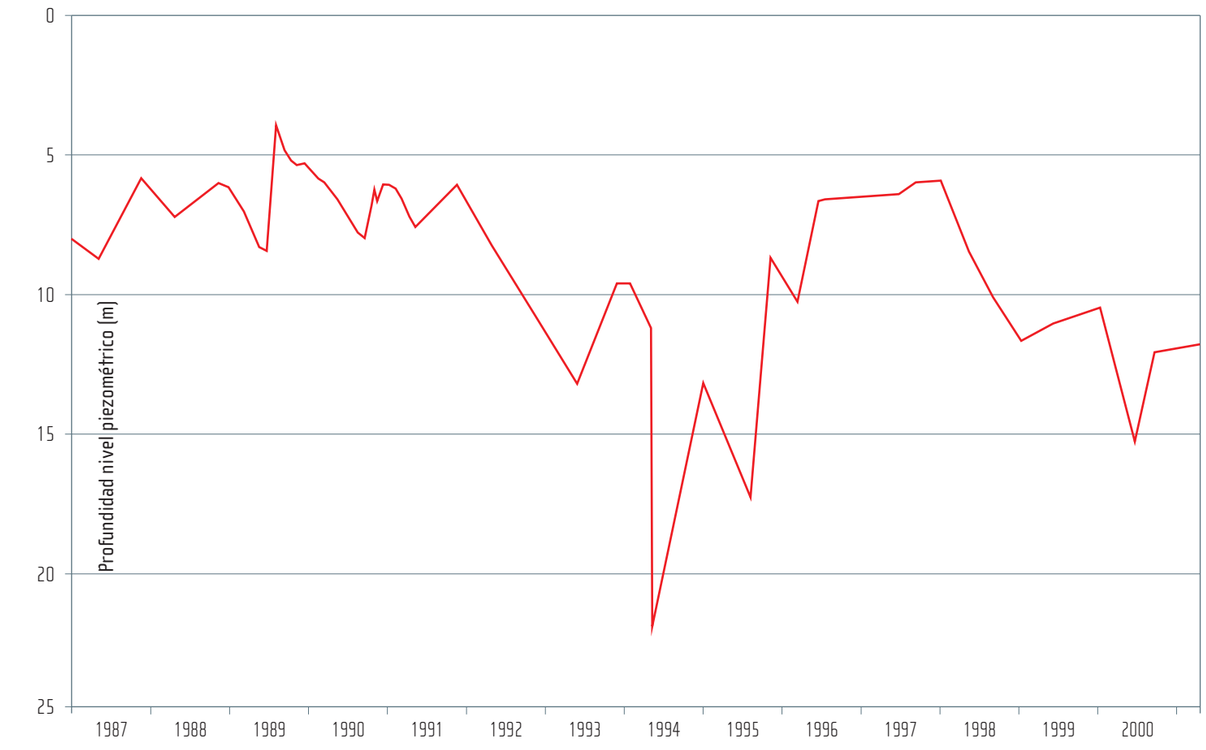
Punto acuífero 1546-1-0023 FOTOGRAFÍAS

Situación general

Referencia de medidas

Reverso

Evolución piezométrica en el acuífero de Bajo Guadalhorce



Red de control de piezometría del IGME en el acuífero del Bajo Guadlhorce

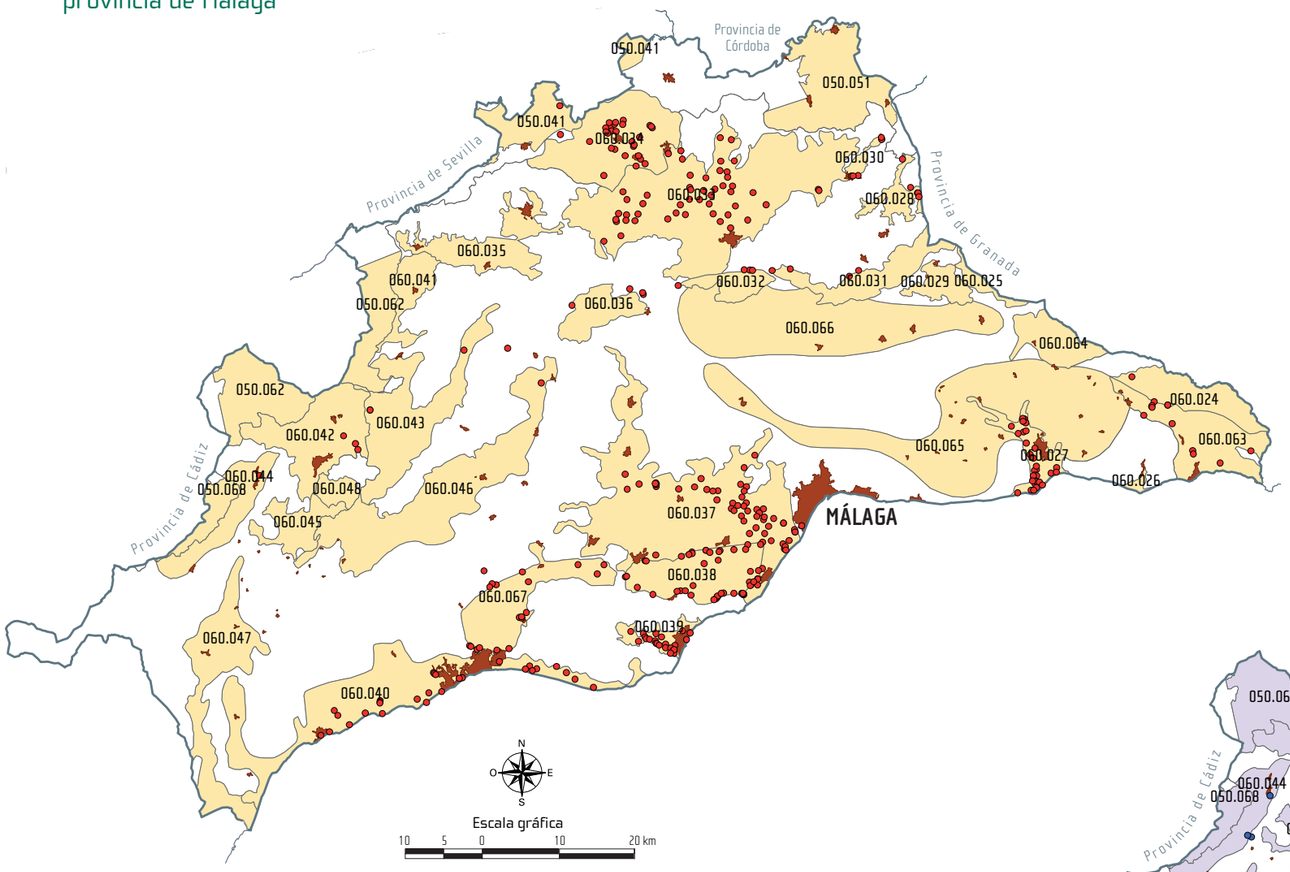
3.

En la provincia de Málaga, la red de control de piezometría del IGME, con las ampliaciones y modificaciones sufridas desde el inicio de las medidas sistemáticas en los años 80, ha llegado a tener hasta 768 puntos de control piezométrico, aunque no todos han estado operativos en el mismo periodo. En 2001, el número de puntos activos era de 326, en los que se realizaban al menos dos medidas al año, siendo lo habitual establecer controles trimestrales y, en algunos casos y durante un tiempo determinado, mensuales, como en los acuíferos del Bajo Guadalhorce, Fuente de Piedra o el acuífero de Sierra Banca-Sierra de Mijas.

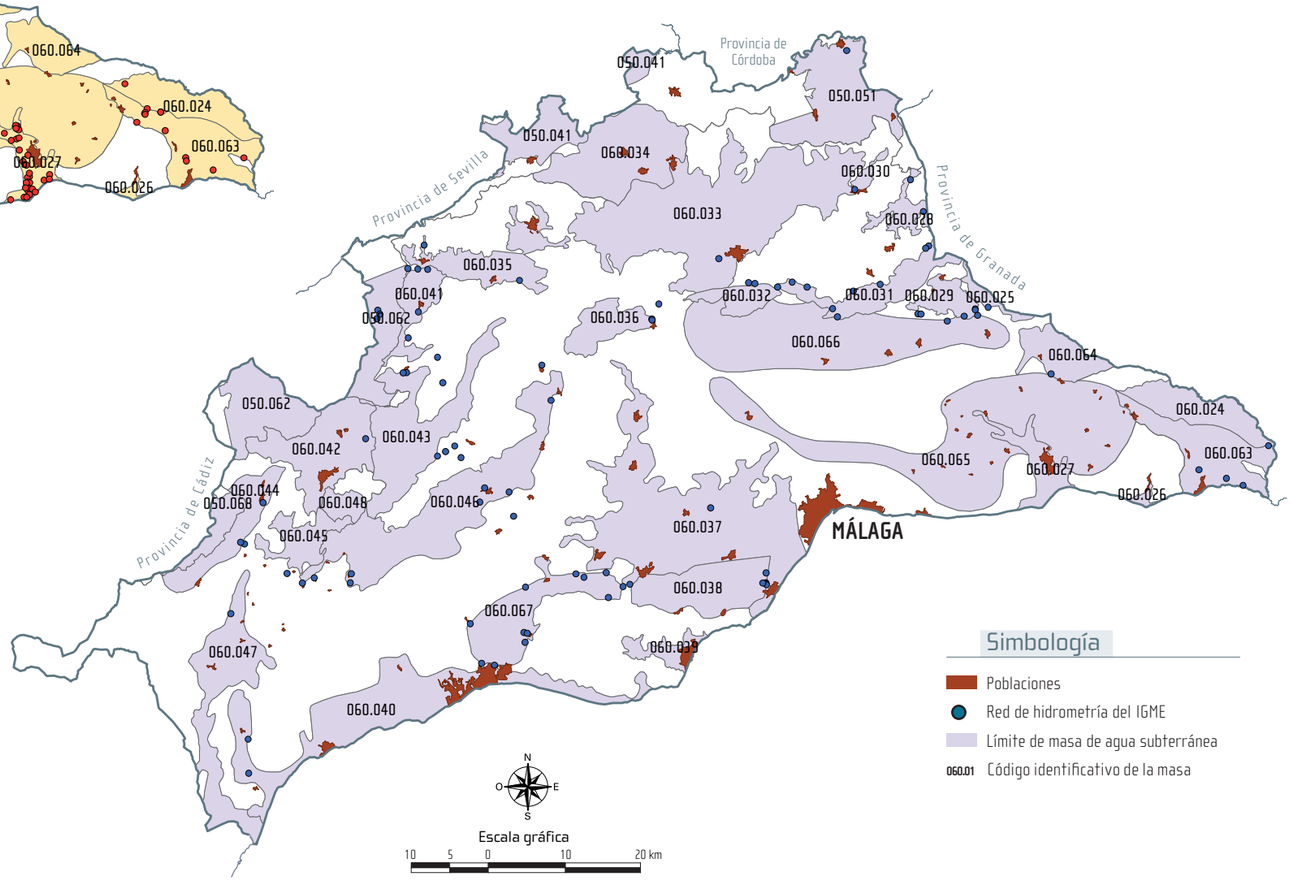
Por su parte, la red de control de hidrometría del IGME en 2001 consta de 100 puntos de observación en los que se realizaron dos medidas anuales.

Mapas de redes de control del IGME en la provincia de Málaga

Red de piezometría



Red de hidrometría



Simbología

- Poblaciones
- Red de piezometría del IGME
- Límite de masa de agua subterránea
- 060.01 Código identificativo de la masa

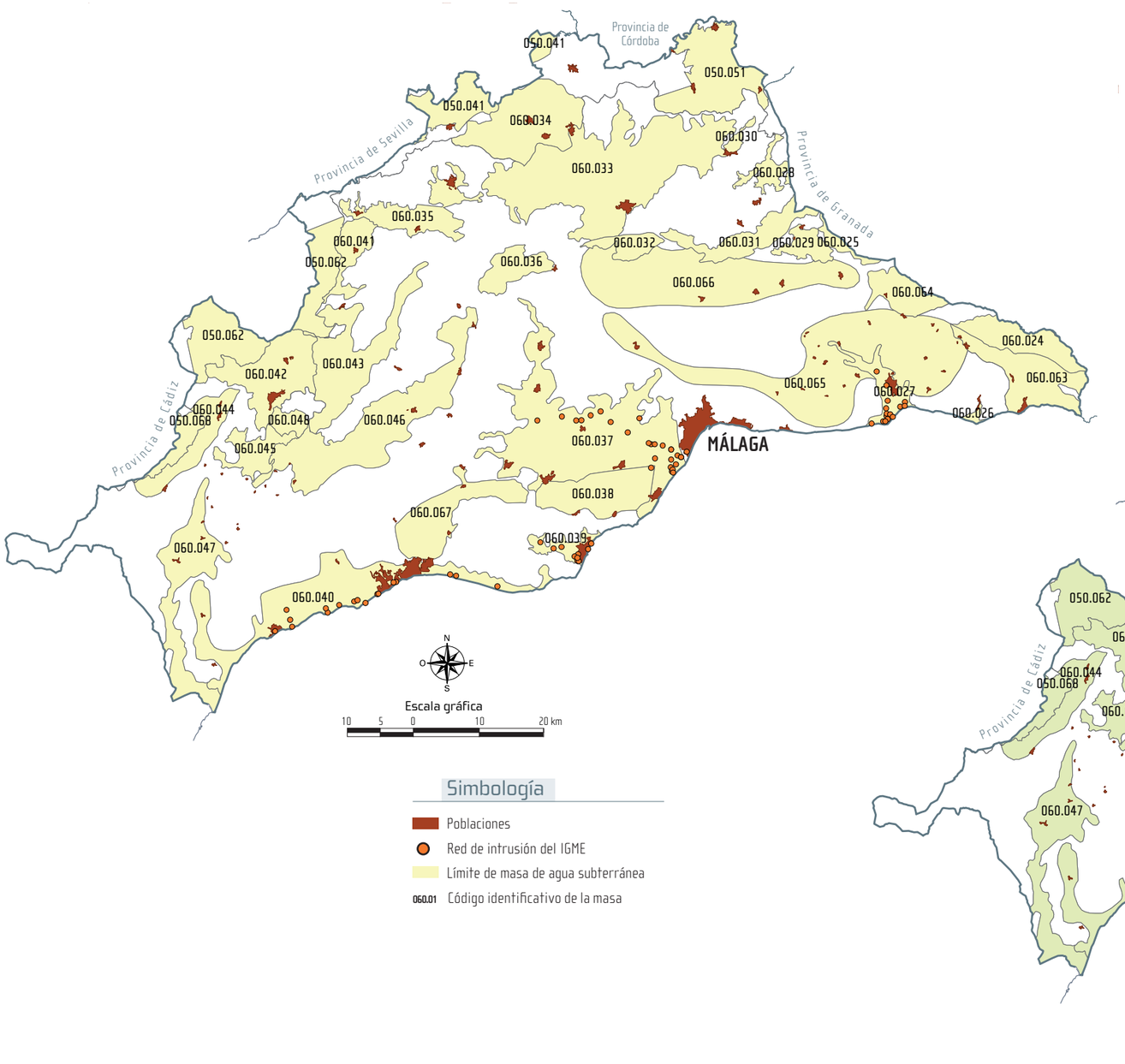
Simbología

- Poblaciones
- Red de hidrometría del IGME
- Límite de masa de agua subterránea
- 060.01 Código identificativo de la masa

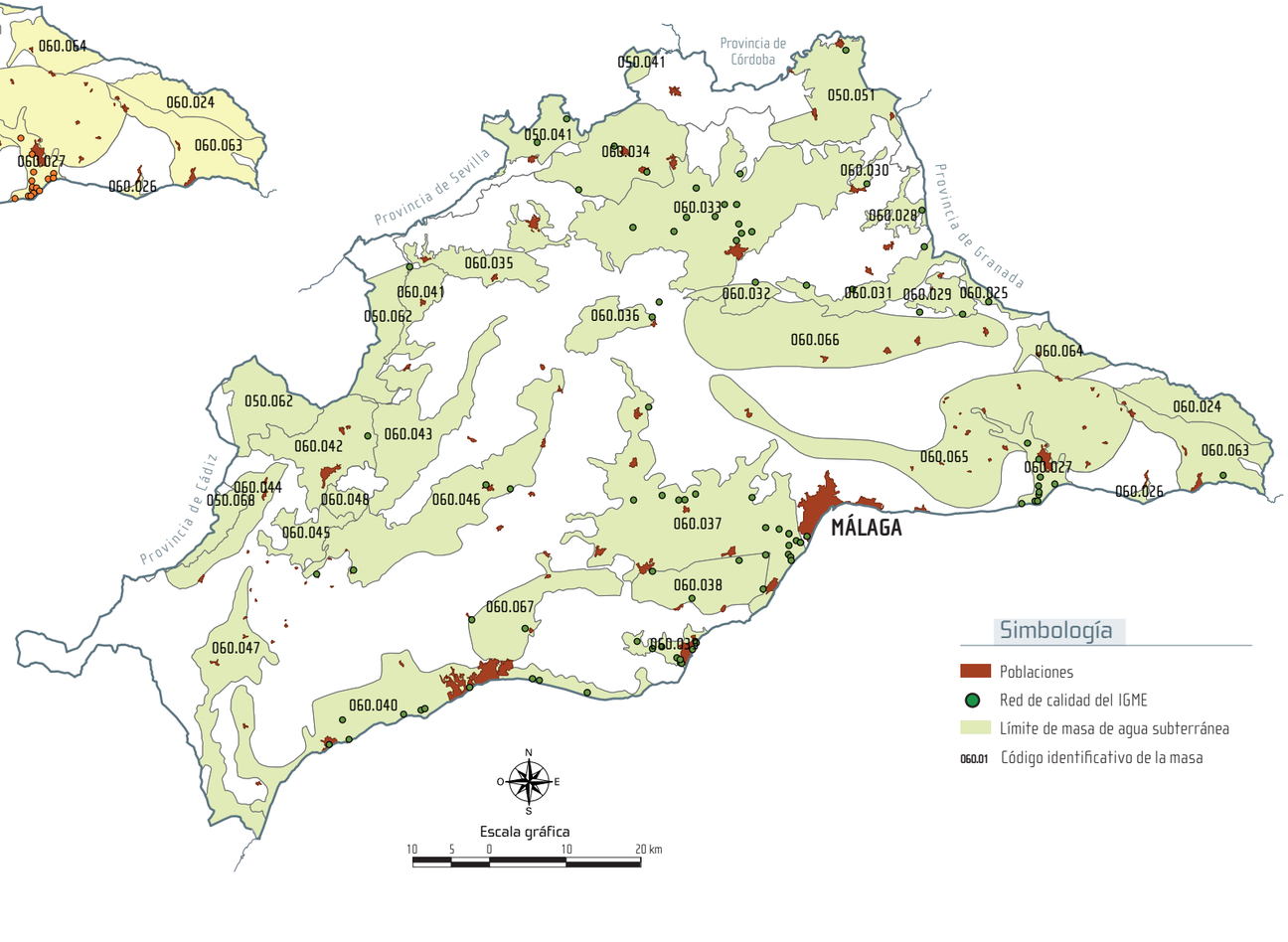
Respecto a la calidad de las aguas subterráneas, el IGME realizó una implantación gradual de una Red de Observación de Calidad de Aguas Subterráneas (ROCAS) para estudiar la evolución de sus diferentes parámetros físico-químicos. En la provincia de Málaga esta red, instaurada en la década de los 70, se ha venido ampliando y modificando hasta llegar a tener 116 puntos de control. En el año 2001 la red de calidad operativa constaba de 110 puntos en los que se analizaban los macroconstituyentes químicos con una periodicidad anual. Como complemento a esta red existía una red específica de observación de intrusión (ROI), creada para estudiar la evolución de la intrusión marina en los acuíferos costeros. Esta red alcanzó los 71 puntos de medida y en 2001 constaba de 54 puntos de observación, distribuidos entre los acuíferos costeros de Río Vélez, Bajo Guadalhorce, Marbella-Estepona y Río Fuengirola, donde se analizaban, con periodicidad bimestral o semestral, el contenido en cloruros y la conductividad eléctrica de las aguas subterráneas.

Mapa de redes de control del IGME en la provincia de Málaga

Red de intrusión



Red de calidad



3.

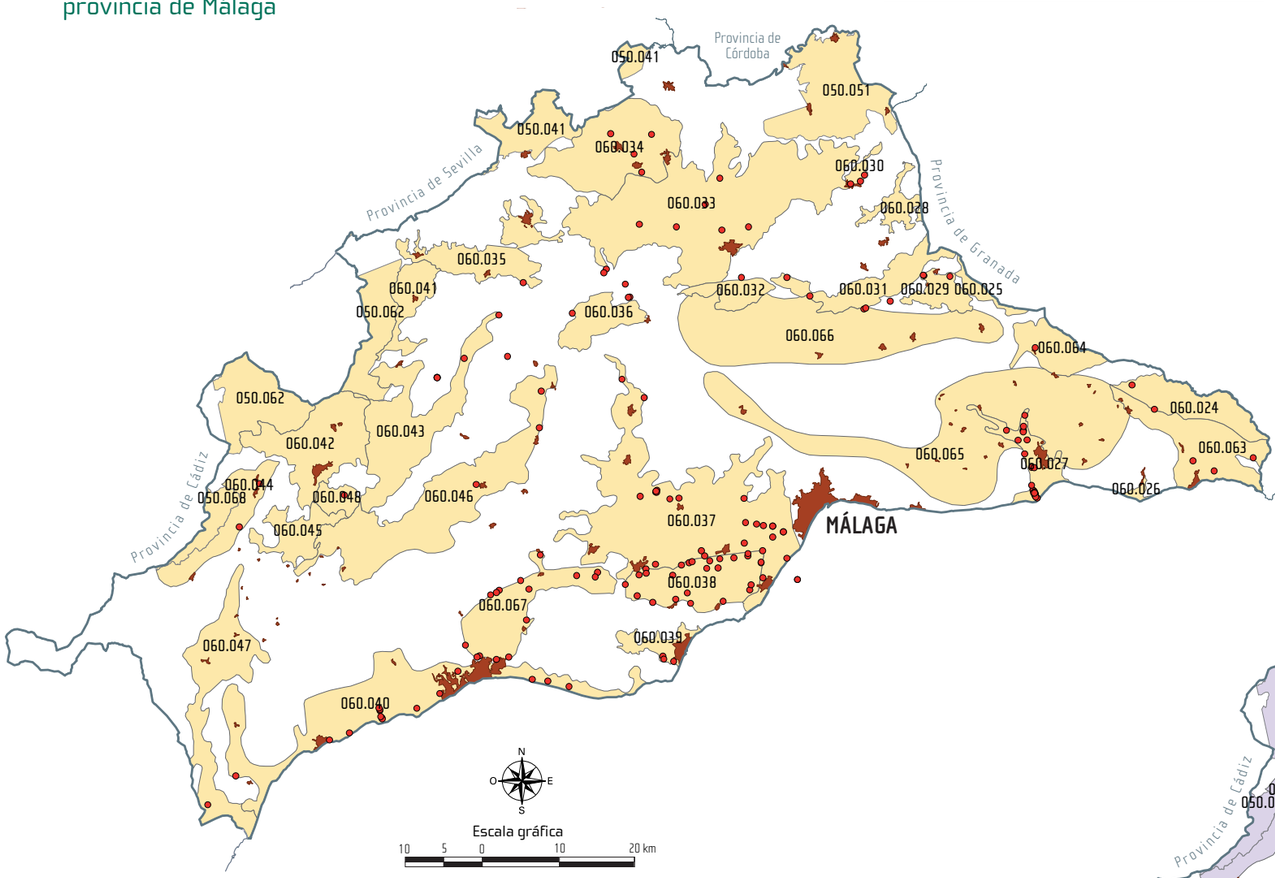
15 Vigilancia ambiental: las redes de control de aguas subterráneas en la provincia de Málaga

A partir del año 2002 el registro de las redes oficiales corre a cargo únicamente de la DGOHCA, hasta que en 2004 se produce el traspaso de competencias de la Confederación Hidrográfica del Sur al gobierno autónomo de Andalucía (R.D. 2130/2004, de 29 de octubre, sobre traspaso de funciones y servicios de la Administración del Estado a la Comunidad Autónoma de Andalucía en materia de recursos y aprovechamientos hidráulicos (Confederación Hidrográfica del Sur)) y las redes de observación oficiales pasan a ser controladas por la Agencia Andaluza del Agua de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

En la provincia de Málaga, el número de puntos de estas redes es, para la red de hidrometría, de 17 manantiales, y para la red de piezometría de 134 sondeos y pozos, siendo la periodicidad de las medidas similar a la seguida anteriormente por la DGOHCA y el IGME. En la actualidad, las redes de control se están adaptando a los criterios establecidos en la Directiva Marco del Agua para realizar el seguimiento del estado ecológico y químico de las aguas superficiales, el estado cuantitativo y químico de las aguas subterráneas y el seguimiento del estado de las áreas protegidas.

Mapa de redes de control de la Agencia Andaluza del Agua

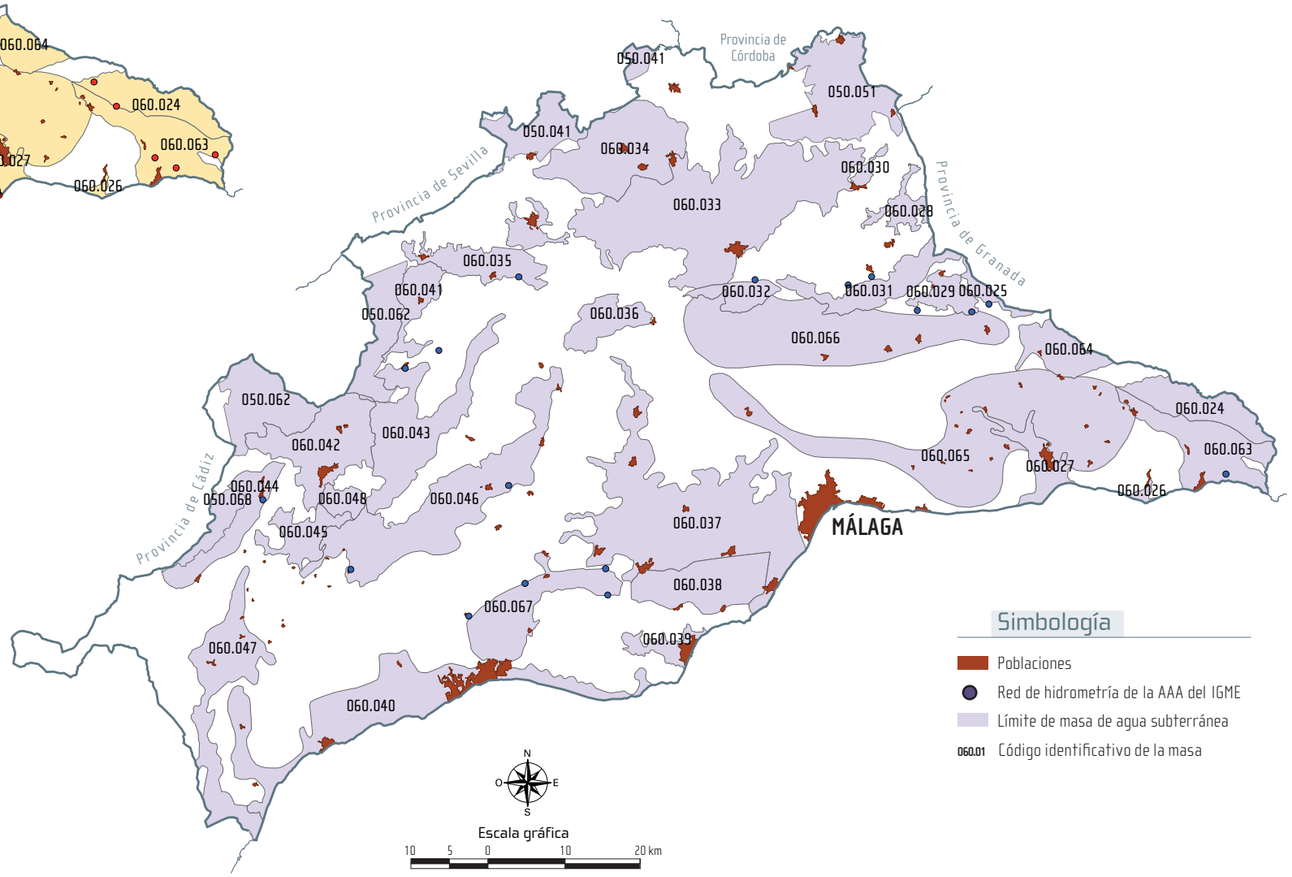
Red de piezometría



Simbología

- Poblaciones
- Red de piezometría de la AAA del IGME
- Límite de masa de agua subterránea
- 060.01 Código identificativo de la masa

Red de hidrometría



Simbología

- Poblaciones
- Red de hidrometría de la AAA del IGME
- Límite de masa de agua subterránea
- 060.01 Código identificativo de la masa

3.16

Regulación legal de los suelos contaminados en España, el caso de Málaga

3.16

Regulación legal de los suelos contaminados en España, el caso de Málaga

Antonio Fermín Castro Gámez
Juan Manuel González-Aurioles Bentabol

Sobre la importancia que tiene el suelo como soporte de casi todas las funciones vitales que afectan al ser humano y a la inmensa mayoría de los sistemas naturales es difícil dudar, sin embargo, es uno de los medios receptores de la contaminación más sensibles y vulnerables, y puede considerarse un recurso no renovable cada vez más escaso debido a que está sometido a constantes y, cada vez más frecuentes, procesos de degradación y destrucción. La escasa, y en todo caso insuficiente, percepción social del problema no hace más que agravar sus consecuencias. A ello habría que añadir la tardanza en la incorporación a la normativa ambiental en vigor, lo que sin duda ha ido incrementando el número de emplazamientos potencialmente contaminados con el paso del tiempo.

La incorporación al suelo de sustancias químicas nocivas por encima de su capacidad de amortiguación supone una contaminación del mismo, de las aguas subterráneas y superficiales, del medio biótico y hasta, en determinados casos, del medio aéreo. Ello puede dar lugar a una limitación de sus funciones, especialmente las de uso, como consecuencia de la existencia de un riesgo para la salud de las personas o para el funcionamiento de los ecosistemas que sobre él se asientan. Sin embargo, el hecho de que los efectos de la contaminación permanezcan ocultos durante mucho tiempo ha llevado a que, como ha ocurrido en parte con las aguas subterráneas, hasta hace muy poco, la preocupación por el buen estado de los suelos haya sido mínima.

A pesar de la evidente vulnerabilidad ecológica de los suelos, la legislación europea y la española han carecido de instrumentos normativos para promover su protección, y hasta la promulgación de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos, en España no se disponía de ninguna norma legal que permitiera proteger eficazmente los suelos contra la contaminación y, en el caso de los ya contaminados, identificarlos y caracterizarlos utilizando para ello una metodología normalizada y técnicamente rigurosa.

Vertedero sellado de residuos no peligrosos en Benalmádena

Vertedero de residuos no peligrosos en la Costa del Sol: constituye un claro ejemplo de actividad potencialmente contaminante de suelos

La citada Ley 10/1998 surge de la adaptación de la normativa española (antigua Ley 20/1986, de 14 de Mayo, básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos) a la normativa europea, aunque ya en 1995 el Gobierno, en colaboración con las Comunidades Autónomas, aprobó el I Plan Nacional de Recuperación de Suelos Contaminados (1995-2005) que constituyó una de las iniciativas pioneras en lo relativo a la recuperación y protección de suelos contaminados en España, llegando a inventariarse 4.532 emplazamientos como potencialmente contaminados. Anteriormente, en 1989 se aprobó el Plan Nacional de Residuos Industriales que incluyó un programa específico para el "Control y Recuperación de Zonas afectadas por Vertidos de Residuos Tóxicos y Peligrosos" dando origen finalmente al "Inventario Nacional de Suelos Contaminados" del MOPMA (1991-1993). En 1996 se firman los convenios marco entre el Gobierno Central y las Comunidades Autónomas para actuaciones en materia de suelos contaminados. Actualmente se encuentra en vigor el II Plan Nacional de Recuperación de Suelos Contaminados 2007-2015 que se apoya fundamentalmente en el Real Decreto 9/2005 que más adelante se comentará en detalle.

La Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos, en su Título V, regula los aspectos ambientales de los suelos contaminados, y dispone que el Gobierno, previa consulta a las Comunidades Autónomas, determinará los criterios y estándares que permitan evaluar los riesgos que pueden afectar a la salud humana y al medio ambiente atendiendo a la naturaleza y a los usos de los suelos. Aplicando estos criterios y estándares, las Comunidades Autónomas declararán, delimitarán y harán un inventario de los suelos contaminados existentes en sus territorios, y establecerán una lista de prioridades de actuación sobre la base del mayor o menor riesgo para la salud humana y el medio ambiente en cada caso.

Se incluye, asimismo, en dicha Ley el mandato dirigido al Gobierno de aprobar y publicar una lista de actividades potencialmente contaminantes del suelo, y se establecen determinadas obligaciones que afectan a los titulares de las actividades y a los propietarios de las fincas en las que tenga o haya tenido lugar alguna de las actividades reseñadas. En la Comunidad Autónoma Andaluza, a través de la Consejería de Medio Ambiente, se realizó el Inventario de Suelos Potencialmente Contaminados de Andalucía cuyas actuaciones se prolongaron desde 1996 hasta el año 1999/2000. Dicho inventario tuvo por objeto el censo de todas las instalaciones industriales en activo y abandonadas que, a causa del consumo y/o almacenamiento de sustancias, procesos productivos o generación de residuos pueden ser generadoras potenciales de suelos contaminados. Se diferenciaron seis categorías o tipos de emplazamientos:

- vertederos de residuos industriales y vertederos de residuos sólidos urbanos (designados como V y U respectivamente en los gráficos adjuntos) que se corresponden con los vertederos de residuos no peligrosos y peligrosos de acuerdo con la actual nomenclatura derivada del Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero

- estaciones de servicio y centros de almacenamiento y distribución de combustibles (G)

- instalaciones industriales activas e inactivas (I y A)

- instalaciones mixtas (M), actividades industriales que albergan un vertedero en su interior o vertederos con mezcla de residuos urbanos e industriales.

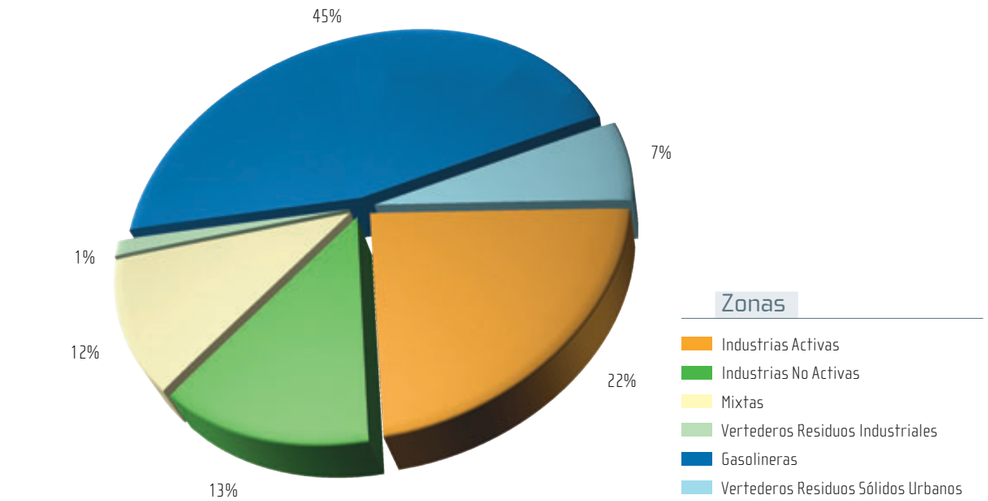
3.

Las gráficas adjuntas muestran la situación para la provincia de Málaga. Los tipos de emplazamientos que generan un mayor número de suelos potencialmente contaminados son las industrias no activas y los almacenamientos de combustibles; por zonas geográficas, es la capital la que podría verse más afectada por el problema, seguida de la zona norte (Comarca de Antequera) y la Costa del Sol Occidental.

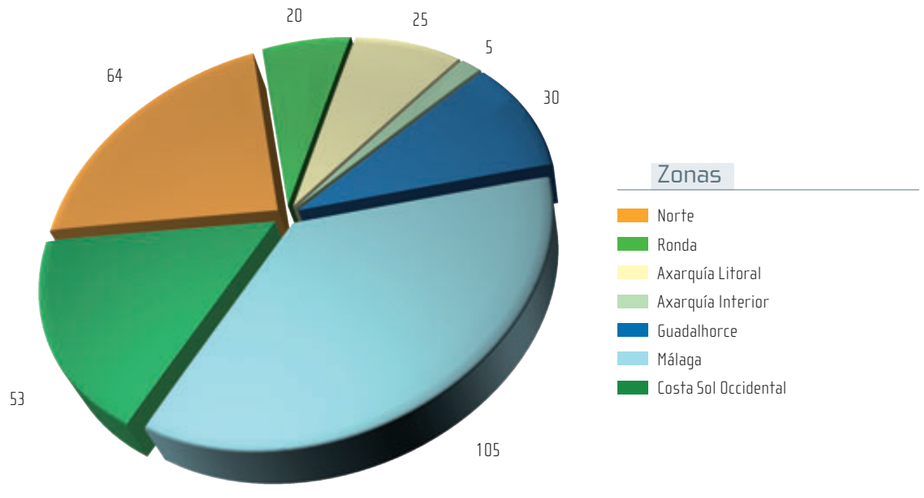
La superposición de ambos gráficos revela que las situaciones con mayor probabilidad de generar suelos potencialmente contaminados son los emplazamientos que albergan actividades industriales (activas e inactivas) y los almacenamientos de derivados del petróleo, fundamentalmente en los municipios de la Costa del Sol Occidental y especialmente en el municipio de Málaga. No hay que olvidar la herencia industrial malagueña que se remonta al siglo XIX, y que continuó durante buena parte del siglo XX con fábricas textiles, químicas, alimentarias y azucareras, siderúrgicas y grandes centros de almacenamiento y distribución de combustibles, la mayor parte de ellas enclavadas en la costa oeste de la capital y emplazadas sobre las series aluviales cuaternarias del Bajo Guadalhorce (Masa de Agua Subterránea 060.037).

Suelos contaminados por fugas de tanques de combustibles en una zona industrial de Málaga

Inventario de suelos potencialmente contaminados (Málaga) - Tipos de emplazamiento



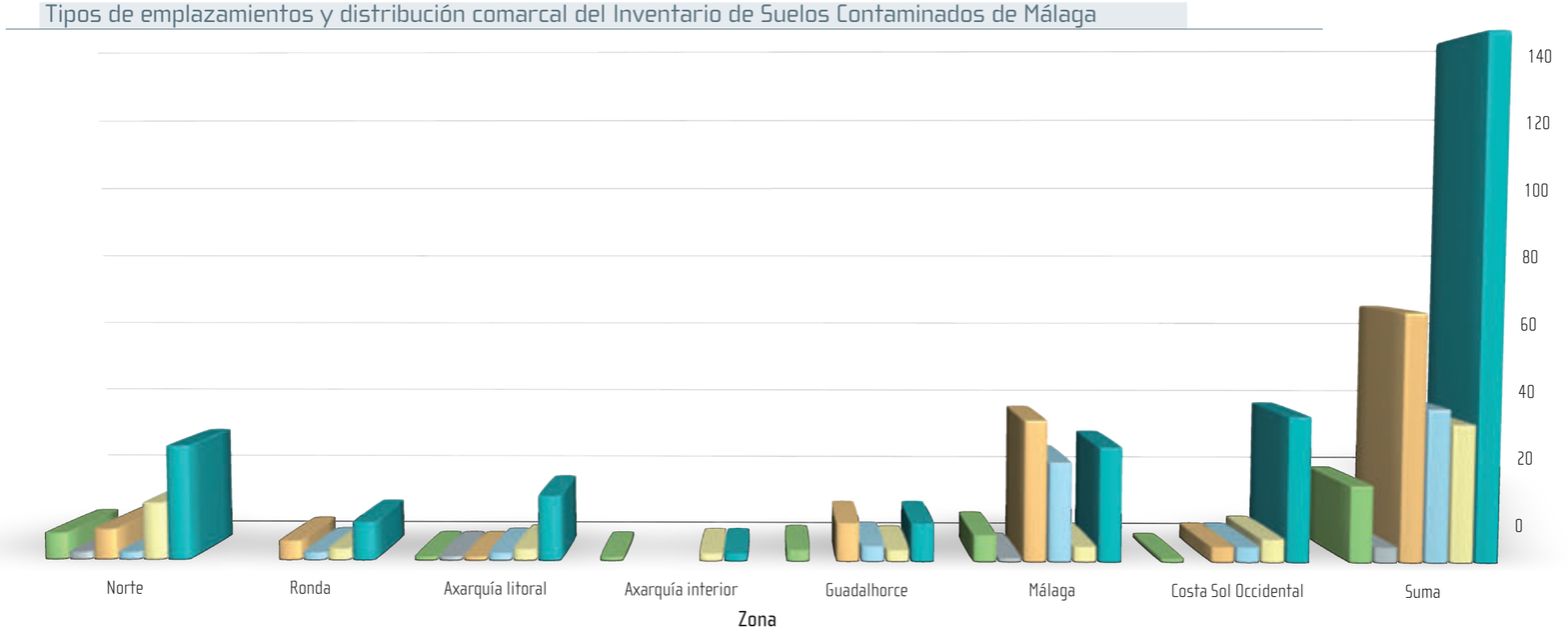
Inventario de suelos potencialmente contaminados (Málaga) - Distribución geográfica de emplazamientos



En lo concerniente a la ejecución de actuaciones de recuperación de suelos en la provincia de Málaga, durante 1999 se desarrollaron obras para la regeneración del emplazamiento de Los Asperones, antiguo vertedero de la urbe de Málaga para el que se procedió a la impermeabilización de parte del sustrato, la redistribución de un volumen muy elevado de residuos (el total depositado se estimó en 4,5 x 106 m^3), sellado, distribución de tierra vegetal y revegetación, además de otras actuaciones que incluyen la desgasificación del antiguo vertedero mediante 24 chimeneas construidas al efecto.

Por su parte, la Agencia Europea de Medio Ambiente estimó en 1999 entre 300.000 y 1.500.000 el número de zonas o áreas contaminadas para el conjunto de Europa occidental. Cálculos posteriores sitúan en 3,5 x 10^6 el número de emplazamientos potencialmente contaminados, estimándose en 5 x 10^5 los que realmente se encuentran contaminados y requieren, por tanto, de recuperación. Los costes anuales originados por la contaminación del suelo para el conjunto de la Unión Europea se cifran en 2,4 x 10^3 a 17,3 x 10^3 millones de euros, lo que en cualquier caso, y con independencia de la inexactitud de las cifras, sin duda da una idea de la magnitud del problema.

Tipos de emplazamientos y distribución comarcal del Inventario de Suelos Contaminados de Málaga



Tipo de emplazamiento

- U Vertedero de Residuos Sólidos Urbanos
- V Vertedero de Residuos Industriales
- I Instalaciones Industriales activas
- A Instalaciones Industriales inactivas
- M Instalaciones mixtas
- G Estaciones de servicio y distribución de combustibles

Actuaciones de saneamiento en una zona industrial contaminada en Málaga

El Real Decreto, 9/2005 de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados, que da cumplimiento a lo previsto en la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos, una vez consultadas a las Comunidades Autónomas, constituye la pieza clave sobre la cual se articulará la gestión de suelos en España.

En el Real Decreto se precisa la definición de suelo contaminado de la citada ley haciendo referencia a la presencia de "sustancias químicas de carácter peligroso y de origen humano" que pueden alterar las características tanto químicas como físicas o biológicas del suelo, lo que comportaría un riesgo que ha de ser cuantificado para estimar el posible daño que se puede derivar para la salud humana y el medio ambiente. El suelo se declarará contaminado, mediante resolución expresa, si conforme al baremo de este Real Decreto dicho riesgo se considera inaceptable para la salud humana y/o los ecosistemas.

3.

Así mismo, se establece la relación de actividades susceptibles de causar contaminación en el suelo, concretamente 104 actividades industriales potencialmente contaminantes, y los criterios y estándares que permiten decidir si un suelo está o no contaminado, incluyendo los requisitos técnicos que deberán ser tenidos en cuenta. Igualmente, se regula la forma y contenido del Informe Preliminar de Situación que deben presentar a las Comunidades Autónomas los titulares de las Actividades Potencialmente Contaminantes y los propietarios de los suelos que las han soportado en el pasado. Se regulan los llamados Niveles Genéricos de Referencia, parámetro básico que se utilizará para la evaluación de la contaminación del suelo por determinadas sustancias, las cuales están agrupadas en una doble lista, una para la protección de la salud humana que incluye 60 sustancias, y otra dedicada a los ecosistemas (54 sustancias).

El criterio general para juzgar el grado de contaminación del suelo, así como las posibles medidas de recuperación ambiental en los suelos que hayan sido declarados como contaminados, descansa en la Valoración de los Riesgos Ambientales ligados a la existencia de contaminantes, esto es, la evaluación del riesgo para la salud humana y/o los ecosistemas, en función de tres usos posibles de ese suelo: urbano, industrial y otros usos. Cabe destacar el hecho de que la norma permite establecer un mecanismo que posibilita la adopción de criterios para la declaración de suelos contaminados aún no contando con la citada Valoración de Riesgos (bioensayos de toxicidad normalizados para el caso de la posible afección a ecosistemas, o superación de los niveles genéricos de referencia en al menos un orden del centenar para la protección de la salud humana). Asimismo se incluye un procedimiento para el cálculo de los citados Niveles Genéricos de Referencia para aquellas sustancias no incluidas en los anexos correspondientes del Real Decreto 9/2005 (téngase en cuenta que estos incluyen aquellas sustancias consideradas más frecuentes en nuestro ámbito geográfico, habiendo sido seleccionadas según su grado de peligrosidad y la posibilidad de aparición según las actividades económicas que se desarrollan en nuestro país).

Finalmente, se desarrolla lo previsto en la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos, sobre el modo en que se producirá la constancia en el Registro de la Propiedad de las resoluciones administrativas sobre declaración de suelos contaminados, y de aquellas fincas sobre las que se hayan realizado actividades potencialmente contaminantes, dando efectividad a la previsión legal al precisar el título formal en cuya virtud la nota marginal se haya de extender, su contenido, efectos, duración y requisitos de cancelación.

Toda gestión de un suelo potencialmente contaminado pasa por las siguientes fases:

- Informe Preliminar de Situación: según establece el Real Decreto 9/2005, los titulares de las actividades potencialmente contaminantes (las actividades incluidas en el Anexo I, o bien aquellas que manejen, produzcan o generen determinadas cantidades de sustancias peligrosas o combustibles) estarán obligados a remitir al órgano competente de la Junta de Andalucía, en un plazo no superior a dos años (hasta febrero de 2007), un informe preliminar de situación (con el contenido relacionado en el Anexo II) para cada uno de los suelos en los que se desarrolla dicha actividad. A día de hoy la cifra de informes entregados para la provincia de Málaga es de 3.200 aproximadamente, ello no significa en modo alguno que vaya a haber tal cifra de suelos contaminados, pero sí resulta reveladora y hace prever un volumen de trabajo nada despreciable.
- Informe Complementario de Detalle (Caracterización): examinado el informe preliminar de situación, la Junta de Andalucía podrá recabar del titular de la actividad o del propietario del suelo, informes complementarios más detallados, datos o análisis que permitan evaluar el grado de contaminación del suelo, que en todo caso deberá realizarse de acuerdo con los criterios y estándares que se establecen en este Real Decreto.

Los propietarios de los suelos en los que se haya desarrollado en el pasado alguna actividad potencialmente contaminante, estarán obligados a presentar un informe de situación cuando se solicite una licencia o autorización para el establecimiento de alguna actividad diferente de las actividades potencialmente contaminantes o que suponga un cambio de uso del suelo.

Escombrera en el término municipal de Ardales

Vertido en Campillos

Vertedero impermeabilizado en Casarabonela

- Declaración de suelos contaminados: el órgano competente de la Comunidad Autónoma declarará un suelo como contaminado para los correspondientes usos atendiendo a los criterios del Anexo III, esto es, la existencia de un riesgo aceptable o no, lo cual, como ya se ha dicho, se determina mediante la correspondiente Valoración de Riesgos, teniendo en cuenta el objeto de protección (la salud humana y/o los ecosistemas). La citada valoración implica el estudio, caso por caso, de cada emplazamiento según todas sus características que deben incluir no sólo las propias del suelo, sino también las de las actividades que ha soportado y las que soporta actualmente o en el futuro, y podrá ser realizada tanto por el titular de la actividad como por el titular del suelo, sea este propietario del mismo o poseedor (el que hace uso de él sin ser su propietario).

  Desde un punto de vista técnico, el estudio de la contaminación de un suelo implica necesariamente el estudio de su posible afección a las aguas, fundamentalmente a las aguas subterráneas. Esto es especialmente evidente en los casos de contaminación del suelo por hidrocarburos, estos, además de quedar atrapados en la matriz detrítica del suelo, suelen formar un sobrenadante que se concentra sobre el nivel freático, de forma tal que las oscilaciones de este marcan una banda de contaminación que suele reactivarse con cada ciclo hidrológico. A nadie se le escapa que esta situación que afecta al límite superior de la zona saturada en acuíferos detríticos, pone de relieve la enorme dificultad que entraña la descontaminación "completa" del suelo, siendo necesario de acuerdo con la norma, que esta contaminación remanente alcance niveles de riesgo aceptables de acuerdo con el uso del suelo. Además, el Real Decreto establece la necesidad de notificar la contaminación de las aguas a la administración hidráulica correspondiente, promoviendo así una muy necesaria colaboración entre administraciones.

- Descontaminación: de acuerdo con el Real Decreto 9/2005, la declaración de un suelo como contaminado obligará a la realización de las actuaciones necesarias para proceder a su recuperación ambiental en los términos y plazos que determine la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Esto es, el órgano competente debe aprobar el proyecto de recuperación correspondiente presentado por el responsable de la contaminación, de forma tal que se garantice la reducción de la concentración de la sustancia contaminante en el suelo hasta un valor aceptable para el uso actual y previsible de ese suelo. La contaminación remanente no debe representar un peligro para el uso del suelo (llegar a contaminación cero resulta en casi todos los casos técnica y económicamente inviable), siendo por definición ese nivel de contaminación el que marcan los niveles genéricos de referencia incluidos en el Real Decreto (anexos V y VI), o bien los calculados para esa situación concreta de acuerdo con dicha norma (Anexo VII).

  Además, la normativa prioriza las técnicas que permitan una descontaminación permanente (las llamadas técnicas de recuperación – destrucción del contaminante, extracción o separación del mismo) frente a las técnicas de contención que aíslan o inmovilizan el contaminante, evitando en lo posible la excavación del suelo, es decir, se favorecen las llamadas técnicas in situ frente a las que requieren la remoción del suelo (o técnicas ex situ), solamente cuando no sea posible aplicar soluciones permanentes pueden aplicarse soluciones de aislamiento o contención de los contaminantes. Por último, al declarar un suelo como descontaminado también debe señalarse respecto a que usos deja de estarlo.

3.

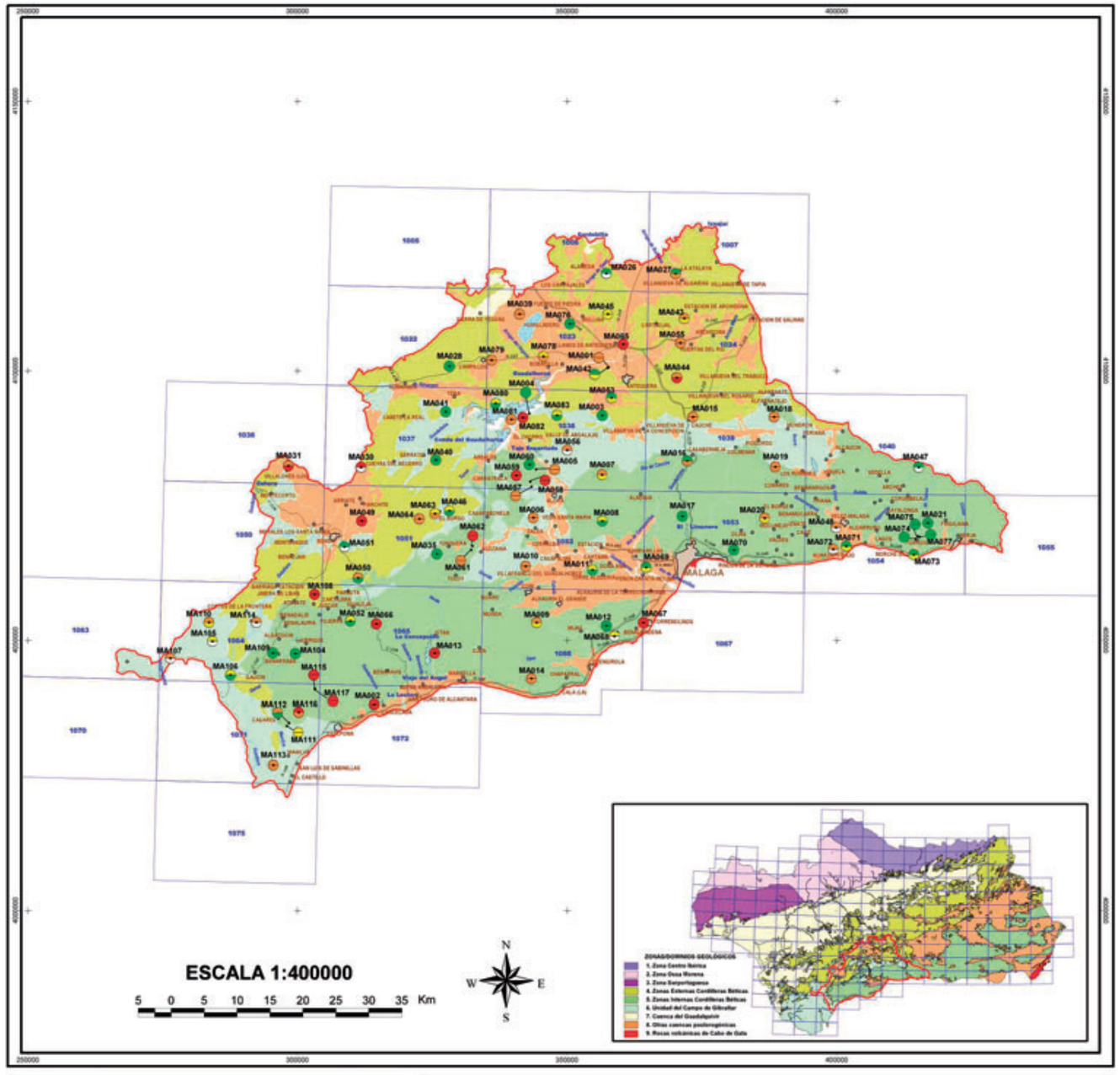
16 Regulación legal de los suelos contaminados en España, el caso de Málaga

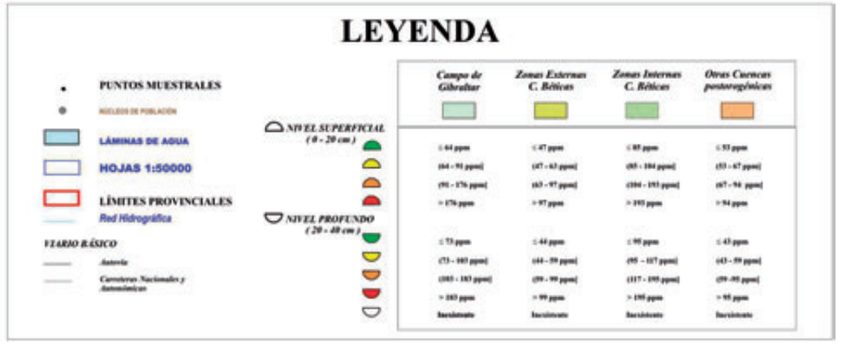
Finalmente cabe señalar que actualmente se encuentra en fase de desarrollo la normativa autonómica que regulará algunos aspectos procedimentales (asignación de funciones a los diferentes órganos administrativos, determinación de plazos...); se regularán, así mismo, los trabajos de caracterización y descontaminación de suelos, los requisitos exigibles a las empresas del sector y el procedimiento para la evaluación de emplazamientos afectados por metales y otros elementos traza, basado en el "Estudio de Elementos Traza en Suelos de Andalucía" realizado por la Consejería de Medio Ambiente y varias universidades andaluzas. Se reglamentaran los Niveles Genéricos de Referencia para metales de forma tal que se tenga en cuenta la movilidad de los diferentes elementos y las concentraciones totales naturales a nivel regional y en el entorno de los emplazamientos en estudio según el dominio geotectónico en el que se encuentre incluido. Se adjunta uno de los mapas de elementos traza en la provincia de Málaga en el que pueden apreciarse los diferentes dominios geotectónicos presentes.

Los objetivos marcados por el Real Decreto 9/2005 así como por el II Plan Nacional de Recuperación de Suelos Contaminados 2007-2015 son evidentemente muy ambiciosos, baste decir que en la reciente propuesta de Directiva de la Comisión (COM 2006-232 Final) se estima en unos 7 años el plazo necesario para inventariar los terrenos en los que se hayan emplazado actividades potencialmente contaminantes del suelo, y en 32 años para la recuperación de los que se hayan declarado contaminados.

Zanja con aguas contaminadas con hidrocarburos en el área industrial de Málaga.

Mapa de elementos traza en suelos de Málaga (Cromo)





Reproducción del mapa de concentración de Cromo en suelos de Málaga realizado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía

3.17 Riesgos ambientales asociados al agua en la provincia de Málaga

3.17

Riesgos ambientales asociados al agua en la provincia de Málaga

Bartolomé Andreo Navarro
Mª Jesús Perles Roselló

La provincia de Málaga constituye un territorio proclive a la afectación por los riesgos de naturaleza catastrófica debido a circunstancias de origen natural y humano. Junto a la alta torrencialidad de las precipitaciones, el relieve es abrupto y existe una gran proximidad de las montañas a la línea de costa. La diversidad de litologías y la actividad geotectónica constituyen, igualmente, factores de inestabilización del relieve. Se define así un alto potencial del terreno para la transferencia de masa y energía, lo que se traduce en procesos de peligrosidad de diversa índole. La intensidad y dinamismo de la actividad humana genera altos niveles de inducción del peligro y el patrón desarticulado de ocupación del territorio proporciona, igualmente, una elevada exposición y vulnerabilidad de la población y sus bienes. Todos estos factores de peligrosidad, exposición y vulnerabilidad generan, por tanto, un riesgo elevado.

Una parte importante de los peligros y riesgos que afectan a la provincia de Málaga se relacionan con la acción del agua. En ocasiones el agua actúa de forma directa como vector de daño; es el caso de las inundaciones, así como de la erosión hídrica. El agua es también un factor condicionante de los movimientos gravitacionales. En los terrenos evaporíticos y carbonatados existe el peligro de subsidencia, debido a la disolución de las rocas por acción del agua. También pueden producirse subsidencias en formaciones detríticas, como consecuencia de la explotación del agua subterránea de acuíferos confinados. Asimismo, ante un movimiento sísmico, existe peligro de liquefacción en los acuíferos detríticos. La explotación de acuíferos, a veces, provoca la desecación de manantiales históricos que en situaciones de recarga pueden volver a drenar agua, con el consiguiente impacto en las construcciones que se hayan ubicado sobre el área de descarga. Otro riesgo relacionado con las aguas subterráneas es el de contaminación, que se describe de forma específica en capítulos anteriores.

Ocupación del cauce del Río Torrox

Inundaciones

El peligro de inundación está determinado por factores como la precipitación, el balance infiltración – escorrentía, o la morfometría e hidrodinámica de las cuencas. En condiciones mediterráneas, el equilibrio del sistema de producción y evacuación de flujo y sedimentos es extremadamente frágil. El desequilibrio del sistema está relacionado con los cambios rápidos de uso del suelo y de la cobertura vegetal, especialmente si éstos implican pérdida de la capacidad de infiltración e incremento de sólidos en el agua. Inciden también en la peligrosidad las alteraciones de los cauces, sean de origen natural (colapsos, represamientos, ascenso del nivel del mar en la desembocadura) o artificial (ocupación de cauces). En ocasiones, las inundaciones se producen por problemas de drenaje, cuando existen pendientes que no superan el umbral de generación de la escorrentía y los materiales del sustrato son poco permeables. En algunos sectores, sin embargo, la problemática se relaciona con materiales que aportan agua subterránea a los cauces y contribuyen a la crecida o inundación. La vulnerabilidad de la población y sus bienes frente a los procesos de inundación depende fundamentalmente de la capacidad de éstos elementos de adaptarse a un espacio potencialmente inundable.

Encauzamiento en la desembocadura del Río Guadalhorce (Málaga)

La probabilidad de que se produzcan inundaciones es alta, en general, en toda la provincia, aunque se pueden distinguir zonas con diferente grado de peligrosidad potencial.

Las cuencas fluviales vertientes al litoral occidental presentan una cierta capacidad de regulación natural del caudal, por la modulación de la infiltración sobre los acuíferos carbonatados de cabecera y por la presencia de una cobertera vegetal relativamente desarrollada. Además, en algunos cauces, hay regulación artificial, como ocurre en Río Verde. No obstante, la configuración morfológica de éstas cuencas, alargadas y confinadas en cabecera pero abiertas de forma súbita en la llanura de inundación, favorece la posibilidad de desbordamiento en este sector occidental de la provincia, de alta ocupación humana. Los procesos de transgresión marina o ascenso del nivel del mar en situaciones de temporal aumentan la peligrosidad de inundación en la desembocadura de algunos de estos cursos, como se ha constatado en el Río Fuengirola.

Los Ríos Guadalmedina y Guadalhorce recogen las aguas del tercio central de la provincia. El primero ha provocado inundaciones históricas en la ciudad de Málaga y actualmente está regulado por la presa del Limonero. El segundo presenta una cuenca hidrográfica de gran extensión que determina una gran diversidad de los factores reguladores de la escorrentía y de la hidrodinámica de la cuenca, entre ellos la litología y la cobertera vegetal. Las dimensiones de la red de drenaje generan tiempos de concentración del hidrograma que no son muy cortos, pero la concentración de flujos propiciada por la tipología de la red en varios puntos, en circunstancias de caudales elevados, favorecen la generación de avenidas de gran magnitud. Existen también espacios de inundación por mal funcionamiento del drenaje en los Llanos de Antequera. Las presas existentes en el alto Guadalhorce y sus tributarios (Guadalteba y Turón), así como en el Río Campanillas (presa de Casasola) contribuyen a la laminación de las avenidas en el bajo Guadalhorce. El encauzamiento del tramo final del Río ha paliado en parte el problema de las inundaciones, aunque en el sector de desembocadura la peligrosidad se incrementa por la cercanía del nivel piezométrico a la superficie (descarga del acuífero al cauce) y por la posibilidad de ascenso del nivel del mar en épocas de temporal.

Las cuencas situadas entre la ciudad de Málaga y el Río Vélez se caracterizan por su elevada peligrosidad. Están formadas por materiales de baja permeabilidad, fundamentalmente pizarras de los Montes de Málaga. La tipología dendrítica de las redes, su elevado perfil longitudinal, las altas pendientes de cabecera y la escasa densidad de la protección vegetal son factores que contribuyen a la generación de tiempos de concentración del caudal muy bajos, que producen avenidas rápidas con gran cantidad de sedimentos. Es el caso del arroyo de Totalán y de otros situados en el Rincón de la Victoria y más al este.

En el sector oriental, los cursos más cercanos al límite este de la provincia reproducen el modelo de las cuencas occidentales, aunque la precipitación suele ser menor en este caso. Las sierras Tejeda y Almijara, formadas por mármoles acuíferos, modulan los aportes de las precipitaciones y los drenan por manantiales, laminando así los caudales punta. El Río Vélez, de cuenca mayor y más heterogénea, presenta una dinámica de peligrosidad regulada en parte por la presa de La Viñuela a la que también llega el agua de las crecidas de los ríos situados al Este (Alcaucín, Bermuza, Almanchares y Rubite).

