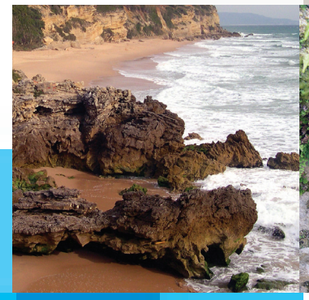
Indice








Atlas hidrogeológico de la PROVINCIA DE CÁDIZ

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España
Diputación de Cádiz

Indice

Atlas Hidrogeológico de la PROVINCIA DE CÁDIZ

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España
Diputación de Cádiz

Presentación



La Diputación de Cádiz dedica un considerable porcentaje de sus inversiones en infraestructura al ciclo hidráulico y asiste a los Ayuntamientos de nuestra Provincia técnica y económicamente en la mejora de sus instalaciones de abastecimiento, almacenamiento o distribución de agua potable.

En 1985 promovimos la elaboración del Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Cádiz, pionero en su género, en colaboración con el Instituto Geológico y Minero de España, que fue acogido con gran interés y agotó sus ediciones.

El avance científico en la investigación de los acuíferos y aguas superficiales en los últimos veinte años permite conocer mucho mejor sus posibilidades de explotación y sus calidades para el uso a que pueden destinarse disponiéndose ahora de datos actualizados y por lo tanto más completos y fiables. Por ello nos hemos creído en la obligación de promover en este 2005 la elaboración ex novo de un nuevo Atlas en colaboración una vez más con el IGME.

Ponemos a disposición de administraciones y particulares demandantes de concesiones en el dominio público hidráulico, ingenieros, empresas de consultoría, universitarios y estudiosos en general, una herramienta totalmente actualizada donde pueden obtener información muy valiosa.

Francisco González Cabaña

Presidente de la Diputación de Cádiz





El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) es un Organismo Público de Investigación adscrito al Ministerio de Educación y Ciencia a través de la Secretaria de Estado de Universidades e Investigación. Entre sus principales funciones, reguladas en el artículo 3º del RD 1953/2000, de 1 de diciembre, por el que se aprueba el Estatuto del Instituto Geológico y Minero de España, destaca que, son funciones del mismo: “la información, la asistencia técnico científica y el asesoramiento a las Administraciones públicas, agentes económicos y a la sociedad en general, en geología, hidrogeología, ciencias geoambientales, recursos geológicos y minerales”.

Estas funciones nos permiten, desde el punto de vista institucional, desarrollar numerosas actividades. Tenemos en nuestras manos la posibilidad de afrontar con decisión la elaboración de esta nueva edición del Atlas hidrogeológico de la provincia de Cádiz, donde se manifiesta, una vez más, el papel dinámico que las aguas subterráneas desempeñan en el medio natural gaditano.

El conocimiento hidrogeológico es la base en la que debe apoyarse la gestión hídrica de la provincia; ninguna actividad puede gestionarse sin conocer su funcionamiento, y el medio hídrico no es diferente. Por ello este conocimiento hidrogeológico es primordial y avanzar en este sentido es labor deseada y obligada del IGME. Con esta edición, realizada en colaboración con la Excelentísima Diputación Provincial de Cádiz, pretendemos dar a conocer cómo son y donde se localizan las aguas subterráneas de nuestro entorno.

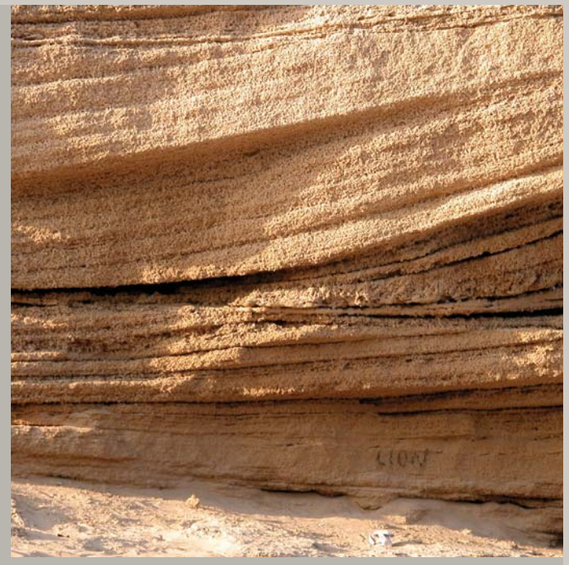
Esta tarea tiene especial relevancia este año, marcado por la escasez de precipitaciones, en el que los medios de comunicación y la población en general se hacen eco de la importancia que tienen las aguas subterráneas en el escenario hídrico. Desgraciadamente estos fenómenos suelen ser frecuentes en nuestro territorio y especialmente sufridos en las tierras andaluzas. No obstante, tienen un aspecto “positivo” puesto que conciencian a la población de que los recursos hídricos son escasos, al tiempo que promueven la divulgación del conocimiento de las aguas subterráneas, objetivo fundamental de esta nueva edición del Atlas hidrogeológico de la provincia de Cádiz.

Podemos concluir, sin que ello desmerezca otros documentos y proyectos hidrogeológicos específicos realizados en la provincia por distintas instituciones públicas o privadas, que hoy Cádiz cuenta con un documento que constituye, posiblemente, el referente hidrogeológico de consulta más completo y actualizado, orientado a todos los ciudadanos y profesionales interesados en saber y entender las cada vez más demandadas y reconocidas Aguas Subterráneas.

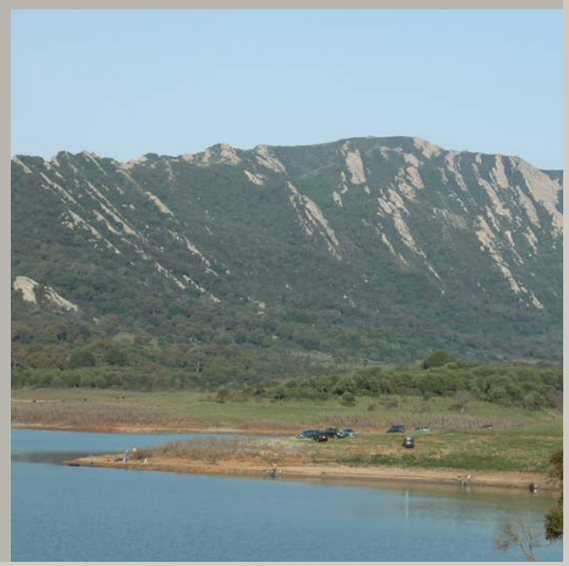
José Pedro Calvo Sorando

Director General del IGME









Prólogo

Han pasado ya 20 años desde que, en 1985, el Instituto Geológico y Minero de España realizó el Atlas hidrogeológico de la provincia de Cádiz, que tuvo el privilegio de ser el primero de los elaborados en la comunidad andaluza y el segundo de todo el territorio nacional. Este atlas primitivo, por su edad que no por su contenido, fue editado por la Excelentísima Diputación Provincial de Cádiz, con la que se ha mantenido desde entonces una estrecha cooperación, materializada a través de sucesivos Convenios de Colaboración suscritos para el asesoramiento en materia de aguas subterráneas.

Atravesada la barrera del siglo XX, la obra ha sufrido irremediablemente los embistes del tiempo y, aunque se mantienen los pilares básicos del conocimiento de los principales acuíferos de la provincia, adolece de las aportaciones que no se han ido adquiriendo año tras año, convenio tras convenio, gracias al desarrollo y aplicación de los innovadores métodos y tecnologías de la investigación científica. En este sentido, el avance y profundización del medio hidrogeológico gaditano ha sido espectacular, casi vertiginoso: la situación y extensión de las masas de aguas subterráneas se ha delimitado con precisión, definiendo mejor su geometría y posición de los niveles acuíferos; el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos deja ya pocos misterios por desvelar y la calidad de sus aguas ha sido estudiada con profusión, teniendo en cuenta además el papel que determinadas actividades potencialmente contaminantes pueden desempeñar en el uso sostenible, la explotación racional y la conservación de los recursos naturales en general y de los recursos hídricos en particular.

Fruto de este dilatado esfuerzo nace, en el ámbito del Convenio de Colaboración IGME – Diputación de Cádiz, una nueva versión del Atlas hidrogeológico de la provincia de Cádiz, que aparte de actualizar el conocimiento hidrogeológico de la provincia, da un paso más al incluir toda una serie de aspectos multidisciplinares relacionados con el medio físico provincial que ayudan a entender y a valorar el papel de las aguas subterráneas en este territorio.

Este Atlas, de carácter eminentemente divulgativo, pretende llegar a todos los sectores de la sociedad pues ha sido redactado con notable sencillez pero sin perder el rigor técnico y científico que requiere la materia. La hidrogeología de la provincia de Cádiz queda así ilustrada y documentada adecuadamente. Con ello esperamos que este documento contribuya a la educación ambiental, especialmente hídrica de la población y a la concienciación de todos los segmentos implicados en la gestión y uso de las aguas subterráneas; en definitiva que participe en la comprensión de la nueva cultura del agua, donde la componente subterránea ve revalorizado su interés, conservación y protección que merece.

Equipo Coordinador del Atlas







ATLAS hidrogeológico de la provincia de Cádiz

J.A. López Geta...et al, Coord.- Madrid: Instituto Geológico y Minero de España; Diputación de Cádiz, 2005.

- 264 pgs.; 43x31cm; 128 figs.; 208 fotos.; 81 tabs.;

Contiene: Mapa hidrogeológico escala 1:200.000

ISBN: 84-7840-602-6

1 Acuífero. 2 Recursos agua. 3 Mapa hidrogeológico. 4 Calidad agua. 5 Balance agua. 6 Provincia Cádiz. I. López Geta, J.A., coord. II Instituto Geológico y Minero de España, ed. III Diputación de Cádiz, ed

556(460.355)

Equipo de trabajo

La presente publicación ha sido realizada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la **Excelentísima Diputación de Cádiz**.

Dirección y coordinación:

Juan Antonio López Geta (IGME)
Miguel Martín Machuca (IGME)
Raquel Morales García (IGME)
Juan José Durán Valsero (IGME)
Ramiro Navarro Villegas (Diputación de Cádiz)
Diego Torreira Vaca (Diputación de Cádiz)

Índice de autores

Bartolomé Andreo-Navarro (Universidad de Málaga)
Rafael Anglada Gómez (IGME)
Ángel Díaz Pérez (IGME)
Juan José Durán Valsero (IGME)
Esther Fernández Caballero (ADOR consultoría)
Loreto Fernández Ruiz (IGME)
Manuel Jesús Gálvez Maestre (ADOR consultoría)
Alfredo García de Domingo (IGME)
Javier Gollonet Fernández de Trespalacios (Consultor)
Miguel Martín Machuca (IGME)
Diego Martín Sosa (IGME)
Raquel Morales García (IGME)
José Manuel Moreira Madueño (Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía)
Luis Moreno Merino (IGME)
Rafael Muñoz Gilabert (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir)
José Manuel Murillo Díaz (IGME)
Alfonso Rodríguez Pastor (IGME)
Javier Sigüenza Amichis (Consultor)
Jesús Miguel Soria Mingorance (Universidad de Alicante)
Joaquín del Val Melús (ADOR consultoría)

Tratamiento gráfico y cartográfico

Gerardo Llorente Gil (ADOR consultoría)

Fotografías

Rafael Anglada Gómez (1)
Juan José Durán Valsero (2)
Alfredo García de Domingo (3)
Carlos Mediavilla Laso (4)
Raquel Morales García (5)
Joaquín del Val Melús (6)
(Los números entre paréntesis dan cuenta de la autoría de las fotografías que ilustran el presente Atlas)

Instituto Geológico y Minero de España (IGME)
Excelentísima Diputación de Cádiz
Asistencia Técnica: ADOR consultoría, SL
Coordinación de la publicación: Jesús Sáenz de Tejada
Diseño: Pixel Creación y Producción Gráfica, S.L.
Preimpresión: Lufercomp, S.L.
Impresión: Edipack gráfico, S.L.
ISBN: 84-7840-602-6
NIPO: 657-05-014-6
Depósito legal: M-48537-2005

Agradecimientos

Se agradece la colaboración especial de:

Fernando Pérez Cerdán, de la Secretaría General del IGME, por la elaboración de los mapas geológicos de la provincia de Cádiz en formato digital, Gerardo Ramos González y María del Mar Corral Lledo, de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del IGME, por poner a nuestra disposición su recopilación poética de las aguas subterráneas y por sus aclaraciones en materia de legislación de aguas minerales respectivamente; Mercedes García Padilla, de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, por su información actualizada de los espacios naturales protegidos de la provincia; Rosa María Vives Solbes, de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, por proporcionar anticipadamente el "Inventario y Caracterización de los Regadíos en Andalucía. Actualización 2002"; José Luis Molins Marín, del Servicio de Medio Ambiente de la Diputación de Cádiz, por la información facilitada en materia de gestión de residuos en la provincia; Ángel Giménez Biedma, por la elaboración de los modelos digitales de los acuíferos; Jesús Soria Mingorance, de la Universiad de Alicante, por los modelos digitales de los espacios naturales; Francisco Hidalgo Mota y Eduardo Campos Florido, de la sociedad municipal "Aguas de Jerez Empresa Municipal S.A." (AJEMSA), por facilitar el acceso a las instalaciones del manantial de El Tempul y aportar datos históricos y actuales de su caudal y aprovechamiento en abastecimiento urbano; Ramón Sarmiento, por su lectura crítica y comentarios a los primeros borradores de los capítulos de Climatología y de Vegetación y cultivos; Isabel Toscano y José Antonio Olivas, por aportarnos información de gran utilidad sobre los antiguos baños de Gigonza.

Asimismo, se agradece la colaboración de las siguientes personas e instituciones:

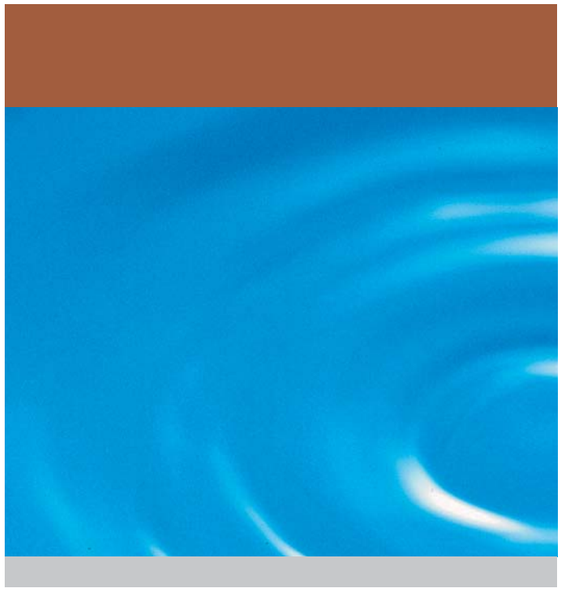
Excmos. Ayuntamientos de la provincia de Cádiz, por facilitar el acceso a la información necesaria en el ámbito de sus competencias.

Aguas de Cádiz, S.A. (Rafael Ortega Bermúdez), Aguas del Campo de Gibraltar, S.A. (ACGISA) (Humberto Morales), Aguas de La Janda, S.L. (Manuel Márquez García), Aguas del Puerto Empresa Municipal, S.A. (APEMSA) (Juan Campos - Guereta), Aguas de Puerto Real, S.A. (APRESA) (José Olmo González), Aguas de Rota Empresa Municipal S.A. (AREMSA) (Manuel Bravo Acuña), aqualia gestión integral del agua, S.A., (José Arce de Gorostizaga, Francisco Córdoba García, Miguel Durán, Manuel Ferrán Sumillera, Rosario Gastardi Guerra, Antonio González Blanquez, Antonio Grajera Molina, Manual Parejas Sarrión, Miguel Porras Ramos, Fernando Sánchez Lozano), Chiclana Natural S.A. (Francisco Rueda Rodríguez), Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (Juan Gómez Verdugo, Antonio Bernal), Cuenca Mediterránea Andaluza (Domingo Aroca Carrasco, Fernando Ruíz Portales), Empresa Municipal de Aguas de Algeciras (EMALGESA) (Ángel Cárdenas Rodríguez), Hidrogestión, S.A. (Francisco Javier Tapias Sánchez), Mancomunidad de Municipios de la Sierra de Cádiz (Francisco Javier Jiménez Navarro), Servicio Municipal de Aguas de Chipiona (Vicente Tristancho Roldán), Servicio Municipal de Aguas de Conil de la Frontera (Carmelo García Barrancas), Servicio Municipal de Aguas de Prado del Rey (Alfonso Bueno), Servicio Municipal de Urbanismo de Barbate (José Escurrier de la Cruz); por su aportación de datos de abastecimiento urbano de agua.

Índice

PRESENTACIÓN 2
PRÓLOGO 5
EQUIPO DE TRABAJO 7
AGRADECIMIENTOS 8

1. INTRODUCCIÓN 11
2. EL AGUA EN LA PROVINCIA DE CÁDIZ A TRAVÉS DE LOS TIEMPOS 15
3. EL MEDIO FÍSICO PROVINCIAL 19
4. RASGOS DEMOGRÁFICOS Y ECONÓMICOS 27
5. VEGETACIÓN Y CULTIVOS 37
6. SUELOS 43
7. CLIMATOLOGÍA 53
8. HIDROGRAFÍA E HIDROLOGÍA SUPERFICIAL 59
9. GEOLOGÍA 63
10. HIDROGEOLOGÍA GENERAL DE LA PROVINCIA 73
11. COMPOSICIÓN Y CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS 81
12. USOS ACTUALES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS 95
13. PRINCIPALES ACUÍFEROS 105
13.1. Llanos de Villamartín 107
13.2. Arcos-Bornos-Espera 113
13.3. Aluvial y pliocuaternario del Guadalete 121
13.4. Jerez de la Frontera 129
13.5. Sierra de las Cabras 137
13.6. Sanlúcar-Rota-Chipiona 143
13.7. El Puerto de Santa María 151
13.8. Puerto Real-Conil 159
13.9. Vejer-Barbate 167
13.10. Aluvial del Barbate 175
13.11. Sierras de Grazalema y Líjar 181
13.12. Sierra de Líbar 191
13.13. Setenil-Ronda 197
13.14. Sierra de Cañete 205
13.15. Campo de Gibraltar 211
14. CONTAMINACIÓN Y VULNERABILIDAD 223
15. AGUA Y MEDIO AMBIENTE 229
16. USO CONJUNTO Y RECARGA ARTIFICIAL 237
17. AGUAS MINERALES Y TERMALES 245
DOCUMENTACIÓN CONSULTADA 251
GLOSARIO DE TÉRMINOS 259



De “Galerías”

Las más hondas palabras
del sabio nos enseñan,
lo que el silbar del viento cuando sopla,
o el sonar de las aguas cuando ruedan.

Antonio Machado

01 Introducción







Introducción

Para la elaboración del Atlas se ha definido, con sumo cuidado, la estructura y contenido del documento y el equipo de trabajo que ha intervenido en su redacción y coordinación.

El Atlas hidrogeológico de la provincia de Cádiz se ha estructurado en 17 capítulos, de los cuales el capítulo 13 (Principales acuíferos) es el más extenso e inherente al objetivo de esta obra. El capítulo incluye 15 subcapítulos, que se corresponden con los acuíferos existentes en la provincia, donde se detallan exhaustivamente las características fundamentales de dichos acuíferos, reflejando de forma ilustrada y actualizada el resultado de los principales trabajos relacionados con las aguas subterráneas en Cádiz.

El resto de los capítulos que integran el documento son capítulos temáticos. A efectos de establecer una secuencia lógica de redacción y obtener un atlas de contenido coherente, los capítulos temáticos se han organizado en:

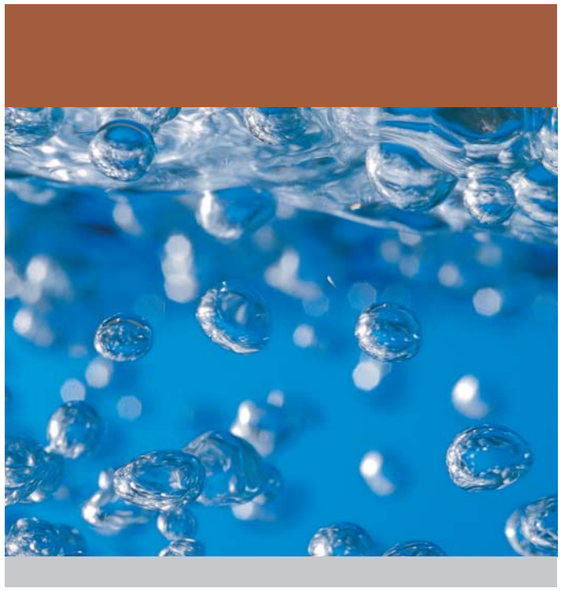
- Capítulos temáticos independientes: Introducción (capítulo 1), El agua en la provincia de Cádiz a través de los tiempos (capítulo 2), Rasgos demográficos y económicos (capítulo 4), Vegetación y cultivos (capítulo 5) y Suelos (capítulo 6).
- Capítulos temáticos básicos. Incluyen: El medio físico provincial (capítulo 3), Climatología (capítulo 7), Hidrografía e hidrología superficial (capítulo 8), Geología (capítulo 9), Hidrogeología general de la provincia (capítulo 10) y Usos actuales de las aguas subterráneas (capítulo 12).
- Capítulos temáticos dependientes. Integrados por Composición y calidad de las aguas subterráneas (capítulo 11), Contaminación y vulnerabilidad (capítulo 14), Agua y medio ambiente (capítulo 15), Uso conjunto y recarga artificial (capítulo 16), Aguas minerales y termales (capítulo 17).

Por otro lado, el Atlas contiene el mapa hidrogeológico provincial, a escala 1:200.000, que se incluye en la solapa. Para la obtención de este mapa se han tratado digitalmente 11 hojas geológicas a escala 1:50.000 y 2 hojas geológicas a escala 1:200.000. El resultado ha sido un mapa geológico digital de síntesis, escala 1:200.000, a partir del cual se han elaborado las 15 láminas de los acuíferos de la provincia y ha servido de cartografía básica para la definición del citado mapa hidrogeológico provincial de Cádiz. Con este método se consigue uniformidad en los mapas a distintas escalas.

Se ha prestado especial atención, como es natural en un atlas, al aspecto gráfico. Además de los mapas comentados, aparecen numerosos mapas temáticos provinciales referentes a los distintos aspectos tratados, que quedan ilustrados con fotografías de alta calidad. La parte gráfica se ha completado con figuras en tres dimensiones de los acuíferos y cuantos esquemas, mapas auxiliares, diagramas y tablas se han considerado necesarios para facilitar una mayor comprensión.

Esta comprensión se ve favorecida con el glosario contenido al final del documento, pues en él se explica el significado de los términos científicos y técnicos más utilizados a lo largo del texto. En el otro extremo de utilidad está el apéndice de documentación consultada, que remite al texto original a quienes se interesen en ampliar conocimientos sobre determinados aspectos no detallados en el atlas.

Respecto a los autores de los diferentes capítulos, constituyen un equipo de trabajo multidisciplinar, compuesto por 20 especialistas pertenecientes a diferentes organismos oficiales y empresas. La mayoría de ellos son investigadores y técnicos del IGME, complementados por asesores y expertos de la Diputación de Cádiz, la Junta de Andalucía, las Universidades de Málaga y Alicante, la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y distintos consultores externos, especialmente de la empresa Ador Consultoría, S.L.



De “Pastor de la muerte”

ACTO PRIMERO.
CUADRO PRIMERO

RINCÓN DE ALDEA
ESCENA I

Personaje: ETERNO

Mis ojos que lo ven todo
a pesar de no ver nada
ven cómo se multiplican
los manantiales de España.
En la misma piedra brotan
los manantiales del agua,
y, en la misma piedra, sangre
de otros manantiales salta.
El agua y la sangre, unidas
corren, penetran, empapan
las entrañas de mi tierra,
los veneros de mi patria,
y su blancura sangrienta
vuelven más roja y más blanca.
...

Miguel Hernández

02

El agua en la provincia de Cádiz a través de los tiempos

El agua en la provincia de Cádiz a través de los tiempos

02

2.1. Introducción

El hombre ha mantenido siempre una estrecha relación con el agua a lo largo de la Historia. En Andalucía, al igual que en todas aquellas regiones del planeta donde el poblamiento humano fue muy temprano, esta relación ha sido especialmente intensa, y ha quedado marcada en el devenir histórico, a lo largo de las diferentes civilizaciones y culturas que han disfrutado de su territorio (Durán *et al.*, 1998).

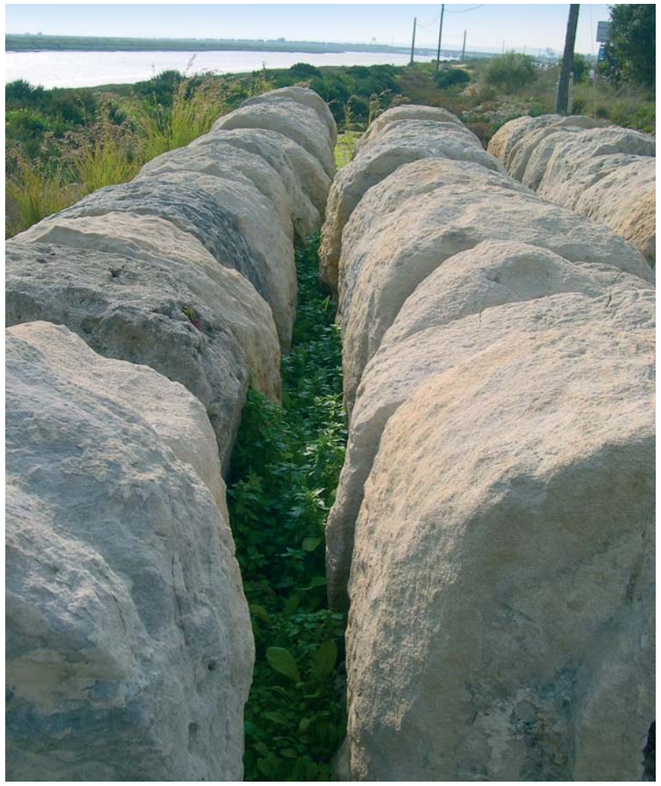
La provincia de Cádiz es un buen ejemplo de cómo puede rastrearse la historia de la relación agua-hombre. Algunos de los yacimientos arqueológicos más antiguos del actual territorio gaditano (El Aculadero y las terrazas del Guadalete, por poner sólo unos ejemplos) están estrechamente ligados a la línea de costa o los valles fluviales; en definitiva, al agua marina o a las aguas dulces superficiales. El aprovechamiento de los recursos de los entornos acuáticos (no solo del agua misma, también de los ecosistemas asociados a ella) fue clave para el desarrollo posterior de los asentamientos humanos. La garantía del abastecimiento de pueblos y ciudades, junto con otras consideraciones de carácter estratégico y defensivo, fue uno de los criterios básicos para la perduración de los primeros núcleos estables.

Tan intensa es la relación del agua con el hombre en la provincia de Cádiz que, como pone de manifiesto Barragán (1993a), la riqueza hidronímica (es decir, de topónimos relativos a diferentes aspectos del medio hídrico) de algunas zonas, como la de Jerez, es amplísima, muchos de ellos de claro origen árabe.

2.2. Pozos en la antigua Gades

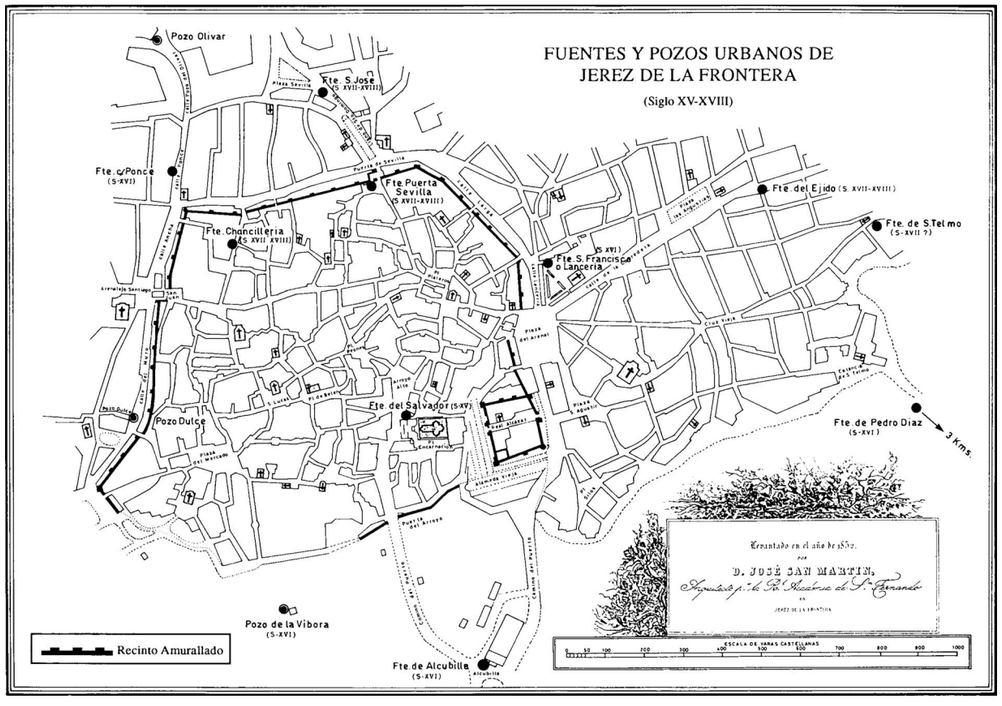
Quizás el ejemplo más paradigmático de la necesidad de abastecerse de agua dulce a través de los tiempos lo ofrezca la ciudad de Cádiz, la antigua Gades, uno de los enclaves urbanos más antiguos de Occidente. Las fuentes históricas clásicas aseguran que la Gades temprana (siglo VIII a.n.E. y posteriores), se abastecía de fuentes y pozos de agua dulce que surgían entre las arenas de la entonces isla. Algunos de estos autores hacen referencia al régimen de las fuentes, relacionado con el de las mareas, aunque no existe acuerdo generalizado sobre este aspecto.

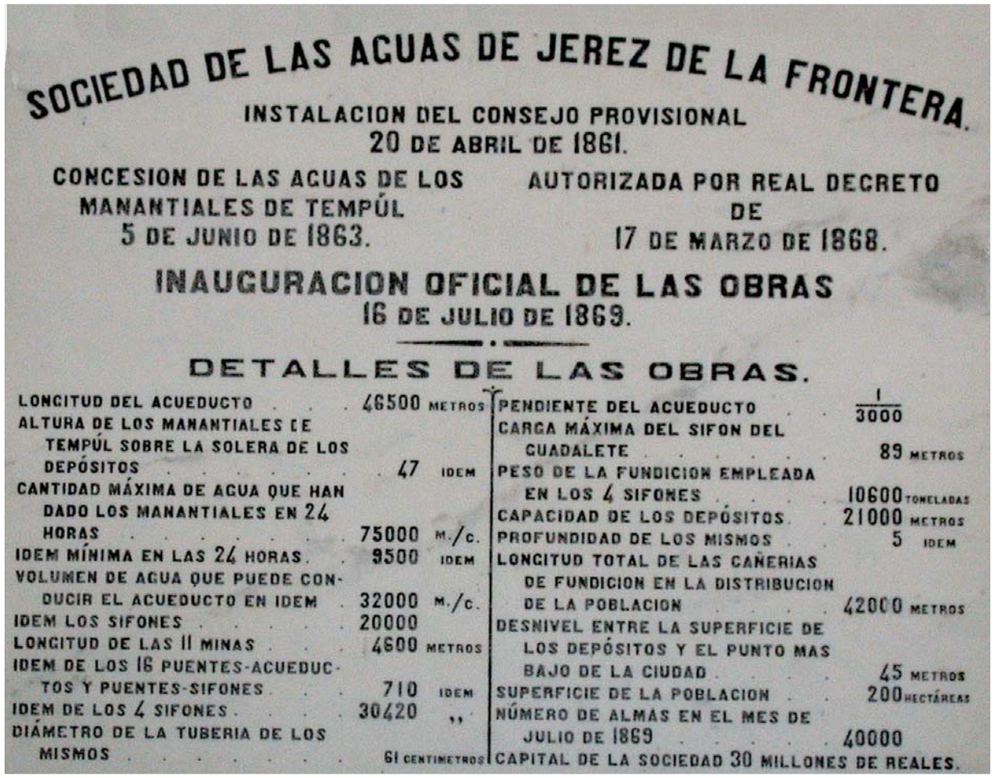
Lo que sí es cierto es que durante muchos siglos, prácticamente hasta el cambio de era, con la llegada de las nuevas infraestructuras hidráulicas romanas (los acueductos y sus sistemas de distribución hídrica), las aguas subterráneas, complementadas por las almacenadas en cisternas procedentes de la lluvia, contribuyeron al mantenimiento y esplendor de una de las ciudades más importantes de la Antigüedad Clásica.



Restos de la conducción romana del manantial de El Tempul (3)

Fuentes y pozos urbanos de Jerez de la Frontera (siglos XV-XVIII), según D. José Martín (1852); en Barragán (1993 a)





SOCIEDAD DE LAS AGUAS DE JEREZ DE LA FRONTERA.

INSTALACION DEL CONSEJO PROVISIONAL
20 DE ABRIL DE 1861.

CONCESION DE LAS AGUAS DE LOS MANANTIALES DE TEMPÚL
5 DE JUNIO DE 1863.

AUTORIZADA POR REAL DECRETO DE
17 DE MARZO DE 1868.

INAUGURACION OFICIAL DE LAS OBRAS
16 DE JULIO DE 1869.

DETALLES DE LAS OBRAS.

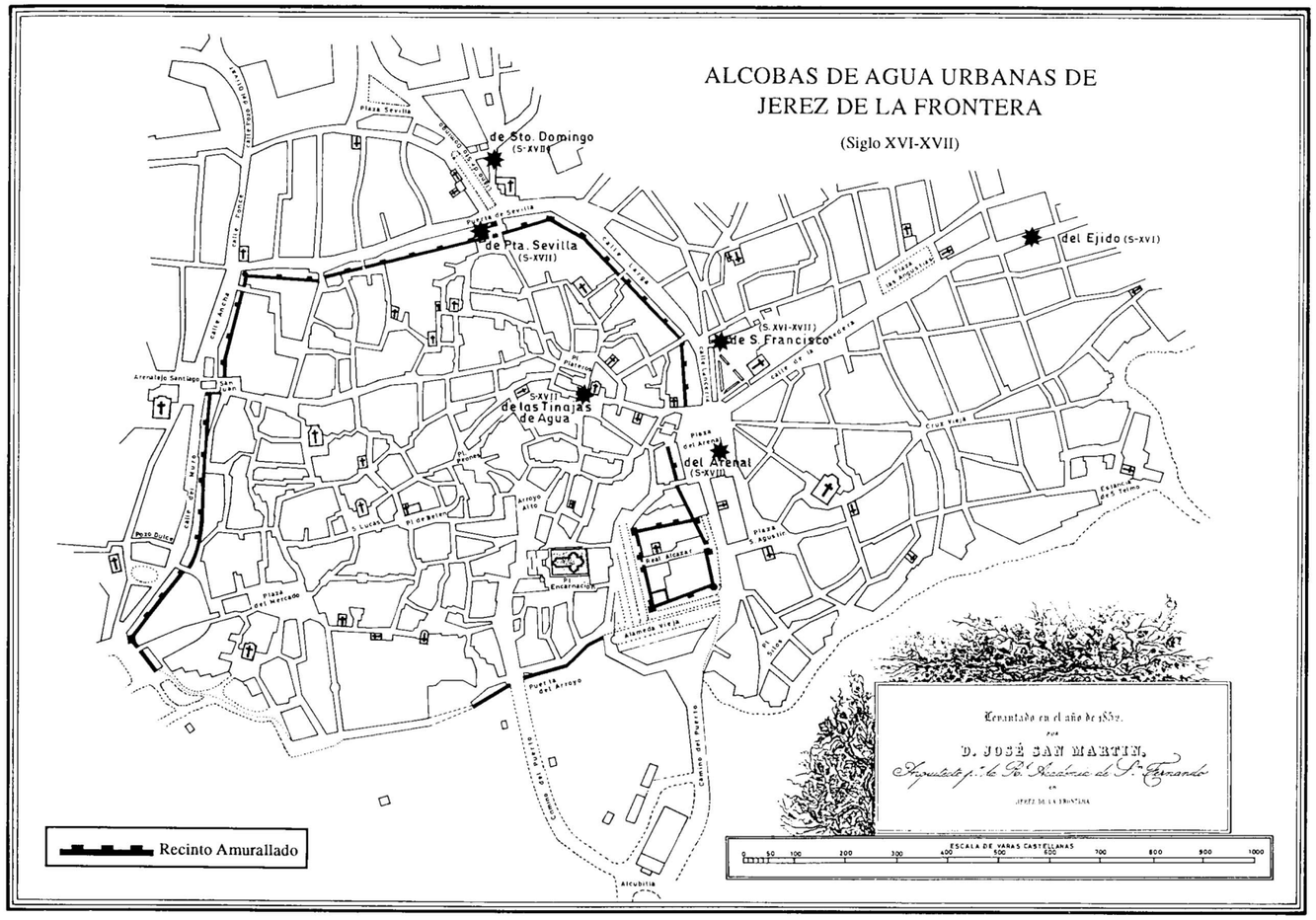
LONGITUD DEL ACUEDUCTO	46500 METROS	PENDIENTE DEL ACUEDUCTO	1/3000
ALTURA DE LOS MANANTIALES DE TEMPÚL SOBRE LA SOLERA DE LOS DEPÓSITOS	47 IDEM	CARGA MÁXIMA DEL SIFON DEL GUADALETE	89 METROS
CANTIDAD MÁXIMA DE AGUA QUE HAN DADO LOS MANANTIALES EN 24 HORAS	75000 M./C.	PESO DE LA FUNDICION EMPLEADA EN LOS 4 SIFONES	10600 TONELADAS
IDEM MÍNIMA EN LAS 24 HORAS	9500 IDEM	CAPACIDAD DE LOS DEPÓSITOS	21000 METROS
VOLUMEN DE AGUA QUE PUEDE CONDUCIR EL ACUEDUCTO EN IDEM	32000 M./C.	PROFUNDIDAD DE LOS MISMOS	5 IDEM
IDEM LOS SIFONES	20000	LONGITUD TOTAL DE LAS CAÑERIAS DE FUNDICION EN LA DISTRIBUCION DE LA POBLACION	42000 METROS
LONGITUD DE LAS 11 MINAS	4600 METROS	DESNIVEL ENTRE LA SUPERFICIE DE LOS DEPÓSITOS Y EL PUNTO MAS BAJO DE LA CIUDAD	45 METROS
IDEM DE LOS 16 PUENTES-ACUEDUCTOS Y PUENTES-SIFONES	710 IDEM	SUPERFICIE DE LA POBLACION	200 HECTÁREAS
IDEM DE LOS 4 SIFONES	30420 ,,	NÚMERO DE ALMAS EN EL MES DE JULIO DE 1869	40000
DIÁMETRO DE LA TUBERIA DE LOS MISMOS	61 CENTIMETROS	CAPITAL DE LA SOCIEDAD 30 MILLONES DE REALES.	



VISITÓ ESTAS OBRAS
S.M. EL REY
DON ALFONSO XII
EN 27 DE MARZO DE 1877

Placas recordatorias de la inauguración de las obras del acueducto de El Tempul a Jerez (foto superior) y de la visita realizada a ellas por el rey Alfonso XII (1)

Alcobas de agua urbanas de Jerez de la Frontera (siglos XVI-XVII), según D. José San Martín (1852); en Barragán (1993 a)



2.3. Acueductos romanos en la provincia de Cádiz

El inicio del primer milenio de nuestra era conllevó un cambio importante en los abastecimientos urbanos o industriales de mayor relieve: Cádiz (Gades) y Baelo Claudia (Bolonia) contaron con sus respectivos acueductos construidos por los romanos (Fernández Casado, 1972).

El acueducto de Gades, atribuido a Balbo el Menor (Barragán, 1993a), es uno de los de mayor longitud de la Hispania romana, alcanzando 60 km. Construido en el siglo I d. C., su trazado partía del manantial de El Tempul, en la Sierra de las Cabras, y llegaba, mediante un trayecto rectilíneo hasta San Fernando, y posteriormente curvándose hacia el noroeste, hasta la ciudad de Cádiz, donde alimentaba a cuatro grandes depósitos. El crecimiento demográfico de la ciudad demandó una solución de este tipo para su abastecimiento, basada en una importantísima obra de ingeniería, y en el aprovechamiento de uno de los manantiales de más caudal y mejores aguas de la provincia de Cádiz. De éste acueducto aún se conservan abundantes restos a lo largo de su trazado, en particular en el tramo inicial, reutilizado en época moderna para el abastecimiento urbano de la ciudad de Jerez (Barragán, 1993c).

El otro ejemplo de acueducto romano gaditano es el de Baelo Claudia, establecimiento costero dedicado a la industria de transformación pesquera. En realidad fueron dos los acueductos que suministraban agua a la ciudad, procedentes de manantiales y arroyos cercanos. En la actualidad, se conservan escasos restos y muy deteriorados (Fernández Casado, 1972).

2.4. La historia reciente

Con posterioridad a la Cádiz romana, y hasta el siglo XV, el panorama del uso del agua no varió significativamente. El declive de algunas ciudades (como la propia Cádiz), propiciaron el abandono de las importantes infraestructuras construidas anteriormente. Durante la dominación árabe, los abastecimientos, tantos urbanos como rurales, se realizaron con pozos, fuentes y mediante la construcción de numerosas alcobas o alcobillas, depósitos de agua estratégicamente situados en diferentes puntos de las ciudades. También se inició la construcción de alcantarillas (conducciones de aguas limpias) y de caños (de aguas sucias) (Barragán, 1993b).

A partir del siglo XVI se documentan los primeros intentos de "traídas de aguas" a algunas de las ciudades importantes (Jerez). En el siglo XVIII se construyó un acueducto en El Puerto de Santa María, desde los manantiales de la Piedad hasta la Fuente de las Galeras Reales, donde la tomaban los barcos que la transportaban hasta la ciudad de Cádiz (Aguas de Cádiz, S.A., 2002). El siglo XIX fue testigo de numerosas iniciativas para la mejora de los suministros urbanos, tanto de Cádiz como de Jerez. En esta última ciudad, tras muchas deliberaciones y proyectos se optó por volver la mirada al manantial donde la habían posado los romanos para abastecer Cádiz: el manantial de El Tempul.

Entre 1863 y 1869 se realizaron las obras del acueducto de El Tempul a Jerez, inagurándose un periodo de prosperidad hídrica para dicha ciudad, garantizada por los recursos subterráneos de la Sierra de las Cabras.

A comienzos del siglo XX, el impulso global que en España se da a la política de obras hidráulicas, se ve reflejado en la provincia de Cádiz en la construcción de algunos embalses importantes, como el de Guadalcacín sobre el río Majaceite (terminado en 1922), que, posteriormente sirvieron para abastecer al conjunto de poblaciones situados en la Bahía de Cádiz. Las décadas de los 40 y 50 del siglo XX fueron cruciales para el desarrollo de planes de abastecimiento por parte de la Confederación del Guadalquivir.

Esta época también fue testigo de algunos de los proyectos de desecación de zonas húmedas de más envergadura de entre los llevados a cabo en España. La laguna de la Janda, situada en el término municipal de Vejer de la Frontera, es descrita por Pardo (1948) como un gran humedal de 40 km^2 (14,5 km x 6 km) en momentos de aguas altas, de gran interés faunístico y con aprovechamiento cinegético. En el año 1946 se decretó su desecación para convertirla en terrenos agrícolas, acción que se llevó a cabo como hoy día puede constatarse.

Muy recientemente, en la sequía (1992-1995), las aguas subterráneas de la Sierra de las Cabras han vuelto a demostrar su altísima importancia estratégica: cuando los sistemas de abastecimiento de la Bahía de Cádiz basados en las aguas superficiales mostraron síntomas de agotamiento, los sondeos de emergencia realizados en la Sierra de las Cabras, y otros acuíferos de la provincia, suministraron el agua subterránea necesaria para solventar la sequía.

El ciclo histórico vuelve a cerrarse, haciendo que el hombre no se olvide del elemento que garantizó y posibilitó el origen y desarrollo de uno de los focos más influyentes de Occidente: el agua subterránea.





Foto superior: Sistema de extracción de agua mediante noria. El Bosque (2)
Foto inferior: Vista actual de la antigua laguna de la Janda actualmente desecada (3)

03 El medio físico provincial

El medio físico provincial

03

3.1. Características generales del medio físico en la provincia

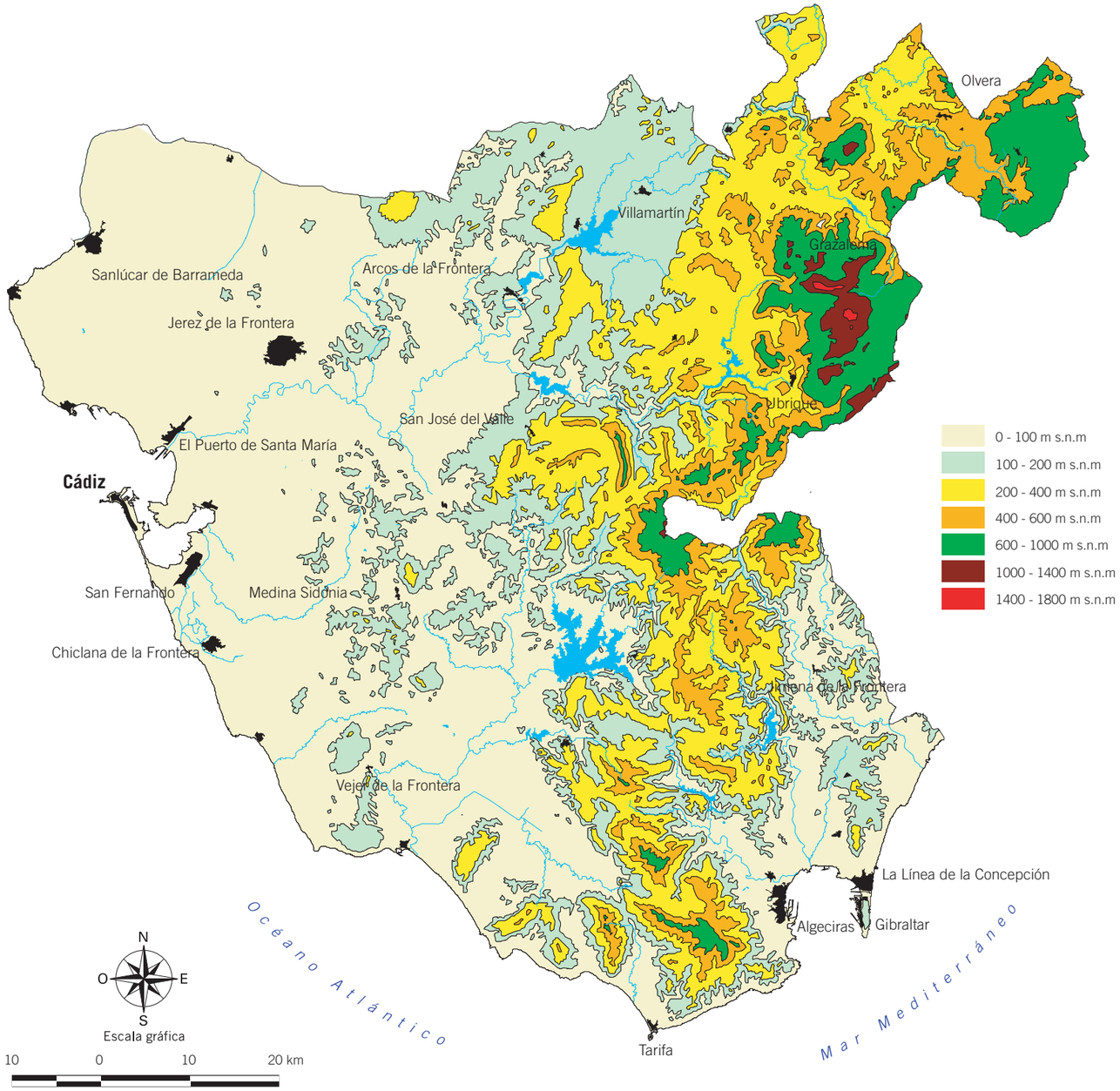
La provincia de Cádiz, junto con las de Huelva, Sevilla y Córdoba, forma la denominada Baja Andalucía o Andalucía occidental. La provincia ocupa una superficie de 7.442 km², lo que representa el 8,50% del territorio de Andalucía y el 1,47% del total nacional. Después de Málaga, es la provincia andaluza de menor extensión y la que presenta el vértice más meridional de la Península Ibérica. Es, además, la única provincia bañada por el Atlántico y el Mediterráneo, separada de África sólo por el Estrecho de Gibraltar. En sus aproximadamente dos tercios más occidentales se presenta como una zona de tierras llanas y alomadas, con bajas altitudes: casi un 52% de la superficie provincial no supera los 100 m s.n.m., mientras que por encima de los 600 m s.n.m. sólo existen en la provincia 443 km² (5,9% del total del territorio provincial). Las cotas más altas se presentan en el sector nororiental, en la Sierra del Pinar, localizada en el Macizo de Grazalema, en las cimas de El Torreón o El Pinar (1.654 m s.n.m.) y de San Cristóbal (1.555 m s.n.m.). Las zonas de menor altitud se corresponden con las marismas (Marismas del Guadalquivir, Bahía de Cádiz y Barbate) y los sistemas de playas y costas bajas del litoral.

Distribución de altitudes en la provincia de Cádiz

Altitud en metros sobre el nivel del mar	Superficie en km²	Superficie en % sobre el total provincial
0-100	3.864,6	51,93
100-200	1.322,3	17,77
200-400	1.269,0	17,05
400-600	543,1	7,30
600-1.000	387,3	5,20
1.000-1.400	53,1	0,71
1.400-2.000	2,6	0,03

Fuente: Instituto de Estadística de Andalucía, 2001

Altitudes de la provincia de Cádiz



Fuente: Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía), 2001

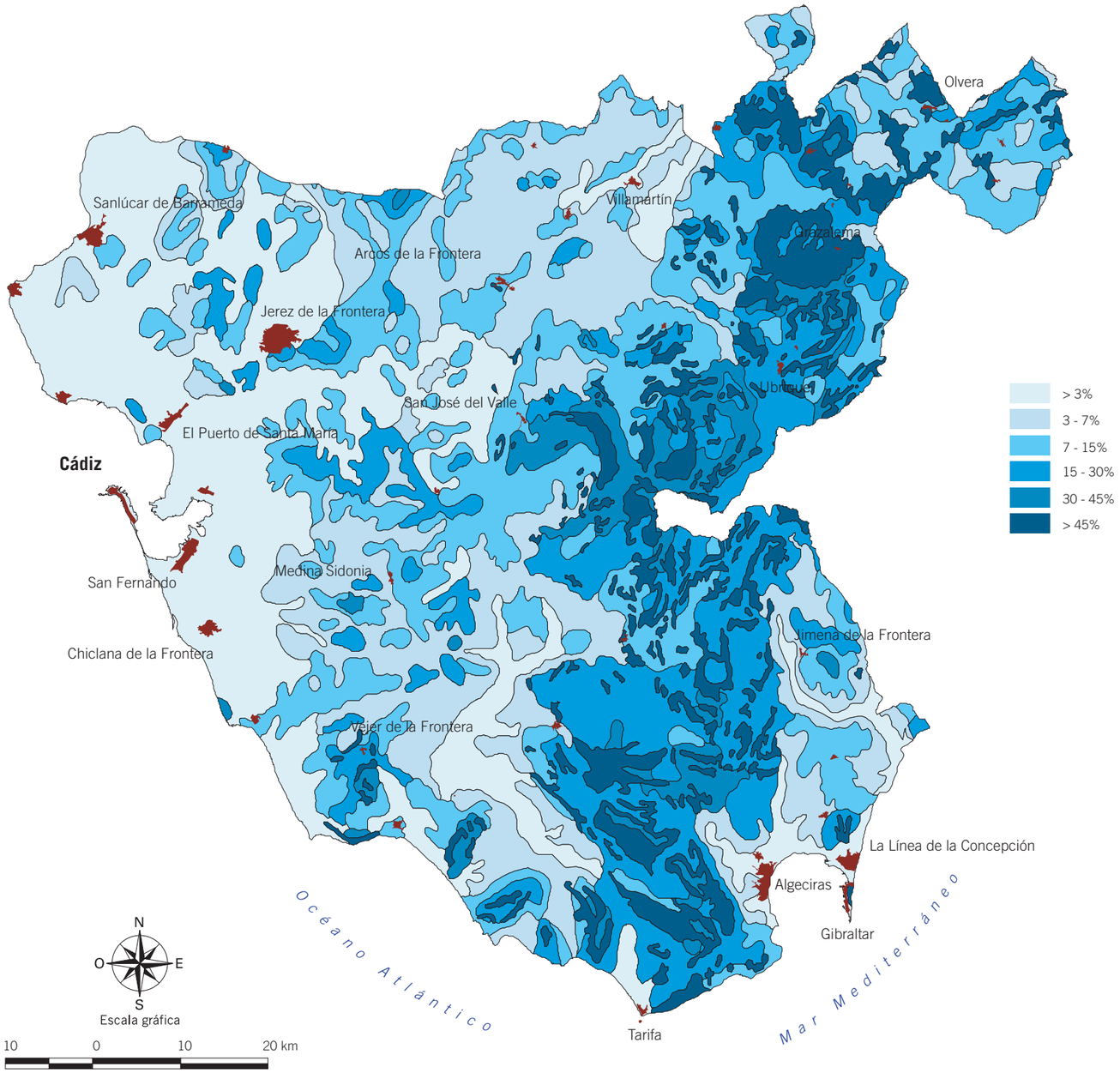
Las pendientes más bajas (inferiores al 3%) ocupan buena parte del sector más occidental, así como las vegas de los ríos Guadalete, Palmones, Guadarranque, Guadiaro, Hozgarganta, Barbate y área endorreica de la antigua laguna de la Janda. Las pendientes más fuertes, superiores al 30%, se presentan en los relieves proporcionados por las Serranías del Noreste (Grazalema, Sierras de la Nava y de Líjar, Sierra de las Harinas) y por las del Este y Suroeste (Sierras del Valle, de la Sal y de las Cabras, así como las Serranías del Aljibe y del Campo de Gibraltar: Sierras del Aljibe, los Melones, Montecoche, Blanquilla, Sequillo, del Niño, de Saladavieja, de Luna, de Ojén, del Cabrito, y las suroccidentales de Fates, San Bartolomé, la Plata y Retín). Las pendientes intermedias se presentan en las estribaciones de los relieves serranos, en su enlace con las zonas llanas de las campiñas, así como en relieves aislados o diferenciales que proporcionan una morfología de colinas y cerros en el seno de las zonas llanas occidentales.



Río Guadiaro en las proximidades de su desembocadura (6)

La red fluvial se articula en torno a varios ríos, todos ellos afluentes al Atlántico: al Guadalquivir, en concreto a su desembocadura, en el extremo noroccidental; al río Guadalete, el principal eje hidrográfico de la provincia; y al río Barbate. En la vertiente mediterránea, los ríos Palmones, Guadarranque y Guadiaro, en el extremo suroriental, son los más importantes. Además de los mencionados, existen numerosos cursos fluviales menores, de escaso recorrido, que desembocan directamente en el mar. Los más destacados de entre ellos son los ríos Salado (con desembocaduras uno en Chiclana de la Frontera y otro en Conil de la Frontera), del Valle (con desembocadura en la ensenada de Valdevaqueros), de la Jara y de la Vega (que desembocan en la playa de los Lances, al noroeste de Tarifa), en la vertiente atlántica. En la vertiente mediterránea, entre los ríos de corto recorrido destacan el Guadalmesí (que desemboca en la costa acantilada situada entre Tarifa y Punta del Carnero, al sur de Algeciras) y el río de la Miel, con desembocadura en la bahía de Algeciras.

Pendientes de la provincia de Cádiz



Fuente: Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía), 2001

3.2. Principales unidades fisiográficas

En la provincia de Cádiz se han definido cuatro grandes unidades fisiográficas:

- Serranías
- Campiñas
- Vegas y valles fluviales
- Litoral

Estas grandes unidades, a su vez divididas en sectores o subunidades, están condicionadas en gran parte por la presencia de varios grandes dominios geológicos existentes en la provincia: Depresión del Guadalquivir y otras depresiones neógeno-cuaternarias, Zona Externa de la Cordillera Bética (Subbético) y Unidades del Campo de Gibraltar. A su vez, la posterior evolución geomorfológica de los distintos materiales de cada dominio y el contexto morfodinámico presente en cada una de las zonas ha configurado el relieve actual y las unidades y subunidades que lo componen.

Las subunidades o sectores establecidos en cada una de las cuatro grandes unidades son:

- Serranías: Macizo de Grazalema, Serranías del Aljibe y del Campo de Gibraltar, y relieves subbéticos aislados
- Campiñas: Campiña de Jerez-Arcos, Campiña de Paterna, Campiña de Medina Sidonia, Campiña del Campo de Gibraltar y campiñas serranas nororientales
- Vegas y valles fluviales: Guadalete, Barbate-La Janda, Palmones-Guadarranque y Guadiaro-Hozgarganta
- Litoral: marismas del Guadalquivir, de la Bahía de Cádiz y del Barbate, playas (costas bajas arenosas) de los tramos Chipiona-Rota, Conil-Cabo de Trafalgar y Bahía de Algeciras-Punta Mala, costa mixta playas-acantilados de los sectores Sur de la Bahía de Cádiz-Cabo Roche, Los Caños de Meca-Barbate, ensenada de Barbate-Punta de Tarifa y Punta Mala-Punta Punta Chullera y costa acantilada entre la Punta de Tarifa y la Bahía de Algeciras.

3.2.1 Serranías

Las Serranías se localizan, principalmente, en la franja oriental de la provincia, formando conjuntos compactos, abruptos y bien diferenciados (Macizo de Grazalema), sierras de variadas direcciones disectadas por una densa red hidrográfica (Serranías del Aljibe y del Campo de Gibraltar) o relieves que destacan, de forma más o menos aislada, sobre el entorno en que se localizan (relieves subbéticos aislados).

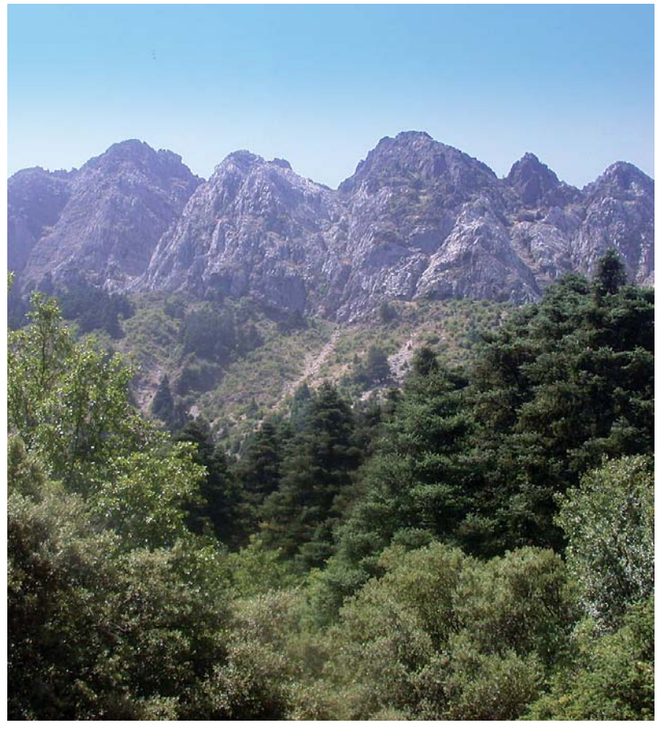
El Macizo de Grazalema se sitúa en el cuadrante noriental de la provincia, formando el núcleo más alto, escarpado y abrupto de la misma. Las poblaciones de Zahara, por el Norte, El Bosque, por el Oeste y Ubrique, por el Suroeste, vienen a marcar aproximadamente sus límites en Cádiz, prolongándose por el Este hasta el río Guadiaro, ya en la provincia de Málaga. En el interior del conjunto montañoso se sitúan las poblaciones de Benamahoma, Grazalema, Benaocaz y Villaluenga del Rosario.

El Macizo de Grazalema se sitúa en el extremo occidental de la Cordillera Bética, donde aparecen materiales del dominio Subbético, además de otros de afinidad diversa, asimilables a las Unidades del Campo de Gibraltar. Presenta un conjunto de sierras de orientaciones variables: Caíllo, Líbar, Endrinal, Ubrique, Pinar y otras. Cada sierra está formada por suaves pliegues de cobertera de recorrido kilométrico, interrumpidos por fallas de componente vertical que han compartimentado bloques tectónicos, dando lugar a pilares y fosas.

En la Sierra del Pinar, sobre dolomías triásicas, aparece la cota más alta (El Torreón o Pinar, 1.654 m s.n.m.). El resto de las principales sierras (Endrinal, Ubrique, Líbar) están formadas por calizas y margocalizas del Jurásico, que alternan con otras rocas menos resistentes (margas y arcillas del Cretácico) por donde se han excavado los valles fluviales y las depresiones, dando lugar a un relieve sumamente heterogéneo.



Al fondo panorámica de la Sierra del Aljibe en el embalse de Guadarranque, ejemplo de Serranía (6)



Sierra del Pinar, Macizo de Grazalema, cota topográfica más alta de la provincia (3)

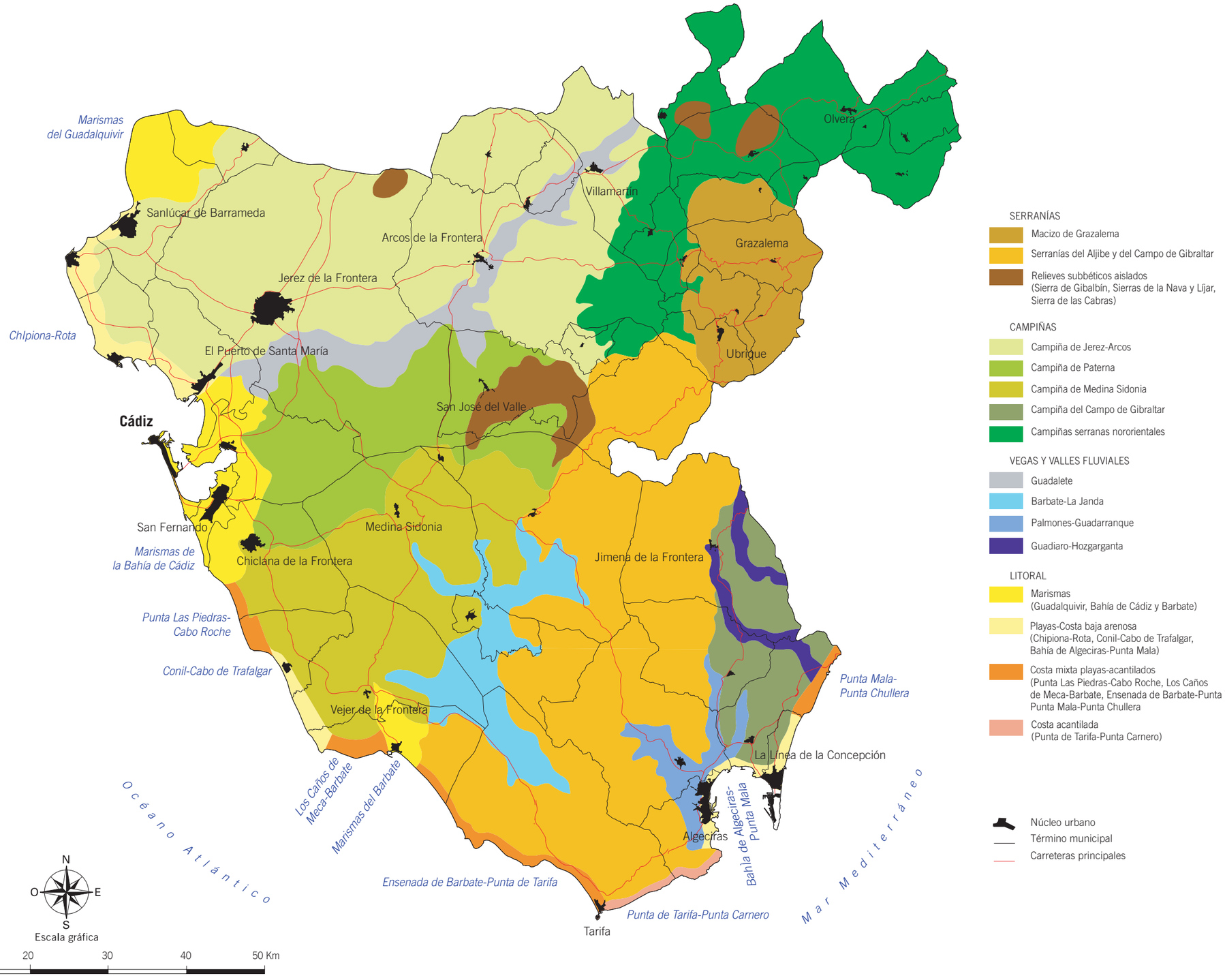
La característica más destacada y singular del conjunto es el espectacular paisaje kárstico, especialmente notorio en las sierras de Líbar y El Endrinal (donde aparece la segunda mayor altura de la provincia, el Monte Simancón, con 1.565 m s.n.m.). Los grandes espesores de rocas carbonáticas, muy fracturadas, y las elevadas precipitaciones, son las causas del gran desarrollo de la morfología kárstica, que presenta abundantes elementos de interés geomorfológico (poljes, cañones, lapiaces, dolinas y numerosas cuevas y simas), e hidrogeológico (surgencias y manantiales).

Las Serranías del Aljibe y del Campo de Gibraltar forman un conjunto de relieves que ocupan el Sureste y extremo centro-oriental de la provincia, desde el río Ubrique por el Norte hasta la Punta de Tarifa, en el Sur, extendiéndose por la franja costera mediterránea hasta el río Barbate. Las poblaciones de Alcalá de los Gazules, Jimena de la Frontera y Castellar de la Frontera son las principales asentadas en el interior de estos relieves serranos.

Se trata de un conjunto de sierras que no superan en general los 900 m s.n.m. y que descienden en altitud hacia el Estrecho de Gibraltar. Las sierras más destacadas son, de Norte a Sur, las del Aljibe (con el Pico del Aljibe, 1.092 m s.n.m., como punto más elevado), los Melones, Montecoche, Blanquilla,

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

Unidades fisiográficas de la provincia de Cádiz



SERRANÍAS
- Macizo de Grazalema
- Serranías del Aljibe y del Campo de Gibraltar
- Relieves subbéticos aislados (Sierra de Gibalbín, Sierras de la Nava y Líjar, Sierra de las Cabras)

CAMPIÑAS
- Campiña de Jerez-Arcos
- Campiña de Paterna
- Campiña de Medina Sidonia
- Campiña del Campo de Gibraltar
- Campiñas serranas nororientales

VEGAS Y VALLES FLUVIALES
- Guadalete
- Barbate-La Janda
- Palmones-Guadarranque
- Guadiaro-Hozgarganta

LITORAL
- Marismas (Guadalquivir, Bahía de Cádiz y Barbate)
- Playas-Costa baja arenosa (Chipiona-Rota, Conil-Cabo de Trafalgar, Bahía de Algeciras-Punta Mala)
- Costa mixta playas-acantilados (Punta Las Piedras-Cabo Roche, Los Caños de Meca-Barbate, Ensenada de Barbate-Punta Tarifa, Punta Mala-Punta Chullera
- Costa acantilada (Punta de Tarifa-Punta Carnero)

- Núcleo urbano
- Término municipal
- Carreteras principales

Fuente: Elaboración propia



Relieve subbético carbonático de la Sierra de las Cabras (5)

Sequillo, del Niño, de Saladavieja, de Luna, de Ojén y del Cabrito, sierra esta última que conforma el relieve más meridional de la Península Ibérica. El conjunto continúa por el borde mediterráneo, hacia el Oeste, por las sierras litorales de Fates, San Bartolomé, la Plata y Retín, de menor altitud y separadas entre ellas por valles amplios y apenas encajados.

Todos estos relieves se desarrollan sobre las denominadas Unidades del Campo de Gibraltar, entre las que predominan las denominadas areniscas del Aljibe, de gran extensión y notable espesor. Las areniscas del Aljibe son areniscas de alto contenido en cuarzo con niveles o capas de arcillas intercaladas. Entre estos afloramientos, mayoritarios en extensión, aparecen bandas irregulares de arcillas versicolores (arcillas rojas y verdes satinadas, de aspecto esquistoso) y, sobre todo hacia el Suroeste (en los amplios valles litorales que se desarrollan entre las sierras de Fates, la Plata y Retín), margas y arcillas con niveles de margocalizas. El conjunto, a pesar de su extensión, es relativamente homogéneo y su paisaje se configura como una sucesión de lomas y sierras separadas entre sí por valles de diferente amplitud.

El sistema fluvial presenta un fuerte control litológico y estructural, a menudo con cauces de ríos y arroyos encajados en las formaciones areniscosas, conocidos como canutos. El modelado de vertientes aparece muy desarrollado, con importantes depósitos de ladera al pie de los grandes relieves de arenisca: depósitos de solifluxión y otros tipos de deslizamientos de grandes dimensiones (que dan lugar a típicas morfologías onduladas en las vertientes, con acumulaciones de arcillas y bloques al pie), depósitos de bloques de areniscas (originados por la saturación de las arcillas infrayacentes y la consecuente inestabilización de paquetes de arenisca), coluviones, glacis y tapices de derrubios.

Los relieves subbéticos aislados están formados por materiales resistentes, fundamentalmente calcáreos, que destacan sobre las zonas aplanadas a que dan lugar los materiales arcillosos del Trías. Destacan la Sierra de Gibalbín, en el límite septentrional de la provincia, las sierras de la Nava y de Líjar, en el área nororiental y el arco, en forma de herradura, a que dan lugar las sierras del Valle, de la Sal y de las Cabras, en el sector centro-oriental.

La Sierra de Gibalbín forma un promontorio alargado en dirección ENE-OSO. Está constituida por calizas margosas, margas y margocalizas del Cretácico, que culminan en las zonas más elevadas con calizas detríticas recristalizadas del Terciario. En las laderas, especialmente en la meridional, se extiende un conjunto de abanicos aluviales pertenecientes a varias generaciones, que proporcionan al conjunto el aspecto de un extenso piedemonte que rodea el relieve.

La Sierra de la Nava y el Picacho son dos cerros carbonatados situados en el sector NE de la provincia, entre Algodonales y Puerto Serrano, próximos a la margen izquierda del río Genil. El primero está formado mayoritariamente por calizas margosas y margas, mientras que en el relieve que culmina en el Picacho (690 m s.n.m.) aparece una mayor diversidad litológica: calizas, dolomías y margocalizas, con calizas margosas e intercalaciones de margas.

La Sierra de Líjar, que alcanza una altura de 1.051 m, se localiza inmediatamente al Norte de la población de Algodonales. Es un anticlinal volcado, formado por dolomías masivas jurásicas, con numerosas fracturas. En su base, en el contacto con los materiales infrayacentes del Trías, aparecen diferentes manantiales.

Las sierras del Valle, de la Sal y de las Cabras forman un característico arco en planta, inmediatamente al sur del embalse de Guadalcacín. En la línea de cumbres, aparecen calizas y dolomías jurásicas que se corresponden con el eje de una estructura anticlinal. Al igual que en los otros relieves subbéticos aislados, aparecen algunos manantiales en el contacto con el Trías arcilloso-yesífero infrayacente, como el manantial de El Tempul, en la vertiente septentrional Sierra de las Cabras.

3.2.2 Campiñas

Las campiñas de Cádiz conforman un paisaje tradicionalmente dedicado a actividades agrarias. Aparecen como áreas llanas o suavemente onduladas que ocupan la gran mayoría de la zona occidental de la provincia, con altitudes bajas – habitualmente inferiores a los 200 m s.n.m.- y abundante presencia de suelos profundos desarrollados sobre sustratos geológicos poco consistentes. Estas campiñas occidentales, en función de su posición geográfica y el sustrato sobre el que se desarrollan pueden ser divididas en tres sectores: Campiña de Jerez-Arcos, Campiña de Paterna y Campiña de Medina Sidonia. Además, otras dos subunidades se incluyen en este grupo: la situada en el extremo suroriental de la provincia (Campiña del Campo de Gibraltar) y la subunidad denominada Campiñas serranas nororientales, que conforma un sector notablemente heterogéneo, con características intermedias entre las campiñas y las serranías.

La Campiña de Jerez-Arcos ocupa el sector septentrional de la provincia hasta la desembocadura del río Majaceite en el Guadalete y hacia el Este, hasta las mayores altitudes, superiores a 200 m, de la subunidad de Campiñas serranas nororientales. Las principales poblaciones que se localizan en este sector son Jerez de la Frontera, Arcos de la Frontera, Trebujena, Espera, Bornos y Villamartín. Esta campiña se desarrolla fundamentalmente sobre moronitas o albarizas (margas blancas silíceas) y sobre margas azules del Mioceno medio-superior en sus dos tercios más occidentales. En el resto, los sustratos predominantes son margas grises y arenas del Plioceno, margas del Paleoceno y, hacia el Este, arcillas y margas del Triásico. Su altitud sobre el nivel del mar suele ser inferior a los 200 m, e incluso inferior a los 100 m en gran parte, especialmente en el área occidental sobre sustratos de moronitas y margas azules. En los materiales calcareníticos del Mioceno superior se llegan a producir escarpes sobresalientes por la incisión fluvial, como en el Tajo de Arcos de la Frontera.

La Campiña de Paterna se extiende desde el Sur de la anterior hasta los primeros afloramientos de materiales de las Unidades del Campo de Gibraltar. La población más importante situada en ella es Paterna de Rivera. Se desarrolla principalmente sobre arcillas y margas con yesos del Triásico y, debido a las características de estos materiales, son muy abundantes los fenómenos endorreicos: lagunas de Medina, El Tejón, Tarage, San Antonio, Montellano, Jeli, etc. Hacia el Oeste, las arcillas y margas triásicas aparecen cubiertas por arenas, calcarenitas y conglomerados del Plioceno.





Foto superior: Campiña de Jerez-Arcos, al suroeste de la Sierra de Gibalbín (6)
Foto inferior: Tajo de Arcos, formado por el encajamiento del río Guadalete a su paso por la localidad de Arcos de la Frontera (6)

La Campiña de Medina Sidonia se corresponde con los afloramientos más occidentales de las Unidades del Campo de Gibraltar (areniscas del Aljibe y arcillas versicolores), que se extienden desde la anterior subunidad hasta el río Barbate, formando relieves alomados que sólo ocasionalmente superan los 200 m sobre el nivel del mar. Hacia el litoral, estos materiales aparecen cubiertos por calcarenitas y arenas pliocenas y pliocuaternarias. Las poblaciones más importantes son Medina Sidonia, Vejer de la Frontera y Benalup-Casas Viejas.

La Campiña del Campo de Gibraltar se localiza en el extremo suroriental, entre los relieves de las Sierras del Aljibe y el río Guadarranque, al Oeste, hasta el litoral y el límite provincial con Málaga. Presenta algunas elevaciones (Sierra Carbonera, del Arca y Almenara) superiores a los 200 m s.n.m., siendo el punto más elevado el cerro Carboneras (311 m s.n.m.). La población más importante es San Roque. El sustrato está formado por margas y areniscas micáceas, así como por areniscas del Aljibe, de las Unidades del Campo de Gibraltar, y por arenas y calcarenitas pliocenas de las cuencas neógeno-cuaternarias litorales.

Las Campiñas serranas nororientales forman un sector de transición entre la Campiña de Jerez-Arcos y las serranías, con alturas siempre superiores a los 200 m s.n.m. y frecuentes elevaciones por encima de los 600 m s.n.m., que dan a esta subunidad un carácter de zona con fisiografía de alomada a montañosa y de altiplano en varios de sus sectores. Entre las poblaciones existentes destacan Puerto Serrano, Prado del Rey, El Gastor, Olvera, Alcalá del Valle y Setenil. Sus cotas más bajas corresponden a las arcillas y margas del Triásico. Aparecen también calizas y margas rojas (Sierra de Pozo Amargo), calizas y margas (Sierra de las Harinas), calizas nodulosas y margas (Sierra del Terril) y biocalcarenitas y calizas de la cuenca de Setenil, que proporcionan un relieve en mesa y pasan, ya en el extremo más nororiental de la provincia, a los relieves carbonatados jurásicos de la Sierra del Borbollón. El carácter heterogéneo, con abundante presencia de lomas y serranías bajas y sustratos geológicos muy variados, es el aspecto más destacado de esta subunidad.

3.2.3 Vegas y valles fluviales

La vega del río Guadalete es la llanura aluvial de mayor importancia y desarrollo de la provincia. El río Guadalete, tras recorrer encajado una parte del Macizo de Grazalema, donde nace, desarrolla algunas franjas discontinuas de llanura fluvial sobre el sustrato arcilloso del Trías. El río presenta una vega apreciable desde aguas abajo de Puerto Serrano hasta su llegada a la zona marismal de la Bahía de Cádiz. El Guadalete, a lo largo de su encajamiento en el Cuaternario, ha ido dejando una serie de terrazas escalonadas se aprecian hasta siete niveles entre Puerto Serrano y Villamartín, con una secuencia completa en la margen derecha, mientras que en la margen izquierda faltan los niveles superiores. Estos niveles, situados hasta 80 m por encima del cauce actual y que también se han ido diferenciando hasta el suroeste de Arcos, van perdiendo altura hacia la desembocadura, como sucede en otros muchos ríos, de manera que las terrazas se superponen y solapan en el tramo bajo del río. A ello también contribuye la subsidencia en el área de desembocadura.

Especialmente destacable es el encajamiento del río a su paso por la localidad de Arcos de la Frontera, donde forma el espectacular Tajo de Arcos. El río, en este tramo, presenta un típico trazado meandriforme, con una sucesión de terrazas fluviales en el interior de cada curva y que reflejan el encajamiento a lo largo del tiempo tanto sobre los materiales del sustrato (margas y areniscas del Mioceno superior) como sobre sus propios depósitos de terrazas.

El sistema fluvial del río Barbate (unidad de Barbate-La Janda) se desarrolla entre el Oeste de las Sierras del Aljibe y la Campiña de Medina Sidonia. La llanura aluvial del Barbate es amplia, superando en muchos lugares los 2-3 km de anchura. La Janda era un complejo endorrreico, alimentado por los ríos Barbate, Almodóvar y otros de menor importancia, situado al Norte de la Sierra del Retín, entre Vejer, Benalup-Casas Viejas y Facinas. Estaba formada por un conjunto de lagunas y charcas como la de La Janda, de más de 4.000 ha, y otras de menor entidad: Alcalá, La Haba, Rehuelga, Cabrahigos, Espartina, El Torero y Tapatanilla. Esta zona húmeda fue desecada a partir de los años 50 del siglo XX, para la puesta en producción de nuevas tierras, perdiéndose la mayor zona húmeda de Andalucía. La antigua laguna de La Janda llega a aparecer temporalmente en años especialmente lluviosos, aunque sólo en una parte de su primitiva extensión.

Las vegas del Palmones y Guadarranque se localizan en el área suroriental, con desembocadura en la bahía de Algeciras. Las vegas son de escaso recorrido, inferiores a 15 km, y de carácter marcadamente meandriforme en la del río Palmones.

Finalmente, las vegas de los ríos Guadiaro-Hozgarganta se sitúan en el extremo más suroriental de la provincia. El río Guadiaro, al igual que su afluente el Hozgarganta, presenta un buen desarrollo de terrazas fluviales.



Acantilado de Barbate (3)



Cabo de Trafalgar y barra arenosa occidental (6)

3.2.4 Litoral

El litoral de la provincia de Cádiz, con 252 km de costa, constituye un excepcional ejemplo de variedad de formas y depósitos litorales. La existencia de playas arenosas, marismas, edificios dunares, tómbolos, barras, plataformas de abrasión y acantilados está directamente relacionada con el tipo de unidades geológicas adyacentes a la costa y con la evolución reciente de la misma, caracterizada por movimientos tectónicos y elevaciones y descensos del nivel del mar. La costa atlántica se extiende desde la desembocadura del río Guadalquivir hasta la Punta de Tarifa, a partir de la cual el litoral gaditano es bañado por las aguas del Mediterráneo hasta el límite con la provincia de Málaga.

Las subunidades que se pueden diferenciar en el litoral son: marismas, playas y complejos dunares - que dan lugar a costas bajas de predominio arenoso -, costa mixta playas-acantilados y costa acantilada.

Las marismas son llanuras mareales que constituyen las zonas de más bajo relieve de la costa y que forman amplias áreas de depósito de poca profundidad y baja energía de oleaje. Estas llanuras están recorridas por multitud de canales mareales, conocidos como caños y esteros. Desde el punto de vista morfológico, se pueden distinguir en ellas dos sectores: por una parte, la marisma alta (schorre), que corresponde a la zona supramareal y sólo se inunda en las mareas vivas y está recorrida por canales meandriformes y, por otra, la marisma baja (slikke) que se corresponde con la llanura intermareal y está caracterizada por una red de drenaje arborescente. La escasa diferencia de cota entre estos dos ambientes marismales y su transformación por la acción del hombre hacen, a menudo, muy difícil su diferenciación. Las marismas de mayor desarrollo en la provincia son las del Guadalquivir, Bahía de Cádiz y las del Barbate.

Las playas, o costas bajas arenosas, se extienden en tres grandes sectores: a) en el sector más noroccidental del litoral, especialmente entre Chipiona y Rota, que representa un tramo muy homogéneo de playas que se suceden sin interrupción, con pequeños acantilados de escasa entidad; b) entre Conil y el cabo de Trafalgar, en que la costa es generalmente muy llana y arenosa, con amplias playas (Conil, El Palmar); c) el tramo de la Bahía de Algeciras hasta Punta Mala, ya en el litoral mediterráneo.

La costa mixta playas-acantilados aparece en cuatro tramos: a) al sur de la Bahía de Cádiz hasta el cabo Roche, en que aparece un acantilado labrado sobre conglomerados y areniscas amarillas, con abundantes restos de conchas, del Plioceno (formación conocida como piedra ostionera), que va aumentando progresivamente de altura hacia el sur, hasta llegar a los 20 m; b) el acantilado de Barbate, labrado sobre calcarenitas con margas en la base, que llega a presentar un desnivel superior a los 90 m, con desarrollo de estrechas playas arenosas a su pie y, en su sector occidental, una pequeña ensenada donde aparece la playa de Los Caños de Meca; c) el tramo comprendido entre la ensenada de Barbate y la Punta de Tarifa, en que alternan tramos llanos y arenosos (playas de Zahara y Los Lances, ensenadas de Bolonia y Valdevaqueros) con los acantilados proporcionados por los promontorios rocosos de las Unidades del Aljibe (cabos de Plata, Gracia, Punta Camarinal, Punta Paloma, Punta de La Peña); d) de Punta Mala a Punta Chullera, límite con la provincia de Málaga, tramo en el que igualmente alternan acantilados con estrechas playas.

La costa acantilada se desarrolla entre la Punta de Tarifa y la Bahía de Algeciras. Es una costa abrupta, desarrollada sobre el flysch de areniscas y margas de las Unidades del Campo de Gibraltar. Al pie de estos acantilados, hacia la Bahía de Algeciras, se han labrado plataformas de abrasión en que la alternancia litológica queda resaltada durante la bajamar, como se puede apreciar en Punta Carnero.

04

Rasgos demográficos y económicos

Rasgos demográficos y económicos

04

Esther Fernández Caballero - Javier Sigüenza Amichis
Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz

4.1. Población

La provincia de Cádiz ocupa una extensión de 7.442 km² y posee una población, según el padrón de habitantes del año 2004, de 1.164.374 habitantes (15,14% de la población de la Comunidad Autónoma de Andalucía). La densidad de población es, por tanto, de 156,4 habitantes por km², muy superior a la media de Andalucía (85,4 habitantes por km²) y la segunda provincia en la Comunidad Autónoma, después de Málaga.

La distribución de la población en Cádiz es muy irregular. Los municipios de menor densidad de población se sitúan en las áreas de interior, tratándose de municipios que han venido sufriendo desde mediados del siglo XX fuertes pérdidas de población y que actualmente tienden a estabilizar su población o a recuperar población de manera lenta. Frente a las zonas de interior, donde predominan los municipios menores de 20.000 habitantes y densidades inferiores a 100 habitantes por km² -a excepción de Jerez -, se sitúan las zonas costeras, las cuales recogen la mayoría de los núcleos de población mayores de 20.000 habitantes y todos los municipios superiores a 50.000 habitantes -excepto Jerez- con mayores densidades de población (Algeciras, con una densidad de 1.275 habitantes/km², La Línea de la Concepción, con 2.379 habitantes/km², San Fernando, con 2.818 habitantes/km², y, especialmente, Cádiz, con una densidad de 11.103 habitantes/km²).

Distribución de la población por términos municipales. Año 2004

Término municipal	Nº habitantes	Término municipal	Nº habitantes
Alcalá de los Gazules	5.590	La Línea de la Concepción	61.875
Alcalá del Valle	5.325	Medina-Sidonia	10.802
Algar	1.643	Olvera	8.549
Algeciras	109.665	Paterna de Rivera	5.313
Algodonales	5.650	Prado del Rey	5.858
Arcos de la Frontera	29.079	El Puerto de Santa María	80.658
Barbate	22.444	Puerto Real	37.481
Los Barrios	19.260	Puerto Serrano	6.828
Benalup - Casas Viejas	6.706	Rota	26.691
Benaocaz	702	San Fernando	90.178
Bornos	8.082	San José del Valle	4.203
El Bosque	1.978	San Roque	24.757
Cádiz	133.242	Sanlúcar de Barrameda	62.662
Castellar de la Frontera	2.813	Setenil de las Bodegas	3.015
Conil de la Frontera	18.979	Tarifa	16.743
Chiclana de la Frontera	68.156	Torre-Alháquime	883
Chipiona	17.603	Trebujena	6.843
Espera	3.846	Ubrique	17.404
El Gastor	1.948	Vejer de la Frontera	12.685
Grazalema	2.178	Villaluenga del Rosario	473
Jerez de la Frontera	192.648	Villamartín	12.038
Jimena de la Frontera	9.355	Zahara	1.543

Fuente: Instituto de Estadística de Andalucía, 2005



Villaluenga del Rosario es el municipio con menor población de la provincia. Al fondo macizo carbonatado Jurásico de la Sierra de Grazalema (3)

La provincia de Cádiz está formada por un total de 44 municipios, de los cuales 31 son menores de 20.000 habitantes, 5 municipios tienen entre 20.000 y 50.000 habitantes, y 5 entre 50.000 y 100.000 habitantes, y finalmente, destacan las tres ciudades mayores de 100.000 habitantes (Cádiz, Jerez de la Frontera y Algeciras), las cuales articulan el sistema urbano provincial, donde se concentra el 37,4% de la población provincial.

Municipios por estratos de población. Año 2004

Estratos de población	Número de municipios	Habitantes	Porcentaje sobre el total de población
Menos de 2.000	7	9.170	0,78
De 2.001 a 5.000	5	16.055	1,37
De 5.001 a 20.000	19	199.613	17,14
De 20.001 a 50.000	5	140.452	12,06
De 50.001 a 10.0000	5	363.529	31,22
Más de 100.000	3	435.555	37,40
Total	**44**	**1.164.374**	**100,00**

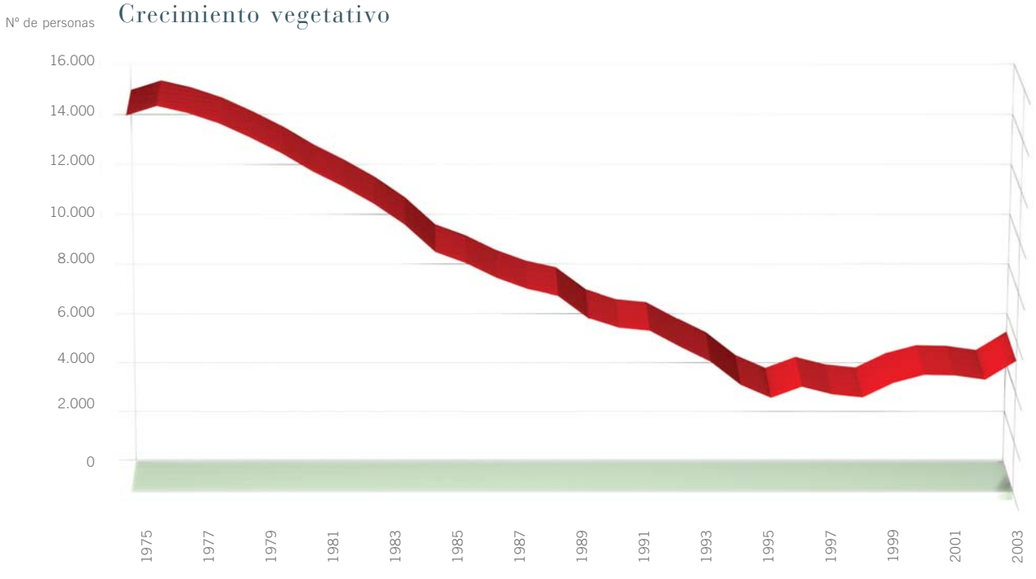
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto de Estadística de Andalucía, 2005

El resultado del estudio del comportamiento de la población gaditana a lo largo de los últimos 25 años refleja un progresivo descenso del crecimiento vegetativo que parece estabilizarse a partir de 1997, con un proceso de recuperación en los últimos años. Esta recuperación del crecimiento vegetativo de la población viene representada por un aumento de la tasa bruta de la natalidad (3,9 ‰) y una baja tasa de mortalidad (2,4 ‰), lo que provoca una tasa de crecimiento anual medio del 16,6 ‰ en el año 2004 y un progresivo rejuvenecimiento de la población.

Los indicadores de movimiento natural de la población presentan características diferenciadas dependiendo de su localización en la provincia. Así, los del interior presentan en la mayoría de los casos una estructura de edad envejecida, los índices de mortalidad provinciales más elevados y bajas tasas de natalidad, mientras que los municipios costeros presentan un mayor ritmo de crecimiento demográfico (Bahías de Cádiz y de Algeciras).

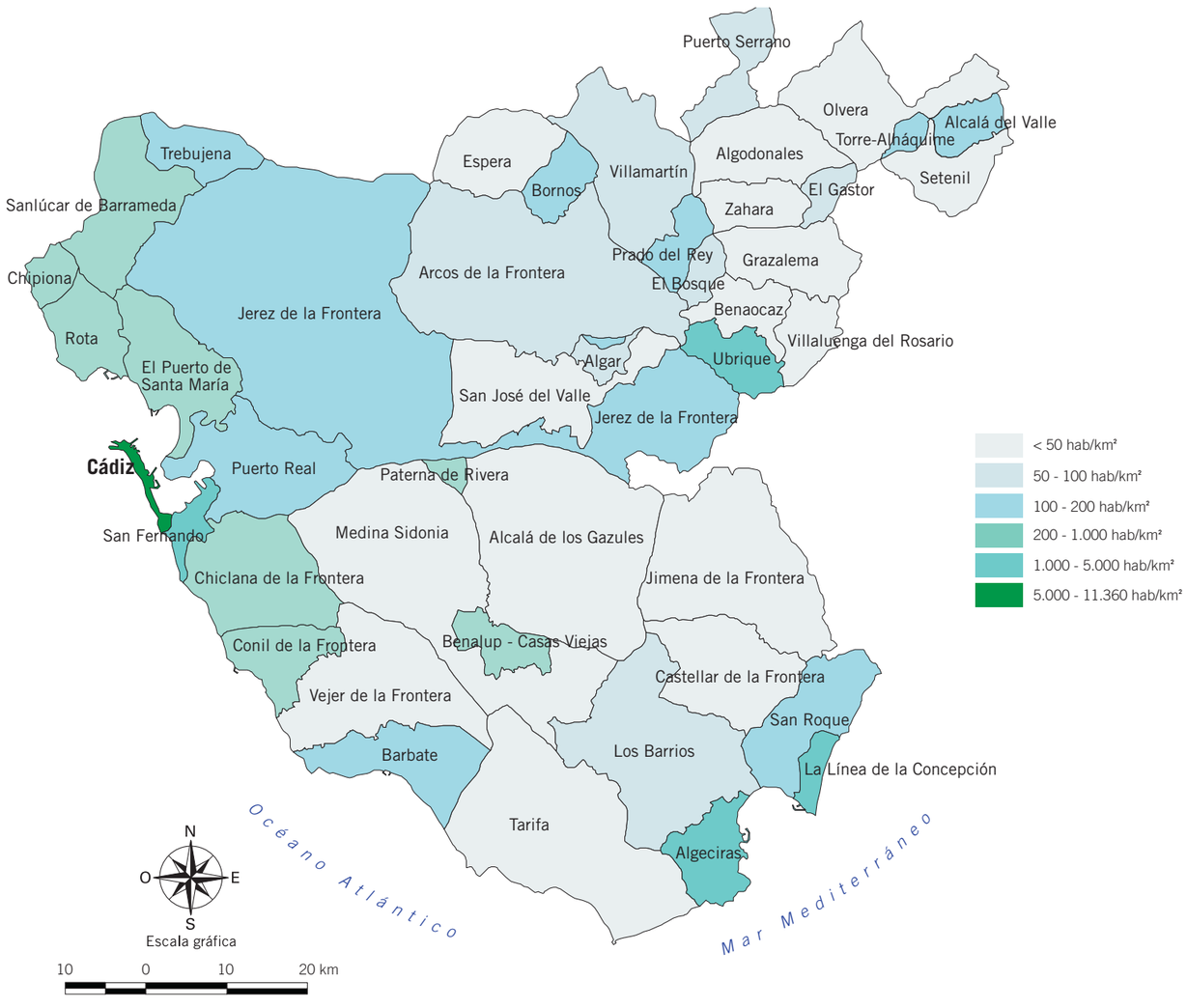
La situación actual de la pirámide de población gaditana, siguiendo las pautas autonómicas, se caracteriza por un fuerte estrechamiento de la base piramidal, sustentado por el ligero aumento de nacimientos experimentado; otra característica es el alargamiento de los brazos inmediatamente posteriores (aquellos comprendidos entre los 15 y 35 años) como expresión de la expansión demográfica y las altas tasas de natalidad de los años 60 y 70 del siglo XX; la leve muesca central, que expresa el número de personas implicadas en los procesos migratorios de los años 60, 70 y 2000, y por el ensanchamiento de los últimos tramos de edad, que denota el envejecimiento de la población, con tendencia cambiante, sobre todo en lo que respecta a la población femenina.

Crecimiento vegetativo



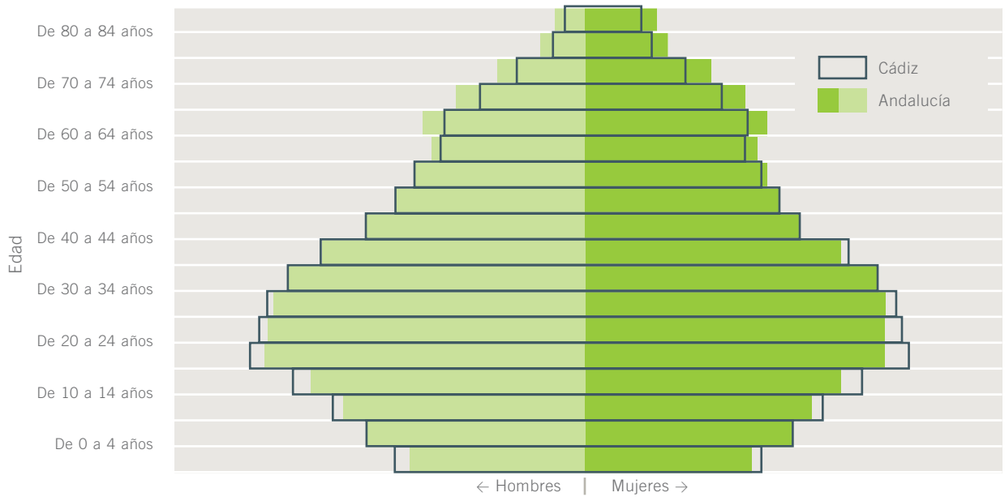
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto de Estadística de Andalucía, 2005

Densidad de población de la provincia de Cádiz



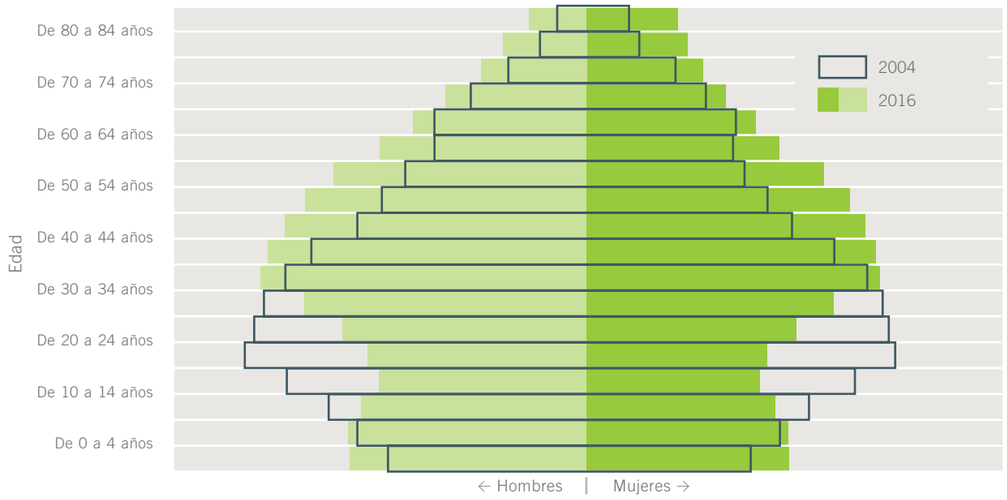
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto de Estadística de Andalucía. Padrón de habitantes del año 2004.

Pirámide de población de Andalucía-Cádiz
Año 2004



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto de Estadística de Andalucía, 2005

Proyección de población. Provincia de Cádiz



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto de Estadística de Andalucía, 2005

Las proyecciones de población estimadas muestran el incremento constante del peso relativo de la población mayor de 65 años y un descenso de la proporción de población menor de 35 a 15 años, representando el mayor volumen la población entre 35 y 60 años. Este proceso de envejecimiento, menos acusado en los últimos años, unido al ensanchamiento de la base de la pirámide representado por los estratos más jóvenes de la población, es un fenómeno especialmente relevante, ya que tiene importantes efectos sobre el índice de dependencia demográfica, que condicionará el sostenimiento del estado de bienestar.

La emigración en Cádiz ha actuado como un factor limitador del crecimiento demográfico, aunque este efecto es cada vez menos acusado, produciéndose una inversión a partir del año 2001. Las salidas de población en la provincia de Cádiz han sido muy numerosas, duplicándose las migraciones a lo largo de los años 90, llegando a una tasa de emigración del 2,2‰ (año 2004). Por su parte la inmigración ha mantenido un comportamiento muy acentuado a partir del año 2001 experimentando un crecimiento del 4,7% en el periodo 2003 – 2004. A partir del año 2001 se produce una inflexión positiva del saldo migratorio.

Evolución del saldo migratorio de la provincia de Cádiz

	Emigración*	Inmigración*	Saldo migratorio
1991	10.009	8.923	-1.086
1992	12.529	11.232	-1.297
1993	14.150	12.939	-1.211
1994	15.138	14.040	-1.098
1995	17.760	14.917	-2.843
1996	13.743	11.570	-2.173
1997	18.142	15.165	-2.977
1998	21.660	18.142	-3.518
1999	23.747	20.133	-3.614
2000	23.522	22.291	-1.231
2001	20.523	20.115	-408
2002	25.137	26.510	1.373
2003	25.865	28.494	2.629
2004	26.389	29.840	3.451

** número de personas*

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto de Estadística de Andalucía, 2005

Evolución de los principales indicadores demográficos en la provincia de Cádiz. Años 1980,1990 y 2000.

	1980		1990		2000	
	Cádiz	Andalucía	Cádiz	Andalucía	Cádiz	Andalucía
ICF (Indicador coyuntural de fecundidad)	300	275	174	166	135	134
Edad media de la maternidad	28,5	28,4	28,7	28,6	30,1	30,2
Esperanza de vida al nacer						
Mujeres	76,4	77,3	78,3	79,4	80,6	81,4
Hombres	70,2	71,5	70,9	72,5	73,9	74,8
Esperanza de vida a los 65 años						
Mujeres	16,3	16,7	17,5	18,1	18,8	19,3
Hombres	13	13,8	13,5	14,6	14,8	15,6
Tasa de mortalidad infantil						
Niñas	13,1	11,0	7,8	7,9	6,3	4,8
Niños	14,6	15,0	10,7	9,9	5,1	5,2
Indicador coyuntural de primonupcialidad						
Mujeres	89,4	86,8	74,4	75	66,7	67,0
Hombres	92,5	90,2	72,5	73,6	64,3	64,1
Edad media al primer matrimonio						
Mujeres	23,0	23,2	24,8	24,8	27,8	27,4
Hombres	25,6	25,7	27,0	26,9	29,7	29,3

Fuente: Instituto de Estadística de Andalucía, 2005

4.2. Mercado laboral

Los resultados del mercado laboral gaditano en el año 2004, siguiendo las pautas del mercado laboral andaluz, confirman la continuidad del proceso de creación de empleo y reducción del número de parados que viene registrando, ininterrumpidamente desde 1994, y que está permitiendo que se alcancen máximos históricos de ocupación y las tasas de paro más bajas de las últimas dos décadas.

Según los datos de la Encuesta de Población Activa (EPA) del Instituto de Estadística de Andalucía (IEA), la población activa de Cádiz en el año 2004 asciende a 492.000 personas, de las cuales el 78,68% se encuentra ocupada y el 21,32% parada. Aunque en el año 2002 hay un leve aumento de la tasa de paro respecto al año anterior, la dinámica en los últimos años ha sido una progresiva disminución de la tasa de desempleo. A pesar de esta reducción, la tasa de paro de la provincia de Cádiz se mantiene como la más alta de Andalucía. Por su parte la tasa de actividad, 54,4%, se situó por encima de la media andaluza y similar a la nacional.

Por sectores de actividad, la creación de empleo se produjo en el sector servicios y, aunque más moderadamente, en el sector de la construcción e industrial, mientras que el sector agrario presentó un resultado negativo en lo que a la creación de empleo se refiere.

La población activa de la provincia de Cádiz se dedica en su mayor parte al sector servicios (66%), seguido muy de lejos por la construcción (17%) y, en menor medida, a la industria (10%) y a la agricultura (7%).

La población ocupada, siguiendo las pautas andaluzas, se caracteriza por estar formada en su mayor parte por hombres (67,3%), cuya actividad principal son los servicios y su cualificación se basa en estudios secundarios o primarios en menor medida. Por otro lado, la población parada de la provincia de Cádiz está compuesta por algo más de mujeres que de hombres, sin estudios o estudios primarios (tan sólo el 14,6% de la población parada tiene estudios secundarios o superiores). La dedicación de ésta se encuentra más repartida, aunque predomina la población femenina parada en el sector servicios, la proporción de la población parada en agricultura es significativa más importante.

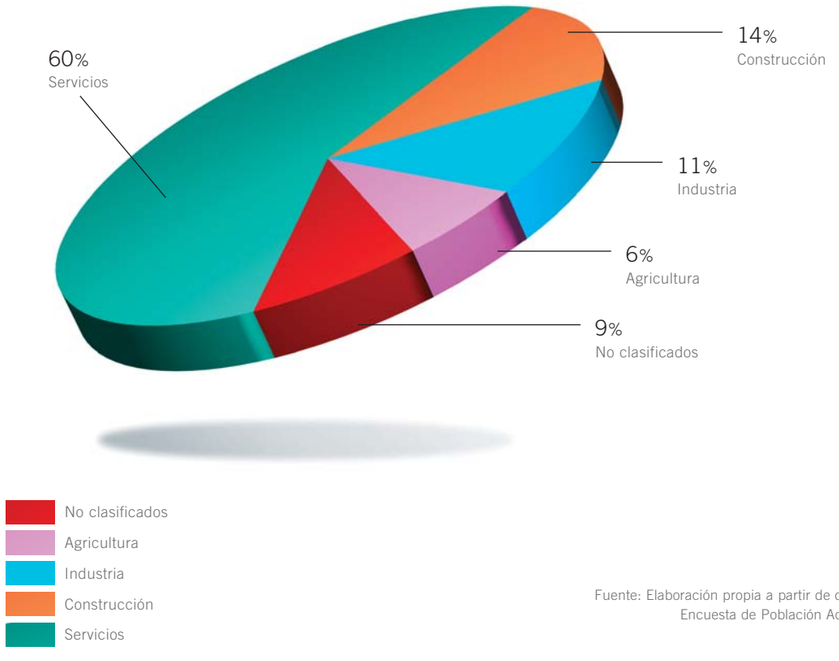
Características de la población ocupada en la provincia de Cádiz. Año 2003.

	Población ocupada			
	Cádiz		Andalucía	
Expresado en miles de personas	Nº	% total	Nº	% total
Total	**362,3**	**14,0***	**2585,1**	**33,8**
Sexo				
Mujeres	118,6	32,7	897,6	34,7
Hombres	243,7	67,3	1687,5	65,3
Sector económico				
Agricultura	24,1	6,6	256,4	9,9
Industria	45,3	12,5	299,1	11,5
Construcción	51,5	14,2	366,3	14,2
Servicios	241,4	66,7	1663,3	64,4
Cualificación **				
Analfabetos y sin estudios	22	6,0	183,1	7,1
Estudios primarios	89,8	24,8	541,2	20,9
Estudios secundarios y FP	183	50,5	1352,3	52,3
Universidad y otros	67,5	18,7	508,5	19,7

** respecto al total de población ocupada Andalucía*
*** cualificación población ocupada año 2003*

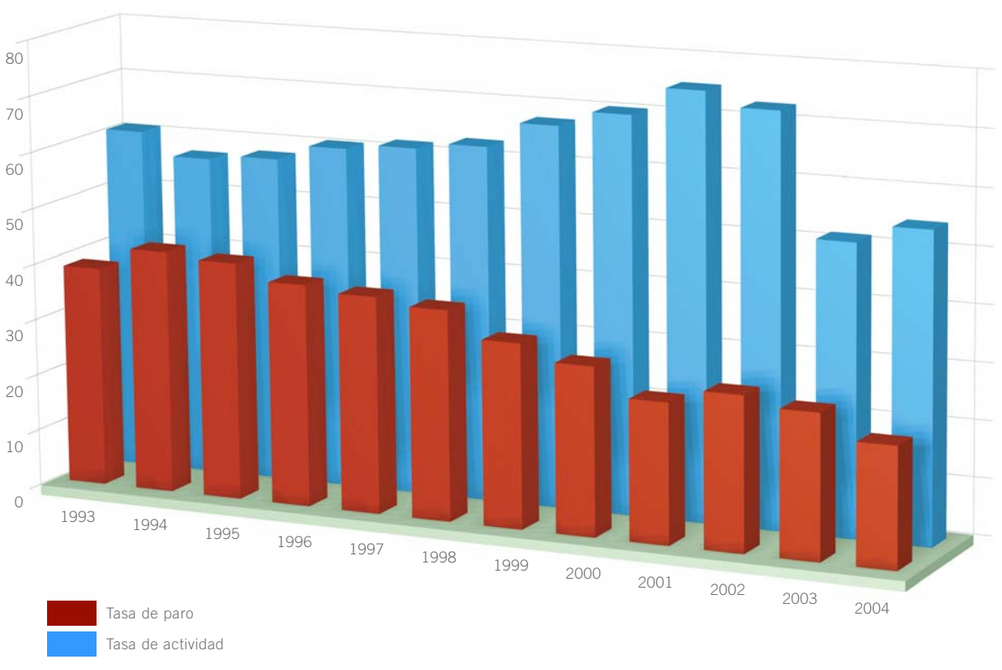
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto de Estadística de Andalucía, 2005

Población activa por sectores de actividad.
Provincia de Cádiz. Año 2005



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Encuesta de Población Activa (EPA)

Evolución de las tasas de empleo en la provincia de Cádiz (%)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto de Estadística de Andalucía, 2005

4.3. Aspectos económicos

De acuerdo con los datos del Instituto de Estadística de Andalucía, el Producto Interior Bruto a precios de mercado (PIB p.m.) de Cádiz para el año 2004 fue de 14.534 millones de euros, superior al de los años anteriores. Éste representa el 2,4% del PIB nacional y el 17,7% del total de la Comunidad Autónoma, situándose como la tercera provincia andaluza con mayor PIB, después de Sevilla y Málaga.

Producto Interior Bruto a precios de mercado
(precios corrientes)

	Cádiz	Andalucía	España
1998	10.349	65.912	486.785
1999	11.157	68.654	507.346
2000	12.376	72.722	529.691
2001(P)	13.250	74.944	544.496
2002(P)	13.700	77.138	556.651
2003(A)	14.111	79.444	570.556
2004(1ªE)	14.534	81.795	585.877

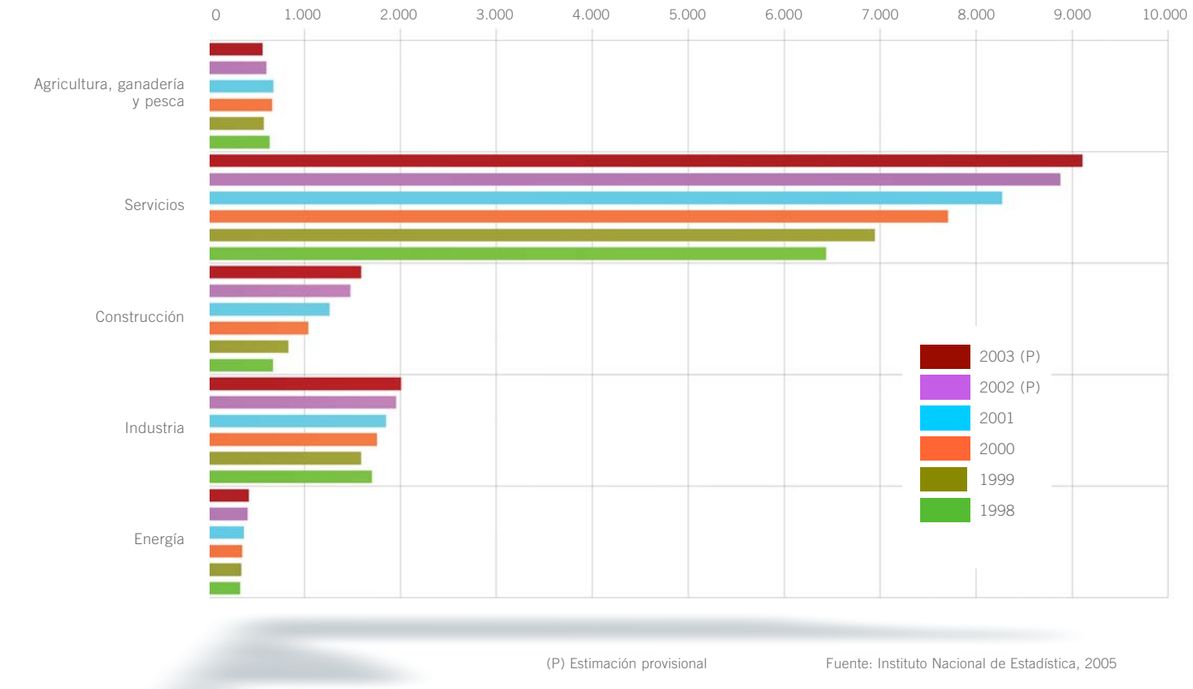
Unidad: miles de euros. (P) Estimación provisional (A) Estimación avance (1ªE) Primera estimación

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, 2005



Parque eólico de generación de energía eléctrica en Tarifa, uno de los más importantes de Europa (6)

Evolución Valor Añadido Bruto por Sectores de Actividad en la provincia de Cádiz. Período 1998 - 2003
(millones de euros).



(P) Estimación provisional

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, 2005

Por sectores de actividad destaca el sector servicios, que genera un valor añadido bruto (VAB) del 66,4%, lo que configura a Cádiz como una provincia de marcado carácter terciario, orientando sus actividades fundamentalmente al subsector turístico y dependientes (restauración, hostelería, etc.). Por otro lado, éste es el sector económico de mayor crecimiento en la provincia.

Al sector servicios le sigue desde muy lejos el sector industrial, que genera el 14,67% del VAB de la provincia. La industria se concentra, especialmente, en la Bahía de Cádiz y en el núcleo petroquímico de Algeciras, cuyo puerto es uno de los más importantes del país. Los datos de empleo en el sector industrial apuntan a un proceso de desaceleración en este sector.

Por oto lado, la construcción ha presentado un comportamiento positivo en los últimos años, llegando a representar el 11,63% del VAB de la provincia (año 2003). Este crecimiento se ha reflejado en el aumento del consumo de cemento o en el aumento del número de proyectos visados y viviendas iniciadas, así como en el aumento del empleo en el sector.

Por último, el sector primario genera tan sólo el 4,13% del VAB provincial, siendo su crecimiento negativo en los últimos años.

4.3.1 Sector primario

Como se ha señalado anteriormente, el sector primario de Cádiz, compuesto por la agricultura, ganadería y pesca, representa tan sólo el 4,13% del VAB.

A semejanza de cualquier economía en desarrollo, en este sector se produce una tendencia a la disminución de la producción final agraria, tanto en su vertiente absoluta como porcentual, con una reducción del 7,6% en el año 2003 respecto al año anterior. Aun así, pese a no ser una provincia eminentemente agraria, Cádiz ofrece una considerable aportación a la agricultura nacional. De hecho, la provincia de Cádiz destaca como primera productora nacional de remolacha azucarera y corcho.

Por otro lado, hay que señalar que el subsector pesquero se ha visto gravemente afectado por la no renovación del acuerdo de Pesca entre la Unión Europea y Marruecos. En los puertos gestionados por la Empresa Pública de Puertos de Andalucía, la pesca desembarcada durante el año 2003 supuso un aumento del 4,27% respecto al año 2002, y representa el 45,6% del total de Andalucía. La producción acuícola aumentó el 25,4%; el 60% de las empresas acuícolas de Andalucía se concentran en la provincia de Cádiz.

Macromagnitudes del sector agrario.
Año 2003 (en millones de euros)

	2003		Variación 2003-2002 (%)	
	Cádiz	Andalucía	Cádiz	Andalucía
Producción Final Agraria (PFA)				
Agrícola	633	6.746	-7,6	-11,6
Ganadero	81	1.393	-4,2	5,1
Forestal	17	101	-7,6	-37,2
Otras aportaciones	-8	203	-8,6	-14,4
Total	**723**	**8.443**	**-7,2**	**-9,7**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto de Estadística de Andalucía, 2005

4.3.2 Sector industrial

El 14,67% del VAB provincial corresponde a la industria, concentrada en dos áreas principales: la Bahía de Cádiz y la Bahía de Algeciras.

En la Bahía de Cádiz destaca la importancia de los sectores estatales (aunque con tendencia a la privatización) representados por la industria aeronáutica y por los astilleros.

El consorcio aeronáutico y de defensa europeo EADS-CASA, de la que la SEPI participa en un 5,52% del capital, posee dos centros de producción en Cádiz, uno en el Polígono Industrial Trocadero, en Puerto Real, y otro en el barrio de Puntales, en el término municipal de Cádiz. Este consorcio obtuvo un beneficio neto de 816 millones de euros en el primer semestre de 2005, lo que representa un incremento del 114% con respecto al resultado registrado en el mismo período del año anterior.

Por su parte, la división de Defensa y Sistemas de Seguridad obtuvo unos ingresos por valor de 2.172 millones con un EBIT negativo de 19 millones de euros, frente a los 83 millones de 2004, mientras que la división Espacial se anotó una facturación por 1.160 millones, frente a los 1.090 del mismo período del año anterior.

En 2001 la Sociedad Española de Participaciones Industriales (SEPI) crea IZAR, fruto de la fusión de los astilleros públicos civiles y militares (Astilleros Españoles S.A., AESA, y la Empresa Nacional Bazán). La Sociedad Estatal de Participaciones Industriales (SEPI) plantea concentrar la actividad militar en una nueva sociedad que podrá realizar una actividad civil complementaria que no exceda el 20% del total de ventas, mientras que propone agrupar el resto del negocio civil en una nueva empresa participada mayoritariamente por la iniciativa privada y con participación pública.

Según el nuevo plan industrial para Izar, el negocio militar incluirá los astilleros de Ferrol, Cartagena, Puerto Real, Cádiz, San Fernando-Sistemas, Fene-Reparaciones, y dividirá sus actividad en cuatro líneas de negocio: Construcción Naval, Reparaciones, Propulsión, y Sistemas.

El grupo Izar pasará a contar en el conjunto de las tres factorías de la Bahía de Cádiz con una plantilla global inferior a los 1.900 trabajadores. En Puerto Real el ERE afectará a 650 de los 1.300 operarios. La factoría de Cádiz pasará de los 400 trabajadores actuales a unos 200. En San Fernando pasará de 1.200 trabajadores a 1.000.

Por otro lado, vecina a esta área, se desarrolla una importante actividad vinícola concentrada en el denominado triángulo del vino (Jerez - Puerto Santa María - Sanlúcar de Barrameda), donde numerosas bodegas elaboran el famoso vino de Jerez en todas sus variedades.

En cuanto a la industria química, uno de los sectores más dinámicos de la industria andaluza, se ubica en San Roque desde 1969 la segunda refinería de Cepsa, uno de los principales complejos petroquímicos europeos. Además, se encuentra Intercontinental Química (Interquisa), especializada en la producción de poliéster del mismo grupo, una fábrica de acero inoxidable (Acerinox) y una central térmica (Grupo Endesa) ubicada en Los Barrios, entre otras industrias relevantes.

Finalmente, la actividad industrial del interior de la provincia es mucho menos representativa, aunque destaca la proliferante actividad artesanal de marroquinería desarrollada en Ubrique y municipios vecinos.



Actividad industrial de interior. Piscifactoría en Benamahoma (3)

4.3.3 Sector servicios

Al igual que el resto de las provincias andaluzas, el sector servicios es el que genera un mayor VAB de Cádiz (66,4%), y dentro de éste destaca el subsector turismo.

La provincia de Cádiz se caracteriza por ofrecer una oferta turística rica y variada, que va desde el turismo de "sol y playa", ubicado en las zonas costeras dotadas de amplias playas, campos de golf y buena infraestructura hotelera, hasta el turismo rural interior, donde destaca la famosa ruta de los pueblos blancos, cuyos principales atractivos se basan en la belleza natural, gastronomía, artesanía, importancia monumental y riqueza arqueológica.

Para el desarrollo de la amplia gama turística gaditana, la provincia de Cádiz dispone de una infraestructura turística que incluye establecimientos hoteleros de distinta gama, que representan el 16,8% de las plazas de Andalucía, pero sobre todo una gran oferta de campamentos turísticos, llegando a estar ubicados en la provincia de Cádiz hasta el 21% de los campamentos andaluces.

Infraestructuras Turísticas. Año 2003.

	Número		Plazas	
	Cádiz	Andalucía	Cádiz	Andalucía
Establecimientos hoteleros				
Hoteles	224	1.322	28.002	187.309
Pensiones	276	1.489	7.237	34.996
Apartamentos turísticos	58	552	3.853	55.019
Campamentos turísticos	39	179	19.260	92.541
Restaurantes	1071	7.301	76.111	52.3011
Cafeterías	208	1.272	12.686	68.869
Agencias de viajes				
Mayoristas	-	34		
Minoristas	129	722		
Mayoristas - minoristas	58	402		

Fuente: Instituto de Estadística de Andalucía, 2005

Cabe destacar finalmente que, aunque el grado de ocupación turística ha disminuido levemente en el último año, el número de viajeros se ha incrementado en un 8,36% para los españoles y un 6,23% para los extranjeros.

Respecto a las pernoctaciones, se ha producido un incremento del 6.99% para los españoles y un 9,78% para los extranjeros.



Terraza de verano en Medina Sidonia, uno de los municipios de interior de la provincia con importante desarrollo de oferta turística (6)

Movimiento turístico. Año 2003.

	Valores absolutos		Variación 2003-2002 (%)	
	Cádiz	Andalucía	Cádiz	Andalucía
Viajeros alojados en establecimiento hoteleros				
Españoles	1.048.330	6.873.483	8,36	8,1
Extranjeros	608.042	5.029.013	6,23	-1,3
Pernoctaciones				
De españoles	2.810.069	17.844.923	6,99	8,5
De extranjeros	2.323.333	18.821.653	9,78	-0,3
Grado de ocupación (%) por plazas	43,97	50,77	-1,57	-1,06
Estancia media (días)				
Andalucía	8,5	9,2	0,3	0,5
Resto de España	7,4	8,4	-1,0	-0,7
Unión Europea	9,6	12,6	0,2	-2,6
Resto del Mundo	7,6	12,6	0,2	-1,7
Gasto diario medio ponderado (euros)	57,06	46,86	-5,31	3,97

Fuente: Instituto de Estadística de Andalucía, 2005

4.4. Comarcas de Cádiz

Basadas en las características naturales, económicas y sociales, la provincia de Cádiz se puede dividir en las siguientes comarcas y municipios:

- Costa Noroeste y Bahía de Cádiz: Cádiz, Chiclana de la Frontera, El Puerto de Santa María, Puerto Real, San Fernando, Chipiona, Rota, Sanlúcar de Barrameda y Trebujena.
- Campiña de Jerez: Jerez de la Frontera y San José del Valle
- Campo de Gibraltar: Jimena de la Frontera, Castellar de la Frontera, San Roque, La Línea de la Concepción, Los Barrios, Algeciras y Tarifa.
- La Janda: Alcalá de los Gazules, Barbate, Benalup-Casas Viejas, Conil de la Frontera, Medina Sidonia, Paterna de Rivera y Vejer de la Frontera.
- Sierra de Cádiz: Alcalá del Valle, Algar, Algodonales, Arcos de la Frontera, Benaocaz, Bornos, El Bosque, El Gastor, Espera, Grazalema, Olvera, Prado del Rey, Puerto Serrano, Setenil de las Bodegas, Torre-Alháquime, Ubrique, Villaluenga del Rosario, Villamartín y Zahara.

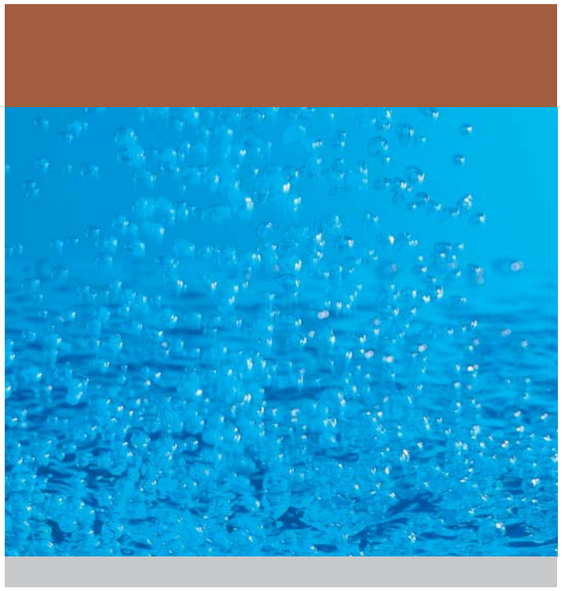
Existe una tendencia generalizada de tomar las comarcas como el marco territorial adecuado a la planificación, lo que ha dado lugar por otra parte a que la misma configuración de comarca acentúe su grado de diferenciación entre ellas. Así, comarcas como La Sierra y La Janda, basadas en la economía agraria, con pérdidas de población o crecimientos muy leves, donde se registran los niveles de rentas más bajos; frente a las comarcas del Campo de Gibraltar, y Costa Noroeste y Bahía de Cádiz, más industrializadas, con mayores niveles de renta y caracterizado por un marcado crecimiento poblacional. Finalmente, la Campiña de Jerez, de tierra muy fértil y sustentada económicamente en su riqueza agrícola y en las industrias vinateras, posee un nivel de renta relativamente alto y moderado crecimiento de población.

Comarcas de la provincia de Cádiz



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto de Estadística de Andalucía, 2002

“Pozo mío”



Debajo de su misma imagen brota,
y la porción nacida
impide el nacimiento en cada gota
de la que está enseguida
por venir a la boca de su vida.

La ausente actividad se hace reposo
copioso de frecuencia:
reclusa su inquietud en breve coso,
socorros con paciencia
de cuerda aguarda, coro de inocencia.

Por más que el cubo en su unidad ahonde
no merma ni acaba;
este dulzor proviene de algún donde
que no se menoscaba
y que está, sin estar, en donde estaba.

Permanentes frescuras manantiales
que en mi mano convoca
en sus hondos estados primordiales:
¡Nada más! agua y roca:
ni cielo ni mirada, ni luz ni boca.

Miguel Hernández

05 Vegetación y cultivos

Vegetación y cultivos

05

5.1. Vegetación potencial

Se puede definir la vegetación potencial como la comunidad vegetal estable que existiría en un área dada como consecuencia de la sucesión vegetal progresiva si el hombre dejase de influir y alterar los ecosistemas naturales. En la práctica, se considera la vegetación potencial como sinónimo de clímax (comunidad vegetal que representa territorialmente la etapa de máximo biológico estable) e igual a la vegetación primitiva, aún no alterada por el hombre.

Desde el punto de vista corológico (distribución de especies y comunidades vegetales), la provincia de Cádiz está biogeográficamente enclavada dentro de la región Mediterránea, al igual que el resto de Andalucía y la gran mayoría del territorio de la Península Ibérica. Dentro de esta región, las provincias corológicas que aparecen, con especies e incluso géneros vegetales exclusivos o endémicos, son la Bética y la Gaditano-Onubo-Algarviense.

La Provincia corológica Bética se corresponde fundamentalmente con la mayor parte de la Campiña de Jerez, la parte más septentrional de la Sierra de Cádiz y la zona interior de la comarca de la Janda. Este territorio, a su vez, se corresponde con el sector Hispalense (subsectores Hispalense y Jerezano), en el que la vegetación potencial es de encinares con zarzaparrilla *(Oleo-Quercetum rotundifoliae)* en el piso termomediterráneo o, en el mesomediterráneo, de encinares béticos con peonias *(Paeonio-Quercetum rotundifoliae)*. Ambos tipos de encinares han desaparecido prácticamente, debido a la presión agrícola, aunque algunos retazos permanecen, sobre todo en los resaltes calcáreos. Otro dominio climácico es el que se desarrolla sobre los suelos vérticos de la campiña jerezana (vertisoles; suelos oscuros sobre arcillas expansivas, conocidos como bujeos, que se resecan y agrietan en épocas secas). La vegetación que corresponde a estas zonas es de acebuchales *(Tamo communis-Oleetum sylvestris)*. Estos suelos han sido sobre todo utilizados para cultivo de cereales, por lo que esta comunidad está actualmente muy reducida.

La Provincia Gaditano-Onubo-Algarviense es una provincia individualizada por su carácter litoral, con substratos geológicos predominantemente silíceos y la presencia de una vegetación intrazonal, dependiente del agua (marisma) y de zonas escasamente edafizables (dunas), mientras que los arenales costeros llevan como clímax alcornocales. A nivel de sectores, el Onubense Litoral comprende el área próxima a la margen izquierda y desembocadura del río Guadalquivir y llega hasta las proximidades de Cádiz, y el Gaditano es fundamentalmente serrano (Sierras del Aljibe) con algo de litoral (Campo de Gibraltar). Los endemismos y elementos característicos van desde los propiamente litorales: *Armeria gaditana, A.* pungens, hasta los típicos del matorral como *Calicotome villosa* o los de los "canutos" gaditanos como *Rododendron ponticum subs. baeticum*. En el piso termomediterráneo, sobre substratos arenosos moderadamente ácidos, se desarrollan unos alcornocales con acebuches *(Oleo-Quercetum suberis)* que, si bien han sufrido el acoso humano para la utilización de maderas y carbones, aún forman parte del paisaje de las bajas campiñas gaditanas. En las Sierras del Aljibe, la naturaleza areniscosa del substrato y el ombroclima, que para las zonas de menor precipitación es subhúmedo, provoca la existencia de las siguientes series de vegetación: cerca de la costa, en las áreas más o menos llanas del Campo de Gibraltar, Tarifa y, hacia el Este hasta las proximidades de Marbella, el ombroclima subhúmedo y el suelo arenoso provoca la existencia del alcornocal con acebuches *(Oleo-Quercetum suberis)*; en las faldas costeras de la Sierra de Algeciras y, hacia el interior, aparece otro alcornocal, desarrollado en áreas más lluviosas *(Teucrio-Quercetum suberis)*; en los mismos territorios que este alcornocal, al menos de forma teórica, se desarrolla la serie del quejigo andaluz, cuya etapa climácica es un quejigar *(Rusco-Quercetum canariensis)*.



Alcornoques en Facinas (Parque Natural de los Alcornocales) (6)



Pinar de Barbate (3)



Pinar de La Algaida (Sanlúcar de Barrameda) (6)

5.2. Vegetación actual

Una gran parte de la superficie de la provincia de Cádiz está ocupada por una cobertura de vegetación natural que destaca por su biodiversidad y un apreciable grado de conservación.

El tipo de vegetación dominante es la termomediterránea o vegetación adaptada a un clima con sequía estival y libre de heladas, aunque también aparece el piso mesomediterráneo en la mayor parte de las sierra de Cádiz, con temperaturas algo inferiores y una mayor pluviometría.

Especial mención merece la vegetación presente en los Parques Naturales de los Alcornocales (Sierras del Aljibe) y de la Sierra de Grazalema.

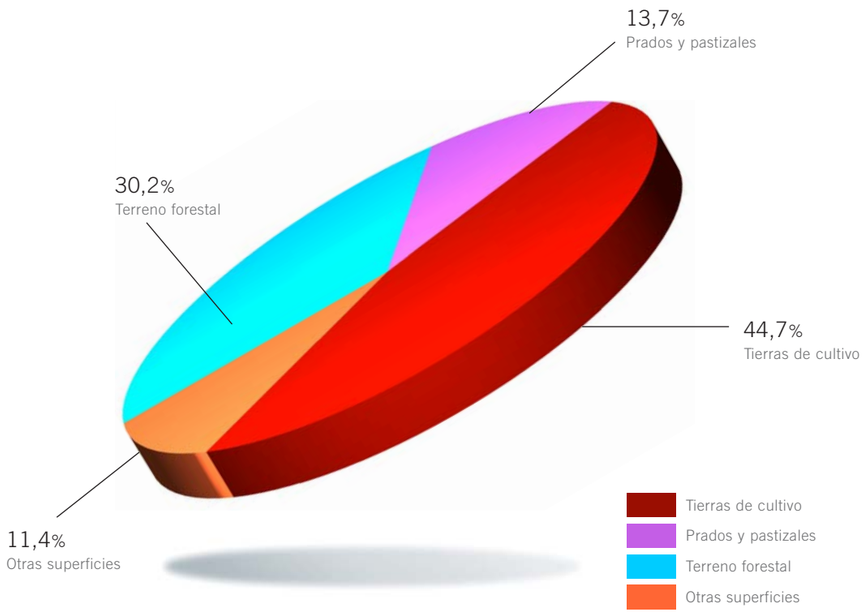
El Parque Natural de los Alcornocales aporta una de las mayores extensiones de alcornocales del planeta y otras especies de indudable valor botánico y representa una masa de vegetación puramente mediterránea con especies tales como encinas, quejigos, robles, melojos, acebuches y los mencionados alcornoques. Pero hay una vegetación característica y única en Europa que define precisamente al Parque Natural de los Alcornocales. Se trata de la asociada a los canutos, un bosque de ribera peculiar de estas sierras, que está representado por las angostas vaguadas de las cabeceras de los arroyos serranos junto a la vegetación que la coloniza, tal como el laurel, rododendro, avellanillo, durillo, aliso, acompañados por acebo, y ejemplares de helechos, poco comunes en estas latitudes. A veces, esta vegetación excede en muchos casos estas hondonadas o barrancos típicos, extendiéndose en áreas con especiales condiciones de umbría, humedad o aporte acuoso debido a las constantes nieblas, recibiendo la denominación de bosques de niebla.

Por otro lado, en la vegetación del Parque Natural de la Sierra de Grazalema es fácil distinguir varios pisos de vegetación que, a medida que aumenta la altitud y cambian las condiciones climáticas, muestran una amplia gama de especies y biotopos de adaptación diferentes de acuerdo con esta variación climática.

- Las zonas bajas están dominadas por los bosques de alcornoques y encinas, frecuentemente mezclados en bosques mixtos en los que también figuran algarrobos, acebuches, madroños, espinos y lentiscos.
- En las zonas medias (cercanas a los 1.000 m de altitud), aparecen los quejigales, con un matorral florísticamente muy rico que se asocian con alcornoques y encinas en zonas de poca humedad.
- Las zonas altas (entre los 900 y 1.600 m de altitud) encierran una auténtica reliquia, el bosque de pinsapos. El pinsapo es una especie de abeto, de porte robusto y elegante que no suele sobrepasar los 20 m de altura.

Por último, en las zonas costeras la vegetación dominante está compuesta por pino piñonero, retama, eucaliptos, etc.

Distribución de la tierra por aprovechamientos.
Año 2001



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto de Estadística de Andalucía, 2001

5.3. Cultivos y coberturas vegetales del suelo

Las tierras de cultivo suponen el uso mayoritario del territorio gaditano, con casi un 45 % de la superficie total provincial. El terreno forestal, prados y pastizales suponen en conjunto casi el 44% y finalmente, el resto de la superficie, más del 11%, corresponde a terrenos improductivos o sin vegetación.

En cuanto a la evolución reciente de los usos del suelo, si se compara la distribución general de la tierra por aprovechamientos entre los años 1997 y 2001, se observan escasas diferencias. Cabe destacar un ligero incremento (del 30,0 al 30,2%) de la superficie forestal, lo que supone un decrecimiento de idéntica magnitud de las tierras de cultivo (del 44,9 al 44,7%). Por otro lado, la superficie ocupada por prados y pastizales, así como los terrenos improductivos o sin vegetación permanecen invariables en el periodo de tiempo considerado.