En lo que respecta a la vulnerabilidad del medio humano frente a las inundaciones, la franja litoral de la provincia destaca por la elevada exposición de población y bienes. Dada la cercanía del relieve al litoral, los asentamientos humanos de la estrecha franja costera utilizan para su expansión las llanuras de inundación de ríos y ramblas, sin contemplar medidas de adaptación a este peligro natural. Esta inadaptación a las condiciones del medio está motivada por la rapidez y falta de coordinación de los procesos de ocupación de estos terrenos, debido a la intensidad de la actividad turística y urbanística. El alto volumen de exposición de población y bienes en la parte baja de los cauces (Guadalhorce y Fuengirola, por ejemplo) contribuye, en gran medida, a la generación del riesgo. El planeamiento urbano en la mayor parte de los municipios litorales prevé una intensificación de la construcción sin contemplar medidas de mitigación de la vulnerabilidad. En estas condiciones el potencial de riesgo para la zona se verá incrementado.

Desembocadura del Río Fuengirola

Embalse de La Viñuela

Erosión hídrica

El peligro de erosión hídrica acelerada se relaciona con el carácter abrupto de la topografía en amplios sectores de la provincia y con la susceptibilidad a la movilización de determinadas litologías. La cobertera vegetal no posee, en gran parte del territorio provincial, la densidad suficiente para proporcionar protección frente a la torrencialidad del clima mediterráneo. En general, el peligro de erosión hídrica acelerada, aumenta de oeste a este en la provincia.

Las sierras occidentales de la Serranía de Ronda y su entorno, a pesar de sus elevadas pendientes, no presentan la mayor tasa de erosión, dado que están formadas rocas poco erosionables, así como por la limitación de la escorrentía superficial en terrenos kársticos (calizas, dolomías y mármoles). La mayor abundancia de cobertera vegetal en los escarpados relieves formados por rocas ígneas (Sierra Bermeja, Sierra Palmitera y Sierra Alpujata), y por rocas metapelíticas alrededor de ellas o al sur de las mismas, proporciona también un incremento de la protección frente a la erosión en el sector occidental.

Elevado valor de erosión en La Axarquía (Cómpeta)

El carácter alomado del relieve en la parte media y baja del valle del Guadalhorce conlleva una tasa relativamente baja de movilización de suelos. En la parte alta, sin embargo, y conforme aumenta la pendiente, el carácter blando de la litología y la desprotección vegetal de terrenos cultivados en laderas, aumenta la erosión. Así ocurre en las altiplanicies situadas al norte de la provincia, formadas por terrenos blandos (arcillas triásicas y sedimentos neógeno-cuaternarios), allí donde se producen elevaciones locales de la pendiente. En el contacto del altiplano con los relieves adyacentes la capacidad erosiva del agua de escorrentía se enfrenta a materiales más erosionables, alterados por el uso agrícola y con escasa protección por parte de la vegetación. Las consecuencias finales de la erosión, no obstante, quedan paliadas porque los suelos son potentes y están bien desarrollados en estos sectores.

Los valores más altos de erosión se localizan en las áreas desarrolladas sobre litología metapelítica: pizarras de los Montes de Málaga y esquistos de la Axarquía. A ello contribuyen la elevada pendiente y el uso agrícola del suelo para cultivo, con escasa protección frente a la capacidad erosiva de la lluvia. En esta zona, la gravedad del proceso se acentúa ya que a la alta peligrosidad de erosión se une la escasa tolerancia del suelo a la misma, dado su reducido espesor.

En lo que respecta a la vulnerabilidad del medio humano frente al riesgo de erosión hídrica, el carácter diferido, en el tiempo y en el espacio, de las consecuencias de la erosión, hace difícil la evaluación de las repercusiones directas sobre la actividad humana. Aspectos como la pérdida de productividad del suelo adquieren baja resonancia en áreas diversificadas económicamente, como la provincia de Málaga. La incorporación de los sólidos movilizados al caudal de inundación tiene una trascendencia más inmediata.

Deslizamientos y desprendimientos

Los procesos gravitacionales están condicionados por factores de tipo natural, como la pendiente, la presencia de discontinuidades tectónicas o estratigráficas, el ángulo de reposo de la litología o el grado de humedad de la misma. Los factores detonantes de la movilización pueden ser igualmente de tipo natural (lluvia, otros factores climáticos, movimientos sísmicos) o causados por la acción humana (desmontes, descalces). En la mayor parte de los casos el agua actúa como factor activador de la inestabilización. La distribución del riesgo de movimientos gravitacionales en la provincia presenta una clara relación con la pendiente. Junto a este factor, la susceptibilidad a los deslizamientos y solifluxión precisa la concurrencia de litologías blandas (margas) o de muy elevada plasticidad y expansividad, y escasa resistencia a la cizalladura (arcillas).

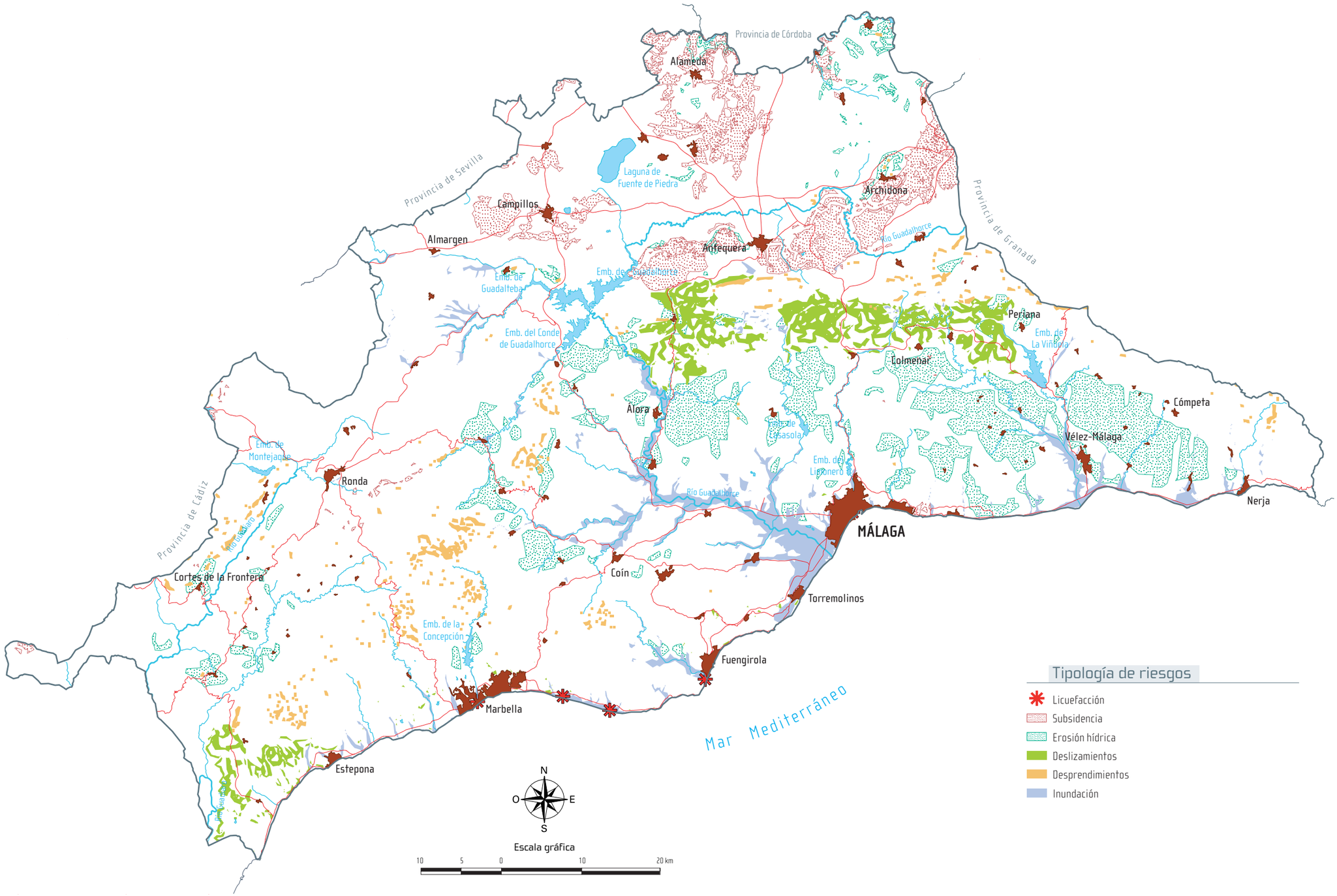
Deslizamiento en Casarabonela

El peligro de deslizamiento se hace presente en los afloramientos de margas del Plioceno que hay en toda la franja costera de la provincia. Hay numerosos ejemplos de deslizamientos en esta zona, como los que han afectado a edificaciones en Manilva y Torremolinos. Análogamente, en las arcillas del Flysch del Campo de Gibraltar, que afloran en los municipios de Estepona, Alozaina y Pizarra y en todo el corredor Villanueva de la Concepción-Colmenar-Periana, existe una elevada peligrosidad. Procesos se asocian a las arcillas triásicas existentes al sur de Antequera.

El peligro de desprendimientos se acrecienta en los relieves más abruptos, tanto de las sierras occidentales como orientales, formados por rocas de mayor dureza y alta fisuración. Niveles elevados de peligro de desprendimiento se localizan en las sierras formadas por peridotitas (Bermeja, Palmitera y Alpujata), como se puede constatar en la carretera de San Pedro de Alcántara a Ronda y, en general, en los relieves carbonatados (Serranía de Ronda, Sierra Blanca y Sierras de Tejeda y Almijara) siempre que haya escarpes o taludes subverticales.

Las consecuencias de deslizamientos y coladas de solifluxión sobre la actividad humana se relacionan, fundamentalmente, con la alteración de infraestructuras viarias y la deformación de edificaciones. En el caso del riesgo de desprendimientos, la rapidez con la que suelen producirse estos procesos acrecienta la posibilidad de impacto directo sobre la vida humana que pueda haber en las proximidades. La exposición y vulnerabilidad de la población frente a los riesgos asociados a procesos gravitacionales ha aumentado en la provincia como consecuencia de la extensión de la construcción en pendientes elevadas y la densificación de las infraestructuras viarias.

Mapa de riesgos ambientales en la provincia de Málaga



Subsidencias

El peligro de subsidencia del terreno puede estar asociado a la presencia de litologías solubles, como es el caso de las rocas evaporíticas (yesos y halita) y, en menor medida las rocas carbonatadas (calizas, dolomías y mármoles), en las cuales se originan cavidades kársticas. En estas formaciones rocosas, la intervención del flujo hídrico subterráneo, a veces, altera las condiciones de estabilidad e induce el colapso o hundimiento de las rocas existentes en superficie.

En la provincia de Málaga el peligro de subsidencias kársticas existe en todo el afloramiento de arcillas con evaporitas que hay al norte de la provincia, desde Campillos hasta Archidona. Sin embargo, la exposición de personas y bienes materiales no es muy elevada en esta zona por lo que el riesgo asociado a las subsidencias, en general, podría considerarse como bajo. En afloramientos kársticos de naturaleza carbonatada, el peligro de subsidencia es menor; aunque en alguna zona concreta, como el Rincón de la Victoria, donde las calizas se encuentran en contacto con el agua del mar y han sido objeto de una mayor karstificación, el peligro se incrementa. Al coincidir este proceso con un área de ocupación residencial, el riesgo se hace mayor.

La subsidencia puede darse también en formaciones detríticas que constituyen acuíferos confinados y son explotados mediante bombeos. En toda la zona costera de la provincia, entre Marbella y Vélez-Málaga, existen acuíferos confinados en el interior de los materiales del Plioceno o a la base de éstos. Debajo de la ciudad de Málaga, entre el Guadalmedina y el Guadalhorce, y de Fuengirola se encuentran los acuíferos de este tipo más importantes que pueden experimentar este tipo de riesgo. El aprovechamiento de los mismos debe hacerse de manera planificada y ordenada, para evitar el riesgo de hundimiento.

Arenas de duna en Cabo Pino (Marbella)

Licuefacción y resurgencias de manantiales

La licuefacción es otro peligro inherente a formaciones detríticas no consolidadas que contienen agua en su interior. Ante un movimiento sísmico o cualquier otro tipo de vibración, se produce la pérdida de cohesión de los granos y el terreno se comporta como un fluido. Este peligro es más elevado en los depósitos fluviales recientes de todos los ríos de la provincia y en las arenas de duna que hay entre Cabo Pino y Marbella.

Existen también situaciones de peligro motivadas por la resurgencia de manantiales históricos que han permanecido secos durante un tiempo prolongado. Hay acuíferos que se explotan mediante bombeos y ello provoca el descenso del nivel piezométrico por debajo de la cota de surgencia de los manantiales, con la consiguiente desecación de éstos. La presión urbanística lleva a aprovechar todos los terrenos para construir, incluso en aquellos sitios donde se producía descarga de manera natural, con el consiguiente riesgo en estos puntos para la población y bienes expuestos. Este fue el caso de los problemas surgidos en el entorno de la Sierra de Mijas a finales de 1989.

Interacción de procesos

Los peligros asociados a la acción del agua presentan interacciones en su funcionamiento en el conjunto de la cuenca. Fenómenos como la movilización de sedimento por erosión hídrica o los procesos gravitacionales tienen repercusiones directas en la incorporación de acarreos al caudal de inundación y, viceversa, el proceso de crecida o el de inundación pueden contribuir a la desestabilización gravitacional. El análisis integrado de todos los peligros asociados al agua proporciona una evaluación más correcta de la peligrosidad, al contemplar los posibles efectos sinérgicos de los distintos procesos. También desde el punto de vista de la vulnerabilidad, la percepción, por parte de la población e instituciones, de la concatenación de los distintos procesos de riesgo asociados a la acción del agua puede contribuir a una gestión más coordinada y, por ello, más eficaz, de las medidas preventivas.

Trazado del AVE (Sierra del Valle de Abdalajís)

3.18

El cambio climático y las aguas subterráneas en la provincia de Málaga

3.18

El cambio climático y las aguas subterráneas en la provincia de Málaga

Juan Fornés Azcoiti
José Mª Pernía Llera
Jesús Vías Martínez

Introducción

El clima en un lugar determinado lo conforma el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan durante un largo periodo el estado medio de la atmósfera y su evolución. A la escala de tiempo de la vida humana, el clima en una zona concreta permanece prácticamente constante. Sin embargo, desde la formación del planeta Tierra hace 4.600 millones de años, el clima ha experimentado de forma natural cambios importantes, tanto de origen exógeno o astronómico (debido a fluctuaciones en la actividad solar, a cambios orbitales del planeta o al impacto de cuerpos celestes), como endógeno o geológico (producido por el papel que desempeñan los océanos, las erupciones volcánicas, los movimientos de las placas litosféricas y las oscilaciones naturales de los gases de efecto invernadero, fundamentalmente).

Laguna de Campillos en periodo seco

Desde el siglo pasado, la actividad humana está produciendo un incremento sustancial de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, provocando un aumento de la temperatura global que está acelerando notablemente el proceso de cambio climático. Así lo declaró ya en 1995 el IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), y lo ha vuelto a afirmar en 2007 de un modo "inequívoco", es decir, el aumento de la temperatura de la Tierra se atribuye, con una probabilidad de al menos el 90 %, a la concentración de gases de efecto invernadero debido a la utilización de combustibles fósiles por parte del hombre. Esta alteración del clima global es la que recibe actualmente el nombre de Cambio Climático.

Los principales gases de efecto invernadero que se consideraron en el Protocolo de Kyoto, aprobado el 11 de diciembre de 1997, son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). La concentración atmosférica de estos gases se ha incrementado notablemente desde la época preindustrial (mediados del siglo XVIII) hasta la actualidad. Las concentraciones de estos gases que estima el IPCC en su Cuarto Informe de Evaluación (2007), son las que se muestran en la tabla adjunta:

Concentración de gases de efecto invernadero (según el IPCC, 2007)

	CO_2	CH_4	N_2O
Época preindustrial	280 ppm	715 ppb	270 ppb
Año 2005	379 ppm	1774 ppb	319 ppb

ppm: partes por millón

ppb: partes por billón (se utiliza aquí la notación americana, según la cual 1 billón = 1.000 millones)

Emisiones de CO_2 en el sector Este de Málaga

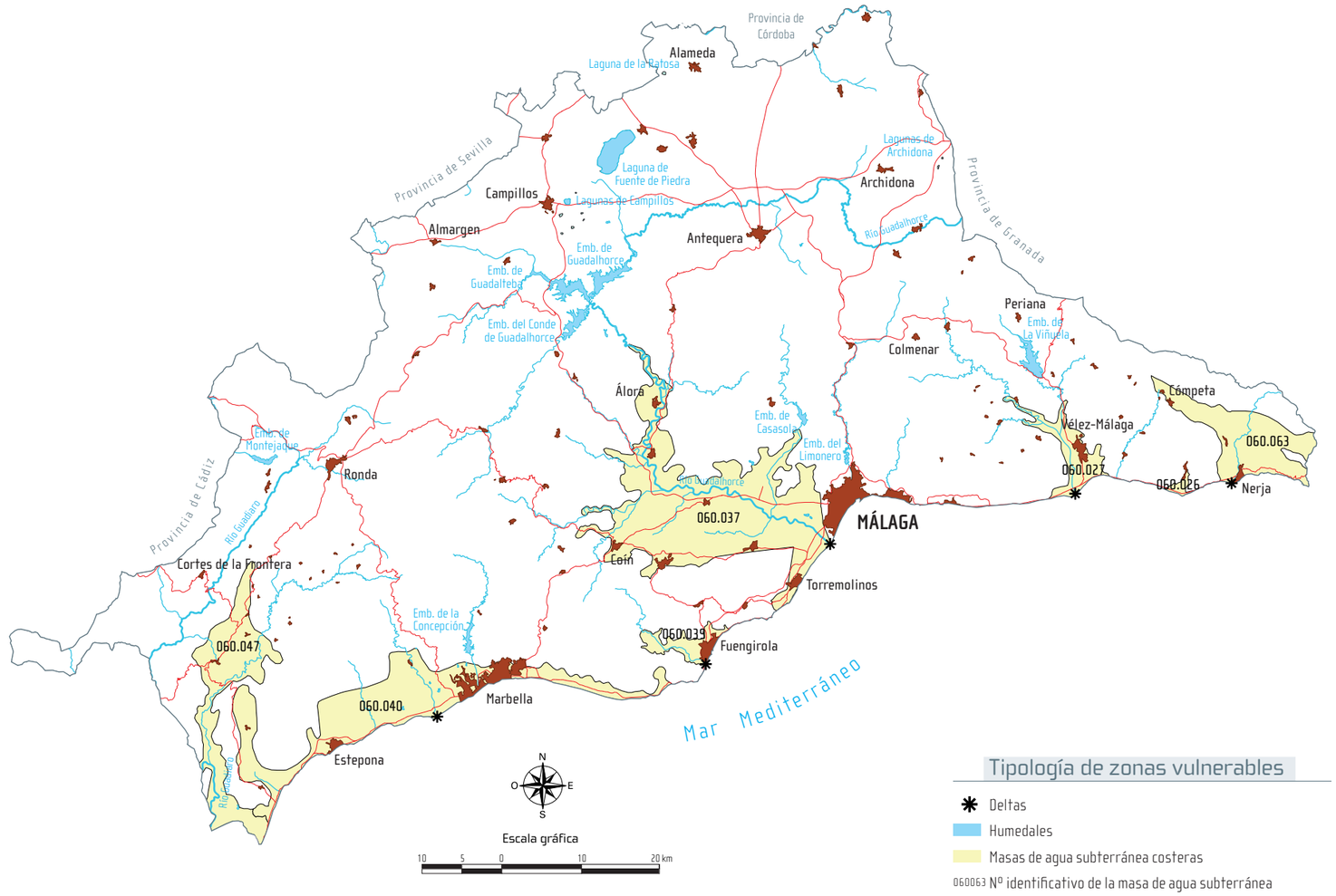
La concentración atmosférica de CO_2 en 2005 excede con mucho el rango natural de los últimos 650.000 años (180-300 ppm), como se ha podido comprobar en muestras de hielo procedentes de la Antártida. Las tres cuartas partes de las emisiones antropogénicas de este gas que se han producido en los últimos 25 años, se deben a la quema de combustibles fósiles, mientras que el resto tiene su origen en los cambios en el uso del suelo, especialmente en la deforestación. Aunque los océanos y los suelos están absorbiendo aproximadamente la mitad de las emisiones antropogénicas de CO_2, las concentraciones de este gas en la atmósfera siguen aumentando a un ritmo de un 0,4 % anual.

Respecto al metano, su concentración atmosférica en 2005 excede también el rango natural de los últimos 650.000 años (320-790 ppb), establecido igualmente en muestras de hielo antártico. Este incremento se debe a la actividad humana, especialmente a la agricultura, a la ganadería, y al uso de combustibles fósiles.

El óxido nitroso ha ido aumentando desde 1980 de modo aproximadamente constante. Más de un tercio de todas las emisiones de N_2O son por causas antrópicas, principalmente debido a la agricultura.

El incremento de los GEI en la atmósfera tendrá repercusiones importantes en la temperatura global del planeta y en el nivel del mar. Así, según el citado Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (2007), para el año 2100, las temperaturas medias globales podrían aumentar entre 1,8 ºC y 4 ºC, aunque también sería posible una horquilla más amplia de 1,1 ºC a 6,4 ºC. Respecto al nivel del mar, se prevé un incremento medio general de 0,28 a 0,43 m.

Mapa de las zonas más vulnerables a los efectos del cambio climático en la provincia de Málaga



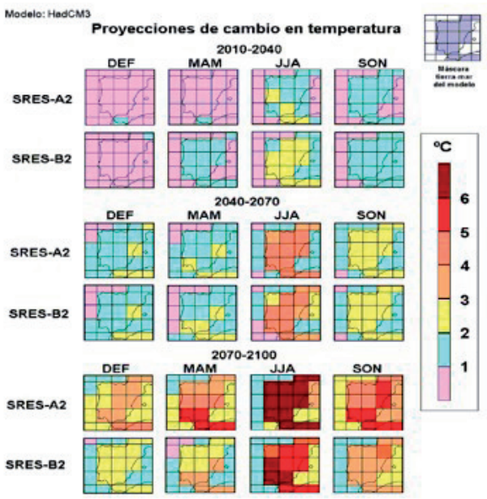
3.

¿Cómo puede afectar el cambio climático a los recursos hídricos subterráneos de la provincia de Málaga?

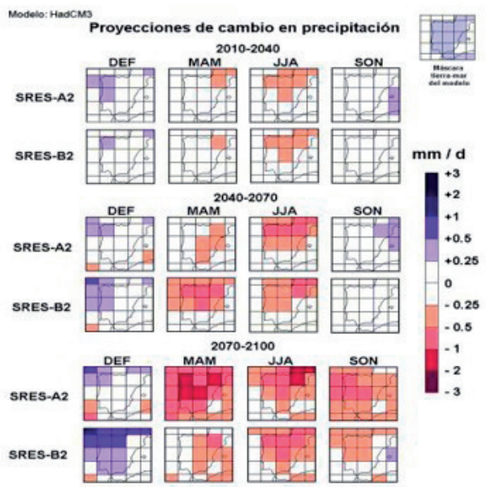
Según el Proyecto ECCE (Efectos del Cambio Climático en España, 2005), financiado y promovido por la Oficina Española de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente, el sureste peninsular y la España insular son las áreas donde el impacto sobre los recursos hídricos se manifestará más severamente. En este Proyecto se han utilizado para España, los escenarios del IPCC denominados A2 y B2, en los que la concentración global de CO_2 para el año 2100, se estima en 850 ppm y 760 ppm, respectivamente. Las predicciones se han realizado tanto para las temperaturas como para las precipitaciones. Así, las temperaturas en el interior peninsular aumentarán entre 5 ºC y 7 ºC en verano, y entre 3 ºC y 4 ºC en invierno, si consideramos el primer escenario A2 (850 ppm de CO_2). En el escenario B2 (760 ppm de CO_2), la distribución del calentamiento mostraría la misma tendencia a la del escenario A2, pero aproximadamente 1 ºC menos intenso.

En la mayor parte de la Península, el ritmo de aumento de las temperaturas medias es de 2 ºC a 3 ºC cada 30 años en los meses de verano, y de 1 ºC a 2 ºC en los de invierno, correspondiendo los mayores valores al escenario A2. Hay que tener en cuenta que, según el mencionado Proyecto ECCE, España se ha calentado 1,5 ºC en los últimos 100 años.

Estación meteorólogica para el registro de variables climáticas (horas de sol, precipitación, temperaturas, evaporación y toma de muestras de agua de lluvia) en Fuente de Piedra



Proyecciones de cambio de temperatura del aire junto al suelo (a 2m) promediada para cada estación del año, correspondientes a tres periodos del siglo XXI y a dos escenarios de emisiones (A2 y B2). En la parte superior derecha se muestra la malla del modelo sobre la Península Ibérica, donde las cuadrículas sombreadas corresponden en el modelo a superficie continental y las blancas a océano



Proyecciones de cambio de precipitación media (en mm/día), promediadas para cada estación del año, correspondientes a tres periodos del siglo XXI y a dos escenarios de emisiones (A2 y B2). En la parte superior derecha se muestra la malla del modelo sobre la Península Ibérica, donde las cuadrículas sombreadas corresponden en el modelo a superficie continental y las blancas a océano

En cuanto a las precipitaciones, la incertidumbre es mayor que para el caso de las temperaturas, ya que están ligadas a procesos físicos que resultan más difíciles de simular correctamente por los modelos. Además, la precipitación no presenta generalmente tanta linealidad en la tendencia como en el caso de las temperaturas. Por lo general, parece que las precipitaciones disminuirán en primavera y especialmente en verano en todo el territorio nacional, mientras que en el invierno aumentarán ligeramente en el noroeste peninsular.

El Instituto Nacional de Meteorología (INM), ha elaborado en 2007 una serie de escenarios regionalizados de cambio climático en los que, utilizando diferentes modelos globales y distintas técnicas de regionalización estadísticas, estima que para el periodo 2071- 2100, habrá una reducción de la precipitación en la mitad sur de la Península Ibérica de hasta el 40 % respecto al periodo 1961 – 1990, considerando el escenario A2 del IPCC. Respecto a las temperaturas y para el mismo escenario A2 y periodo 2071 – 2100, el INM muestra un aumento promedio de las temperaturas máximas anuales entre 4 ºC y 8 ºC en las regiones interiores de la Península Ibérica, siendo más atemperado en las zonas próximas al litoral.

Estación de aforos para el registro del caudal en el Río Guadalhorce (Estación de Cártama)

Laguna de Fuente de Piedra en periodo seco

Las afecciones más probables del cambio climático a las aguas subterráneas de la provincia de Málaga serían las siguientes:

- Se producirá una disminución de los recursos hídricos subterráneos, puesto que, según las previsiones más probables, las precipitaciones anuales disminuirán ligeramente y las temperaturas aumentarán. Por tanto, habrá modificaciones a la baja en el valor de la recarga natural de los acuíferos, y en consecuencia en las aportaciones.

- La mayor irregularidad temporal de las precipitaciones, repercutirá negativamente en el régimen de las crecidas y en la regulación de los ríos. Este hecho tendrá mayores consecuencias en los acuíferos aluviales deltaicos (Río Vélez, Río Guadalhorce y Río Fuengirola).

- Podría acentuarse la tendencia a un empeoramiento de la calidad química de las aguas subterráneas, como consecuencia del descenso de los niveles piezométricos.

- En los acuíferos costeros, la situación natural de la interfaz agua dulce-agua salada, podría verse alterada, al modificarse el régimen de flujo hídrico subterráneo, como consecuencia del descenso de los niveles piezométricos, y por el previsible aumento de 0,10 a 0,68 m del nivel del mar. La interfaz se desplazaría hacia el interior del continente, salinizando parte del acuífero que actualmente contiene agua dulce. Las principales masas de agua subterránea que se verían afectadas serían las de Río Vélez, Bajo Guadalhorce, Río Fuengirola y Marbella-Estepona.

- Las playas se verán afectadas también por el aumento del nivel del mar, produciéndose un retroceso que dependerá de la pendiente de las mismas. Hay que tener en cuenta que más del 80 % de la población de la provincia de Málaga, está asentada en una franja de 1 km de ancho desde la costa. Por tanto, podría haber problemas en algunos núcleos de población.

- Los humedales que dependen de las aguas subterráneas, pueden ver afectado su funcionamiento hidrológico al variar los términos del balance hídrico: menos entradas de agua y más salidas. En la provincia de Málaga existen importantes humedales protegidos, destacando la Laguna de Fuente de Piedra, la Laguna de la Ratosa, las Lagunas de Campillos, y las Lagunas de Archidona. En todas ellas, dada su dependencia del agua subterránea, será preciso hacer un seguimiento exhaustivo de los parámetros que conforman el balance hídrico.

- En las poblaciones costeras y principalmente en Málaga, podrían generarse problemas en determinadas edificaciones y obras públicas, ya que la elevación del nivel del mar produciría un aumento del nivel del agua subterránea, que podría inundar aparcamientos subterráneos, obras en construcción como el Metro de Málaga, etc.

Línea de costa en la ciudad de Málaga

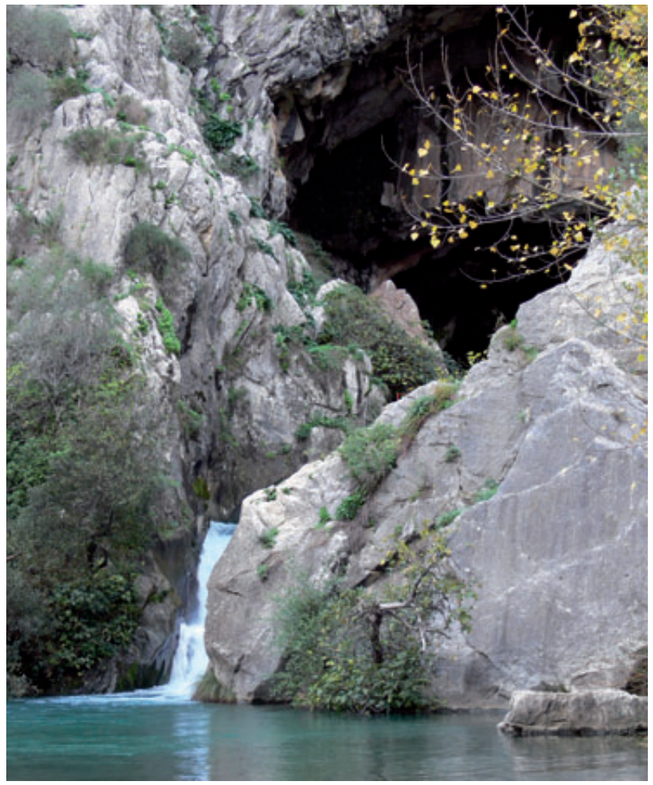
Acuífero y delta del Río Vélez

3.

Ejemplo de la influencia del cambio climático en los recursos hídricos subterráneos de dos acuíferos carbonáticos de la provincia de Málaga (Sierra de Líbar y Sierras Blanca-Mijas)

Considerando el escenario A2 del IPCC, para el periodo 2071- 2100 habrá una reducción de la precipitación en la mitad sur de la Península Ibérica de hasta el 40 %, respecto al periodo 1961 – 1990. Según este modelo de pluviometría se ha elaborado una simulación de las consecuencias del cambio climático en la recarga anual de dos acuíferos carbonáticos, Sierra de Líbar y Sierra de Mijas. Estos son dos acuíferos que recogen gran parte de la diversidad de situaciones que se pueden encontrar en la provincia de Málaga, tanto desde un punto de vista hidrogeológico (un acuífero kárstico y otro fisurado, respectivamente), como socioeconómico dado que la explotación que se realiza de los recursos de la Sierra Mijas es muy elevado, en comparación con la Sierra de Líbar. En la Sierra de Mijas hay 130.493 habitantes que dependen en mayor o menor medida de los recursos hídricos del acuífero, mientras que en la sierra de Líbar la dependencia de los recursos hídricos es muy inferior, solo se abastecen 5.711 habitantes. Por tanto, las consecuencias de fuertes variaciones en los recursos hídricos subterráneos de estos acuíferos son muy dispares, siendo especialmente preocupante en el sector de la sierra Mijas, donde la actividad turística depende en varios municipios de los recursos hídricos subterráneos.

El municipio de Cortes de la Frontera es el principal núcleo que se abastece totalmente de las aguas subterráneas de la Sierra de Líbar



La Cueva del Gato es el principal punto de descarga de la Sierra de Líbar; posiblemente, su caudal se vería notablemente afectado

Para estimar la recarga de ambos acuíferos se ha utilizado el método APLIS que permite obtener el porcentaje de agua de lluvia que se infiltra en función de las características intrínsecas del acuífero. Con este método se puede analizar la recarga del acuífero para cualquier modelo pluviométrico como los utilizados por el IPCC.