Distribución general de la tierra por aprovechamientos en la provincia de Cádiz. Años 1997 y 2000.

Aprovechamiento	Año 1997		Año 2001	
	ha	%	ha	%
Tierras de cultivo	331.373	44,9	330.262	44,7
Prados y pastizales	101.426	13,7	101.426	13,7
Terreno forestal	221.339	30,0	222.600	30,2
Improductivo y sin vegetación	84.399	11,4	84.374	11,4

Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía

En el Mapa de vegetación y cultivos se representan, de forma sintética, las distintas agrupaciones de cultivos y coberturas vegetales del suelo de la provincia de Cádiz, las cuales son enumeradas y descritas a continuación:

- Cultivos herbáceos en regadío: como cultivos herbáceos en regadío han sido agrupados aquellos de carácter anual que reciben sistemática y periódicamente agua de riego, incluidos los cultivos bajo plástico.

  Estos cultivos se localizan principalmente en la comarca de la Campiña de Jerez, tanto en las márgenes del río Guadalete y sus afluentes como en los terrenos próximos al embalse de Bornos situados en el extremo nororiental de la comarca, en gran parte de la Costa Noroeste y en una extensión considerable de la Comarca de La Janda regada por el río Barbate. Otras extensiones destacables son las vegas de los ríos Guadiaro, Guadarranque y Guadacortes, en el extremo suroriental de la provincia.

- Cultivos herbáceos en secano: comprende los cultivos anuales indiferenciados que no reciben de forma permanente aportes artificiales de agua. Se incluyen barbechos y rastrojeras.

  Suponen más de dos tercios del total de la superficie cultivada. Se distribuyen, fundamentalmente, por toda la Campiña de Jerez, La Janda y la comarca de la Costa Noroeste y Bahía de Cádiz. Otras superficies de menor tamaño se distribuyen al Norte y Este de la Sierra de Cádiz y al suroeste del Campo de Gibraltar.

- Cultivos leñosos en regadío: el cultivo de cítricos, olivar de regadío y todos los frutales con aporte sistemático de agua de riego conforman el grupo de cultivos leñosos en regadío. Se concentran a lo largo de las vegas de los ríos Guadiaro, Guadarranque y Guadacortes al Suroeste de la provincia y, en menor medida, en la vega del río Guadalete y otras zonas de la Campiña de Jerez.

- Cultivos leñosos en secano: los cultivos leñosos en secano comprenden las prácticas extensivas de parcelas plantadas con olivar de secano y demás árboles frutales en secano (almendros, higueras, etc.). Se consideran las plantaciones puras o con mezclas de varias especies. Este grupo de cultivos está conformado fundamentalmente por el olivar de secano localizado al Noreste de la provincia, en la comarca de la Sierra de Cádiz. Otras extensiones de menor tamaño se distribuyen por la Campiña de Jerez.

- Viñedo: los viñedos comprenden las tierras ocupadas por este tipo de cultivo, incluyendo los sistemas de emparrado. Han sido considerados como un grupo diferenciado fundamentalmente por su apreciable extensión superficial, además de por la importancia económica y cultural de las zonas vinícolas de la provincia.

  El cultivo de la vid se distribuye en su gran mayoría por la Campiña de Jerez y en algunas zonas del interior de la comarca de la Costa Noroeste.

- Acuicultura: uno de los usos del suelo más singular de la provincia de Cádiz es el de la acuicultura, en el que se consideran las zonas húmedas de la marisma o terrenos asociados puestos en explotación para la producción intensiva de cultivos acuáticos, presentando instalaciones modernas destinadas a tal fin. Se concentran en la Bahía de Cádiz, donde se encontraban las antiguas salinas que han sido reconvertidas, en su mayoría, al nuevo uso para los cultivos acuáticos.

- Quercíneas: corresponde a las formaciones con arbolado forestal o natural con especies de Quercus sp (encinas, alcornoques y quejigos). Incluye las superficies con formaciones mixtas de quercíneas-matorral y quercíneas-pastizal. Las mayores extensiones se distribuyen por los Parques Naturales de la Sierra de Grazalema y de los Alcornocales. Otras superficies de menor tamaño se localizan en la Comarca de La Janda y zonas dispersas de la campiña jerezana.



Cultivo de maiz (6)



Vegetación de ribera. Río Guadalete en La Barca de La Florida (6)



Actividad agrícola. Campo de girasoles (Espera) (6)

- Coníferas: incluye las formaciones con arbolado forestal o natural con especies de coníferas. Por un lado, se localizan en zonas costeras como en los Parques Natural de Barbate, de la Bahía de Cádiz y la parte gaditana del Parque Natural de Doñana. Por otro lado, también se encuentran áreas significativas de coníferas en el Parque Natural de la Sierra de Grazalema, principalmente en el pinsapar de la Sierra del Pinar, y en zonas dispersas del Parque de los Alcornocales.

- Matorral y pastizal: dentro de esta clase se incluyen las formaciones con cobertura de matorral y pastizal sin arbolado (cobertura arbórea inferior al 5%). Se extienden por toda la provincia, especialmente por las comarcas de la Sierra de Cádiz, Campo de Gibraltar y La Janda.

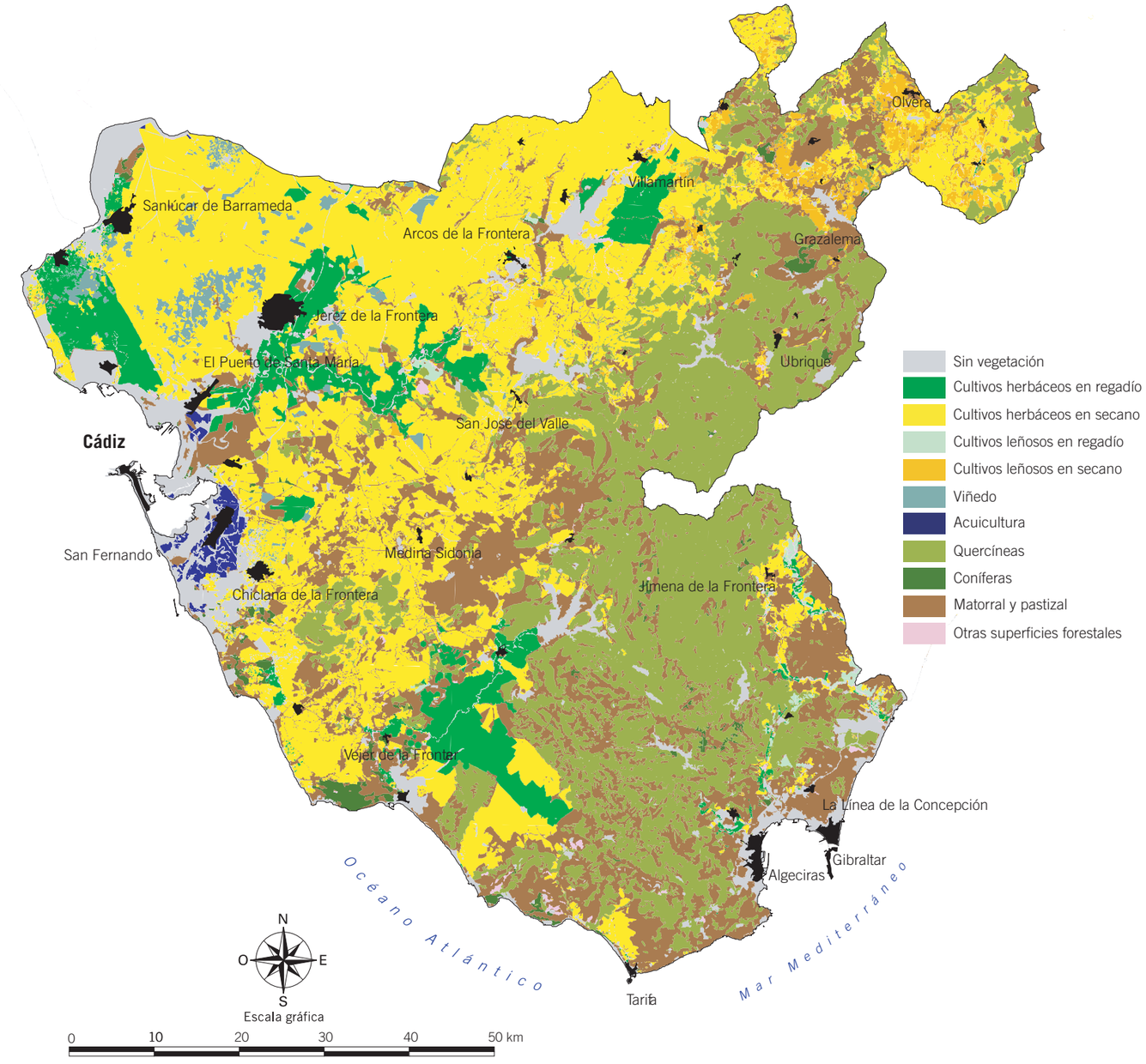
- Otras superficies forestales: en esta categoría se engloban el resto de las zonas forestales y naturales no recogidas en los tres apartados anteriores, tales como: zonas arboladas de eucaliptos, mezclas, talas y cortas, etc. Estas superficies se corresponden, básicamente, con los eucaliptos localizados en la comarca del Campo de Gibraltar.

- Improductivo y superficies sin vegetación: en esta clase se han agrupado, por un lado, las superficies construidas y alteradas a través de edificaciones, infraestructuras, espacios de ocio, minas, vertederos y áreas de servicio o en construcción y, por otro, las zonas húmedas y superficies de agua excluyendo las superficies dedicadas a la acuicultura. Lógicamente, la superficie correspondiente a esta agrupación se distribuye por todo el territorio provincial, aunque la mayoría corresponde a los núcleos de población y a los distintos embalses y zonas húmedas de la provincia.

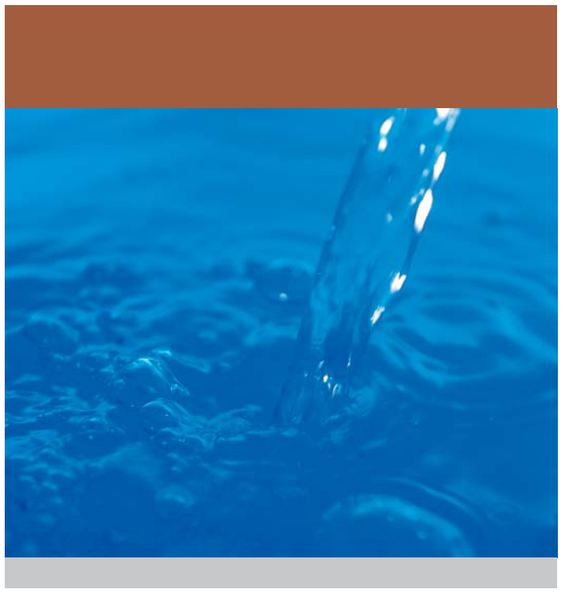


Actividad agrícola. Viñedo en Trebujena (6)

Vegetación y cultivos de la provincia de Cádiz



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Consejería de Agricultura y Pesca (Junta de Andalucía), 2000



De los sonetos pertenecientes al ciclo del “Silbo Vulnerado”

Ningún tropiezo espumas le origina
ni voces le derrama...
¡Qué gracia circular!. ¡Qué fría mina!
De agua sin río y brama,
Sin corriente, sin márgenes, sin grama.

Rascacielos, oh pozo soterraño,
subterránea manida;
aquí el árbol dejó, al amor del baño,
su vena empedernida, su vida desposada con su herida.

Manantial casi fuente; casi río
fuente; ya casi mar casi río apenas;
mar casi-casi oceano de frío.
Principio y fin del agua y las arenas.

Miguel Hernández

06 Suelos en la provincia de Cádiz

Suelos en la provincia de Cádiz

06



Perfil edáfico: arenas eólico-litorales, horizonte argilíco con rasgos hidromórficos (nivel oscuro) y costra carbonatada tipo caliche (nivel blanquecino inferior). Rota (6)

6.1. Características Generales

El suelo, como medio complejo y dinámico es una interfase de transición entre la atmósfera, el agua, los seres vivos de la superficie y las rocas subyacentes. Constituye la parte más externa de la corteza terrestre sufriendo las acciones de los agentes atmosféricos y de los seres vivos, sirviendo de soporte vital a la cubierta vegetal. Como cuerpo tridimensional, en su perfil se desarrollan procesos físico-químicos que lo hacen evolucionar partiendo de un material original, resultado de la alteración de una roca madre. La acción de los agentes atmosféricos externos, los seres vivos, las peculiaridades de los materiales que lo constituyen y el relieve, afectados por el paso del tiempo, dan lugar a que las características mineralógicas evolucionen y se trasformen diferenciándose el suelo en capas superpuestas de carácter homogéneo desde un punto de vista fisico-químico y biológico. El conjunto de capas u horizontes que constituyen un suelo conforman su perfil. Las peculiaridades de los diferentes horizontes y su nivel de evolución son utilizadas para clasificar los suelos, los cuales pueden ser considerados, como hemos mencionado, un medio vivo y en equilibrio. Si las condiciones externas influyen negativamente sobre las características del suelo, se producirá una degradación que puede llevarlo a su desaparición.

Desde un punto de vista hidrológico el suelo actúa como el primer filtro de las aguas de lluvia. En función de sus características físicas: granulometría, estructura, permeabilidad, capacidad de retención... facilitará o no la penetración de las aguas de lluvia, retendrá más o menos tiempo agua en su interior, condicionará la existencia de encharcamientos, etc. Su pendiente y composición condicionará igualmente el drenaje rápido o lento en superficie y profundidad, o la salinidad de las aguas. En suma, el suelo es el principal elemento filtrante de las aguas gracias a su capacidad de almacenamiento y amortiguación de posibles contaminantes naturales o artificiales.

Su degradación por contaminación puede suponer un foco de dispersión de forma difusa que se acentúa por la remoción artificial (arado) o natural (erosión y arrastre). La contaminación difusa provocada tras la acumulación de productos fitosanitarios, nitratos, etc., puede afectar, así, en gran medida, a las reservas hídricas superficiales y subterráneas, constituyendo las zonas de cultivo intensivo y de ganadería estabulada fuentes de contaminación que deben ser vigiladas.

Por otra parte, la degradación de los suelos por erosión da lugar, además de a la desaparición de la capacidad productiva del suelo, al aterramiento de zonas de acumulación de aguas, como los embalses, e incluso pueden condicionar el sellado de la infiltración, provocando encharcamientos en zonas permeables, o el arrastre y acumulación de sales en otras zonas.

Por último, el sellado de suelos por obras de infraestructura, urbanización y zonas industriales evita la infiltración aumentando la escorrentía superficial y los riesgos de inundación de cada vez más territorios.

6.2. Distribución de los suelos

La complejidad y variabilidad de los suelos, unidas a la dificultad de sistematizar sus características ha llevado a que existan diferentes sistemas de clasificación. La clasificación empleada para describir los suelos en el presente trabajo es la desarrollada por F.A.O. en su versión de 1974 para realizar el mapa de suelos del mundo. Esta clasificación está especialmente diseñada para el trazado de unidades cartográficas que representaran los suelos de regiones más o menos amplias y ha sido la empleada en la cartografía existente a escala regional (IARA-CSIC, 1989).

Las principales clases de suelo presentes en la provincia de Cádiz son 12, subdivididas a su vez en 25 subclases que conforman 21 unidades cartográficas diferentes, formadas por distintas asociaciones de estas.



Fluvisol. Terraza aluvial del Guadalete, en Puerto Serrano (6)

Superficies aproximadas de los distintos taxones de suelos en la provincia de Cádiz

(% sobre la superficie provincial)

Arenosoles álbicos	0,69 %	Phaeozems calcáreos	0,07 %
Cambisoles vérticos	12,29 %	Planosoles éutricos	0,44 %
Cambisoles cálcicos	13,08 %	Planosoles móllicos	0,15 %
Cambisoles dístricos	1,28 %	Rankers	1,27 %
Cambisoles éutricos	6,61 %	Regosoles calcáreos	12,39 %
Cambisoles húmicos	0,41 %	Regosoles dístricos	0,06 %
Fluvisoles calcáreos	6,11 %	Regosoles éutricos	0,03 %
Gleisoles dístricos	0,27 %	Rendzinas	2,6 %
Litosoles	6,39 %	Solonchaks gleicos	1,50 %
Luvisoles cálcicos	4,45 %	Solonchaks takíricos	2,25 %
Luvisoles crómicos	8,04 %	Vertisoles crómicos	14,13 %
Luvisoles gleicos	1,07 %	Vertisoles pélicos	3,88 %
Luvisoles plínticos	0,18 %	Ríos, lagunas y embalses	0,35 %

Superficie de las distintas unidades cartográficas en la provincia de Cádiz

(% sobre la superficie provincial)

Fluvisoles Calcáreos	5,29 %
Regosoles éutricos, Regosoles dístricos	0,07 %
Regosoles calcáreos, Cambisoles cálcicos	10,39 %
Litosoles, Luvisoles crómicos y Rendsinas	4,43 %
Arenosoles álbicos, Cambisoles húmicos y Gleisoles dístricos	1,36 %
Vertisoles pélicos, Rendsinas y Regosoles calcáreos	2,69 %
Vertisoles pélicos, Vertisoles crómicos	2,34 %
Vertisoles crómicos, Cambisoles vérticos	20,73 %
Solonchaks takíricos y Solonchaks gleicos	3,75 %
Cambisoles éutricos, Cambisoles dístricos y Regosoles dístricos	0,22 %
Cambisoles éutricos, Luvisoles crómicos y Litosoles	16,25 %
Cambisoles cálcicos, Regosoles calcáreos	5,78 %
Cambisoles cálcicos, Regosoles calcáreos y Litosoles	2,56 %
Cambisoles cálcicos, Luvisoles cálcicos y Luvisoles crómicos	0,18 %
Cambisoles vérticos, Regosoles calcáreos y Vertisoles crómicos	2,86 %
Cambisoles vérticos, Vertisoles crómicos y Cambisoles cálcicos	9,02 %
Luvisoles crómicos	0,50 %
Luvisoles cálcicos, Cambisoles cálcicos, Luvisoles crómicos y Regosoles calcáreos	5,97 %
Luvisoles cálcicos, Luvisoles crómicos y Luvisoles gleicos	4,04 %
Planosoles éutricos, Luvisoles gleicos y Luvisoles plínticos	0,88 %
Planosoles mólicos, Vertisoles pélicos, Phaeozems calcáreos y Rankers arenosos	0,37 %

Son los Cambisoles los suelos más abundantes en la provincia de Cádiz, representando éstos casi un 34 % de la superficie provincial. Los cambisoles, suelos relativamente poco evolucionados cuyas características principales son presentar un horizonte estructuralmente diferenciado de tipo cámbico y perfil tipo ABC, están presentes en sus subtipos cálcico cuando se desarrollan sobre materiales calcáreos, vértico cuando presenta propiedades vérticas (agrietamiento profundo en periodos secos), éutrico para los desarrollados sobre materiales no calcáreos pero con complejo de cambio saturado, dístrico cuando su complejo de cambio presenta una saturación inferior al 50 % y por último húmicos cuando presentan horizonte A de tipo úmbrico.

Los Vertisoles ocupan un 18 % de la superficie provincial, son suelos de carácter arcilloso y presentan un alto grado de uniformidad en el metro superior debido a movimientos y mezclas naturales del material como consecuencia de la aparición de grietas de retracción en los periodos secos. Se encuentran presentes en sus dos variantes: vertisoles crómicos cuando su color es relativamente claro y vertisoles pélicos cuando su color es oscuro, generalmente asociado a condiciones de drenaje escaso.

Los Luvisoles representan el 13,8 % de los suelos de la provincia de Cádiz. Se trata de suelos evolucionados cuya principal característica es la existencia de un horizonte iluvial de carácter argílico. Los principales subtipos son crómico cuando el horizonte B toma tonalidades rojizas, cálcico cuando presentan un horizonte cálcico además del argílico, gleico para aquellos que presentan propiedades hidromórficas y plíntico cuando tienen plintita (mezcla de arcilla y cuarzo rica en hierro).

Los Regosoles, suelos jóvenes y poco evolucionados, son fruto de aportes recientes de material o de un rejuvenecimiento continuo de materiales relativamente deleznables por los procesos de erosión, ocupan un 12,5 % de la superficie provincial asociándose a zonas de pendientes movidas. Presentan un perfil de tipo AC siendo los subtipos presentes calcáreo cuando se desarrollan sobre este tipo de material, éutrico cuando el material no es calcáreo y la saturación de bases es superior al 50 % y dístrico sobre materiales de las mismas características pero con complejo de cambio desaturado.

Los Litosoles, suelos esqueléticos de profundidad inferior a los 10 cm limitados por roca dura, están presentes en un 6,4 % de la superficie provincial. Estos suelos se asocian a relieves abruptos o fuertemente erosionados en las principales sierras.



Arenosoles álbicos. El Puerto de Santa María (6)

En el curso de los principales ríos se desarrollan, sobre depósitos aluviales recientes, suelos de escasa evolución y perfil de tipo AC denominados Fluvisoles; el subtipo más frecuente en la provincia es el calcáreo alcanzando un 6,1 % de representación a nivel provincial.

En las zonas de marismas existentes en la provincia, asociadas a las desembocaduras de los principales ríos (Guadalquivir, Guadalete y Barbate), se desarrollan Solonchacks, suelos salinos, profundos, sobre sedimentos de carácter fino, alcanzando el 3,8 % de la superficie provincial. Estos, si presentan agrietamientos poligonales característicos e hidromorfía profunda se denominan takíricos y si tienen carácter hidromórfico superficial, gleicos.

Las Rendsinas, suelos desarrollados sobre materiales fuertemente carbonatados, de perfil tipo AC y que presentan un horizonte A de color oscuro y carácter móllico, ocupan un 2,6 % de la superficie provincial.

Por último Arenosoles álbicos (suelos de carácter arenoso), Planosoles éutricos y móllicos, Phaeozems calcáreos y Gleisoles dístricos apenas alcanzan representación provincial aunque están presentes como suelos minoritarios o conforman unidades de pequeña extensión.

Estos suelos conforman 21 unidades cartográficas diferentes para el conjunto provincial cuya importancia relativa se pone de relieve en el cuadro, donde destaca la importancia de los suelos de carácter calcáreo (72 %).

La provincia de Cádiz se caracteriza, desde un punto de vista físico-natural, por presentar una extraordinaria variabilidad interna: un amplio litoral, con fachadas al Mediterráneo, al Atlántico y su conexión a través del Estrecho, unas extensas marismas, gran abundancia de macizos montañosos sobre materiales diversos (margas, calizas, areniscas) y un espacio de intensa utilización agrícola sobre los relieves llanos y acolinados que conforman sus campiñas. Esta amplia variabilidad de substratos litológicos, morfologías y dedicación de uso condiciona los suelos existentes.

Si analizamos el territorio gaditano desde una perspectiva sintética en cuanto a sus características ambientales podemos llegar a establecer hasta ocho grandes conjuntos homogéneos de tierras. Cuatro de ellos se definen, fundamentalmente, por el predominio de los usos humanos a lo largo de siglos sobre campiñas y piedemontes constituyendo sistemas naturales degradados. Son éstos las campiñas del suroeste, el piedemonte del noreste, las campiñas de albarizas y las campiñas sobre margas arcillosas. Otras dos se caracterizan por el predominio de sistemas naturales con diversos grados de conservación sobre territorios montañosos, como son las Sierras del Aljibe y la Serranía de Grazalema. Finalmente, un litoral, con intensa urbanización en la actualidad en algunas zonas, pero con elevados grados de naturalidad en otros, dan lugar a dos grandes conjuntos de tierras que serían las marismas y esteros y el resto de la fachada litoral.

Las Campiñas del Suroeste

Situadas al pie de las Sierras del Aljibe, presentan materiales eocenos y oligocenos plegados suavemente y con la existencia de frecuentes depósitos coluviales procedentes de laderas que dan lugar a llanuras similares a pequeñas vegas fluviales. La morfología es suavemente ondulada con alturas que no sobrepasan los 100 m por lo general. Los suelos predominantes (más del 50 %) son Vertisoles crómicos y Cambisoles vérticos sobre margas calcáreas, suelos profundos de aceptable fertilidad; en las zonas bajas el drenaje suele ser deficiente, por lo que, en época de lluvias, éstas zonas suelen encharcarse. Los Fluvisoles calcáreos ocupan el curso de los dos principales ríos existentes, el Barbate y el Almodóvar. Sobre retazos de areniscas del Aljibe se desarrollan suelos de carácter no calcáreo, como son Cambisoles éutricos y Luvisoles crómicos, de marcado carácter forestal. Sobre las coberteras detríticas y materiales de tipo areniscoso se desarrollan otros más evolucionados de tipo Luvisol, en sus variantes cálcica, crómica y gleica, aunque su representatividad no supera el 10 %. En estas tierras el viento de levante ha impedido secularmente su utilización para cultivos agrícolas, habiéndose empleado tradicionalmente como terreno de pasto, pero su puesta en riego ha hecho que se desarrollen unos usos agrícolas de carácter intensivo, especialmente sobre los suelos drenados de la antigua Laguna de la Janda. La influencia marina favorece temperaturas con moderadas oscilaciones térmicas y las precipitaciones varían de norte a sur entre los 800 y 600 mm anuales.

El Piedemonte del Noreste

Conforma una especie de corredor situado entre las campiñas de margas y las Serranías de Grazalema. Es una zona de relieves intermedios entre las colinas y las sierras abruptas, sin llegar a sobrepasar los 500 m de altura. Sus materiales y suelos son predominantemente arcillosos y margosos, dominando ampliamente las margas del Trías Subbético con inclusiones de rocas carbonatadas, sobre las que se desarrollan Cambisoles cálcicos y Regosoles calcáreos en los relieves más acentuados y Cambisoles vérticos y Vertisoles crómicos en las áreas de relieve ligeramente colinado y plano. La productividad de los suelos desarrollados sobre estos materiales no es elevada, viéndose esto agravado por fuertes pérdidas de suelo por erosión laminar y en regueros siendo su principal uso el olivar y los herbáceos en secano.

Sobre materiales de tipo margocalizo y relieve colinado se desarrollan Cambisoles cálcicos, Regosoles calcáreos y Litosoles, normalmente en función de la posición. El primero en zonas bajas y poco erosionadas, normalmente dedicadas al cultivo de cereal y los restantes en zonas más altas y abruptas dedicadas a usos forestales.

Sobre margas terciarias se desarrollan dos unidades que mantienen cierta significación en su conjunto (9,5 %) y que la componen Vertisoles crómicos y Cambisoles vérticos en áreas suavemente onduladas y Cambisoles vérticos, Regosoles calcáreos y Vertisoles crómicos cuando el relieve es más animado. La dedicación de estas tierras es fundamentalmente a herbáceos de secano.

Puntualmente es necesario reseñar la existencia de dos unidades íntimamente ligadas a aspectos litológicos; Litosoles, Luvisoles crómicos y Rendsinas sobre afloramientos aislados de calizas jurásicas y altas pendientes y Cambisoles éutricos, Luvisoles crómicos y Litosoles cuando los afloramientos son de areniscas del Aljibe. Ambas unidades son de marcado carácter forestal.

El clima en estas tierras es intermedio entre el de las campiñas y las sierras, de forma que la continentalidad se deja sentir más que en las primeras, pero menos que en las segundas, alcanzando las lluvias valores entre 700 y 800 mm anuales. El uso dominante en estos territorios es el del olivar, persistiendo lugares donde éste se mezcla con cultivos de secano y manchas de matorral aclarado.

Las Campiñas de albarizas

Las peculiaridades físicas ofrecidas por las margas albarizas, en cuya composición dominan algas diatomeas, han sido aprovechadas por el hombre desde la más remota antigüedad. Estos territorios acogen a los viñedos más famosos del llamado Marco de Jerez. Los relieves que definen esta zona suelen ser muy suaves, con laderas de escasa pendiente, y donde se alternan la “albariza” en partes altas y los bujeos (suelos de intenso color gris oscuro) en las zonas bajas. Las unidades que conforman estas tierras son los Regosoles calcáreos y Cambisoles cálcicos cuando no hay una acumulación de elementos finos en las vaguadas y Vertisoles pélicos, Rendsinas y Regosoles calcáreos cuando aparecen las tierras negras en los fondos de valle. Estas tierras suelen ofrecer una excelente aptitud agrícola para el viñedo, a pesar de que, a veces, el cultivo se realiza directamente sobre la roca disgregada artificialmente por el laboreo sin que exista verdadero suelo. La gran capacidad de retención de humedad y el alto contenido en arcillas se unen a un clima atemperado por la influencia del mar en el que el viento dominante en Cádiz, el Levante, no tiene especial incidencia.

Cuando el relieve se vuelve plano o ligeramente ondulado los suelos que se desarrollan sobre las margas terciarias adquieren carácter vértico (profundo agrietamiento en estado seco) siendo las unidades principales las compuestas por Vertisoles pélicos y Vertisoles crómicos como suelos dominantes y por Vertisoles crómicos y Cambisoles vérticos cuando la orografía se anima.

Puntualmente en áreas perilagunares aparece una unidad donde los suelos más característicos son los Planosoles mólicos y Phaeozems calcáreos cuando el horizonte superficial contiene abundante materia orgánica y está saturado o Vertisoles pélicos cuando son las características vérticas las que predominan. En suelos arenosos desaturados aparecen Rankers.

Dado el elevado valor productivo de estas tierras, la cubierta vegetal natural ha sido completamente sustituida por los cultivos agrícolas.



Suelos sobre campiña de albarizas, en el término municipal de Puerto Real (6)

Las Campiñas de margas arcillosas

Caracterizan un amplio sector central de la provincia, con una morfología de llanura suavemente ondulada y con alturas normalmente inferiores a los 200 m. El río Guadalete las recorre de este a oeste existiendo numerosas lagunas sobre materiales impermeables. Las rocas dominantes son sedimentarias de épocas recientes (Terciario y Cuaternario) dominando materiales arcillosos en general y conglomeráticos en las proximidades de los principales ríos. El factor que más caracteriza el clima gaditano, el viento de Levante, permite diferenciar las Campiñas del sur, en las que éste tiene una fuerte incidencia, de las del norte, donde sus efectos son escasos. Al sureste, en las proximidades del Campo de Gibraltar, una mayor abundancia de lluvias singulariza las campiñas que se asoman al Mediterráneo

Sobre los materiales de carácter arcilloso son los bujeos los suelos dominantes, suelos de eminente carácter agrícola y que los componen Vertisoles en sus variantes pélicas y crómicas en áreas planas o vaguadas, Cambisoles vérticos y Cambisoles cálcicos en las zonas de mayor pendiente y estando relegados los Regosoles calcáreos a las zonas culminantes en los relieves alomados o acolinados, allí donde la erosión hace aflorar el material margoso fuertemente calcáreo subyacente.

Es de destacar la presencia de margas triásicas ricas en yeso que conforman un paisaje colinado y donde los suelos dominantes son los Cambisoles vérticos y Cambisoles cálcicos, estos últimos presentes en las laderas más erosionadas y Vertisoles crómicos en las zonas bajas donde hay acumulación de elementos finos y que pueden presentar moderadas características salinas. La vocación de estos suelos, al igual que los anteriores, es el cultivo de herbáceos en secano



Luvisoles en grietas del acantilado litoral, sobre biocalcarenitas pliocenas. Conil de la Frontera (3)

Sobre los depósitos de origen aluvial presentes a lo largo de todo el recorrido del Guadalete se localizan Fluvisoles calcáreos, desarrollándose sobre los materiales más antiguos de sus distintas terrazas suelos más evolucionados donde predominan los Luvisoles en sus variantes cálcica, crómica y gleica. La vocación de uso agrícola de estos suelos son los cultivos de riego, ya sean frutales o herbáceos.

Marismas y esteros

La configuración del litoral gaditano permite un desarrollo extraordinario de las marismas, que ocupan grandes extensiones en el noroeste (marismas del Guadalquivir), en el centro (marismas del Guadalete) y el suroeste (marismas del Barbate).

El origen de estas marismas es reciente y resultado del relleno de antiguos estuarios marinos con materiales fluviales y marinos que acumulan una elevada salinidad e impermeabilidad. El agua es esencial en este ecosistema, existiendo una capa freática en profundidad de agua dulce, mientras en superficie las aguas son salinas.

Los suelos que se desarrollan sobre estos materiales presentan un drenaje muy deficiente, carácter salino, hidromorfismo en profundidad y textura arcillosa, siendo los tipos predominantes los Solonchacks takíricos y gleicos. Los principales usos existentes son marisma en estado natural, salinas tradicionales o cultivos acuícolas, siendo extremadamente difícil su utilización para la agricultura por su complejo manejo.

El litoral

Los más de 250 km de litoral gaditano ofrecen una diversidad que permite diferenciar dos grandes zonas: el litoral bajo y arenoso, que se extiende desde el Guadalquivir hasta Barbate, del rocoso y acantilado que ocupa las zonas próximas al Estrecho de Gibraltar. Abundan las formas de origen eólico como las dunas de la Algaida, El Puerto, Los Caños de Meca,... El desarrollo edáfico es muy escaso sobre los depósitos eólicos recientes, mientras que sobre las calcarenitas y piedras ostioneras se sitúan suelos rojos de gran calidad donde los suelos predominantes son los Luvisoles en sus variantes cálcica, crómica y gleica.

Sobre los sedimentos arenosos recientes se desarrollan Arenosoles álbicos en las zonas de menor vegetación, Cambisoles húmicos cuando el aporte de materia orgánica permite la creación de un horizonte A de carácter húmico y Gleisoles dístricos en zonas bajas encharcables que presentan un horizonte argílico con rasgos hidromórficos. Cuando los depósitos son más antiguos se desarrollan suelos más evolucionados de tipo Planosol móllico y Phaeozems calcáreos cuando existe un abundante aporte de materia orgánica (horizontes A móllicos) sobre materiales con de carácter calcáreo o Vertisoles pélicos cuando el drenaje es deficiente. La aplicación de modernas técnicas de cultivo (riego localizado y fertirrigación) a estos suelos y a los Luvisoles anteriores ha permitido el desarrollo de una avanzada y productiva horticultura, floricultura y fruticultura de regadío en la zona de Chipiona y Rota.

En toda la zona del Campo de Gibraltar sobre los materiales que componen el flysch margo-arenoso y un relieve colinado se desarrollan suelos donde predominan las características vérticas: Vertisoles crómicos y Cambisoles vérticos, de dedicación agrícola-ganadera fundamentalmente.

Las Sierras de Aljibe

Este conjunto de tierras que abarcan de norte a sur el centro de la provincia gaditana presenta una gran homogeneidad física, rota sólo por las variaciones climáticas que la mayor o menor cercanía al mar le imponen. Los materiales que lo componen son, predominantemente, areniscas silíceas de gran potencia y moderada consistencia, si bien están presentes en algunos sectores, margas y calizas.

Las sierras se disponen paralelas unas a otras en dirección N-S o NO-SE, con morfologías abruptas de profundos valles con fondos planos, los cuales, en el sur se denominan “canutos”.

Los suelos de este sistema de tierras evolucionan sobre areniscas silíceas en las zonas escarpadas, donde predominan los Cambisoles éutricos, Luvisoles crómicos en las laderas y Litosoles en los crestones más abruptos; y sobre arcillas de decalcificación, margas y coluviones en zonas colinadas donde los suelos dominantes son Vertisoles crómicos y Cambisoles vérticos. Estos suelos tienen un marcado carácter forestal soportando en la actualidad los mejores bosques naturalizados de alcornoques de la región.



Litosoles sobre calizas jurásicas, Sierra de Grazalema (3)

La Serranía de Grazalema

Conforman el conjunto de tierras más abruptas de la provincia constituidas por materiales geológicos en los que predominan los materiales calizos compactos. Entre estas sierras destacan por su espectacularidad las del Pinar, Zafalgar y el Endrinal. Frente a ellos, las margas eocenas dan lugar a paisajes acolinados que predominan entre Zahara y el Bosque. Los suelos, cuando existen, son de escaso desarrollo y profundidad dominando las rocas aflorantes y los Litosoles. Allí donde la morfología protege a los suelos de la erosión se conservan Luvisoles crómicos, suelos rojos descalcificados, también denominados 'terras rossas'. Sobre materiales fuertemente calcáreos y donde la vegetación natural está bien conservada, los aportes de materia orgánica hacen que se formen suelos de horizonte superficial de carácter móllico denominados Rendsinas.

El clima de estas sierras ofrece un marcado carácter continental, con precipitaciones muy intensas en otoño, invierno y primavera, lo cual permite el desarrollo de los bosques de pinsapos de la Sierra del Pinar.

Sobre las zonas margosas colinadas los suelos más frecuentes son los Cambisoles cálcicos en las laderas y Regosoles calcáreos en las zonas más altas y afectadas por los procesos erosivos, puntualmente en zonas de acumulación pueden existir Vertisoles. La principal dedicación de estos suelos es a pastizales.

Puntualmente existen retazos de areniscas del Aljibe que repiten el patrón de suelos que se desarrollan sobre éstas: Cambisoles éutricos, Luvisoles crómicos y Litosoles.

6.3. Degradación de suelos

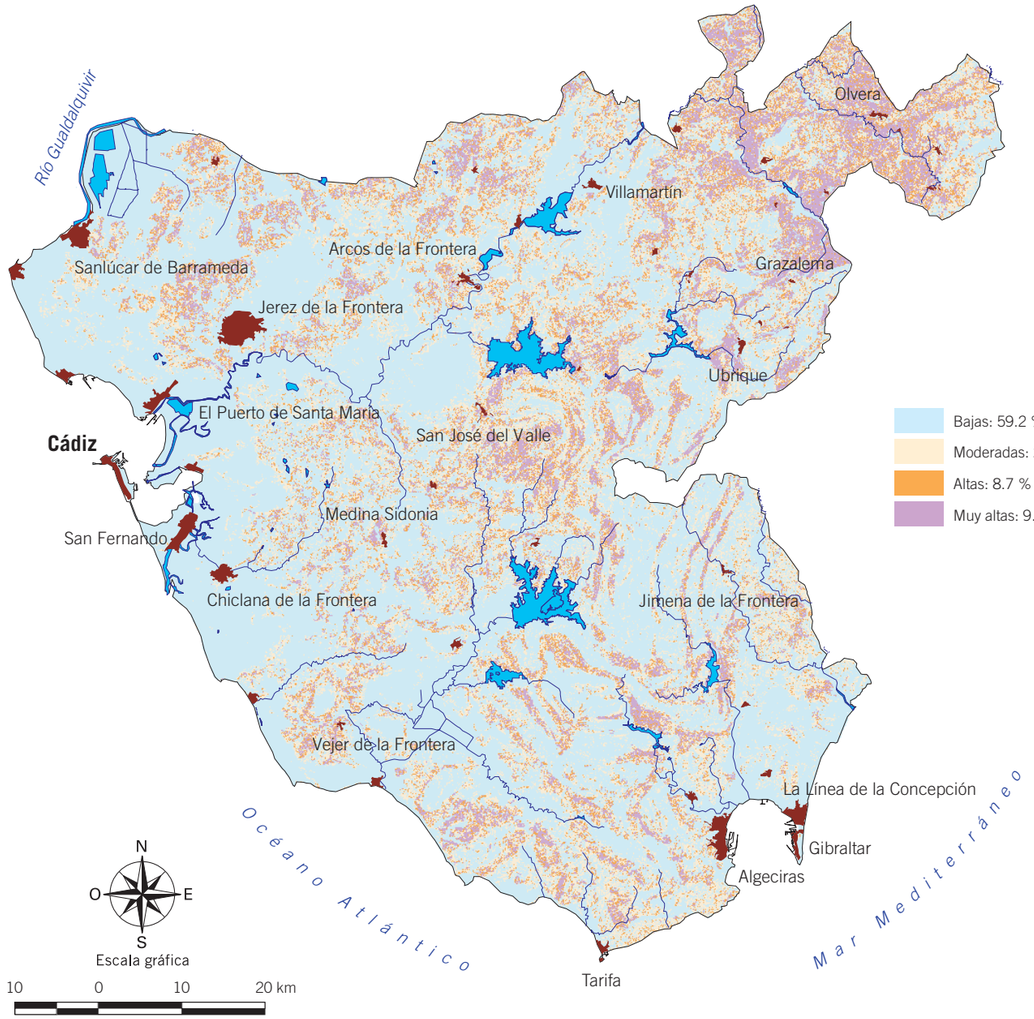
La erosión y la alteración de suelos son dos de los más graves problemas que afectan a los suelos. Ambas conducen a la pérdida total o parcial de su capacidad productiva. La alteración de suelos, entendida como la ocupación de estos por la construcción de infraestructuras y la urbanización (sellado), provoca una pérdida irreversible de las funcionalidades del suelo, siendo un problema que está alcanzando gran importancia no sólo en el ámbito regional sino que cobra especial relevancia a nivel europeo. La erosión de los suelos, fenómeno de carácter natural modelador de nuestro entorno, se puede convertir en un gran problema cuando el hombre actúa sobre las cubiertas vegetales mediante la deforestación de las áreas naturales o implanta un uso inadecuado sobre los territorios agrícolas, provocando una aceleración de estos procesos que, en determinadas condiciones, provocan la pérdida de calidad o remoción total del suelo.

En términos relativos es Cádiz la provincia con mayor superficie de la misma afectada por la alteración de los suelos con el 5,6 % de su superficie, cifras equiparables a niveles europeos (p.e. Francia 5,2 %). Igualmente es la provincia de Andalucía que más incremento relativo de su superficie alterada ha experimentado en el periodo 1991-1999 con un 1,1 % más.

Por otra parte el 5 % de los suelos alterados de la provincia de Cádiz son de una calidad excelente. En cuanto al ritmo de alteración, éste alcanza los 9,1 m2 por habitante y año, siendo de los más altos de Andalucía. Este ritmo de crecimiento representa una superficie diaria alterada de alrededor de 2,8 ha diarias, aún muy alejado de los ritmos de construcción europeos.

En cuanto a la erosión de suelos, la provincia de Cádiz presenta unas pérdidas moderadas dentro del conjunto regional, un 81,8 % de su superficie no presenta problemas relevantes estando el 18,2 % restante sometido a pérdidas altas y muy altas. Este nivel moderado de pérdidas de suelo contrasta con las altas erosividades de la lluvia que se producen, especialmente, en las sierras de la provincia, no hay que olvidar que Grazalema es el punto de mayor pluviometría de la península ibérica.

Pérdidas de suelo promedio en la provincia de Cádiz

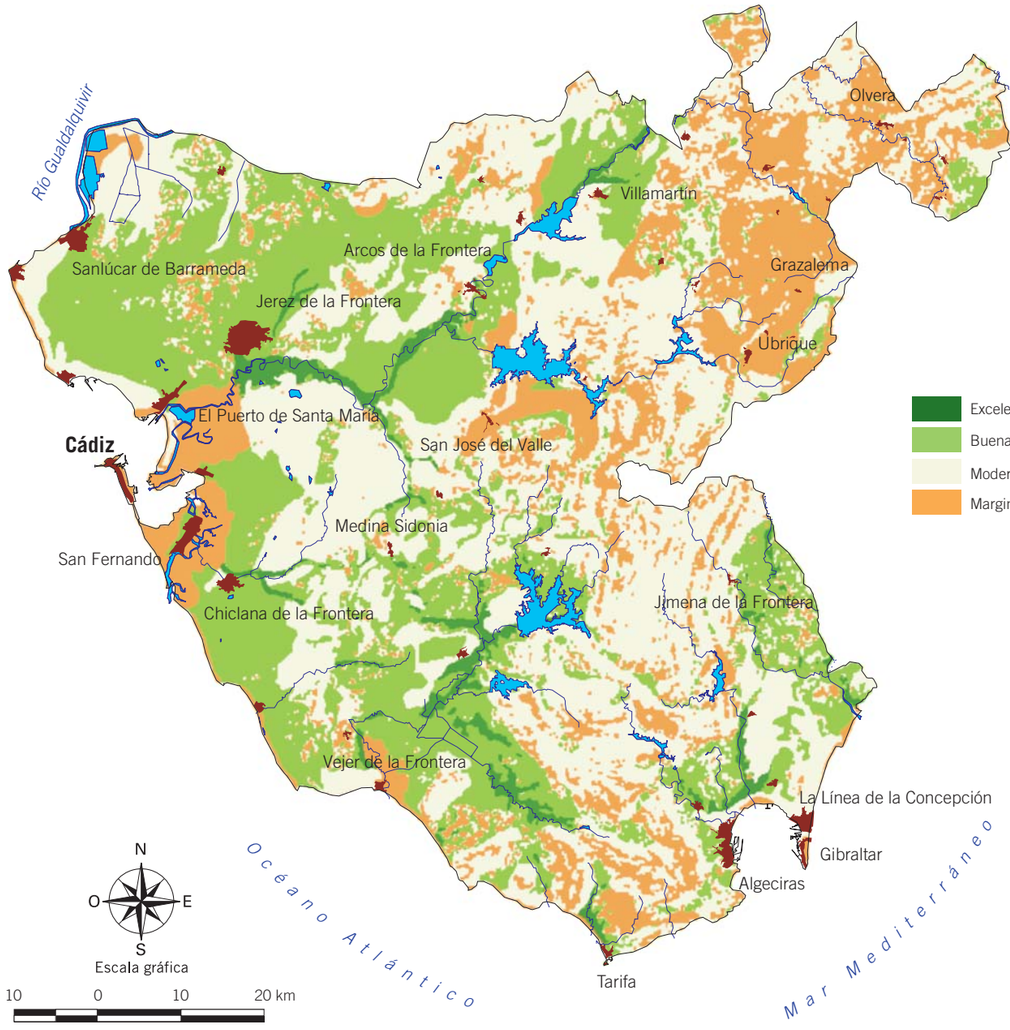


Estas altas erosividades no se traducen en altas pérdidas de suelo debido, por una parte, al paisaje relativamente llano de las campiñas gaditanas, marismas y litoral, donde las pérdidas sólo se concentran en áreas muy localizadas de laderas de las zonas más onduladas y sobre materiales relativamente deleznables como las margas y arcillas. Este hecho se acrecienta al tener estas tierras en su mayoría una dedicación poco protectora del suelo como son los cultivos herbáceos de secano, especialmente la rotación trigo-girasol, el viñedo y el olivar. En general el problema no llega a ser preocupante en estas áreas debido a que, en gran medida, el sustrato geológico funciona como un suelo agrícola. En cualquier caso las pérdidas altas no afectan en estas zonas más allá del 18 % del territorio en el caso más extremo, manteniéndose como media en un 10 % o siendo prácticamente inexistente en los paisajes marismeños.

En las áreas de mayor relieve (Sierra de Grazalema y Sierra del Aljibe) que además coinciden con las de mayor pluviometría y por ende con las de mayores niveles de erosividad las pérdidas aumentan, especialmente en la Sierra de Grazalema (30 % de pérdidas altas y muy altas) pero se mantienen en unos límites aceptables en toda la Sierra del Aljibe (18 % de suelos afectados por pérdidas altas y muy altas) comparables a los producidos en zonas mucho más llanas de campiña, poniendo de relieve el gran nivel protector del suelo del bosque mediterráneo. Sólo en aquellas zonas de materiales arcillosos dedicados a pastos y por tanto deforestados, las pérdidas aumentan a niveles más elevados.

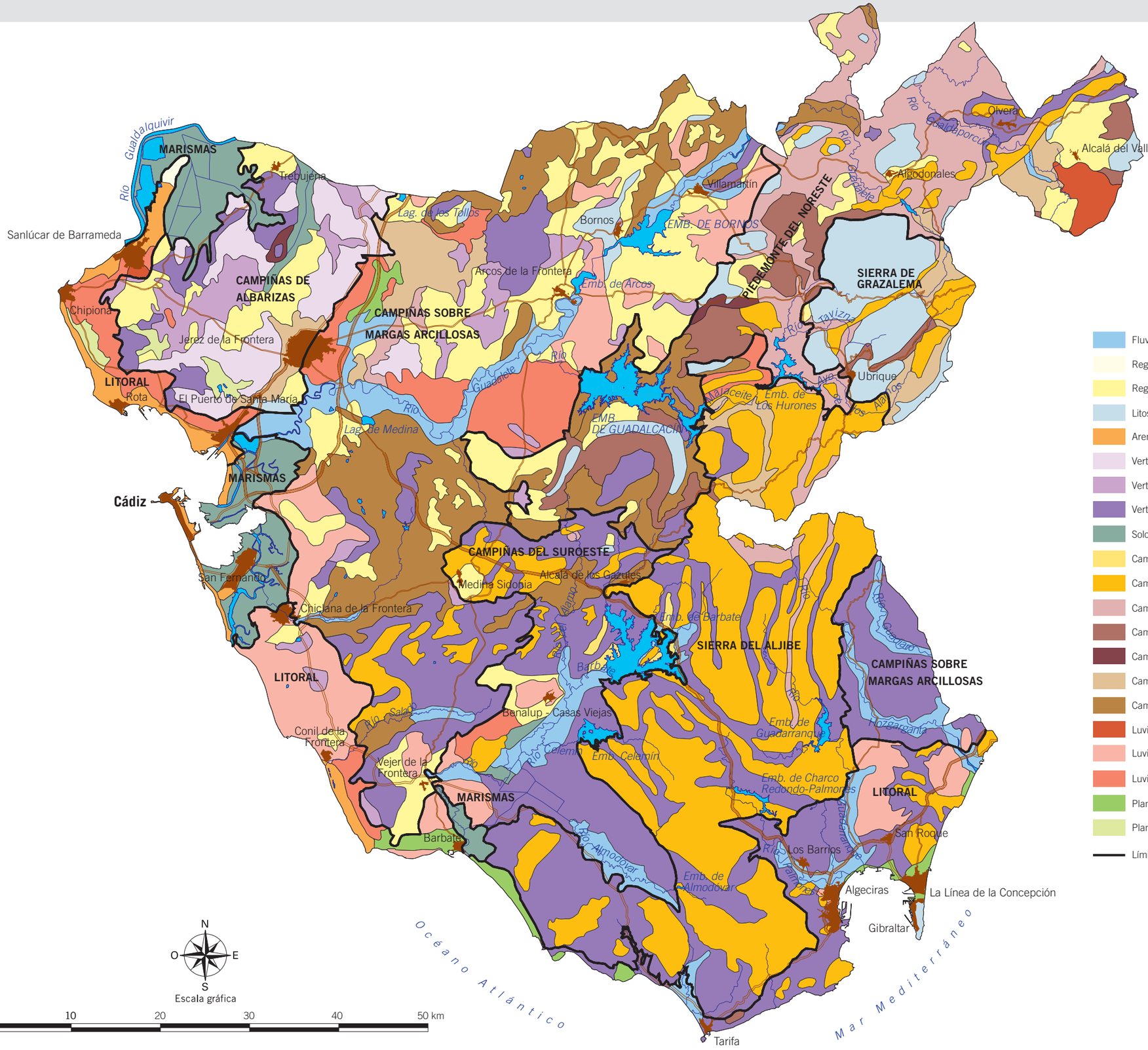
Es de destacar las fuertes pérdidas (las altas y muy altas afectan a casi un 40 % del territorio) que se producen en el Piedemonte del noroeste, especialmente sobre los materiales margosos triásicos de su zona más septentrional, materiales especialmente deleznables en un paisaje de cerros con pendientes altas y usos del suelo poco protectores, como es una agricultura cercana a la marginalidad en el secano y olivares poco productivos.

Capacidad de uso general de la tierra en la provincia de Cádiz



MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

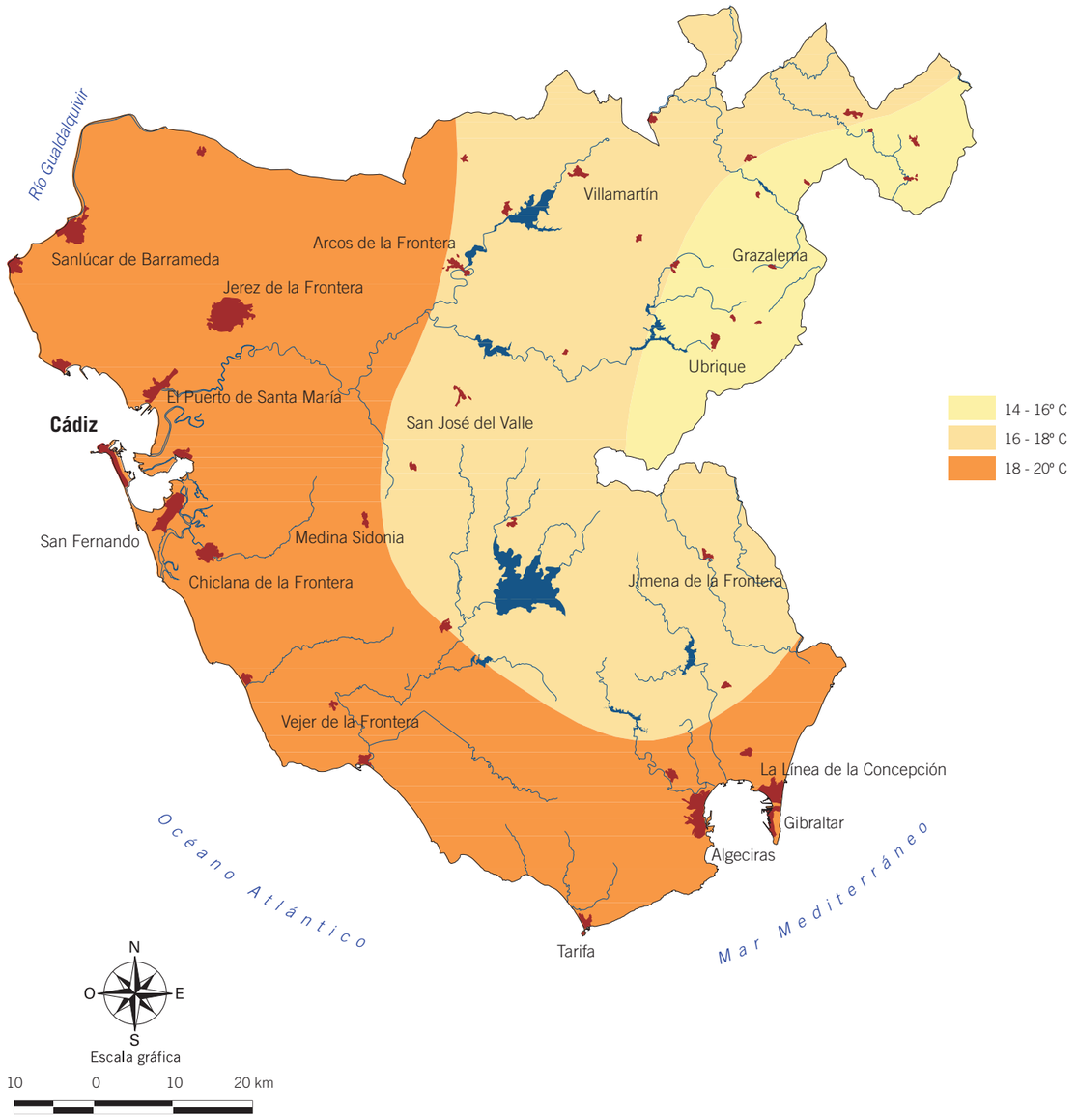
Suelos de la provincia de Cádiz



- Fluvisoles calcáreos
- Regosoles eútricos y Regosoles dístricos
- Regosoles calcáreos y Cambisoles cálcicos
- Litosoles, Luvisoles crómicos y Redzinas
- Arenosoles álbicos, Cambisoles húmicos y Gleisoles dístricos
- Vertisoles pélicos, Redzinas y Regosoles calcáreos
- Vertisoles pélicos y Vertisoles crómicos
- Vertisoles crómicos y Cambisoles vérticos
- Solonchaks takíricos y Solonchaks gleicos
- Cambisoles eútricos, Cambisoles dístricos y Regosoles dístricos
- Cambisoles eútricos, Luvisoles crómicos y Litosoles
- Cambisoles cálcicos y Regosoles calcáreos
- Cambisoles cálcicos, Regosoles calcáreos y Litosoles
- Cambisoles cálcicos, Luvisoles cálcicos y Luvisoles crómicos
- Cambisoles vérticos, Regosoles calcáreos y Vertisoles crómicos
- Cambisoles vérticos, Vertisoles crómicos y Cambisoles cálcicos
- Luvisoles crómicos
- Luvisoles cálcicos, Cambisoles cálcicos, Luvisoles crómicos y Regosoles calcáreos
- Luvisoles cálcicos, Luvisoles crómicos y Luvisoles gleicos
- Planosoles eútricos, Luvisoles gleicos y Luvisoles plínticos
- Planosoles móllicos, Vertisoles pélicos, Phaeozems calcáreos y Rankers arenosos
- Límite de los conjuntos homogéneos de tierras

07 Climatología

Temperatura media anual de la provincia de Cádiz



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía), 2001

7.1. Introducción

Para la caracterización climática de la provincia de Cádiz se han considerado cinco estaciones climatológicas, todas ellas de carácter termo-pluviométrico, que han sido elegidas por ser representativas de cada una de las principales zonas geográficas de la provincia de Cádiz. Las estaciones seleccionadas han sido las siguientes:

- Grazalema, en la comarca de la Sierra de Cádiz
- Jerez de la Frontera-Base Aérea, en la Campiña de Jerez
- Cádiz, como estación representativa del conjunto del territorio integrado en las comarcas de la Costa Noroeste y Bahía de Cádiz
- Vejer de la Frontera-Las Lomas, en la comarca de La Janda
- Algeciras, en el Campo de Gibraltar

Las cinco estaciones seleccionadas, aunque representativas de la mayor parte del territorio, no reflejan en su totalidad la diversidad climática de toda la provincia, por esta razón, la información estadística se complementa con una serie de mapas en los que se representan las principales variables climáticas consideradas (temperatura media, precipitación media, evapotranspiración potencial, clasificación climática).



Nubes bajas de tipo cúmulo, desplazándose desde el mar hacia el interior. Estuario del Guadalete (6)



Situación de calima, típica de época estival, por establecimiento de depresión térmica superficial con invasión de polvo de origen sahariano. Villamartín (6)



Situación anticiclónica, con ligera calima. Acantilado de Barbate (6)

Índice general de estaciones utilizadas

Nombre de la estación	Coordenadas UTM			Serie termométrica	Serie pluviométrica
	X	Y	Z	Años de registro	
Grazalema	2.885.709	40.707.470	823	1967-98	1951-98
Jerez de la Frontera-Base Aérea	2.270.110	40.709.490	30	1953-98	1956-98
Cádiz	2.055.944	40.475.860	4	1955-98	1955-97
Vejer de la Frontera-Las Lomas	2.416.434	40.205.140	40	1967-98	1951-98
Algeciras	2.796.166	40.015.800	200	1951-98	1951-98

Fuente: Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía), 1999

7.2. Régimen de temperaturas

El régimen de temperaturas en la provincia de Cádiz se caracteriza fundamentalmente por su carácter suave y moderado. Así pues, la temperatura media anual suele estar comprendida entre 16 y 18 ºC en la mayor parte del territorio provincial.

Las variaciones espaciales son debidas principalmente a características geográficas como la cota sobre el nivel del mar y la influencia del mar. Así, los valores más elevados de la temperatura media anual corresponden a las zonas costeras y a la parte más occidental de la Campiña de Jerez. Por otra parte, los valores inferiores se sitúan lógicamente en las zonas altas de las serranías del noreste provincial.

En cuanto a la distribución temporal de las temperaturas a lo largo del año, destaca la ausencia de valores extremos, con inviernos suaves y veranos calurosos, aunque suavizados por la influencia del mar. Los meses más fríos son diciembre y fundamentalmente enero, en los que las temperaturas medias no son excesivamente bajas, superiores a 10 ºC para la mayor parte del territorio, salvo las zonas más elevadas de la Sierra de Cádiz, donde llegan a ser inferiores a 8ºC.

Los meses de julio y agosto son los meses más cálidos, con temperaturas medias comprendidas entre los 24 y 26ºC. Los valores superiores corresponden a las zonas interiores de la Campiña de Jerez, siendo los más bajos los correspondientes a la comarca de la Sierra de Cádiz.

En términos absolutos, la temperatura máxima puede superar los 40ºC en la zona interior de La Campiña, y la mínima, localizada en la Sierra de Cádiz, puede llegar a ser inferior a -2ºC.

Temperaturas medias mensuales de medias y temperatura media anual

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Grazalema	7,4	8,7	11,1	12,1	15,4	20,2	25,1	24,5	21,0	15,7	11,2	8,3	15,1
Jerez de la Frontera-Base aérea	10,8	11,9	13,8	15,5	18,5	21,9	25,3	25,7	23,6	18,9	14,4	11,6	17,7
Cádiz	12,8	13,5	15,0	16,2	18,8	21,5	24,2	24,5	23,1	20,0	16,1	13,3	18,2
Vejer de la Frontera-Las Lomas	12,0	12,9	14,3	16,0	18,2	21,9	25,4	25,2	23,2	19,5	15,5	13,0	18,1
Algeciras	12,6	13,3	14,8	16,0	18,5	21,6	24,2	24,7	22,9	19,5	16,2	13,6	18,2

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía), 1999

7.3. Régimen pluviométrico

La precipitación media anual en la mayor parte de la provincia de Cádiz es superior a los 600 mm, si bien cabe destacar que en algunas zonas de la Sierra de Grazalema se superan incluso los 2.000 mm, debido a sus peculiaridades orográficas y geográficas, mientras que en la zona más occidental de la provincia escasamente se superan los 500 mm de pluviosidad.

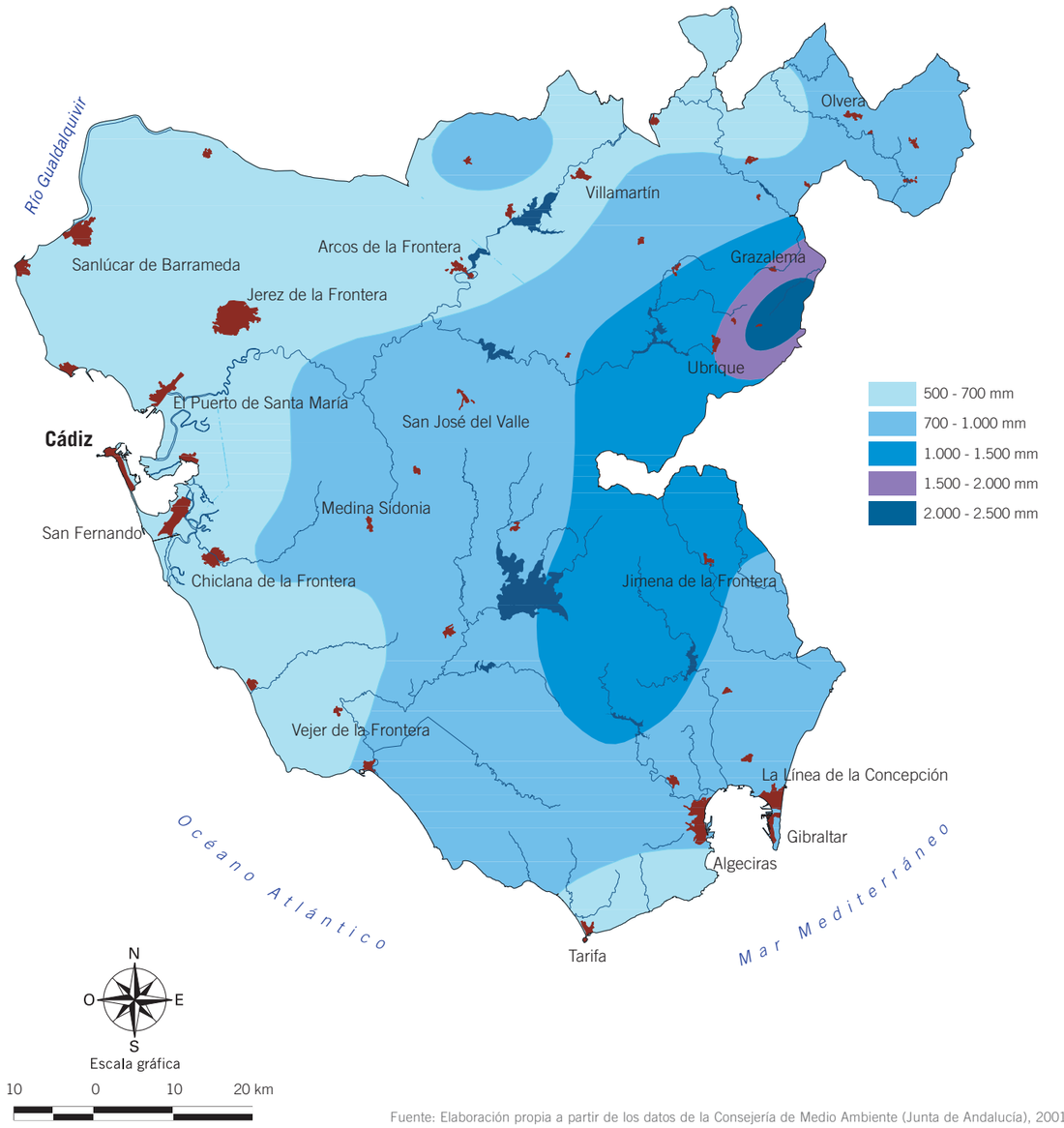
A lo largo del año, las lluvias se concentran principalmente al final del otoño y en invierno, con descensos en la primavera y una marcada sequía en el periodo estival.

En cuanto a las precipitaciones máximas en 24 horas, en la mayor parte del territorio provincial la lluvia prevista para un periodo de retorno de 100 años es superior a 125 mm, incrementándose progresivamente este valor con el desplazamiento en dirección nororiental, llegándose a sobrepasar los 400 mm en determinadas localizaciones de la Sierra de Grazalema.



Nubes de tipo nimboestratos, generadoras de precipitación. Zahara de la Sierra (1)

Precipitación media anual de la provincia de Cádiz



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía), 2001

Pluviometría media mensual y media anual de las estaciones seleccionadas

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Grazalema	293,0	281,4	214,3	158,5	115,2	36,1	2,1	15,2	45,0	156,8	266,0	323,3	1906,7
Jerez de la Frontera-Base aérea	98,2	69,0	50,8	53,4	38,3	15,7	1,6	5,5	21,4	62,2	93,6	114,4	624,2
Cádiz	86,3	68,6	56,1	44,7	30,7	14,6	0,2	3,0	16,2	65,3	93,2	107,3	586,3
Vejer de la Frontera-Las Lomas	110,3	83,1	72,3	51,8	35,1	12,6	0,4	3,7	20,9	58,9	111,7	118,0	678,9
Algeciras	158,4	144,8	95,9	72,2	35,4	14,6	0,9	2,7	18,2	74,3	152,3	199,2	969,0

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía), 1999

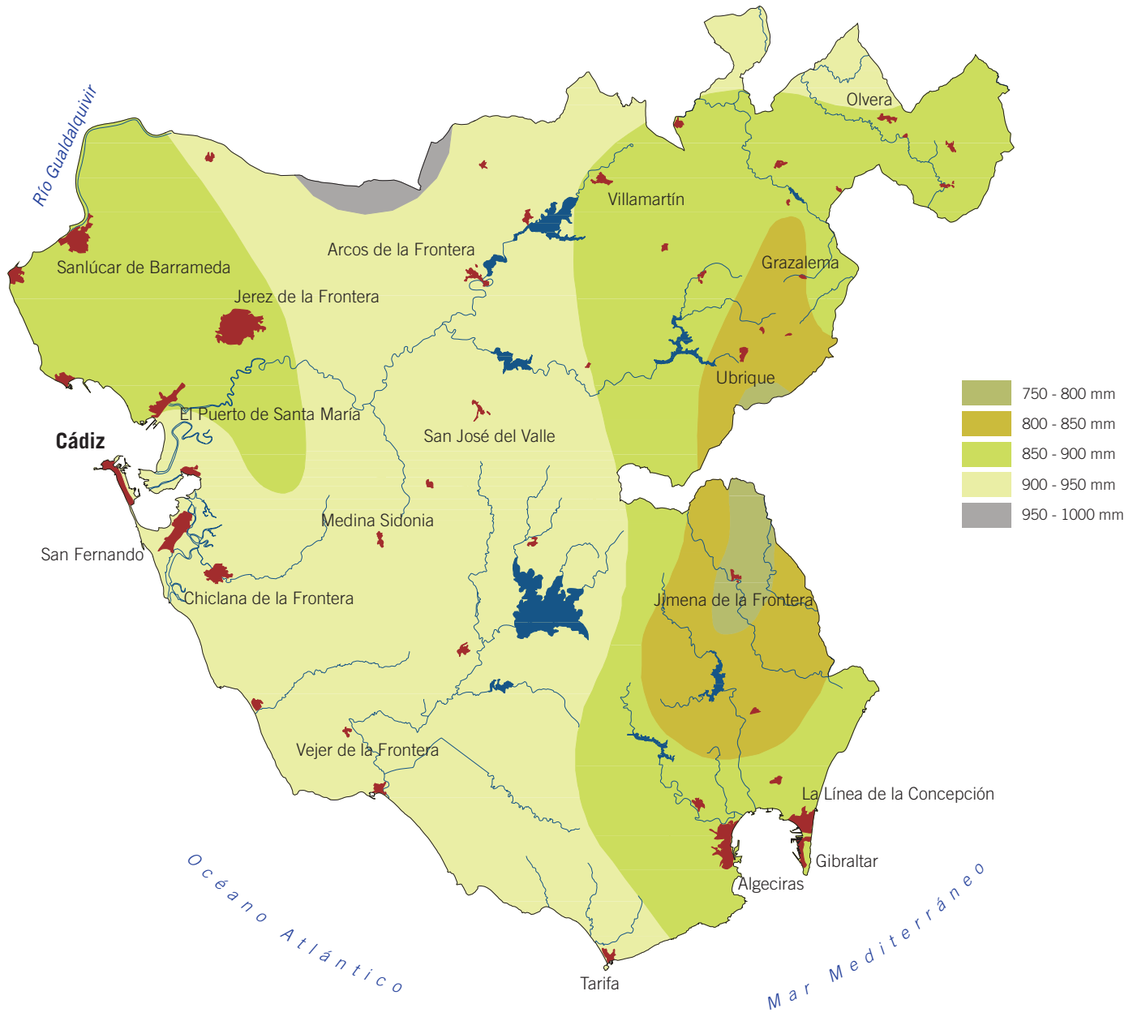
7.4. Evapotranspiración potencial y balance hídrico

La evapotranspiración potencial media anual de la provincia de Cádiz alcanza valores considerablemente elevados. En todo el territorio provincial se superan los 750 mm anuales de media, llegándose en amplias zonas de la Campiña de Jerez, La Janda y la Bahía de Cádiz a superar los 900 mm anuales.

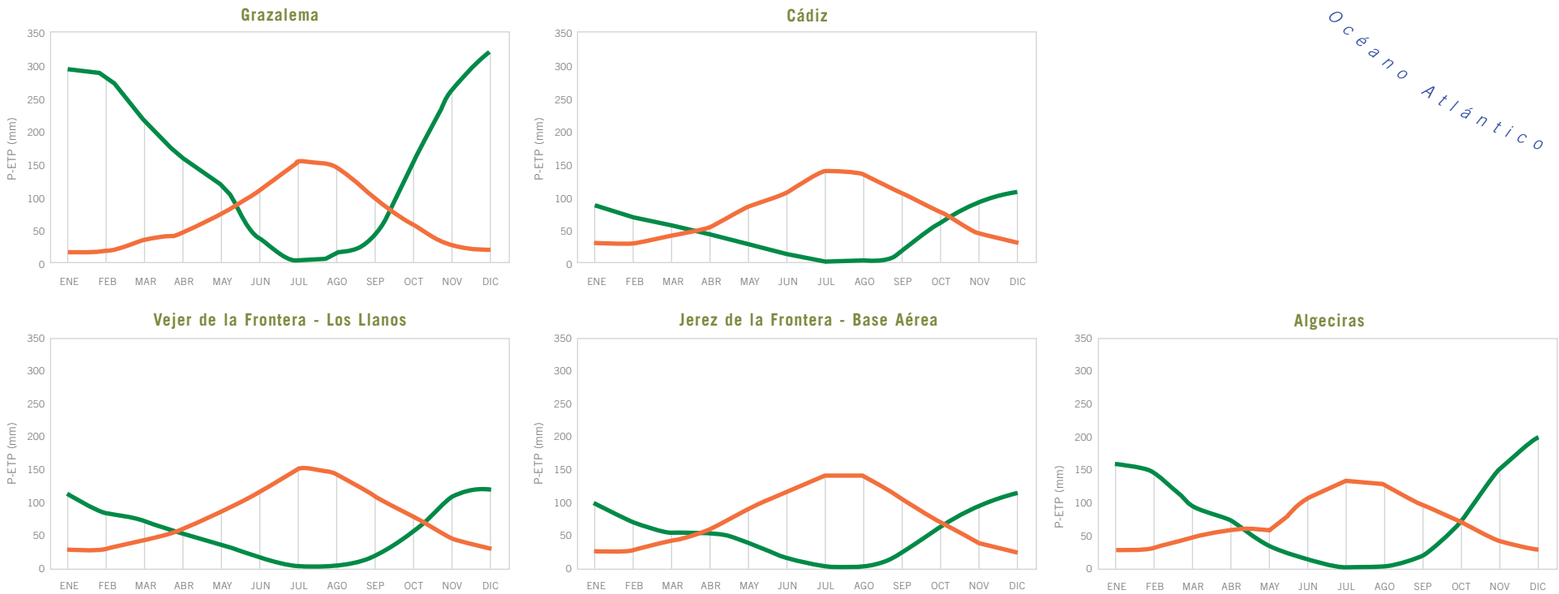
Lógicamente los máximos mensuales de evapotranspiración potencial se producen en los meses de verano, siendo ésta mínima en el periodo invernal.

En lo referente al balance hídrico, esta alta evapotranspiración unida al régimen pluviométrico descrito anteriormente, provoca un marcado déficit anual en la mayor parte de la provincia, que se concentra en los meses de primavera y, fundamentalmente, en todo el verano. Este déficit hídrico es menos acusado en la Sierra de Grazalema y sólo se produce en los meses de verano, ya que a ello contribuyen la altas precipitaciones que se producen en esta zona durante todo el año, salvo en el mencionado periodo estival.

Evapotranspiración media anual de la provincia de Cádiz



Gráficos comparativos de precipitación y evapotranspiración potencial en las estaciones seleccionadas



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía), 2001

7.5. Clasificación climática

Como resumen de lo expuesto, el clima de la provincia de Cádiz se clasifica dentro del tipo Mediterráneo, con cuatro variantes en función de la localización geográfica:

- Mediterráneo oceánico
- Mediterráneo semicontinental con veranos cálidos
- Mediterráneo subtropical
- Mediterráneo semicontinental de inviernos fríos

Por otro lado, desde el punto de vista agroclimático y siguiendo la clasificación de Papadakis, el clima de la provincia de Cádiz presenta las siguientes características:

- Tipo de invierno:
  – Avena cálido para la estación de Grazalema
  – Citrus para el resto de estaciones seleccionadas

- Tipo de verano:
  – Algodón menos cálido en Grazalema, Cádiz y Vejer de la Frontera-Las Lomas
  – Arroz para Jerez de la Frontera-Base Aérea y Algeciras

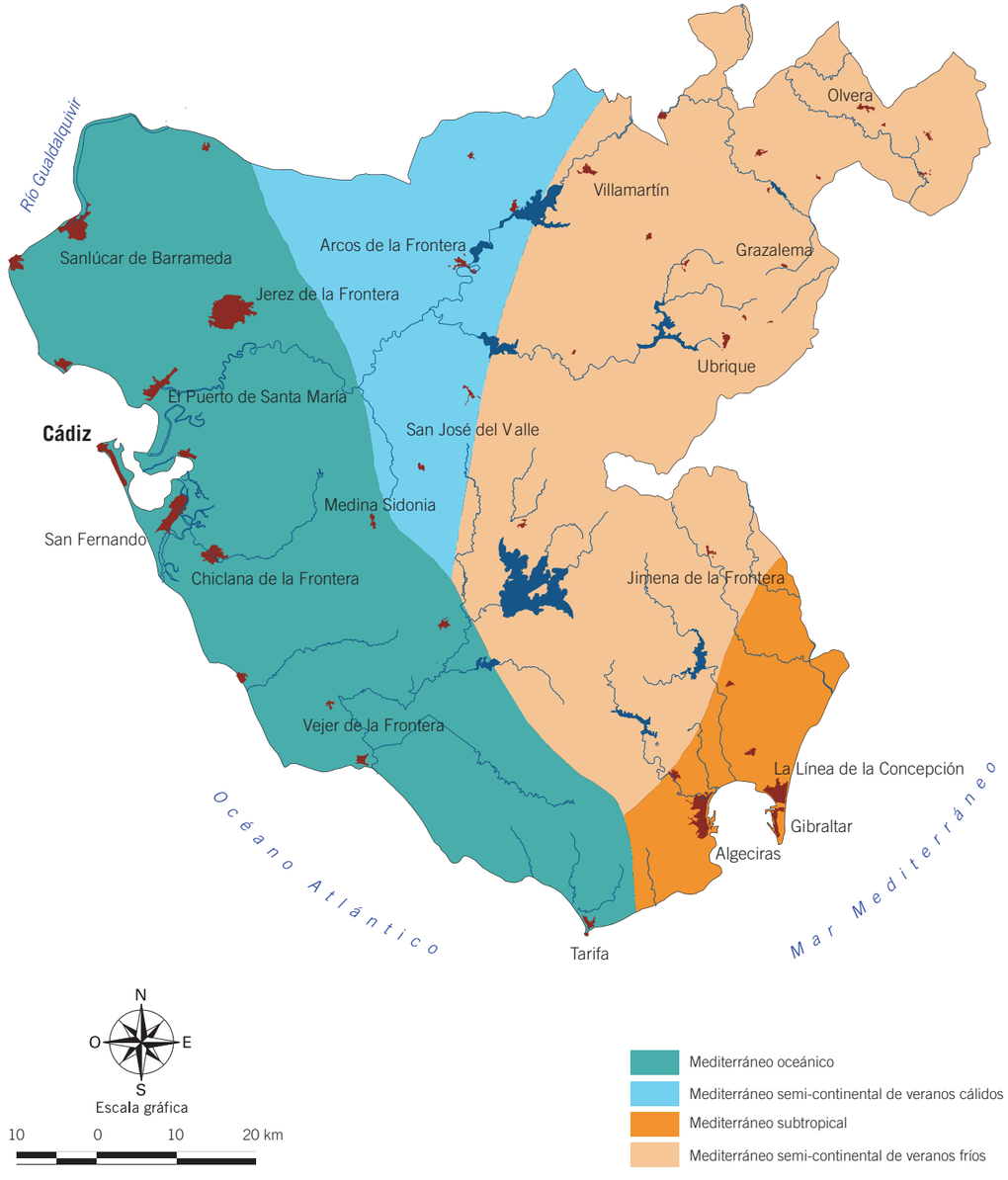
- Régimen de humedad:
  – Mediterráneo húmedo en Grazalema y Algeciras
  – Mediterráneo seco en Jerez de la Frontera-Base Aérea, Cádiz y Vejer de la Frontera-Las Lomas

- Régimen térmico:
  – Subtropical menos cálido en Grazalema, Cádiz y Vejer de la Frontera-Las Lomas
  – Mediterráneo seco en Jerez de la Frontera-Base Aérea y Algeciras

De acuerdo con estas características, el tipo agroclimático de las estaciones representativas seleccionadas es:

- Mediterráneo marítimo: En Jerez de la Frontera-Base Aérea y Algeciras

- Mediterráneo subtropical: En Grazalema, Cádiz y Vejer de la Frontera-Las Lomas



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía), 2001

08 Hidrografía e hidrología superficial

Hidrografía e hidrología superficial

08

8.1. Red hidrográfica

La red hidrográfica de la provincia de Cádiz se encuentra dividida administrativamente entre la actual Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y la Confederación Hidrográfica del Sur de España hasta fecha reciente (enero 2005), actualmente denominada Cuenca Mediterránea Andaluza.

Está la presencia testimonial del río Guadalquivir, en su tramo de la desembocadura al oeste de la provincia y limitando con la provincia de Huelva, no obstante con drenaje tan especial como corresponde al de un estuario, relleno desde época romana de Lago Ligustinus.

La elevada orografía de la Sierra del Pinar (1.648 m s.n.m.) situada al NE de la provincia y centro del Parque Natural de la Sierra de Grazalema, con sus más de 2.000 mm anuales de pluviometría, marca el punto culminante de la red hidrográfica provincial. En su vertiente norte nace el río Guadalete, que es sin duda el principal curso fluvial de la provincia aunque la abandone en un par de tramos. La dirección del Guadalete es SO desde la confluencia con el Guadalporcún, en su curso va guardando sus aguas en los embalses de Zahara y Bornos.

En el mismo macizo montañoso, pero en su vertiente sur, nace el río Majaceite, que tras embalsar sus aguas en Los Hurones (Charco de los Hurones para los lugareños), empleadas en el abastecimiento de toda la Zona Gaditana, se desparrama en el inmenso embalse de Guadalcacín, para luego ir a unirse por la margen izquierda con el Guadalete en la Junta de los Ríos.

Desemboca el río Guadalete en la Bahía de Cádiz, junto al Puerto de Santa María.

La Sierra del Aljibe (1.091 m s.n.m.) en el Parque Natural de los Alcornocales, al sur de la provincia, alumbra al río Barbate. En su curso medio está el embalse de Barbate y aguas abajo se empeña en seguir anegando la desecada Laguna de la Janda ante la imposibilidad de correr hacia el mar por estos llanos parajes. En la misma sierra nacen también sus afluentes por la margen izquierda Celemín y Almodóvar que también dan nombre a sus respectivos embalses.

A la Bahía de Algeciras llegan las aguas del río Palmones tras remansarse en el embalse de Charco Redondo y el río Guadarranque con su embalse correspondiente.

Ya solo resta por reseñar como grandes ríos al Guadiaro, ya casi en la frontera con la provincia de Málaga, sin regulación alguna pero que en su curso alto fue generoso con el Majaceite, cediéndole hasta un máximo regulado de 110 hm^3 al año mediante el trasvase Guadiaro-Majaceite para el Sistema del Guadalete.

El resto de la red hidrográfica está compuesta de pequeños ríos, muchos de ellos salados, que evacuan las lluvias del resto de la vertiente atlántica, entre los que destacan el río San Pedro y su homónimo latino el Caño de Sancti Petri.



Río Guadalete, en Puerto Serrano (6)

8.2. Régimen de los ríos. Regulación

Si bien la situación geográfica de las cuencas de la provincia de Cádiz justifica su pertenencia al ámbito climático mediterráneo, la apertura hacia el Atlántico debido a la prolongación del sistema montañoso Subbético hasta Gibraltar, le aporta un carácter oceánico que determina la fuerte pluviometría de la zona que llega a alcanzar la máxima peninsular con valores por encima de los 2.000 mm.

La morfología de las cuencas está caracterizada por un relieve típicamente serrano, con presencia continua de serranías medias y bajas que sólo desaparecen en el cuadrante noroccidental de la provincia.

Las serranías Béticas aportan un substrato impermeable al estar formado por arcillas y margas triásicas, sobre el cual se depositaron materiales detríticos de distinta permeabilidad durante el Mioceno, Plioceno y Cuaternario, todo ello debido a la intrincada geomorfología de la zona.

Debido a estos condicionantes, los ríos en sus cursos altos presentan fuertes pendientes (3 % - 6 %), unos tramos medios con pendientes medias (0,5 % - 1,5 %) y tramos inferiores con pendientes mínimas (0,1%) lo que origina la penetración marina a lo largo del cauce.

Los subsistemas Guadalete y Barbate están adscritos administrativamente a la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir mientras que los subsistemas I1 e I2 lo están a la Cuenca Mediterránea Andaluza desde primeros del 2005 éstos últimos, dependen de la Agencia Andaluza del Agua de la Junta de Andalucía.

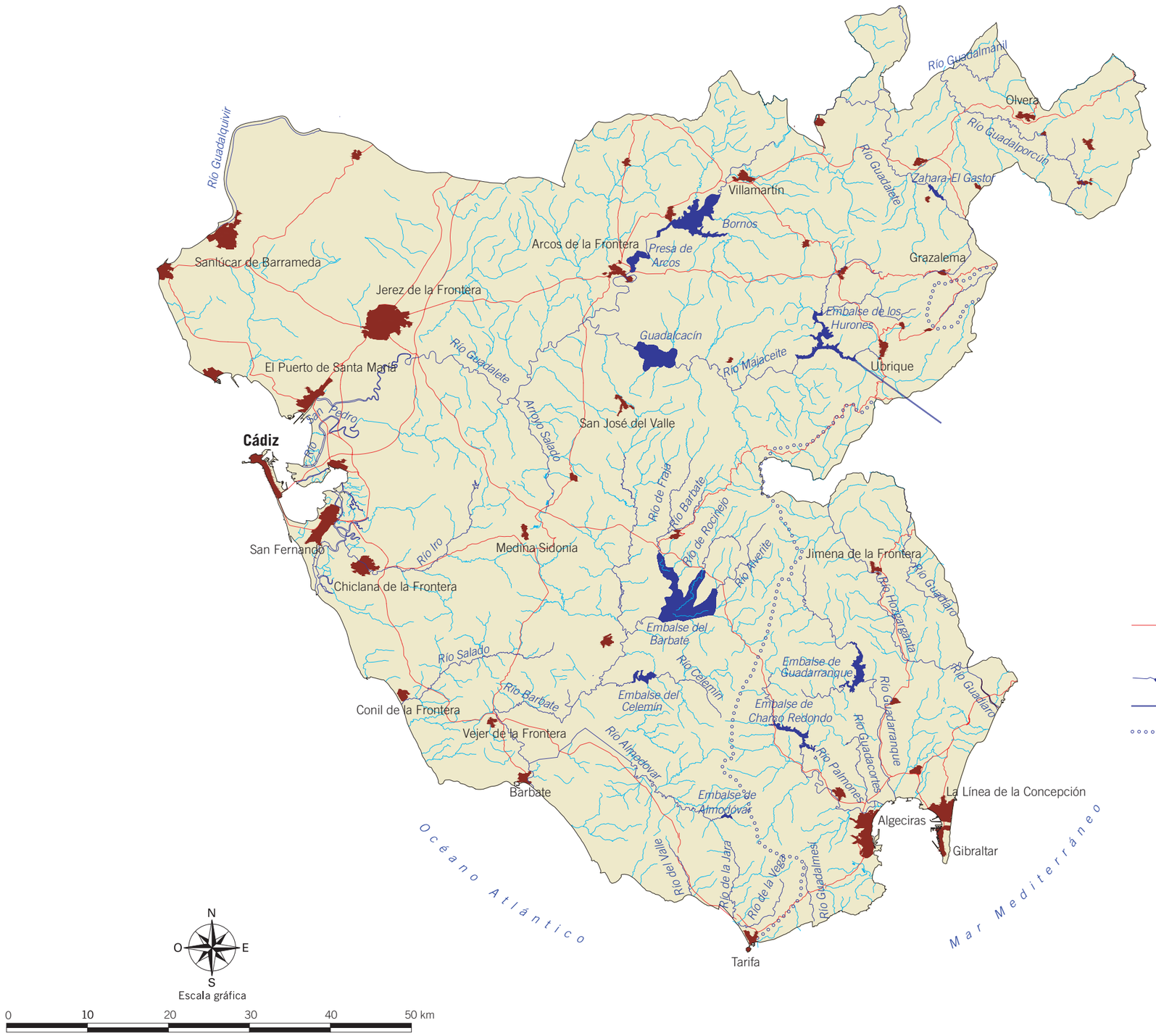




Foto superior: Embalse del Guadalcacín (6)
Foto inferior: Infraestructura de desagüe del embalse de Guadalcacín (6)

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España
Diputación de Cádiz

Red hidrográfica y embalses de la provincia de Cádiz



Principales embalses de la provincia de Cádiz

Sistema / Río	Embalse	Capacidad (hm^3)	Volumen regulado (hm^3)
Guadalete			
	Los Hurones	135	63
	Guadalcacín	800	89
	Bornos	204	75
	Zahara	223	47
Subsistema Guadalete		1.362	274
Barbate			
	Celemín	43	15
	Almodóvar	5	4
	Barbate	231	65
Subsistema Barbate		279	84
Palmones			
	Charco Redondo	73	
Guadarranque			
	Guadarranque	78	
Subsistema I1		151	54,86
Guadiaro			
Subsistema I2			0.80

Carreteras
Núcleos de población
Red hidrográfica y embalses
Trasvase Guadiaro - Majaceite
Divisoria de cuenca hidrográfica

09 Geología de la provincia de Cádiz

Geología de la provincia de Cádiz

09

9.1. Marco geológico regional

En la provincia de Cádiz, los materiales geológicos más antiguos que afloran en el terreno corresponden al sistema Triásico, (250 MA). En el subsuelo, no se han localizado materiales más antiguos (Gutiérrez Más, 1982) ni en los sondeos petrolíferos realizados en esta zona, algunos de los cuales han sobrepasado los 3000 m de profundidad. Se pueden distinguir desde el punto de vista geológico, es decir, según los rasgos físicos y descriptivos de las rocas aflorantes, tres zonas (Gutiérrez Más, 1991) que de sur a norte se han denominado:

- Complejo del Campo de Gibraltar
- Dominio Subbético
- Materiales postorogénicos

Dentro de los grandes conjuntos tecto-paleogeográficos en que tradicionalmente se han estructurado las Cordilleras Béticas, no tendrían representación en esta provincia las Zonas Internas ni el Dominio Prebético, sector más externo incluido dentro de las Zonas Externas, mientras que estarían bien representados el Complejo del Campo de Gibraltar, situado geológicamente entre las Zonas Internas y Externas, y el Dominio Subbético incluido en las Zonas Externas, en el que se han diferenciado tres subdominios paleogeográficos denominados Subbético externo, medio e interno o Penibético, aflorando en esta provincia fundamentalmente el Subbético medio y Penibético.

La litología, estratigrafía y estructura de los tres subdominios paleogeográficos del Subbético, son muy complejas, dando lugar a diferentes interpretaciones geológicas. Los afloramientos subbéticos son en general de mala calidad, debido fundamentalmente a la naturaleza arcillosa y margosa de sus componentes litológicos principales que, unidos a la intensa vegetación que los recubre dificulta enormemente su observación.

El Complejo del Campo de Gibraltar, situado en el sector meridional de la provincia, está formado principalmente por rocas, con naturaleza arcillo-margosas y por alternancias entre areniscas y arcillas tipo flysch, prácticamente sin interés hidrogeológico. Sólo las calizas con “Microcodium” y las calizas arenosas y biocalcarenitas del Paleoceno-Eoceno inferior (65 a 40 MA), confieren ciertas características geológicas a la unidad.

El Dominio Subbético se distribuye por una amplia franja localizada entre el límite nororiental de la provincia hasta las proximidades de la Bahía de Cádiz, incluyendo las Sierras de Líjar, Zafalgar, Endrinal, Caíllo, Líbar y Las Cabras como enclaves más importantes. Está constituido fundamentalmente por materiales de muy diversa litología, esencialmente margosa y calcárea, con edades comprendidas entre el Triásico (250 MA) y el Mioceno medio (16 MA). Este conjunto muestra un alto interés hidrogeológico representado por los acuíferos calcáreos de las sierras antes citadas, cuya permeabilidad está relacionada con los intensos procesos de fisuración y karstificación allí existentes. Estos terrenos se encuentran afectados por las distintas etapas de deformación de la Orogenia Alpina, posiblemente durante el Cretácico (135 MA), Eoceno (53 MA) y Oligoceno-Mioceno (34 a 16 MA), cuando se produjo la fase principal de deformación Alpina.

Los materiales postorogénicos son aquellos que se han depositado después de las principales fases de plegamiento de la Orogenia Alpina. Se sitúan en el sector noroccidental de la provincia, próximo al valle del río Guadalquivir, en donde predominan los afloramientos de materiales constituidos por margas, arcillas y biocalcarenitas Mio-Pliocenas (11 MA) y por depósitos detríticos del Cuaternario (1,8 MA). Este conjunto presenta un alto interés hidrogeológico en función de los acuíferos detríticos que se forman en estos niveles.

9.2. Litoestratigrafía

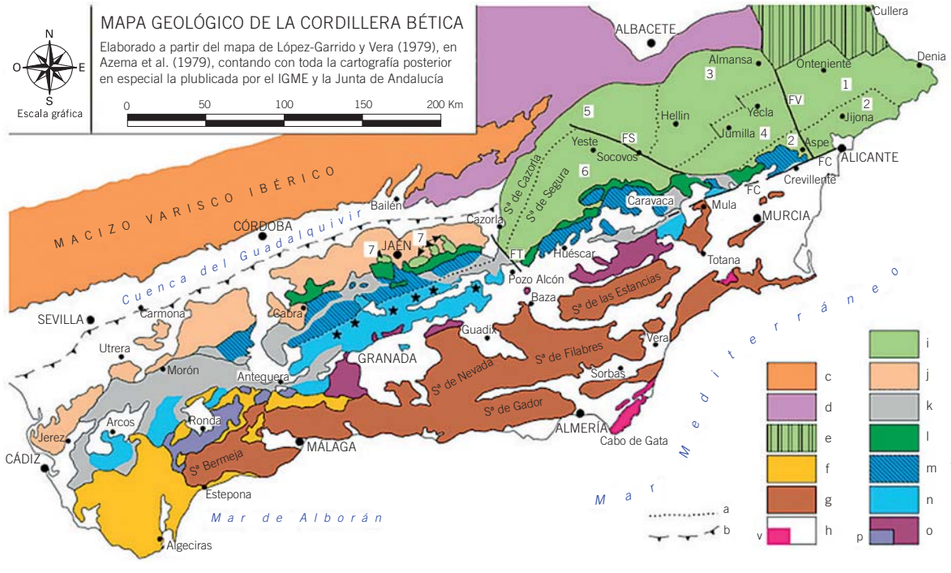
La provincia de Cádiz posee una importante riqueza geológica, presentando una gran variedad de litologías, afectadas por intensos procesos estructurales que condicionan las características hidrogeológicas de las mismas.

9.2.1 Complejo del Campo de Gibraltar

Estos materiales se distribuyen fundamentalmente por los sectores meridional y oriental de la provincia estando formados exclusivamente por rocas cuya edad está comprendida entre el Cretácico (135 MA) y el Mioceno inferior (23,5 MA) y cuyo origen paleogeográfico se encuentra relacionado con la sedimentación en un importante surco turbidítico situado originalmente entre las Zonas Internas y Externas de las Cordilleras Béticas.

Tectónicamente, tiende a ocupar la zona estructural superior, sobre todas las restantes unidades de la cordillera. Su estructura es muy compleja formada por tres mantos o láminas elementales que reposan alóctonas sobre los sedimentos asociados al Subbético.

En la descripción que se realiza a continuación, se exponen las distintas unidades cartografiadas.



Leyenda: a.- Límites entre las unidades morfoestructurales delimitadas en el Prebético y límite entre dominios paleogeográficos del Subbético, cuando no coincida con un límite tectónico. b.- Frente norte del Complejo Olistostrómico del Guadalquivir detectado en el subsuelo. c.- Macizo Ibérico. d.- Cobertera Tabular. e.- Cordillera Ibérica. f.- Complejo del Campo de Gibraltar. g.- Zonas Internas Béticas. h.- Cuencas Neógenas postorogénicas (v.- rocas volcánicas neógenas). i-p: Zonas Externas Béticas. i.- Prebético (1.- Prebético de Onteniense-Denia. 2.- Prebético de Aspe-Jijona-Alicante. 3.- Prebético de Hellín-Almansa. 4.- Prebético de Jumilla-Yecla. 5.- Prebético de las Sierras de Cazorla y Alcaraz. 6.- Prebético de la Sierra de Segura. 7.- Prebético de Jaén). j.- Afloramientos del Complejo Olistostrómico del Guadalquivir. k.- Complejos Caóticos Subbéticos (Subbético con estructura interna caótica). l.- Dominio Intermedio. m.- Subbético Externo. n.- Subbético Medio (asteriscos: principales afloramientos de rocas volcánicas jurásicas). o.- Subbético Interno (p.- Penibético). Abreviaturas de estructuras geológicas: FC.- Falla de Crevillente. FS.- Falla de Socovos. FT.- Falla de Tíscar. FV.- Falla del Vinalopó.

9.2.1.1 Rocas del Sistema Cretácico (135 a 65 MA)

Los terrenos del Cretácico comprenden tres formaciones, la inferior denominada Areniscas de los Nogales, la intermedia, Arcillas de Facinas y la superior denominada Unidad de Almarchal. Las dos primeras unidades cartográficas están datadas como Cretácico inferior mientras que la tercera se incluye en el Cretácico superior llegando incluso a la base del Paleoceno.

Las Areniscas de los Nogales (unidad cartográfica 1) están constituidas desde el punto de vista litológico por dos conjuntos. El inferior formado por arcillas y margas arcillosas grises con intercalaciones de niveles de areniscas verdes, margocalizas y niveles de microbrechas con un espesor visible de unos 100 m. El conjunto litológico superior está formado por una masa areniscosa de 200 m de espesor, de tonos ocres, estratificadas en bancos gruesos con intercalaciones de niveles de arcillas y margas de tonos amarillentos y más esporádicamente de conglomerados de naturaleza calcárea.

Las Arcillas de Facinas (unidad cartográfica 2), representan el nivel estratigráfico inferior de los reconocidos en el Complejo del Campo de Gibraltar. Se trata de un conjunto de arcillas rojas y verdes con finas intercalaciones de areniscas de grano muy fino. Las superficies de estratificación son plano-paralelas aunque se encuentran afectadas frecuentemente por procesos de "boudinage".

La Unidad de Almarchal (unidad cartográfica 3), se ha considerado como una unidad tectónica independiente denominándose diferentemente según la localización geográfica de su afloramiento dentro de la provincia, como unidad de Almarchal (Didon, 1969), unidad del Algarrobo (Chauve, 1968) y unidad de Ubrique. Litológicamente, está constituida por un conjunto de baja permeabilidad formado por una alternancia de margas y arcillas verdosas con margocalizas y calizas bioclásticas con intercalaciones de microbrechas calcáreas con cantos del Jurásico. El espesor de esta unidad cartográfica es muy variable, ya que se encuentra muy afectada por los intensos procesos tectónicos que ha sufrido este tipo de materiales.

9.2.1.2 Rocas del Sistema Terciario (65 a 1,8 MA)

Paleógeno

Dentro de este sistema se han cartografiado varias unidades, todas ellas de carácter turbidítico. En el Paleoceno y Eoceno, se han diferenciado dos unidades cartográficas (4 y 5) fundamentalmente de naturaleza calcárea y con cierto interés hidrogeológico, mientras que en el Oligoceno se han distinguido tres niveles cartográficos (6, 7 y 8) esencialmente de naturaleza margosa y arcillosa, con baja permeabilidad.

En el muro de este sistema aflora un conjunto denominado "Formación de Calizas de Microcodium" (unidad cartográfica 4) formado por calcarenitas de grano fino a muy fino alternando, en algunos sectores, con niveles de arcillas rojas y verdes. Son materiales resistentes a la erosión, con una gran extensión superficial de afloramiento aunque de escaso espesor, alrededor del centenar de metros.

Sobre los niveles anteriores y en aparente concordancia con ellos se observa una alternancia constituida por calcarenitas bioclásticas en bancos decimétricos y arcillas rojas (unidad cartográfica 5). En este mismo nivel cartográfico, se ha incluido un conjunto de conglomerados con cantos de caliza y de sílex, distribuidos en bancos gruesos, que afloran únicamente en el sector oriental de la provincia. El espesor de esta unidad es muy variable, oscilando entre 100 y 200 m, aunque en ciertos sectores no superan los 10 m. Este conjunto se ha denominado "Formación Tarifa" formando parte de la Unidad Tectónica de Algeciras.

En los sectores próximos incluidos en la Unidad Tectónica de Algeciras, el tránsito entre los niveles esencialmente calcáreos descritos anteriormente y los niveles margosos y arcillosos del Oligoceno, se realiza mediante un conjunto de arcillas y margas de tonos rojos (unidad cartográfica 7) con pequeñas intercalaciones, de menos de 10 cm de espesor, de niveles de areniscas y calizas arenosas. El espesor de esta unidad cartográfica es muy variable, llegando a alcanzar valores medios de unos 150 m, no aflorando en algunos sectores, posiblemente por causas tectónicas.



Estructuras turbidíticas tractivas en los niveles calcareníticos de la Unidad de Almarchal (3)



Estructuras de flujo en las turbiditas de la Formación Algeciras. Punta Carnero (3)

En la Unidad tectónica del Aljibe, este tránsito se realiza mediante la unidad cartográfica 8 formada en el muro por un conjunto de arcillas rojas y verdes con pequeñas intercalaciones de niveles de areniscas finas ferruginosas que continúan, hacia techo, con un conjunto litológico formado por calcarenitas y arcillas limosas rojas. Este conjunto presenta espesores muy variables, generalmente más de 100 m. En los sectores, en que predominan las facies más calcareníticas sobre las arcillosas, esta unidad se denomina Formación Benaiza.

En las zonas en que no ha sido posible separar cartográficamente estos términos, se ha empleado una unidad cartográfica compresiva (6) que agrupa a todos los niveles del Paleógeno descritos anteriormente.

Por último, hay que indicar que el techo del Oligoceno, en la Unidad Tectónica de Algeciras (Pendón, 1978), está formado por una sucesión de margas y pelitas margosas alternando con niveles de areniscas micáceas de grano fino a muy fino (unidad cartográfica 9), con espesores de capa que no sobrepasan los 40 cm. Intercalados entre este conjunto se observan niveles más potentes, con espesores comprendidos entre 1 y 30 m, de areniscas micáceas de grano grueso (megaturbiditas). En el Puerto del Bujeo, en la sucesión turbidítica elemental compuesta por una alternancia de margas y areniscas micáceas se observan intercalaciones de areniscas, similares en facies a las Numídicas o del Aljibe, y de niveles de turbiditas calcáreas y margas blancas

Neógeno

En el dominio paleogeográfico del Surco Turbidítico, los materiales del Neógeno se restringen al Mioceno inferior, (23,5 a 16 MA), periodo en el que se producen las principales fases tectónicas alpinas que dan lugar a importantes reestructuraciones en las cuencas sedimentarias, en donde se depositan sedimentos fundamentalmente de naturaleza detrítica, en facies muy variadas, presentando algunos de ellos una gran similitud litológica con algunos de los niveles descritos anteriormente, dificultando su cartografía e interpretación geológica.

La unidad del Aljibe o Numídica (unidad cartográfica 10), está constituida por una serie de areniscas con un alto contenido en cuarzo (más del 90 %), con granos siempre bien redondeados, de tamaño variable, cemento cuarcítico y matriz arcillosa. Este conjunto, en facies similares, presenta una gran dispersión geográfica, extendiéndose desde el norte de Africa hasta Calabria, con espesores variables que llegan a alcanzar el orden de los 1000 m.

Sobre los niveles descritos anteriormente y en aparente continuidad sedimentaria, aunque también implicados en los intensos procesos tectónicos que afectan a este conjunto, se observa una serie de pequeño espesor, que no sobrepasa el centenar de metros, formada por arcillas y margas marrones con intercalaciones de niveles decimétricos de areniscas cuarzo-micáceas cementadas (unidad cartográfica 11).

En las proximidades de Algeciras, se ha cartografiado un conjunto de arcillas y margas de color tabaco con frecuentes intercalaciones de margas y areniscas silíceas (unidad cartográfica 13) en facies similares a las descritas para las Areniscas del Aljibe.

En unos pequeños afloramientos situados entre La Línea y Punta Chullera, se puede diferenciar cartográficamente un conjunto de materiales arcillo-margosos, con tonos rojizos y verdosos, de aspecto esquistoso con intercalaciones de niveles de calizas y areniscas silíceas de tipo Aljibe y de areniscas micáceas. Este conjunto incluye bloques de diverso tamaño y de naturaleza fundamentalmente calcárea (unidad cartográfica 12). Se ha incluido en este mismo nivel cartográfico, el pequeño afloramiento existente en las proximidades del Cerro del Pulido (Hoja 1:50.000 de Tarifa) en el que se observa, una alternancia de areniscas micáceas y de margas marrones con intercalaciones de calizas bioclásticas, en facies similares a las descritas para el nivel cartográfico 9.



Afloramiento de arcillas y yesos del Triásico en las proximidades de San José del Valle (5)

En el sector suroccidental de la provincia y concretamente en los alrededores de Vejer de la Frontera y Chiclana de la Frontera, se observa un conjunto de arcillas rojas y verdes de aspecto esquistoso y satinado con disposición caótica, entre las que se encuentran nódulos de azufre, niveles de yesos, carbonatos y limolitas ferruginizadas (unidad cartográfica 14), que engloban bloques de distintos tamaños y naturaleza, pertenecientes, casi exclusivamente, al dominio paleogeográfico del Surco Turbidítico. Estos materiales constituirían las Arcillas con Bloques (Bourgois, 1978) y el Complejo Tectosedimentario del Campo de Gibraltar (González Donoso, 1987).

9.2.2 Dominio Subbético

Los materiales incluidos en este dominio tecto-paleogeográfico representan la continuación de la plataforma del Dominio Prebético hacia el interior de la cuenca. En esta provincia (Martín-Algarra, 1987) se han diferenciado dos subdominios tectosedimentarios diferentes según su posición paleogeográfica respecto a la cuenca original. Estos dos subdominios han sido denominados Subbético medio y Penibético, cuya diferencia fundamental entre ambos está definida por criterios estratigráficos, con la presencia en el Subbético medio de sedimentos margosos en el Jurásico superior y por la sedimentación de margas en del Cretácico inferior, mientras que en el Penibético, el Jurásico superior es calcáreo y no existe sedimentación durante el Cretácico inferior. Estas diferenciaciones, desde el punto de vista hidrogeológico, no son esenciales ni excluyentes, y por lo tanto se ha tratado en su conjunto como Dominio Subbético.

La disposición geológica del Subbético medio está definida fundamentalmente por una distribución intensamente caótica de sus afloramientos, con grandes extensiones de materiales asociados al Triásico que engloban fragmentos aislados de la cobertera mesozoica-terciaria, mientras que el Dominio Penibético se encuentra más estructurado y por lo tanto menos tectonizado.

9.2.2.1 Rocas del Sistema Triásico (250 MA)

El Triásico aflora con gran extensión en el sector septentrional y oriental de la provincia. Se presenta en facies de tipo “germano-andaluz”, constituidas por un conjunto de arcillas y margas con yesos rojos y blancos, nódulos de azufre y cuarzos bipiramidales, con inclusiones de rocas ígneas intrusivas de tonos verdes denominadas ofítas, (unidad cartográfica 15). Algunos de estos niveles corresponden a removilizaciones sedimentarias durante el Terciario, en concreto durante el Mioceno inferior-medio, cuya individualización cartográfica no ha sido posible realizar.

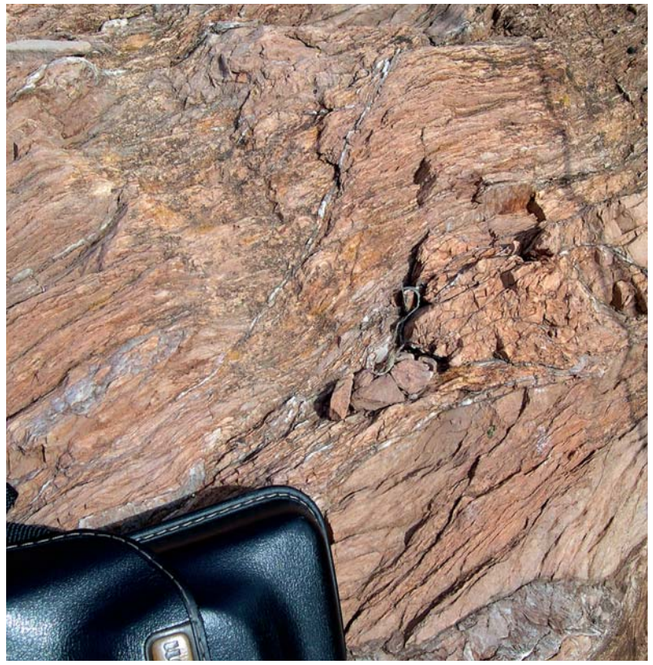
Incluidos en esta masa arcillo-yesífera, es frecuente observar bloques de distinto tamaño, desde métricos a kilométricos, de calizas y dolomías de tonos grises, aspecto brechoide y disposición tableada (unidad cartográfica 16). Estos niveles de dolomías y calizas presentan, en algunos sectores, un cierto valor hidrogeológico mientras que el conjunto arcillo-yesífero puede considerarse como de baja permeabilidad, exceptuando las zonas en donde predomina esta última litología, que tiende a karstificarse, dando lugar a acuíferos cuyas aguas presentan un alto contenido en sales.



Lapiaz sobre calizas jurásicas. Proximidades de Benaocaz (3)



Polje en el karst desarrollado sobre las calizas jurásicas, en las proximidades de Villaluenga del Rosario (3)



Niveles de "capas rojas" del Cretácico superior-Paleoceno, muy afectados por deformaciones tectónicas. Villaluenga del Rosario (3)

9.2.2.2 Rocas del Sistema Jurásico (205 a 135 MA)

Este sistema se encuentra bien representado en las sierras de las Cabras, Zafalgar, Ubrique y Líjar, además de en numerosos picos y peñas de menor entidad geográfica, distribuidos por el sector nororiental de esta provincia. La serie comienza con un conjunto de dolomías y calizas tableadas, ocasionalmente oolíticas y ligeramente margosas (unidad cartográfica 17), con tonos grises o cremas bien estratificadas, dispuestas en estratos decimétricos con un espesor total de unos 250 m. Este conjunto presenta una alta permeabilidad y por lo tanto un gran interés hidrogeológico.

Por encima de esta unidad, la serie jurásica continua con calizas nodulosas, calizas margosas, margocalizas silíceas y margas de tonos rojizos (unidad cartográfica 18), con un espesor del orden de los 200 m. En el Dominio Penibético, durante el Jurásico, la sedimentación continua con depósitos eminentemente calcáreos. El tránsito con la unidad infrayacente se realiza generalmente de forma gradual. En conjunto su interés hidrogeológico es alto, aunque queda establecido en función del espesor de los niveles margosos.

9.2.2.3 Rocas del Sistema Cretácico (135 a 65 MA)

En la provincia de Cádiz, este sistema se encuentra representado en dos unidades cartográficas, en general de naturaleza margocalcárea, con escaso interés hidrogeológico.

El Cretácico inferior (unidad cartográfica 19), que aflora con mayor extensión en las proximidades de la Sierra de las Cabras, está constituido por una serie de calizas nodulosas y margas de tonos blancos, grises y verdes, con un espesor de unos 150 m, en el que se puede observar numerosas interrupciones en la sedimentación, dando lugar a intensos procesos de karstificación que afectan fundamentalmente a los sedimentos calcáreos jurásicos descritos anteriormente. Estos niveles margosos constituyen un nivel de despegue tectónico regional que ha favorecido el desplazamiento de los niveles margocalcáreos del Cretácico superior. En el Penibético no existen sedimentos correspondientes a esta edad.

El Cretácico superior, está constituido por un conjunto de margas, margocalizas y calizas (unidad cartográfica 20) de tonos rosados y asalmonados (capas rojas) con espesores comprendidos entre 100 y 200 metros. Este tipo de litología, continuó depositándose en algunos sectores de la cuenca de sedimentación bética hasta el Eoceno.

9.2.2.4 Rocas del Sistema Terciario (65 a 1,8 MA)

En este dominio paleogeográfico, los depósitos asignados al sistema Terciario están constituidos fundamentalmente por materiales sedimentados con anterioridad a la fase tectónica principal.

Sistema Paleógeno (Paleoceno a Oligoceno, 65 a 23,5 MA)

En algunos sectores situados en las proximidades de las Zonas Internas, la sedimentación terciaria continua con el depósito de las "capas rojas" que comenzó en el Cretácico superior, en otras zonas más externas de la cordillera. Los materiales asociados a este sistema están constituidos por un conjunto de margas, ocasionalmente con intercalaciones de arcillas de tonos verdes, margocalizas blancas con niveles turbidíticos y esporádicamente, intercalaciones de niveles de calizas arenosas y bioclásticas (unidad cartográfica 21), con un espesor aproximado de 200 m y escaso interés hidrogeológico debido a su escasa permeabilidad.

Por encima de los niveles descritos anteriormente se observa en algunos sectores, una serie de margas y margocalizas blancas, emplazadas en el núcleo de ciertas estructuras sinclinales. Su afloramiento es de muy baja calidad debido a la naturaleza blanda de estos materiales, presentando un escaso interés hidrogeológico.



Sistema Neógeno (Mioceno, 23,5 MA)

En este dominio paleogeográfico, el Mioceno inferior está constituido por un conjunto de sedimentos cuya litología es similar a la descrita para el dominio de Surco Turbidítico indicando que su cuenca de sedimentación se ha desplazado, posiblemente por causas tectónicas, hacia el norte. Estos materiales constituyen las unidades cartográficas 13 y 14 constituidas respectivamente por arcillas, areniscas y calizas (Formación Estepona) y por arcillas versicolores.

9.2.3 Materiales postorogénicos

En este sector se incluyen materiales de naturaleza fundamentalmente detrítica y disposición estructural sin y postorogénica, que descansan discordantemente sobre los sedimentos preorogénicos.

9.2.3.1 Formaciones paraautóctonas (Mioceno medio, 16 a 11 MA)

Afloran fundamentalmente en el sector norocidental de la provincia, en el entorno de Jerez de la Frontera. Esta unidad está constituida por margas blancas ricas en sílice, formadas por esqueletos de Radiolarios y Diatomitas, denominadas en la región “moronitas” o “albarizas” (unidad cartográfica 23). Este conjunto se dispone discordantemente sobre todos los niveles subbéticos descritos anteriormente, presentando un escaso interés hidrogeológico, su datación es problemática, debido a las intensas resedimentaciones existentes en esta unidad. Fundamentalmente se han definido dos grupos, las “antiguas”, cuya edad está comprendida entre el Burdigaliense superior y el Langhiense inferior (16 MA) implicadas en las últimas fases tectónicas y las “modernas” datadas como Serravaliense-Tortoniense (11 MA), que presentan un carácter más autóctono que las anteriores.

9.2.3.2 Formaciones postorogénicas (Mioceno superior-Plioceno, 11 a 1,65 MA)

Afloran fundamentalmente en tres sectores: el noroccidental, próximo a la depresión del valle de Guadalquivir, en la cuenca de Vejer de la Frontera y en la banda costera que une estas dos zonas, además de diversos afloramientos distribuidos irregularmente por la provincia.

El conjunto del Mioceno se apoya discordantemente sobre los niveles anteriores. Comienza con un nivel de margas azules, localmente limosas y arenosas (unidad cartográfica 24) masivas, muy bioturbadas, con intercalaciones de niveles de biocalcarenitas, un espesor de unos 100 m, y escasa utilidad hidrogeológica.

Por encima y concordante con la unidad anterior, se observa una serie detrítica de calcarenitas bioclásticas de grano medio a grueso, con intercalaciones de niveles de micro y conglomerados y un espesor comprendido entre 80 y 200 m (unidad cartográfica 25). Estos niveles constituyen un importante acuífero regional del que se abastecen numerosas poblaciones de la provincia.





Foto superior: Laminaciones cruzadas en las biocalcarenitas del Mioceno superior. Vejer de la Frontera (3)
Foto inferior: Bioturbación en las calcarenitas del Mioceno superior. Los Caños de Meca (3)

Duna fósil, formada por arenas eólicas con laminación cruzada. Cabo de Trafalgar (6)



Duna móvil de Punta Paloma (3)





Foto superior: Depósitos coluvionares al pie de la Serranía de Grazalema (3)
Foto inferior: Aspecto brechificado de las dolomías jurásicas. Benamahoma (3)

Los afloramientos del Plioceno se distribuyen fundamentalmente según su ambiente de sedimentación, así, los marinos se localizan en zonas próximas a la costa y los continentales en depresiones o cubetas interiores.

Esta serie comienza con la sedimentación de un conjunto de margas grises y verdes algo arenosas (unidad cartográfica 26) en aparente concordancia con la unidad anterior, sedimentadas en un ambiente marino, presentando un escaso interés hidrogeológico

Por encima, aflora un conjunto de materiales sedimentados en ambientes litorales y lacustres, formados por arenas amarillas, biocalcarenitas con intercalaciones de niveles de conglomerados con “Ostreidos” y “Pectínidos” y calizas pulverulentas, con un espesor de unos 150 m (unidad cartográfica 27). Esta serie presenta un alto interés hidrogeológico constituyendo importantes acuíferos.

Discordante sobre los niveles anteriores, aflora un conjunto formado por arcillas verdes ricas en carbonatos con materia orgánica, y calizas pulverulentas con gasterópodos (unidad cartográfica 28), que representan en estas zonas, el abandono del mar y la implantación de un régimen lagunar. Este conjunto no ofrece demasiado interés hidrogeológico debido a la baja permeabilidad de estos materiales.

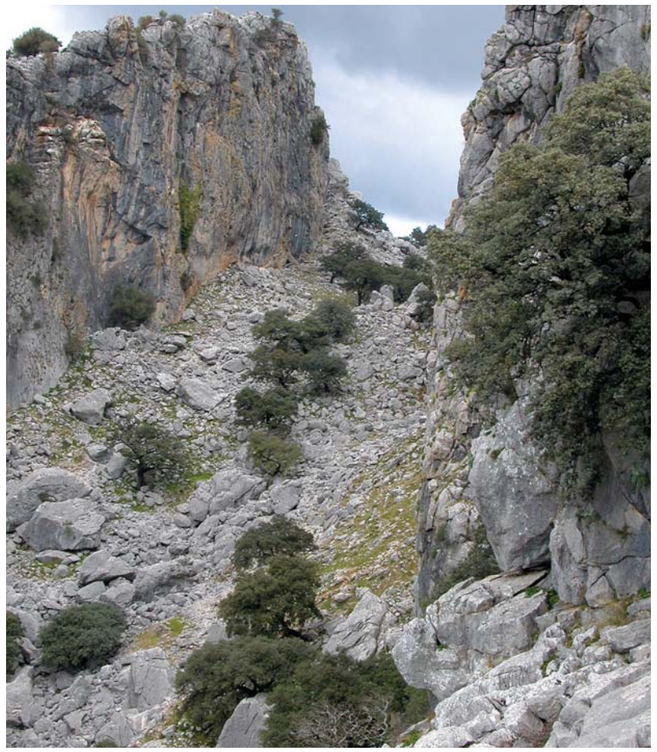
Por último hay que indicar que en el tránsito entre el Plioceno y el Cuaternario se ha diferenciado la unidad cartográfica 29 formada por arenas rojas algo cementadas con intercalaciones de niveles de gravas y conglomerados con cantos de cuarzo redondeados afectados en algunas zonas por procesos de rubefacción que dan lugar a grandes acumulaciones de arcillas rojas.

9.2.4 Rocas del Sistema Cuaternario (1,8 MA)

Los sedimentos cuaternarios se han agrupado en función de sus características hidrogeológicas, así, se han diferenciado los siguientes grupos.

Travertinos (unidad cartográfica 30), relacionados con importantes salidas de acuíferos calcáreos. Se trata de rocas carbonatadas de tonos amarillos con restos visibles de plantas, nódulos y concreciones calcáreas, presentando un alto interés hidrogeológico debido a la elevada permeabilidad que presentan estos materiales y a que su localización permite situar surgencias de aguas subterráneas.

El grupo de los depósitos lacustres (unidad cartográfica 31), está constituido por limos, arenas, arcillas y materia orgánica que rellenan fundamentalmente depresiones y antiguos humedales, como sucede con la antigua Laguna de la Janda, en la que se han desarrollado suelos grises y negros de carácter vértico.



Salto del Cabrero, escarpe estructural originado por fallas normales en las calizas jurásicas de la Sierra del Endrinal (Macizo de Grazalema) (6)

Los depósitos litorales (unidad cartográfica 32) están constituidos fundamentalmente por limos, arenas, gravas biogénicas y arcillas indicando una gran variedad de litológica y de facies (Zazo, 1980). Estos cambios litológicos condicionan que las características hidrogeológicas de este conjunto de sedimentos sean muy variadas.

El grupo de los depósitos fluviales, está constituido por un conjunto de naturaleza detrítica formado por los sistemas aluviales de los principales cursos fluviales que surcan esta provincia. Litológicamente, la unidad cartográfica 33, está formada fundamentalmente por arenas y conglomerados alternando con niveles de limos y arcillas, localizados en los fondos de los valles y en los sistemas de terrazas. Estos niveles presentan un alto interés hidrogeológico ya que sobre ellos se desarrollan importantes acuíferos detríticos.

Los depósitos de laderas se encuentran agrupados en la unidad cartográfica 34, formados por arcillas, arenas y cantos de distintos tamaños que integran los sistemas de coluviones, glacis, depósitos de solifluxión y conos de deyección, constituyendo todos ellos un conjunto con relativo interés hidrogeológico.

Por último se han cartografiado los depósitos edáficos formados por arcillas, arenas y costras calcáreas, desarrollados sobre los materiales margosos del sustrato, ricos en montmorillonita.

9.3. Tectónica

La estructura de la terminación occidental de las Cordilleras Béticas, está condicionada fundamentalmente por la superposición tectónica de las Zonas Internas sobre la Plataforma Subbética.

El Subbético “sensu lato”, presenta dos dominios estructurales con comportamiento tectónico diferente. El Penibético, en posición más interna (más próximo a las Zonas Internas), que presenta una estructura más ordenada con pliegues y cabalgamientos vergentes hacia el antepaís (zona de la Meseta) y el dominio del Subbético medio, en posición más externa que el anterior, presenta un aspecto caótico, en que la cobertera mesozoica-terciaria se encuentra muy desmembrada por encima de la superficie de despegue triásica, retrocabalgando a su vez al Penibético.

Sobre el Subbético “sensu lato”, y hundiéndose hacia el este, bajo las Zonas Internas, se observan diversas formaciones turbidíticas agrupadas en tres mantos de los que solamente dos, la lámina del Aljibe y la de Algeciras, afloran en esta provincia.

9.3.1 Tectónica del Complejo Campo de Gibraltar

Este Complejo Turbidítico está estructurado en tres mantos o láminas principales que transportan series procedentes del Surco Turbidítico (Moreno Serrano, 1988), aflorando en esta provincia sólo las dos más altas desde el punto de vista estructural, formadas por el Manto o lámina del Aljibe y por el Manto o lámina de Algeciras.

La lámina de Algeciras, junto con la lámina inferior o del Cerro de la Novia, reposa estructuralmente encima de los materiales asociados al Dominio Subbético, estando parcialmente recubiertos por la lámina del Aljibe.

Esta lámina se encuentra afectada por una fuerte escamación de directrices E-O y NE-SO que a su vez se encuentra afectada por un plegamiento de dirección N-S inducido por la imbricación del Bloque de Alboran.

Por lo que respecta al Manto del Aljibe, este ocupa la posición estructural más alta reposando tectónicamente encima de los materiales incluidos en la lámina de Algeciras y los de afinidad Subbética. Se encuentra afectada por importantes estructuras de acortamiento horizontal mientras que su frente se encuentra fragmentado caóticamente, indicando que su emplazamiento se ha producido por un proceso mixto entre acortamiento por comprensión y gravitacional.

9.3.2 Tectónica del Subbético

Desde el punto de vista estructural, la característica principal del Dominio del Subbético medio en esta región, es la gran extensión de afloramiento de materiales triásicos, que incluyen bloques de la cobertera mesozoica y terciaria, indicando el enorme espesor original de la serie triásica, que funciono como una superficie general de despegue de la cobertera subbética experimentando importantes movimientos halocinéticos y extrusiones inducidas por el acortamiento y la sobrecarga resultante de las imbricaciones de series suprayacentes.

Otra característica tectónica de este dominio es la presencia de estructuras fuertemente giradas, como sucede en la Sierra de las Cabras, debido al movimiento de lineamientos estructurales importantes que discurren por sus proximidades, que han actuado posteriormente a la etapa de principal de plegamiento.

Estas características estructurales permiten definir a este sector como un umbral diapírico generado como respuesta al apilamiento de las unidades turbidíticas en sectores más internos de la cordillera, dando lugar al desmembramiento de su cobertera mesozoica. Parte de este complejo diapírico, con sus fragmentos de cobertera, deslizaron de forma caótica hacia el valle del Guadalquivir, durante el Tortoniense, formando buena parte del “Olistostroma del Guadalquivir” invadiendo dicha depresión.

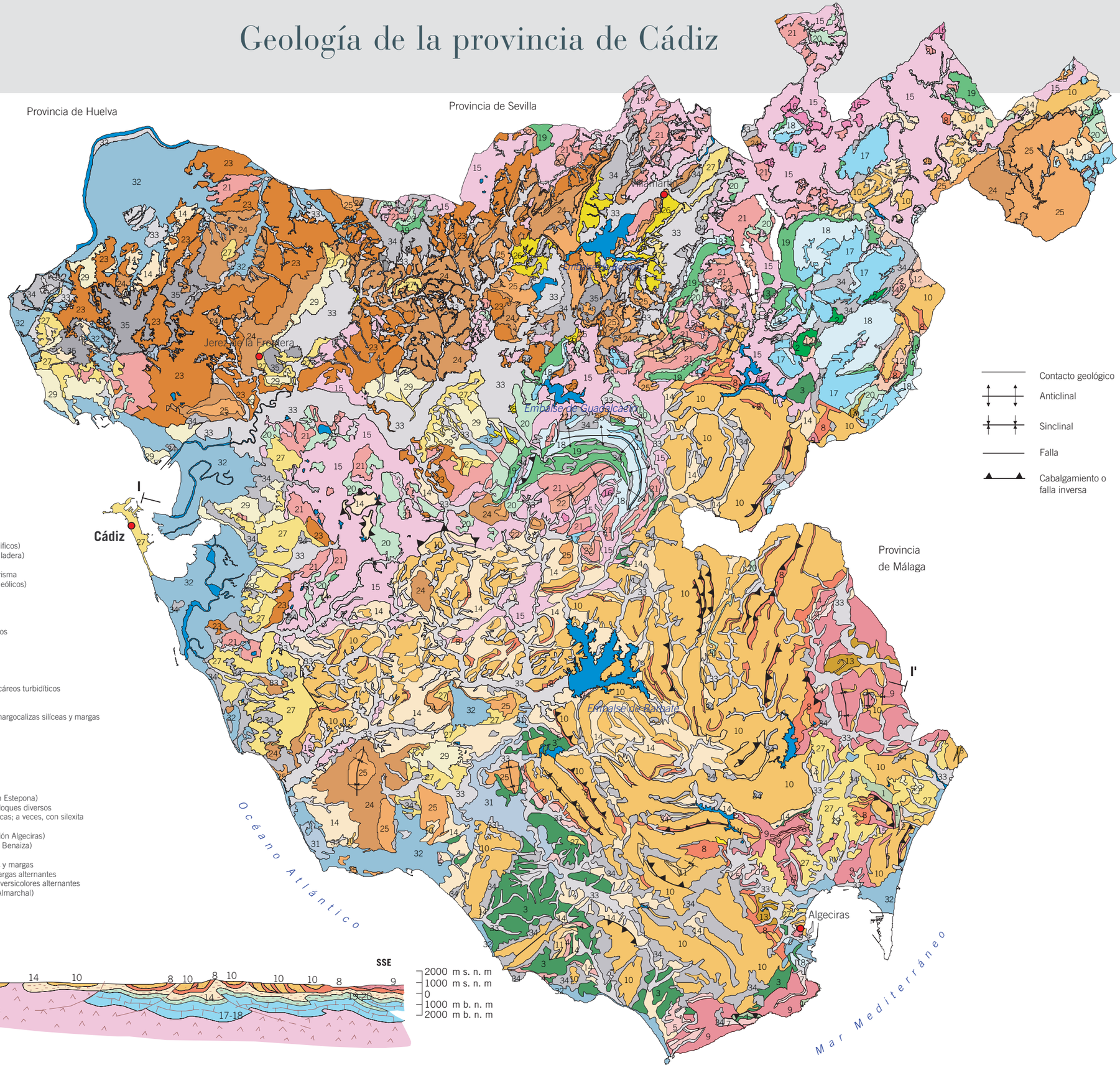
Los materiales asociados al Penibético, no muestran el grado de desorganización tectónica característica del Subbético medio, encontrándose afectados por una sucesión de pliegues anticlinales y sinclinales muy apretados, con gran continuidad lateral, afectados por fallas inversas y cabalgamientos.

9.3.3 Tectónica de los materiales postorogénicos

La cobertera Mio-Pliocena se encuentra estructurada por dos fases de deformación (Benkhelil, 1976), la primera de tipo distensiva con dirección E-O y edad Mio-Plioceno y la segunda comprensiva, de edad finipliocena con dirección NNO-SSE generadora de plegamiento y de diversos desgarres.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España
Diputación de Cádiz

Geología de la provincia de Cádiz



SUBBÉTICO Y DEPRESIONES NEÓGENAS Y CUATERNARIAS

CUATERNARIO			30 31 32 33 34 35
TERCIARIO	NEÓGENO	PLIOCENO	29 28 27 26 25
		MIOCENO SUPERIOR	24
		MIOCENO MEDIO	23
		MIOCENO INFERIOR	14 13
	PALEÓGENO	OLIGOCENO	22
		EOCENO	21
		PALEOCENO	20
CRETÁCICO		SUPERIOR	19
		INFERIOR	
JURÁSICO		MALM	18
		DOGGER	17
		LÍAS	
TRIÁSICO		SUPERIOR	15 16

35. Arcillas, arenas y costras (depósitos edificos)
34. Arenas, arcillas y cantos (depósitos de ladera)
33. Arenas y gravas (depósitos fluviales)
32. Arenas, conglomerados y limos de marisma (depósitos litorales), arenas (depósitos eólicos)
31. Limos y arcillas (depósitos lacustres)
30. Travertinos (depósitos kársticos)
29. Arenas y suelos rojos
28. Arcillas verdes, brechas y calizas
27. Arenas, biocalcarenitas y conglomerados
26. Margas grises
25. Biocalcarenitas
24. Margas azules
23. Margas blancas silíceas (moronitas)
22. Margas y margocalizas blancas
21. Margas y margocalizas con niveles calcáreos turbidíticos
20. Calizas y margas rojas (capas rojas)
19. Calizas margosas y margas
18. Calizas nodulosas, calizas margosas, margocalizas silíceas y margas
17. Calizas y dolomías
16. Dolomías tableadas y carniolas
15. Arcillas, margas, yesos y areniscas

SURCO TURBIDÍTICO

TERCIARIO	NEÓGENO	MIOCENO INFERIOR BURDIGALIENSE	11 14 13
		MIOCENO INFERIOR AQUITANIENSE	10 12
	PALEÓGENO	OLIGOCENO SUPERIOR	9
		OLIGOCENO MEDIO	8
		OLIGOCENO INFERIOR	7 6
		EOCENO PRIABONIENSE	
		EOCENO LUTECIENSE	5
		EOCENO YPRESIENSE	
		PALEOCENO	4
CRETÁCICO		SUPERIOR	3
		INFERIOR	2 1

14. Arcillas versicolores
13. Arcillas, areniscas y calizas (Formación Estepona)
12. Arcillas, margas, calizas, areniscas y bloques diversos
11. Arcillas y margas con niveles de areniscas; a veces, con silexita
10. Areniscas del Aljibe
9. Margas y areniscas micáceas (Formación Algeciras)
8. Calizas y arcillas margosas (Formación Benaiza)
7. Margas y arcillas rojas
6. Calizas arenosas y bioclásticas, arcillas y margas
5. Calizas arenosas y bioclásticas, con margas alternantes
4. Calizas de "Microcodium", con arcillas versicolores alternantes
3. Calizas, margas y arcillas (Formación Almarchal)
2. Arcillas de Facinas
1. Areniscas de los Nogales

10 Hidrogeología general de la provincia

Hidrogeología general de la provincia

10

Miguel Martín Machuca - Raquel Morales García
Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz

10.1. Introducción

Los acuíferos, entendiéndose como tales aquellas formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua a través de ellos en cantidades significativas, de modo que pueda extraerse mediante obras de captación (sondeos, presas, etc.), se pueden clasificar:

- En función de la presión hidrostática del agua contenida en ellos:

  • *Acuíferos libres, no confinados o freáticos:* se definen como aquellos en los que el límite superior de la masa de agua forma una superficie real que está en contacto con el aire de la zona no saturada y, por lo tanto, a presión atmosférica. Cuando se perfora un pozo desde la superficie del terreno, el agua aparece en el pozo cuando se corta o alcanza el nivel freático, y se mantiene a esa profundidad. La recarga de este tipo de acuíferos se realiza principalmente por infiltración de la precipitación a través del suelo, o por infiltración de agua de ríos o lagos.

  • *Acuíferos confinados, cautivos o a presión:* son aquellos que en su límite superior o techo, el agua está a una presión superior a la atmosférica. Se comportan así los materiales permeables que están cubiertos por una capa confinante mucho menos permeable (por ejemplo una capa arenosa bajo otra arcillosa). Durante la perforación de los pozos en acuíferos de este tipo, al atravesar el techo de los mismos se observa un ascenso rápido del nivel del agua hasta estabilizarse en una determinada posición. A este fenómeno se le solía llamar "artesianismo", aunque el vocablo va cayendo en deshuso. El pozo será surgente cuando el nivel piezométrico esté situado a cota superior a la de la boca del pozo.

  La recarga de un acuífero confinado procede principalmente de la lluvia que se infiltra directamente a través de la zona en la que aflora la formación acuífera, es decir, donde el acuífero se comporta como libre, o bien donde se puede considerar como semiconfinado y las condiciones sean favorables.