En los mapas siguientes se puede observar la influencia de los modelos pluviométricos de los dos periodos analizados por el IPCC en la recarga de los acuíferos de la Sierra de Líbar y la Sierra de Mijas.

La recarga por infiltración del agua de lluvia en la Sierra de Líbar, para el periodo 1960-1990, varía entre 100 y 1350 mm, mientras que para el periodo 2070-2100 varía entre 50 y 550 mm, es decir, se produciría una reducción de los recursos del acuífero de 69 hm³/año a 28 hm³/año. En el caso de Sierra de Mijas, la recarga varía entre 100 y 350 mm para el periodo actual y entre 0 y 150 mm para el periodo futuro, lo que supone una variación de los recursos del acuífero de 22 hm³/año en la actualidad, a 9 hm³/año a finales del siglo XXI. En ambos casos el porcentaje de variación de los recursos es de un 40 %, pero la incidencia que podría tener para las poblaciones dependientes de los recursos es muy desigual, puesto que en Sierra de Mijas el volumen de población dependiente es casi tres veces la población de la Sierra de Líbar.

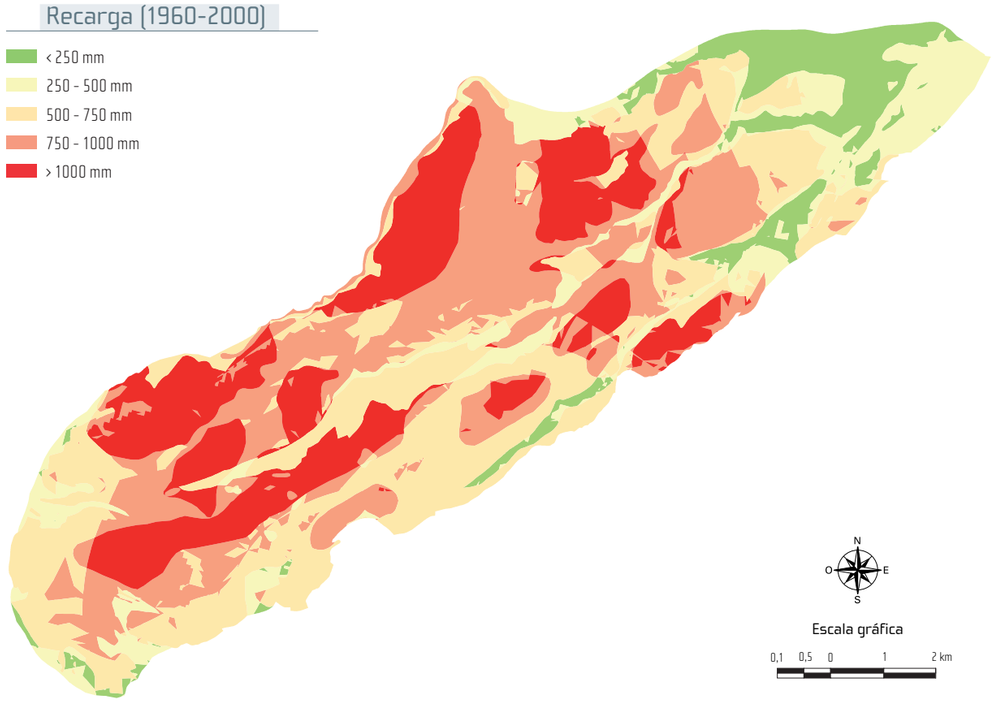
En Sierra de Líbar los recursos del acuífero no están siendo explotados en su totalidad para abastecimiento de la población o para otros usos. Aproximadamente un 5 % de los recursos de este acuífero están siendo utilizados y en el peor de los casos, es decir, que se cumplieran las previsiones de la IPCC y que el crecimiento de la población en la sierra de Líbar fuera elevado, aun así se explotaría menos de una quinta parte de los recursos del acuífero.

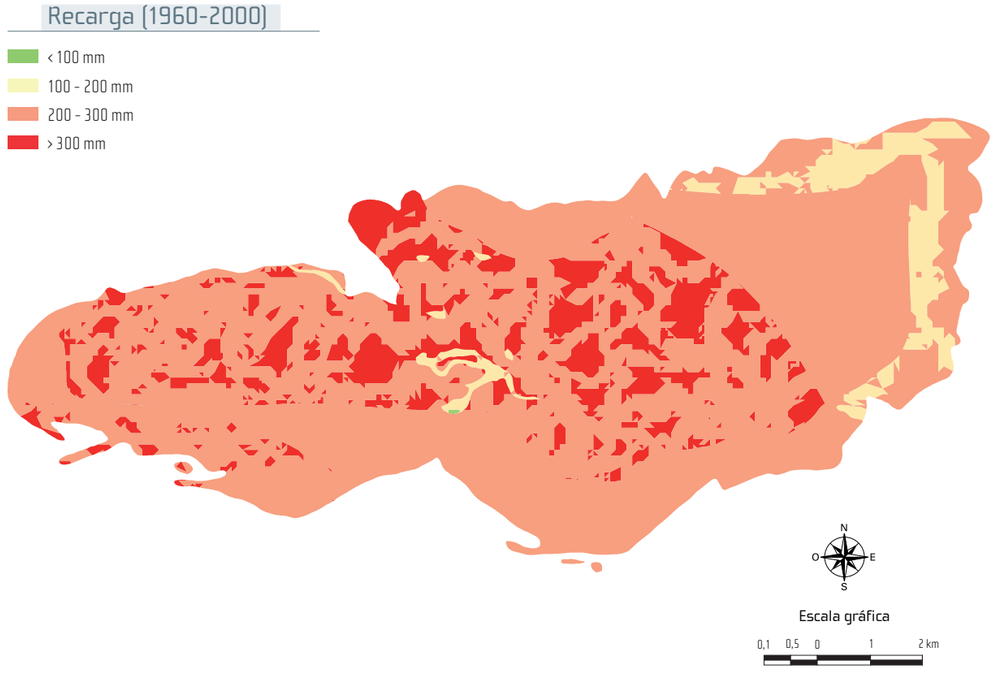
En cambio en la Sierra de Mijas el panorama es muy diferente. De este acuífero se explota más agua de la que entra por infiltración de agua de lluvia, es decir, se está haciendo uso de las reservas del acuífero en la actualidad. Además si se tiene en cuenta que esta zona presenta un fuerte dinamismo socio-económico y que es una pieza clave en la economía de la provincia, por lo que se prevé que siga aumentando la población en esta zona, los recursos del acuífero serán del todo insuficientes para cubrir las necesidades de la población en el horizonte que se augura con el cambio climático. Incluso en el caso de que no se produjera un aumento de la población dependiente de los recursos del acuífero, la reducción de la recarga del acuífero, influida por el cambio climático, haría que las actuales necesidades no fueran cubiertas.

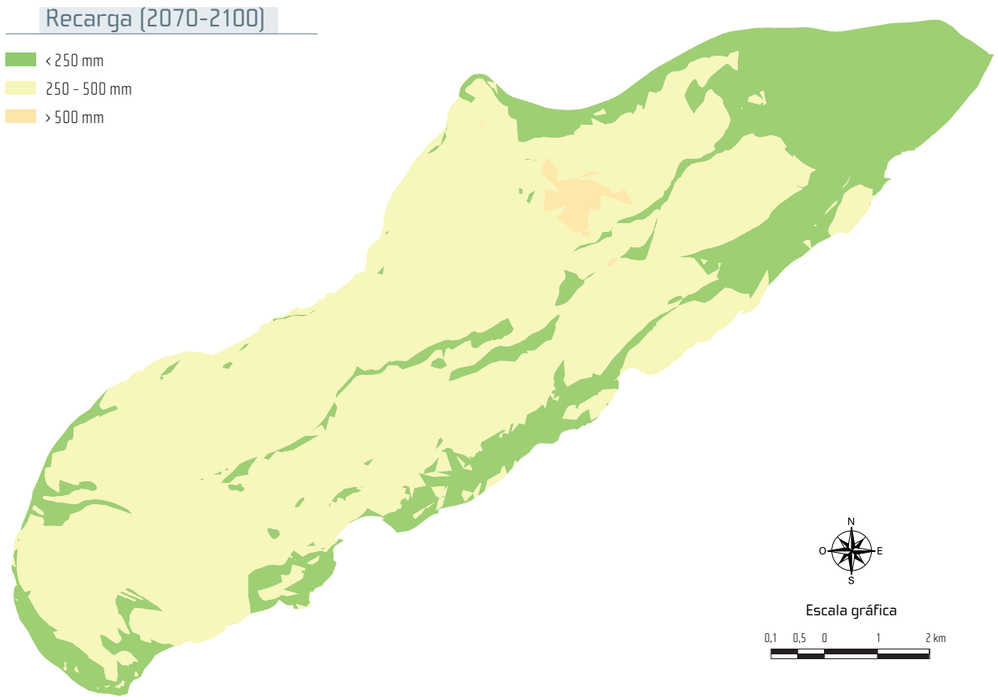
En el caso de la Sierra de Mijas, el abastecimiento de la población necesita ser reestructurado de manera urgente puesto que se muestra insostenible de cara a las disponibilidades futuras de recursos hídricos subterráneos.

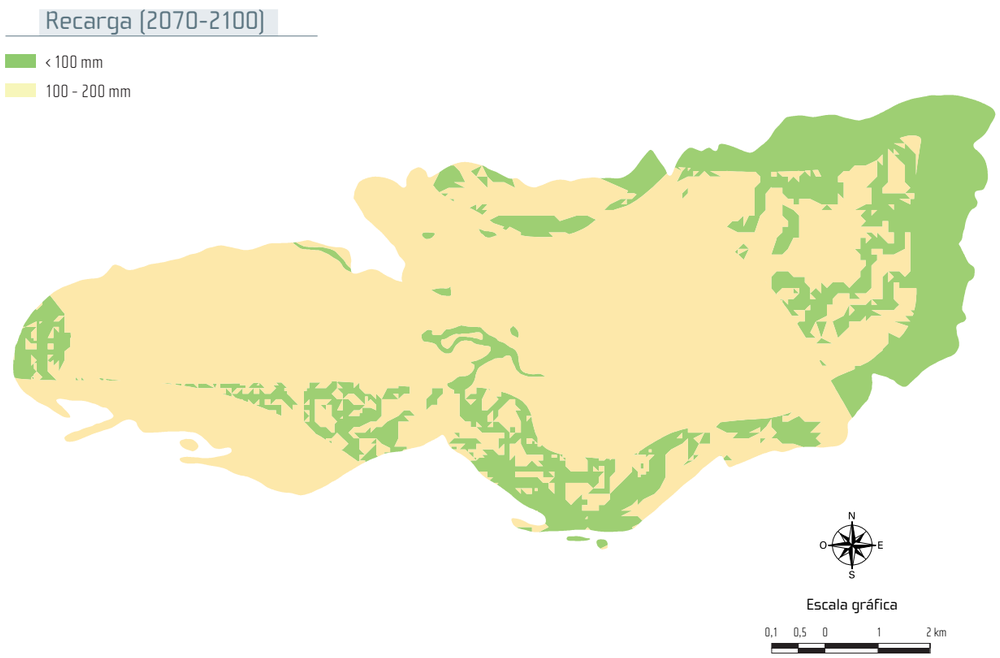
Torremolinos, enclave turístico de primer orden, se abastece de las aguas subterráneas de la Sierra de Mijas

Mapas de recarga actual y futura de la sierra de Líbar (izquierda) y de la sierra de Mijas (derecha) calculados a partir del método APLIS







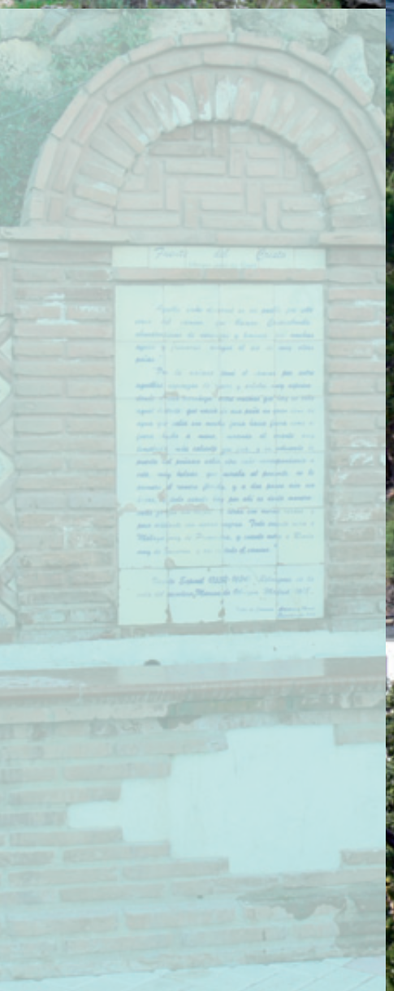


Tercera Parte

Turismo, energía y educación ambiental

3.19

Aguas minerales naturales en la provincia de Málaga



3.19

Aguas minerales naturales en la provincia de Málaga

Mª del Mar Corral Lledó

El Real Decreto 1074/2002 de 18 de octubre y su modificación el R.D. 1744/2003 de 19 de diciembre, por el que se regula el proceso para la elaboración, circulación y comercio de aguas de bebida envasadas, define las aguas minerales naturales como: "aquellas bacteriológicamente sanas que tengan su origen en un estrato o yacimiento subterráneo y que brotan de un manantial en uno o varios puntos de alumbramiento, naturales o perforados".

Este tipo de agua, se distinguen de las restantes aguas potables por su naturaleza (caracterizada por su contenido en minerales, oligoelementos y otros componentes y, en ocasiones, por determinados efectos) y por su pureza original, debiendo cumplir además una serie de características especificadas.

El agua mineral natural de reconocido prestigio no sólo en España sino también en el resto de Europa, está experimentando una gran expansión en su comercialización especialmente en las últimas décadas, provocada por los cambios en los hábitos alimentarios originados por la tendencia actual al consumo de productos naturales.

En Málaga hay actualmente tres plantas de aguas de bebida envasadas mineral natural, y además se está procediendo a la declaración de diversos manantiales con el fin de la puesta en funcionamiento de otros proyectos, lo que demuestra el enorme potencial que tiene esta provincia.

Las plantas de "Aguavida" y "Sierra Bonela" se encuentran en el término municipal de Casarabonela, a 45 km de Málaga, 54 Km de Ronda y a 54 Km de Marbella. El municipio tiene una altitud de 494 m. sobre el nivel del mar y se encuentra en el extremo occidental de la Hoya de Málaga sobre la cabecera de los valles del Arroyo de Casarabonela y de las Cañas. La tercera planta " Agua de Mijas" se encuentra en el término municipal de Mijas, a 30 Km de la capital, siendo uno de los términos más extensos de la provincia de Málaga con 149 Km^2.

Detalle de la karstificación en el entorno de la planta de envasado de Agua de Mijas

Aguavida

La planta de envasado "Aguavida", toma sus aguas de la captación denominada "Fuentemina", declarada en 1970, y cuyas coordenadas U.T.M.son:
X: 342516
Y: 4051265

El agua de Aguavida, presenta una facies hidroquímica fuertemente bicarbonatada magnésica, con una mineralización débil ya que el residuo seco es de 288 mg/L, rasgo poco frecuente en las aguas minerales españolas. Además, se caracteriza por su pH alcalino (8,8). El tipo de agua es mineral natural sin gas.

Respecto a la concentración de elementos químicos cabe destacar el bajo contenido en especies nitrogenadas y de sodio, así como la ausencia de fluor.

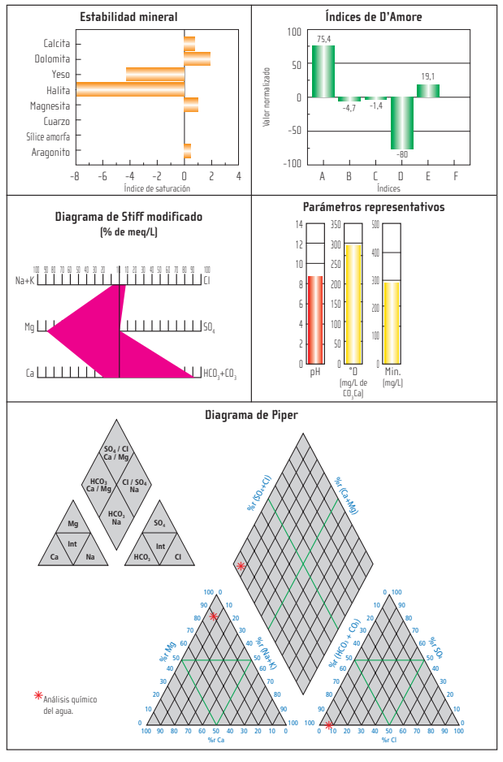
Análisis físico-químicos del agua envasada Aguavida

Resultados Analíticos									
Fecha (año)	Temperatura (º C)	pH	Conductividad (µS/cm)	Residuo seco (mg/L)	Dureza (mg/L de $CaCO_2$)	(Resto de parámetros en mg/L)			
1998		8,8	450	288	293,3				
CO_3H^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SiO_2	F^-	CO_2	SH_2
283	30	1,2	14,1	3,8	0				
Na^+	k^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Fe total	Mn total	Li^+	Sr^{2+}	NH_4^+	P_2O_5
7,2		12	63,2					0	
Relaciones iónicas									
Mg/Ca	K/Na	Na/Ca	Na(Ca+Mg)	C/HCO_3	SO_4/Cl	Ca/Cl	Mg/Cl	(Ca+Mg)/Cl	(Na+K)/Cl
8,68		0,52	0,05	0,09	0,06	1,51	13,07	14,58	0,79

Fuente: IGME, 2001

Vista de la planta de envasado de Aguavida

Diagramas hidroquímicos del agua envasada Aguavida



Fuente: IGME, 2001

Sierra Bonela

Sierra Bonela, está situada al igual que la anterior en el municipio de Casarabonela, sus aguas fueron declaradas en 1970 siendo sus coordenadas U.T.M.:
X: 335675
Y: 4073025

Actualmente, la planta toma sus aguas de tres captaciones, envasando con la denominación de mineral natural sin gas.

El agua que se capta en Sierra Bonela presenta una facies hidroquímica dominante bicarbonatada cálcico-magnésica, de mineralización media puesto que el contenido en residuo seco es de 536 mg/L.

El pH se encuentra por encima de la neutralidad (7,7) considerándose como ligeramente básicas. Se trata de aguas muy duras y frías, con un bajo contenido en sodio y ausencia de fluor.

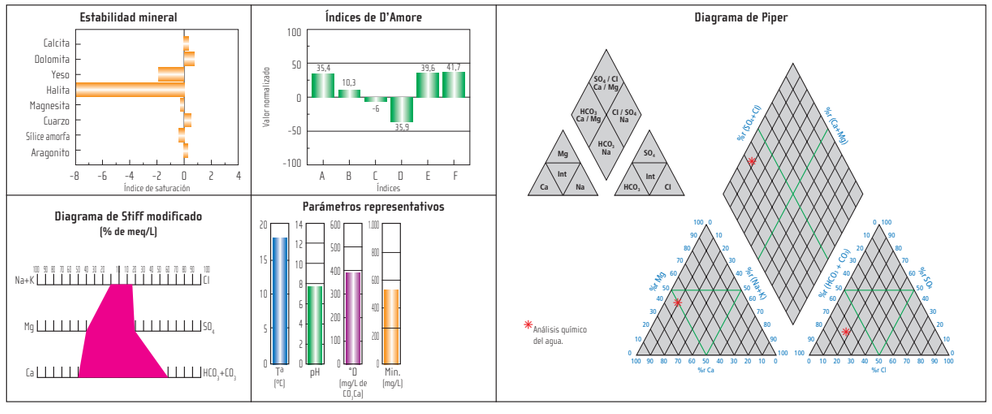
Análisis físico-químicos del agua envasada Sierra Bonela

Resultados Analíticos									
Fecha (año)	Temperatura (º C)	pH	Conductividad (µS/cm)	Residuo seco (mg/L)	Dureza (mg/L de $CaCO_2$)	(Resto de parámetros en mg/L)			
1990	17,5	7,7	616	536	384,2				
CO_3H^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SiO_2	F^-	CO_2	SH_2
253	0	65	36	85	0,01	21,2	0		
Na^+	k^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Fe total	Mn total	Li^+	Sr^{2+}	NH_4^+	P_2O_5
13	3	82	43	0	0	0		0,02	
Relaciones iónicas									
Mg/Ca	K/Na	Na/Ca	Na(Ca+Mg)	C/HCO_3	SO_4/Cl	Ca/Cl	Mg/Cl	(Ca+Mg)/Cl	(Na+K)/Cl
0,86		0,14	0,07	0,24	1,33	4,03	3,48	7,51	0,63

Fuente: IGME, 2001

Diagramas hidroquímicos del agua envasada Sierra Bonela

Fuente: IGME, 2001



Aguas de Mijas

La planta de envasado "Aguas de Mijas", ubicada en el municipio del mismo nombre, toma sus aguas de la captación denominada "La Ermitíca", que fue declarada en 1994, y cuyas coordenadas U.T.M.son:

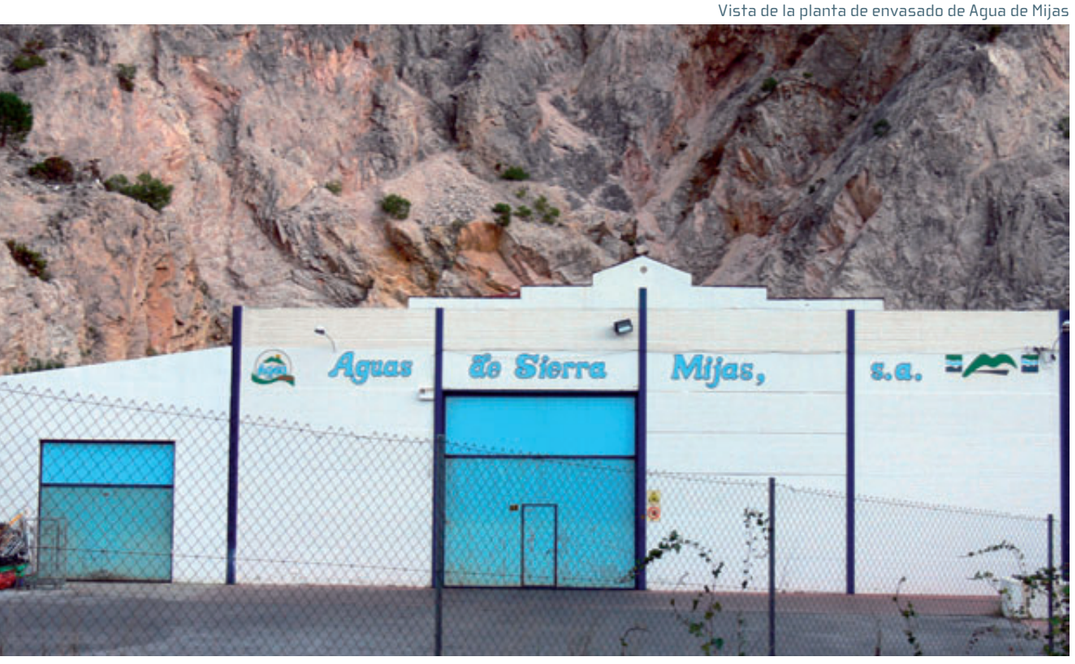
X: 355350

Y: 4052400

El Agua de Mijas se caracteriza por tener una facies hiodroquímica dominante bicarbonatada cálcico-magnésica, siendo su mineralización media ya que el contenido en residuo seco es de 505,9 mg/L.

El pH se encuentra próximo a la neutralidad (7,6) considerándose como ligeramente básicas. Se trata de aguas frías, en las que habría que resaltar el bajo contenido de sodio y especies nitrogenadas (1,6 mg/L) en forma de nitratos. Como característica común con las anteriores aguas envasadas de la provincia, presentan un contenido bajo en sodio y ausencia de fluor.

Vista de la planta de envasado de Agua de Mijas

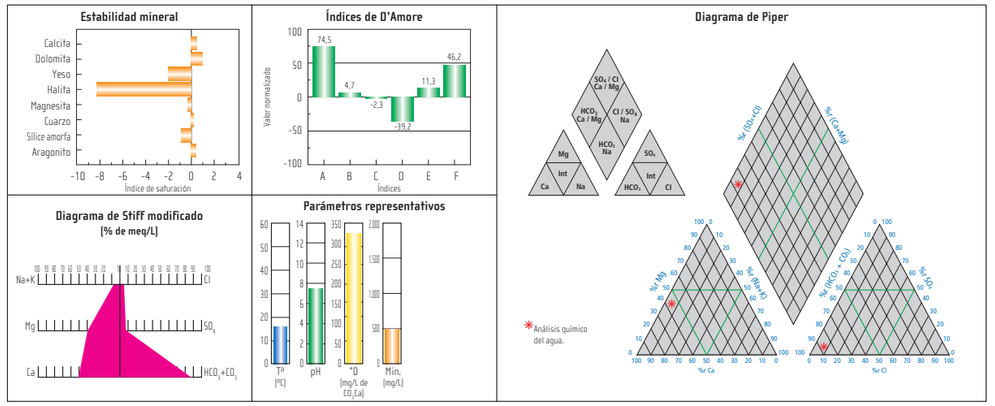


Análisis físico-químicos del agua envasada Sierra de Mijas

Resultados Analíticos									
Fecha (año)	Temperatura (º C)	pH	Conductividad (µS/cm)	Residuo seco (mg/L)	Dureza (mg/L de $CaCO_2$)	(Resto de parámetros en mg/L)			
1991	16,8	7,6	553	505,9	328,3				
CO_2H^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SiO_2	F^-	CO_2	SH_2
338,2	0	29,2	15,9	1,6	0	5,5	0		
Na^+	k^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Fe total	Mn total	Li^+	Sr^{2+}	NH_4^+	P_2O_5
7,1	1,4	70,5	36,5						
Relaciones iónicas									
Mg/Ca	K/Na	Na/Ca	Na(Ca+Mg)	C/HCO_3	SO_4/Cl	Ca/Cl	Mg/Cl	(Ca+Mg)/Cl	(Na+K)/Cl
0,85	0,12	0,09	0,05	0,08	1,36	7,84	6,69	14,54	0,77

Fuente: IGME, 2001

Diagramas hidroquímicos del agua envasada Sierra de Mijas



Fuente: IGME, 2001

3.20

Aguas minero-medicinales y balnearios en la provincia de Málaga

3.20

Aguas minero-medicinales y balnearios en la provincia de Málaga

Mª del Mar Corral Lledó

Las aguas minero-medicinales se caracterizan por tener una composición físico-química que las confieren unas determinadas propiedades, que en ciertos casos pueden considerarse curativas o con efectos beneficiosos para el organismo humano. Si bien, en épocas remotas este hecho constituía una convicción ancestral sin ningún fundamento, con el paso del tiempo y el avance experimentado por la ciencia en diversos campos, tales como: la hidrogeología, la hidroquímica y la medicina, entre otros, ha originado que tengan una base científica y, en consecuencia, el resurgimiento de uno de los medios terapéuticos de mayor tradición a través de los tiempos: los balnearios.

La provincia de Málaga posee una gran riqueza en lo que respecta a las aguas minero-medicinales, con un elevado número de manantiales, cuyas aguas presentan composiciones muy peculiares y diversas, que van desde las facies bicarbonatadas hasta las sulfatadas, pasando por las cloruradas y ferruginosas. La utilización de algunos de ellos se remonta hasta la época de los romanos, grandes conocedores de las propiedades curativas de sus aguas, como demuestran diferentes vestigios hallados en las inmediaciones de algunas de estas surgencias. Tampoco pasaron desapercibidos para los árabes, quienes creían fielmente en los poderes medicinales de estas aguas, potenciando por ello su uso.

Baños de la Hedionda (Casares), antiguo balneario de origen romano y remodelación árabe de aguas ricas en azufre

En el libro "Las Aguas Minerales en España", publicado por el IGME en el 2001, se recogen los principales manantiales de la provincia, la mayor parte declarados de utilidad pública en la segunda mitad del siglo XIX, cuando vuelven a resurgir tras el decaimiento sufrido, durante el cual desaparecieron o fueron abandonados muchos baños árabes.

A finales del siglo XX se inicia un nuevo auge, motivado por lo que hoy en día denominamos turismo de salud. Esta combinación del binomio salud y turismo, ha dado lugar a un nuevo concepto de balneario en el que se combinan los tratamientos terapéuticos con el ocio y la diversión.

Cabe indicar en este punto que únicamente reciben la denominación de balnearios aquellos establecimientos que utilizan en sus instalaciones aguas declaradas minero-medicinales, cuya regulación legal se recoge en la Ley de Minas (Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas) y en el reglamento que la desarrolla.

A continuación se presenta la relación de las captaciones de aguas minero-medicinales documentadas en la provincia de Málaga y su situación, en los mapas adjuntos, cuando disponen de información espacial concreta; y se detallan seguidamente los dos únicos manantiales en explotación como balnearios: Tolox y Carratraca.

Captaciones de aguas minero-medicinales inactivas en la provincia de Málaga

Coordenadas UTM		Naturaleza*	Término Municipal	Denominación	Fecha de la declaración	Composición
X	Y					
		M	Álora	Aguas del Sultán	1892	SulF
345350	4079100	M	Álora	Fuente Hedionda	1892	BNa
		M	Antequera	Antequera	1892	SulF
		M	Antequera	La Capuchina	1892	BNa
		M	Antequera	Fuente Piedra	1892	SMg
370375	4093900	M	Antequera	Cortijo La Yedra	02/10/1989	BCa
335700	4083675	M	Ardales	Ardales	1892	SNa
396775	4072400	M	Benamocarra	Fuente de la Cruz	1892	BCa
356125	4070700	M	Cártama	El Relumbroso	1892	SCa
299750	4042400	M	Casares	Baños del Duque	1892	BNa
		M	Colmenar	Vilas o Rozas	16/04/1869	SCa
388075	4078600	M	Comares	Fuente Sana	1892	BCa
		M	Estepona	Genalguacil	1892	SulFh
		M	Gaucín	Monte del Duque	30/05/1963	SulF
327825	4053550	M	Istán	El Lebrillo	1892	SulF
306200	4055800	M	Juzcar	Cueva del Agua Buena	1892	SulF
		M	Málaga	Málaga	1892	Fe
		M	Málaga	Membrillares	1892	Fe
366250	4072825	P	Málaga	Puerto Sol de las Sierras	09/02/1972	BCa
368475	4068100	M	Málaga	El Madroño	31/07/1968	BCa
367750	4068200	M	Málaga	Fuente Alegre	12/06/1943	BCa
368975	4065275	S	Málaga	Los Remates	06/11/1954	BCa
		M	Manilva	Manilva	1892	SulF
		M	Mijas	Mijas	1892	Fe
336950	4053450	M	Monda	Fuente Morales	1892	SulF
428225	4067525	M	Nerja	Las Alberquillas Montesol	27/01/1968	BCa
334900	4045725	M	Ojén	Fuente los Sauces o Fuente Santa	31/03/1959	ClNaCa
392700	4090200	M	Periana	Baños de Vilo	1892	SCa
308350	4054100	M	Pujerra	San Ramón	1892	SulF
308050	4072825	M	Ronda	Fuente Herionda o Alcoracín	1892	SNa
327750	4064000	M	Tolox	Gatuz	1892	Fe
398900	4068350	P	Velez-Málaga	Cortijo Caparros	06/10/1975	BCa
396950	4065150	P	Velez-Málaga	Agua del Valle de Niza	04/07/1960	BNa
373700	4097800	M	Villanueva del Rosario	Baños de la Tosquilla	1892	SCa
		M	Viñuelas	Viñuelas	1892	SulF

* M: manantial; S: sondeo; P: pozo; G: galería

Fuente: IGME, 2001

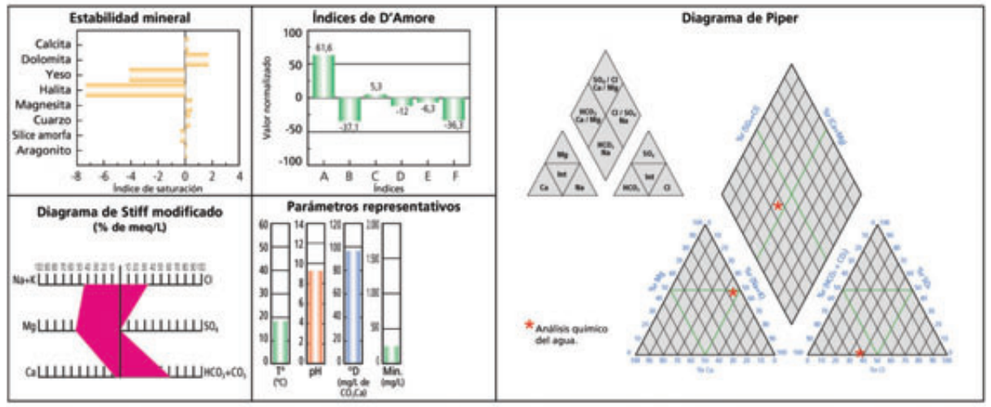
Captaciones de aguas minero-medicinales inactivas escasamente documentadas en la provincia de Málaga

Coordenadas UTM		Naturaleza*	Término Municipal	Denominación	Fecha de la declaración	Composición
X	Y					
401200	4087550	M	Alcaucín	Baños de la Majadas		SCa
345900	4051500	S-M	Alhaurín el Grande	Baños del Puerto		ClNa
336400	4075525	M	Almogía	Cortijo del Sultán		BCa
334450	4066575	M	Alozaina	El Pozuelo		
		M	Antequera	Singilis		BCa
			Archidona	Archidona	1892	
317075	4043600	M	Benahavís	El Cercado		BMg
		M	Benajoán	El Manzanillar		BCa
		M	Benalmádena	El Quejigal		BCa
341375	4039250		Campillos	Rodahuevos		
355650	4068900	M	Cártama	Fuente del Cano		BCa
340775	4059025	M	Coín	Baños de Coín		
		S	Coín	Sondeo Nº560		BCa
		M	El Burgo	El Cañuelo		BCa
		P	Fuengirola	La Pitarilla		BCa
		M	Marbella	Elviria		BCa
		M	Marbella	Fuente de la Santa	1892	
322050	4039250		Marbella	Marqués del Duero		BMg
344500	4048025	M	Mijas	El Quejido		BMg
		S	Mijas	La Ermitica		ClCa
		M	Mollina	Cortijo de Leiva		BCa
395500	4087125	P	Periana	Almanzora		SNaBCa
307674	4070929	G	Ronda	Fuente Dulce		BCa
322675	4058425	M	Tolox	Alcornacalejo		
		M	Valle de Abdalajís	Huerta del Chorro		BCa
		M	Yunquera	Los Zarzalones		BCa

* M: manantial; S: sondeo; P: pozo; G: galería

Fuente: IGME, 2001

Diagramas hidroquímicos del manantial Fuente Amargosa



Fuente: IGME, 2001

Balneario de Tolox

El Balneario de Tolox ubicado en el municipio del mismo nombre, a 55 km al oeste de la ciudad de Málaga, a 42 km de Marbella y a 54 km de Ronda, constituye uno de los balnearios históricos malagueños. Se encuentra en uno de los espacios naturales de la Serranía de Ronda, al pie de las estribaciones de la Sierra de la Nieves. Entre las montañas que le rodean, destaca el pico de la Torrecilla (1.918 m s.n.m.), por ser el más alto de toda la provincia; además este paraje lo recorren los Ríos Horcajos y de los Caballos que confluyen a la altura del pueblo, en el Río Grande.