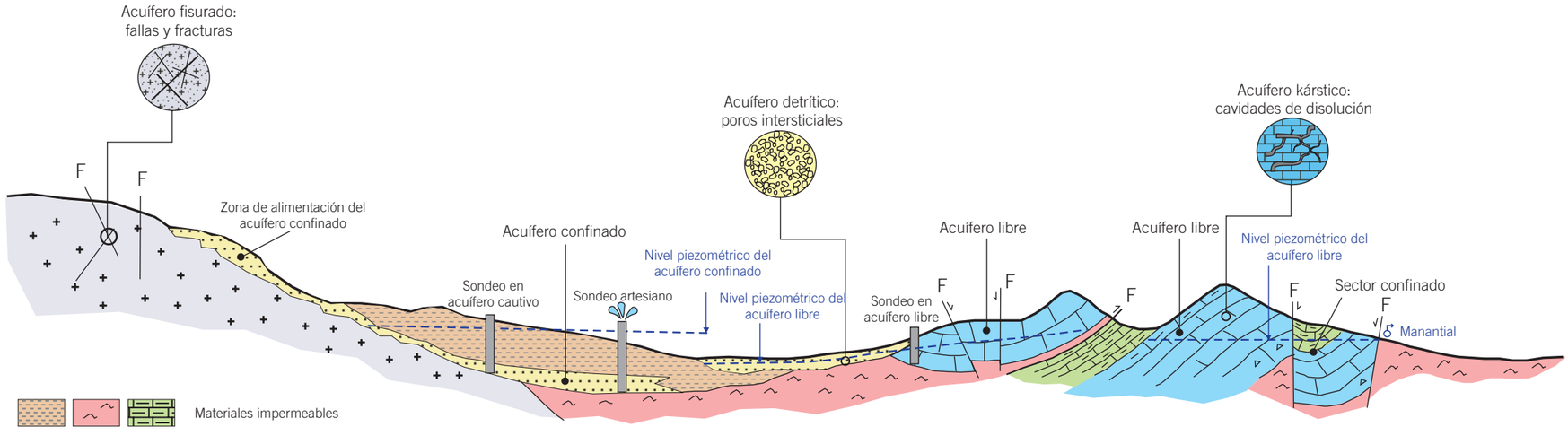
  • *Acuíferos semiconfinados o semicautivos:* pueden considerarse un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que el muro, el techo o ambos, no son totalmente impermeables sino que permiten la circulación vertical del agua. Este paso vertical de agua puede hacerse desde o hacia el acuitardo, e incluso variar con el tiempo, según sean los valores relativos de los niveles piezométricos.

- En función del tipo de materiales que lo constituyen y el origen de su permeabilidad:

  • *Acuíferos detríticos:* son aquellos en los que el agua circula a través de los propios poros de la roca que constituye el acuífero. Se trata de formaciones geológicas constituidas por la acumulación de partículas transportadas por la gravedad, viento o hielo; en ambiente lacustre o marino. Suelen ser arenas y gravas de distinto origen geológico: fluvial, como los que forman los materiales aluviales de los ríos o las terrazas de los mismos; deltaico, si se trata de depósitos acumulados en la desembocadura de los ríos. Por lo general son de edades geológicamente recientes.

  • *Acuíferos Kársticos:* formados por sedimentos que se han consolidado debido a procesos de compactación o diagénesis. La circulación del agua se realiza a través de los huecos y cavidades formadas por disolución de la propia roca, debido a la acción del agua (karstificación). Las litologías más frecuentes donde se desarrolla este proceso, son las calizas y dolomías, aunque también se produce en areniscas (arenas consolidadas) por disolución del cemento intergranular, en calcarenitas (areniscas de granos carbonáticos) por disolución de las partículas de la roca y del cemento, y más raramente en yesos. Hay que tener en cuenta que si estas rocas no están karstificadas, son poco permeables.

  • *Acuíferos fisurados*: la circulación del agua se realiza a través de fisuras y grietas existentes en la roca. Los materiales dominantes de este tipo de acuíferos son de origen ígneo y metamórfico, materiales que, en la dinámica de su formación, experimentan profundas transformaciones físicas y químicas, dando lugar a cambios en la estructura de la roca o sedimento original y a la formación de las grietas y fracturas que le confieren el carácter permeable.



10.2. Acuíferos de la provincia de Cádiz

Los acuíferos en la provincia de Cádiz, por la naturaleza litológica de los terrenos que los constituyen se diferencian en dos grupos esenciales: carbonatados y detríticos.

Los carbonatados son permeables por fisuración y karstificación. El agua circula y se almacena en las fisuras y huecos que ella misma ha creado por efecto de la disolución de los carbonatos. Las rocas que generan estos acuíferos son las calizas y dolomías. En ellos el agua circula con rapidez y el tiempo de permanencia dentro del acuífero es corto en comparación con lo que ocurre con los acuíferos detríticos. La descarga o salida natural del agua del acuífero se realiza a través de los manantiales. Dentro de esta categoría destacan los acuíferos que integran la Sierra de Grazalema, no sólo por su mayor extensión superficial, sino también por el alto grado de karstificación desarrollado -con toda una variedad de formas exokársticas y endokársticas- y por ser uno de los parajes naturales más singulares de toda Andalucía: el Parque Natural de la Sierra de Grazalema.

Los acuíferos detríticos son permeables por porosidad intragranular. El agua circula y se almacena entre los poros del terreno. Los terrenos que lo forman son los limos, arenas, gravas y areniscas. La circulación del agua subterránea en ellos es lenta y su capacidad de almacenamiento es grande en comparación con los acuíferos carbonatados, y por tanto de su capacidad de regulación. Presentan una mayor inercia ante estímulos externos como pueden ser periodos de sequía, bombeos intensos o procesos de contaminación. Son los más abundantes en la provincia y destacan, por su extensión y grado de aprovechamiento, el acuífero de Puerto Real-Conil o el de Vejer-Barbate.

En total en la provincia de Cádiz se ubican 19 acuíferos importantes, de los cuales 15 se localizan íntegramente dentro de su territorio, mientras que los otros 4: Setenil-Ronda, Sierra de Líbar, Sierra de Cañete y Aluvial del Guadiaro-Hozgarganta, comparten su superficie, en mayor o menor grado, con la vecina provincia de Málaga. Además cabe considerar, por su interés hidrogeológico, el conjunto de pequeños acuíferos aislados que conforman las Areniscas del Aljibe, que aunque de baja permeabilidad, tienen importancia por la gran extensión que ocupan, encontrando su máximo desarrollo en la comarca del Campo de Gibraltar.

Los terrenos permeables que integran los 19 acuíferos de la provincia alcanzan una superficie próxima a los 1.600 km^2, lo que representa el 21 % de la superficie total provincial (7.442 km^2). Aproximadamente el 73 % de la superficie permeable es de naturaleza detrítica y el 27 % de naturaleza carbonatada. No obstante hay que resaltar que, a pesar de una menor superficie de acuíferos carbonatados, éstos aportan comparativamente mayores recursos potencialmente aprovechables que los detríticos. En conjunto, las reservas hídricas subterráneas renovables oscilan a 393,9 hm^3/a, a las que hay que añadir, unos 25 km^3 correspondientes a las centros formados por las areniscas de Aljibe.

Administrativamente, éstos acuíferos se incluyen dentro de las poligonales que delimitan 18 unidades hidrogeológicas según el Catálogo de unidades hidrogeológicas del territorio Peninsular e Islas Baleares (MOPU-IGME, 1988). Las Areniscas del Aljibe del Campo de Gibraltar no están incluidasen dicho catálogo.

Las unidades hidrogeológicas son entidades de gestión, definidas con criterios hidrogeológicos, cuya delimitación superficial responde a un carácter eminentemente administrativo y engloban en el interior de sus poligonales uno o más acuíferos. Están sujetas a una normativa de explotación cuyo soporte legal viene definido en el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica (R.D. 927/1988), en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas, en su Título II, de la Planificación Hidrológica, capítulo II, de contenido de los Planes (artículo 84.4).

La entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE), establece nuevos objetivos para la gestión y conservación de las aguas. Introduce el concepto de *masa de agua subterránea* (volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos capaz de proporcionar, para el consumo humano, un promedio de más de 10 m^3 diarios o que abastezcan a más de 50 personas), como unidad geográfica de referencia para las muchas obligaciones que establece.

En España la identificación territorial de los acuíferos de cada cuenca son las unidades hidrogeológicas, por lo que era necesario adaptar éstas a los objetivos de la Directiva Marco antes de diciembre de 2004. Para ello el Ministerio de Medio Ambiente con la colaboración del Instituto Geológico y Minero de España y la participación de los Organismos de cuenca, ha abordado la primera delimitación y caracterización de las masas de agua subterránea en las cuencas intercomunitarias, aunque al tratarse de un proceso iterativo, que se refinará en varias etapas hasta la publicación del Plan hidrológico de cuenca, puede sufrir modificaciones sustanciales.



Captación en las proximidades de la piscifactoría de Benamahoma (3)



Arenas pliocenas del acuífero detrítico de Puerto Real - Conil, en Fuente del Gallo (6)

Acuíferos de la provincia de Cádiz

Comarca	Acuífero	Naturaleza	U.H.	Superficie permeable (km²)	Entradas (1) (hm³/año)	Explotación (2) (hm³/año)
La Sierra de Cádiz	Sierra de Grazalema	Carbonático	05.64	163	63,1	2,4
	Sierra de Líjar	Carbonático	05.64	15	7,2	0,8
	Sierra de Líbar *	Carbonático	00.06	84 (30)	82,2	0,7
	Setenil-Ronda *	Detrítico	00.07	211 (90)	21	3,4
	Sierra de Cañete *	Carbonático	00.08	61 (10)	13	2,5
	Arcos-Bornos-Espera	Detrítico	05.54	70	7,6	6,3
	Llanos de Villamartín	Detrítico	05.53	124	11,6	7,3
La Campiña de Jerez	Jerez de la Frontera	Detrítico	05.56	95	15	2
	Aluvial del Guadalete	Detrítico	05.55	150	24	9
	Sierra de las Cabras	Carbonático	05.60	34	9,5	1,45
La Costa Noroeste	Rota-Sanlúcar-Chipiona	Detrítico	05.57	88	12,5	2
	El Puerto de Santa María	Detrítico	05.58	44	7,6	4
	Puerto Real-Conil	Detrítico	05.59	238	28	13
La Janda	Vejer-Barbate	Detrítico	05.61	152	30,5	24
	Aluvial del Barbate	Detrítico	05.62	111	21,5	5
El Campo de Gibraltar	Aluvial del Guadiaro y Hozgarganta*	Detrítico	06.47	40 (10)	16,64	7,5
	Plioceno de Sotogrande	Detrítico	06.48	33,5	4,95	1,05
	Pliocuaternario de Guadarranque-Palmones	Detrítico	06.49	105	16,21	0,33
	Cuaternario de La Línea	Detrítico	06.50	10	1,8	1,62
Total acuíferos				**1828,5**	**393,9**	**94,35**

Comarca	Acuífero de baja permeabilidad	Naturaleza	U.H.	Superficie baja permeabilidad (km²)	Entradas (1)	Explotación (2)
El Campo de Gibraltar	Areniscas del Aljibe	Detrítico	–	538	20-25	8,5

** datos referidos a las provincias de Cádiz y Málaga; entre paréntesis se estiman las cifras correspondientes a la provincia de Cádiz*

(1) Infiltración de la lluvia más entradas laterales si existen

(2) Bombeo de captaciones y aprovechamiento de manantiales

10.3. Recursos hídricos subterráneos y sus usos

Los recursos hídricos subterráneos potencialmente utilizables en la provincia de Cádiz entendiéndose como tales la recarga del agua de lluvia sobre la totalidad de los terrenos permeables que constituyen los acuíferos y las entradas laterales naturales desde otros acuíferos ascienden a 394 hm³/año. Los acuíferos detríticos aportan unos recursos de 219 hm³/año, lo que supone el 55,6 % del total; mientras que los carbonatados alcanzan la cifra de 175 hm³/año (44,4 % del total).

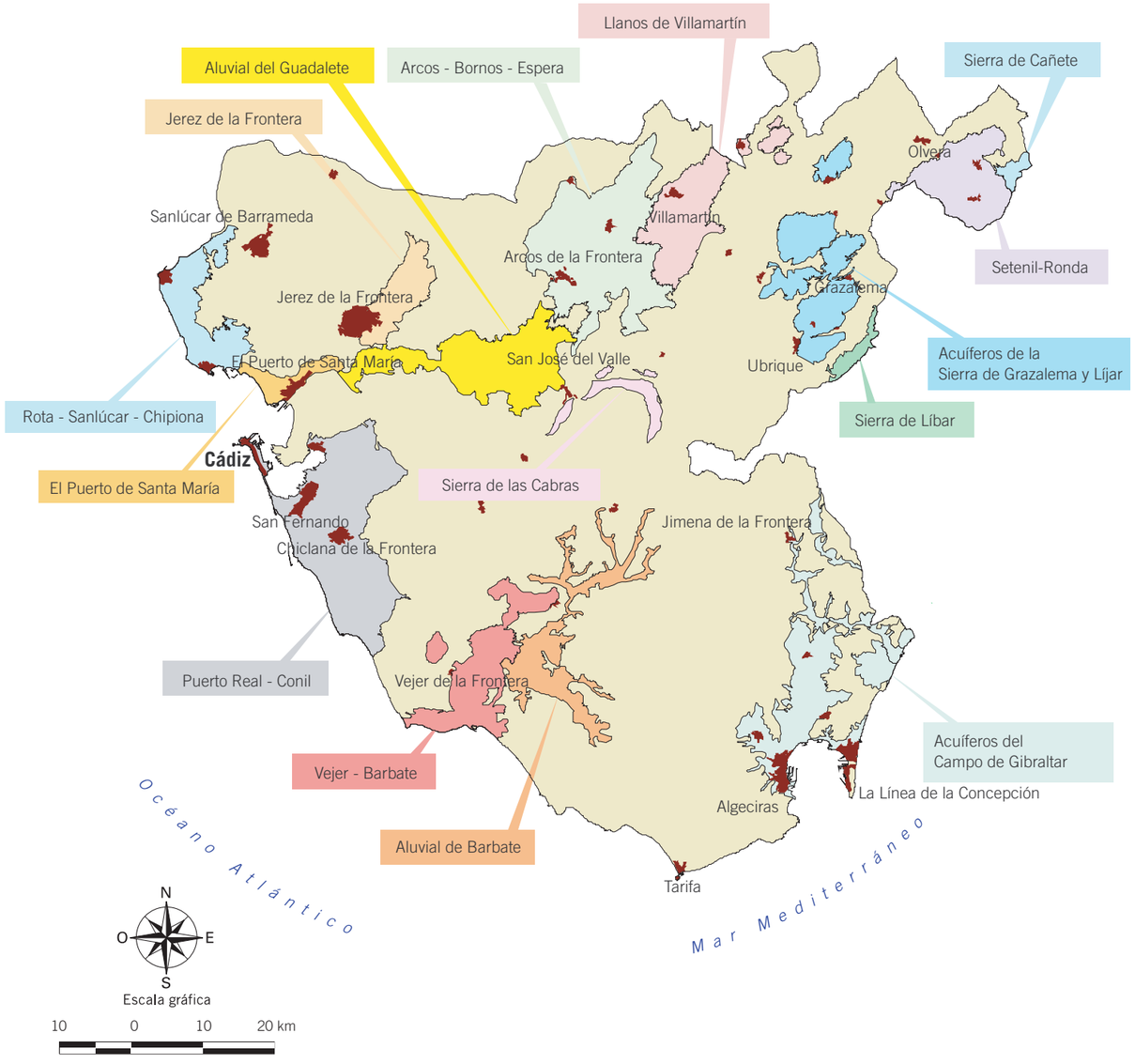
Teniendo en consideración los usos más importantes que son los abastecimientos de agua potable a las poblaciones y el riego en agricultura el total estimado de las extracciones por bombeo de aguas subterráneas asciende a unos 94 hm³/año, lo que representa el 24 % del total de los recursos que potencialmente podrían utilizarse, cifra ésta que evidencia una clara subexplotación, independientemente de la situación particular en que se encuentran cada uno de los acuíferos que integran el conjunto provincial.

Hay abastecimientos urbanos que usan exclusivamente aguas superficiales como fuente de suministro; otros usan exclusivamente aguas subterráneas, existiendo así mismo un porcentaje no desdeñable que, aunque de forma regular se abastecen con aguas superficiales, en determinadas circunstancias utilizan las aguas subterráneas como complemento o elemento de garantía. En situaciones de sequía hídrica se ha acreditado la eficacia de éstos abastecimientos mixtos.

En el año 2002, el número total de habitantes abastecidos con aguas subterráneas, tanto de forma exclusiva como formando parte del abastecimiento mixto, era de 262.122 lo que representa el 28,8 % del total de la población. Para atender esta demanda se aplicaron 28,79 hm³/año equivalente al 23,2 % del volumen total captado.

La actualización del inventario y caracterización de los regadíos en Andalucía realizada por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía en el año 2002 constató que la superficie regada en la provincia de Cádiz en esas fechas, era de 53.538 ha, el 7,2 % de la superficie total de la provincia, que es el más bajo de Andalucía, aunque cabe resaltar que, la misma fuente da para el periodo 2001-2002 una tasa de crecimiento de la superficie de riego del 24,1 %, el más alto de Andalucía.

Principales acuíferos de la provincia de Cádiz

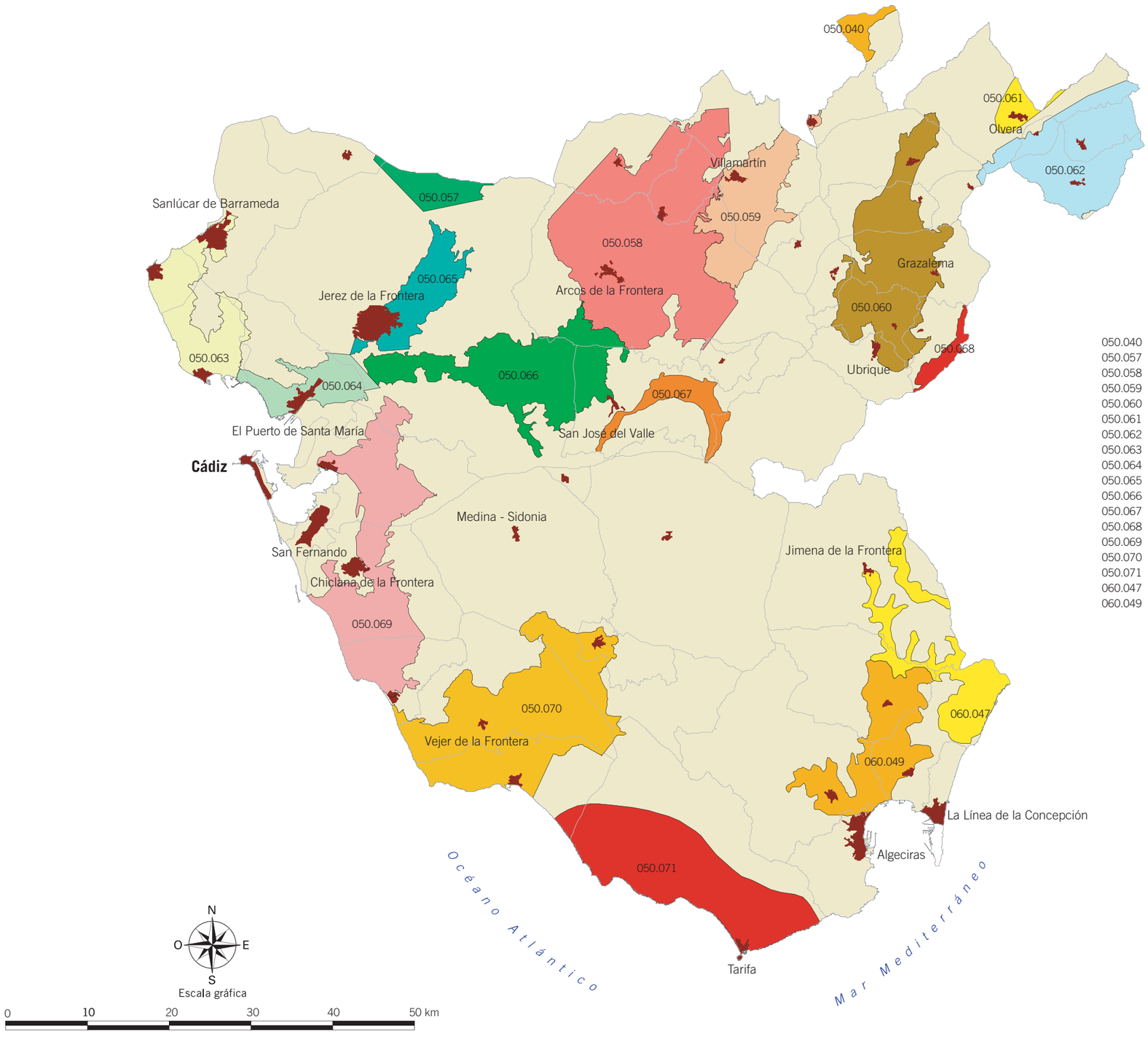


Unidades hidrogeológicas de la provincia de Cádiz



MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

Masas de agua subterránea de la provincia de Cádiz (marzo 2005)



050.040	Aharal – Coronil – Morón – Puebla de Cazalla
050.057	Lebrija
050.058	Arcos – Bornos – Espera
050.059	Llanos de Villamartín
050.060	Sierra de Grazalema
050.061	Olvera – Navarredonda
050.062	Setenil – Montecorto
050.063	Rota – Sanlúcar – Chipiona
050.064	Puerto de Santa María
050.065	Jerez de la Frontera
050.066	Aluvial del Guadalete
050.067	Sierra de la Cabras
050.068	Sierra de Líbar
050.069	Puerto Real – Conil
050.070	Vejer – Barbate
050.071	Zahara de los Atunes
060.047	Guadiaro Genal – Hozgarganta
060.049	Guadarranque - Palmones



Pozo en el extremo meridional del acuífero Aluvial del Barbate (6)



Riego por aspersión. Acuífero de Vejer-Barbate (6)

De las 53.538 ha regadas, el 17%, es decir 9.003 ha, lo hacen exclusivamente con aguas subterráneas. Esto representa un volumen de agua aplicada de 43,6 hm^3/a. A esta cifra habría que añadirle el volumen de agua subterránea aportado en los regadíos mixtos, que utilizan éstas como apoyo al suministro superficial de forma variable según las circunstancias. Se estima que del orden del 16 al 18% del volumen aplicado en estos regadíos procede de aguas subterráneas, de tal forma que el total de aguas subterráneas utilizadas en agricultura en la provincia de Cádiz ascendería a unos 63 o 65 hm^3/año, y que tienen como destino la demanda que plantean los diferentes cultivos, de los que cabe destacar los de carácter semiintensivo: remolacha y el algodón (39 %), los extensivos de verano: girasol y cereales (17 %) y los cultivos de invernadero y fresa que, aunque menos significativos en cuanto a su porcentaje superficial, sí tienen una gran importancia económica y social.

Por último, en los usos del agua, hay que destacar la función medioambiental de las aguas subterráneas vinculadas a ecosistemas naturales como son el sistema de manantiales de la sierra de Grazalema, la sierra de las Cabras o la Laguna de los Tollos, en el término municipal de Jerez de la Frontera, de gran interés para la avifauna acuática.

10.4. Calidad química de las aguas subterráneas

El agua cuando circula a través de las fisuras, poros y huecos del terreno que constituyen los acuíferos, incorpora a su composición los elementos y compuestos que son solubles. El tipo y predominio de las especies iónicas presentes en las aguas subterráneas definen su facies hidroquímica.

La composición química natural de un agua subterránea viene condicionada por la naturaleza de los terrenos con los que se pone en contacto en los procesos de circulación y almacenamiento dentro del acuífero y por el tiempo que dura este contacto. En general las aguas subterráneas procedentes de acuíferos carbonatados, en los que la circulación suele ser rápida y el tiempo de permanencia corto, son de mejor calidad que las aguas que proceden de acuíferos detríticos. El concepto de *calidad* hace aquí referencia a la aptitud de la composición química de un agua para ser utilizada en diferentes usos.

Existen diversos factores naturales que deterioran, en este sentido, la calidad de un agua subterránea. Entre ellos, los más notables que se producen en la provincia de Cádiz, son la influencia del substrato de materiales yesíferos del Trías y la existencia de acuíferos costeros, en los que se produce un estado particular de equilibrio entre las aguas dulces del acuífero y las aguas saladas del mar. Además, esta calidad natural no permanece necesariamente constante, pues puede verse alterada por la actividad humana, bien por prácticas agrícolas inadecuadas, por vertidos urbanos o industriales deficientemente tratados o por procesos de intrusión marina inducida por un bombeo excesivo o mal planificado.

La provincia se caracteriza por poseer una notable riqueza y variedad de aguas subterráneas, acorde con la diversidad de materiales geológicos que forman sus acuíferos. De forma general pueden diferenciarse claramente dos grandes áreas de características y calidad del agua subterránea diferenciadas, al oeste, coincidiendo con los acuíferos costeros de Rota-Sanlúcar-Chipiona, El Puerto de Santa María, Puerto Real-Conil y con el acuífero de Jerez de la Frontera encontramos, por diversas causas, ya sea la intrusión marina ya la influencia de margas triásicas, aguas de elevada salinidad, facies cloruradas, sulfatadas, sódicas y magnésicas, de calidad deficiente para la agricultura e incluso para el abastecimiento a poblaciones. Al este, las facies dominante son bicarbontadas, cálcicas, disminuye notablemente la mineralización del agua, y la calidad, tanto para agricultura como para abastecimiento, mejora notablemente.



“La noria”

La tarde caía
triste y polvorienta.
El agua cantaba
su copla plebeya
en los cangilones
de la noria lenta.
Soñaba la mula
¡pobre mula vieja!
al compás de sombra
que en el agua suena.
La tarde caía
triste y polvorienta.
Yo no sé qué noble,
divino poeta,
unió a la amargura
de la eterna rueda
la dulce armonía
del agua que sueña,
y vendó tus ojos
¡pobre mula vieja!...
Mas sé que fue mi noble,
divino poeta,
corazón maduro
de sombra y de ciencia.

Antonio Machado

11 Composición y calidad de las aguas subterráneas

Composición y calidad de las aguas subterráneas

11

11.1. Introducción

La composición natural del agua subterránea viene condicionada principalmente por cuatro factores de diferente naturaleza:

- a) climáticos: la lluvia, la escorrentía y la evapotranspiración, determinan qué cantidad de agua puede infiltrarse en los acuíferos.
- b) estructurales: el tipo de acuífero (poroso, fisurado, karstificado), la velocidad de infiltración y la profundidad del nivel freático, influyen sobre como se mueve el agua, hacia donde y cual será el tiempo de contacto del agua infiltrada con los materiales del subsuelo.
- c) químicos: composición iónica, contenido en gases disueltos del agua de recarga y la litología de la zona no saturada y de la zona saturada.
- d) biológicos, principalmente el contenido en materia orgánica del suelo y la actividad biológica del mismo y de la zona no saturada.

Por otra parte, la actividad humana (industria, ganadería, agricultura, crecimiento urbano) es responsable de la introducción de numerosos compuestos extraños (nitratos, herbicidas, hidrocarburos o metales pesados entre otros) en las aguas naturales, que en condiciones extremas pueden llegar a comprometer su uso o su función ecológica. Además la inadecuada gestión de los recursos subterráneos puede dar lugar a la intrusión de agua marina en los acuíferos costeros provocando su salinización. Todos estos procesos quedan reflejados en último término en las características hidroquímicas del agua y determinan su calidad para cada uno de los múltiples usos posibles.

En este capítulo se muestran, de forma general, las características hidroquímicas de las aguas subterráneas captadas en los acuíferos de la provincia de Cádiz, su aptitud para el abastecimiento a las poblaciones y la calidad para su uso en regadío, para ello se han procesado aproximadamente 1.900 análisis químicos, tomados en más de 450 puntos acuíferos muestreados entre los años 1966 y 2003.

La provincia de Cádiz se caracteriza por poseer una notable riqueza y variedad de aguas subterráneas, en relación directa con la diversidad de materiales geológicos que forman sus acuíferos. De forma general pueden diferenciarse claramente dos grandes áreas de características y calidad del agua subterránea diferenciadas, al oeste, coincidiendo con los acuíferos costeros de Rota-Sanlúcar-Chipiona, Puerto de Santa María, Puerto Real-Conil y con el acuífero de Jerez de la Frontera encontramos, ya sea por la intrusión marina(acción antrópica), ya por la influencia natural de las margas triásicas, aguas de elevada salinidad, facies cloruradas, sulfatadas, sódicas y magnésicas; en esos casos, la calidad es deficiente para la agricultura e incluso para el abastecimiento a poblaciones. Al este, las facies dominante son bicarbontadas, cálcicas, disminuye notablemente la mineralización del agua, y la calidad, tanto para agricultura como para abastecimiento, mejora notablemente.



Antigua conducción romana de El Tempul donde se observa en su interior incrustaciones de calcita producidas por aguas bicarbonatadas cálcicas de elevada dureza. (3)



Manantial de El Tempul, San José del Valle (2)

11.2. Calidad de las aguas subterráneas de los principales acuíferos

Acuífero del Aluvial del Guadiaro-Hozgarganta

Localizado al NE de la comarca del Campo de Gibraltar, la extensión superficial de materiales permeables de ambos aluviales es de 40 km^2, parcialmente fuera de la provincia de Cádiz en el caso del río Guadiaro. La composición natural de las aguas de este acuífero viene condicionada por su litología, depósitos aluviales recientes y terrazas antiguas de los ríos formadas por arenas, limos, arcillas y niveles de gravas a veces de varios metros de espesor, y porque la mayor parte de sus recursos provienen de la infiltración directa del agua de lluvia y de la escorrentía de los bordes impermeables. Las facies dominantes son bicarbonatadas cálcicas, en algún caso magnésicas o cálcico-magnésicas. La mineralización es notable, con un valor medio de conductividad eléctrica de 716 µS/cm y mínimos y máximos de 554 y 843 µS/cm respectivamente. Son aguas de dureza media o duras con valores que oscilan generalmente entre 239 y 444 mg/L de $CaCO_3$ y valores medios en torno a 322 mg/L. Su calidad química es buena y no presentan en general problemas para ser usadas en abastecimiento urbano. Como aguas de riego se clasifican dentro del grupo C1-C2/S1 considerándose adecuadas para todo tipo de cultivo sin necesidad de medidas especiales de drenaje.

Acuífero del Plioceno de Sotogrande

Se sitúa en la desembocadura del río Guadiaro y cuenta con 33,5 km^2 de superficie permeable. La litología, responsable última de la composición del agua, está formada, en el sector costero, por arenas y areniscas pliocenas procedentes de la desembocadura del Guadiaro y superponiéndose a éstas las arenas litorales; sobre las arenas pliocenas se asienta el aluvial del río Guadiaro. Las aguas captadas son de facies bicarbonatada o bicarbonatada clorurada, cálcicas o cálcico sódicas, baja mineralización y dureza media, entre 221 y 248 mg/L de $CaCO_3$. Adecuadas para riego, clase C1/S1 y buenas según la clasificación de Scott, no presentan problema desde un punto de vista químico como aguas de abastecimiento urbano.

Acuífero del Pliocuaternario de Guadarranque-Palmones

Integrado completamente en la provincia de Cádiz, la superficie permeable, que por tanto contribuye a la recarga, es de 105 km^2. La información hidroquímica que se dispone muestra que se captan aguas con facies dominantes de tipo bicarbonatada cálcica, en ocasiones bicarbonatadas cloruradas, de baja mineralización y dureza. No presentan problemas para su uso en abastecimiento urbano o para el riego (clase C1/S1) pudiendo emplearse en cualquier tipo de cultivo sin necesidad de tomar precauciones especiales de drenaje.

Acuífero del Cuaternario de La Línea

Con una extensión de 10 km^2, el acuífero cuaternario de La Línea es de carácter detrítico, libre y permeable por porosidad intergranular, está constituido por arenas de granulometría media a fina con intercalaciones calcáreas, derrubios de ladera y conos de deyección formados por arcillas, arenas y gravas con cantos, y arcillas, limos y gravas de los depósitos aluviales. Las aguas son predominantemente de facies sulfatadas cálcicas y cloruradas cálcicas con un nivel de mineralización medio, en general de tipo C1-C2/S1 que en muy raras ocasiones puede dar lugar a la aparición de problemas de salinidad cuando son empleadas para el riego de cultivos especialmente sensibles o en suelos de drenaje insuficiente. En frecuente encontrar niveles elevados de nitratos, sobre los 80 mg/L, debido a la existencia de contaminación de origen agrario que hace al agua inadecuada para su uso en el abastecimiento humano.

Acuífero de los Llanos de Villamartín

Se extiende por la comarca gaditana de la Campiña de Jerez en su sector nororiental y una pequeñísima parte en la provincia de Sevilla. Tiene una superficie total de 124 km^2 de materiales permeables. Las aguas dominantes presentas facies sulfatadas o bicarbonatadas, cacicas o cálcico-magnésicas, uno de los puntos muestreados es fuertemente clorurado sódico, con clara influencia de los materiales triásicos, margas yesíferas. Son potables en general, aunque localmente por exceso de salinidad resultan de calidad deficiente, además, el contenido en nitratos se encuentra normalmente bajo el límite de potabilidad. Desde el punto de vista agrícola el problema más frecuente es la elevada salinidad, pudiendo encontrarse aguas con conductividades que oscilan en un amplio margen, desde 739 µS/cm hasta los 1662 µS/cm en el punto controlado de mayor conductividad eléctrica. Como agua de riego, según la norma Scott, oscilan entre buenas y tolerables, la salinidad de agua es muy variable dando lugar a tipos C1 a C3, mientras que en ningún caso se observa riesgo de alcalinización, englobándose todas en la clase S1.

Acuífero de Arcos-Bornos-Espera

Situado en la comarca de La Campiña, su superficie total alcanza los 70 km^2 de superficie permeable aflorante. Como característica litológica importante desde el punto de vista de la composición y calidad de las aguas subterráneas cabe destacar la abundancia de margas y yesos del Triásico, sobre los que se depositaron con carácter para-autóctono y autóctono una serie detrítica desde el Mioceno al Cuaternario. Las aguas subterráneas presentan facies dominante bicarbonatada cálcica, con mineralización entre débil y media, la conductividad eléctrica varía entre 410 y 591 µS/cm en sus valores extremos 435 (µS/cm de promedio), la dureza es en todos los casos media no superando ningún punto los 330 mg/L de $CaCO_3$. Son aptas para abastecimiento urbano, con contenidos iónicos bajos y clasificación, como agua de riego, C1/S1 lo cual permite cualquier tipo de cultivo.

Acuífero del Aluvial del Guadalete

Situado en la Campiña de Jerez, se extiende a lo largo de la cuenca media y baja del río Guadalete, ocupa una extensión de 300,4 km^2, de los que 150 km^2 son de superficie permeable. Pueden diferenciarse dos acuíferos, Llanos del Sotillo y Aluvial. Los datos analíticos de los que se dispone muestran aguas de mineralización muy fuerte, generalmente con conductividades eléctricas por encima de 1.500 µS/cm, no siendo raros los puntos que incluso superan los 5.000 µS/cm; las durezas también son elevadas, moviéndose en general entre muy duras y extremadamente duras (por encima de 350 y 650 mg/L de $CaCO_3$ respectivamente), particularmente en las proximidades de las marismas. La facies dominantes van, de bicarbonatadas cálcicas en el área de Jerez, a cloruradas sódicas y magnésicas en otros sectores. Localmente presentan una deficiente calidad para abastecimiento urbano, siendo igual su calificación para regadío, debido a su elevada salinidad, según la norma Scott, se trata de aguas mediocres, en ocasiones tolerables, para el riego agrícola.



Surgencia en las biocalcarenitas de acuífero de Vejer-Barbate en los Caños de Meca (3)

Acuífero de Jerez de la Frontera

Se extiende al este de Jerez de la Frontera y ocupa una superficie total de afloramientos permeables de unos 95 km^2. Según la analítica disponible, las aguas subterráneas presentan facies variables, que van de clorurada cálcica o magnésica a sulfatada cálcica, en ocasiones cloruradas sódicas. Son aguas bastante mineralizadas, con frecuencia con conductividades superiores a los 4.000 µS/cm y dureza muy elevada, que puede ser consecuencia de la presencia de las margas yesíferas del substrato y la evapotranspiración producida por la proximidad del nivel piezométrico a la superficie. La elevada salinidad, tipo C4, y en ocasiones el peligro de sodificación del suelo, hacen que sea un agua inadecuada para el riego de cultivos, incluso de los más resistentes y en condiciones de drenaje intenso, según la norma de Scott no pasan de mediocres o incluso de malas.

Acuífero de Rota-Sanlúcar-Chipiona

Situado en el triángulo entre Sanlúcar de Barrameda, Chipiona y Rota, se extiende sobre una superficie permeable de 88 km^2. Sus aguas subterráneas presentan generalmente facies clorurada sódica o sódico-cálcica y mineralización fuerte o muy fuerte, con valores de conductividad eléctrica que superan con frecuencia los 4.000 µS/cm. Son aguas muy duras con valores de dureza, expresada como mg/L de $CaCO_3$, con frecuencia superior a 350 mg/L y en ocasiones a 1.000 mg/L. Su clasificación para agricultura es C3-C4/S1-S2, aptas para el cultivo sólo en terrenos con buen drenaje y con peligro de sodificación en casos excepcionales. Para abastecimiento se pueden considerar como de calidad mediocre o mala debido principalmente a su elevada mineralización.

Acuífero de El Puerto de Santa María

Se extiende a lo largo de la costa atlántica en la provincia de Cádiz, entre el arroyo Salado de Rota y la desembocadura del río Guadalete, en el sector costero de la comarca de la Campiña de Jerez, limitando al NO con el arroyo Salado y al sur con las marismas del río Guadalete. Ocupa una superficie de 44 km^2 de afloramientos permeables.

Las facies aniónicas dominantes son cloruradas o cloruradas sulfatas, las catiónicas sódicas, sódico-cálcicas o sódico-magnésicas. La mineralización suele ser fuerte, presentando con frecuencia valores de conductividad eléctrica por encima de los 3.000 µS/cm, y en algún punto aislado por encima de 5.000 µS/cm. Se trata además de aguas muy duras, con valores frecuentemente situados por encima de 500 e incluso 1.000 mg/L de $CaCO_3$ lo que puede ser problemático desde el punto de vista de la formación de concreciones calcáreas en las conducciones. En alguno de los puntos controlados los cloruros alcanzan valores superiores a 1 g/L y 3 g/L dependiendo que el muestreo se haga antes o después del estío. En cuanto a su clasificación para la agricultura están en su mayor parte dentro del grupo C3-C4/S1, lo que significa que existe un elevado riesgo de salinización del suelo si no se emplean técnicas adecuadas de riego y drenaje, y no existe riesgo de sodificación al estar el sodio suficientemente compensado por los cationes divalentes.

Acuífero de Puerto Real-Conil

Situado a lo largo de la costa atlántica, entre las desembocaduras de los ríos Guadalete y Salado de Conil, en el sector costero de la comarca de la Campiña de Jerez y el sector sur de la comarca Costa Noroeste tiene una superficie total permeable de 238 km^2. Los datos analíticos más recientes muestran que la facies predominante es clorurada sulfatada, cálcica magnésica, de mineralización fuerte o muy fuerte y dureza muy variable, que oscila entre 170 mg/L y 3.013 mg/L de $CaCO_3$, con una media de 886 mg/L. En general pueden considerarse aptas para abastecimiento a excepción de algunos puntos cuya mineralización es excesiva, desde el punto de vista de uso agrícola predominan las de clase C2/S1 que pueden ser empleadas sin restricción con cultivos no sensibles y C3/S1 que sólo pueden ser empleadas en cultivos que no sean sensibles y bajo condiciones adecuadas de drenaje. Con cierta frecuencia se detectan elevaciones de la salinidad, que pueden superar los 10.000 µS/cm, indicio de procesos de intrusión marina.

Acuífero de la Sierra de las Cabras

El acuífero de Sierra de las Cabras se extiende al sur del embalse del Guadalcacín, ocupando una superficie total de 34 km^2 de afloramientos permeables. Los análisis disponibles muestran que se captan aguas duras, de facies bicarbonatada-sulfatada cálcica y mineralización débil. Son aguas adecuadas para el abastecimiento humano, y como aguas de riego son de buena calidad, C1/S1, adecuadas para cualquier tipo de cultivo sin necesidad de tomar precauciones especiales en el drenaje.

Acuífero de Vejer-Barbate

Se extiende por el extremo suroccidental de la provincia de Cádiz, en la comarca de La Janda. Ocupa una superficie de 152 km^2 de afloramientos permeables. Sus aguas subterráneas son, en general, de facies bicarbonatadas, en algunos puntos pasa a bicarbonatada-clorurada o clorurada-bicarbonatada cálcica o cálcico-sódica, como ocurre en el sector de Cantarranas, atribuible probablemente a la presencia de lentejones arcillosos dentro del substrato que contiene aguas marinas congénitas, así como en los sectores costeros aunque de momento no se detectan problemas de intrusión marina. De mineralización notable, su conductividad eléctrica media es de 870 µS/cm variando entre un mínimo de 125 y un máximo de 1.708 µS/cm, presenta en general dureza media salvo algún punto, donde se llegan a sobrepasar los 650 mg/L de $CaCO_3$. Son aguas en general potables y para riego se presentan como C1/S1, C2/S1 e incluso C3/S1 de forma puntual.



Fuente del Matadero en Benahocaz, de mineralización muy débil (conductividad eléctrica de 322 µS/cm en diciembre de 2002), utilizada para abastecimiento urbano de la localidad (1)

Acuífero Aluvial del Barbate

Se extiende por parte de la comarca de La Janda, ocupando una superficie aproximada de 111 km^2 de superficie permeable aflorante. Las aguas subterráneas asociadas a los materiales acuíferos (Mio-Plioceno) son duras, en su mayoría entre 200 y 300 mg/L de $CaCO_3$, presentan facies bicarbonatadas cálcicas y mineralización media. Son perfectamente potables en cuanto al contenido de iones, excepto algún caso aislado en el que el contenido en nitrato está ligeramente por encima de los 50 mg/L, y su clasificación C1/S1 para uso en agricultura, la hacen apta para cualquier tipo de cultivo.

Acuífero de Setenil-Ronda

Está situado en el extremo nororiental de la provincia de Cádiz y al borde occidental de la de Málaga, ocupa una superficie total de materiales permeables de 211 km^2. Sus aguas son duras, en general entre 150 y 400 mg/L de $CaCO_3$ que muestran una facies predominantemente sulfatada-bicarbonatada cálcico-magnésica. De mineralización media, las conductividades típicas se encuentran entre los 400 y 800 µS/cm en general son adecuadas para el riego clasificándose en el grupo C1/S1 y C2/S1. Los análisis de que se dispone las muestra como adecuadas para el consumo humano, aunque en ocasiones el contenido en sulfatos sea excesivo.

Acuíferos de la Sierra de Grazalema

Ocupan una parte del borde nororiental de la provincia, se incluyen dentro del Parque Natural de Grazalema en su totalidad, con una superficie de afloramientos permeables de 178 km^2 (incluida la sierra de Líjar). Las aguas subterráneas muestran facies bicarbonatadas cálcicas en el sector meridional y bicarbonatadas cálcico-magnésicas en el septentrional, con mineralización ligera, salvo algún punto que toma valores por encima de los 500 µS/cm de conductividad eléctrica, y dureza en general media. El contenido ionico está por debajo del límite de potabilidad establecido por la legislación, con un valor medio de 23 mg/L en ion cloruro, 75 mg/L en ion sulfato y 3,6 mg/L en nitratos. Los sulfatos tienen en varios puntos valores muy bajos alrededor de 1 mg/L. Su clasificación para agricultura es C1/S1 apta para el regadío de cualquier tipo de cultivo sin peligro de salinización ni de alcalinización del suelo.

11.3. Composición natural de las aguas subterráneas

La composición natural del agua de los acuíferos está condicionada por la interacción del agua de recarga, generalmente la lluvia, con la atmósfera, los materiales del suelo, la zona no saturada y el acuífero; además, la actividad biológica del suelo, determina en gran medida las características del equilibrio carbonatado y la degradación de las sustancias orgánicas. En los mapas de facies hidroquímicas, mineralización y dureza se representan, mediante éstos tres parámetros, el resultado final de todos estos factores que dan lugar a un agua de una composición y calidad determinadas.

La mineralización, se estudia a través de la conductividad eléctrica, con la que está relacionada directamente, pues se trata de una variable mucho más fácil de medir que por ejemplo el residuo seco, y por ello se dispone de abundante información. Las aguas más conductivas lo son porque han tenido contacto con sales fácilmente solubles (yeso, halita). Otro factor importante es la longitud del trayecto recorrido a través del acuífero y el tiempo de residencia; así las aguas de más largo recorrido suelen estar más mineralizadas. Otra causa frecuente de elevada mineralización es cuando, en acuíferos costeros el bombeo excesivo produce la intrusión de agua marina o en acuíferos de interior se arrastran aguas fósiles de elevada mineralización.

La dureza, expresada como mg/L de $CaCO_3$, representa el contenido en ciertos cationes, principalmente calcio y magnesio. La mayoría de la dureza del agua proviene de la disolución de rocas carbonáticas, calizas, dolomías, abundantes en muchas de las formaciones acuíferas presentes en la provincia.

La facies de un agua da idea de la proporción en la que se distribuyen los cationes (calcio, magnesio, sodio y potasio) y aniones (bicarbonatos, sulfatos, cloruros) mayoritarios. Esta proporción depende de un complejo proceso de interacción entre el material que forma la zona no saturada, la zona saturada, y el agua que las atraviesa. Cuando las aguas sólo han tenido contacto con un único material suelen presentar facies claramente definidas (bicarbonatadas cálcicas o cloruradas sódicas por ejemplo), aguas de largo tiempo de residencia que han tenido oportunidad de ponerse en contacto con materiales de muy diversa naturaleza o las resultantes de procesos de mezcla suelen presentar facies mixtas en las que se observa la huella de los diferentes materiales con los que ha tenido contacto.

Como se puede observar en el mapa de facies, mineralización y dureza, la abundancia de materiales margo yesíferos, principalmente en el oeste y noroeste de la provincia (Llanos de Villamartín, Arcos-Bornos-Espera, etc), y de algunos fenómenos de intrusión marina (Puerto Real-Conil) o de lavado de aguas marinas congénitas (Vejer-Barbaje) hace que predominen las aguas con facies cálcicas (29,1%), sódico-cálcicas (26,6%) o cálcico-sódicas (13,7%) entre la catiónicas y las bicarbonatadas (30,4%) o cloruradas (29,4%) entre las aniónicas, las durezas son en la mayoría de las ocasiones elevadas pues el 92,2% de las aguas estudiadas son duras o muy duras. Además, la notable influencia de materiales terciarios o la presencia de salinización por efecto de la intrusión marina en los acuíferos costeros trae consigo que se observe, sobre todo al oeste de la provincia, un claro predominio de aguas de mineralización fuerte o notable en ocasiones. Es en los acuíferos de Arcos-Bornos-Espera, Setenil-Ronda y sobre todo en la Sierra de Grazalema donde se encuentran las aguas con menos mineralización.



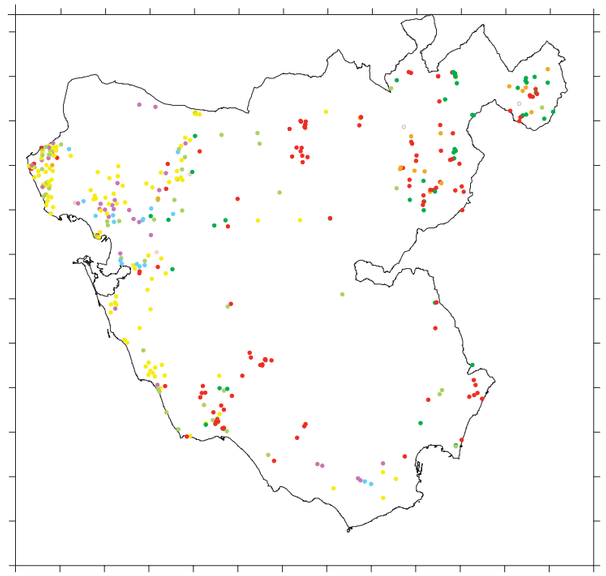
Fuente en al área del manantial de El Nacimiento (Benamahoma), de facies bicarbonata cálcica, mineralización muy débil y moderada dureza (3)

MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

Composición natural de las aguas subterráneas de la provincia de Cádiz

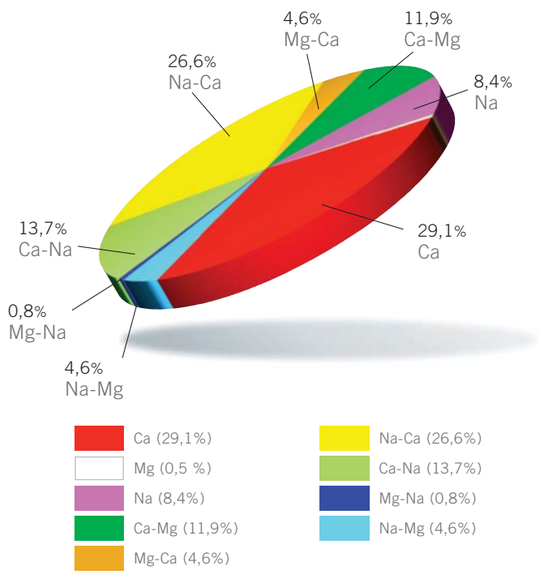
(Facies, mineralización y dureza)

Facies catiónica

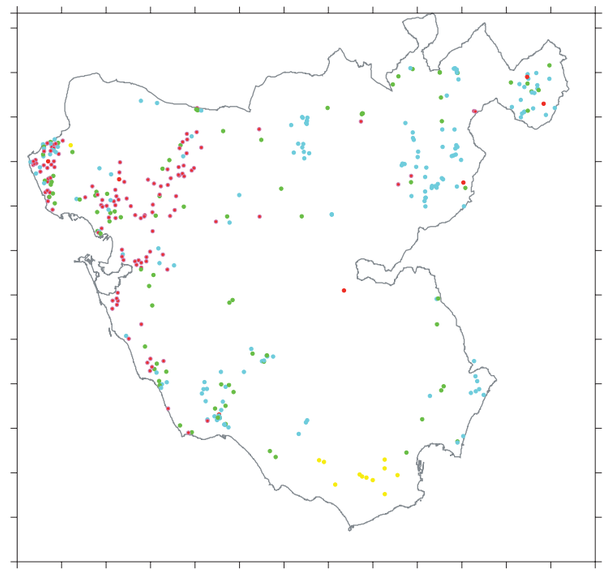


Facies catiónica

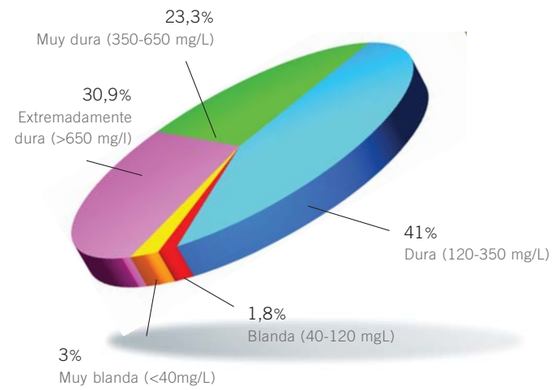
Porcentaje de puntos de cada clase



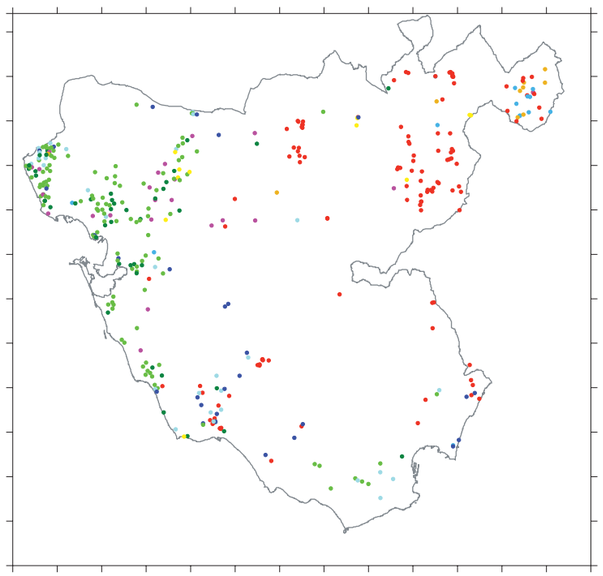
Dureza



Porcentaje de puntos clasificados según su dureza (mg/L de $CaCO_3$)

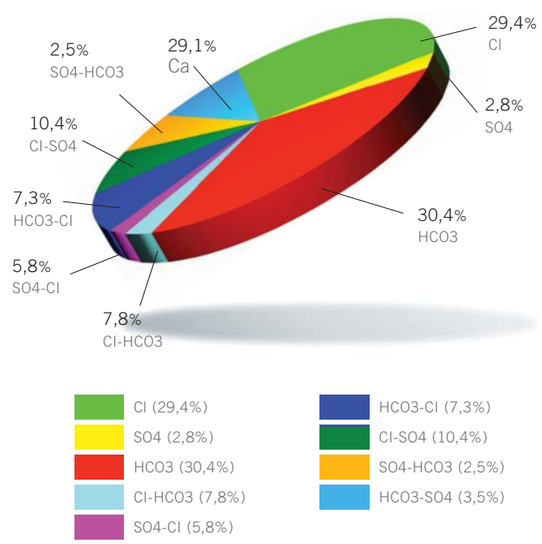


Facies aniónica

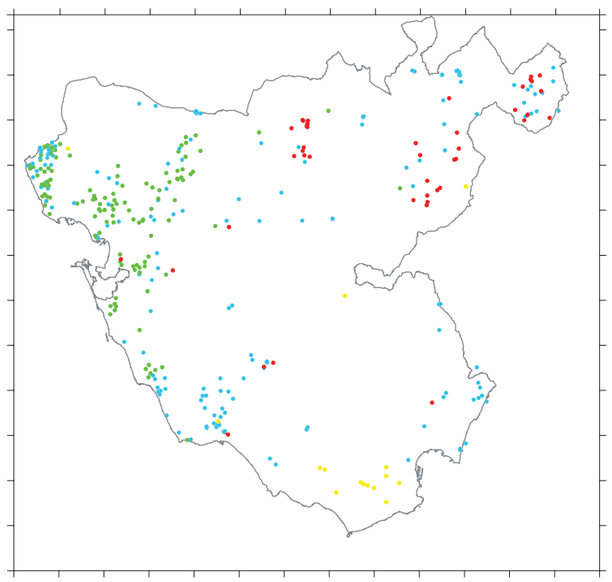


Facies aniónica

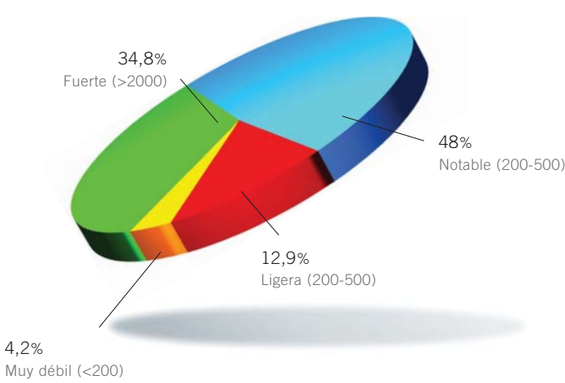
Porcentaje de puntos de cada clase



Mineralización



Porcentaje de puntos clasificados según su mineralización (µS/cm)

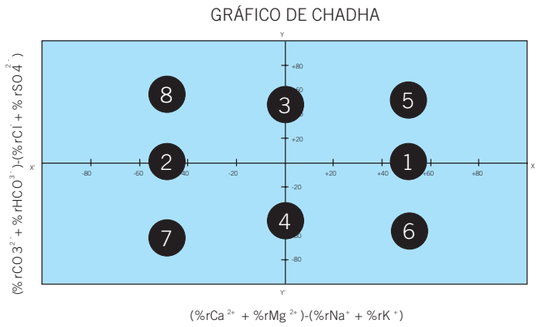


11.4. Características hidroquímicas. Gráficos de Chadha

Para la caraterización hidroquímica de las aguas subterráneas de los diferentes acuíferos, se ha utilizado los diagramas de Chadha. Éstos permiten comparar de forma sencilla las características generales de las aguas de las distintas formaciones, clasificarlas e identificar los diversos procesos hidroquímicos. El gráfico representa, en el eje X la diferencia (expresada como porcentaje de miliequivalentes) entre los metales alcalino-terreos (Ca^{2+}, Mg^{2+}) y los alcalinos (Na^{+}, K^{+}); y en el eje Y, en porcentaje de miliequivalentes, la diferencia entre los aniones procedentes de ácidos débiles (CO_3^{2-}) y los aniones procedentes de ácidos fuertes (Cl^{-} y SO_4^{2-}). En este diagrama pueden diferenciarse ocho grupos de aguas, señaladas del 1 al 8, según la relación entre los cationes y aniones dominantes:

1. La suma de calcio y magnesio excede a la de sodio y potasio.
2. La suma de sodio y potasio excede a la de calcio y magnesio.
3. El bicarbonato excede a los cloruros y sulfatos.
4. La suma de cloruros y sulfatos excede a los bicarbonatos.
5. Calcio, magnesio y bicarbonatos, exceden, respectivamente a sodio y potasio y cloruros y sulfatos. Se trata de aguas que presentan cierta dureza temporal. La posición de los puntos en el diagrama representan aguas de facies bicarbonatada cálcico-magnésica.
6. Calcio y magnesio exceden a sodio y potasio y cloruros y sulfatos exceden a bicarbonatos. Este tipo de aguas presentan dureza permanente y no presentan riesgo de producir depósitos de carbonato sódico residual en aguas de irrigación. La posición de los puntos en el diagrama corresponden a aguas de facies clorurada cálcico-magnésica.
7. Sodio y potasio excede a calcio y magnesio y cloruros y sulfatos a bicarbonatos. Este tipo de aguas generalmente crean problemas de salinidad tanto en aguas de irrigación como en aguas de abastecimiento. Se tratas de aguas de facies clorurada sódica o sulfatada sódica.
8. Sodio y potasio excede a calcio y magnesio y bicarbonatos a cloruros y sulfatos. Se trata de aguas que pueden producir depósitos de carbonatos cuando son empleadas en sistemas de irrigación causando problemas de incrustación. Se trata de aguas de facies bicarbonatadas sódicas.

GRÁFICO DE CHADHA





El sondeo Los Charcones (punto IGME 1444-2-0018) de abastecimiento a Grazalema presenta aguas típicamente bicarbonatadas cálcicas de mineralización débil (conductividad eléctrica de 474 µS/cm en diciembre de 2002) (1)

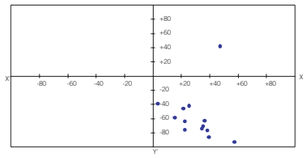
Aplicando los gráficos de Chadha al conjunto de acuíferos de la provincia, como puede observarse en los gráficos adjuntos, se pueden diferenciar dos grandes sectores, al oeste, los acuíferos de Jerez de la Frontera, Rota-Sanlúcar-Chipiona, Aluvial del Guadalete, Puerto de Santa María y Puerto Real Conil, en los que se observa un claro predominio de cloruros y sulfatos como consecuencia de la presencia de materiales evaporíticos o en ocasiones de la intrusión de aguas marinas, y el resto, con algunas excepciones como pueden ser las zonas de Vejer Barbate, o Guadarranque-Palmones, en los que predominan los carbonatos, como consecuencia de la influencia de los materiales carbonáticos que dan al agua su impronta característica. Las aguas del primer sector no muestran además un predominio claro de la facies catiónica, encontrándose principalmente facies mixtas, mientras que en el otro sector predominan claramente las facies cálcicas o cálcico-magnésicas.

El sondeo Los Charcones (punto IGME 1444-2-0018) de abastecimiento a Grazalema presenta aguas típicamente bicarbonatadas cálcicas de mineralización débil (conductividad eléctrica de 474 µS/cm en diciembre de 2002)

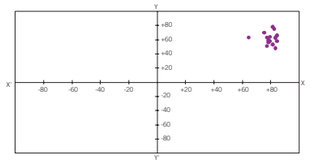
MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

Características hidroquímicas de las aguas subterráneas de la provincia de Cádiz

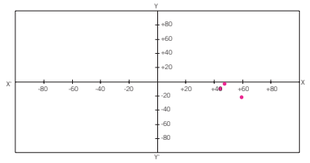
Aluvial del Guadalete



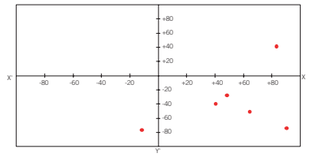
Arcos Bornos-Espera



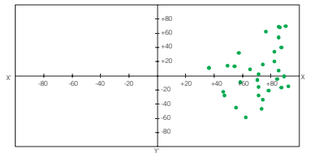
La Línea



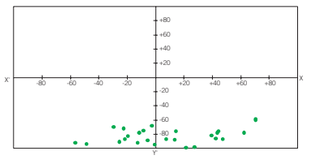
Llanos de Villamartín



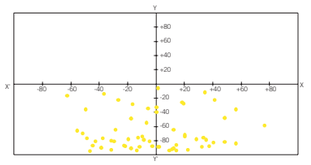
Depresión de Setenil Ronda



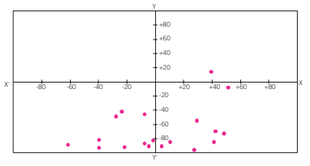
Jerez de la Frontera



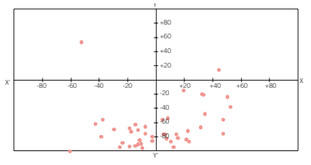
Rota-Sanlúcar-Chipiona



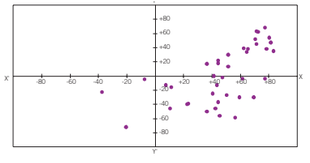
Puerto de Santa María



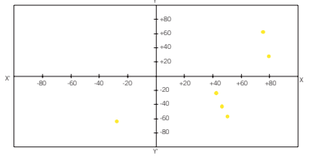
Puerto Real-Conil

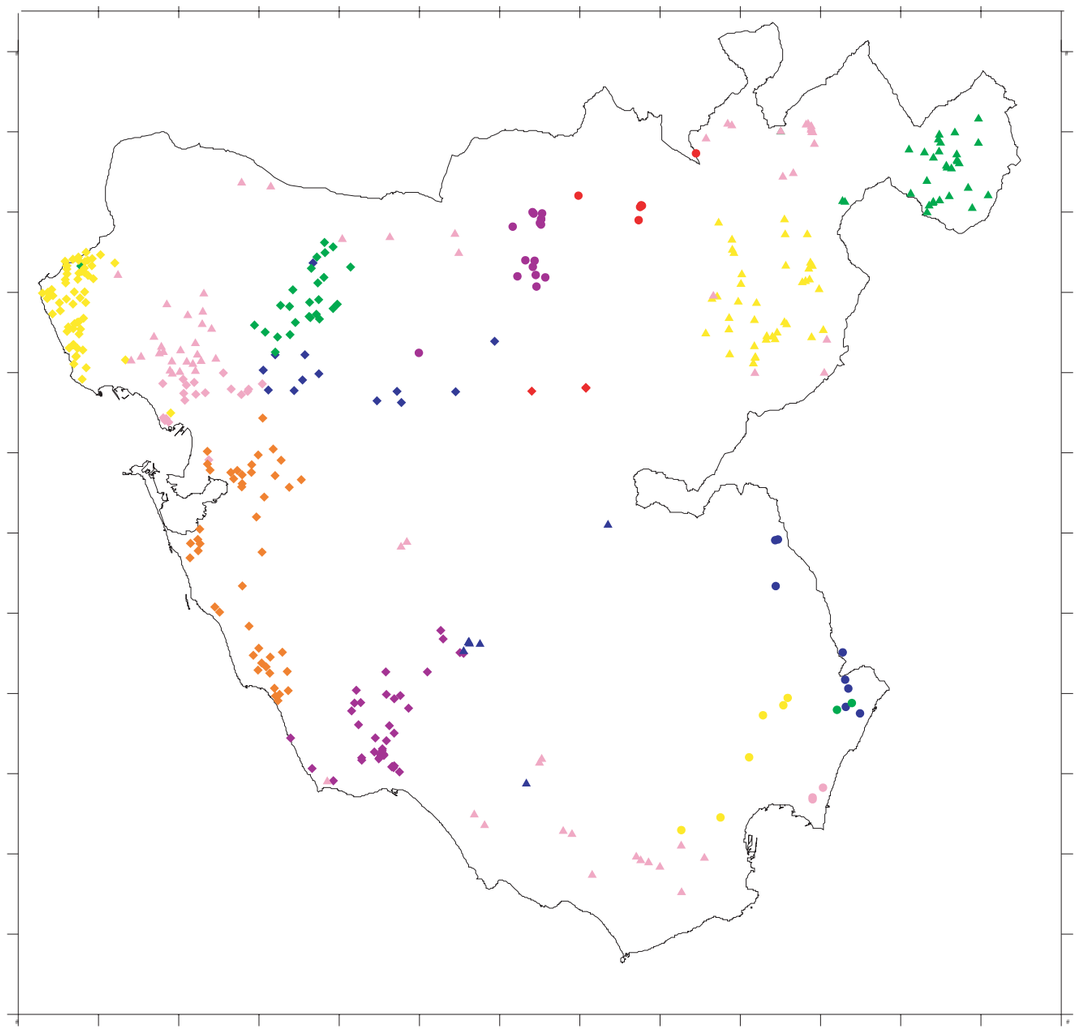


Vejer-Barbate

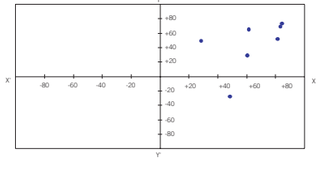


Guadarranque-Palmones

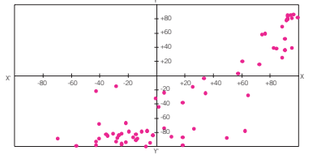




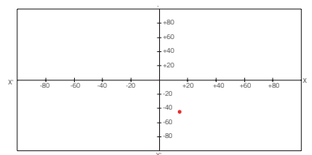
Aluvial del Barbate



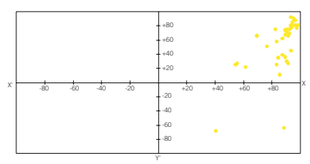
Puntos fuera de unidad



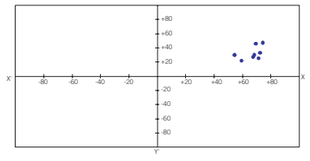
Sierra de las Cabras



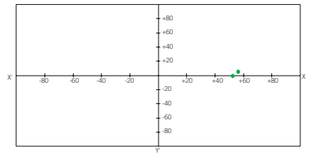
Sierra de Grazalema



Guadiaro-Hozgarganta



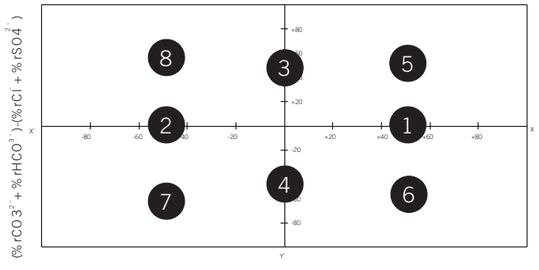
Sotogrande



Acuíferos:

- Guadiaro - Hozgarganta
- Sotogrande
- Guadarranque - Palmones
- La Linea
- Llanos de Villamartin
- Arcos - Bornos - Espera
- Aluvial del Guadalete
- Jerez de la Frontera
- Rota - Sanlúcar - Chipiona
- Puerto de Santa Maria
- Puerto Real - Conil
- Sierra de las Cabras
- Vejer - Barbate
- Aluvial del Barbate
- Depresion de Setenil - Ronda
- Sierra de Grazalema
- Fuera

GRÁFICO DE CHADHA



11.5. Calidad para uso agrícola

El correcto desarrollo vegetal, y por tanto la producción agrícola, depende tanto de la calidad del suelo como de la bonanza del clima y de la composición del agua de riego. Esta debe aportar al cultivo, de forma equilibrada, los nutrientes necesarios para su desarrollo, de forma que un agua con una concentración de sales inadecuada puede llegar a resultar tóxica para el cultivo e impedir su correcto desarrollo. La evaluación de la calidad del agua de riego se hace mediante la interpretación de índices que muestran el contenido total en sales y la proporción entre ellas, también, cuando se dispone de datos suficientes, evaluando el contenido en algunos elementos tóxicos como el cloruro o el boro.

En base a estas consideraciones, se presentan tres mapas en los cuales se muestra la calidad, para uso agrícola, de las aguas subterráneas de la provincia de Cádiz mediante tres índices: riesgo de salinización, que se fundamenta en la medida de la conductividad eléctrica del agua de riego, se han diferenciado cuatro clases, desde la C1 (conductividad eléctrica menor de 750 µS/cm), aguas de baja salinidad que pueden ser empleadas con cualquier tipo de cultivo sin restricciones, hasta la C4 (conductividad eléctrica mayor de 3.000 µS/cm), aguas fuertemente salinas no apropiadas para el riego salvo en condiciones excepcionales de cultivos muy resistentes y suelos con gran drenaje; en el segundo mapa, se muestra el riesgo de alcalinización del suelo a través del índice RAS (riesgo de adsorción de sodio), este índice representa la proporción existente entre el contenido en sodio y la suma de calcio y magnesio, valores elevados, mayores de 18 unidades, corresponden a aguas con gran poder alcalinizante y por ello inadecuadas para el riego, sobre todo en suelos con bajo contenido en cationes alcalinoterreos; el último de los índices calculados ha sido la norma de Scott, da una idea de la cantidad de álcali que deja el agua que se evapora del suelo y que puede impedir el normal desarrollo vegetal.

No hay que olvidar que los índices de calidad del agua de riego no pueden ser entendidos sin considerar de forma simultanea el suelo sobre el que se van a aplicar, el método de riego y el tipo de cultivo. Los suelos menos permeables, más arcillosos, precisan un agua de mucha mejor calidad que los suelos arenosos, los sistemas de riego ahorradores de agua, por ejemplo el goteo, precisan agua de mejor calidad que otros como el riego a manta que permite un drenaje más eficaz del suelo.

Desde el punto de vista del uso agrícola, al igual que sucede con la calidad para abastecimiento urbano, los problemas se concentran en los acuíferos cuyas aguas tienen relación con materiales más solubles que el carbonato, principalmente yeso y halita, en los cuales se pueden producir problemas de salinización, y muy especialmente de sodificación del suelo. Esto sucede en el extremo occidental de la provincia, principalmente en los acuíferos de Rota-Sanlúcar-Chipiona, Puerto de Santa María y Puerto Real-Conil. En el resto de los acuíferos, salvo casos puntuales, la calidad es buena o muy buena.



Cultivo de coles en La Algaida (6)

Interpretación del mapa de aptitud agrícola

Calidad para uso agrícola. Riesgo de salinización	
C1 < 750 µS/cm	Baja salinidad. Pueden usarse en todo tipo de suelos bajo cualquier cultivo.
C2 750 -1.500 µS/cm	Salinidad media. No deben emplearse en suelos de escasa permeabilidad. Con cultivos de tolerancia moderada no es necesario tomar precauciones especiales.
C3 1.500 - 3.000 µS/cm	Salinidad alta. No pueden emplearse en suelos con drenaje restringido. Solo deben emplearse en cultivos con buena tolerancia.
C4 > 3.000 -1500 µS/cm	Muy elevada salinidad. Solo pueden emplearse en suelos muy bien drenados con cultivos muy tolerantes.

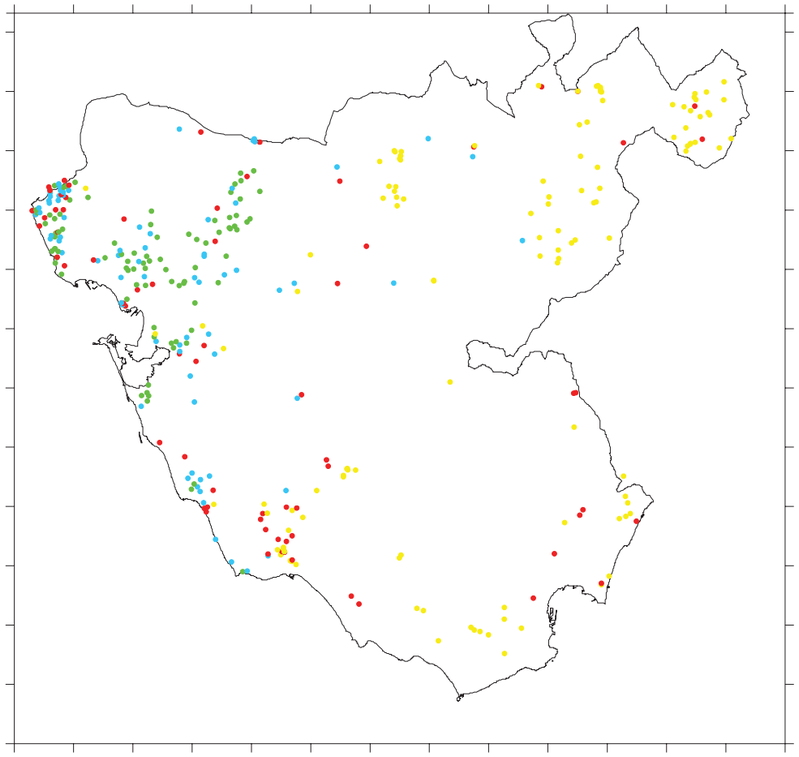
Calidad para uso agrícola. Riesgo de Alcalinización. (SAR)	
S1 < 10 µS/cm	Baja relación de adsorción de sodio. Pueden emplearse en cualquier tipo de suelo.
S2 10 - 18 µS/cm	Valor medio. Pueden provocar exceso de sodio en suelos de textura fina, sobre todo si el lavado es insuficiente.
S3 18 - 26 µS/cm	Valor elevado. Peligro de alcalinización. Es necesario un buen drenaje, abundante lavado y adición de materia orgánica.
S4 > 29 µS/cm	Muy elevada relación de adsorción de sodio. Generalmente son agua inadecuadas para riego salvo si son de baja salinidad y el suelo es rico en carbonatos o yeso.

Calidad para uso agrícola. Índice de Scott.	
< 1,2	Mala. Prácticamente no utilizable para riego.
1,2 - 6	Mediocre. Se puede emplear sobre suelos seleccionados. A veces es preciso un drenaje artificial.
6 - 18	Tolerable. En ocasiones es necesario tomar precauciones para impedir la acumulación de sales.
> 18	Buena. Sin problemas

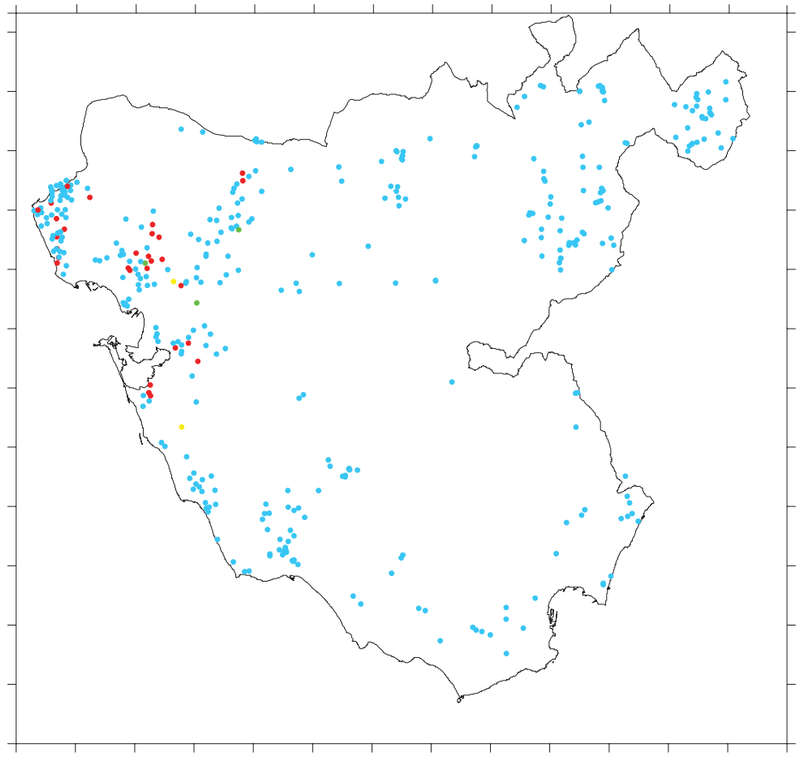
MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

Clasificación de las aguas subterráneas de la provincia de Cádiz por aptitud agrícola

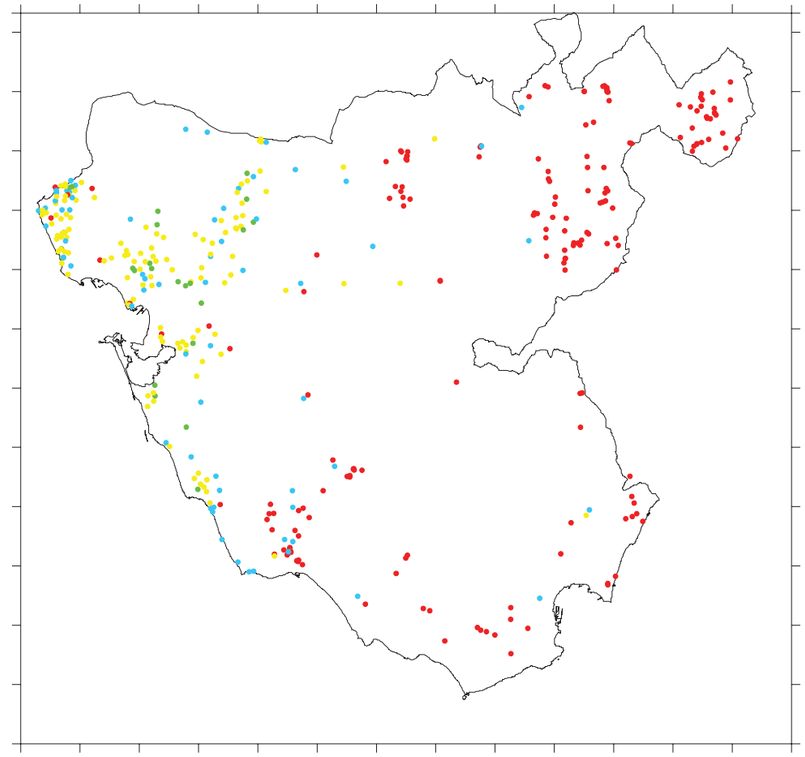
Riesgo de salinización



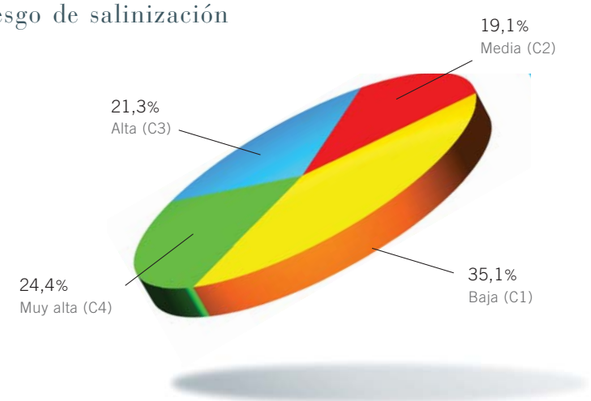
Riesgo de alcalinización



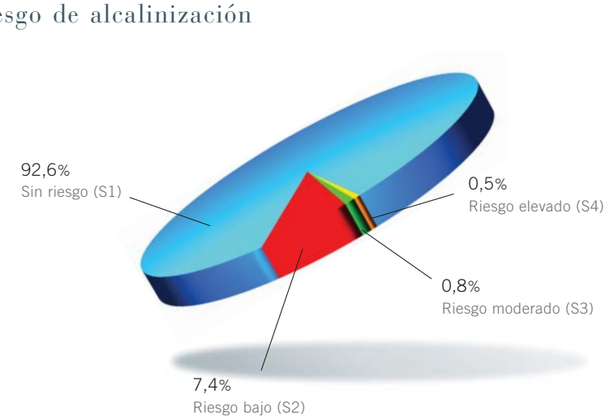
Indice de Scott



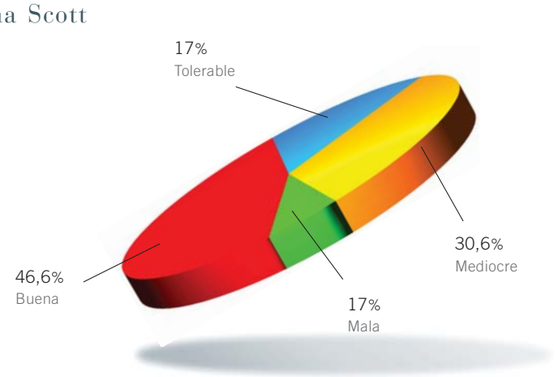
Porcentaje de puntos clasificados según el riesgo de salinización



Porcentaje de puntos clasificados según el riesgo de alcalinización



Porcentaje de puntos clasificados según la Norma Scott



11.6. Calidad para abastecimiento urbano

El mapa de calidad para abastecimiento se ha realizado en base a las normas recogidas en el Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Se han tenido en cuenta únicamente los parámetros inorgánicos disponibles en las redes de control analítico del IGME, no incluyéndose por tanto ni consideraciones acerca de sustancias tóxicas, microcontaminantes orgánicos ni microbiológicos. El nitrato es la única especie química de las representadas que se incluye en el apartado B del anexo I de la citada legislación "Parámetros y valores paramétricos", perteneciendo las demás especies al apartado C, "Parámetros indicadores".

En el mapa, se han representado los puntos en los que se sobrepasan los valores paramétricos recogidos en la legislación para algunos iones mayoritarios (nitratos, sodio, cloruros, sulfatos) o para la conductividad eléctrica y el pH, y cuya idoneidad para el consumo, debe ser evaluada con especial cuidado. Los principales problemas de potabilidad se deben a la presencia de compuestos de nitrógeno (generalmente de origen agrícola), o a la elevada salinidad (en la mayoría de las ocasiones correspondientes a la composición natural de las aguas o a la intrusión de agua de mar en acuíferos con intrusión).

Los principales problemas para el uso del agua subterránea en la provincia de Cádiz para el abastecimiento a las poblaciones, desde el punto de vista de su composición mineral, son el exceso de nitratos debido a la actividad agrícola, y el exceso de sodio, cloruros o sulfatos, debido principalmente a la influencia de materiales evaporíticos o procesos de intrusión marina. Como se puede observar, salvo excepciones puntuales, los problemas se concentran en los acuíferos situados al oeste y noroeste de la provincia por las razones ya expuestas en apartados anteriores.

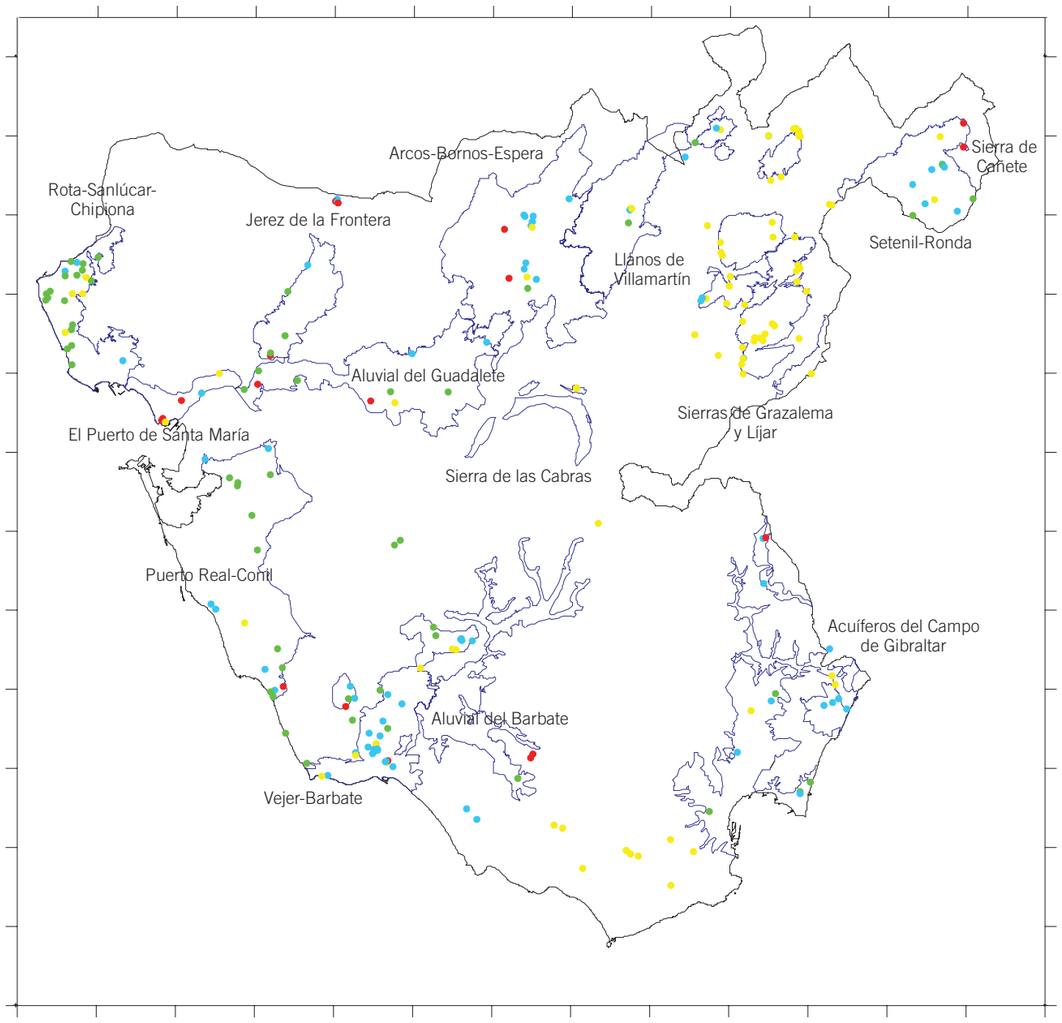


Sondeo de abastecimiento urbano a Cantarranas (Vejer de la Frontera) situado en la finca Las Lomas (1)

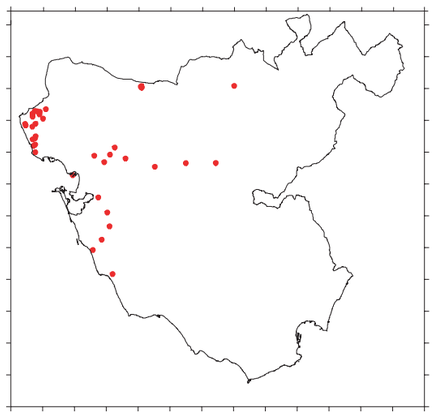


Aforo en el acuífero de Arcos-Bornos-Espera. Sondeo de explotación Arcos III realizado en 1995 para el abastecimiento de emergencia de la Bahía de Cádiz (4)

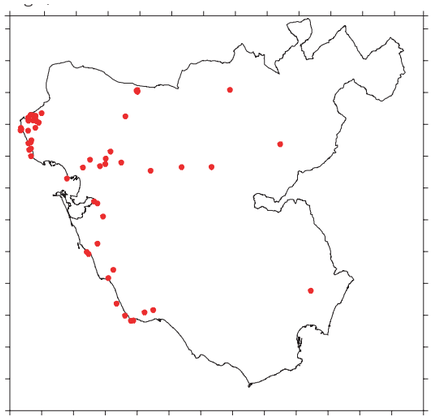
Calidad de las aguas subterráneas para abastecimiento de la provincia de Cádiz



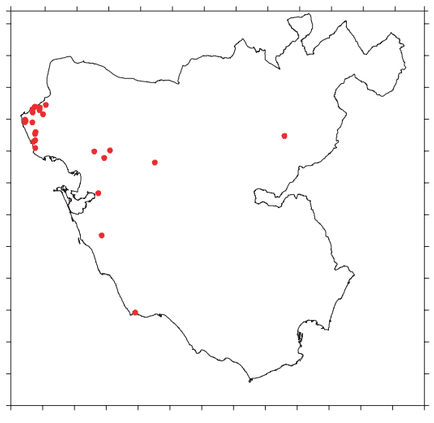
Puntos con problemas por exceso de sodio (<200mg/L)



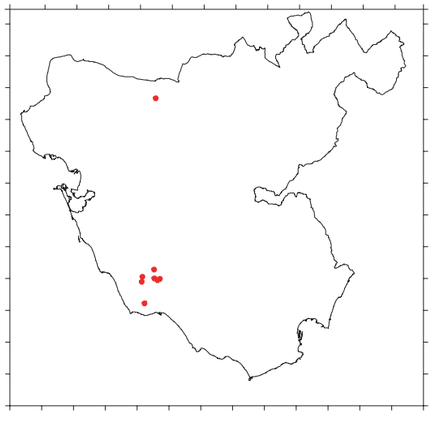
Puntos con problemas por exceso de cloruros (<250mg/L)



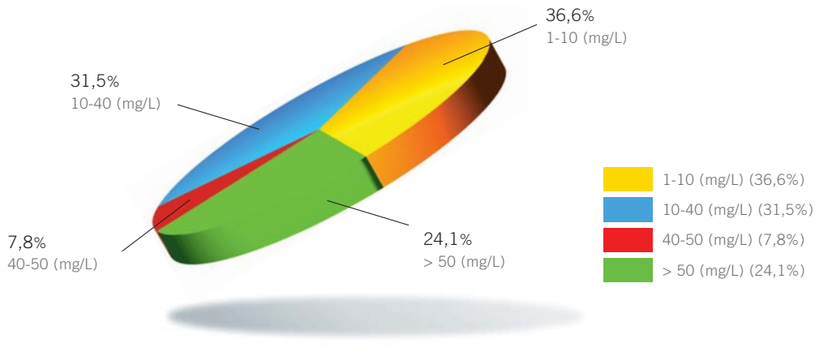
Puntos con problemas por exceso de salinidad (<2.500 µS/cm)



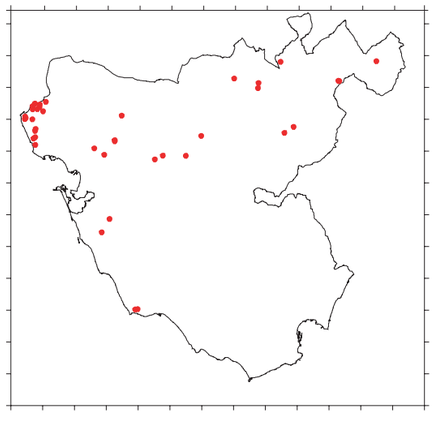
Puntos con problemas por pH fuera de rango (<6,5 y >9,5)

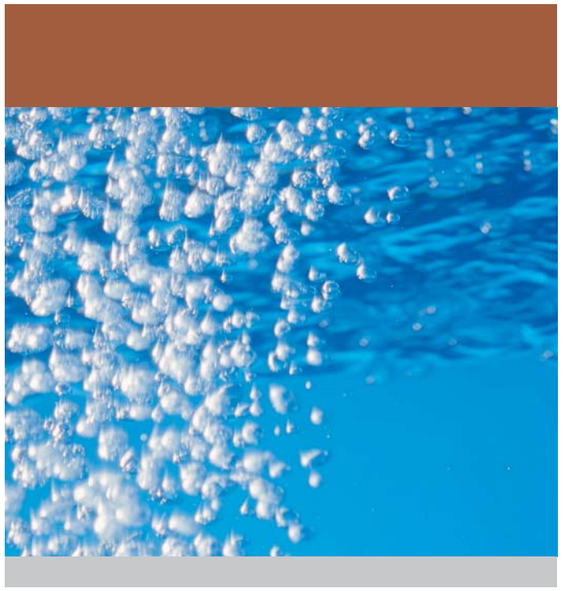


Porcentaje de puntos controlados con contenidos de nitratos (mg/L de NO_3)



Puntos con problemas por exceso de sulfatos (<250mg/L)





De “Cancionero y romancero de ausencias”

En este campo
estuvo el mar.
Alguna vez volverá.
Si alguna vez una gota
roza este campo, este campo
siente el recuerdo del mar.
Alguna vez volverá.

Miguel Hernández

12 Usos actuales de las aguas subterráneas

Usos actuales de las aguas subterráneas

12

Raquel Morales García - Rafael Anglada Gómez
Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz

12.1. Introducción

El concepto de usos del agua se encuentra definido en el artículo 74 del Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica (R.D. 927/1988) y hace referencia a las distintas clases de utilización del agua según su destino.

Es habitual que se haga una identificación del término uso con la expresión de la cantidad de agua que es utilizada para cada uso. Así, al hacer referencia a esas cantidades de agua, se hablará de utilización o agua utilizada en los diferentes usos. En lo que se refiere a las aguas subterráneas, esa cantidad es equivalente a la extracción o bombeo que se realiza en los acuíferos, incluyendo el agua captada directamente de los manantiales.

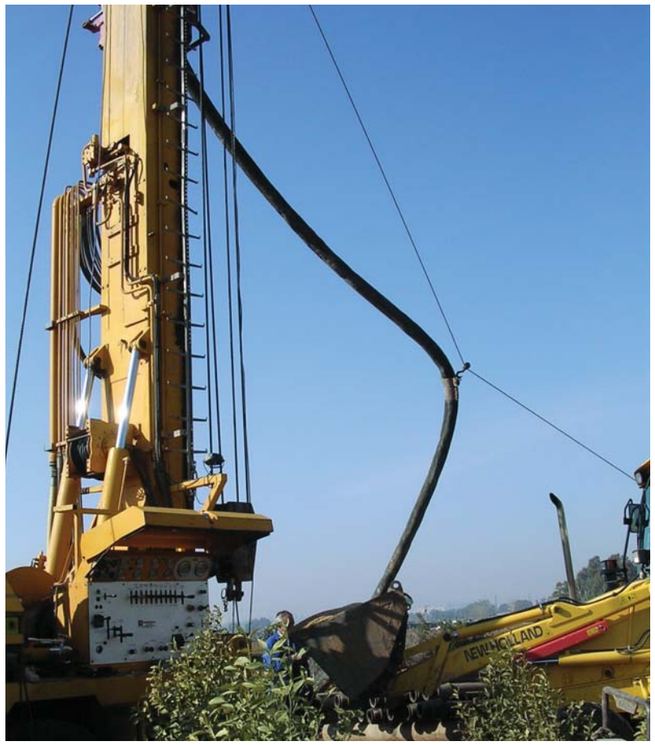
Por último, puede que parte de esa agua utilizada retorne al sistema hidrológico, mientras que otra parte se consume en ese uso, entendiéndose entonces como consumo aquella parte del agua utilizada que no retorna al sistema. En función de éste concepto se distinguen los usos consuntivos de los usos no consuntivos. Los primeros son aquellos que su utilización implica la pérdida de una parte del agua empleada y entre ellos se encuentran los abastecimientos urbanos, que devuelven al ciclo hidrológico del orden del 80% del agua (consumo del 20%), y los regadíos cuyo retorno de riego se estima en un 20% (consumo del 80%) (MIMAM, 2000).

Por el contrario, los usos no consuntivos devuelven casi todo el volumen empleado, aunque la calidad puede verse alterada. Como ejemplo de éstos se pueden resaltar la producción de energía hidroeléctrica, la acuicultura, la navegación, los caudales con fines ambientales o paisajísticos, etc., y en cierta medida, la refrigeración de plantas industriales y centrales energéticas.

Se van a analizar por separado los distintos usos del agua en la provincia, en concreto el agrícola dada su relevancia y el urbano debido a su importancia social.

Terminología relacionada con los usos del agua

Término	Definición	Ejemplo de empleo
Uso	Cada una de las distintas clases de utilización del agua según su destino	El uso urbano tiene prioridad sobre cualquier otro uso
Utilización	Parte del agua extraída del sistema hidrológico para los diferentes usos	En España se utilizan anualmente unos 25.000 hm^3 de agua en usos agrarios
Consumo	Parte del agua utilizada que no retorna al sistema hidrológico	El uso urbano consume alrededor del 20% del agua que utiliza



Máquina de perforación a rotación con circulación inversa, uno de los métodos más utilizados en la construcción de sondeos de abastecimiento en acuíferos detríticos (Jerez de la Frontera). (4)

12.2. Abastecimiento público con aguas subterráneas

El uso de las aguas subterráneas como fuente de abastecimiento urbano se ha mostrado siempre eficaz. La gran capacidad de almacenamiento de los acuíferos y su distribución espacial, junto con sus otras características, les confiere un alto valor estratégico en abastecimiento. En ocasiones resultan ser la única fuente de agua disponible y, en cualquier caso, su menor sensibilidad ante situaciones de sequía en relación con las aguas superficiales proporciona una mayor garantía de suministro. Por otro lado, desde el punto de vista de su calidad, su vulnerabilidad a la contaminación es mucho menor que en las aguas superficiales, siempre y cuando se realice una adecuada protección de los acuíferos y de las obras de captación.

En Andalucía, el impulso para el desarrollo del conocimiento de las aguas subterráneas, de forma planificada y sistemática, se inicia en el año 1966 con el Proyecto de Investigación Hidrogeológica de la Cuenca del Guadalquivir, que fue financiado conjuntamente por el Gobierno Español y las Naciones Unidas a través de la FAO. Posteriormente, la investigación hidrogeológica se realiza con la puesta en marcha del Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS) y el Plan de Abastecimiento a Núcleos Urbanos (PANU) desarrollados ambos por el IGME.

Así, las primeras encuestas de abastecimiento urbano realizadas por el IGME con carácter general en la provincia de Cádiz datan del año 1984, realizándose sucesivas actualizaciones en los años 1990 y 2002.

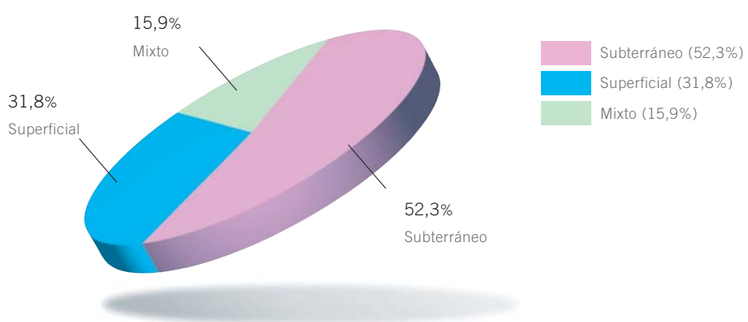
Origen del agua de abastecimiento urbano de la provincia de Cádiz.
(Año 2002)

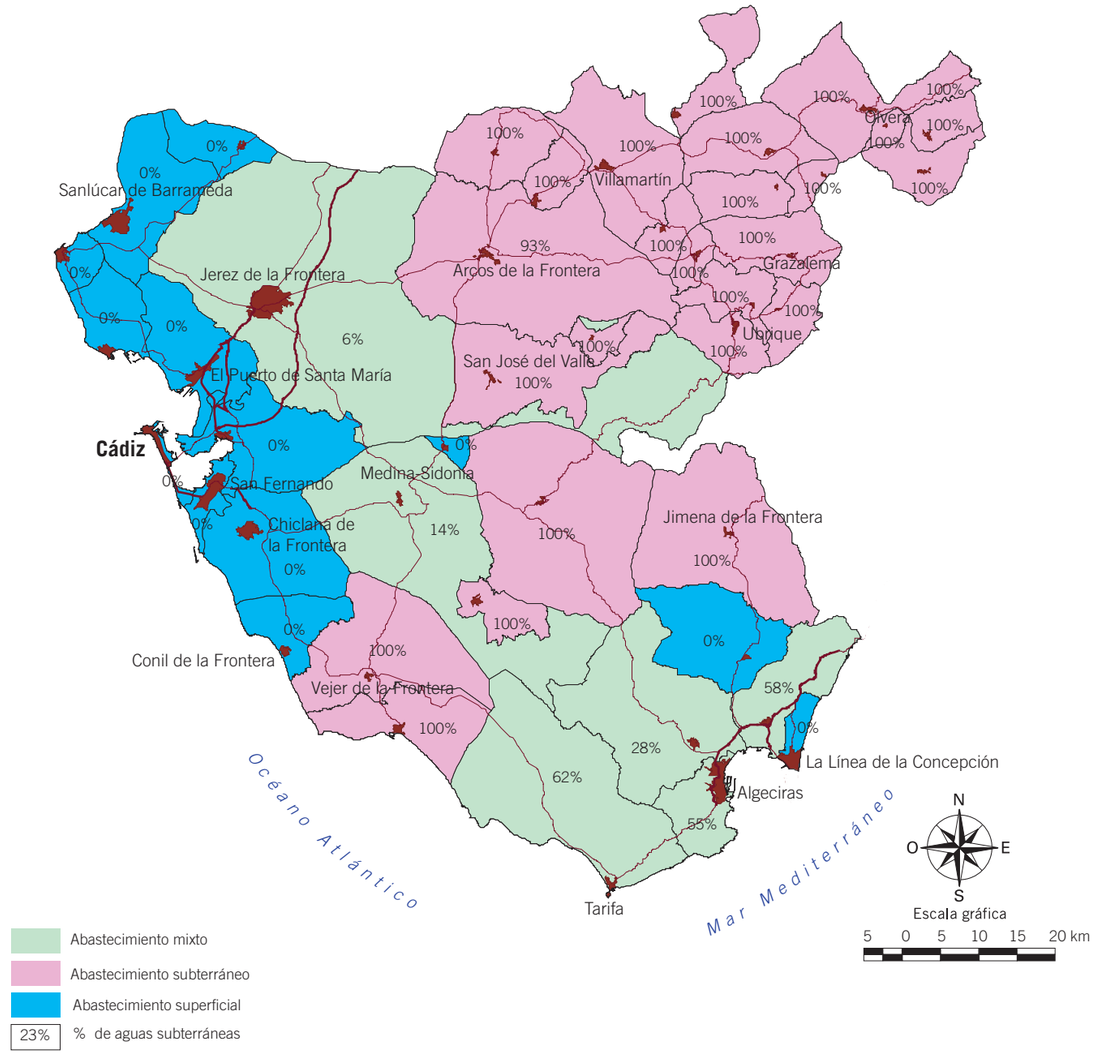
Atendiendo a la procedencia del suministro, se distinguen tres tipos de abastecimientos urbanos: superficial, subterráneo y mixto. Las aguas superficiales constituyen la mayor parte del abastecimiento provincial a través del Sistema de Los Hurones-Guadalcacín-Arcos-Bornos y del Sistema Guadarranque-Charco Redondo, aunque las aguas subterráneas juegan un papel muy importante y su uso ha ido en aumento en el transcurso de los años para atender al incremento de la población.

A partir de las encuestas directas realizadas por el IGME y de datos de población del INE, la evolución de la utilización de las aguas subterráneas en abastecimiento muestra un incremento paulatino desde el año 1984 hasta el 2002, pasando de un volumen anual de 13,68 hm^3 para abastecer a 200.000 personas en 1984 a más del doble para atender la demanda de 262.122 habitantes en el 2002, incremento notable resultante no sólo del crecimiento de la población abastecida sino también de la mayor dotación requerida por la actual sociedad gaditana.

Pero para valorar adecuadamente la importancia que las aguas subterráneas tienen en el abastecimiento público es preciso considerar, además del número de habitantes abastecidos, la relación de términos municipales en los que se utilizan los recursos subterráneos. Así, en el año 2002 la población abastecida exclusivamente con aguas subterráneas reside en 23 términos municipales, lo que significa que el 52,3% de los municipios de la provincia, dependen del agua subterránea para satisfacer su demanda urbana. El suministro mixto se realiza en 7 términos municipales (15,9% del total) y el abastecimiento sólo con aguas superficiales se produce en 14 municipios (31,8% del total), 4 de los cuales poseen sondeos de reserva para su posible utilización en situaciones de emergencia (Conil de la Frontera, El Puerto de Santa María, Chiclana de la Frontera y Chipiona).

Porcentaje de términos municipales según origen de abastecimiento





Análisis histórico del abastecimiento urbano según su origen

	1984					1990					2002				
Origen del agua	Población abastecida			Volumen captado		Población abastecida			Volumen captado		Población abastecida			Volumen captado	
	T.M.	nº hab(1)	%	hm^3/año	%	T.M.	nº hab(2)	%	hm^3/año	%	T.M.	nº hab(3)	%	hm^3/año	%
Subterráneo	24	200.000	19,5	13,68	17,0	24	237.269	21,8	18,47	–	23	262.122	22,8	28,79	23,2
Mixto	4					3					7				
Superficial	14	828.000	80,5	66,70	83,0	17	853.359	78,2	–	–	14	889.578	77,2	95,5	76,8
Total	**42**	**1.028.000**	**100**	**80,38**	**100**	**44**	**1.090.628**	**100**	**–**	**–**	**44**	**1.151.700**	**100**	**124,29**	**100**

(1) Población de hecho, Atlas hidrogeológico de la provincia de Cádiz, 1985
(2) Población de derecho, Instituto Nacional de Estadística, 1990
(3) Población estable, encuestas directas del IGME, 2002

Situación del abastecimiento urbano en la provincia de Cádiz. Año 2002

Término Municipal	Población estable (hab.)	Tipo de abastecimiento	Procedencia del suministro				
			Acuífero	U.H.	Volumen (m^3/a)	Embalse	Volumen (m^3/a)
Alcalá de Los Gazules	5.491	Subterráneo	Areniscas del Aljibe (Aluvial del Barbate)	05.62	367.270		
Alcalá del Valle	5.575	Subterráneo	Setenil-Ronda	05.63	489.538		
Algar	1.640	Superficial				Los Hurones	204.539
Algeciras	101.468	Mixto	Areniscas del Aljibe	06.99	6.575.000	Guadarranque y Charcoredondo	5.439.856
Algodonales	5.612	Subterráneo	Sierra de Líjar	05.64	474.782		
Arcos de La Frontera	28.300	Mixto	Arcos-Bornos-Espera	05.54	2.369.730	Los Hurones	188.206
Barbate	22.373	Subterráneo	Vejer-Barbate	05.61	2.081.399		
Barrios (Los)	17.203	Mixto	Areniscas del Aljibe	06.99	691.700	Guadarranque y Charcoredondo	1.744.792
Benalup - Casas Viejas	6.371	Subterráneo	Vejer-Barbate	05.61	598.140		
Benaocaz	680	Subterráneo	Sierra de Grazalema	05.64	41.458		
Bornos	8.081	Subterráneo	Arcos-Bornos-Espera	05.54	745.200		
Bosque (El)	1.963	Subterráneo	Sierra de Grazalema	05.64	195.016		
Cádiz	134.989	Superficial				Los Hurones	15.525.060
Castellar de la Frontera	2.542	Superficial				Guadarranque y Charcoredondo	2.277.56
Conil de la Frontera	18.269	Superficial				Los Hurones	2.686.489
Chiclana de la Frontera	66.935	Superficial				Los Hurones	7.515.877
Chipiona	16.700	Superficial				Los Hurones	3.342.150
Espera	4.204	Subterráneo	Arcos-Bornos-Espera	05.54	419.969		
Gastor (El)	2.010	Subterráneo	Sierra de Grazalema	05.64	168.372		
Grazalema	2.365	Subterráneo	Sierra de Grazalema	05.64	247.102		
Jerez de la Frontera	191.002	Mixto	Sierra de Las Cabras	05.60	1.035.314	Los Hurones	15.198.413
Jimena de la Frontera	9.242	Subterráneo	Aluvial del Guadiaro-Hozgarganta y Areniscas del Aljibe	06.47 y 06.99	1.315.349		
Linea de la Concepcion (La)	59.437	Superficial				Guadarranque y Charcoredondo	6.285.000
Medina Sidonia	11.811	Mixto	Vejer-Barbate	05.61	130.589	Los Hurones	834.448
Olvera	8.818	Subterráneo	Setenil-Ronda	05.63	596.577		
Paterna de Rivera	5.325	Superficial				Los Hurones	489.620
Prado del Rey	6.000	Subterráneo	Sierra de Grazalema	05.64	378.432		
Puerto de Santa María (El)	79.889	Superficial				Los Hurones	10.079.437
Puerto Real	37.033	Superficial				Los Hurones	4.720.366
Puerto Serrano	6.853	Subterráneo	Cerro Picacho	05.99	682.648		
Rota	30.221	Superficial				Los Hurones	3.670.892
San Fernando	88.490	Superficial				Los Hurones	6.474.836
San José del Valle	4.233	Subterráneo	Sierra de Las Cabras	05.60	317.434		
Sanlúcar de Barrameda	65.000	Superficial				Los Hurones	6.407.866
San Roque	26.523	Mixto	Guadiaro-Hozgarganta y Plioceno de Sotogrande	06.47 y 06.99	4.154.403	Guadarranque y Charcoredondo	3.053.401
Setenil de las Bodegas	3.099	Subterráneo	Setenil-Ronda y Sierra Blanquilla	05.63 y 06.43	310.116		
Tarifa	16.000	Mixto	Areniscas del Aljibe	06.99	1.111.545	Almodovar	683.790
Torre-Alháquime	904	Subterráneo	Setenil-Ronda	05.63	85.623		
Trebujena	6.887	Superficial				Los Hurones	722.930
Ubrique	17.524	Subterráneo	Sierra de Grazalema	05.64	1.195.426		
Vejer de la Frontera	10.587	Subterráneo	Vejer-Barbate	05.61	760.153		
Villaluenga del Rosario	482	Subterráneo	Sierra de Grazalema	05.64	29.969		
Villamartín	12.069	Subterráneo	Llanos de Villamartín	05.53	1.107.898		
Zahara	1.500	Subterráneo	Sierra de Grazalema	05.64	118.756		
Total	**1.151.700**				**28.794.908**		**95.495.724**

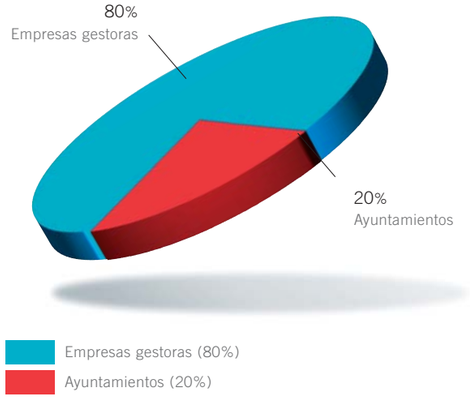
Infraestructura de aguas subterráneas para el abastecimiento urbano de la provincia de Cádiz

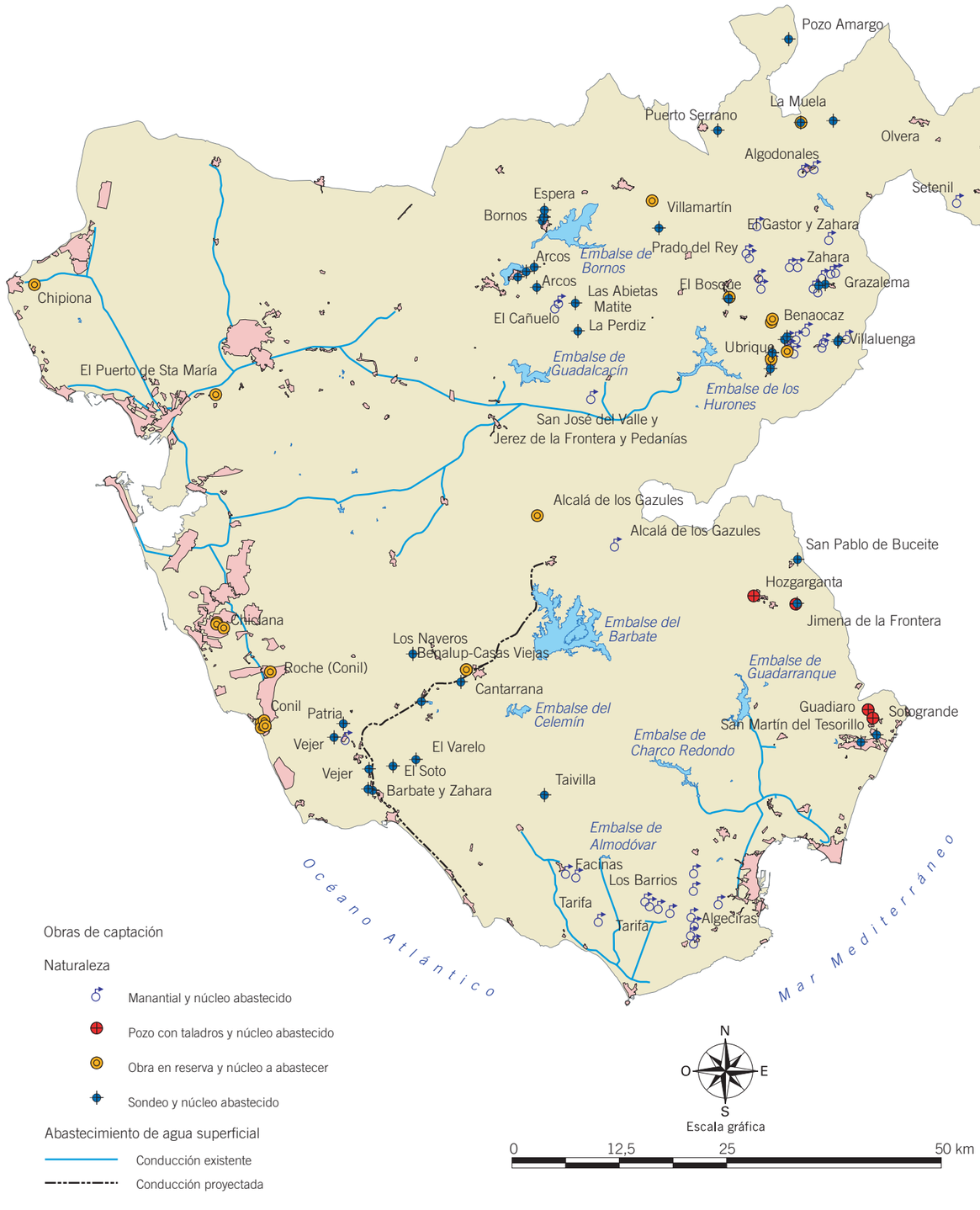
El volumen de agua subterránea captada en al año 2002 para abastecer a la población (262.122 habitantes) asciende a un total de 28,80 hm³/año, lo que representa el 23,2% del total provincial suministrado (124,30 hm³/año) para atender la demanda urbana. Estas cifras han sido obtenidas por el IGME a partir de los datos suministrados por los Ayuntamientos y empresas gestoras del agua en cada municipio mediante la realización de las encuestas directas para la actualización del Plan de Abastecimiento a Núcleos Urbanos, llevada a cabo durante el período 2001-2003. Los resultados de dichas encuestas se resumen en la tabla adjunta, detallando por término municipal, la procedencia del suministro y el volumen de agua suministrada, tanto superficial como subterránea, para el abastecimiento público de la población.

Por todo lo mencionado se desprende que la infraestructura hidráulica de captación de aguas subterráneas está muy desarrollada. En conjunto consta de un total de 123 obras de captación, de las cuales 102 están activas y 21 permanecen en situación de reserva. Las captaciones activas se distribuyen en 51 sondeos, 47 manantiales y 4 pozos con taladros horizontales mientras que las obras en reserva constan de 17 sondeos, 2 manantiales y 2 pozos con taladros horizontales.

Respecto a la gestión del abastecimiento urbano, en la mayor parte de la provincia el abastecimiento se realiza a través de empresas concesionarias del servicio. Sólo en 9 municipios es el propio Ayuntamiento quien se ocupa de la gestión del suministro, mientras que en los 35 restantes se gestiona a través de empresas.

Gestión del abastecimiento urbano. 2002-2003





La calidad de las aguas subterráneas para abastecimiento de la población es excelente según se desprende de los análisis químicos realizados durante la actualización del abastecimiento a núcleos urbanos en Cádiz. Durante el período 2001-2003 se han muestreado los puntos de abastecimiento de origen subterráneo más significativos de la provincia (el 47% del total), resultando en todos los casos aguas de muy buena calidad, con una mineralización débil o muy débil, generalmente de tipo bicarbonatadas cálcicas o cálcico magnésicas. En la tabla adjunta se presentan las captaciones más significativas muestreadas junto con los parámetros indicadores y químicos más relevantes analizados; se observa que en ningún caso se superan los valores máximos establecidos en la legislación vigente (R.D. 140/2003), y sólo se han detectado puntualmente valores relativamente altos en el contenido en nitratos en el abastecimiento a Setenil de las Bodegas y la presencia de nitritos en un manantial de Benamahoma (T.M. de Grazalema).

El papel de las aguas subterráneas durante las sequías

Sin lugar a dudas, la última sequía padecida en Andalucía durante el período 1990-1995 ha sido de las más severas de la época. En la provincia de Cádiz la situación más crítica se produce en el sistema de abastecimiento a la Bahía de Cádiz, desempeñando las aguas subterráneas un papel fundamental en la satisfacción de la demanda urbana. Antes de la sequía, el sistema de abastecimiento al conjunto de poblaciones de la Bahía de Cádiz, con una demanda cifrada en 98 hm^3/año para unos 700.000 habitantes, tenía como fuente de suministro agua de origen casi exclusivamente superficial (98%). En 1995 la aportación media de aguas subterráneas al sistema fue del 32%, llegando a ser del 100% a finales del verano del citado año 1995, momento éste en que la disponibilidad de agua embalsada era nula.

Las aportaciones de aguas subterráneas para el período 1992-1995 fueron las siguientes:

Año 1992	987.286 m^3
Año 1993	2.641.505 m^3
Año 1994	2.446.427 m^3
Año 1995	17.615.396 m^3
Total	**23.690.614 m^3**

Este incremento espectacular se consiguió con la incorporación de los recursos hídricos subterráneos, procedentes de los acuíferos de los Sotillos, sierra de Las Cabras, Arcos-Bornos-Espera y la Sierra de San Cristobal, con la creación de la infraestructura de captación necesaria en un tiempo relativamente corto.

Calidad de las aguas subterráneas para abastecimiento urbano. 2001-2003

Nº Punto	Núcleo abastecido	Naturaleza	Nombre	Fecha análisis	Nitratos(1) (mg/L)	Nitritos(1) (mg/L)	Oxidabilidad(2) (mg/L de O2)	Cloruros(2) (mg/L)	Sulfatos(2) (mg/L)	Sodio(2) (mg/L)	pH(2) (unids.)	Conductividad eléct.(2) (µS/cm)	Amonio(2) (mg/L)	Mineralización	Dureza
134410035	Arcos	sondeo	S/4 C.H.G.	dici-06	10	0	0,3	23	6	13	7,8	429	0	Débil	Muy dura
134420049	Bornos	sondeo	El Rata	dici-06	33	0	0,4	20	7	11	7,7	385	0	Muy débil	Moderada
134420016	Espera	sondeo	Espera II	dici-06	13	0	0,3	18	10	10	7,4	393	0	Muy débil	Muy dura
154350133	Alcalá del Valle	sondeo	Las Herrizas	dici-06	15	0	0,4	27	10	14	7,4	660	0	Débil	Muy dura
154350010	Olvera y Torre Alháquime	sondeo	Las Herrizas	dici-06	16	0	0,3	27	12	13	7,3	658	0	Débil	Muy dura
144380005	Setenil	manantial	Venta Leche	dici-06	54	0	0,3	14	11	6	7,3	477	0	Débil	Muy dura
134340057	Puerto Serrano	sondeo	El Almendral	dici-06	5	0	0,4	30	70	18	7,3	739	0	Débil	Muy dura
144360011	Algodonales	manantial	Fte. de Abajo	dici-06	7	0	0,8	69	160	38	7,6	745	0	Media	Muy dura
144460002	Benaocaz	manantial	Fte. del Matadero	dici-06	2	0	0,8	6	11	4	7,6	322	0,06	Muy débil	Moderada
144450008	El Bosque	sondeo	El Quejigo	dici-06	2	0	0,3	70	45	46	7,6	707	0	Débil	Muy dura
144410004	Prado del Rey	manantial	Beguino	dici-06	2	0	0,4	6	10	3	8,0	435	0	Muy débil	Muy dura
144420014	Zahara	manantial	Fte. del Ravés	dici-06	0	0	1,5	10	31	8	7,6	552	0	Débil	Muy dura
144420018	Grazalema	sondeo	Los Charcones	dici-06	0	0	1,1	6	27	6	7,7	474	0	Débil	Muy dura
144410001	Benamahoma	manantial	El Descansadero	dici-06	2	0,25	0,5	10	10	6	7,4	542	0	Débil	Muy dura
144420009	El Gastor	manantial	Aº Molinos	dici-06	2	0	0,7	24	22	15	7,7	466	0	Débil	Muy dura
124770067	Barbate y Zahara de los Atunes	sondeo	Picaso	octu-05	29	0	0,7	180	30	76	7,4	995	0	Media	Muy dura
124770048	Vejer de la Frontera	sondeo	Las Marismas	octu-05	22	0	0,5	229	22	49	7,5	1.113	0	Media	Muy dura
134650012	San José de Malcocinado y Los Badalejos	sondeo	Lagunilla 1	octu-05	23	0	0,3	34	12	14	8,0	592	0	Débil	Muy dura
134530002	San José del Valle y Jerez de la Frontera	manantial	El Tempul	octu-04	2	0	1,5	19	42	12	7,5	551	0	Débil	Muy dura
144810095	Algeciras	manantiales	El Cobre	novi-07	1	0	1,0	18	6	12	7,6	99	0	Muy débil	Blanda
134840008	Los Barrios	manantial	El Prior	octu-07	0	0	0,8	22	3	13	7,9	100	0	Muy débil	Blanda
144620003	Jimena de la Frontera	pozo	Los Angeles	octu-07	22	0	0,4	42	41	31	7,2	735	0	Débil	Muy dura
144730050	Sotogrande	sondeo	Sondeo nº 2	novi-07	14	0	0,5	83	16	33	7,0	516	0	Débil	Muy dura
134760003	Tahivilla	sondeo	Las Habas	novi-07	46	0	0,3	49	15	16	7,8	572	0	Débil	Muy dura
134820001	Facinas	manantial	Chapa la Loba	novi-07	3	0	0,6	26	4	14	7,4	110	0	Muy débil	Blanda
134880002	Algeciras	manantial	El Bujeo	octu-07	1	0	3,0	15	4	10	7,7	92	0	Muy débil	Blanda
134840006	Tarifa	manantial	Garganta La Senda	novi-07	1	0	1,4	19	3	11	7,2	77	0	Muy débil	Blanda

(1) Parámetros químicos
(2) Parámetros indicadores, ambos según R.D. 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.



Cultivo de algodón en Chipiona (6)

12.3. El riego en la provincia de Cádiz

La actualización del Inventario y caracterización de los regadíos de Andalucía, realizada por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía en el año 2002, presenta una superficie regable para la provincia de Cádiz de 60.187 ha, de las cuales se riegan 53.538 ha. Esta superficie regada representa únicamente el 7,2% del territorio provincial, siendo uno de los valores más bajos de la comunidad andaluza, sólo la precede la provincia de Huelva. No obstante, el crecimiento en 5 años respecto a la campaña agrícola 2001-2002 es del 24,1%, valor que supone el más alto de Andalucía.

Los cultivos dominantes en la provincia, por su extensión, son los semi-intensivos (algodón y remolacha), extensivos de verano (girasol y cereales de verano) y los hortícolas de aire libre, no obstante los cultivos más rentables son los cultivos de invernadero y la fresa.

Por término municipal cabe resaltar, por su importancia singular, el cultivo de cítricos de Castellar de la Frontera, Jimena de la Frontera, Los Barrios y San Roque; el cultivo de fresa en Puerto Serrano; el cultivo de invernadero en Chipiona y el olivar en Setenil de las Bodegas.

Las dotaciones de riego por hectárea y año oscilan entre los 14.808 m^3/ha/año para el cultivo de arroz y los 2.186 m^3/ha/año para el olivar, siendo el valor medio del orden de 6.000 m^3/ha/año.

El sistema de riego dominante se realiza por aspersión (53 %), seguido en importancia por el riego por gravedad (32 %) y en último lugar se encuentra el riego localizado (15 %).

La calidad del agua empleada se considera buena en el 76 % del riego realizado, siendo de mala calidad en el 20 % de los regadíos y de calidad regular en el 4 % del riego restante.

Superficies de riego en Andalucía

Provincia	Extensión (ha)	Superficie regada (ha)	Superficie regable (ha)	Superficie abandonada (ha)	Tendencia crecimiento* (%)	% riego en la provincia
Huelva	1.012.800	37.452	52.348	292	17	3,70
Cádiz	743.600	53.538	60.187	6.678	24,1	7,20
Málaga	730.800	56.001	58.413	981	2,9	7,66
Almería	877.500	74.863	81.506	6.796	0,9	8,53
Córdoba	1.377.100	99.272	102.264	2.034	1,9	7,21
Granada	1.264.700	127.846	134.274	6.109	3	10,11
Jaén	1.349.600	202.236	203.156	745	4,8	14,98
Sevilla	1.403.600	241.799	243.636	393	3,3	17,23

** Tendencia de crecimiento: previsión de la variación de la superficie regada en un horizonte de 5 años respecto a la campaña agrícola 2001/02.*

Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca, 2002



Pivot de riego por aspersión en los alrededores de la laguna de Jeli, en el término municipal de Chiclana, donde el origen de las aguas de riego es exclusivamente subterráneo (3)

Tipos de cultivos en la provincia de Cádiz

Tipo de cultivo	Superficie ha	Superficie %	Dotación (m³/ha/año)	Productividad (€/ha)	Producción (Miles €)	Empleo (UTA)*
Arroz	2.099	4	14.808	2.547	5	70
Cítricos	3.027	6	6.770	4.168	13	580
Extensivos de invierno	6.476	12	3.995	671	4	108
Extensivos de verano	9.220	17	5.586	577	5	302
Fresa	216	0	5.881	29.369	6	259
Frutales	728	1	5.760	3.620	3	402
Frutales subtropicales	23	0	6.685	6.705	0	5
Hortícolas aire libre	8.129	15	4.155	11.800	96	3.295
Invernaderos	1.109	2	5.479	59.282	66	1.464
Olivar	576	1	2.186	1.536	1	41
Otros	910	2	4.526	1.776	2	42
Semi-intensivos	21.025	39	6.138	2.834	60	1.440

** 1 UTA = 240 jornales/año = 1.920 horas/año*

Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca, 2002

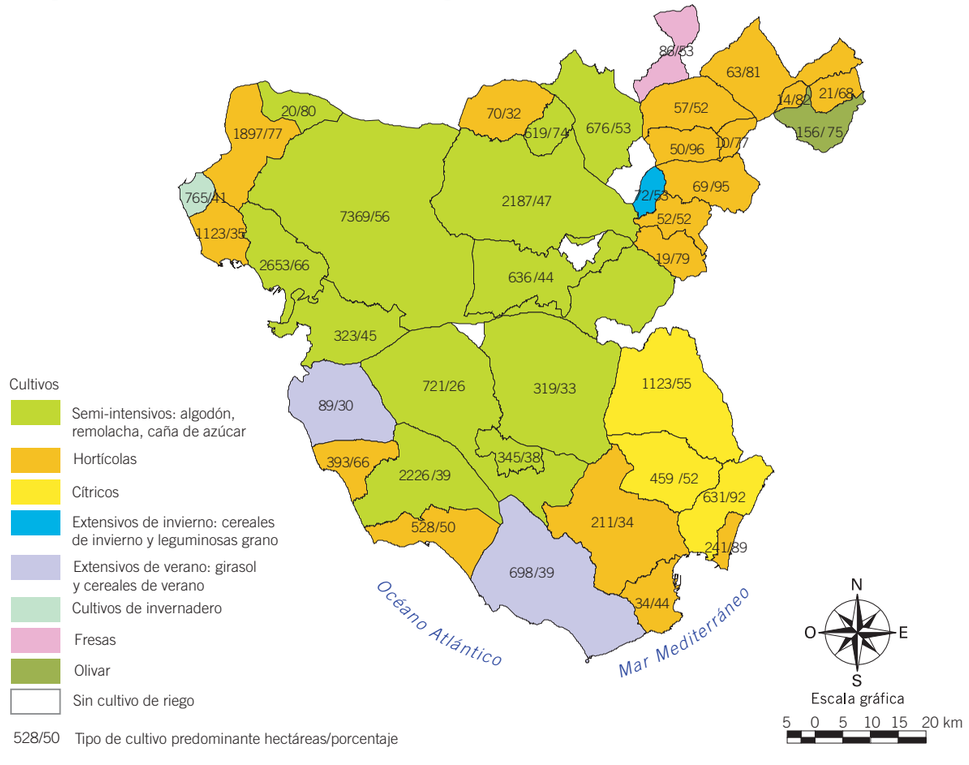
Respecto a la red de distribución del agua de riego, el 56 % del agua distribuida se realiza por tuberías cuyo estado es regular, el 42 % por acequias revestidas de conservación deficiente, y sólo el 2% son acequias de tierra que se encuentran en buen estado.

Aunque el agua de riego es mayoritariamente de origen superficial, las aguas subterráneas tienen un papel muy importante, tanto como apoyo como por su uso exclusivo. Así se riegan íntegramente con aguas subterráneas 9.003 ha (17%), el riego con aguas subterráneas como apoyo se realiza en 20.129 ha (38%) y el uso exclusivo de aguas de origen superficial se produce en 24.388 ha (46%).

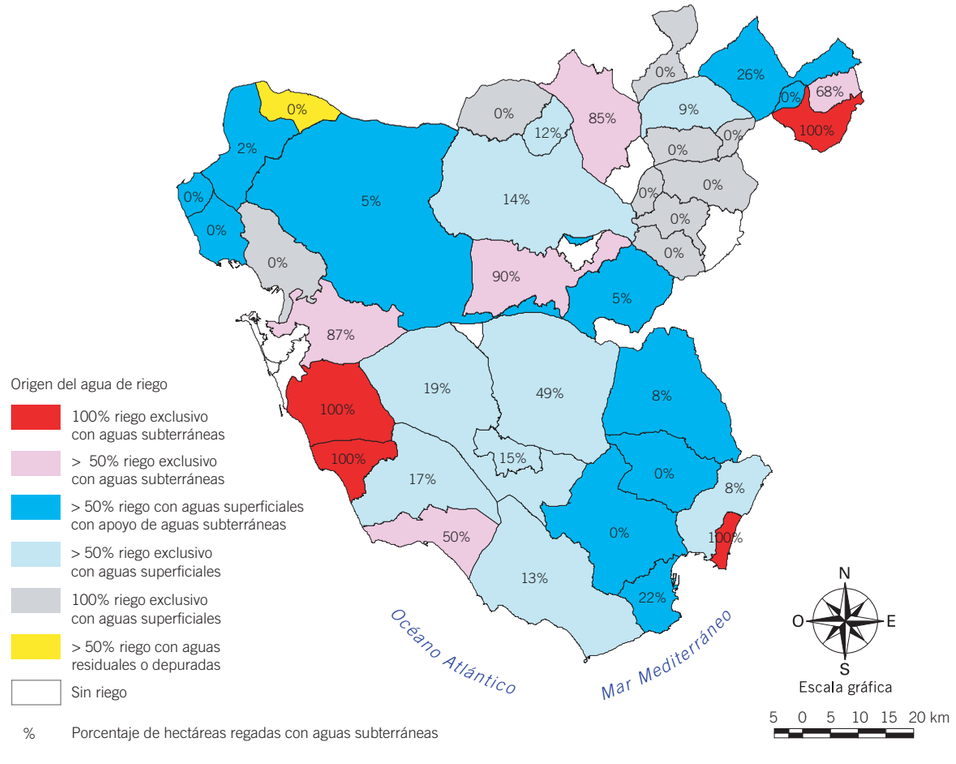
Por términos municipales, la utilización de las aguas subterráneas para regadío es muy variable destacando su uso exclusivo en los municipios de Chiclana, Conil de la Frontera, La Línea de la Concepción y Setenil de las Bodegas; y un porcentaje de aprovechamiento mayor del 50% en los términos municipales de San José del Valle, Puerto Real, Villamartín, Alcalá del Valle y Barbate. Al contrario, los municipios que utilizan sólo las aguas superficiales son El Puerto de Santa María, Espera, Puerto Serrano, Torre Alháquime, El Gastor, Zahara de la Sierra, El Bosque, Benaocaz y Ubrique. En el resto dominan las aguas superficiales aunque con un porcentaje diverso de apoyo con aguas subterráneas. Cabe distinguir la utilización singular de las aguas residuales depuradas en el municipio de Trebujena.

Atendiendo a la superficie de riego y a las dotaciones reales de cada cultivo empleadas en los distintos términos municipales, se obtiene que el volumen total anual utilizado en regadío en la provincia asciende a 309 hm³, de los cuales 142,6 hm³ proceden de aguas superficiales, 122,4 hm³ representan el conjunto de aguas superficiales que se complementan con el uso de aguas subterráneas y 43,6 hm³ son aguas subterráneas exclusivamente.