Geológicamente la región es notable, pues constituye el mayor macizo de peridotitas del mundo, un gigantesco batolito de la Edad Primaria transformado superficialmente en serpentina, del que sólo hay otro comparable en los montes Urales, en Rusia.

Los filones metálicos formados al consolidarse dicho batolito, junto con la riqueza en estas rocas plutonianas de silicatos de potasio, sodio, litio, magnesio, aluminio, hierro y radio, explican la riqueza en elementos minerales que poseen sus aguas.

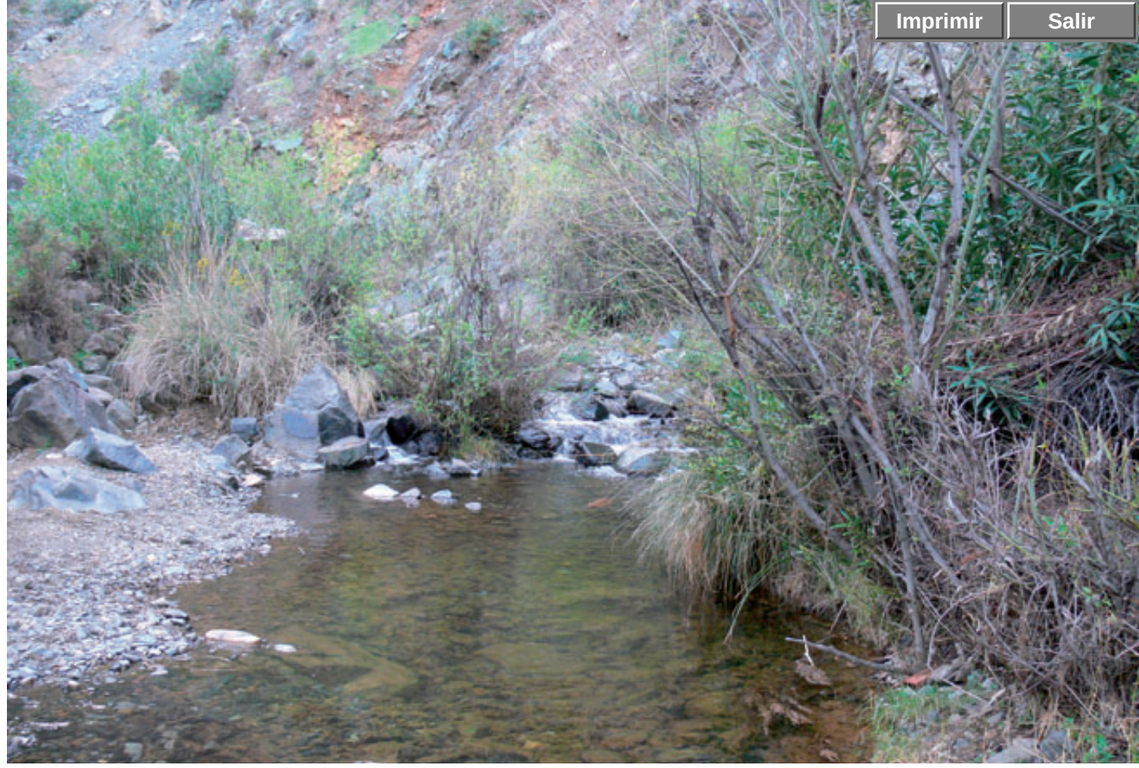
El balneario toma sus aguas del manantial denominado Fuente Amargosa, que si bien sus aguas habían venido siendo utilizadas con anterioridad por los vecinos, no fue hasta 1866 cuando D. José García Rey, natural y farmacéutico de Tolox, quién advirtiendo las propiedades terapéuticas del manantial, realizó un estudio que condujo a la catalogación de las aguas con el nombre de alcalino-bromuradas, amónico-sulfuradas y crenato-ferromagnesianas.

Análisis recientes muestran que las facies química predominanate es bicabonatada-clorurada magnésica-sódica, con una mineralización muy débil y temperatura en el punto de surgencia de 18,5 ºC, y un pH elevado (9,3).

El balneario fue inaugurado tres años después, en 1869, y sus aguas se declararon de utilidad pública en 1871. A lo largo del tiempo se han realizado reformas y mejoras para adaptarse a las necesidades que demanda actualmente la sociedad en este tipo de establecimientos.

Ofrece tanto tratamientos tópicos con modernas salas de aerosoles e inhalaciones, como tratamientos hidropínicos especialmente indicados para el aparato respiratorio, riñon y vías urinarias.

Detalle de las instalaciones del balneario de Tolox



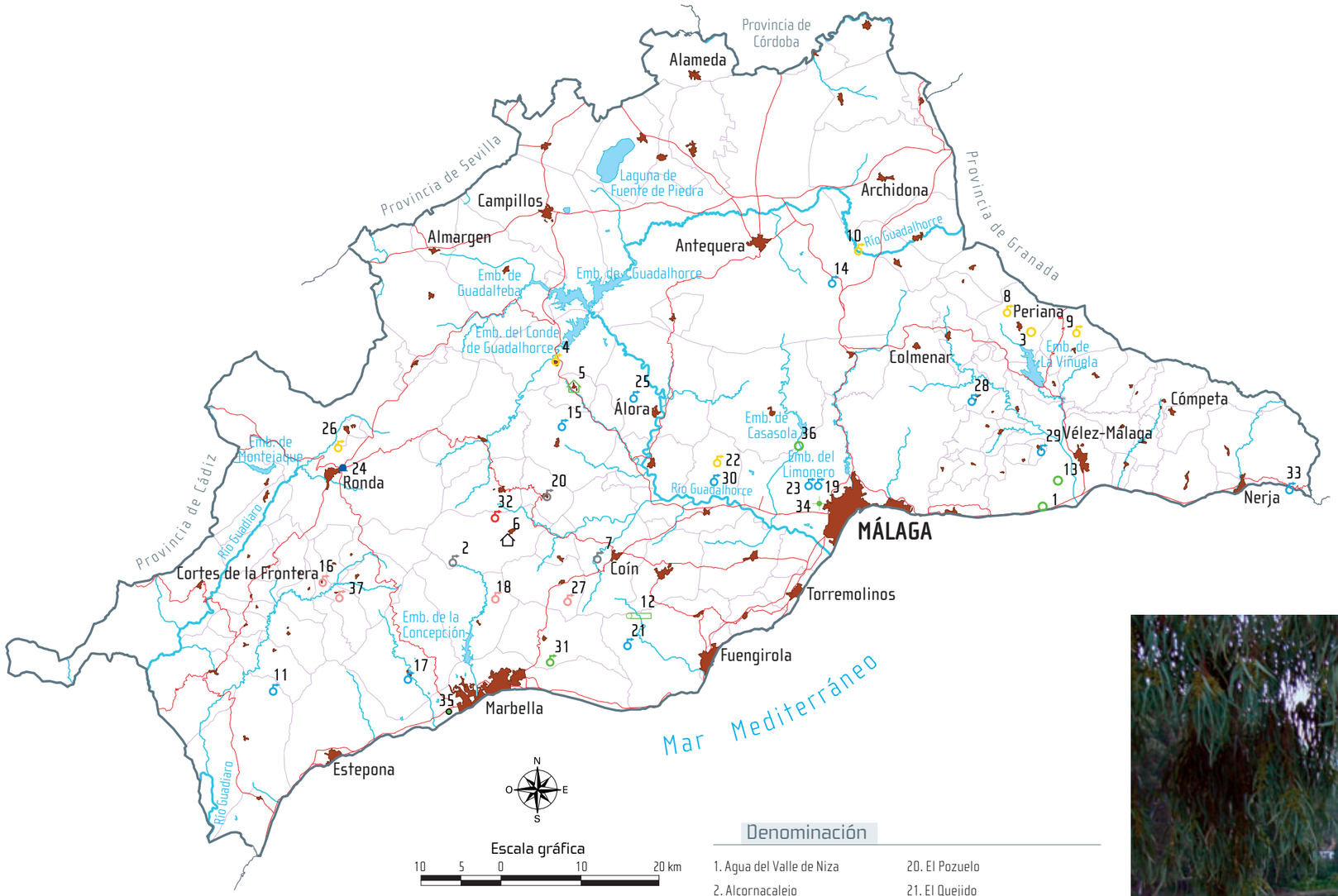
Entorno del manantial Fuente Amargosa, a la entrada del balneario de Tolox

Análisis físico-químicos del manantial Tolox

Resultados Analíticos									
Fecha (año)	Temperatura (º C)	pH	Conductividad (µS/cm)	Residuo seco (mg/L)	Dureza (mg/L de $CaCO_2$)	(Resto de parámetros en mg/L)			
1998	18,5	9,3	352	216	93,3				
CO_2H^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SiO_2	F^-	CO_2	SH_2
110	0	3	34	0	0	22	0		
Na^+	k^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Fe total	Mn total	Li^+	Sr^{2+}	NH_4^+	P_2O_5
29	4	4	20	0,02	0	0		0,03	0,04
Relaciones iónicas									
Mg/Ca	K/Na	Na/Ca	Na/(Ca+Mg)	C/HCO_3	SO_4/Cl	Ca/Cl	Mg/Cl	(Ca+Mg)/Cl	(Na+K)/Cl
8,24	0,08	6,32	0,68	0,53	0,07	0,21	1,72	1,92	1,42

Fuente: IGME, 2001

Mapa de aguas minero-medicinales de la provincia de Málaga



Composición de las aguas

- Aguas bicarbonatadas
- Aguas sulfatadas
- Aguas sulfuradas
- Aguas Ferruginosas
- Aguas Cloruradas
- Sin determinar

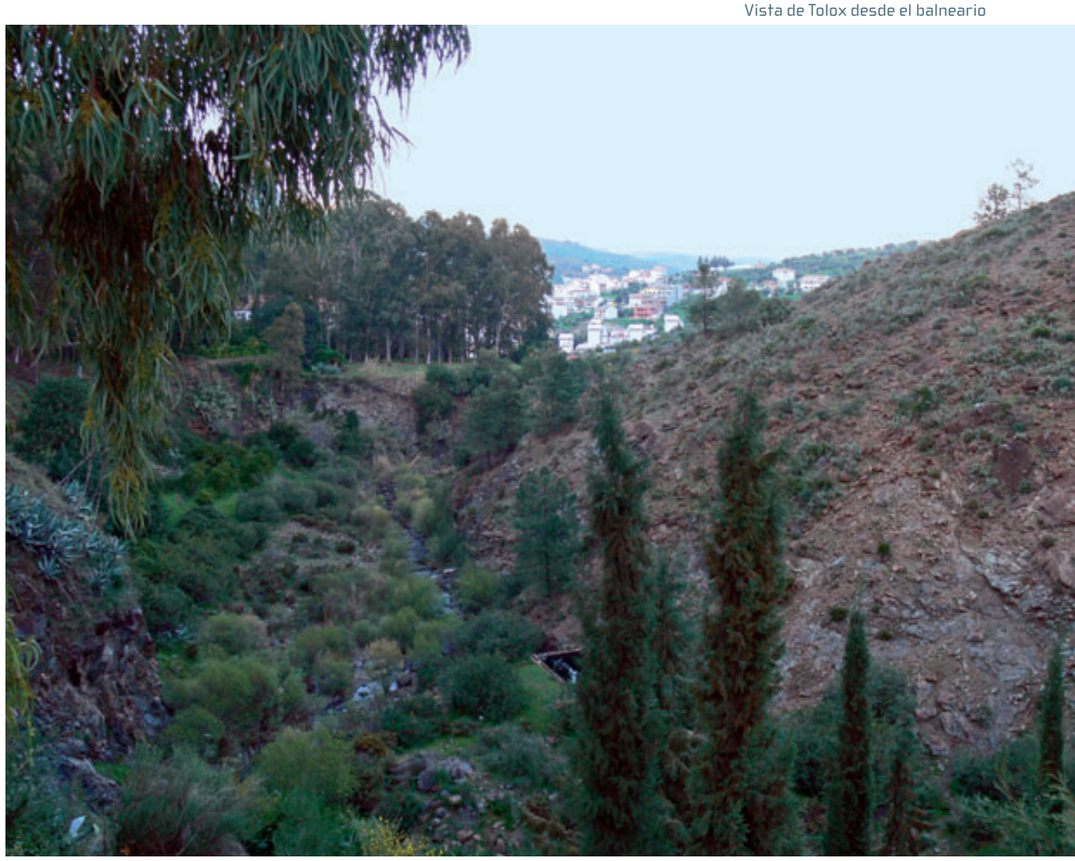
Naturaleza de la captación

- Sin determinar
- Galería
- Manantial
- Pozo
- Sondeo
- Manantial con sondeo
- Balneario activo

Denominación

1. Agua del Valle de Niza
2. Alcornacalejo
3. Almanzora
4. Ardales
5. Balneario de Carratraca
6. Balneario de Tolox
7. Baños de Coín
8. Baños de Vilo
9. Baños de Majadas
10. Baños de Tosquilla
11. Baños del Duque
12. Baños del Puerto
13. Cortijo Caparros
14. Cortijo La Yedra
15. Cortijo del Sultán
16. Cueva del Agua Buena
17. El Cercado
18. El Lebrillo
19. El Madroño
20. El Pozuelo
21. El Quejido
22. El Relumbroso
23. Fuente Alegre
24. Fuente Dulce
25. Fuente Hedionda
26. Fuente Hedionda o Alcoracín
27. Fuente Morales
28. Fuente Sana
29. Fuente de la Cruz
30. Fuente del Cano
31. Fuente los Sauces o Fuente Santa
32. Gatuz
33. Las Alberquillas Montesol
34. Los Remates
35. Marqués del Duero
36. Puerto Sol de las Sierras
37. San Ramón

Vista de Tolox desde el balneario



3.

Balneario de Carratraca

Está situado en el pueblo de Carratraca, en el Valle del Guadalhorce, en una zona accidentada por las sierras de Alcaparín y Blanquilla y a 6 km de Ardales, 58 km de Málaga, 53 km de Antequera y 69 km de Ronda. El paisaje que lo rodea es de laderas muy abruptas cubiertas de pinares y en el fondo del valle discurre a lo largo del término municipal el arroyo de las Cañas.

Las propiedades curativas de estas aguas eran ya conocidas en tiempos de los romanos como prueban los vestigios encontrados en las inmediaciones, como bañeras en la vertiente del manantial, sepulcros o monedas con efigies de Tiberio, Claudio y Cesar, entre otros. También los árabes las utilizaron, además de ser quienes dieron el nombre a la localidad, Carratraca proviene de "Karr-al-krak" que en árabe significa "limpieza de lacra".

Según la tradición, un leproso de nombre "Juan Camisón" a indicación de unos pastores que habitaban en esas tierras, tomó baños en esas aguas y sanó sus heridas, considerándolo un milagro construyó una ermita y colocó una imagen a la que llamó Virgen de la Salud. El manantial fue declarado de utilidad pública en 1851 por Real Orden.

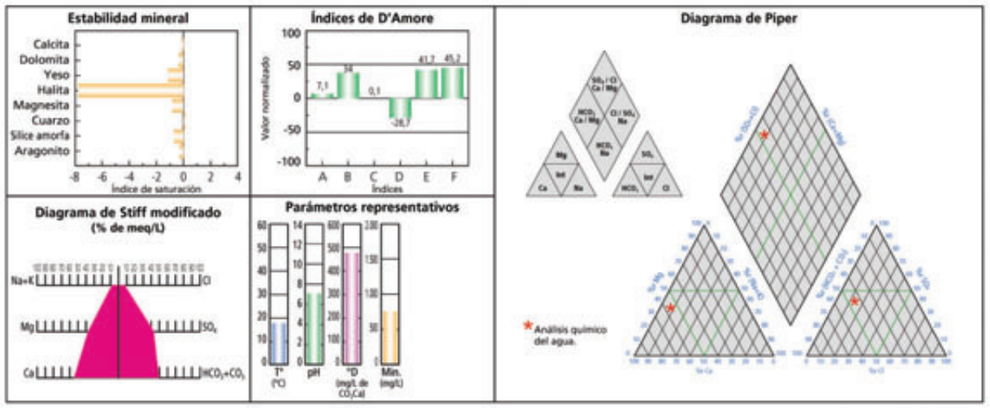
La facies hidroquímica del agua del balneario de Carratraca es bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica, caracterizándose por tener una mineralización media y muy dura. La temperatura en el punto de surgencia es de 18 ºC, por lo que se sitúa dentro de la clasificación como agua fría.

Fernando VII mandó construir el balneario de Carratraca en unos terrenos cedidos por Eugenia de Montijo, a cambio de que la dejasen una habitación y un baño para uso exclusivo suyo y de su familia, recintos que se conservan hoy en día. El edificio de estilo neoclásico, fue construido en piedra arenisca y mármol, inaugurándose en el año 1855. Por él han pasado personajes tan ilustres como: Cánovas del Castillo, Lord Byron, Alejandro Dumas, Campoamor, etc.

Las propiedades que presenta este agua sulfurosa, la hacen especialmente indicada para tratamientos dermatológicos y ginecológicos.

Fachada principal, S. XIX, del edificio balneario de Carratraca

Diagramas hidroquímicos del manantial de Carratraca



Fuente: IGME, 2001

Análisis físico-químicos del manantial Carratraca

Resultados Analíticos									
Fecha (año)	Temperatura (º C)	pH	Conductividad (µS/cm)	Residuo seco (mg/L)	Dureza (mg/L de $CaCO_3$)	(Resto de parámetros en mg/L)			
1997	18	7	813	738,9	478,3				
CO_2H^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SiO_2	F^-	CO_2	SH_2
310		209	30			7,9			
Na^+	k^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Fe total	Mn total	Li^+	Sr^{2+}	NH_4^+	P_2O_5
20	2	113	47						
Relaciones iónicas									
Mg/Ca	K/Na	Na/Ca	Na/(Ca+Mg)	C/HCO_3	SO_4/Cl	Ca/Cl	Mg/Cl	(Ca+Mg)/Cl	(Na+K)/Cl
0,69	0,06	0,15	0,09	0,17	5,14	6,66	4,57	11,23	1,05

Fuente: IGME, 2001

Interior del balneario de Carratraca

Piscina original del balneario de Carratraca

3.21

Aguas subterráneas y generación de energía eléctrica

3.21

Aguas subterráneas y generación de energía eléctrica

Antonio Velasco Orellana

Las centrales hidráulicas son instalaciones industriales que sirven para la producción de energía eléctrica mediante turbinas hidráulicas.

Estas centrales se pueden clasificar según varios argumentos, como son las características técnicas, las peculiaridades del asentamiento o las condiciones de funcionamiento.

En primer lugar hay que distinguir las que utilizan el agua según discurre normalmente por el cauce de un río, y aquellas otras a las que ésta llega, convenientemente regulada, desde un lago o pantano. Así, se denominan:

- Centrales de agua fluyente: llamadas también de agua corriente, o de agua fluyente. Se construyen en los lugares en que la energía hidráulica debe ser utilizada en el instante en que se dispone de ella, para accionar las turbinas hidráulicas.

No cuentan prácticamente con reserva de agua, oscilando el caudal suministrado según las estaciones del año. En la temporada de precipitaciones abundantes (de aguas altas), desarrollan su potencia máxima, y dejan pasar el agua excedente. Durante la época seca (aguas bajas), la potencia disminuye en función del caudal, llegando a ser casi nulo en algunos ríos en la época del estío.

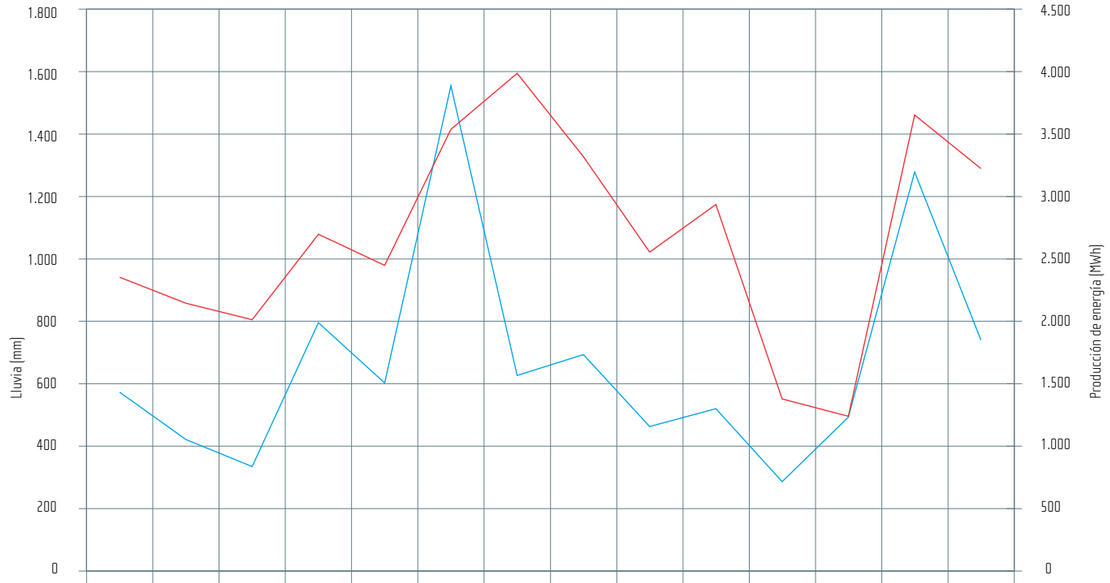
Su construcción se realiza mediante presas sobre el cauce de los ríos, para mantener un desnivel constante en la corriente de agua.

- Centrales de agua embalsada: se alimentan del agua de grandes lagos o de pantanos artificiales (embalses), conseguidos mediante la construcción de presas. El embalse es capaz de almacenar los caudales de los ríos afluentes, llegando a elevados porcentajes de captación de agua en ocasiones. Este agua es utilizada según la demanda, a través de conductos que la encauzan hacia las turbinas.

La provincia de Málaga cuenta con diversas centrales tanto fluyentes como de embalse, si bien hay una central un tanto peculiar, ya que esta central aprovecha el agua subterránea del acuífero de la Sierra de las Nieves, a través del manantial del Nacimiento de Río Grande.

En esta central el caudal oscila al igual que en las fluyentes según la estación del año, si bien, en la temporada de precipitaciones abundantes, al recargarse el acuífero de donde toma el agua, éste actúa a modo de embalse, manteniendo posteriormente un caudal de salida alto.

Relación entre la lluvia y la producción de energía en la central eléctrica de San Pascual



	1.984	1.985	1.986	1.987	1.988	1.989	1.990	1.991	1.992	1.993	1.994	1.995	1.996	1.997
lluvia mm	572,5	421	334	795,5	602	1.554	626,5	693	462,5	520	285,5	493,5	1.278	740
producción MWh	2.351	2.144	2.011	2.696	2.448	3.537	3.984	3.317	2.552	2.934	1.378	1.240	3.651	3.222

Manantial del Nacimiento de Río Grande

Central hidráulica de San Pascual

La central hidráulica de San Pascual se encuentra situada en el Nacimiento de Río Grande, término municipal de Yunquera (municipio situado al oeste de la comarca del Valle del Guadalhorce, lindante con la de Ronda y en plena Sierra de las Nieves, dista 36 kilómetros de Ronda y 63 de la capital malagueña).

Entre frutales y plantas aromáticas, se encuentra en el Nacimiento de Río Grande. Es un lugar paradisíaco, anclado en las raíces de la imaginación. El agua procede de las filtraciones de la montaña, que brota en una cueva como es habitual en la zona.

Este nacimiento es uno de los manantiales de descarga del acuífero de la Sierra de las Nieves, el cual surge en el extremo NE del sistema, a cota 450 m s.n.m., ligado a una importante fractura kilométrica de dirección NW-SE y con un caudal medio de 650 L/s.

Tras la montaña donde se halla el nacimiento, en dirección oeste, aparece la reliquia terciaria que es el Abies pinsapo. La Sierra de las Nieves, nevada en invierno o envuelta en brumas la mayor parte del año, ofrecería con este árbol un paisaje nórdico a no ser por el abundante quejigo y la retama.

El sistema de canalización de la central comienza unos metros más abajo del manantial, con una pequeña presa de rebosadero para la acumulación del agua, que cuenta con dos desagües de fondo de tipo compuerta, manuales, situados en los extremos de dicha presa. Posteriormente, a través de una derivación en azud con dos compuertas manuales, comunicar con un tramo de canal abierto, con su correspondiente compuerta limpia canal (manual con husillo) y, a través de un túnel se dirige hasta la cámara de carga de la central, en un recorrido de canal en galería de 400 metros de longitud y 2 metros de diámetro aproximadamente.

Desde la cámara de carga, que cuenta con un volumen de 3.600 m^3, el agua es conducida hasta la central a través de una tubería forzada, con un tubo pantalón remachado con 3 expansiones, que en la entrada a la central se duplica para atacar a cada grupo, con una longitud total de 156 m y un diámetro de 1.005 mm.

La central de San Pascual fue construida en el año 1945 y aprovecha un salto bruto de 78 m, es una hermosa central fluyente de estilo regionalista que se halla escondida presidiendo un vergel, donde todo lo que nos rodea es armónico.

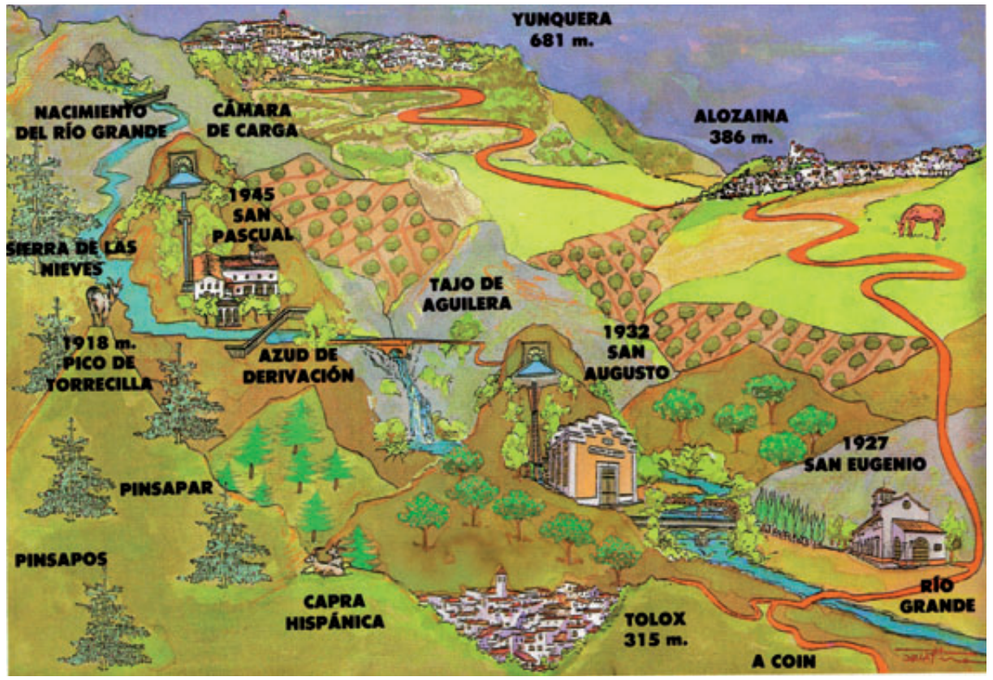


Ilustración de la situación y el sistema de canalización de la central hidráulica de San Pascual (tomada de la revista Guadalquivir, 1989)

Panorámica de la presa de rebosadero y azud de derivación aguas abajo del Nacimiento de Río Grande

Vista de la central de San Pascual desde la cámara de carga

Central de San Pascual y canalización hacia la central de San Augusto

3.

Detalle del azud de derivación del agua del manantial a la canalización y cámara de carga de la central de San Pascual

Cámara de carga
de la central de San Pascual

Desde la entrada podemos contemplar con toda claridad como el agua de salida de las turbinas es canalizada mediante un azud hacia la central de San Augusto, situada río aguas abajo. Por la parte trasera del edificio, la tubería forzada tiene a su lado derecho unas escaleras con una muy acusada pendiente para llegar a la cámara de carga. Desde las citadas escaleras, la central ofrece una hermosa panorámica con sus tejados y rematados en sus vértices con sendos trabajos de orfebrería a modo de veletas.

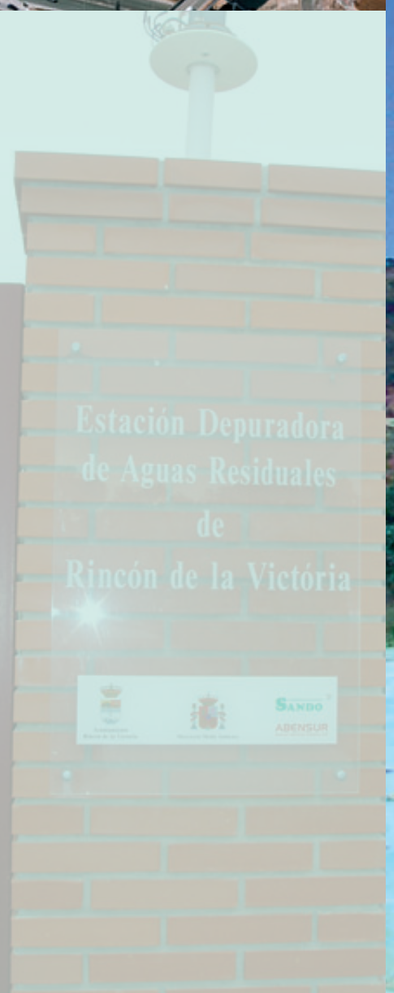
En el interior de la central predomina la amplitud. En ella se encuentran dos turbinas iguales, tipo Francis horizontal, marca Escher Wyss, de 500 KW, con 1.000 rpm y un caudal de 0,75 m^3/s, acopladas directamente a los alternadores, marca Oerlikon (La Electricidad), de una potencia de 625 KVA y que generan a una tensión de 3,15 KV. Los alternadores conectados finalmente a un transformador de potencia, ubicado en el interior de la central, dan una tensión de salida de 20 KV.

La producción de esta central se conecta a la línea de 20 KV de San Augusto (Las Millanas) – Yunquera, que forma parte del anillo de distribución de diversos pueblos de la Sierra de las Nieves, siendo su producción media anual de 2,455 Gwh, (aproximadamente el consumo de una población de 250 habitantes).

Tuberia en carga de entrada a la central
de San Pascual desde la cámara de carga

3.22

Recursos de agua no convencionales en la provincia de Málaga



3.22

Recursos de agua no convencionales en la provincia de Málaga

Juan Antonio López Geta
Julio César López Gutiérrez

La presión sobre los recursos hídricos naturales de agua es cada vez más intensa y evidencia preocupantes impactos ecológicos, sociales y económicos. Los planteamientos de grandes infraestructuras hidráulicas dominantes durante el siglo XX se muestran ineficaces para resolver los problemas de escasez de recursos en zonas como la cuenca mediterránea, sujeta a fuertes contrastes climatológicos, con prolongados episodios de sequía y con una creciente demanda como consecuencia de la presión antrópica en las zonas costeras. La gestión racional y sostenible de la demanda es un paso imprescindible, unida a esquemas de aprovechamiento conjunto de los recursos superficiales y subterráneos. Sin embargo existe una alternativa complementaria que consiste en la obtención de recursos no convencionales.

Se trata básicamente de la desalación de aguas salinas y salobres, y de la reutilización de aguas residuales urbanas. En ambos casos se precisan inversiones tecnológicas importantes, sobre todo en lo que respecta a la desalación.

En este sentido, el Programa A.G.U.A. (Actuaciones para la Gestión y Utilización del Agua), desarrollado por el Ministerio de Medio Ambiente para su implantación durante el periodo 2004-2008, con el fin de resolver gradualmente las carencias en la gestión, en la disponibilidad y en la calidad del agua, apuesta en gran medida por la obtención de recursos no convencionales y por la optimización de las infraestructuras de almacenamiento y distribución existentes. Así, de los aproximadamente 1.000 hm^3/año de agua que mediante el mencionado Programa se van a incrementar en las cuencas mediterráneas, el 50 % se obtendrán de desalación, otro 20 % por reutilización de aguas residuales depuradas y el resto a través de la mejora de las infraestructuras y la modernización de regadíos.

La obtención de recursos no convencionales permite, además, aliviar presiones sobre los recursos superficiales y subterráneos repercutiendo en la mejora del estado de las masas de agua y los ecosistemas asociados. Estos aspectos, afines a la filosofía de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea 2000/60, se plasman en las actuaciones prioritarias y urgentes declaradas como tal por el Real Decreto Ley 2/2004 y la Ley 11/2005 por la que se modificó la Ley 10/2001 del Plan Hidrológico Nacional.

En el caso de la provincia de Málaga, las actuaciones previstas se agrupan en aquellas que conllevan un incremento de la disponibilidad de los recursos hídricos y las destinadas a la mejora de la gestión de los mismos. La desalación se enmarca en el primer grupo de actuaciones, con una obtención prevista de recursos de 50 hm^3/año y una inversión de 70 millones de €. La reutilización de aguas residuales entre otras, se contempla entre las actuaciones de mejora de gestión de recursos de la provincia de Málaga, con una inversión conjunta de 157 millones de €.

Mar Mediterráneo en la desembocadura del Río Guadalhorce

Planta desaladora de Marbella

Estación de Tratamiento de Agua Potable: ETAP del Atabal y desaladora

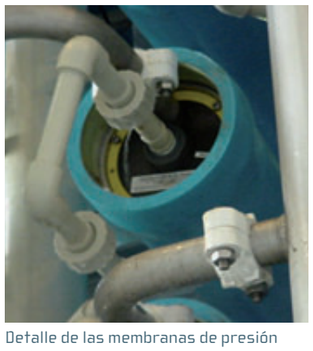
Actuaciones de desalación

La desalación es un proceso que consiste en la separación de las sales de una disolución acuosa, cuyo resultado es la obtención de agua dulce y una salmuera de rechazo. Por lo tanto los recursos susceptibles de ser sometidos al proceso de desalación tienen básicamente dos orígenes: agua de mar directa y agua subterránea salina o salobre. Estas últimas pueden proceder de acuíferos costeros conectados hidráulicamente con el mar, o de acuíferos aislados del mismo, en cuyo caso el aporte de sal al agua suele proceder de formaciones geológicas con presencia de evaporitas.

En la provincia de Málaga se dan las tres tipologías anteriormente citadas, ya que existen aproximadamente 160 km de costa, con acceso al mar, así como siete acuíferos costeros en conexión hidráulica con el mismo y en los que se desarrolla una interfase entre las aguas subterráneas dulces y saladas, bajo la cual se puede extraer agua con una composición similar a la del mar. Así mismo, al norte de la provincia, afloran formaciones triásicas en facies germánico-andaluzas del dominio Subbético, con materiales arcilloso-evaporíticos, entre otros, que dan lugar a aguas salobres.

Existen diversas técnicas de desalación, como la destilación, congelación, filtración selectiva, electrodiálisis con membrana, aunque el sistema más utilizado debido a su grado de desarrollo es la ósmosis inversa. Esta última tecnología, que comenzó a utilizarse a finales de los años 70 del siglo XX, consiste en hacer pasar agua presurizada (14-28 kg/cm^2 para aguas salobres y 60-70 kg/cm^2 para agua de mar) a través de unas membranas específicas para cada rango de salinidad, con el objeto de vencer la presión osmótica natural que produce un flujo de la fase más diluida a la más concentrada. De este modo el flujo se invierte. El resultado es la obtención de agua dulce (con menos de 2.000 ppm de sales disueltas), y una salmuera de rechazo. En el caso del tratamiento de agua de mar, el rendimiento promedio suele ser del 50 %, es decir se obtiene la mitad de agua prácticamente sin mineralización y la otra mitad de salmuera al doble de concentración que el agua de mar (salmuera con unos 70 gramos de sal). En el caso del tratamiento de aguas salobres, el rechazo es aproximadamente del 25 %.

Instalación Desaladora de Aguas Salobres: IDAS El Atabal (interior de la nave de proceso)



Detalle de las membranas de presión de ósmosis inversa

3.

Desde un punto de vista práctico, los requerimientos de captación de agua salada para la obtención de agua dulce en una planta de tratamiento son:

- Garantizar los caudales necesarios.
- Ausencia de materia en suspensión en el agua de origen.
- Ausencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos y compuestos incrustantes.
- Ausencia de contaminación microbiológica y en especial de algas.
- Garantizar una composición y temperatura constantes.

Embalse del Conde de Guadalhore: los recursos convencionales son insuficientes para resolver los problemas de escasez

El primer requerimiento es de carácter logístico, ya que se debe asegurar un caudal de manera constante. A este respecto, la captación directa de agua de mar mediante toma abierta parece ser la opción óptima, ya que el volumen de agua en el mar se puede considerar ilimitado. Sin embargo la experiencia demuestra que durante los temporales, la remoción del lecho aporta tal cantidad de sólidos en suspensión al agua que no es posible el funcionamiento de las plantas de tratamiento, debido al pretratamiento precisado.

El resto de condicionantes surgen de los requerimientos de operación de las membranas. En el caso de las tomas abiertas de agua de mar se consiguen estas condiciones mediante procedimientos de pretratamiento muy costosos. Por lo contrario, la captación de agua de mar a través de un acuífero mediante sondeos, garantiza el cumplimiento de manera natural de estos requerimientos si bien la obtención de muy elevados caudales precisa unas condiciones hidrogeológicas muy selectivas.

En el caso del uso de aguas salobres el principal problema surge a la hora de garantizar una composición estable.

Las actuaciones que se contemplan en el marco del programa A.G.U.A. en materia de desalación para la provincia de Málaga son:

- La remodelación y puesta en servicio de la desaladora de Marbella.
- Desalación en la Costa del Sol.

La antigua planta desaladora de Marbella data de 1996. Fue adquirida en 2004 por la Mancomunidad de Municipios de la Costa del Sol Occidental y gestionada por la empresa pública ACOSOL. La nueva planta, con tecnología de ósmosis inversa, entró en servicio el 29 de julio de 2005, tras su compra por sociedad estatal ACUAMED, dependiente del Ministerio de Medio Ambiente, si bien la gestión y explotación se encomendó a la Mancomunidad de Municipios de la Costa del Sol Occidental. La Agencia Andaluza del Agua contribuye cofinanciando el 55 % de las instalaciones no financiadas por otras administraciones, estimado el total en torno a los 41 millones de euros.

El caudal de agua dulce producido es de 56.000 m^3/día (20 hm^3/año), para reforzar el abastecimiento de a una población estable de 400.000 personas y puntas vacacionales de hasta 1.200.000 habitantes, en los municipios de Benahavís, Benalmádena, Casares, Estepona, Fuengirola, Istán, Manilva, Marbella, Mijas, Ojén y Torremolinos.

Planta desaladora de Marbella

Abastecimiento puntual de emergencia en camiones cuba (Valle de Abdalajís)

Detalle del tanque de almacenamiento de la planta desaladora de Marbella

En este caso el agua de origen procede del mar mediante toma abierta, a través de una torreta a unos 500 metros de la costa, de 7 metros de altura. De ella sale una tubería enterrada en la arena, que conduce el agua de mar hasta la galería de toma de 11 m de profundidad y 3-5 m de anchura la cual desemboca en la cántara de aspiración, desde donde es elevada por bombas hasta la planta desaladora. El agua se somete a un pretratamiento a base hipoclorito sódico como desinfectante y alguicida, así como ácido sulfúrico, para evitar incrustaciones de bicarbonatos, y cloruro férrico como coagulante. También se somete a un filtrado, mediante filtros de arena y filtros de polipropileno. Posteriormente se procede a la inyeccción de un polifosfato como dispersante para evitar la formación de cristales de sal. Por último se le añade bisulfito sódico para eliminar el hipoclorito sódico residual evitando que dañe a las membranas. La fase de desalación, mediante ósmosis inversa, se realiza mediante la impulsión del agua a altas presiones (70 kg/cm^2), mediante ocho turbo bombas, hasta ocho bastidores de membranas, siete de fibra hueca y una de membranas en espiral.

La salmuera de rechazo se vierte al mar mediante un colector de poliéster y fibra de vidrio enterrado por la margen derecha del Río Verde, hasta el punto de vertido a unos 250 m de la línea de costa, a 7 m de profundidad, que termina en ocho difusores con el fin de asegurar una dilución rápida.

El resto de actuaciones en la Costa del Sol consiste en un proyecto de desalación en el área de Torremolinos.

Aunque en el caso de la planta de Marbella se ha optado por la captación abierta de agua de mar, existen a lo largo del litoral malagueño otra posibilidad que consiste en la captación de agua de mar a través de acuíferos costeros, mediante sondeos. Presentan especial interés los acuíferos costeros detríticos de Marbella-Estepona, Fuengirola, Bajo Guadalhorce y Río Vélez, ya que en ellos se ve favorecida la filtración natural del agua a través del acuífero y es relativamente sencillo determinar la geometría de la interfase agua dulce-agua salada. Aunque esta opción requiere una investigación hidrogeológica muy precisa, que incluye campañas de geofísica, perforación de sondeos de exploración con testificación litológica y geofísica, y ensayos de bombeo, previa a la perforación de los sondeos de producción, a largo plazo se pueden obtener beneficios a la hora de abaratar los costes de pretratamiento y de asegurar el funcionamiento de la planta independientemente del estado del mar. Sin embargo este sistema de captación no suele utilizarse cuando los caudales de producción son elevados, ya que se suele precisar un gran número de sondeos en zonas próximas a la costa, donde la disponibilidad de terreno está muy limitada.

Estación de Tratamiento de Agua Potable:
ETAP Pilones (Málaga)

Actuaciones de reutilización de aguas residuales depuradas

El 80 % del consumo de agua dulce en España tiene como destino usos agrícolas, sobre todo el riego. La reutilización de aguas residuales urbanas es ideal para este fin ya que precisan un grado de depuración relativamente limitado. Existen otros usos para esta agua, como son los de acondicionamiento urbano (riego y limpieza de calles) y refrigeración de procesos industriales, si bien precisan de mayor grado de depuración sobre todo desde un punto de vista microbiológico, ya que existen más rutas de exposición a la población.

Para el caso concreto de la provincia de Málaga, el Programa A.G.U.A contempla las siguientes actuaciones:

- Reutilización de aguas residuales en la ciudad de Málaga. 1ª fase.

- Reutilización de aguas residuales en la Costa del Sol.

Estación Depuradora de Aguas Residuales: EDAR Peñón del Cuervo (Málaga)

3.

En marzo de 2006 se sometió a información pública el proyecto informativo de las obras de la primera de las actuaciones, encomendada a la sociedad estatal ACUAMED, mientras que la segunda consiste en un proyecto de reutilización de aguas residuales en Benalmádena.

La reutilización de aguas residuales de la ciudad de Málaga, a partir de las plantas depuradoras de Guadalhorce y del Peñón del Cuervo, consiste básicamente en la ampliación de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), con módulos de tratamiento terciario, para poder emplearlas en el riego de espacios verdes urbanos y parques periurbanos. Se contempla asimismo la construcción de depósitos de regulación, estaciones de bombeo y conducciones de distribución.

A la línea de tratamiento secundario ya existente se le suma el tratamiento terciario adicional previsto consistente en la adición de coagulante, cámara de floculación y decantación, filtrado y cloración o aplicación de rayos ultravioleta para desinfección.

Con respecto a los depósitos de regulación se distinguen dos tipos, los de las plantas depuradoras, que recogerán las aguas previamente desinfectadas, con una capacidad de 50.000 m^3, y los depósitos de regulación propiamente dichos, que almacenan el volumen de agua necesario para su distribución por gravedad a las diferentes zonas.

El proyecto contempla asimismo la construcción de una estación de bombeo en cada una de las dos depuradoras (Guadalhorce y Peñón del Cuervo) hacia los depósitos reguladores, y dos rebombeos hacia las zonas de destino (centro-oeste y parques periurbanos).

Las tuberías de impulsión conectan las estaciones de bombeo con sus depósitos correspondientes, y las tuberías de gravedad distribuyen el agua regernerada por las distintas zonas verdes de la ciudad de Málaga desde los depósitos de regulación.

Reutilización de aguas depuradas en riego de jardines

Posibles actuaciones de reutilización de aguas depuradas en riego agrícola en la Costa del Sol

Estación Depuradora de Aguas Residuales: EDAR Guadalhorce

3.23

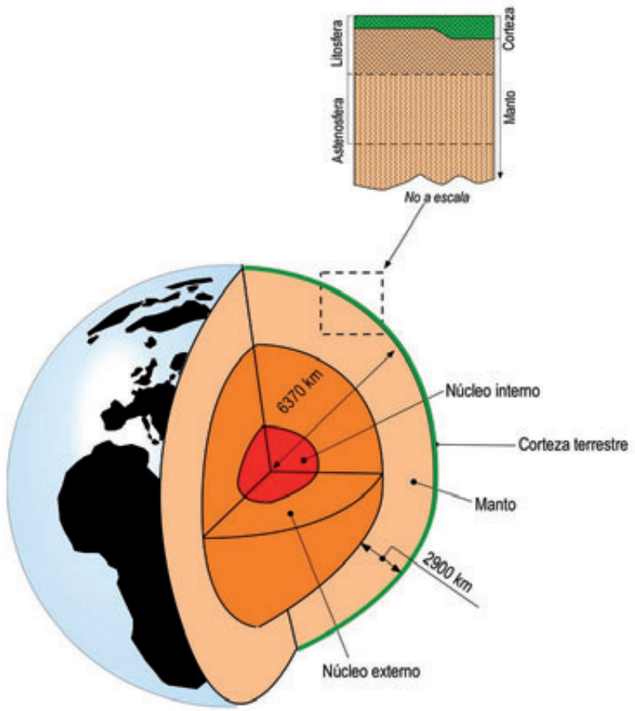
Posibilidades de aprovechamiento de la energía geotérmica en la provincia de Málaga

3.23

Posibilidades de aprovechamiento de la energía geotérmica en la provincia de Málaga

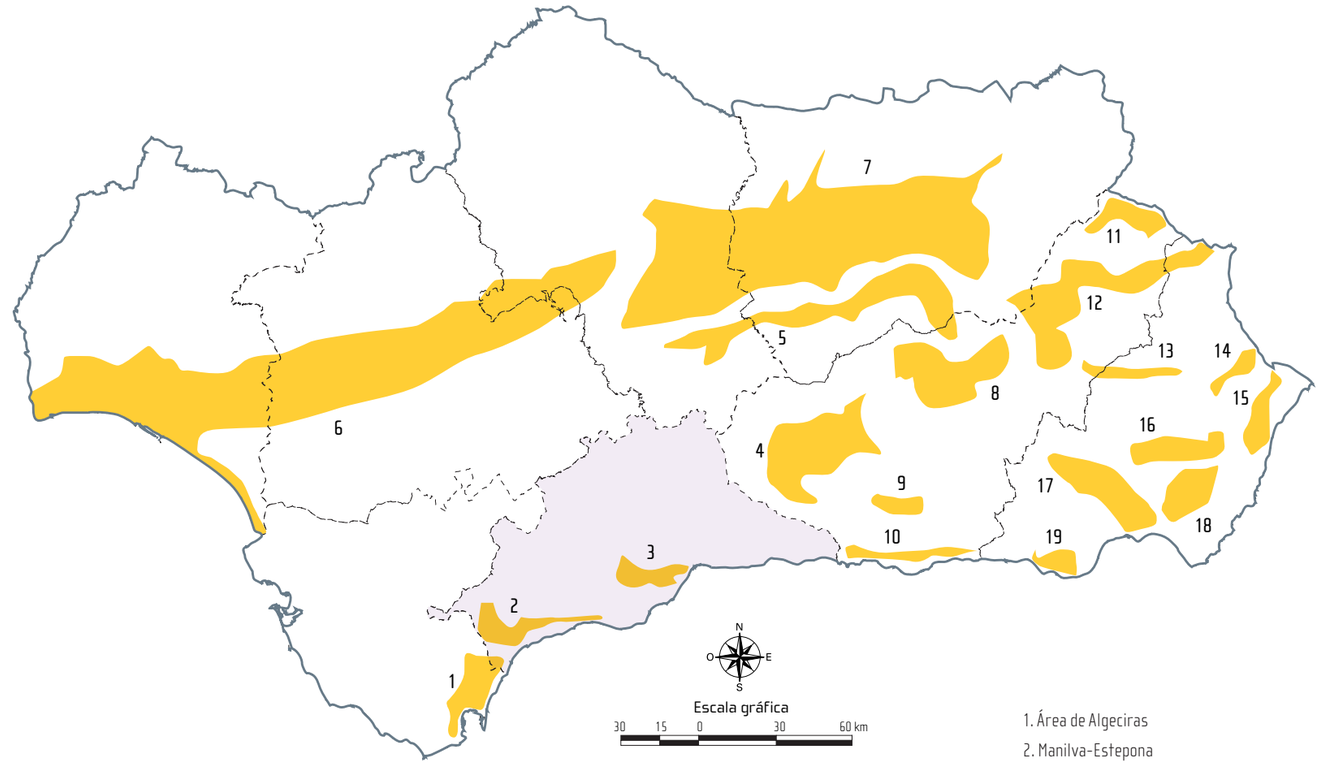
Celestino García de la Noceda

La energía geotérmica no es ni más ni menos que la energía calorífica que desde el interior del globo se desprende hacia su exterior. Esta energía calorífica, que en amplias zonas de la superficie terrestre se desprende de forma apenas imperceptible, puede ser aprovechada por el hombre cuando parte de ella es cedida a una roca o al fluido contenido en sus poros, tal como corresponde al caso de un acuífero profundo. Los manantiales termales generalmente y, en casos singulares las fumarolas y los géiseres, constituyen las salidas naturales de los almacenes geotérmicos.



Esquema del globo terráqueo

Áreas de interés geotérmico en Andalucía



1. Área de Algeciras
2. Manilva-Estepona
3. Álora-Cartama
4. Depresión de Granada
5. Subbético septentrional
6. Depresión del Guadalquivir (área occidental)
7. Depresión del Guadalquivir (área oriental)
8. Depresión de Guadix
9. Sierra Nevada-Lanjarón
10. Área de Albuñol
12. Depresión de Baza
13. Área del Almanzora
14. Cuenca de Huercal-Overa
15. Cuenca de Vera
16. Tabernas-Sª Alhamilla-Sorbas
17. Área del Andarax-Sª de Gádor
18. Campo de Níjar
19. Campo de Dalias

A partir de la información que estas salidas naturales aportan – el contexto geológico de la surgencia y las características geoquímicas del fluido fundamentalmente- se puede conocer las condiciones de los yacimientos geotérmicos en una primera aproximación. Son estudios posteriores los que permitirían establecer con detalle las profundidades a las que se localizan, las temperaturas y presiones del fluido y todas las restantes características que finalmente van a permitir establecer un uso para el recurso energético alcanzado y lograr un aprovechamiento adecuado de una energía renovable que, en el año 2005, superó la cifra de 8.900 MWe instalados en todo el mundo para producción de electricidad y que, en usos directos del calor, en el año 2000, producía mas de 190.000 TJ, con una potencia térmica instalada de más de 15.000 MWt.

Los recursos geotérmicos pueden ser complementarios en algunas zonas a los hidroeléctricos

Algunos sondeos realizados
en las Sierras de Tejeda y Almijara presentan indicios de termalismo

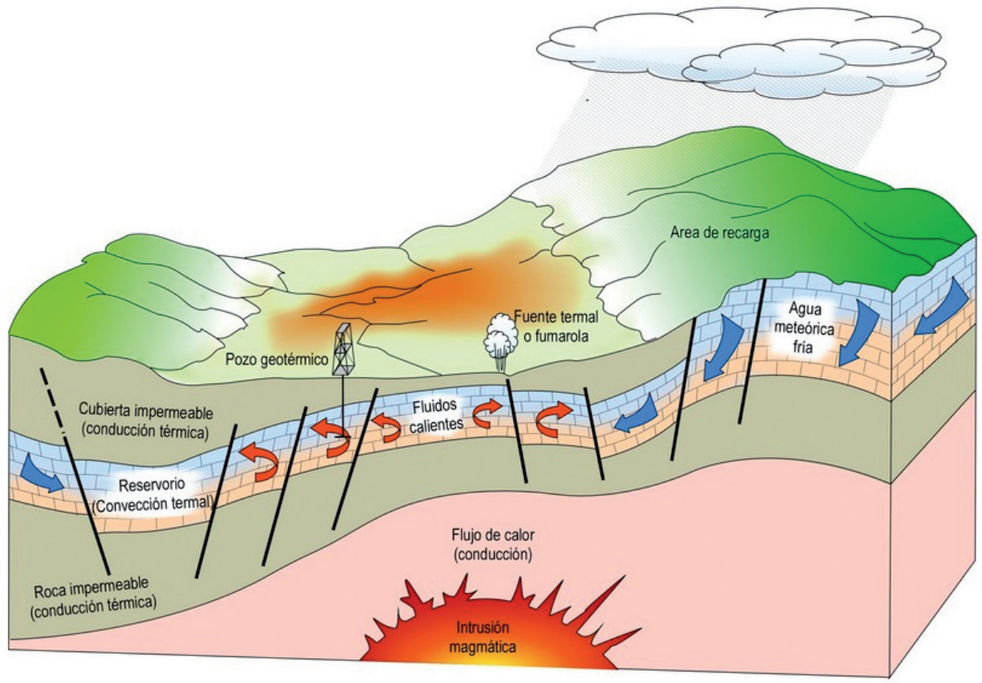
En la provincia de Málaga se sitúan diversas manifestaciones termales con temperaturas de surgencia situadas en el entorno de los 20ºC. El estudio de las características geoquímicas de sus aguas y de los gases en ellas contenidos, así como del entorno geológico en el que se producen las surgencias, indican una baja probabilidad de que constituyan indicios reales de almacenes geotérmicos de entidad y, en el caso de que lo constituyesen, serían yacimientos que difícilmente superarían en profundidad temperaturas por encima de los 50ºC.

Las posibilidades de aprovechamiento de energía geotérmica en la provincia de Málaga se concentran básicamente en la recuperación del calor del subsuelo a poca profundidad, lo que se conoce como geotermia de muy baja temperatura. En el subsuelo, a pocos metros de profundidad y gracias al aporte del calor que proviene del interior del globo terráqueo, la temperatura se mantiene estable a lo largo de las diferentes épocas del año y durante las 24 horas del día. La extracción de este calor que la tierra nos brinda de forma natural y su aprovechamiento para sistemas de calefacción es una realidad que puede ser desarrollada en la mayor parte del territorio. De forma similar y también gracias a la transmisión del calor del globo hacia su parte exterior, las aguas subterráneas mantienen una temperatura suficientemente estable, lo que permite su aprovechamiento "geotérmico" al poder recuperar una parte de su nivel energético sin consumo del recurso agua.

Dado que los niveles de temperatura del subsuelo o del agua subterránea son bajos –entre los 10 y los 20ºC- no se pueden utilizar intercambiadores para suministrar calor al sistema de calefacción sino que se requiere, para su aprovechamiento como fuente energética, de una máquina denominada Bomba de Calor, muy similar en sus principios y funcionamiento a una máquina frigorífica inversa o un equipo de aire acondicionado, que permite que, tomando del agua subterránea o del subsuelo a las temperaturas antes señaladas tan sólo unos pocos grados, se pueda suministrar muchos más grados de temperatura a un circuito de calefacción o al de agua caliente sanitaria, todo ello mediante el empleo de un circuito intermedio que contiene un fluido de bajo punto de ebullición.

Este tipo de máquina tiene una particularidad que la hace especialmente atractiva para las condiciones climatológicas de la provincia de Málaga ya que permite su uso reversible, proporcionando calor en invierno y frío en verano, aunque las necesidades de este último sean mayores a las de calefacción.

Existen numerosas formas de realizar esta modalidad de aprovechamiento. Básicamente hay que diferenciar los sistemas abiertos que lo forman los sistemas que aprovechan el calor de las aguas subterráneas. Habitualmente se requiere un pozo de extracción de agua y otro de inyección, por lo que se considera recomendable su aprovechamiento en zonas de acuíferos someros, como puede ser los detríticos cercanos a los ríos, con costes de perforación no elevados.

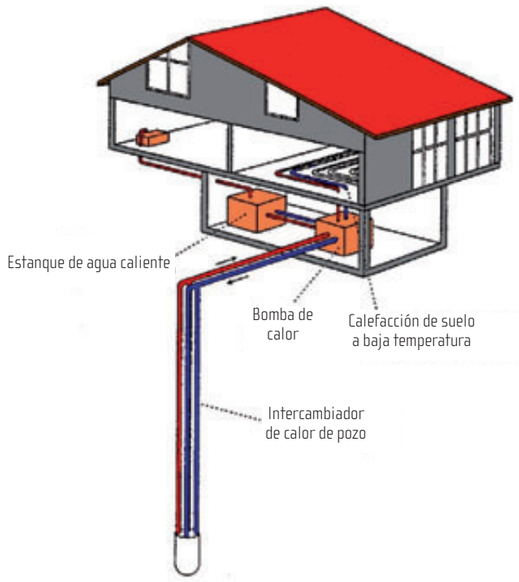


Esquema de yacimiento geotérmico

3.

Los sistemas cerrados aprovechan el calor del subsuelo directamente. Un fluido primario que funciona en un bucle recupera el calor del subsuelo y lo aporta a la bomba de calor. El bucle del fluido primario puede adoptar dos sistemas: horizontal, bajo el suelo o bajo los cimientos de las propias edificaciones, o vertical, mediante perforaciones.

Los sistemas horizontales se asemejan a un suelo radiante situado bajo la cobertera del terreno circundante o en los cimientos del propio edificio.

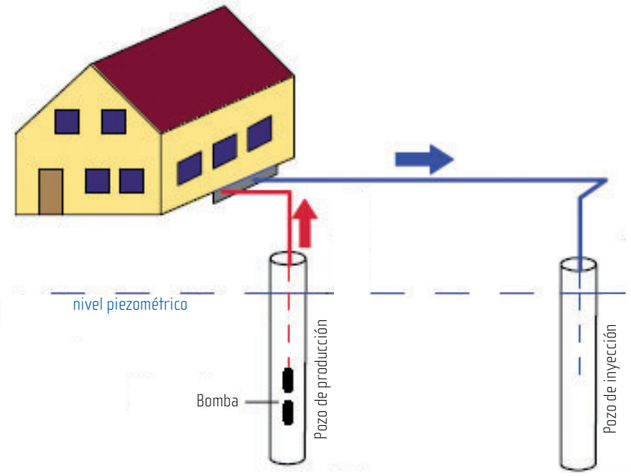


Esquema de una instalación para aprovechamiento del calor del subsuelo con sondeo único

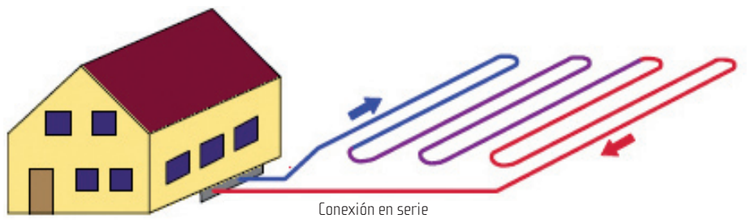
La presencia de zonas de fallas activas o recientes en ciertos lugares de la provincia es un criterio de búsqueda de zonas de interés geotérmico

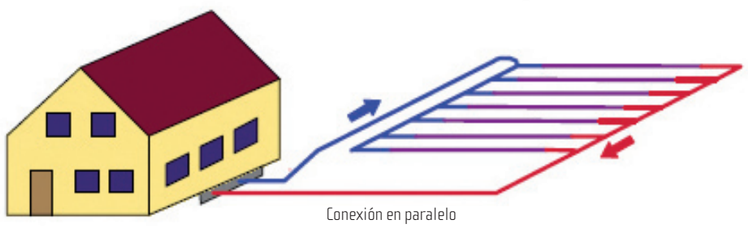
En el caso de bucles verticales, los sondeos se realizan en zonas sin acuíferos y las profundidades habituales son inferiores a los 100 m. Se han diseñado numerosos dispositivos como intercambiadores, introducidos en los sondeos. Los más sencillos consisten en dos tuberías paralelas de PVC en forma de U, quedando relleno el sondeo con una lechada que permite un mejor intercambio de calor entre el subsuelo y el fluido introducido en el bucle. El número de sondeos preciso se calcula tras experiencias en el terreno, en función de las necesidades energéticas de la superficie a climatizar.

Si bien la idea inicial que generalmente se tiene de este tipo de sistemas es que se trata de dispositivos adaptados a viviendas aisladas unifamiliares, las experiencias han puesto de manifiesto su potencialidad en todo terreno, con y sin agua, para edificios tanto pequeños como de grandes dimensiones y que permiten aprovechar de una manera altamente eficiente una energía renovable como es el calor del subsuelo, es decir, la energía geotérmica.