Tipo de cultivos dominantes de la provincia de Cádiz



Aprovechamiento de aguas subterráneas para riego de la provincia de Cádiz



Utilización de las aguas de riego en los municipios de Cádiz según su origen

Término Municipal	Agua Superficial			Agua Superficial +apoyo Subterránea			Agua Subterránea			Agua Residual depurada			Total	
	Superficie		Volumen	Superficie		Volumen	Superficie		Volumen	Superficie		Volumen	Superficie	Volumen
	ha	%	m³	ha	%	m³	ha	%	m³	ha	%	m³	ha	m³
Alcalá de los Gazules	502	51	3.198.133				478	49	3.121.271				980	6.319.404
Alcalá del Valle	10	32	45.540				21	68	54.369				31	99.909
Algar													0	0
Algeciras	13	17	92.046	47	61	330.182	17	22	114.529				77	536.757
Algodonales	101	92	527.125				9	8	46.123				110	573.248
Arcos de la Frontera	2.647	57	15.303.586	1.304	28	7.571.729	667	14	3.027.363				4.618	25.902.678
Barbate	525	50	2.922.088,5				525,0	50	2.922.088,5				1.050	5.844.177
Barrios (Los)	129	21	685.778	485	79	2.579.832							614	3.265.610
Benaocaz	100	100	378.308										100	378.308
Bornos	734	88	5.177.648				100	12	585.830				834	5.763.478
Bosque (El)	135	100	689.247										135	689.247
Cádiz													0	0
Castellar de la Frontera	201	23	824.078	675	77	2.758.868							876	3.582.946
Conil de la Frontera							600	100	2.238.272				600	2.238.272
Chiclana de la Frontera							300	100	1.223.632				300	1.223.632
Chipiona				1.866	100	10.089.833							1.866	10.089.833
Espera	217	100	1.186.633										217	1.186.633
Gastor (El)	13	100	64.910										13	64.910
Grazalema	73	100	348.510										73	348.510
Jerez de la Frontera	2.744	21	18.725.272	9.729	74	66.004.469	644	5	3.216.031				13.117	87.945.773
Jimena de la Frontera	793	39	5.563.969	1.094	54	7.683.576	155	8	940.720				2.042	14.188.265
Línea de la Concepción (La)							271	100	1.619.930				271	1.619.930
Medina Sidonia	2.251	81	16.380.273				519	19	3.369.093				2.770	19.749.366
Olvera	20	26	85.744	38	49	159.240	21	27	88.043				78	333.027
Paterna de Rivera													0	0
Prado del Rey													0	0
Puerto de Santa María (El)	4.043	100	23.953.917										4.043	23.953.917
Puerto Real	90	13	332.398				625	87	1.784.270				715	2.116.668
Puerto Serrano	161	100	774.638										161	774.638
Rota		100		3.249	100	17.045.349							3.249	17.045.349
San Fernando													0	0
Sanlúcar de Barrameda	915	37	4.433.622	1.493	60	7.233.804	60	2	225.200				2.468	11.892.625
San Roque	497	72	3.394.019	132	19	902.208	57	8	360.000				686	4.656.227
Setenil de las Bodegas							209	100	820.423				209	820.423
Tarifa	1.578	87	7.544.527				232	13	1.236.063				1.810	8.780.590
Torre Alháquime				17	100	99.530							17	99.530
Trebujena	7	28	43.437							18	72	110.178	25	153.615
Ubrique	24	100	95.276										24	95.276
Vejer de la Frontera	4.690	83	24.622.026				979	17	5.159.150				5.669	29.781.176
Villaluenga del Rosario													0	0
Villamartín	191	15	824.780,5				1.083,0	85	5.553.160,5				1.274	6.377.941
Zahara	52	100	239.896										52	239.896
Benalup-Casas Viejas	782	85	3.361.718				138	15	583.641				920	3.945.359
San José del Valle	150	10	798.708				1.294	90	5.398.233				1.444	6.196.941
Total	**24.388**	**46**	**142.617.850**	**20.129**	**38**	**122.458.620**	**9.003**	**17**	**43.687.435**	**18**	**0**	**110.178**	**53.538**	**308.874.084**

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Consejería de Agricultura y Pesca, 2002



Pozo en el campo de golf "Novo Santi Petri". El uso de las aguas subterráneas en esta actividad no siempre es incompatible con otros usos (1)

Por último cabe destacar que el coste total del agua para riego en Cádiz es de los más bajos de Andalucía. Así, el agua de origen superficial se evalúa en 2,61 c€/m³ mientras que el valor del agua subterránea es ligeramente superior y asciende a 3,03 c€/m³. En cambio, la productividad de las aguas subterráneas es un tanto superior a la de las superficiales (0,89 €/m³ frente a 0,84 €/m³), aunque la riqueza que generan es mayor en las aguas superficiales puesto que la superficie de riego es mucho más importante. Otro aspecto a destacar es que las aguas subterráneas generan más empleo que las superficiales.

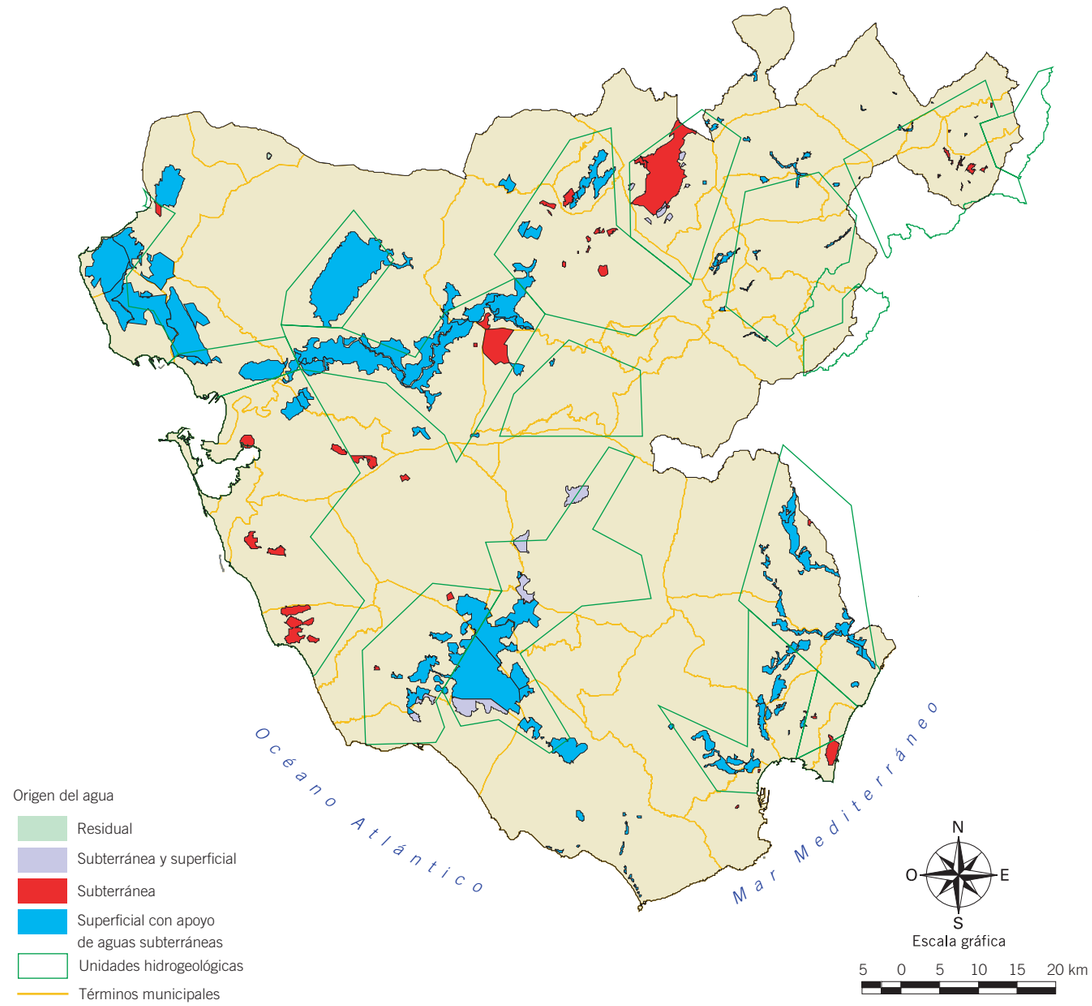
Economía del agua para riego

Provincia	Coste total del agua (c€/m³)		Productividad (€/m³)		Producción (Miles €)		Empleo generado (UTA/hm³)*	
	Subterránea	Superficial	Subterránea	Superficial	Subterránea	Superficial	Subterránea	Superficial
Córdoba	2,15	2,71	0,72	0,39	33.638	173.440	35	17
Sevilla	2,76	2,64	0,63	0,37	127.231	506.389	28	14
Cádiz	3,03	2,61	0,89	0,84	38.784	221.683	28	26
Huelva	4,08	8,39	3,36	2,5	215.792	325.324	104	89
Málaga	5,7	1,51	1,35	0,74	166.917	136.864	61	48
Jaén	6,14	3,25	1,47	0,93	135.065	400.789	49	37
Granada	7,79	2,44	1,66	1,02	186.295	421.746	48	35
Almería	11,74	10,47	4,5	1,75	1.200.474	236.639	103	58

** 1 UTA = 240 jornales/año = 1.920 horas/año*

Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca, 2002

Zonas de riego de la provincia de Cádiz



13 Principales acuíferos

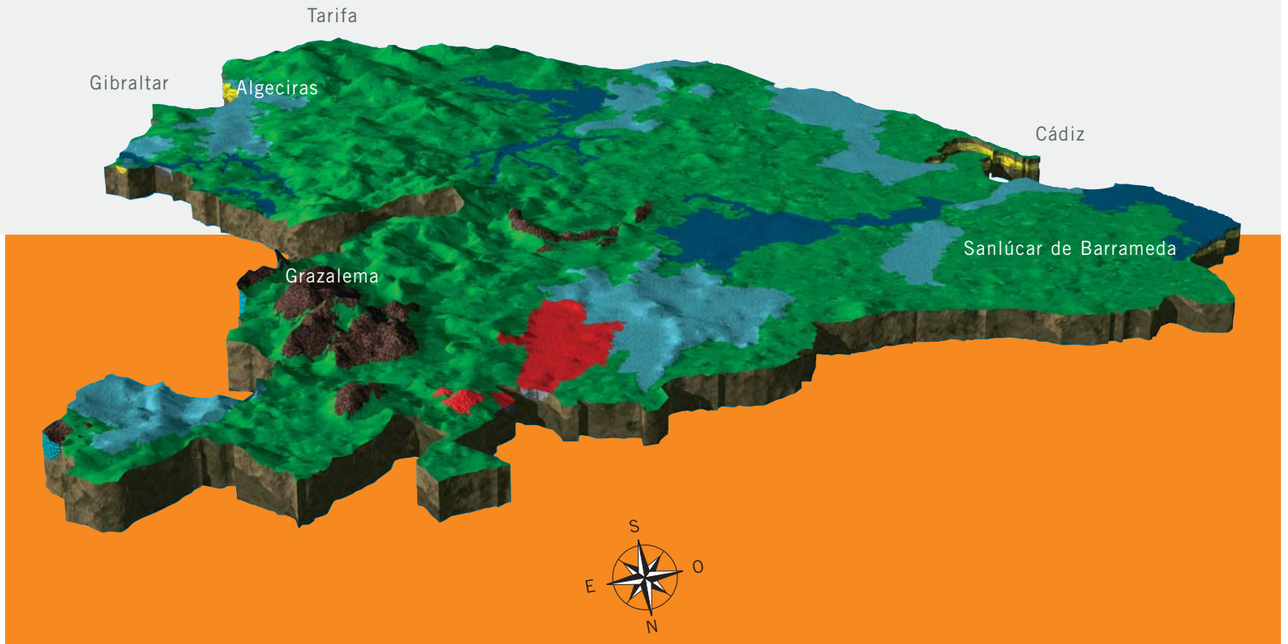
Principales acuíferos de la provincia de Cádiz



Principales acuíferos

Los Llanos de Villamartín

13.1



13.1.1 Situación y límites

El acuífero de los Llanos de Villamartín se encuentra situado en el extremo norte de la provincia de Cádiz, en la cuenca media-alta del río Guadalete, ocupando una parte significativa de los términos municipales de Puerto Serrano, Villamartín y Arcos de la Frontera, aunque un pequeño sector de éste acuífero corresponde a la localidad sevillana de Montellano. En este entorno se asienta una población de unos 19.000 habitantes, según datos del Instituto Nacional de Estadística para el año 2002.

El acuífero, que se localiza en la comarca de la Sierra de Cádiz, ocupa parte de las unidades fisiográficas de las Campiñas serranas nororientales, de Jerez-Arcos y de las vegas y valles fluviales del Guadalete. Administrativamente constituye la unidad hidrogeológica 05.53 (Llanos de Villamartín), de la Cuenca Hidrográfica del Guadalete-Barbate, cuya poligonal tiene una superficie total de 243 km^2 y 124 km^2 de materiales permeables. Por otro lado, el acuífero se incluye dentro del Sistema de Explotación nº 16 “Guadalete” descrito en el Plan Hidrológico del Guadalete-Barbate (1995).

El relieve de la zona oscila entre los 960 m s.n.m. en la Sierra del Picacho, en las inmediaciones de la localidad de Puerto Serrano, hasta los 95 m s.n.m. en la lámina de agua del embalse de Bornos. Las hojas del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000 en las que se encuentra cartografiado son las siguientes: nº 1.035 (13-43) Montellano, nº 1.036 (14-43) Olvera y nº 1.049 (13-44) Arcos de la Frontera.

13.1.2 Climatología e hidrología

13.1.2.1 Climatología

El clima de este sector de la provincia de Cádiz es de tipo mediterráneo subtropical, con régimen térmico cálido.

En el Plan Hidrológico del Guadalete-Barbate se recogen, para el periodo 1942-1988, los siguientes datos pluvio-termométricos:

- Precipitación media anual: 780 mm.
- Temperatura media anual: 16-18 ºC.
- Evapotranspiración Potencial (E.T.P.): 850-900 mm/año.
- Lluvia Útil media: 325-400 mm/año.



Vista del acuífero de los Llanos de Villamartín, desde la carretera a Prado del Rey (6)

13.1.2.2 Hidrología

Esta unidad presenta una red hidrográfica cuyo eje de drenaje es el río Guadalete. Sus principales afluentes son los arroyos de Serracín, Tierras Nuevas, Alberite, Macharracao, del Piloncillo y del Hornillo, todos ellos por su margen izquierda ya que tienen las cabeceras de sus respectivas cuencas en las estribaciones más occidentales de las sierras subbéticas.

En el extremo suroccidental del acuífero se localiza el embalse de Bornos que, con una capacidad de 204 hm^3, regula un volumen de 75 hm^3 al año.

13.1.3 Hidrogeología

13.1.3.1 Contexto geológico

Este acuífero se sitúa en el extremo occidental de la Zona Externa de las Cordilleras Béticas, en la zona denominada Subbética. Los materiales que afloran en este entorno geográfico pertenecen, en su mayoría, al olistostroma subbético y a los depósitos del Subbético Medio, así como al conjunto de sedimentos que sobre los anteriores, se depositaron posteriormente a partir del Mioceno.

Las unidades litoestratigráficas más relevantes son, de muro a techo, las siguientes:

- Triásico: éstos materiales predominan al este de Puerto Serrano, en el entorno del Cerro Picacho. Está compuesto fundamentalmente por arcillas, margas abigarradas y yesos, en facies del tipo germano-andaluz. De forma aislada y caótica afloran bloques carbonatados, típicos del Muschelkalk, y otros de naturaleza ofítica.
- Jurásico: afloran en dos sectores de la unidad: al sureste, según una estrecha franja de calizas y dolomías de unos 200 m de potencia; y al noreste, conformando los relieves de las sierras de La Nava y del Picacho donde la serie está compuesta, de muro a techo, por dolomías, calizas y margocalizas y calizas y margas que, en conjunto alcanzan los 900 m de potencia.
- Cretácico: aflora mayoritariamente al este de la unidad. Dentro de ella tan sólo tiene significación en las sierras de Picacho y La Nava donde está constituido por calizas margosas grises bien estratificadas y margas.
- Formación para-autóctona: está constituida principalmente por margas blancas (albarizas), a veces con intercalaciones de calcarenitas, que constituyen la base de la serie miocena postorogénica. Se le atribuye una edad Mioceno s.l..
- Mioceno: se trata de una serie de carácter autóctono constituida por margas arenosas, arenas, areniscas calcáreas y margas verdes y grises. La potencia es muy variable, desde pocos metros hasta espesores del orden de 100 m.
- Plioceno: se dispone discordante sobre las formaciones anteriores y está constituido por arenas amarillas y biocalcarenitas. Su potencia total es del orden de 80 m.
- Cuaternario: está representado por arenas, gravas y arcillas rojas correspondientes a depósitos de terrazas antiguas y aluviales actuales. Su espesor medio es de 8 a 10 m.

Desde el punto de vista estructural, los materiales subbéticos alóctonos deslizaron, durante el Mioceno, de Sur a Norte, siendo el Trías el principal nivel de despegue. Se piensa que los materiales que se estaban depositando cuando se produjeron los deslizamientos fueron las arcillas y margas blancas (albarizas y/o moronitas).

Los terrenos postorogénicos comienzan en el Mioceno superior y son transgresivos sobre los materiales alóctonos anteriores, formando una cubeta sinclinal disimétrica subsidente que ha sido rellenada por depósitos pliocuaternarios.

13.1.3.2 Características hidrogeológicas

13.1.3.2.1 Descripión general

Los materiales de interés hidrogeológico se pueden dividir, en cuanto a sus características y comportamiento hidráulico, en tres sectores:

- Materiales detríticos postorogénicos: son permeables por porosidad intergranular y, en conjunto, presentan un carácter libre, excepto los materiales miocenos que se encuentran confinados bajo afloramientos margosos. Engloban toda la serie terciaria y cuaternaria, ocupando la mayor parte del acuífero. Su superficie permeable es de 102 km^2.
- Afloramientos carbonatados del sureste: forman una estrecha banda de afloramientos de calizas y dolomías. Su permeabilidad es alta, por fisuración y karstificación, y presentan un carácter libre. Sobre ellos se disponen materiales cretácicos de baja permeabilidad que limitan el acuífero al sureste. El conjunto carbonatado está en contacto directo, en su extremo occidental, con los materiales detríticos postorogénicos existiendo comunicación hidráulica. Su superficie permeable es de 7 km^2.
- Afloramientos carbonatados del noreste: se trata de materiales de alta permeabilidad por fisuración y karstificación. Los afloramientos son de poca extensión y están aislados entre sí y con respecto al resto del acuífero. Se disponen como “islas” sobre las margas del Keuper, siendo el Cerro Picacho y la sierra de La Nava los bloques más destacados. Su superficie permeable total es de 15 km^2.

En todos los casos, el substrato impermeable está constituido por los materiales margoso-yesíferos subbéticos del Triásico.

13.1.3.2.2 Parámetros hidrogeológicos

El conjunto de materiales detríticos presenta transmisividades comprendidas entre 86 y 864 m^2/d (MOPU-IGME, 1988), con caudales bajos, desde 1 a 7 L/s. En un ensayo de bombeo realizado en el punto IGME 1343-7-0006, situado en estos mismos materiales a unos 2,5 km al SE de Villamartín, se calculó una transmisividad de entre 890 y 1.600 m^2/d, valores más elevados debido posiblemente a la existencia de materiales carbonatados en el fondo del sondeo. La permeabilidad se puede considerar media-baja a causa de la desigual distribución espacial y de la gran variabilidad de espesores. Se le asigna un coeficiente de almacenamiento del 2%.

En los materiales carbonatados del sureste, los caudales oscilan entre 30 y 50 L/s. La transmisividad estimada mediante ensayo de bombeo en el punto IGME 1344-4-0004, se cifra en 600 a 700 m^2/d, siendo la permeabilidad en conjunto media-alta. En el Cerro de Picacho la transmisividad de los materiales carbonatados, calculada a partir de distintos ensayos de bombeo, presenta valores entre 80 y 275 m^2/d.

13.1.3.2.3 Funcionamiento hidrodinámico. Piezometría

La alimentación de los materiales detríticos se produce por infiltración directa del agua de lluvia. También, aunque en menor cuantía, y sólo en el caso de los materiales cuaternarios, existe un aporte adicional por infiltración del agua procedente de la escorrentía superficial de los arroyos que circulan de este a oeste.

El conjunto de afloramientos carbonatados jurásicos del sureste, en contacto hidráulico con los anteriores, se recargan por el agua de lluvia y su drenaje natural debe dirigirse hacia el Norte alimentando de forma subterránea a los materiales cuaternarios, ya que no se conoce ningún manantial que les sirva de desagüe.

Las salidas de agua, en ambas formaciones acuíferas, se producen por bombeo, a través de manantiales y por drenaje subterráneo y al río Guadalete. La circulación del agua se produce, de Este a Oeste, hacia el río Guadalete.

Hacia el sur de Puerto Serrano, la superficie piezométrica desciende hacia el Oeste, en dirección al río Guadalete, desde cotas de 400 m s.n.m. hasta 150 m s.n.m.. En la franja carbonatada sureste la cota del nivel piezométrico se sitúa, en aguas altas, entre 150 y 140 m s.n.m., descendiendo en estiaje a cotas de 128 m s.n.m.



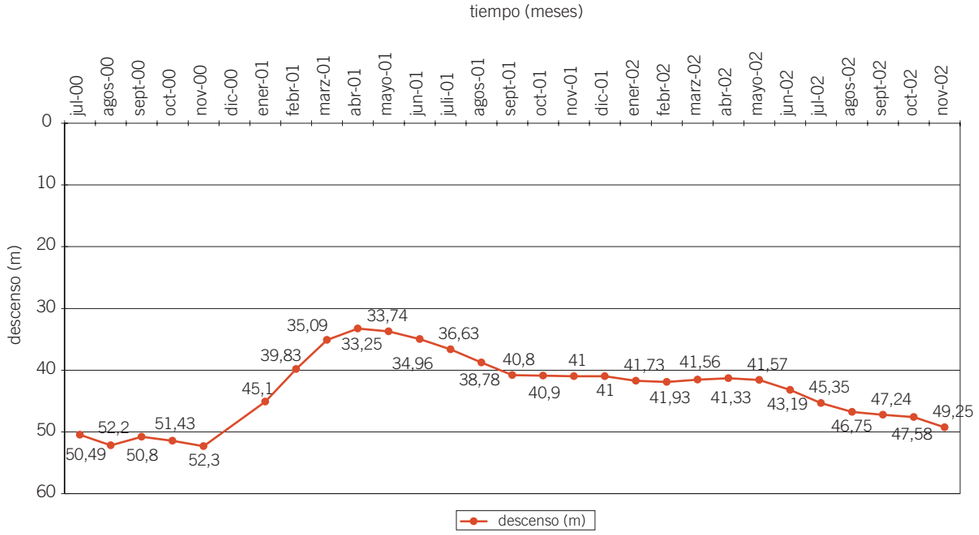
Sondeo El Búho, en Villamartín, situado en el sector carbonatado suroriental del acuífero (1)

Evolución de la profundidad de nivel piezométrico en el acuífero de Los Llanos de Villamartín

Sector	Localización	Nº punto	Nombre	Fecha	Profundidad (m)	Diferencia (m)
Detrítico postorogénico	Este de Villamartín	1343-7-0006	Sondeo La Mata	octubre-86	6,20	-8,15
				junio-06	14,35	
	Sur de Puerto Serano	1343-8-0007	Pozo El Chaparral	mayo-84	3,22	-0,28
				mayo-06	3,50	
		1343-8-0011	Pozo Topete	mayo-84	1,40	-7,70
				mayo-06	9,10	
Carbonatado del sureste	Arroyo Alberite	1344-4-0004	Sondeo El Buho	julio-98	51,00	-19,00
				junio-06	70,00	

En el caso de los materiales carbonatados del sector norte, su alimentación procede igualmente de la infiltración del agua de lluvia exclusivamente y su drenaje se produce prácticamente en cada bloque mediante extracciones por bombeo y numerosas surgencias de poca entidad. Concretamente en el Cerro de Picacho, el drenaje se produce principalmente hacia el suroeste, desde una cota del orden de 320 m s.n.m., existiendo manantiales que entran en funcionamiento en épocas de grandes lluvias a una cota superior a los 400 m s.n.m., cota que representa el máximo nivel de llenado del acuífero.

Evolución del nivel dinámico en el sondeo El Almendral (Cerro Picacho) (Abastecimiento a Puerto Serrano)



Respecto a la evolución de niveles en el tiempo, los datos disponibles indican que se ha producido un descenso variable según sectores desde el año 1980 hasta el año 2002.

En los materiales carbonatados del noreste (Cerro Picacho), se dispone de datos temporales de nivel piezométrico dinámico en el sondeo de El Almendral (de abastecimiento a Puerto Serrano) en el período julio 2000- noviembre 2002, que muestran un descenso máximo de 52 m en octubre de 2000, seguido de un ascenso de nivel a 33 m en abril de 2001 y un descenso continuado desde junio de 2001 a noviembre de 2002.

En cuanto a la evaluación de reservas del acuífero, se han estimado recientemente (CHG-IGME, 2000-2001). Éstas se han cuantificado en 40 hm^3 para los materiales detríticos, 14 hm^3 para los materiales carbonatados del sureste y 19 hm^3 para los del nordeste. El total asciende a 73 hm^3. En cualquier caso, estas cifras deben entenderse como aproximadas ya que la información relativa a los espesores de los materiales permeables es escasa.

13.1.4 Hidroquímica

13.1.4.1 Calidad química y composición natural

Las aguas subterráneas del acuífero presentan una dureza elevada y una mineralización media a débil, con valores de conductividad eléctrica más frecuentes del orden de 900 µS/cm. En general las aguas procedentes de los materiales carbonatados son aptas para abastecimiento urbano mientras que las de materiales detríticos pueden contener elevadas concentraciones en sulfatos y se han detectado valores de nitratos que exceden el límite establecido en la legislación vigente, especialmente en las inmediaciones de Puerto Serrano. Como aguas de riego, son de tipo C1/C3 - S1, por lo que puede existir un cierto riesgo de salinización pero en ningún caso se observa riesgo de alcalinización del suelo.

Presentan una notable variación de facies. Así, en el entorno de Puerto Serrano predominan las facies bicarbonatadas-sulfatadas cálcicas-magnésicas, mientras que en el sector de Villamartín son de tipo cloruradas-sulfatadas cálcico-sódicas. En los materiales carbonatados presentan facies claramente bicarbonatadas cálcicas o cálcicas-magnésicas.

En la base de datos del IGME existen 22 análisis, realizados entre los años 1980 y 2003, pertenecientes al conjunto del acuífero. Los valores característicos se resumen en la tabla adjunta, donde destacan los elevados valores de sulfatos, influenciados por los materiales triásicos.

Características químicas del acuífero de Los Llanos de Villamartín

mg/L	Máximo	Mínimo	Promedio	Mediana
Cloruros	238	22	88	53
Sulfatos	783	12	192	164
Bicarbonatos	431	158	319	338
Nitratos	118	0	32	23
Sodio	153	10	49	37
Magnesio	82	10	39	36
Calcio	307	72	152	144
Potasio	4	0	2	2
Conductividad eléctrica (µS/cm)	1.584	650	993	914

13.1.4.2 Contaminación y vulnerabilidad

La práctica totalidad de los materiales acuíferos presentes poseen una vulnerabilidad alta a la contaminación, debido a su carácter libre y a la alta permeabilidad de los materiales que afloran en superficie.

El principal problema de contaminación detectado es el exceso de nitratos procedentes del uso de fertilizantes y de plaguicidas en el regadío. Se estima que se vierten un total de 200 t/a de nitrógeno en las 1.437 ha regadas (con aguas superficiales y subterráneas) existentes en el conjunto del acuífero, resultado de aplicar el coeficiente de 0,14 t/ha/a utilizado en el Atlas Hidrogeológico de Andalucía para este acuífero de la Cuenca Media del Guadalete.

Este problema ha hecho que se abandonen paulatinamente las captaciones utilizadas para el abastecimiento urbano (Fuente del Cura, pozo Colmenillas), y que en la actualidad los núcleos urbanos aquí emplazados, Villamartín y Puerto Serrano, capten el agua de consumo humano básicamente de los sectores carbonatados del sureste (sondeo El Búho) y noreste (sondeo El Almendral), dejando para uso agrícola la explotación de los materiales detríticos.

13.1.5 Explotación y balance

13.1.5.1 Entradas

La recarga natural de este acuífero se realiza fundamentalmente por la infiltración directa de la lluvia. Considerando, para los materiales detríticos, una infiltración de 65 mm/a y una superficie de recarga de 102 km^2; y para los materiales carbonatados, una infiltración de 200 mm/a y una superficie de 22 km^2 (CHG-IGME, 2000-2001), la recarga del sistema alcanza los 11 hm^3/a.

Por otro lado, existe sobre el acuífero una importante superficie de riego. En total el área en regadío asciende a 1.437 ha, distribuidas en 1.084 ha regadas con aguas subterráneas y 353 ha con aguas superficiales, que emplean en conjunto unos 7 hm^3/a (Junta de Andalucía, 2002). Aplicando distintos coeficientes de retornos de riego, según el tipo de riego (localizado, aspersión o por gravedad) y el tipo de materiales, se estima que retornan al sistema 0,6 hm^3/a del total de agua aplicada.



Cultivo en regadío de algodón (Villamartín) (6)

13.1.5.2 Salidas

La descarga natural del acuífero se produce a través de manantiales y por drenaje subterráneo y al río Guadalete.

Los núcleos de población de Villamartín y Puerto Serrano se abastecen de aguas subterráneas procedentes de sondeos ubicados en el acuífero. Atendiendo a las encuestas de abastecimiento de aguas subterráneas realizadas por el IGME en el año 2002-2003, el volumen explotado mediante sondeos es del orden de 1,8 hm^3/a.

Según la actualización del inventario y caracterización de los regadíos de Andalucía realizado en el año 2002, las extracciones por bombeo para regadío en el conjunto del acuífero suponen del orden de 5,5 hm^3/a, que se utilizan para el riego de 1.084 ha de terreno cultivado.

Con estas consideraciones, el balance hídrico del acuífero de Los Llanos de Villamartín (año 2002) es el siguiente:

Entradas	hm^3/a
Materiales detríticos postorogénicos	
Infiltración del agua de lluvia	6,6
Retorno de regadíos	0,6
Materiales carbonatados del sureste	
Infiltración del agua de lluvia	1,4
Materiales carbonatados del noreste	
Infiltración del agua de lluvia	3,0
Total	**11,6**
Salidas	hm^3/a
Bombeo para regadíos	5,5
Bombeo para abastecimiento urbano	1,8
Aportes al río Guadalete	4,0
Descarga por manantiales	0,3
Total	**11,6**



Rebosadero del manantial Fuente del Cura, en Puerto Serrano (1)

13.1.6 Problemática existente y pautas de gestión

Actualmente, el principal problema que presenta el acuífero está relacionado con la calidad de sus aguas, en especial en los materiales detríticos. La superficie de riego es elevada y el aumento paulatino de la concentración de nitratos de origen agrario es inquietante y ya ha dado lugar al abandono de captaciones para abastecimiento urbano, que se han desplazado a los sectores carbonatados, donde la actividad agrícola es mínima. Por ello sería recomendable la aplicación efectiva de los códigos de buenas prácticas agrarias con objeto de aminorar este problema y conseguir progresivamente un mejor estado de las aguas subterráneas, de cara a ser empleadas no sólo en agricultura, sino también, de forma conjunta, en el abastecimiento urbano.

Para la protección de las aguas subterráneas es necesario establecer perímetros de protección en las captaciones de abastecimiento a la población y en las zonas más vulnerables de los materiales carbonatados.

Por otro lado, no existen redes de control de calidad y de piezometría en la unidad, lo que impide el seguimiento tanto de la evolución real de composición de las aguas como de su explotación racional. Uno de los primeros pasos a dar para una mejora en la gestión y explotación sostenible de los recursos hídricos del acuífero, sería la implantación oficial de dichas redes de control.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

Acuífero de Los Llanos de Villamartín

SITUACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA PROVINCIA



LEYENDA

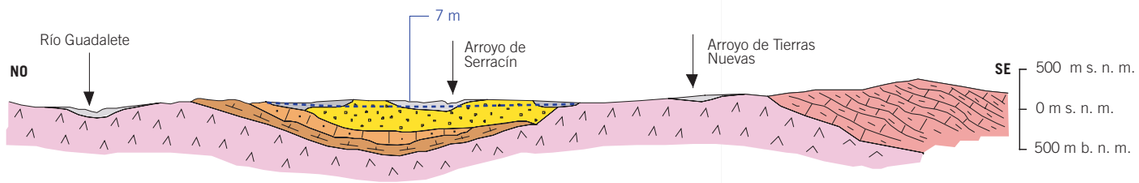
LITOLOGÍA	EDAD GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD
Arenas, arcillas y costras (depósitos edáficos)	Cuaternario	Media
Arcillas, arenas y cantos (depósitos de ladera)	Cuaternario	Media
Cantos, arenas, limos y gravas (terrazas fluviales)	Cuaternario	Alta
Arenas finas cuarzosas con arcillas y suelos rojos	Pliocuaternario	Media-baja
Arenas y limos arenosos amarillentos con niveles conchíferos	Plioceno inferior-medio	Media
Margas verdes y grises algo arenosas	Mioceno superior	Baja
Calizas arenosas bioclásticas	Mioceno superior	Alta
Margas gris-azuladas con arenas finas a techo	Mioceno superior	Baja
Margas blancas silíceas (albarizas y/o moronitas)	Mioceno medio	Muy baja
Margas y margocalizas blancas	Oligoceno	Baja
Margas y margocalizas con niveles calcáreos turbidíticos	Paleoceno Eoceno	Baja
Calizas y margas rojas (capas rojas)	Cretácico superior-Eoceno	Media-baja
Calizas margosas y margas	Cretácico inferior	Baja
Calizas nodulosas, margocalizas silíceas y margas	Jurásico medio-superior	Media
Calizas y dolomías	Jurásico inferior-medio	Alta
Arcillas, margas, yesos y areniscas	Triásico superior	Muy baja
Dolomías tableadas y carniolas	Triásico superior	Media-alta
Ofitas	Triásico superior	Baja

SIMBOLOGÍA

- Lámina de agua
- Red hidrográfica
- Carreteras
- Núcleos urbanos
- Límite superficial del acuífero
- Manantial
- Pozo
- Sondeo
- 7 m — Profundidad del nivel piezométrico
- Nivel piezométrico
- I - I' — Localización del corte hidrogeológico
- Sinclinal
- Falla y cabalgamiento
- Límite de provincia

CORTES HIDROGEOLÓGICO

CORTE I-I´

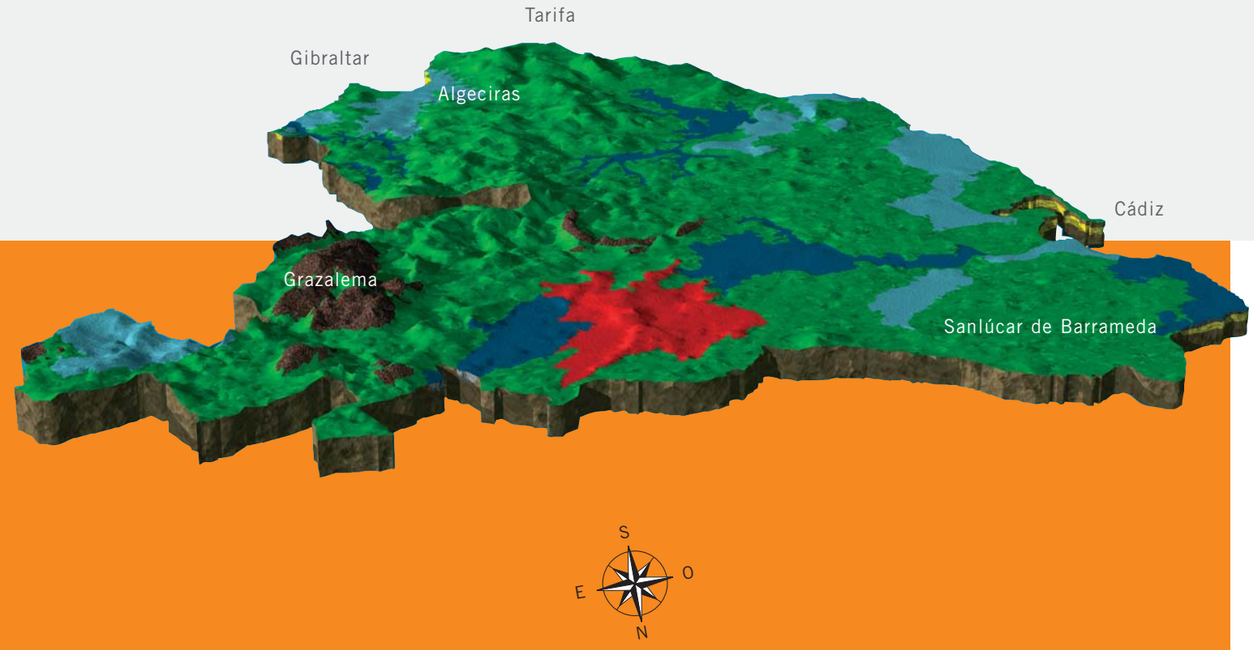


CORTE II-II´

Principales acuíferos

Arcos-Bornos-Espera

13.2



13.2.1 Situación y límites

El acuífero de Arcos-Bornos-Espera se localiza en el sector septentrional de la provincia de Cádiz, en la cuenca media-alta del río Guadalete, ocupando casi la totalidad del término municipal de Bornos, una parte significativa del término de Arcos de la Frontera y una pequeña área de Espera y Villamartín. En la zona, se ubican los núcleos urbanos de Arcos de la Frontera, Bornos, Coto de Bornos y Espera, cuya población alcanza los 36.862 habitantes según datos del Instituto nacional de Estadística para el año 2002.

El acuífero se localiza en la comarca de la Sierra de Cádiz, ocupando parte de las unidades fisiográficas de las Campiñas serranas nororientales, de Jerez-Arcos y de las vegas y valles fluviales del Guadalete. Administrativamente constituye la unidad hidrogeológica 05.54 (Arcos-Bornos-Espera), de la Cuenca Hidrográfica del Guadalete-Barbate, cuya poligonal tiene una superficie total de 443 km^2 y 70,5 km^2 de materiales permeables.

La topografía de la zona oscila entre los 340 m s.n.m. de la sierra de los Barrancos y los 30 m s.n.m. del cauce del río Guadalete a su paso por las inmediaciones de la Vega de la Pedrosa. Las hojas del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000 en las que se encuentra son las siguientes: nº 1.035 (13-43) Montellano, nº 1.048 (12-44) Jerez de la Frontera y nº 1.049 (13-44) Arcos de la Frontera.

13.2.2 Climatología e hidrología

13.2.2.1 Climatología

En este sector de la provincia de Cádiz, el clima es de tipo mediterráneo subtropical, con régimen térmico cálido.

Los datos pluvio-termométricos y de evapotranspiración potencial representativos de la zona (estación meteorológica del Pantano de Bornos) y correspondientes al periodo 1961-1983 son los siguientes:

- Precipitación media anual: 709 mm.
- Temperatura media anual: 17,6 ºC.
- Evapotranspiración Potencial (E.T.P.): 902 mm/a.
- Lluvia Útil media: 300 mm/a.



Núcleo urbano y Tajo de Arcos de la Frontera (4)

13.2.2.2 Hidrología

La zona muestra una red de tipo dendrítico cuyo eje preferente es el río Guadalete, que atraviesa la unidad en dirección NE-SO. Sus principales afluentes por su margen derecha son los arroyos de Almarda y del Salado de Espera, mientras que por su margen izquierda son el arroyo del Hornillo y el río Majaceite, que drena el sector más septentrional de la unidad.

El acuífero está en contacto, al este, con el Embalse de Bornos (204 hm^3) y al sur con el del Guadalcacín (800 hm^3), quedando el embalse de Arcos (25.000 m^3) en el centro del mismo. Está integrado dentro del sistema de explotación nº 16 "Guadalete" descrito en el Plan hidrológico del Guadalete-Barbate (1995). El drenaje natural de los manantiales que surgen de este acuífero se produce mayoritariamente hacia el río Guadalete y, en menor medida, hacia el río Majaceite.

13.2.3 Hidrogeología

13.2.3.1 Contexto geológico

El acuífero de Arcos-Bornos-Espera se localiza en el Dominio Subbético de las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas, que constituye el substrato alóctono sobre el cual se deposita, a partir del Mioceno, una serie detrítica para-autóctona y autóctona, limitando al SE con la Zona Circumbética de la cadena.

La secuencia completa está constituida, de muro a techo, por las siguientes unidades litoestratigráficas:

- Triásico: Predomina en los sectores norte y sur del acuífero. Está compuesto fundamentalmente por arcillas, margas abigarradas y yesos, en facies del tipo germano-andaluz. De forma aislada y caótica afloran bloques carbonatados típicos del Muschelkalk (dolomías) y otros de naturaleza ofítica.
- Jurásico: Aparece al sur en dos sectores bien diferenciados, el más occidental conforma los relieves de la Sierra Valleja y presenta una serie verticalizada de calizas y dolomías de una potencia próxima a los 500 m. El otro sector, situado más al este, en la Sierra de Aznar, presenta una serie compuesta, de muro a techo, por carniolas, dolomías y calizas, de unos 140 m de potencia.
- Cretácico: Sobre los materiales jurásicos anteriores y aflorando junto a ellos, aparece una serie de calizas de entre 145 y 245 m de espesor, que continúa con un potente paquete alternante de calizas y margocalizas.
- Formación para-autóctona: Está constituida principalmente por margas blancas (albarizas), a veces con intercalaciones de calcarenitas, que constituyen la base de la serie miocena postorogénica. Se le atribuye una edad Burdigaliense-Tortoniense y su potencia puede sobrepasar los 230 m.
- Mioceno: Se trata de una serie de carácter autóctono constituida por margas arenosas, calcarenitas, arenas, areniscas y margas verdes y grises. La potencia máxima de las margas arenosas es de 40 m y la serie de calcarenitas, areniscas y arenas llega a alcanzar los 120-140 m.
- Plioceno: Discordante sobre las formaciones anteriores, está constituido por arenas amarillas y biocalcarenitas que pueden alcanzar los 45 m de potencia.
- Cuaternario: Esta representado por arenas, gravas y arcillas rojas correspondientes a depósitos de terrazas antiguas y aluviales actuales. Su espesor es mínimo.

Desde el punto de vista estructural, los materiales subbéticos alóctonos deslizaron, durante el Mioceno, de sur a norte, siendo el Trías el principal nivel de despegue. Se piensa que los materiales que se estaban depositando cuando se produjeron los deslizamientos fueron las arcillas y margas blancas (albarizas y/o moronitas).

Los terrenos postorogénicos comienzan en el Mioceno superior y son transgresivos sobre los materiales alóctonos anteriores. Se disponen configurando un domo con los materiales suavemente plegados formando anticlinales y sinclinales de dirección aproximada norte-sur.

13.2.3.2 Características hidrogeológicas

13.2.3.2.1 Descripión general

Los materiales que conforman el acuífero se pueden dividir en dos subunidades, en cuanto a sus características y comportamiento hidrogeológico:

- Materiales detríticos postorogénicos: Engloban toda la serie terciaria y cuaternaria, incluidos los aluviales actuales. Se trata de materiales detríticos permeables por porosidad intergranular y que, en conjunto, presentan un carácter libre excepto los materiales miocenos (Mioceno de base) confinados bajo afloramientos margosos. Su superficie permeable es de 65 km^2 y su espesor medio es de 80 m aunque las calcarenitas, areniscas y arenas pueden alcanzar los 120-140 m de potencia. Tradicionalmente se han considerado tres sectores debido a la existencia de una serie de barreras naturales que son, de este a oeste, una falla de dirección aproximada N-S que limita la unidad por el este, la divisoria de aguas superficiales coincidente con la Sierra de Carija y otro accidente tectónico que pasa al oeste de Espera y sigue aproximadamente la traza del río Guadalete cuando gira hacia el S-SE después del embalse de Bornos. Los tres sectores se denominan Sector de Bornos, de Espera y de Arcos respectivamente.
- Afloramientos carbonatados del sur: Constituyen los relieves de la Sierra Valleja y la de Aznar. El primero forma una banda de unos 6 km de largo por 500 m de ancho. Se trata de materiales de alta permeabilidad, por fisuración y karstificación, que presentan un carácter libre. Sobre ellos se disponen las formaciones cretácicas, de baja permeabilidad, que lo aíslan y recargan. Este conjunto está en contacto directo con el Embalse del Guadalcacín y con los materiales detríticos con los existe comunicación hidráulica. Su superficie permeable es de 3 km^2. La Sierra de Aznar presenta una superficie elipsoide de 2,5 km^2 y también se trata de materiales de alta permeabilidad por fisuración y karstificación con carácter libre. Debe estar en contacto con los materiales detríticos postorogénicos.

En ambos casos el substrato impermeable está constituido por los materiales margoso-yesíferos del Triásico y por las margas blancas de la formación para-autóctona.



Núcleo urbano y embalse de Bornos (4)

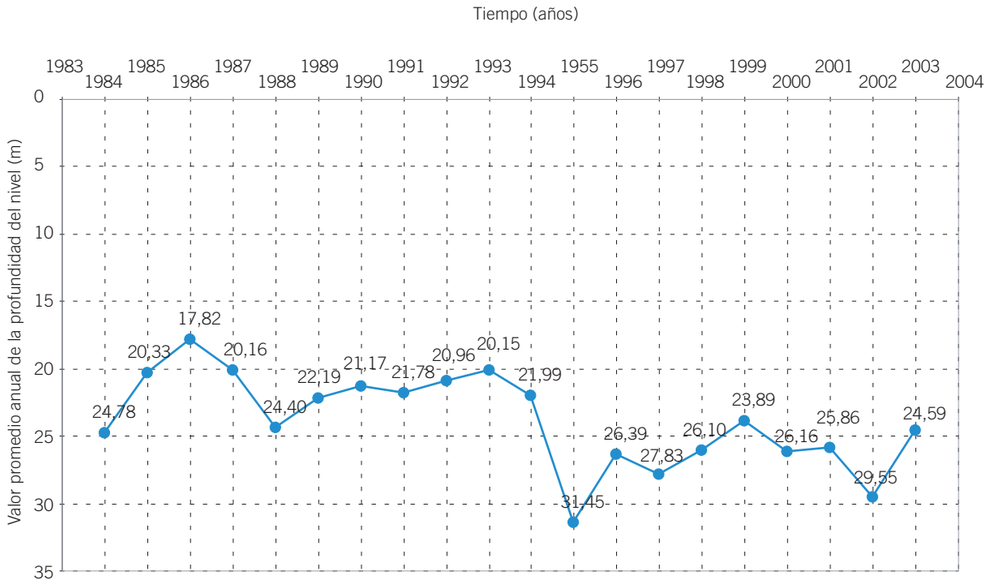
13.2.3.2.3 Funcionamiento hidrodinámico. Piezometría

La alimentación del sistema se produce por infiltración directa del agua de lluvia en sectores libres del acuífero, por retornos de riego y, posiblemente, a partir de los embalses de Bornos y Arcos.

Las salidas de agua, en el conjunto del acuífero, se producen por bombeo. La circulación del agua en el interior de los materiales detríticos se realiza en dirección suroeste; mientras que los afloramientos carbonatados del sur deben drenar hacia el norte alimentando así a los materiales cuaternarios. Además, el de Sierra Valleja puede que se alimente lateralmente del embalse del Guadalcacín.

Respecto a la evolución piezométrica, existen en total 43 puntos en la red de control del IGME, con registros semestrales desde el año 1984 hasta el 2003, aunque la mayoría comienzan a medirse a partir del año 1995. En el mapa de evoluciones piezométricas del acuífero de Arcos-Bornos-Espera se han incorporado los puntos de la red que tienen mayor número de medidas. No obstante para mostrar la evolución del acuífero en su conjunto se ha representado la media de todas las medidas de profundidad de nivel anuales existentes en el total de los puntos de la red de control. De este modo se observa que, en promedio, en el año 2003 el nivel del agua en el acuífero se encuentra a una profundidad similar a la medida inicialmente, mostrando el descenso producido por el final de la sequía del año 1995 y la posterior recuperación del nivel.

Evolución piezométrica media del acuífero de Arcos-Bornos-Espera



13.2.3.2.2 Parámetros hidrogeológicos

En el conjunto de materiales detríticos los parámetros hidrodinámicos son variables en función del contenido arcilloso de las areniscas y la variación de la red de fracturas que las afecta. En general presenta una transmisividad media-alta (entre 100 y 1.000 m^2/d), los caudales, obtenidos en sondeos de explotación existentes, oscilan entre 10 y 80 L/s con depresiones de 30 a 70 m. El rango de los caudales específicos está comprendido entre 0,14 y 2,66 L/s/m.

En los sondeos realizados para el abastecimiento de emergencia de núcleos urbanos de la Bahía de Cádiz (ITGE, 1995), situados próximos al embalse de Arcos, se calcularon unos valores de transmisividad de entre 93 y 164 m^2/d, estimándose un coeficiente de almacenamiento de $5x10^{-3}$. En los materiales carbonatados del sur no se dispone de ensayos de bombeo de los que deducir sus parámetros hidráulicos, no obstante la permeabilidad se considera alta-media.

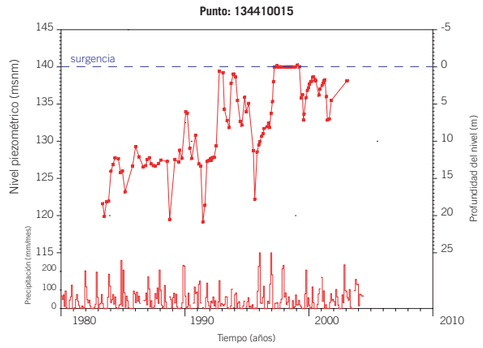
En cuanto a la evaluación de reservas del acuífero, un cálculo aproximado de las mismas (CHG-IGME, 2000-2001), estima su valor en 104 hm^3 para los materiales detríticos y en 25 hm^3 para los carbonatados del sur, siendo en total de 129 hm^3.

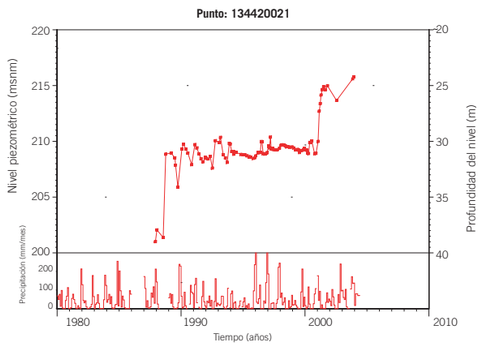


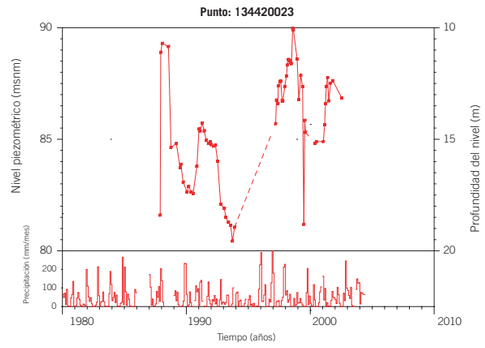
Sondeo Molino Ancho, en Bornos, uno de los puntos de la red piezométrica del acuífero (1)

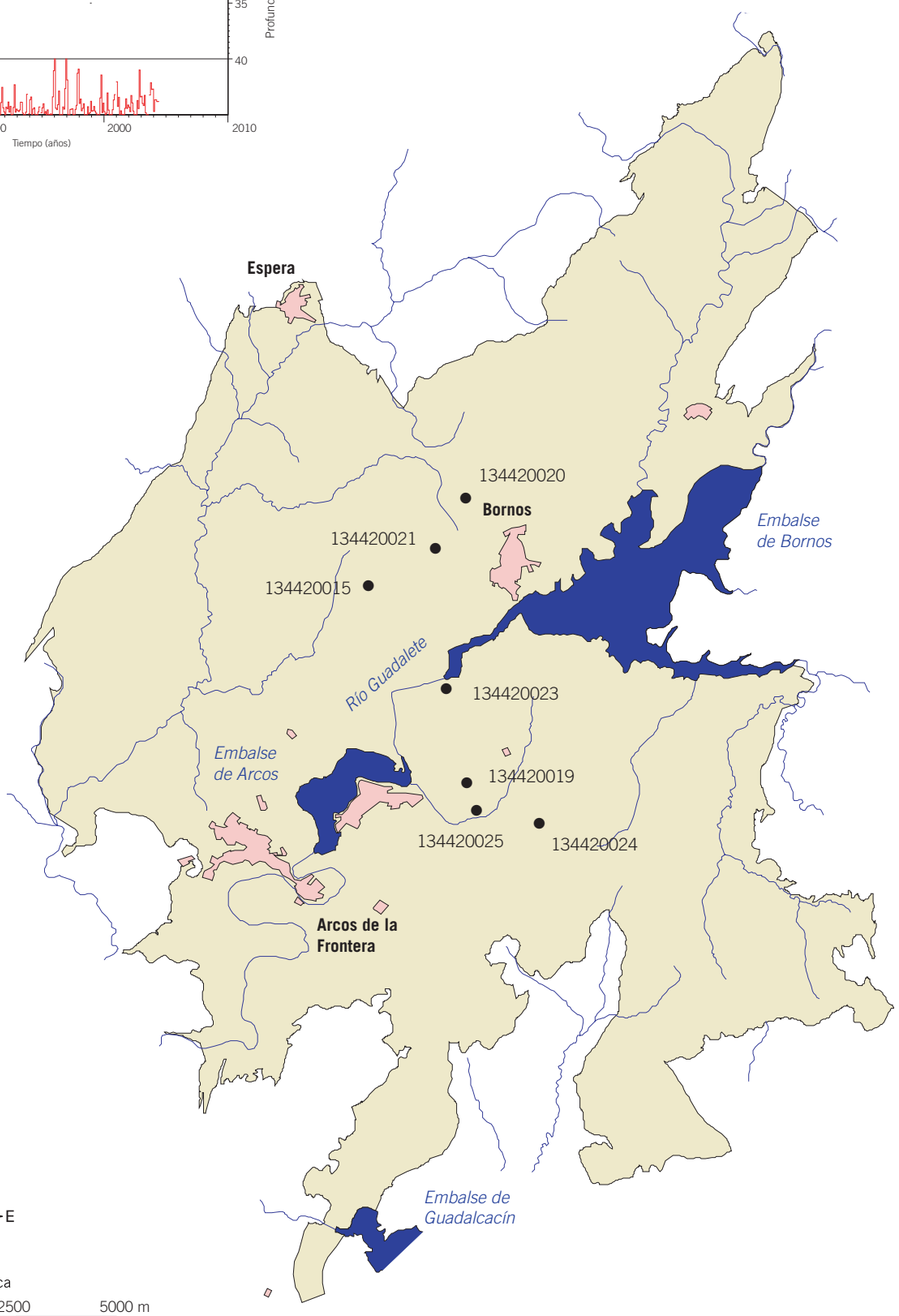
MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

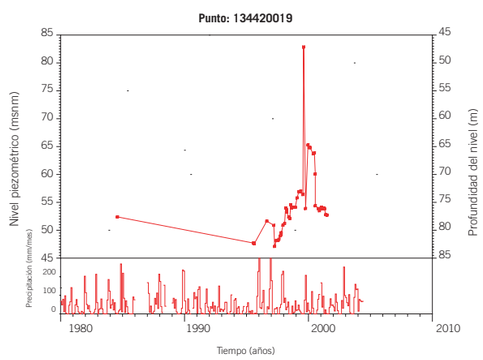
Evoluciones piezométricas en el acuífero de Arcos-Bornos-Espera

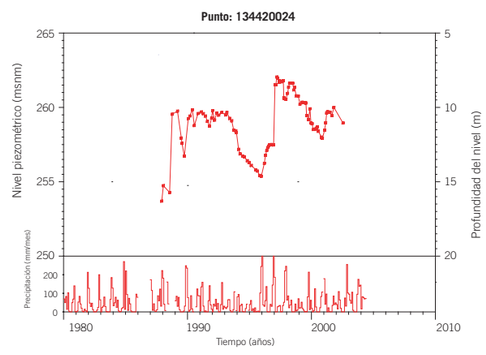


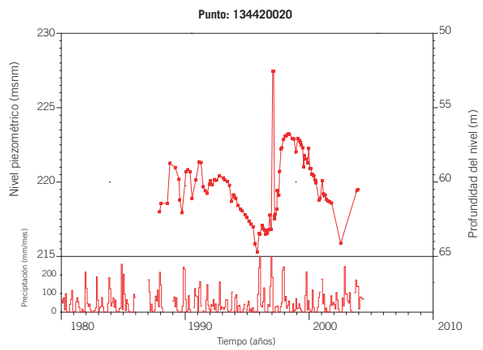












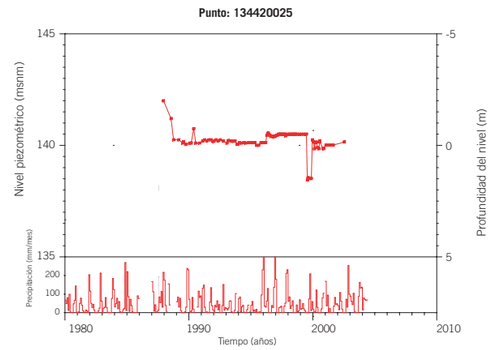
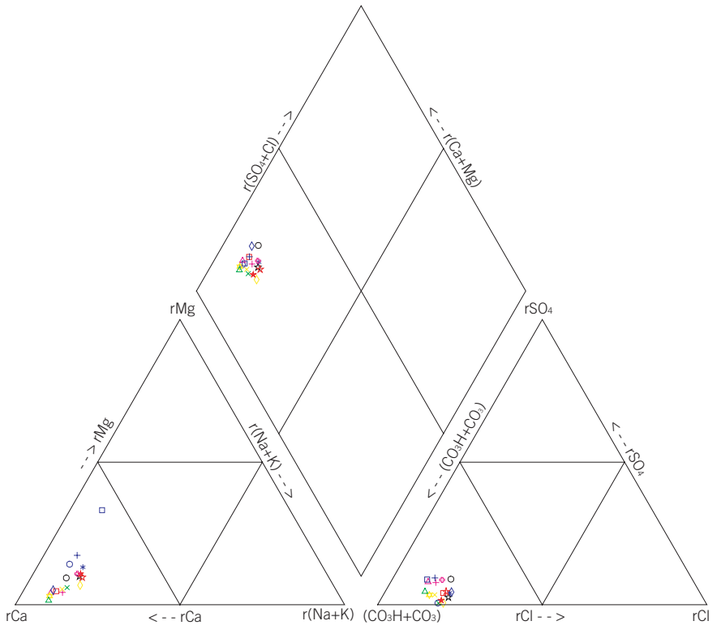
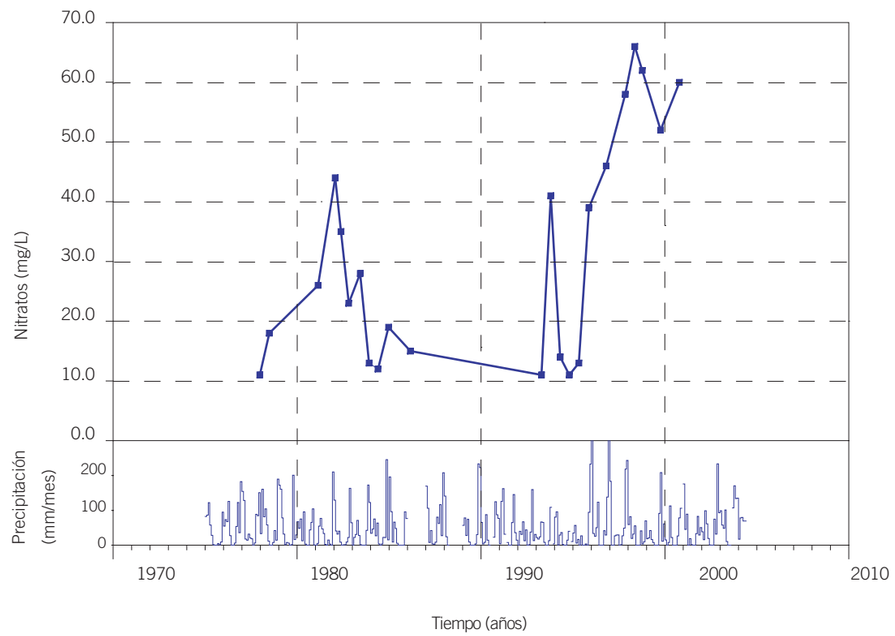


Diagrama de Piper-Hill-Langelier
Acuífero de Arcos-Bornos-Espera
(IGME, Red de calidad 2000)



Evolución de nitratos en el antiguo sondeo de abastecimiento urbano de Espera
(punto IGME 1344-2-0065)



13.2.4 Hidroquímica

13.2.4.1 Calidad química y composición natural

Las aguas subterráneas del acuífero presentan una dureza media o elevada y una mineralización débil. Los valores de conductividad eléctrica más frecuentes oscilan entre 400 y 500 µS/cm y presentan bajos contenidos en la mayoría de los componentes químicos mayoritarios. Se caracterizan por presentar una facies química muy homogénea: se trata de aguas bicarbonatadas cálcicas, como se muestra en el diagrama de clasificación de Piper-Hill-Langelier, aunque se han detectado facies cloruradas sulfatadas, de elevada mineralización, al norte del acuífero durante los primeros análisis realizados (año 1967). Éstos están asociados a pozos poco profundos que captan aguas en materiales margosos y no representan en ningún caso la calidad natural de las aguas de este acuífero.

En la base de datos del IGME existen 173 análisis químicos, realizados entre los años 1967 y 2002, pertenecientes en general a los materiales detríticos. Los valores característicos se resumen en la tabla adjunta, donde los máximos corresponden a las facies cloruradas sulfatadas detectadas al norte del acuífero en 1967, mencionadas anteriormente.

Características químicas del acuífero de Arcos-Bornos-Espera

mg/L	Máximo	Mínimo	Promedio	Mediana
Cloruros	4.605	13	78	25
Sulfatos	3.168	1	51	8
Bicarbonatos	2.520	18	348	225
Nitratos	96	0	25	19
Sodio	1.840	5	35	12
Magnesio	750	1	18	6
Calcio	1.050	5	90	82
Conductividad eléctrica (µS/cm)	19.350	242	681	443

Desde el punto de vista de su utilización, resultan aptas para el abastecimiento urbano, con una calidad excelente por su baja mineralización; y para el regadío se clasifican como C1/S1 lo cual permite cualquier tipo de cultivo.

13.2.4.2 Contaminación y vulnerabilidad

La práctica totalidad de los materiales acuíferos presentan una vulnerabilidad alta a la contaminación, excepto en los sectores en que éste se encuentra confinado.

Las aguas subterráneas del acuífero no muestran indicios de afección significativa en los parámetros químicos analizados. En este sentido únicamente cabe destacar un contenido medio en nitratos más elevado de lo habitual en las aguas subterráneas que, puntualmente, supera los límites establecidos en la legislación vigente. Un ejemplo claro del riesgo que supone esta concentración de nitratos se denota en su evolución en el antiguo sondeo de abastecimiento a Espera (punto IGME 1344-2-0065), donde el contenido en aumento iría ligado posiblemente al empleo excesivo de abonos nitrogenados de la zona.

Se estima que se vierten un total de 215 t/a de nitrógeno en las 1.538 ha regadas (con aguas superficiales y subterráneas) existentes en el acuífero, resultado de aplicar el coeficiente de 0,14 t/ha/a utilizado en el Atlas Hidrogeológico de Andalucía para este acuífero de la Cuenca Media del Guadalete.

13.2.5 Explotación y balance

13.2.5.1 Entradas

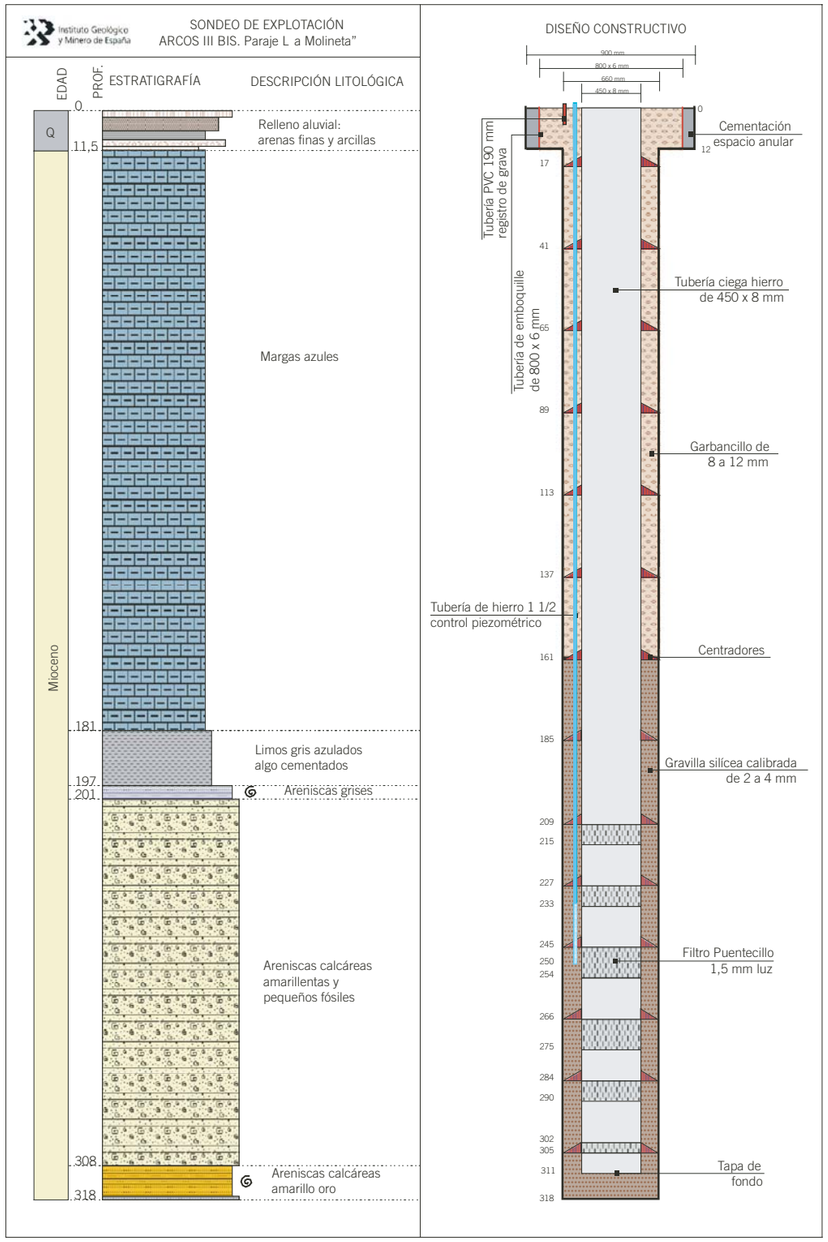
La recarga de este acuífero se realiza fundamentalmente por la infiltración directa de la lluvia, considerando, para los materiales detríticos postorogénicos, una infiltración de 100 mm/a y una superficie de recarga de 65 km^2; y para los materiales carbonatados, una infiltración de 200 mm/a y una superficie de 5,5 km^2 (CHG-IGME, 2000-2001), la recarga del sistema alcanza los 7,6 hm^3/a.

13.2.5.2 Salidas

Las principales salidas del agua, en el conjunto del acuífero, se producen por bombeo. De forma natural el acuífero se descarga por drenaje al río Guadalete.

Los núcleos de población de Arcos de la Frontera, Bornos y Espera, y las pedanías de El Cañuelo, Matite, La Perdiz y Las Abiertas se abastecen de aguas subterráneas procedentes de 11 sondeos del acuífero. Atendiendo a las encuestas de abastecimiento de aguas subterráneas realizadas por el IGME en el año 2002-2003, el volumen explotado mediante sondeos es del orden de 3,7 hm^3/a.

Materiales atravesados y diseño constructivo del sondeo de explotación realizado en agosto de 2001 para el abastecimiento urbano de Arcos de la Frontera.





Sondeo de abastecimiento a la pedanía Las Abiertas (1)

Según la actualización del año 2002 del inventario y caracterización de los regadíos de Andalucía, las extracciones por bombeo para regadío en el acuífero suponen del orden de 2,8 hm³/a, que se utilizan para el riego de 551 ha de terreno cultivado.