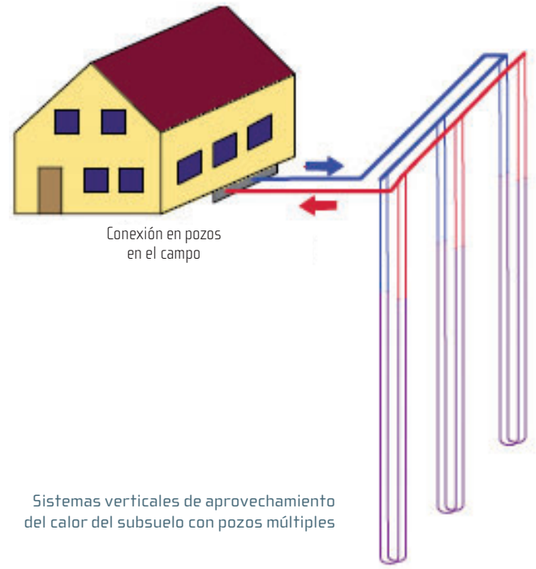
Aprovechamiento geotérmico de acuíferos con bomba de calor





Sistemas horizontales de aprovechamiento del calor del subsuelo

La utilización de energías alternativas contribuirá a limitar los impactos del cambio climático



Sistemas verticales de aprovechamiento del calor del subsuelo con pozos múltiples

3.24

Campos de golf y aguas subterráneas en la provincia de Málaga

3.24

Campos de golf y aguas subterráneas en la provincia de Málaga

Pedro Agustín Robledo Ardila

Es frecuente que áreas con déficit hídricos notables soporten actividades económicas que generan un elevado consumo de agua, especialmente aquellas que se han desarrollado en zonas litorales y a las que se asocia el turismo o la agricultura. El golf es una de las tendencias turístico-deportivas que en la última década ha sido más incisiva su relación agua-ocio en Andalucía, y muy particularmente en la provincia de Málaga, donde ha significado un punto de conflicto más en el delicado equilibrio de la gestión de las aguas subterráneas. Málaga depende de forma muy significativa de las aguas subterráneas, dados sus limitados recursos hídricos superficiales; paradójicamente es la provincia de Andalucía donde más campos de golf hay construidos y en proyecto.

La provincia de Málaga cuenta con un total de 47 campos de golf, más de la mitad del total de Andalucía, 95 campos, según datos de la Federación Andaluza de Golf (2006), lo que representa una quinta parte del total del territorio español. La gran mayoría se distribuyen a lo largo de la Costa del Sol, entre Málaga y Manilva, siendo el municipio de Marbella, con 17, el que presenta mayor número de instalaciones. Las dimensiones de los campos suelen ser de 10 ha (9 hoyos) y de 40 ha (18 hoyos) aunque, excepcionalmente, existen campos de 3, 9, 24, 36, 45 y 60 hoyos (Junta de Andalucía, 1995). Esta circunstancia provoca acentuadas diferencias en el volumen de agua que necesitan, así como en la cantidad que se evapora. En Málaga, y utilizando como dato base la extensión de un campo de golf estándar de 18 hoyos (40 ha), el conjunto de campos de golf ocupa un total de 2.320 ha (23 millones de m^2).

La legislación autonómica, en materia de gestión de aguas, no ha evolucionado acorde con la velocidad del número de campos de golf construidos en Málaga. La comunidad andaluza, en lo que respecta a la posible incidencia de la construcción y gestión de campos de golf, refleja en su Ley de protección Medioambiental de 1994, la conveniencia de reutilizar el agua residual para usos que no sean los básicos, como los campos de golf, aunque no decreta su obligatoriedad como ya sucede en otras comunidad autónomas.

Detalle del césped de un green

La problemática que generan los campos de golf en relación con las aguas subterráneas está determinada por dos factores:

- La necesidad de importantes volúmenes de agua para el mantenimiento de las instalaciones que, en muchas ocasiones, proceden de los acuíferos
- Por los impactos que pueden causar las aguas que se infiltran afectadas por fertilizantes, pesticidas y plaguicidas así como, por la infiltración de aguas residuales tratadas si éstas no han experimentado un tratamiento suficiente

Campo de golf en Mijas

El problema de la cantidad

Un campo de golf es un recinto deportivo de unas dimensiones y características variables, que basa su existencia en la presencia de grandes extensiones de césped; éstas necesitan volúmenes elevados de agua para su mantenimiento, sobre todo en regiones de clima mediterráneo donde la evaporación es elevada y las precipitaciones son escasas.

El problema de la cantidad está relacionado tanto con la extensión del campo como con los elementos que lo configuran. El consumo de un campo de golf estándar de 18 hoyos oscila entre 1.500 y 2.000 m^3/día en los meses de máxima irrigación (Cámara de Comercio de Mallorca, Ibiza y Formentera, 2000 a). Junto con los importantes volúmenes de agua necesarios para su conservación, se añaden las pérdidas por evaporación y evapotranspiración producidas principalmente durante los períodos de máximas temperaturas. Los campos de golf situados en Málaga se abastecen en gran medida con aguas subterráneas, como sucede en otras comunidades autónomas. Algunos lo hacen con aguas residuales depuradas y, a pesar de que en los últimos años la administración pública apuesta por dicha técnica, no es la más aceptada entre los gestores y propietarios, siendo el volumen total de agua suministrado desde las depuradoras poco significativo.

Campo de golf en Benahavís

La cantidad de agua que consume anualmente cada campo de golf para el soporte de su actividad no se conoce con precisión, puesto que existen pocos datos que reflejen un control exhaustivo del consumo. Estimaciones realizadas teniendo como base el conocimiento de los consumos de varias instalaciones, apuntan a una media de 150.000 m^3/año, lo que corresponde a un total para toda la provincia de Málaga de, al menos, 7 hm^3/año. Los consumos medios en zonas como la Costa del Sol alcanzan 240.000 m^3/año aproximadamente, dado que la evapotranspiración, sobre todo en verano, es muy importante, alcanzando valores de 400 L/m^2 y año (Cámara de Comercio de Mallorca, Ibiza y Formentera, 2000 a).

Distribución de los campos de golf en Málaga y consumo de agua estimado por municipios

Municipios	Nº de campos de golf	consumo medio anual estimado (en m^3)*
Alhaurín el Grande	1	150.000
Alhaurín de la Torre	1	150.000
Antequera	1	150.000
Benahavís	2	300.000
Benalmádena	3	450.000
Campanillas	1	150.000
Caleta de Vélez	1	150.000
Rincón de la Victoria	1	150.000
Casares	1	150.000
Estepona	6	900.000
Fuengirola	1	150.000
Málaga	5	750.000
Manilva	1	150.000
Marbella	17	2.550000
Mijas	5	750.000
Total consumo medio anual (m^3)	**47**	**7.050.000**

* Para la estimación del consumo medio anual se ha tomado como base 150.000 m^3 para un campo de golf estándar de 18 hoyos y 40 ha

En cualquier caso, la cantidad y la procedencia del agua para abastecer estas áreas deportivas plantea dos inconvenientes:

- Que las necesidades hídricas reales no hayan sido previamente determinadas con rigor en la mayoría de los campos de golf y, por tanto, no se pueda ejercer un control efectivo sobre los acuíferos de los que se abastecen.

- Que se deba invertir cantidades importantes en fuentes de abastecimiento alternativas, como desaladoras, para satisfacer la demanda, con el consiguiente aumento del precio del agua.

En la provincia de Málaga, para el abastecimiento de la población ha sido necesaria la construcción de una desaladora en Marbella (existen otras en proyecto), coincidiendo con el municipio que tiene más instalaciones golfísticas de la provincia, lo que deriva en un notable aumento del precio del agua. A pesar de que no se puede establecer una relación directa de este hecho con los campos de golf, sí sería preciso analizar la incidencia de sus consumos, en términos de repercusión económica sobre el precio del agua.

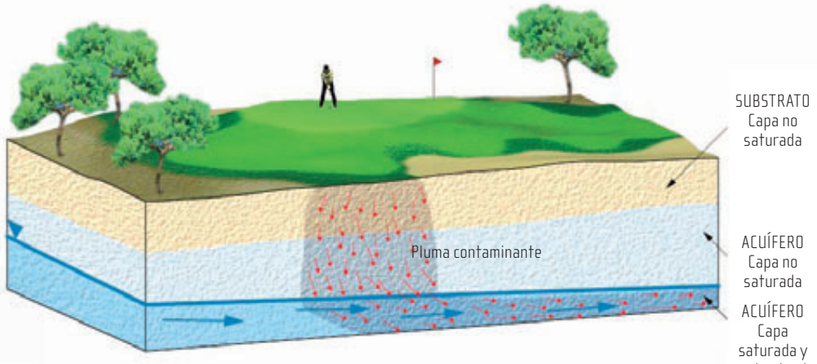
El problema de la calidad

Un segundo frente del conflicto existente entre las aguas subterráneas y los campos de golf en Málaga está constituido por los posibles impactos que su gestión pueden provocar sobre la calidad de éstas aguas.

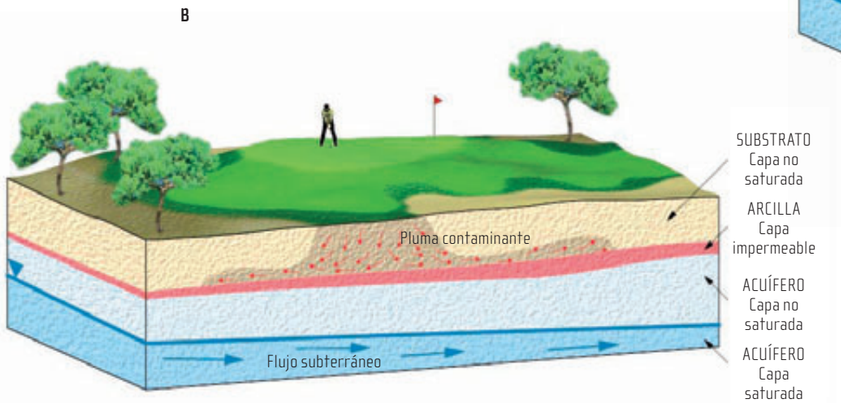
La problemática radica tanto en la explotación intensiva de acuíferos costeros, que presentan en la actualidad problemas de intrusión marina, como es el caso de la masa de agua subterránea Marbella-Estepona; como en la posible contaminación de las aguas subterráneas debido a la incorporación al flujo subterráneo de compuestos nocivos o no deseables, ya sea por una aplicación incorrecta de fertilizantes y pesticidas o por el riego con aguas residuales depuradas insuficientemente.

El uso de fertilizantes está destinado a mantener el césped en condiciones óptimas durante todo el año. El mal ejercicio de la aplicación de estos productos (por exceso y/o distribución) puede ocasionar una alteración de la calidad natural de las aguas subterráneas debido a la infiltración de compuestos nitrogenados y fósforo. Los pesticidas aplicados para la protección del césped pueden ser otros de los productos que ocasionen el deterioro de la calidad de las aguas subterráneas.

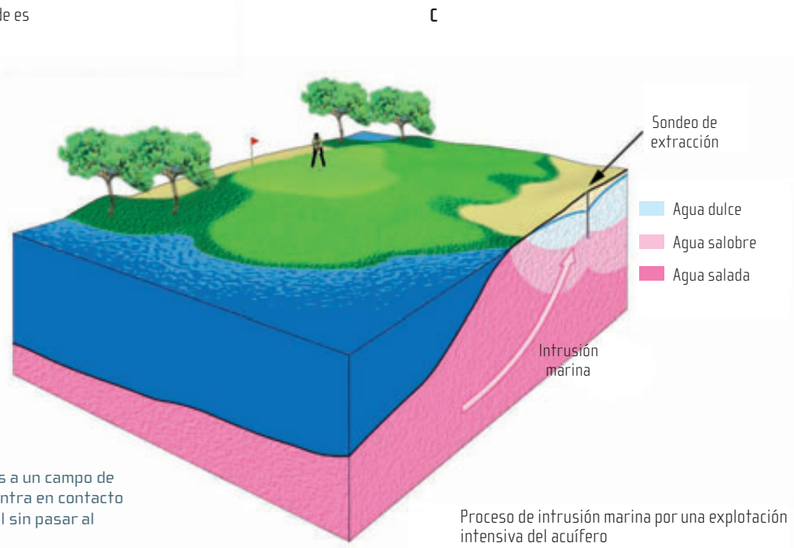
La utilización de aguas residuales depuradas para efectuar el riego de los campos de golf constituye un avance importante para disminuir el exceso de explotación de los acuíferos, aunque su utilización en condiciones no adecuadas puede ocasionar la contaminación de los mismos. Su uso puede conllevar problemas asociados, normalmente, con un elevado contenido salino y altos valores de nutrientes, compuestos nitrogenados, DQO, DBO_5 y otros elementos; consecuencia de un tratamiento de depuración insuficiente.



La pluma contaminante desciende hasta el nivel piezométrico, donde es arrastrado por el flujo subterráneo



La capa impermeable de arcilla impide que el contaminante percole hasta el acuífero



Proceso de intrusión marina por una explotación intensiva del acuífero

Vulnerabilidad de un acuífero. Las figuras muestran la diferencia en el riesgo de contaminación al que están sometidas las aguas subterráneas situadas próximas a un campo de golf. El contaminante que se infiltra con las aguas de riego pasa desde la superficie del terreno a través de la zona vadosa hasta llegar a la zona freática, donde entra en contacto con las aguas subterráneas (A). Si la parte superior del acuífero está protegida con un material poco permeable, el agua de infiltración drena sobre dicho material sin pasar al acuífero (B). El bombeo excesivo o mal planificado provoca la intrusión marina y la salinización del acuífero (C)

La gestión eficaz

Aunque depende del tipo de tratamiento al que se sometan las aguas residuales, estas presentan en general un elevado contenido en sales cloruradas-sódicas (1.300-2.600 mg/L) y conductividad eléctrica (2000-4000 µS/cm). También son destacables las altas cantidades de sulfatos o amonio. La demanda biológica de oxígeno (DBO) es alta, por lo que la descomposición anaerobia de ésta es problemática, pudiendo dar lugar a la formación de las denominadas blak-layers o capas negras, generadas bajo condiciones anaerobias a pocos centímetros de la superficie (Cámara de Comercio de Mallorca, Ibiza y Formentera, 2000 b). No obstante, se ha puesto en práctica en algunos campos piloto medidas correctoras que pueden impedir o minimizar la afección a las aguas subterráneas. Entre las más innovadoras destaca la impermeabilización de la zona de contacto entre el acuífero y el campo de golf o la utilización de otras variedades de césped que necesitan menos volúmenes de agua y fertilizantes. También, algunos sistemas de riego de bajo consumo están cada vez más extendidos.

Se ha puesto de manifiesto que la problemática de las aguas subterráneas ligada al incremento de campos de golf es de considerable trascendencia, sobre todo en regiones como Málaga, donde éstos representan una parte importante de su producción económica pero donde, en contraposición, el recurso hídrico es escaso y se encuentra al límite de su capacidad de uso.

Un campo de golf puede llegar a suponer un problema ambiental si el diseño y la gestión del mismo no contemplan, desde un primer momento, los posibles frentes del conflicto. El problema tanto cuantitativo como cualitativo del recurso en estas áreas es delicado, dada su escasez y la fuerte demanda para el soporte de la actividad deportiva y la complementaria (complejos residenciales, apartamentos y hoteles).

Campo de golf en Alhaurín de la Torre

La optimización del volumen de agua necesaria en un campo de golf, así como la repercusión de éste sobre la calidad de las aguas subterráneas está directamente relacionada con la planificación y gestión del mismo. En un campo de golf, el conocimiento de sus dimensiones, tipología, localización de éste con respecto al acuífero, así como de las diferentes zonas que componen este tipo de recintos es muy importante con relación a las áreas de recarga, descarga, el tipo de riego y la cantidad y la variedad de fertilizantes y plaguicidas utilizados, si se desea que la gestión para la práctica de esta actividad sea compatible con la pervivencia de los acuíferos.

Actualmente un campo de golf es, con mucha frecuencia, una construcción independiente del contexto hidrogeológico en el que se emplaza. La planificación, tanto de su ubicación como de su gestión, está hecha bajo una concepción socioeconómica en el que el aspecto ambiental suele limitarse a la intensidad del color verde del césped. Ello provoca que detrás de cada solución pueda surgir un nuevo problema, al existir una importante carencia de planificación basada en criterios técnico-ambientales rigurosos que definan las directrices en las que un campo de golf debería desarrollarse.

Campo de golf en construcción en Antequera

3.

24 Campos de golf y aguas subterráneas en la provincia de Málaga

Campo de golf en la costa de Marbella, junto al Río Guadalmina

Campo de golf y urbanismo en el término municipal de Mijas

Un campo de golf debe estar completamente integrado en el ciclo del agua ya que es éste el que permite su existencia y actividad. Su diseño debe hacerse bajo una perspectiva racionalmente ecológica donde el marco hidrogeológico esté perfectamente definido. Un recinto de estas características, así como su actividad, debe adaptarse a las características del entorno y de la dinámica hidrogeológica. De esa forma, es posible evitar la aparición de nuevos problemas ligados a actuaciones correctivas puntuales. Si estos aparecen, probablemente estarán enmarcados en un equilibrio natural donde el riesgo, de explotación o contaminación, será mínimo y su resolución será de fácil ejecución.

La gestión del agua en un campo de golf pasa por un conocimiento amplio de su comportamiento y del entorno. Disponer de información climática, hidrogeológica, edafológica y biológica es esencial para la gestión de un campo de golf. El diseño del modelo debe ser acorde con las características físicas y ambientales del entorno. Por tanto, en el caso de la provincia de Málaga, los campos de golf deben evolucionar a instalaciones de tipo mediterráneo, donde el consumo de agua y el tipo de césped sean sostenibles con la disponibilidad de los recursos naturales y su tratamiento menos agresivo. Además, ésta ha de ser integral y específica en cada caso, ya que las diferencias climáticas e hidrogeológicas, regionales y locales, son determinantes.

Los campos de golf representan un aspecto más del complejo mosaico de usos del agua en la provincia de Málaga. Su creciente evolución, tal vez, ya no sea sostenible con el marco ambiental en general e hidrogeológico en particular. Sin embargo, no debemos olvidar que otros tipos de recintos que desempeñan actividades ociosas-deportivas también consumen importantes volúmenes de agua. Además, la productividad económica para las regiones donde se ubican estas instalaciones deportivas es muy significativa, lo cual es un aspecto a tener en cuenta, y debe ser analizado comparativamente con otras actividades.

3.25

Uso recreativo de las aguas y deportes de naturaleza

3.25

Uso recreativo de las aguas y deportes de naturaleza

José Antonio Berrocal Pérez

Sostiene un profesor de lingüística de la Universidad de Málaga que, en el origen de los topónimos, la palabra más antigua conocida, debió ser algo así como *"hu"* y se empleó para designar el agua. No sabemos muy bien si esto será cierto o no, pero está claro que los pueblos primitivos, para moverse por un territorio, debían conocer los lugares con agua, antes que cualquier otra cosa, para poder sobrevivir y que una de las primeras palabras que debió inventar fue la que le permitió designar al líquido elemento.

Pasados los años, el agua sigue siendo un bien escaso pero, en cambio, la cultura del ocio ha creado una serie de actividades deportivo-recreativas que tienen el agua o sus entornos como protagonista. Seguimos discutiendo sobre su escasez pero no renunciamos al uso, en algunos casos desmedido, del agua en lo que significa la nueva cultura lúdico deportiva.

El paradigma que resume estas actividades es el moderno parque acuático ó "Acuapark". Los parques de ocio acuático se crean en el año 1971 en California y la moda llega a España en el año 1984, instalándose el primero de ellos precisamente en Málaga. Hoy no se concibe un lugar de recreo, que se precie, sin que se instale uno de estos modernos parques de ocio y diversión. No obstante, estas instalaciones adolecen, en general, de un entorno natural donde los visitantes entren directamente en contacto con la naturaleza y, por ello, los deportes acuáticos siguen siendo la alternativa más interesante y practicada por una gran parte de la población.

La mayoría de los deportes acuáticos tienen la posibilidad de una práctica marina y otra similar de tipo continental. Si nos ceñimos a los más extendidos tendremos:

Natación

Aprendemos a nadar antes que a caminar. La natación es un deporte competitivo desde 1858 y Deporte Olímpico desde 1896. Es además una actividad recomendada en rehabilitación de dolencias de espaldas. La modernidad ha hecho que todos los pueblos del interior cuenten con piscinas públicas, la mayoría de las veces municipales, que funcionan durante varios meses dentro de la temporada de verano. La natación en ríos y pantanos se debe practicar con suma prudencia ya que encierra ciertos peligros que no debemos ignorar.

Piragüismo

Muy practicado en ríos y pantanos, es una actividad recreativa que nos permite conocer los paisajes desde nuevos puntos de vista al tiempo que nos movemos por un territorio. El tramo medio e inferior del Guadalhorce es ideal para la práctica de este deporte.

Los clubes de Málaga han dado varios campeones y campeonas autonómicas y nacionales en diversas especialidades competitivas.

Piragüismo

Kayak

Kayak

Es el descenso de aguas bravas. Esta modalidad queda reservada a los más intrépidos, ya que requiere un buen manejo de este tipo de canoa y una buena forma física para superar las posibles caídas al río. En Málaga se puede practicar en las épocas de invierno en muchos de nuestros ríos y durante el resto del año, en las inmediaciones del municipio de Cuevas de San Marcos, aprovechando los desembalses semanales del pantano de Iznájar.

Ruta del Río Manilva

Rafting

Constituye el descenso de aguas bravas en balsas neumáticas. Se puso muy de moda por los descensos del Gran Cañón del Colorado. En España se practica principalmente en el Pirineo catalán y aragonés, donde los ríos caudalosos permiten esta modalidad deportiva. Pero también es posible su práctica en algunos tramos de aguas bravas de los ríos andaluces.

Vela

Las pequeñas embarcaciones se pueden ver, con cierta frecuencia, en los embalses de la provincia. No es una actividad muy extendida pero cada día va en aumento y ya se pueden ver algunas velas ondeando al viento en los embalses de La Viñuela o de El Chorro.

Descenso de cañones

En este deporte, a caballo entre los parques acuáticos y el senderismo, el agua juega un comportamiento lúdico de sumo interés. Sin embargo, los primeros cañones los exploró E. A. Martel, padre de la espeleología moderna, en la región del Jura francés, en 1905. Su práctica combina el descenso en rapel de verticales, en algunos casos con presencia de agua en forma de cascadas, y la natación en las pozas de aguas que se forman. En Málaga no existen grandes barrancos, pero los de tipo medio existentes son muy visitados por particulares y empresas de turismo activo.

Ruta del Río Manilva

Kayak polo

Se trata de una disciplina deportiva de nueva implantación. Se inicia en los años 80 y consiste en un juego por equipos en piscina en que desde la canoa y con ayuda de las propias palas se deberá encestar el balón en un rectángulo a modo de portería. Se realiza en piscinas y estanques. En Málaga existen dos clubes que practican esta especialidad.

Kayak polo

La Acequia, ruta por Canillas de Aceituno

Ruta del Cañón del Bellamina (Benahavís)

Ruta del Cañón del Bellamina (Benahavís)

3.

25 Uso recreativo de las aguas y deportes de naturaleza

Espeleología en la cueva Motillas

Espeleología en el Lago de Baco (sistema Hundidero-Gato)

Espeleobuceo en sima GESM

Espeleobuceo en el Manantial de Zarzalones (Yunquera)

Espeleología

El agua ha venido a determinar la formación de las grandes cavidades. La exploración de grandes redes con ríos subterráneos sigue siendo el gran reto de la espeleología. Ha sido siempre una actividad en donde el agua ha tenido un papel importante. Una actividad con casi doscientos años de práctica y que en los últimos cincuenta se ha enfocado más como un deporte recreativo. El Complejo Hundidero-Gato es un referente en la espeleología recreativa y en donde el agua juega un papel decisivo.

Espeleobuceo

Allí donde el agua detuvo a los espeleólogos se impusó la necesidad de bucear. Al principio con rudimentarios métodos. El explorador Casteret, en Francia, lo hizo con una vela envuelta en papel con parafina y cruzó un sifón en la caverna de Montespan en apnea. Al otro lado encendió la vela y pudo descubrir con asombro, grabados, pinturas y esculturas modeladas en arcilla de época prehistórica en uno de los descubrimientos épicos del primer tercio del siglo XX. El sifón de Sima GESM, a -1.101 metros de profundidad, y el de la Surgencia de la Cueva de Zarzalones, con más de un kilómetro de galerías exploradas y 72 metros de profundidad máxima, son sin duda dos de los retos más importantes de los varios existentes en la provincia.

Buceo

La turbidez de las aguas no hace aconsejable su práctica en apnea ya que es frecuente el enredo con ramas en sus fondos. Con el uso de botellas de aire comprimido (scuba) se realizan pruebas deportivas de orientación en pantanos y lagos.

3.26

Educación y divulgación de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga

3.26

Educación y divulgación de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga

Gerardo Ramos González

La educación ambiental en materia de aguas subterráneas en la provincia de Málaga no está específicamente contemplada en ningún ámbito como tal, excepto en algún "master" o en cursos específicos avanzados. Algunas instituciones generan material mediante el que se pretende dar a los jóvenes unos conocimientos que, por no ser materia curricular en su aprendizaje del colegio, no adquirirían sin una enseñanza superior específica.

El CD de las aguas subterráneas del IGME corre a cargo de una gota de agua: "Ploppy"

En Colegios e Institutos

La enseñanza en colegios e institutos está reglada por la Junta de Andalucía. Los temarios incluyen una amplia visión sobre las aguas en general y sobre las aguas subterráneas en particular, tanto en los cuatro cursos de la Enseñanza Secundaria Obligatoria (ESO) como en el Bachillerato y, este último las estudia con más profundidad en Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente que en Ecología.

Ser imparten los siguientes temas relacionados en mayor o menor medida con las aguas subterráneas:

Juego del ciclo hidrológico a gran escala, producido por el IGME, para congresos y colegios

En ESO

	1º	2º	3º	4º
El agua altera las rocas	■	■		
La erosión debida al agua	■	■		
La infiltración: aguas subterráneas, acuíferos	■	■		
La energía hidráulica		■		
Contaminación de las aguas				■

En Bachillerato

	Especialidad	
	Ciencias de la tierra y Medio Ambiente	Ecología
Usos del agua: agricultura, ganadería e industria	■	■
Riesgos debidos al agua	■	
Circulación del agua	■	■
Influencia del agua en el clima	■	
Contaminación del agua	■	
Gestión del agua	■	■
Tipos de aguas		■
Recursos y demandas hídricas en Andalucía		■

En la Universidad

No hay cátedras específicas relacionadas con las aguas subterráneas, no obstante, en la Facultad de Ciencias de la Educación hay varias asignaturas que tratan (no de manera exclusiva) el tema de las aguas subterráneas y la educación ambiental.

En la Facultad de Filosofía y Letras, concretamente en la Licenciatura de Geografía se imparte la asignatura de Hidrogeografía, dedicada a algo así como "el agua en el planeta Tierra" en la que se prestaba atención a todas las componentes del ciclo hidrológico, entre ellas las aguas subterráneas dedicando temas a: infiltración, características y tipos de acuíferos, acuíferos detríticos y kársticos, etc.

En la Facultad de Ciencias se imparten varias asignaturas relacionadas con las aguas subterráneas, la mayoría dentro de la Licenciatura de Ciencias Ambientales: Hidrogeología, El Medio Físico y Evaluación de Impacto Ambiental y Gestión de Recursos Naturales.

Además, hay una asignatura de Libre Configuración llamada específicamente Aguas Subterráneas y que cursan alumnos de Ingeniería Química, Biología y Química.

Cursos y congresos

La provincia de Málaga ha sido sede de numerosos eventos locales, regionales, nacionales e internacionales sobre aguas subterráneas. En concreto, en los últimos años se han celebrado 3 simposios internacionales sobre karst (2 en Nerja, años 1999 y 2002 y otro en Málaga, 2006).

También en Málaga se ha llevado a cabo el Congreso AQUAinMED (2006), la 31 Sesión Científica de la Sociedad Geológica de España (Nerja, 2001) y varias reuniones internacionales de Acciones Europeas COST y de Proyectos del PIG de la UNESCO.

Recientemente, la Universidad de Málaga y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) han firmado un convenio de colaboración por el cual se ha constituido la Unidad Asociada entre el Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga y el Instituto Geológico y Minero de España "Unidad Asociada para Estudios Hidrogeológicos avanzados". Una de sus misiones será poner en marcha cursos de formación para graduados, en las sedes de verano de la Universidad de Málaga o en colaboración con otras instituciones.

Publicaciones

No hay publicaciones periódicas sobre aguas subterráneas, aunque si esporádicas. Por ejemplo, el Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Málaga o las publicaciones científicas del Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga.

La página web del Grupo de Hidrogeología está dentro de la de la Universidad de Málaga: www.uma.es

Rectorado de la Universidad de Málaga

3.

Fundación Cueva de Nerja

La Cueva de Nerja desarrolla desde 1998 una actividad didáctica que se llama "Vivir la Prehistoria" enfocada a estudiantes de secundaria y bachillerato. Tiene lugar desde enero hasta junio y no sólo tiene contenido arqueológico, sino que dedica parte del mismo al agua subterránea.

Actividades de investigación:

Desde el Instituto de Investigación de la cueva de Nerja (IICN) se desarrolla, entre otros, un proyecto de investigación relativo a la hidrogeología de la cueva y su entorno. Este proyecto empezó a realizarlo en 1991 el Grupo de Hidrogeología de Málaga y después lo asumió el IICN.

Atienden a cualquier grupo de estudiantes que tenga interés en algún aspecto relacionado con la cueva (mayoritariamente el interés se centra en aspectos hidrogeológicos relacionados con el karst). Como visitas "fijas" reciben estudiantes de las universidades de Granada, de Málaga y de Almería, de las licenciaturas de Geología y Ciencias Ambientales. También reciben con frecuencia estudiantes universitarios extranjeros (Reino Unido, Alemania, Eslovenia...)

La Fundación Cueva de Nerja participó en la agenda de actividades de la V Semana de la Ciencia de Andalucía del año 2005 a través de la realización de la actividad denominada "Conoce el mundo subterráneo: la Cueva de Nerja" y tiene previsto seguir participando en futuras convocatorias.

Visita de un colegio a la cueva de Nerja

Publicaciones

Tan sólo 3 años después del descubrimiento se publicó la primera de las guías de la Cueva, en la que puede observarse el interés científico que despertó la misma desde sus primeros momentos.

En 1986 la Fundación Gestora de la Cueva comienza la publicación de los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en la Cueva de Nerja.

Cursos y Congresos

La cueva ha participado activamente en la celebración de congresos de Geología y de Prehistoria, desde 1996. También celebró una reunión de Investigadores (más de 100) relacionados con la cueva, en el año 1998 y el I Simposio de Geología en la cueva en 1999 para universitarios. La cueva dispone de un apartado científico en su página web: www.cuevanerja.com

Instituto Geológico y Minero de España

Hidrogeología y aguas subterráneas

Material educativo del IGME

La Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) ha producido diferente material de apoyo a la educación ambiental en materia de aguas subterráneas. En los últimos años ha sido el siguiente:

- Colección de carteles: Agua y Naturaleza.
- Vídeo "lucha contra la contaminación: las aguas subterráneas".
- Libro Las aguas subterráneas. Un recurso del subsuelo. Ediciones en español e inglés.
- Colección de carteles: Educación Ambiental.
- CD las aguas subterráneas. Un tesoro que hay que conservar.
- CD Descubre el equilibrio sostenible con Ploppy. Ediciones en español e inglés.
- Juego del ciclo de agua. Ediciones en español e inglés, y versión a gran escala para congresos y colegios.

Este material está dirigido a diferentes públicos objetivo, desde el público en general hasta diferentes tramos de edades escolares y profesorado.

Juego del ciclo hidrológico producido por el IGME

3.27

Bibliografía

3.27

Bibliografía del Tomo 3

- A.M.A. (1991): Guía de los Espacios Naturales de Andalucía. *Ed. Incaf,* 192 p. Madrid.
- Academia Malagueña de Ciencias, España, 22/05/07, http://www.academiamalaguenadeciencias.com
- ACUSUR (2005): Gestión Integral de los recursos hídricos de la Costa del Sol y de la ciudad de Málaga.
- Agencia Andaluza del Agua (2006): Breve guía del patrimonio hidráulico de Andalucía. *Consej. de Med. Amb. de la Junta de Andalucía,* 277 p. Sevilla.
- Alarcón, F. (2000): Historia de la electricidad en Málaga. *Editorial Sarriá,* 126 pp. Málaga.
- Alcalá Marín, F. (1980): Marbella de ayer.
- Almecija, C. (1997): Estudio hidrológico e hidroquímico de los sistemas lagunares del norte de la provincia de Málaga. Tesis doctoral, *Universidad de Granada,* 518 p.
- Andreo, B. (1997): Hidrogeología de acuíferos carbonatados en las Sierras Blanca y Mijas. *Universidad de Málaga,* 489 p.
- Andreo B.; Vías J.M.; Perles M.J.; Carrasco F.; Vadillo I.; Jiménez, P. (2002): Ensayo metodológico para la protección de aguas subterráneas en acuíferos carbonatados. Aplicación al sistema de Torremolinos. En: *Jornadas sobre Presente y Futuro del Agua Subterránea en España y la Directiva Marco Europea, AIH-GE, Zaragoza,* 147-153.
- Andreo, B.; Vías, J.; López-Geta, J.A.; Carrasco, F.; Durán, J.J.; Jiménez, P. (2004): Propuesta metodológica para la evaluación de la recarga en acuíferos carbonáticos. En: *Boletín Geológico y Minero,* 115(2):177-186.
- Andreo, B.; Goldscheider, N.; Vadillo, I.; Vías, J.M.; Neukum, C.; Sinreich, M.; Jiménez, P.; Brechenmacher, J.; Carrasco, F.; Hötzl, H.; Perles, M.J.; Zwahlen, F. (2005): Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risk mapping in the Sierra de Líbar (Southern Spain). In: *Science of the Total Environment,* 357, 54-73.
- Baeza, J.; López Geta, J.A.; Ramírez, A. (Eds.) (2001): Las aguas minerales en España. *Inst. Geol. y Min. de España,* 454 p. Madrid.
- Balmaceda, J.C. (1998): Los batanes papeleros de Málaga y su provincia. Colección Textos mínimos, *Universidad de Málaga,* 190 pp. Málaga.
- Balmaceda, J.C. (2003): La industria papelera de Mijas. Una frágil prosperidad en el siglo de la industrialización española. Colección Osunillas, *Museo Histórico Etnológico de Mijas.* 152 pp. Málaga.
- Baquero Luque, J. "Una Historia de Benalmádena".
- Base de datos AGUAS. IGME, Hidrogeología y Aguas Subterráneas. 10/10/06. www.igme.es. E-mail: I.gomez@igme.es
- Benavente, C.; Alcécija, C.; Rodríguez, M.; Carrasco, F. y Rodríguez, P. (2000): Características de los depósitos de la laguna de La Ratosa (Málaga). *Geogaceta, nº 28.* 19-22.
- Bernués, M. (1998): Humedales españoles inscritos en la lista del Convenio de Ramsar. Colección Técnica, Parques Nacionales. *Ministerio de Medio Ambiente,* 386 p.
- Berrocal Pérez, J.A.; Wallace Moreno, L. (2002): Guía de las cuevas de Málaga. *CEDMA.* 2ª Ed.
- Bestue, I. y González, I. (coords.) (2006): Breve guía del patrimonio hidráulico de Andalucía. *Junta de Andalucía.* 277 pp. Sevilla.
- Blumenthal, M.M. (1949): Estudio geológico de las cadenas costeras al oeste de Málaga, entre el Río Guadalhorce y el Río Verde. *Boletín Instituto Geológico y Minero de España,* 52: 11-203.
- B.O.E. nº 15 de 18 de enero de 2005. Real decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.
- Branham, B.; Miltnert, E.; y Rieke, P. (1995): Potential groundwater contamination from pesticides and fertilizers used on golf course. *Michigan University,* 33 (1): 33-37. Michigan.
- Bruneau, A.; Williams, B.; Lucas, L.; Peacock, C. y Bowman, D. (1995): Water quality and golf course superintendents. *North Carolina Cooperative Extension Service.* WOWM-154. 12 p. North Carolina.
- Burillo Panivino, F.J. (1998): El karst del Torcal de Antequera. En: *Karst en Andalucía* (Durán y López Martínez, Eds.), 153-164. IGME.
- C.D. Exploraciones Subterráneas Tolox (2007): Cueva Río Verde de Tolox. Nota de Prensa.
- Cabrera, F. y Olmedo, M. (2006): Málaga a Fines del siglo XVIII. *Real Academia de Bellas Artes de San Telmo,* 97 pp. Málaga.

- Cabrero García, R. (1976): La Cueva del Gato. *Ed. Caja de Ahorros de Ronda.* Málaga.

- Calaforra, J.Mª. (1998): Karstología de yesos. *Instituto de Estudios Almerienses,* 384 p.

- Cámara de Comercio de Mallorca, Ibiza y Formentera. (2000a): Informe Campos de Golf III. Dosis de Riegos. *Cámara de Comercio,* 4 p. Palma de Mallorca.

- Cámara de Comercio de Mallorca, Ibiza y Formentera. (2000b): Informe Campos de Golf IV: Una aproximación al estado actual de los campos. *Cámara de Comercio,* 9 p. Palma de Mallorca.

- Cantalejo, P., Espejo, M.M., Maura, R., Ramos, J., Medianero, J. y Aranda, A. (2005): Vínculos iconográficos, económicos y sociales de los grupos humanos del Paleolítico Superior con el agua (el caso malagueño). *VI Simposio del Agua en Andalucía.* Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 14, pp. 1401-1413. IGME, Madrid.

- Cantalejo Duarte, P.; Maura Mijares, R.; Becerra Parra, M. (2006): Arte rupestre prehistórico en la Serranía de Ronda. Valles del Guadiaro, Turón y Guadalteba. *Ed. La Serranía,* 176 p. Ronda (Málaga).

- Carrasco, F. (1986): Contribución al conocimiento de la cuenca alta del río Guadalhorce. El medio físico. Hidrogeoquímica. Tesis doctoral, *Universidad de Granada,* 435 p.

- Carrasco, F.; Sánchez, D.; Vadillo, I.; Fernández, A.; Pérez, R.; Benavente, J.; Almécija, C.; Fernández, L. y Martínez, C. (2005): Caracterización Hidroquímica de las Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Guadalhorce (Provincia de Málaga) para la Aplicación de la Directiva Marco de Aguas. En: VI *Simposio del Agua en Andalucía,* 543-551. Sevilla.

- Carrera, A. (coord.) (2006): El agua en la provincia de Málaga. *Academia Malagueña de Ciencias.* 15 pp y 3 anejos. Málaga.

- Carter, F. (1981): Viaje de Gibraltar a Málaga. *Ed. Excma. Diputación Provincial de Málaga.* 117-118. Málaga.

- Catalán Monzón, F.M. (2005): Manantiales de Málaga, sus aguas, las ciencias y sus cosas. *Ed. Centro de Ediciones de la Diputación de Málaga,* 468 p. Málaga.

- CHSE (1987): Estudio hidrológico de los ríos Vélez y Benamargosa.

- CHSE (1988): Inventario de surgencias de aguas de origen continental en el litoral mediterráneo de la cuenca Sur, mediante utilización de sensores térmicos aerotransportados con apoyo de técnicas oceanográficas e hidrogeológicas.

- CHSE (1992): Estudio hidrogeológico y de evaluación de recursos subterráneos en la zona de Alhaurín de la Torre (Málaga, Sierra de Mijas).

- 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.

- CHSE (1999): Proyecto de instalación, mantenimiento y operación de redes oficiales de control de aguas subterráneas. Piezometría, hidrometría y calidad. Cuenca Sur.

- CHSE (2001): Estudio de utilización conjunta de recursos superficiales y subterráneos de la cuenca del río Guadalhorce (Málaga).

- Coates, J.D. & Achenbach, L.A. (2002): The biogeochemistry of aquifer systems. En: *Manual of Environmental Microbiology,* 2nd ed. Hurst, C.J., Crawford, R.L., Knudsen, G.R., McInerney, M.J. & Stetzenbach, L.D. (eds.), 719-727. ASM Press. Washington, D.C. USA.

- Compañía Sevillana de Electricidad (1989): Revista Guadalquivir año 1989. *Compañía Sevillana de Electricidad.*

- Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (1999): Contaminación de suelos por compuestos orgánicos.

- Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. (1999): Estudio de Elementos traza en Suelos de Andalucía.

- Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (1999): Los criterios y estándares para declarar suelos contaminados en Andalucía y la metodología y técnicas de toma de muestras y análisis para su investigación.

- Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucia. 29 de noviembre 2006, http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente. e-mail:informacion@juntadeandalucia.es

- Cruz-Sanjulián, J.J. (1974): Estudio geológico del sector Cañete La Real-Teba-Osuna (Cordilleras Béticas, sector occidental). Tesis doctoral, *Universidad de Granada,* 431 p.

- Cuenca Mediterránea Andaluza (2005): Definición del contexto hidrogeológico de humedales andaluces.

- Cuenca Mediterránea Andaluza (2005): Estudio para la protección de los recursos hídricos subterráneos de la Sierra de Mijas.

- Davó Díaz, P.J.(1986): El Acueducto de San Telmo.

- De la Rosa, Mª del Carmen; Mosso Romero, Mª Angeles. (2000): Diversidad microbiana de las aguas minerales termales. En: *Panorama actual de las aguas minerales y minero-medicinales de España* (J.A. López Geta y J.L. Piragua Espejel, Eds.). 153-158.

- De Orueta y Duarte, D. (1885): Informe sobre los terremotos ocurridos en el Sur de España en diciembre de 1884 y enero de 1885. *Imprenta de Fausto Muñiz,* 52 pp+ fotografías y 1 mapa a e. 1:400.000. Málaga

- Del Pozo, M., Durán, J.J., Fernández Uría, A., García de la Noceda, C. y Murillo, J.M. (2001): Aguas subterráneas, paisaje y vida. Acuíferos de España. *Instituto Geológico y Minero de España,* Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 2, 470 pp. Madrid.

- DGOH y CA (1989): Las unidades hidrogeológicas de las Sierra de Libar (00.06) y Grazalema (05.64). *Ministerio de Medio Ambiente.*

- DGOH y CA (2000): Propuestas para la redacción del Plan de Protección Hídrica de la Laguna de Fuente de Piedra (Málaga). *Ministerio de Medio Ambiente.*

- DGOH y Junta de Andalucía (1994): Estudio previo de la determinación de fuentes de abastecimiento de agua a Antequera.

- DGOH y Junta de Andalucía (1995): Estudio previo para determinación de fuentes alternativas de abastecimiento de agua a los municipios de Archidona y Villanueva del Trabuco.
- DGOH y Junta de Andalucía (2002): Estudio hidrogeológico de la Sierra de Cañete.
- Diputación Provincial de Málaga (1988): Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Málaga. *Diputación Provincial de Málaga,* 151 p. Málaga.
- Dupuy de Lôme, E. (1923): Estudio acerca de la cuenca hidrológica de la Sierra de Mijas o Torremolinos. Informe IGME, 21 p.
- Durán Valsero, J.J. (1981): El sistema Hundidero-Gato. En: *Sociedad Excursionista de Málaga, 75 Aniversario 1906-1981.*
- Durán Valsero, J.J. (1981): Sobre la existencia de cantos blandos de arcilla y cantos de arcilla armados en el sistema Hundidero-Gato (Málaga). En: *Sociedad Excursionista de Málaga, 75 Aniversario 1906-1981.*
- Durán Valsero, J.J. (1996): Los sistemas kársticos de la provincia de Málaga y su evolución: contribución al conocimiento paleoclimático del Cuaternario en el Mediterráneo occidental". Tesis doctoral, *Universidad Complutense de Madrid.*
- Durán, J.J. (Ed.) (1998): El Patrimonio Geológico de la Comunidad de Madrid. *Sociedad Geológica de España,* 290 p. Madrid.
- Durán Valsero, J.J.; López Martínez, J, (Eds.) (1999): El karst en Andalucía. *Ins. Tecn. y Geomin. de Esp.* Madrid.
- Durán, J.J.; Fernández, M.L.; López-Geta, J.A.; Mateos, R.M. y Robledo, P. (2001): Las Aguas Subterráneas y los Campos de Golf. Una Aproximación Integradora. En: *V Simposio sobre el Agua en Andalucía.*
- Durán, J.J.; Fernández, J.; López-Geta, J.A.; Mateos, R. y Robledo P.A. (2002): Los campos de golf y las aguas subterráneas. *SIAGA.* 173-182.
- Durán Valsero, J.J.; García de Domingo, A.; López Geta, J. A., Robledo, P. A. y Soria, J. M. (2002): Humedales del Mediterráneo español: modelos geológicos e hidrogeológicos. Serie Hidrogeología Nº 3. *Inst. Geol. y Min. de Esp.* 160 p. Madrid.
- Durán, J.J. y de las Heras, A. (Coords) (2006): Inventario de lugares de interés hidrogeológico de Andalucía. *Instituto Geológico y Minero de España, Instituto del Agua de Andalucía. Agencia Andaluza del Agua, Junta de Andalucía.*
- Environnemental Protection Bureau (1991): Risking Groundwater Contamination from pesticides on Long Island Golf Courses. *Attorney General of New York.* 12 p. New York.
- Espinel, V. (1965): El escudero Marcos de Obregón. *Ed. Ramón Sopena S.A.* 98-100. Barcelona.
- Federación Andaluza de Golf (2006), España, www.fga.org/clubes/índice.asp
- Fernández, C. (1842): Historia de Antequera desde su fundación hasta el año 1800.
- Ferrer Martín, R. (2003): Sima del Aire. En: *Monografías Espeleológicas,* nº 5. Grupo de Exploraciones Subterráneas de la Sociedad Excursionista de Málaga.
- Ferrer Martín, R.; Lopera Alcalá, J. (2006): Exploraciones del GES de la SEM en la Sierra de las Nieves. En: *Andalucía Subterránea,* nº 16. FAE.
- Ganfornina Moreno, J. F.; Durán Aranda, J. A. y Durán Valsero, J. J. (1981): Cueva de la Fájara. Canillas de Aceituno. En: *Sociedad Excursionista de Málaga, 75 Aniversario 1906-1981.*
- Ganfornina Moreno, J.F. (2003): Cueva de la Fájara y su entorno: tres años de exploraciones: 1997-2000. En: *Monografías Espeleológicas,* nº 5. Grupo de exploraciones Subterráneas de la Sociedad Excursionista de Málaga.
- García Arostegui, J.L. (1998): Estudio hidrogeológico y modelización del acuífero de los ríos Vélez y Benamargosa (Málaga). Tesis doctoral. *Universidad de Granada,* 377 p.
- García-Aróstegui, J.L.; Hidalgo-Estévez, M.C.; Cruz-Sanjulián, J.J. y Augustín, C. (1997): Presencia de plaguicidas en las aguas subterráneas del acuífero detrítico del Río Vélez (Provincia de Málaga). En: *Geogaceta,* 21: 105-107.

- Garrido, A. (2006): Viajeros del XIX cabalgan por la Serranía de Ronda. El camino inglés. *Editorial La Serranía,* 427 pp. Ronda.
- Gerrero Sánchez, M.J. (2005): Sierra de las Nieves, Simas, Cuevas y Barrancos. *Ed. La Serranía.* Ronda.
- Gómez Moreno, M.L. (1989): La montaña malagueña: estudio ambiental y evolución de su paisaje. *Ed. Servicio de publicaciones de la Diputación provincial de Málaga.* 412 p. Málaga.
- Gozalbes Cravioto, C. (1995): La Fuente y el Puente del Rey.
- Greenslade, P. J. M. (1983): Adversity selection and the habitat templet. *Am. Nat,* 122:352-365.
- Guzmán del Pino, J.L. (2003): Estudio hidrogeológico, edáfico y de contaminación salina en la cuenca media del río Guadalhorce (Málaga). Tesis doctoral. *Universidad de Granada.*
- Henares, E. (1839): Carratraca. En: *El Guadalhorce.* Periódico semanal de Literatura y Artes (21/7/1839). *Imprenta del Comercio.* Málaga.
- Heredia, J.; Ruíz, 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, F.M. y Muñoz, J. (2005): Fuente de Piedra. Memoria gráfica. *Ayuntamiento de Fuente de Piedra,* 281 pp. Málaga.

- IARA (1988): Estudio hidrogeológico de la Sierra de Mollina-Alameda.
- IARA (1988): Estudio hidrogeológico del acuífero de los Llanos de Antequera.
- IARA (1991): Investigación de los acuíferos de la Sierra de Almijara, Axarquía Este, Málaga.
- IGME (1982): Definición y funcionamiento de los sistemas acuíferos de la cuenca sur (sector occidental).
- IGME (1983): Calidad de las Aguas Subterráneas en Andalucía: Situación Actual y Focos Potenciales de Contaminación. *Ins. Geol. y Min. de Esp.* 92 p.
- IGME (1983): Investigación hidrogeológica de las cuencas del Sur de España (sector occidental).12 informes técnicos.
- IGME (1984): Estudio hidrogeológico de la cuenca de Fuente de Piedra.
- IGME (1985): Estudio del sistema acuífero nº 38 Sierra Blanca-Sierra de Mijas. Hidrogeología, calidad y utilización del agua.
- IGME (1988): Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga. *Diputación de Málaga* 151 pp., Gráficas Urania S.A. Málaga
- IGME (1996): Modelización matemática del flujo subterráneo en el sistema acuífero del Bajo Guadalhorce.
- IGME (1999): Calidad Química y Contaminación de Aguas Subterráneas en España. Cuenca del Sur: Periodo 1982-1993. *Ins. Geol. y Min. de Esp.* 183 p.
- IGME (1999): Plan de integración de los recursos hídricos subterráneoas en el abastecimiento urbano: sistema de la Costa del Sol (Málaga).
- IGME (2000): Estudio hidrogeológico de posibilidades de mejora de los abastecimientos urbanos del norte de la provincia de Málaga.
- IGME, CHS y GHUMA (2004): Redefinición de las unidades hidrogeológicas de la Cuenca Sur. *Inst. Geol. y Min. de España, Conf. Hidrográfica del Sur y Grupo de Hidrogeología de la Univ. de Málaga.* Madrid.
- IGME-IRYDA (1975): Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Sur. Zona comprendida entre el límite occidental y el río Adra. Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas.
- INM (2007): Informe de la Primera Fase del Proyecto de Generación de escenarios regionalizados de cambio climático. *Instituto nacional de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente.* 17 p.
- Instituto Geográfico Nacional (2000): Corine Land Cover 2000. Cedé-ROM.
- Interclub Sierra de las Nieves (2005): Sima GESM, el reto continúa. En: *Andalucía Subterránea*, nº 16. FAE.
- Interclub Sierra de las Nieves (2006): El oscuro corazón de la Sierra de las Nieves. Alfaguara del Cinojal y Sima del Acebuche. En: *Andalucía Subterránea*, nº 17. FAE.
- IPCC (2007): Cambio Climático 2007: Las Bases Científicas y Físicas. Resumen para responsables de políticas. 4º Informe de Evaluación del IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). Ginebra, 21 p.
- ITGE (1997): Mapa de Contenido en Nitrato de las Aguas Subterráneas en España. Cuenca del Sur. *Ins. Geol. y Min. de Esp.* 112 p.
- ITGE (1998): Hidrogeología de la reserva natural de la laguna de Fuente de Piedra (Málaga). *Ed. Ins. Tecn. Geomin. de Esp.* 80 p. ISBN: 84-7840-334-5.
- Junta de Andalucía (1995): Estudio para la regulación de los consumos de los campos de golf de Andalucía. *Junta de Andalucía.* 31 p. Sevilla.
- Linares Girela, L.; Andreo Navarro, B.; Rubio Campos, J.C.; López Geta, J.A. (1992): Informe hidrogeológico sobre posibles alternativas para abastecimiento de agua a Fuengirola (Málaga). *Inst. Geol. y Min. de Esp.* Nota técnica nº 390. 42 p.
- Linares, L. (1990): Hidrogeología de la Laguna de Fuente de Piedra (Málaga). Tesis Doctoral. *Universidad de Granada.* 343 p.
- Liñán, C. (2005): Hidrogeología de acuíferos carbonatados en la unidad Yunquera-Nieves (Málaga). *Servicio de publicaciones del IGME*, serie Hidrogeología y Aguas subterráneas, nº 16, 334 p.
- Lopera Alcalá, J. (2003): Yunquera, estudios espeleológicos. En: *Monografías Espeleológicas*, nº 5. Grupo de Exploraciones Subterráneas de la Sociedad Excursionista de Málaga.
- López Geta, J.A.; del Valle Cardenete, M.; Trenado Navarro, L. (1981): Adecuación de los recursos hídricos de las surgencias naturales de Guaro a la demanda de la zona. En: *Simposio sobre el agua en Andalucía*, 767-784. Granada.
- Lucena, J.; Vadillo, I.; Rodríguez, E. y Rendón, M. (2006): Distribución espacio-temporal de plaguicidas organoclorados en los recursos hídricos de la cuenca de Fuente de Piedra (Málaga) (Ed., Instituto Geológico y Minero de España). En: *Las Aguas Subterráneas en los Países Mediterráneos. Hidrogeología y Aguas Subterráneas*, 17: 143-152.
- Lucena, J.; Vadillo, I.; Rodríguez, E. y Rubio, J.C. (2004): Variabilidad Espaciotemporal de la Hidrogeoquímica en la cuenca de la Laguna de Fuente de Piedra (Málaga). En: *IV Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua.* Tortosa.
- Mádoz, P. (1845): Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de España y sus posesiones de Ultramar.
- Marín, M. (1910): Los manantiales de Torremolinos. Trabajos de alumbramiento de aguas en la Pellejera. 38 p. Málaga. *Imp. Calvente y Castro.*

3.

27 Bibliografía

- Marzo, I. (1850): Historia de Málaga y su provincia.
- Mayoral Valsera, J. (2004): Investigaciones espeleológicas en Montejaque y Benaoján (Málaga). *Ayuntamiento de Montejaque.* Málaga.
- Medio ambiente, Brasil, 22/05/07, http://www.mre.gov.br/COBRASIL/ITAMARATY/WEB/espanhol/meioamb/ecossist/caverna/fauna/index.htm
- Millán Naranjo, J. (1999): Avance de las Exploraciones en el Polje de Líbar. En: *Andalucía Subterránea,* nº 13. FAE.
- MIMAM (2005): Evaluación Preliminar General de los Impactos en España por efecto del Cambio Climático. Proyecto Efectos del Cambio Climático en España (ECCE). *Ministerio de Medio Ambiente.* Madrid, 840 p. http://www.mma.es/oecc/impactos2.htm.
- MIMAM (2006): Guía Técnica de aplicación del Real decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. *Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente.*
- MIMAM (2006): II Plan Nacional de Recuperación de Suelos Contaminados 2007-2015. *Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente.*
- MINER-MOPTMA (1994): Libro Blanco de las Aguas Subterráneas. *Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente,* 135 p. Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente, España, 14/02/07, http://www.mma.es/secciones/agua/actuaciones/malaga.htm
- Miró, A. (1987): Ronda, arquitectura y urbanismo.
- Molina Muñoz, J.A. (1981): Los karst en yesos de la provincia de Málaga. Avance. En: *Sociedad Excursionista de Málaga, 75 Aniversario* 1906-1981.
- MOPU-IGME (1988): Estudio 07/88. Delimitación de las Unidades Hidrogeológicas del territorio Peninsular e islas Baleares y síntesis de sus características. Cuenca del Sur. *Ministerio de Obras Públicas y Transportes.* Informe no publicado. Madrid.
- Mora Figueroa, L. (1982): Pioneros del Complejo hipogeo Hundidero-Gato (Serranía de Ronda), Málaga. En: *Actas IV Congreso Nacional de Espeleología.* Tomo II. Málaga.
- Moreno Borrell, S. (Coord.) (1996): Guía verde de Málaga. *Ed. Primtel Ediciones,* 188 p. Málaga.
- Moreno Merino, L.; Navarrete Martínez, P.; Virgós Soriano, L. (1998): Conceptos básicos de microbiología de las aguas subterráneas. *Ins Técn. Geomin. de Esp.*
- Olmedo Checa, M. (1984): Las aguas de la Trinidad, manantiales de la Culebra y del Almendral del Rey. *Jábega nº48.*
- Orozco, J.C., Mayorga, J., Fernández, T., Gálvez, L., Plazaola, A., Fernández, A., Valero, J.A. y Fernández, E. (2004): Por los ríos de Málaga. *Ed. Airon Ediciones,* 173 pp. Málaga.
- Ortiz Lozano, F. (2001): Historias, familias y molinos de la villa de Mijas. Ed. *Ayuntamiento de Mijas y Diputación Provincial de Málaga,* 733 p. Málaga.
- Orueta, D. (1877): Bosquejo físico-geológico de la región septentrional de la provincia de Málaga. *Bol. del Mapa Geol. de España,* Tomo IV, pp 89-171.
- Otero, N.; Vitòria, L.; Soler, A. y Canals, A. (2005): Fertiliser characterisation: Major, trace and rare earth elements. En: *Applied Geochemistry,* 20: 1473–1488.
- Oxford Journal, England, 22/05/07, http://icb.oxfordjournals.org/cgi/content/full/45/5/764
- Pardo, L. (1948): Catálogo de los lagos de España. *Ministerio de Agricultura, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias,* 522 pp. Madrid.
- Parejo Barranco, A. (1987): Historia de Antequera.
- Pérez Hurtado de Mendoza, A. (coord.) (2004): Salinas de Andalucía. *Junta de Andalucía,* 304 pp. Sevilla.
- Pita López, M.F. (1999): Riesgos catastróficos y ordenación del territorio en Andalucía. *Consejería de Obras Públicas y Transportes, Junta de Andalucía.* Sevilla.
- Priestley, G. y Sabí, J. (1993): El medio ambiente y el golf en Cataluña: problemas y perspectivas. *Documents d'Anàlisis Geogràfica,* 23: 45-74 p. Barcelona.
- Prolongo, A. (1903): Las aguas de Málaga ante la higiene. *Andalucía Científica,* pp. 361-365, 382-386 y 401-404.
- Prolongo, P. (1875): Aguas de los pozos de Málaga. Actas de la SMCFN, Tomo IV, pp. 155-163. *Imprenta de la Revista de Málaga.*
- Puche, F. (2005): El agua en Málaga. *Airon Ediciones,* 157 pp. Málaga.
- Ramírez Trillo, F. (1995): Grandes Cavidades en la Provincia de Málaga. En: *Espeleotemas,* nº 5.
- Ramos Morente, M.; Manzano Remón, F. (Coords.) (1989): Guía de medio ambiente de la provincia de Málaga. *Ed. Área de Juventud de la Diputación provincial de Málaga.* 264 p. Málaga.
- Ramos, J. (1998): La ocupación prehistórica de los medios kársticos de montaña en Andalucía. En: *Karst en Andalucía,* J.J. Durán y J. López Martínez (Eds.) pp. 63-84. *Instituto Tecnológico Geominero de España,* Madrid.
- Robledo P.A.; Durán, J.J.; Fernández, J.; López-Geta, J.A. y Mateos, R. (2003): Los campos de golf y las aguas subterráneas. En: *Tecnoambiente,* 21. 36-40.
- Rodríguez, M. (2002): Contribución hidrogeológica y limnológica a la caracterización ambiental de zonas húmedas de Andalucía oriental. Tesis doctoral. *Universidad de Granada.*
- Romo, J.L.; Sánchez, A. (2005): El CES-ESCARPE finaliza la exploración de la Sima de la Nava, Sierra de las Nieves, Parauta. En: *Andalucía Subterránea,* nº 15. FAE.

- Rueda García, F. (2006): Por los caminos de la Axarquía. *Ed. Airon Ediciones,* 158 p. Málaga.
- Ruiz, I. (1923): Aguas artesianas y pozos artesianos. *La Gutenberg,* 276 pp. Valencia.
- Sánchez Martorell, A. y Linares Girela, L. (1994): Observaciones hidrogeológicas durante el bombeo experimental de la galería de Guaro realizado entre 1992 y 1993.
- Sánchez, D.; Vadillo, I.; Soler, A. y Carrasco, F. (2006): Determination of Sulphate Sources in the Water of the Guadalhorce River Basin by Means of Isotopic Techniques. En: Biogeochemical Dynamics from Soil to Groundwater (Vadillo, I. & Bedbur, E., eds.): 181-184.
- Sánchez, D.; Vadillo, I.; Carrasco, F. y Mancera, E. (2007): Contamination by Nitrogen Compounds from Agriculture-origin in a Porous Multilayer Aquifer (Guadalhorce river, South of Spain). En: International Conference on WAter POllution in natural POrous media at different scales. Assessment of fate, impact and indicators. WAPO2 (in press).
- Santiago Páez, E. y Wacquez, M. (1996): Teatro de las más ilustres ciudades de España y Portugal. *Lunwerg Editores.* Barcelona.
- Santiago, J.M. (1980): Influencia de la estructura en la génesis del karst de las Motillas. En: *Andalucía Subterránea,* nº 3. FAE.
- Serrano Lima, A.; López González, F.; López Serrano, F. (Coords.): Aqua Nostra, Agua de todos. El agua en la Costa Occidental Malagueña. *Ed. Asociación Cilniana,* 270 p. Marbella (Málaga).
- Serrano Lozano, F. (1993): Generalidades sobre la geología de la provincia de Málaga. En: *Comunicaciones de las IX Jornadas de Paleontología.* 17 p.
- Serrano Lozano, F.; Guerra Merchán, A. (2005): Geología de la provincia de Málaga. *Ed. Centro de Ediciones de la Diputación provincial de Málaga,* 294 p. Málaga.
- SGOP (1980): Captación del manantial salino subacuático de Meliones. Embalse Guadalhorce-Guadalteba.
- SGOP (1982): Estudio de los recursos hidráulicos de la cuenca del río Grande y su integración en el Plan Guadalhorce.
- SGOP (1986): Acuífero aluvial del río Vélez.
- SGOP (1991): Estudio hidrogeológico de las Sierras Tejeda, Almijara y Guájares.
- SGOP (1991): Estudio y captación de los manantiales salinos del embalse del Guadalhorce.
- Sierra de Cózar, P. (coord.) (1990): Datos básicos tomados de Antiguos sistemas de Suministro de Agua a Ronda. *Centro de Profesores de Ronda.*
- Soto Jiménez y Aranaz, L. (1979): Lacipo, ciudad turdetana y romana. *Jábega nº 28.*
- Stubbs, D. (1997): Comprometidos con el medio ambiente. Manual para campos de golf. *Comisión de las Comunidades Europeas,* 96/C/3.
- Universität Oldenburg, Germany, 22/05/07, http://www.unioldenburg.de/zoomorphology/Groundwater.html
- Vadillo, I. (2003): La contaminación por lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos en acuíferos carbonatados. El vertedero de la Mina (Marbella, Málaga). Tesis doctoral. *Universidad de Málaga,* 230 p.
- Vadillo, I. (2004): Contaminación de Acuíferos Kársticos. En: *Investigaciones en sistemas kársticos españoles* (Ed., Instituto Geológico y Minero de España). Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 12: 275-296.
- Vadillo, I.; Andreo, B. y Carrasco, F. (2005): Groundwater contamination by landfill leachates in a karstic aquifer. En: *Water, Air and Soil Pollution,* 165(1-4): 143-169.
- Vadillo, I; Benavente, J.; El-Mabrouki, K.; Carrasco, F.; López, V. y García-Aróstegui, J.L. (2007): Distribution of Nitrogen Species and Evidence of Denitrification in the Vélez River Aquifer (South of Spain). En: International Conference on WAter POllution in natural POrous media at different scales. Assessment of fate, impact and indicators. WAPO2 (in press)
- Vázquez Otero, D. (1987): Tradiciones malagueñas. *Ed. Arguval.* 105-111, 341-347. Málaga.
- Vera, J.A. (2004): Cordillera Bética. En: Vera, J.M. (Ed). *Geología de España,* IGME-Sociedad Geológica de España, 345-464. Madrid.
- Vías J.M. (2000): Evaluación y cartografía de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero carbonatado de Torremolinos (Málaga, España). Memoria de Licenciatura, *Univ. de Málaga,* 160 pp.
- Vías J.M. (2005): Desarrollo metodológico para la estimación y cartografía del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas mediante SIG. Aplicación en acuíferos del Sur de España. Tesis Doctoral. *Universidad de Málaga.* 423 p.
- Vías JM, Perles MJ, Andreo B, Carrasco F (2005) A comparative study of four schemes for groundwater vulnerability mapping in a diffuse flow carbonate aquifer under Mediterranean climatic conditions. *Environmental Geology* 47:586-595
- Vías J.M., Andreo B., Perles M.J., Carrasco F., Vadillo I. y Jiménez, P. (2006): Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method. Application in two pilot sites in Southern Spain. *Hydrogeology Journal* 14: 912-925.
- Wallace, L.; Berrocal J.A. (1995): Leyendas en cuevas de Málaga. Ed. Grupo de *Exploraciones Subterráneas de Málaga,* 65 p. Málaga.
- Wallace Moreno, M. y Berrocal Pérez, J.A., (2003): Nuevos datos sobre la Cueva de Belda (Cuevas de San Marcos). En: *Monografías Espeleológicas,* nº 5. Grupo de Exploraciones Subterráneas de la Sociedad Excursionista de Málaga.
- Zapata Tejedor, F. (1953): Captaciones de agua por pozos con colectores radiales. *Revista de Obras públicas.* Junio 1953. 280-285.