Con estas consideraciones, el balance hídrico del acuífero de Arcos-Bornos-Espera (año 2002) es el siguiente:

Entradas	hm³/a
Materiales detríticos postorogénicos	
Infiltración del agua de lluvia	6,5
Materiales carbonatados del sur	
Infiltración del agua de lluvia	1,1
Total	**7,6**
Salidas	hm³/a
Abastecimiento urbano	3,7
Regadío	2,8
Aportes al río Guadalete	1,1
Total	**7,6**

13.2.6 Problemática existente y pautas de gestión

Las aguas subterráneas del acuífero de Arcos-Bornos-Espera presentan una excelente calidad química. Son, en general, aguas de baja mineralización y por ello aptas y muy adecuadas para el consumo humano. No obstante, la amenaza del aumento del contenido en nitratos procedentes, en primer término, de la actividad agraria es patente: los contenidos de fondo, aunque moderados, han producido de forma puntual el abandono de sondeos de explotación debido al exceso y aumento paulatino de la concentración de éste parámetro en el acuífero. La protección de la calidad de las aguas subterráneas, en este caso, se traduce en la aplicación de medidas preventivas que eviten el deterioro de las masas de agua y mantengan o mejoren su presente composición química.

La explotación actual del acuífero es notable. Los datos de extracciones, tanto para abastecimiento urbano como para regadío, revelan que el acuífero está prácticamente al límite de su explotación, tan sólo quedan los recursos que mantienen el flujo natural al río Guadalete.

En este sentido cabe destacar el papel trascendental de los recursos y reservas de este acuífero durante el periodo de sequía de 1992-1995. A través de una batería de sondeos, denominados Arcos I-II-III-IV y V, se proporcionó un caudal conjunto superior a 500 L/s para el abastecimiento de emergencia de la Bahía de Cádiz. Esta infraestructura existe hoy en día y resulta primordial su conservación para acometer otras actuaciones de urgencia que pudieran plantearse en un futuro. Pero para que esta infraestructura sea eficiente, deberían incrementarse los recursos hídricos subterráneos potencialmente aprovechables, bien mediante la aplicación de técnicas de recarga artificial o bien mediante la optimización del uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, práctica ésta última que, junto con la reutilización de aguas depuradas para el riego, liberaría recursos de buena calidad, utilizados en agricultura, para su aprovechamiento prioritario en abastecimiento urbano.



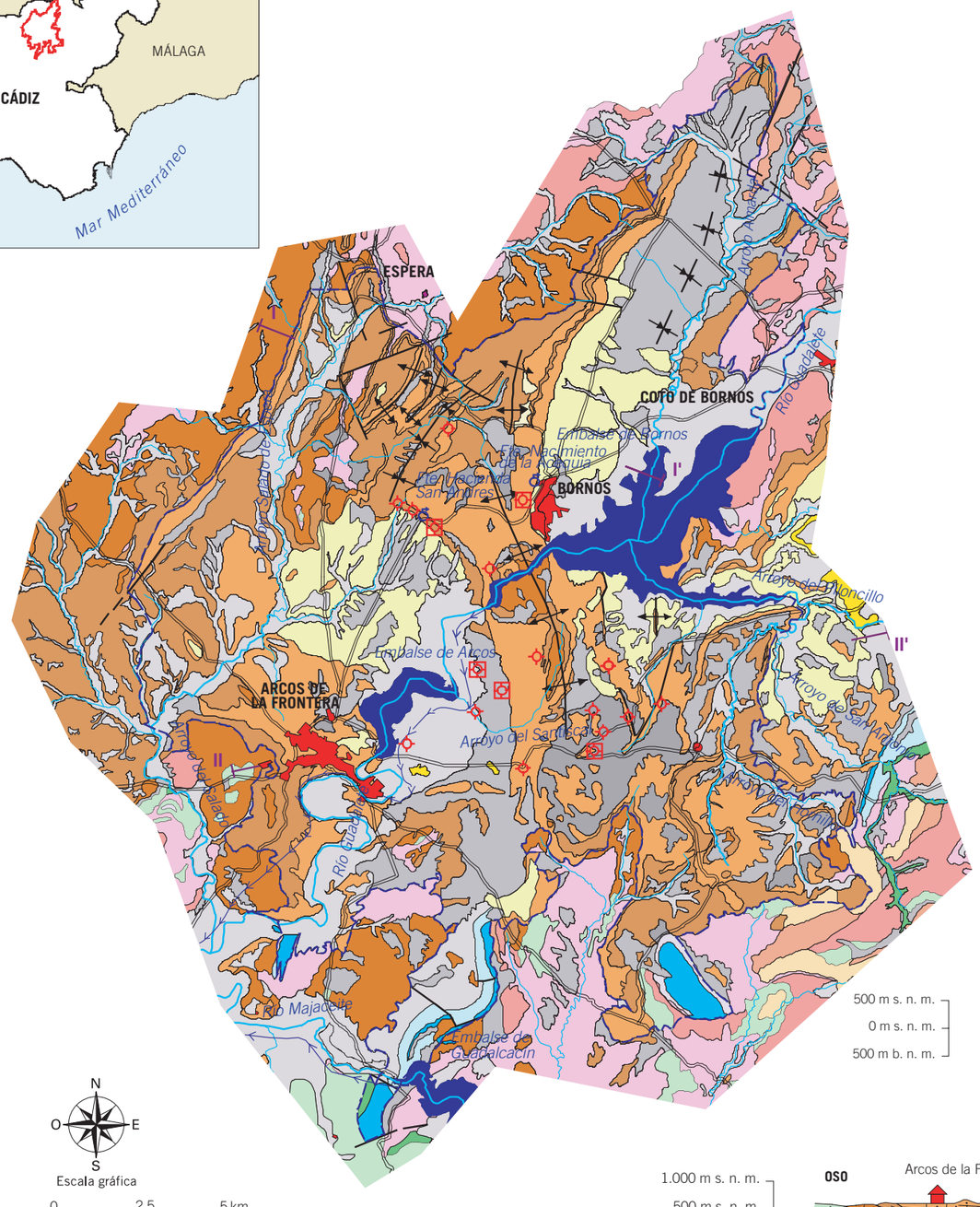
Sondeo de abastecimiento al núcleo urbano de Espera (1)

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

Acuífero de Arcos-Bornos-Espera

SITUACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA PROVINCIA





LEYENDA

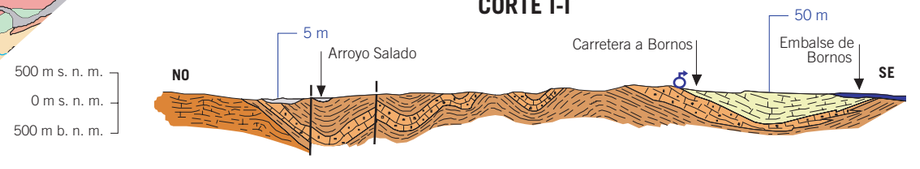
LITOLOGÍA	EDAD GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD
Arenas, arcillas y costras (depósitos edáficos)	Cuaternario	Media
Arcillas, arenas y cantos (depósitos de ladera)	Cuaternario	Media
Cantos, arenas, limos y gravas (terrazas fluviales)	Cuaternario	Alta
Arenas finas cuarzosas con arcillas y suelos rojos	Pliocuaternario	Media-baja
Arenas y limos arenosos amarillentos con niveles conchíferos	Plioceno inferior-medio	Media
Margas verdes y grises algo arenosas	Mioceno superior	Baja
Calizas arenosas bioclásticas	Mioceno superior	Alta
Margas gris-azuladas con arenas finas a techo	Mioceno superior	Baja
Margas blancas silíceas (albarizas y/o moronitas)	Mioceno medio	Muy baja
Margas y margocalizas blancas	Oligoceno	Baja
Margas y margocalizas con niveles calcáreos turbidíticos	Paleoceno Eoceno	Baja
Calizas y margas rojas (capas rojas)	Cretácico superior-Eoceno	Media-baja
Calizas margosas y margas	Cretácico inferior	Baja
Calizas nodulosas, margocalizas silíceas y margas	Jurásico medio-superior	Media
Calizas y dolomias	Jurásico inferior-medio	Alta
Arcillas, margas, yesos y areniscas	Triásico superior	Muy baja
Dolomías tableadas y carniolas	Triásico superior	Media-alta

SIMBOLOGÍA

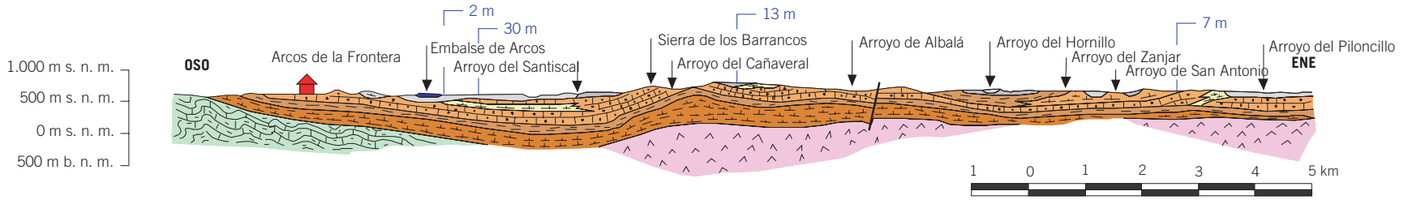
- Lámina de agua
- Red hidrográfica
- Canal de riego
- Carreteras
- Autovía
- Núcleos urbanos
- Límite superficial del acuífero
- I - I' Localización del corte hidrogeológico
- Sondeo
- Batería de sondeos
- Manantial
- Pozo
- 7 m Profundidad del nivel piezométrico
- Anticlinal
- Sinclinal
- Falla

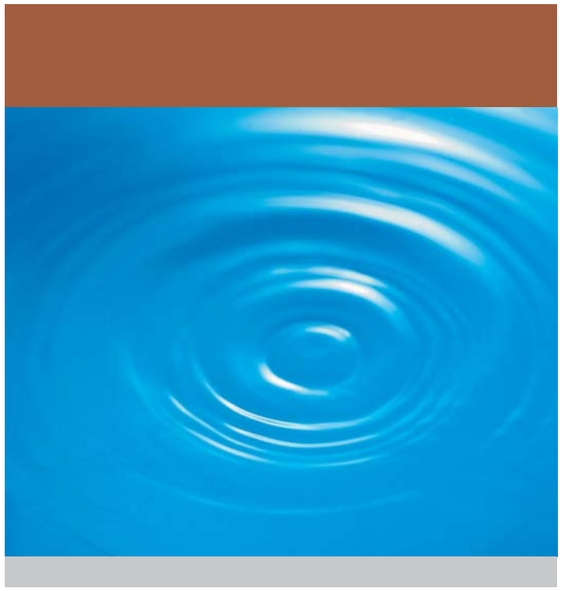
CORTES HIDROGEOLÓGICOS

CORTE I-I´



CORTE II-II´





De “Soledades”

Como otra vez, mi atención
está del agua cautiva;
pero del agua en la viva
roca de mi corazón.

¿Sabes, cuando el agua suena,
si es agua de cumbre o de valle,
de plaza, jardín o huerta?.

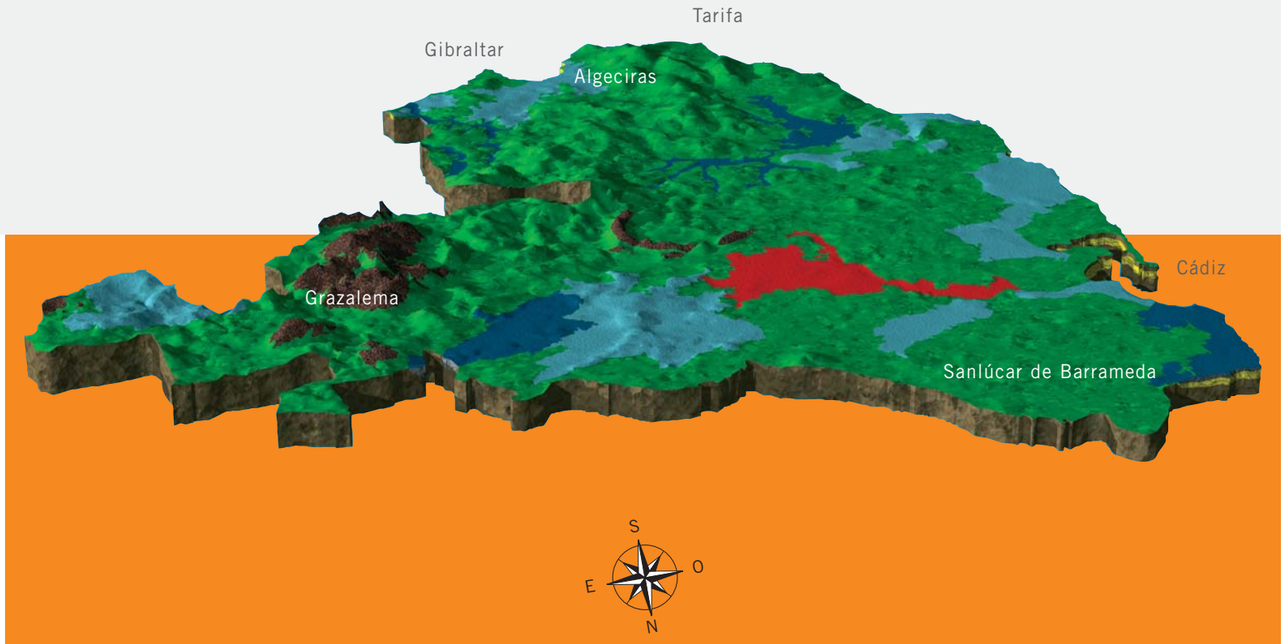
En los labios niños,
las canciones llevan
confusa la historia
y clara la pena;
como clara el agua
lleva su conseja
de viejos amores, que nunca se cuentan.

Antonio Machado

Principales acuíferos

Acuífero aluvial y pliocuaternario del río Guadalete

13.3



Raquel Morales García
Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz

13.3.1 Situación y límites

El acuífero aluvial del río Guadalete, y los materiales pliocuaternarios permeables asociados a él, se localiza en la cuenca media-baja del Guadalete, en el sector central de la provincia de Cádiz, ocupando una parte significativa de los términos municipales de Arcos de la Frontera, San José del Valle y Jerez de la Frontera. En éste último se localizan, a lo largo del río Guadalete, las pedanías de El Portal, La Ina, San Isidro de Guadalete, La Barca de la Florida, José Antonio, El Torno y Torrecera. En esta área se asienta una población de unos 9.500 habitantes, según datos del Instituto Nacional de Estadística para el año 2002.

El acuífero, que se localiza en la comarca de la Campiña de Jerez, ocupa parte de las unidades fisiográficas de la Campiña de Jerez-Arcos y de las vegas y valles fluviales del Guadalete. Administrativamente constituye la unidad hidrogeológica 05.55 (Aluvial del Guadalete), de la Cuenca Hidrográfica del Guadalete-Barbate, cuya poligonal tiene una superficie total de 338 km^2 y 150 km^2 de materiales permeables. Por otro lado, el acuífero se incluye dentro del Sistema de Explotación nº 16 “Guadalete” descrito en el Plan Hidrológico del Guadalete-Barbate (1995).

El relieve de la zona oscila entre los 130 m s.n.m. en el entorno de la localidad de San José del Valle, en las estribaciones de la Sierra de Las Cabras, hasta los 2 m s.n.m. en la cuenca baja, en las proximidades de Doña Blanca.

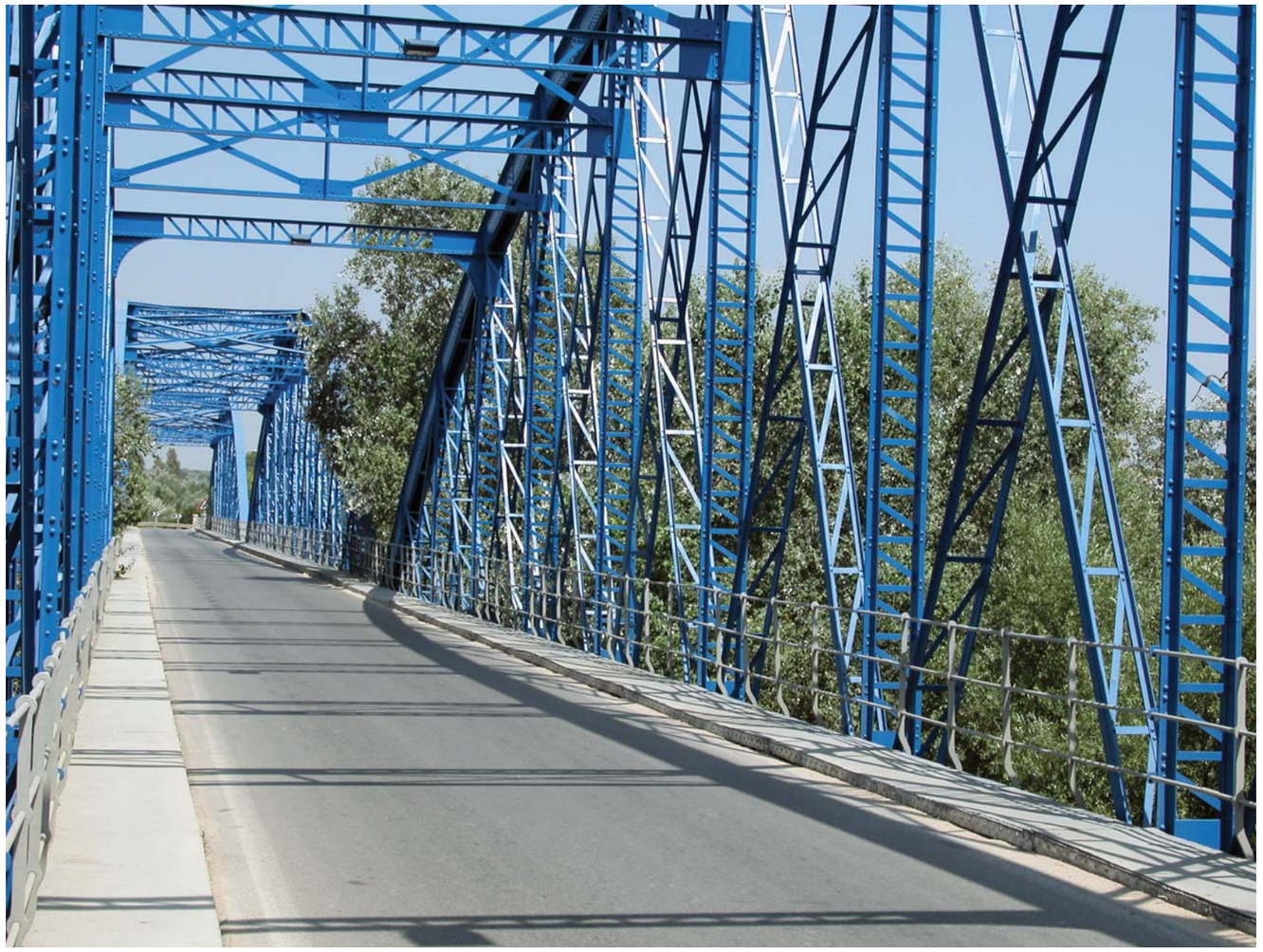
Las hojas del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000 en las que se encuentra son las siguientes: nº 1.048 (12-44) Jerez de la Frontera, nº 1.049 (13-44) Arcos de la Frontera, nº 1.062 (12-45) Paterna de Rivera y 1.063 (13-45) Algar.

13.3.2 Climatología e hidrología

13.3.2.1 Climatología

El clima de este sector de la provincia de Cádiz es de tipo mediterráneo marítimo y mediterráneo subtropical en el extremo más oriental. Los datos pluvio-termométricos considerados en el Plan Hidrológico del Guadalete-Barbate, para el periodo 1954 -1988, son los siguientes:

- Precipitación media anual: 500-700 mm.
- Temperatura media anual: 17 ºC.
- Evapotranspiración potencial (E.T.P).: 900 mm/año.
- Lluvia Útil media: 300 mm/año.



Puente sobre el río Guadalete, La Barca de la Florida (6)

13.3.2.2 Hidrología

La red hidrográfica está configurada por el río Guadalete, que atraviesa y drena la unidad en dirección E-O, el río Majaceite y por diversos arroyos afluentes como el Salado de Espera, Castillana, Charcos, Vico, Cuerpo-Hombre, Teja, Bocanegra (Laguna de las Quinientas), Fuente Bemeja (Laguna de Medina), Fosos, Salado de Paterna, Sierra y Molineta. Éste último, afluente del Majaceite, drena buena parte del sector oriental del acuífero.

En el extremo nororiental del acuífero, en el cauce del río Majaceite, se localiza el embalse del Guadalcacín con una capacidad de 800 hm3. Este embalse, que forma parte del sistema de regulación del Trasvase Guadiaro-Majaceite, es el de mayor volumen de la provincia de Cádiz.

Otras infraestructuras hidráulicas significativas que atraviesan la unidad son: las conducciones para abastecimiento a la Bahía de Cádiz (de Los Hurones y Tempul), así como la red de canales de riego de los embalses de Bornos y Guadalcacín. Además, desde la sequía de 1995, existe en el acuífero de Los Sotillos, en las inmediaciones de las citadas conducciones, una infraestructura de emergencia para el bombeo de unos 300 L/s de aguas subterráneas.

Canal de riego, en la zona regable del Guadalcacín (entre las poblaciones de Jédula y Junta de los Ríos)

13.3.3 Hidrogeología

13.3.3.1 Contexto geológico

El acuífero se enmarca en el extremo occidental de las Cordilleras Béticas. Los materiales que afloran pertenecen a la Zona Subbética, están comprendidos entre el Triásico y el Mioceno (Aquitaniense) y tienen un carácter alóctono. Igualmente aparecen formaciones para-autóctonas (o autóctonas) terciarias y una serie claramente autóctona que abarca desde el Mioceno hasta el Holoceno.

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

- Triásico: compuesto fundamentalmente por arcillas, margas abigarradas y yesos, en facies del tipo germano-andaluz. De forma aislada y caótica afloran bloques carbonatados, típicos del Muschelkalk, y otros de naturaleza ofítica.
- Jurásico: está muy poco representado y sólo aparece al norte, en la Sierra Valleja, formando parte del acuífero de Arcos-Bornos-Espera.
- Cretácico: sobre los materiales triásicos y en contacto mecánico aparece una serie de margas arcillosas verdes y por calizas y margocalizas de facies “capas rojas”. Afloran principalmente en las inmediaciones de San José del Valle.
- Formación para-autóctona: constituida principalmente por margas blancas (albarizas), a veces con intercalaciones de calcarenitas, que forman la base de la serie miocena. Se le atribuye una edad Burdigaliense-Andaluciense.
- Mioceno: se trata de una serie de carácter autóctono constituida por margas arenosas, calcarenitas, arenas, areniscas y margas verdes y grises. La potencia máxima de las margas arenosas es de 100 a 150 m y la serie de calcarenitas, areniscas y arenas llega a alcanzar los 50 m.
- Plioceno: se dispone discordante sobre las formaciones anteriores y está constituido por arenas, limos arenosos, margas y niveles conchíferos (facies ostionera). En general presenta poca potencia pero en determinados sectores puede alcanzar hasta los 50 m.
- Cuaternario: está representado por arenas, gravas y arcillas rojas correspondientes a depósitos de terrazas antiguas y aluviales actuales. Su espesor es mínimo.

Desde el punto de vista estructural, los materiales subbéticos alóctonos deslizaron, durante el Mioceno, de Sur a Norte, siendo el Trías el principal nivel de despegue. Se piensa que los materiales que se estaban depositando cuando se produjeron los deslizamientos fueron las arcillas y margas blancas (albarizas y/o moronitas).

Los terrenos postorogénicos, que conforman el acuífero, comienzan en el Mioceno superior y son transgresivos sobre los materiales alóctonos anteriores. Se disponen horizontales o subhorizontales sobre ellos.

13.3.3.2 Características hidrogeológicas

13.3.3.2.1 Descripión general

Los materiales con interés hidrogeológico son los detríticos postorogénicos del Mioceno, Plioceno y Cuaternario. El substrato impermeable está constituido por los materiales margoso-yesíferos subbéticos del Triásico y por las margas blancas de la formación para-autóctona.

En el acuífero se distinguen dos sectores:

- Llanos del Sotillo: ubicado en la margen izquierda del río Guadalete, entre el río Majaceite y el arroyo Salado de Paterna. Sus límites son, por el noroeste, los depósitos aluviales del río Guadalete, el aluvial del Majaceite por el noreste, los afloramientos margosos del Cretácico, Mioceno y Paleógeno por el sureste y suroeste y el aluvial del arroyo Salado de Paterna por el oeste. Litológicamente esta constituido por materiales detríticos pliocenos, plio-cuaternarios y cuaternarios.
- Aluvial del Guadalete: ocupa el resto de la superficie permeable del acuífero siguiendo una franja a ambos lados del río Guadalete a la que se añade la zona denominada Loma y Dehesa de El Torno. Esta constituido principalmente por los materiales cuaternarios asociados a la dinámica fluvial del río Guadalete.



Canal de riego, en la zona regable del Guadalcacín (entre las poblaciones de Jédula y Junta de los Ríos) (6)



Depósitos aluviales del río Guadalete, en las proximidades de la población de Junta de los Ríos (6)

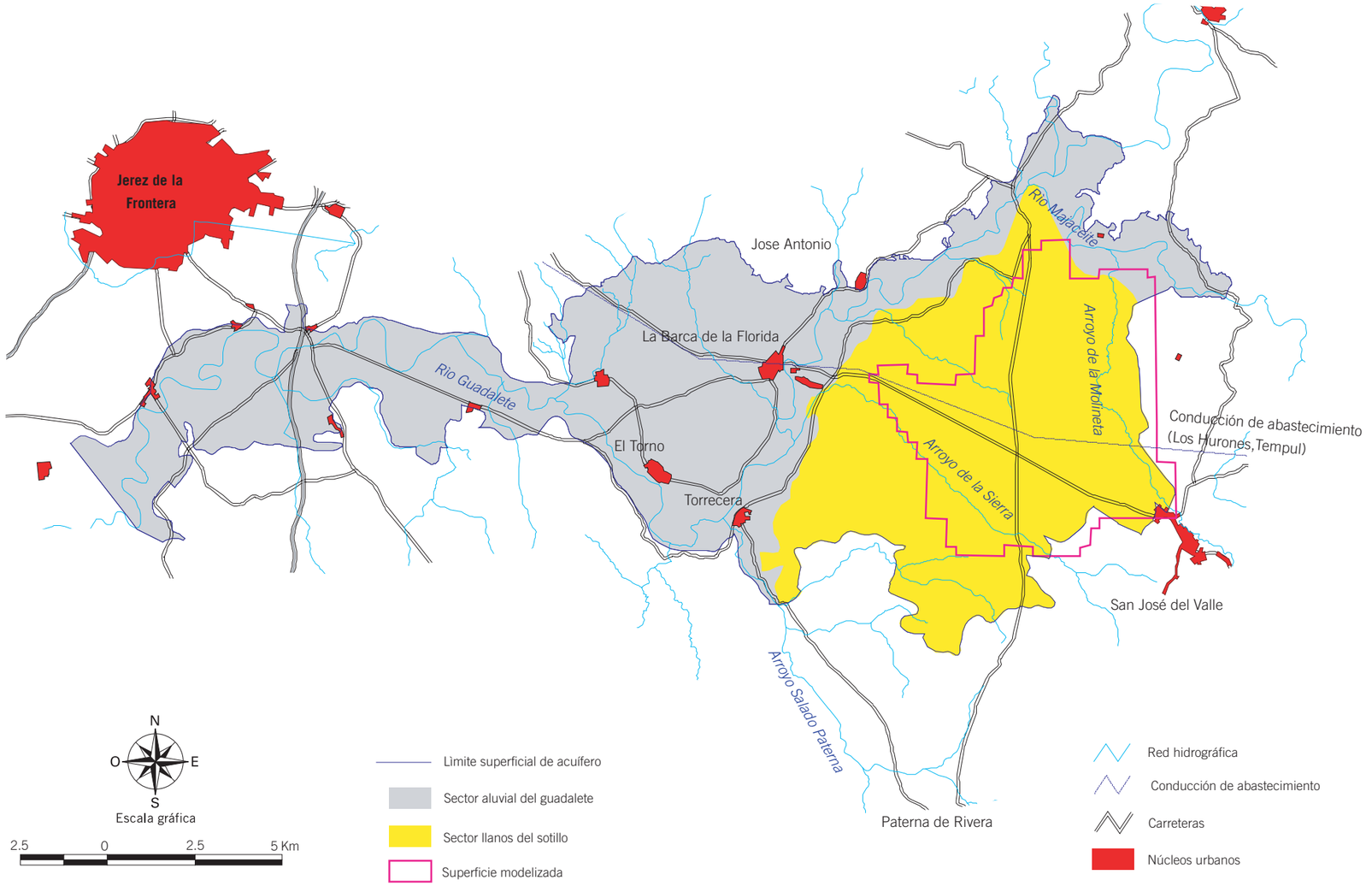
En ambos casos se trata de materiales detríticos permeables por porosidad intergranular y que presentan un carácter libre. Se desconoce la relación entre estos dos sectores si bien, por la posición de los niveles piezométricos y la litología del área, se considera que están desconectados hidráulicamente. Su superficie permeable total es de 150 km² (45 km² en los “Llanos del Sotillo”) y su espesor es variable, oscilando entre 10 y 100 m. La potencia máxima corresponde al sector de los “Llanos del Sotillo” donde, además, se concentra la mayor parte de las extracciones de aguas subterráneas.

El sector “Aluvial del Guadalete” se conoce poco. El área mejor conocida es la zona de los “Llanos del Sotillo”, en parte por la labor realizada por la Comunidad de Regantes de Los Sotillos, que ha ejecutado una campaña de geofísica y el seguimiento periódico de los niveles piezométricos en este sector de acuífero; y en parte por el trabajo del IGME que, en el año 2002, desarrolla un modelo matemático del funcionamiento del mismo.

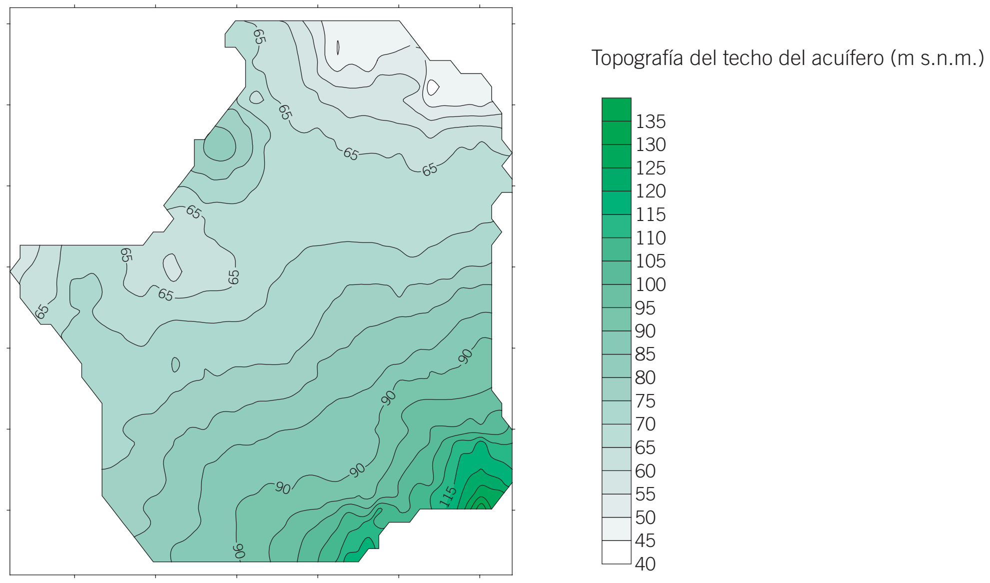
La cota de la superficie topográfica modelizada está comprendida entre los 50 y los 130 m s.n.m., con una altitud media de 70 m s.n.m. El substrato impermeable, establecido por datos geofísicos, se sitúa entre los -50 y 125 m s.n.m. y constituye un paleorelieve donde destacan dos “canales” subparalelos con dirección N - S, que son las zonas donde el acuífero presenta la mayor potencia. Este espesor, comprendido entre los 5 y los 110 m, se va reduciendo considerablemente hacia las zonas de borde del sector acuífero, quedando acuñado en todas las direcciones hasta que resulta inapreciable.

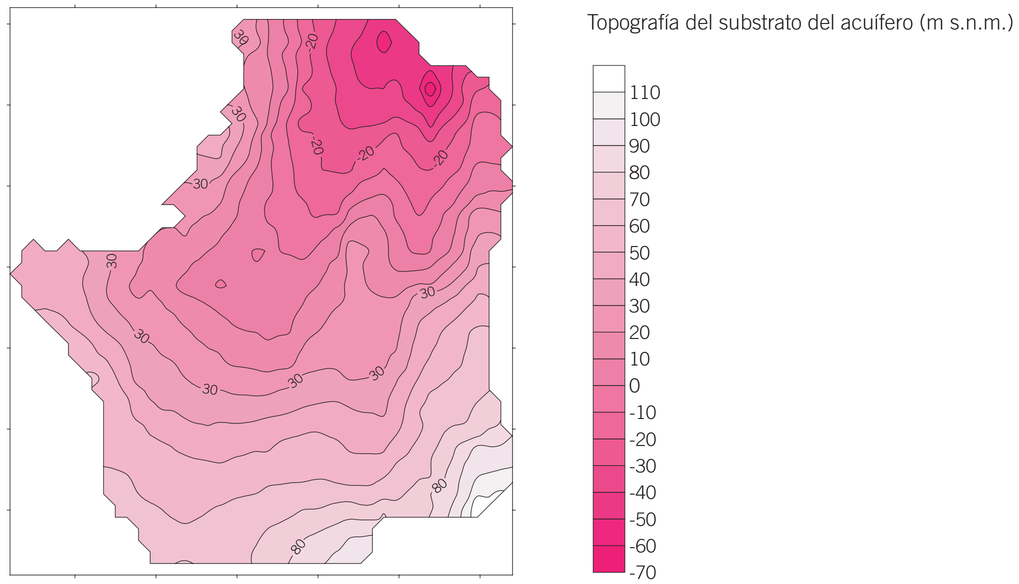
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

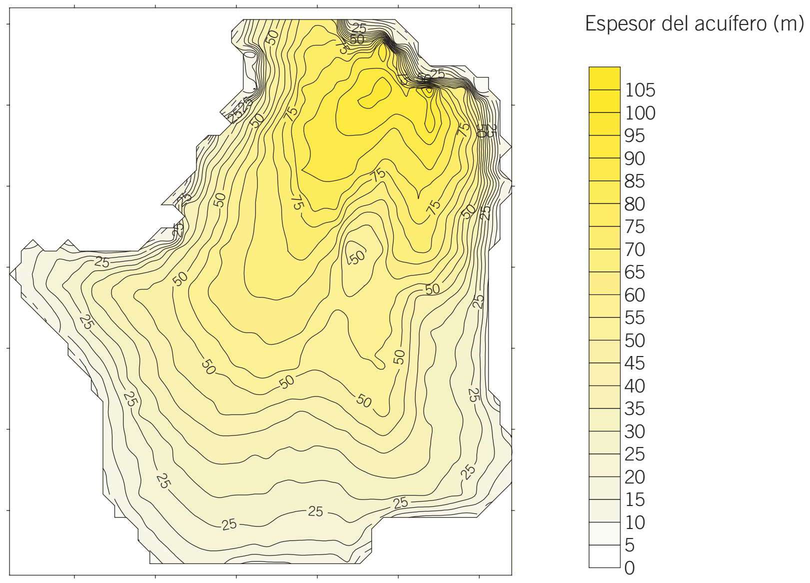
Esquema de situación de los sectores del acuífero Aluvial y pliocuaternario del río Guadalete



Geometría del sector acuífero de Los Llanos del Sotillo







13.3.3.2.2 Parámetros hidrogeológicos

Únicamente se dispone de datos referidos al sector de los Llanos del Sotillo, dichos valores son (CHG, 1994):

- Transmisividad: 86 m²/d
- Coeficiente de almacenamiento: 2 a 5%

De la interpretación de los ensayos de bombeo realizados en sondeos propiedad de la Comunidad de Usuarios Los Sotillos, en 1990, se obtienen unos valores de permeabilidad de entre 5 y 11 m/d y de transmisividad de entre 130 y 461 m²/d.

13.3.3.2.3 Funcionamiento hidrodinámico. Piezometría

En el sector del Aluvial del Guadalete la recarga se realiza por infiltración del agua de lluvia y, en menor medida, por retorno del agua de regadío. La dirección de la escorrentía subterránea es perpendicular a la dirección del río, con gradientes hidráulicos medios inferiores al 1 %. Las salidas se realizan a través del río Guadalete, que recorre el acuífero de NE a SO, y por bombeos destinados a riego agrícola. La relación acuífero-río no es bien conocida aunque todo parece indicar que el río es normalmente efluente (descarga el acuífero), excepto en épocas de avenidas en que puede influente (recarga al acuífero). Por tanto, el río Guadalete constituye una fuente de recarga de los materiales acuíferos y el principal eje de drenaje de los mismos.



Bombeo para riego agrícola, al norte de la localidad de Majarromaque (o José Antonio) (6)

En el sector de los Llanos del Sotillo la alimentación se produce por la infiltración del agua de lluvia, por retornos de riego, y por aportes laterales, localizados al E y S del acuífero, debidos a la escorrentía superficial de formaciones de baja permeabilidad. El drenaje natural se produce por manantiales, situados al N y NO del sector, y por la descarga de los arroyos que atraviesan el acuífero en dirección N y NO (Arroyos de La Molineta, Zumajo y de la Sierra) que son efluentes en su parte baja; no obstante la mayor parte del drenaje actual se realiza por bombeo agrícola.

En relación con la evolución piezométrica existe, por parte de la Comunidad de Regantes de Los Sotillos y en ese sector del acuífero, un seguimiento contínuo en una serie amplia de piezómetros. Del análisis de estos datos se obtienen varias observaciones importantes.

- La superficie piezométrica refleja una línea divisoria con dirección N - S que separa un sector este con gradiente hidráulico de 0.5% y drenaje hacia el arroyo de La Molineta, y otro oeste en el que el gradiente es mayor (1%) y el drenaje se da hacia el arroyo Zumajo.
- Los niveles medidos definen un sentido de flujo preferente hacia el Norte y Noroeste.
- Se puede considerar que los descensos entre 1965 y 1980 son despreciables, salvo en la zona central del acuífero, cuyos descensos son de 1 a 3 m.

Posteriormente (ITGE, 1993), los datos reflejan descensos generalizados entre 0,09 y 1,12 m/a con valores medios en torno a 0,6 m/a para la totalidad del sector acuífero.



Maíz en regadío, en la llanura aluvial del Guadalete (Majarromaque) (6)

13.3.4 Hidroquímica

13.3.4.1 Calidad química y composición natural

Las aguas subterráneas del acuífero son, en general, de mineralización muy fuerte y duras particularmente en la zona próxima a las marismas (límite occidental). Presentan facies clorurada sódica y magnésica y, en el área de Jerez de la Frontera, bicarbonatada cálcica. Se observa un progresivo y generalizado aumento de dureza y mineralización de Este a Oeste, debido a la influencia del río.

En la base de datos del IGME existen 21 análisis, realizados entre los años 1967 y 1984, pertenecientes al conjunto del acuífero. Los valores característicos se resumen en la tabla adjunta, donde los valores más elevados corresponden al sector Aluvial del Guadalete.

Características químicas del acuífero Aluvial y pliocuaternario del río Guadalete

mg/L	Máximo	Mínimo	Medio
Cloruros	1.830	28	356
Sulfatos	1.968	3	511
Bicarbonatos	1.590	117	409
Nitratos	99	5	41
Sodio	1.150	0	206
Magnesio	261	5	82
Calcio	630	44	194
Conductividad eléctrica (µS/cm)	8.310	282	2.393

Localmente presentan una deficiente calidad para abastecimiento urbano, siendo igual su calificación para regadío, debido a su elevada salinidad, según la norma Scott, se trata de aguas mediocres, en ocasiones tolerables, para el riego agrícola.

13.3.4.2 Contaminación y vulnerabilidad

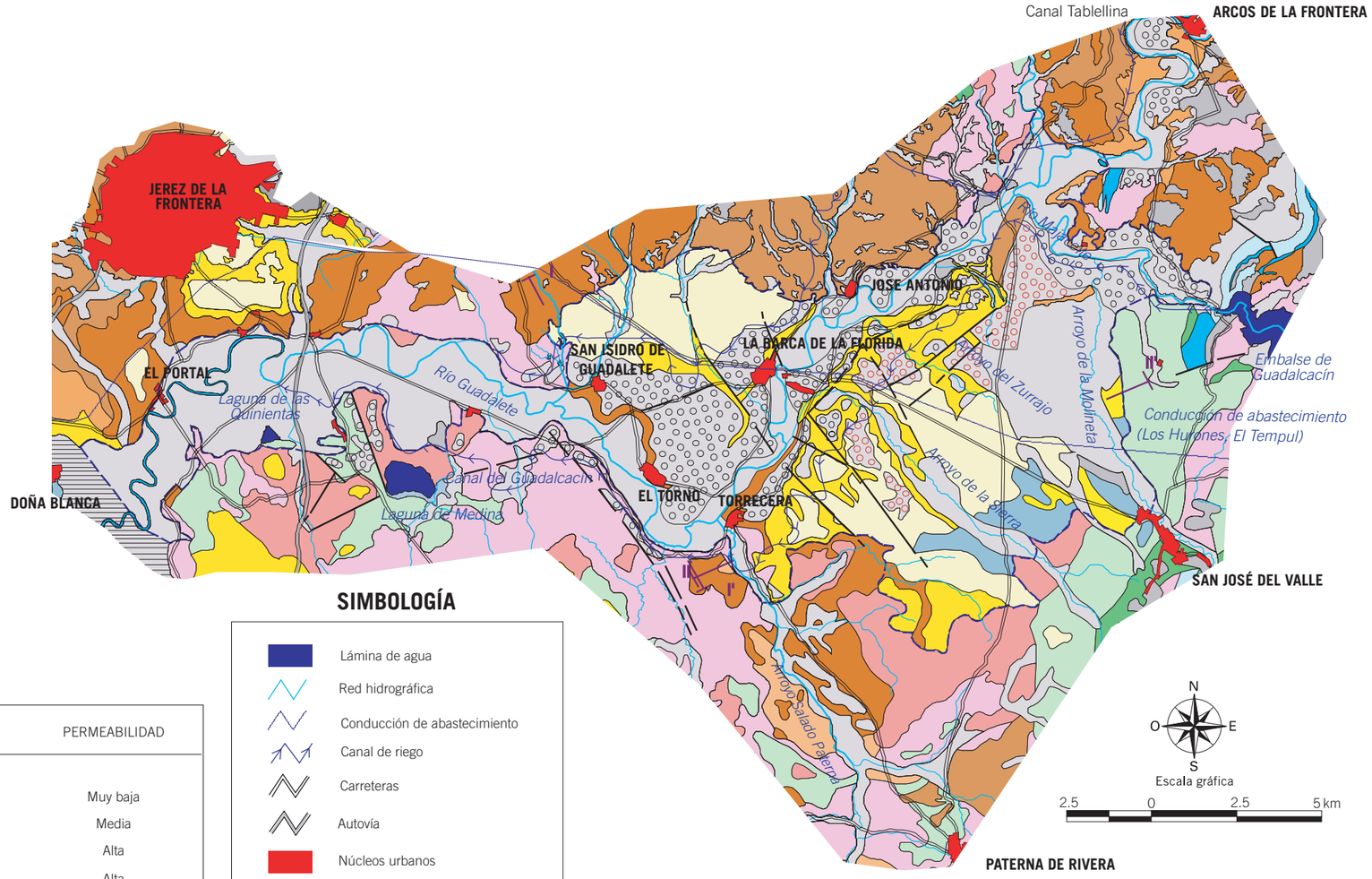
El uso de fertilizantes y plaguicidas en el regadío constituye el principal riesgo de contaminación debido a la alta vulnerabilidad de los materiales del conjunto acuífero. Los últimos análisis químicos realizados (años 1982-1984) muestran contenidos elevados en nitratos y potasio, que superan puntualmente los límites establecidos legalmente. Esta situación puede ser, en la actualidad, más preocupante debido a que existen en total 17.269 ha de riego asentadas directamente sobre el acuífero (Junta de Andalucía, 2002).

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

Acuífero del aluvial y pliocuaternario del río Guadalete

SITUACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA PROVINCIA





SIMBOLOGÍA

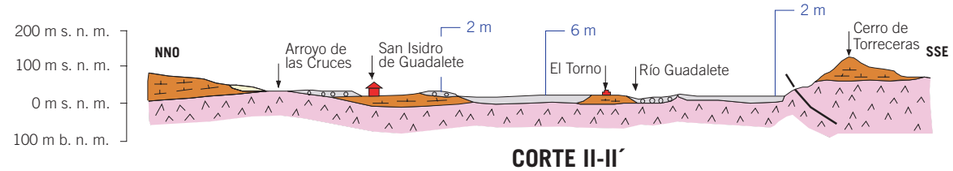
- Lámina de agua
- Red hidrográfica
- Conducción de abastecimiento
- Canal de riego
- Carreteras
- Autovía
- Núcleos urbanos
- 7 m — Profundidad del nivel piezométrico
- Límite superficial de acuífero
- I - I' — Localización del corte hidrogelógico
- Falla

LEYENDA

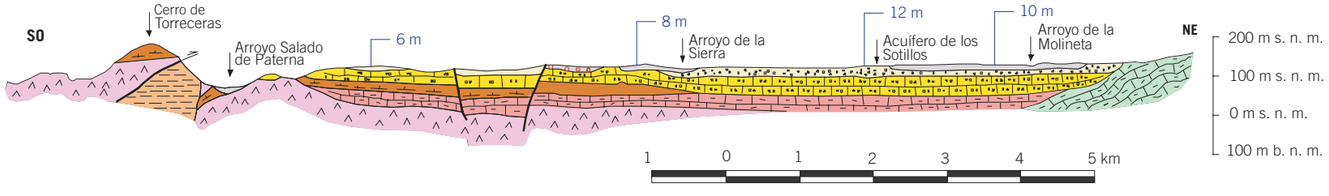
LITOLOGÍA	EDAD GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD
Limos y arcillas de inundación y de marismas	Cuaternario (holoceno)	Muy baja
Arcillas, arenas y cantos (depósitos de ladera)	Cuaternario	Media
Cantos, arenas y limos (llanura aluvial)	Cuaternario (Holoceno)	Alta
Arenas (manto eólico)	Cuaternario (Pleistoceno superior)	Alta
Arenas, gravas y cantos (terrazas fluviales)	Cuaternario (Pleistoceno medio-superior)	Alta
Arenas con cantos (terrazas fluviales antiguas)	Cuaternario (Pleistoceno inferior-medio)	Alta
Arenas finas cuarzosas con arcillas y suelos rojos	Pliocuaternario	Media-baja
Arenas y limos arenosos amarillentos con niveles conchíferos	Plioceno inferior-medio	Media
Calizas arenosas bioclásticas	Mioceno superior	Alta
Margas gris-azuladas con arenas finas a techo	Mioceno superior	Baja
Margas blancas silíceas (albarizas y/o moronitas)	Mioceno medio	Muy baja
Arcillas versicolores (Complejo Tectosedimentario)	Mioceno inferior	Media-baja
Margas y margocalizas con niveles calcáreos turbidíticos	Paleoceno Eoceno	Baja
Calizas y margas rojas (capas rojas)	Cretácico superior-Eoceno	Media-baja
Calizas margosas y margas	Cretácico inferior	Baja
Calizas nodulosas, margocalizas silíceas y margas	Jurásico (Dogger-Malm)	Media
Calizas y dolomías	Jurásico (Lías-Dogger)	Alta
Arcillas, margas, yesos y areniscas	Triásico superior	Muy baja

CORTES HIDROGEOLÓGICOS

CORTE I-I´



CORTE II-II´





Río Guadalete, principal descarga natural del sistema hidrogeológico (6)

13.3.5 Explotación y balance

Este apartado es uno de los aspectos más controvertidos del acuífero ya sea por la escasez de estudios sobre la recarga del mismo, en ambos sectores, como por la disparidad de los datos existentes referentes a las extracciones. Por ello, se recoge a continuación el último balance realizado (CHG-IGME, 2000-2001) aunque debe ser tenido en cuenta únicamente como orientativo por las razones referidas.

13.3.5.1 Entradas

Prácticamente la totalidad de los documentos que estudian este acuífero hacen referencia a unas entradas por infiltración de agua de lluvia de 24 hm^3/a. Ello significa que, para una superficie permeable total de 150 km^2, se ha considerado una infiltración eficaz de 160 mm/a.

No se evalúan los retornos de riego al considerarse éstos de menor cuantía. No obstante, y a pesar de la alta evapotranspiración existente en la zona, existen 17.269 ha de riego asentadas directamente sobre el acuífero cuyos retornos podrían ser significativos y modificar al alza las entradas en el sistema.

13.3.5.2 Salidas

La principal descarga natural del sistema se produce a través del río Guadalete y ha sido evaluada en 18 hm^3/a (CHG, 1994), aunque se admite que es posible que el volumen drenado por el río disminuya con el aumento de las extracciones destinadas al riego agrícola.

No existen bombeos de aguas subterráneas para abastecimiento urbano aunque sí para riego agrícola. Las extracciones para regadío se producen fundamentalmente en el sector de los Llanos del Sotillo. Según distintas fuentes éstas extracciones oscilarían entre 9 hm^3/a (Junta de Andalucía, 2002), 15 hm^3/a (ITGE-Junta de Andalucía, 1998) y 17 hm^3/a (CHG-IGME, 2000-2001), utilizadas para el riego de 2.125 ha pertenecientes a la Comunidad de Regantes de Los Sotillos.

Con estas consideraciones, el balance hídrico del acuífero Aluvial y pliocuaternario del río Guadalete (año 2000-2001) es el siguiente:

Entradas	hm^3/a
Infiltración de agua de lluvia	24,0
Total	**24,0**
Salidas	hm^3/a
Sector “Llanos del Sotillo”	
Regadío	17,0
Sector “Aluvial del Guadalete”	
Regadío	1,7
Aportes al río Guadalete	5,3
Total	**24,0**

13.3.6 Problemática existente y pautas de gestión

Un aspecto a destacar es la desigual información existente entre los dos sectores en que se encuentra dividido el acuífero y el distinto aprovechamiento de sus recursos. En primer lugar el Aluvial del Guadalete es poco conocido y la explotación de las aguas subterráneas se realiza a través de pozos particulares de escasa profundidad, sin conocimiento ni control de los volúmenes extraídos. Por ello, la información básica para la determinación de un balance hídrico ajustado y de los recursos potencialmente aprovechables es reducida.

En segundo término, el conocimiento del sector de los Llanos del Sotillo es más amplio y existe una explotación mayor de las aguas subterráneas, que se realiza de forma ordenada y controlada por la Comunidad de Regantes de Los Sotillos. Los datos proporcionados por esa Comunidad parecen apuntar a un ligero descenso de los niveles aunque ello no implica necesariamente la sobreexplotación del sector, como se ha sugerido en alguna ocasión.

Por otro lado, este sector constituye un reservorio de enorme valor estratégico para el abastecimiento urbano como quedó demostrado durante la sequía de 1992 a 1995. En ese momento la Comunidad de Regantes de Los Sotillos, concesionaria de los derechos de utilización del agua subterránea del sector, llegó a un acuerdo con la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir mediante el cual cedía sus derechos (caudales de hasta 500 L/s bombeados desde diez captaciones del acuífero) para apoyar los abastecimientos urbanos a la zona de la bahía de Cádiz, utilizando la infraestructura existente (conducciones de Los Hurones, El Tempul y la estación depuradora de El Cuartillo). A cambio recibiría una serie de actuaciones posteriores que serían financiadas por la Confederación, entre las cuales se incluían varias experiencias piloto de recarga artificial en el acuífero, cuyo objetivo era paliar los descensos de nivel que la explotación intensiva para consumo humano iba a producir en el acuífero.

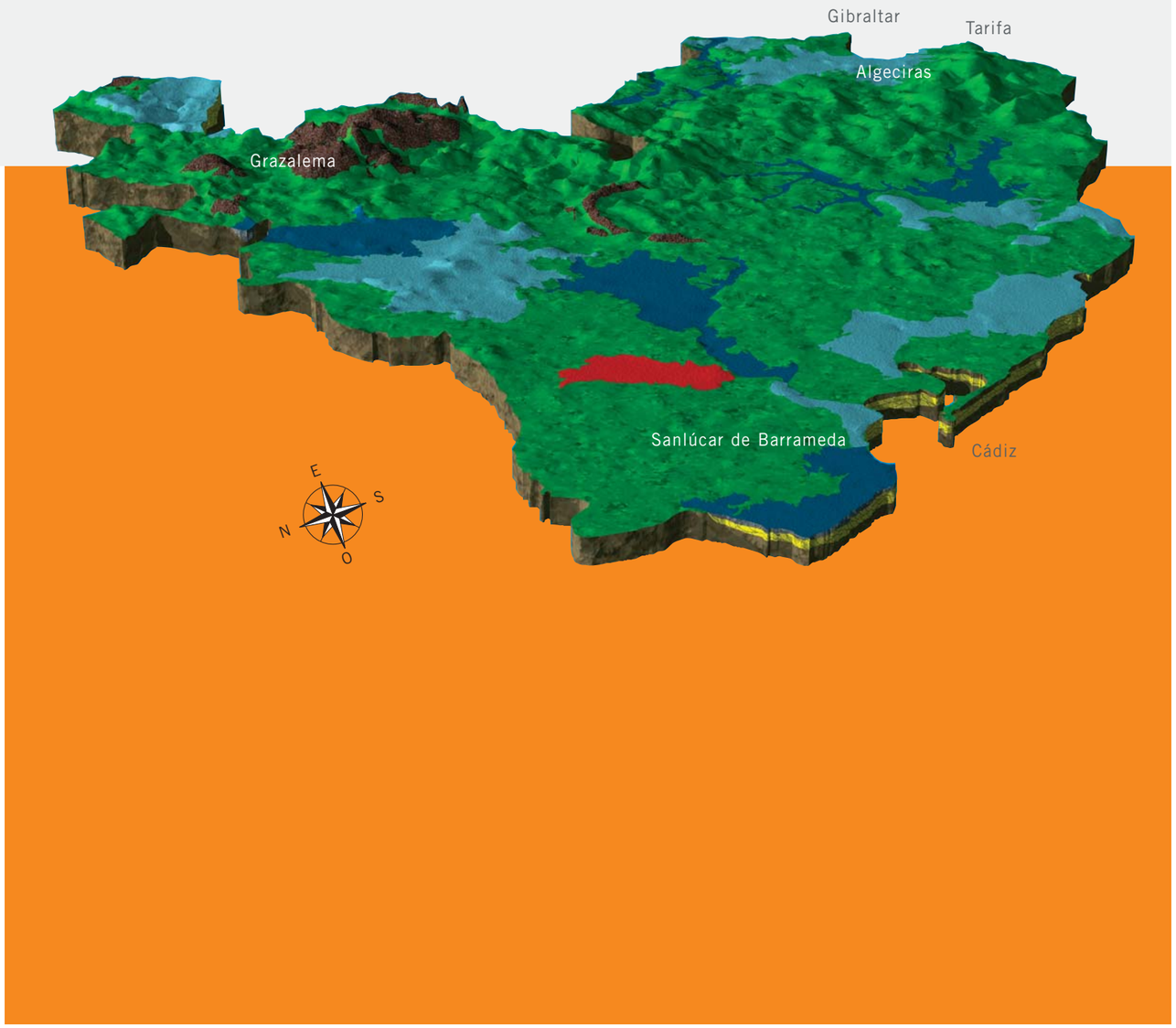
En la actualidad, las experiencias realizadas en la Planta Piloto de recarga artificial de Los Sotillos, diseñada y operada por el IGME, han sido favorables. Aunque se ha obtenido una aproximación adecuada de los caudales a infiltrar, es necesario acotar con mayor precisión los periodos en que el arroyo de La Molineta lleva agua suficiente para la operación de recarga. Ello permitirá el diseño de una planta de mayores dimensiones que hará posible la mejora de la gestión y explotación sostenible de los recursos hídricos del acuífero.

Principales acuíferos

Jerez de la Frontera

13.4

Raquel Morales García - Diego Martín Sosa
Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz



13.4.1 Situación y límites

El acuífero de Jerez de la Frontera se localiza en el extremo noroeste de la provincia, dentro de la comarca gaditana de la Campiña de Jerez, quedando incluido en su totalidad en el interior del término municipal de Jerez de la Frontera.

Se extiende desde la localidad de Jerez hacia el NE sobre un área alargada de unos 95 km^2. Su límite occidental coincide prácticamente con la carretera Nacional IV mientras que el trazado de la autopista A-4 divide longitudinalmente al acuífero en dos partes casi simétricas.

Los núcleos de población asentados en el acuífero son Jerez de la Frontera, con 165.587 habitantes, y sus pedanías de Guadalcacín del Caudillo, Estella del Marqués y Nueva Jarilla que albergan a una población conjunta de 7.881habitantes, según la revisión del padrón municipal a 1 de enero de 2002 del Instituto Nacional de Estadística.

Las hojas del Mapa Topográfico Nacional, escala 1/50.000, en las que se cartografía el acuífero son las siguientes: 1.048 (12-44) Jerez de la Frontera y 1.062 (12-45) Paterna de Rivera.

Administrativamente, el acuífero se incluye dentro de la poligonal que delimita la unidad hidrogeológica 05.56 Jerez de la Frontera, definida en el Catálogo Oficial de unidades hidrogeológicas del territorio Peninsular e Islas Baleares (MOPU-IGME, 1988), limitando al sur con la unidad hidrogeológica 05.55 Aluvial del Guadalete.



Centro histórico de Jerez de la Frontera (6)



Canal de riego del río Guadalete. El riego con aguas superficiales constituye un importante aporte en la recarga del acuífero (5)

13.4.2 Climatología e hidrología

13.4.2.1 Climatología

El acuífero presenta un clima mediterráneo marítimo en su mayor parte siendo, en el sector más meridional, mediterráneo subtropical.

Según la información recogida en el Plan Hidrológico del Guadalquivir (CHG, 1995), los datos pluvio-termométricos y de evapotranspiración potencial representativos de la zona y correspondientes al período 1954-1988 son:

- Precipitación media anual: 500 mm
- Temperatura media anual: 17 ºC
- Evapotranspiración potencial: 850-900 mm

La lluvia útil media estimada para el periodo 1961-1983 es de 250 mm.

13.4.2.2 Hidrología

Desde el punto de vista hidrográfico, el acuífero de Jerez de la Frontera se sitúa en las cuencas media y baja del río Guadalete. Al norte del acuífero se establece la actual divisoria entre las cuencas del Guadalquivir y del Guadalete.

El drenaje superficial se realiza hacia el S y SO y se estructura en torno al arroyo Salado que desemboca, aguas abajo, en el citado río Guadalete. Otro arroyo de cierta entidad es el arroyo del Rano o del Cuadrejón tributario del arroyo Salado.

Cabe mencionar como anécdota de la historia hidrológica de la zona, el paso por el interior del acuífero de un antiguo brazo del Guadalquivir, que atravesaba longitudinalmente la unidad. Al inicio del Cuaternario, el río Guadalquivir, que ya desembocaba próximo a Sanlúcar de Barrameda, poseía otra salida hacia el estuario actual del Guadalete; dicha desembocadura seguía aproximadamente la trayectoria Caño de Casablanca, arroyo de la Romanina, Llanos de Caulina, arroyo Salado, para seguir más o menos a partir de la Cartuja la dirección actual del Guadalete,



Muestras de una perforación en la zona más profunda del acuífero, donde se identifican los materiales cuaternarios marrones a techo, una secuencia de arenas rojas (Pliocuaternario), arenas finas blancas y amarillas y areniscas blancas fosilíferas del Plioceno, y las margas gris-azuladas del Mioceno superior a muro (5)

13.4.3 Hidrogeología

13.4.3.1 Contexto geológico

La región se localiza en el extremo occidental de las Cordilleras Béticas, aflorando materiales del Dominio Subbético medio, si bien son los depósitos postorogénicos los que predominan en la zona. Los materiales subbéticos tienen carácter alóctono y están constituidos fundamentalmente por las margas y arcillas yesíferas del Triásico superior. A partir del Mioceno se depositan materiales detríticos, con carácter para-autóctono y autóctono, que configuran la serie postorogénica.

En síntesis las unidades litoestratigráficas que aparecen son, de muro a techo, las siguientes:

- Triásico: compuesto por arcillas, margas abigarradas, yesos y areniscas formando una mezcla caótica que engloba bloques carbonatados y ofitas.
- Formación para-autóctona: constituida por margas blancas silíceas del Mioceno medio, denominadas localmente moronitas o albarizas.
- Mioceno superior: de carácter autóctono, constituido en este sector fundamentalmente por margas gris-azuladas marinas, algo arenosas a techo.
- Plioceno: se dispone discordante sobre las formaciones anteriores y está formado por sedimentos litorales y lacustres o palustres que incluyen arenas finas amarillas, limos arenosos, margas, niveles conchíferos y calizas con gasterópodos.
- Pliocuaternario: formado por arenas ricas en cuarzo y arenas rojas.
- Cuaternario: está representado por conglomerados, arenas y arcillas correspondientes a depósitos de terrazas antiguas y aluviales actuales.

Desde el punto de vista estructural, los materiales postorogénicos rellenan una depresión en forma de cubeta alargada, de dirección NE - SO, y están afectados por pliegues suaves y fallas. El más significativo de estos pliegues es un sinclinal que cruza la unidad en dirección NE.

Acuífero de Jerez de la Frontera. Espesor del acuífero

13.4.3.2 Características hidrogeológicas

13.4.3.2.1 Descripción general

El acuífero de Jerez de la Frontera es un acuífero de tipo detrítico, permeable por porosidad y de carácter libre en toda su extensión. Está constituido por los materiales autóctonos de la serie postorogénica descrita de edad Plioceno, Pliocuaternario y Cuaternario que, litológicamente, incluyen mayoritariamente arenas finas amarillas, limos arenosos, arenas rojas y depósitos aluviales.

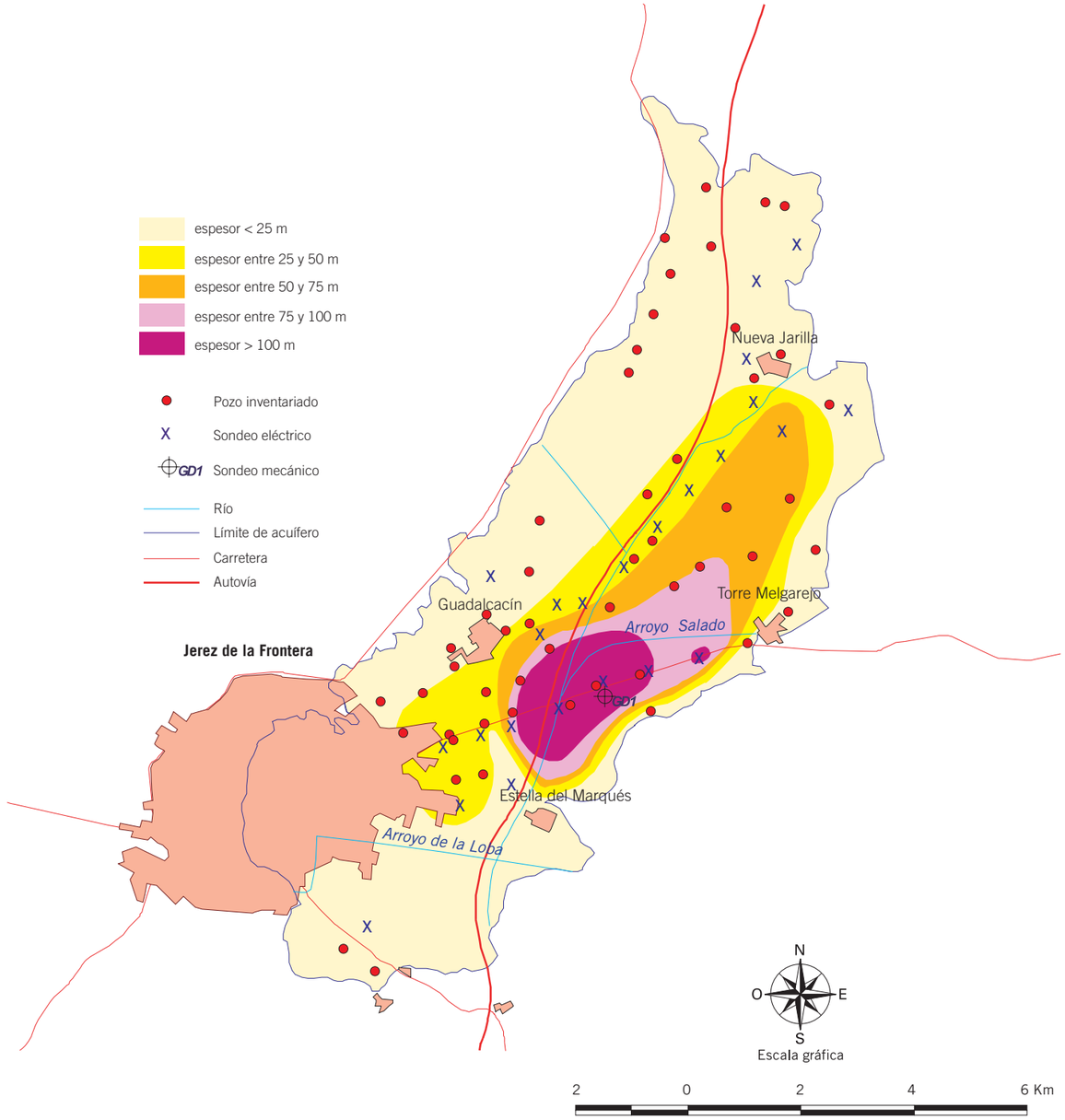
El susbtrato impermeable está formado por las margas y arcillas yesíferas del Triásico, las margas silíceas blancas del Mioceno medio y las margas azules del Mioceno superior; materiales que constituyen también los límites hidrogeológicos laterales del acuífero.

Presenta una superficie acuífera aflorante de 95 km^2 y su espesor oscila según la información disponible de sondeos y prospección geofísica, desde unos pocos metros hasta valores del orden de 150 m. Este espesor variable determina una geometría particular, con la existencia de una zona de mayor potencia, localizada a unos 6 km al este de Jerez de la Frontera, que se corresponde con una depresión del fondo impermeable y cuya dirección es NE-SO.

13.4.3.2.2 Parámetros hidrogeológicos

El acuífero presenta un valor de permeabilidad variable, en conjunto es siempre superior a 10^{-5} m/s (0,864 m/día). La determinación de la permeabilidad en campo, mediante ensayo de bombeo en el punto IGME 1244-6-0001, arroja un valor medio para las arenas del orden de 10^{-4} m/s (8,64 m/día). La transmisividad, al ser un parámetro dependiente del espesor del acuífero es también muy variable, oscilando entre 10 y 100 m^2/día en las zonas de menor espesor, hasta 1000 m^2/día en la zona de máxima potencia de acuífero (FAO-IGME, 1969). Respecto al coeficiente de almacenamiento del acuífero, los valores se estiman del orden del 4 al 5%.

Con éstas características, los caudales de explotación que proporciona el acuífero están comprendidos generalmente entre 5 y 20 L/s, pudiendo ser superiores en la zona de máxima potencia de acuífero.



Fuente: Modificado de IGME, 1969

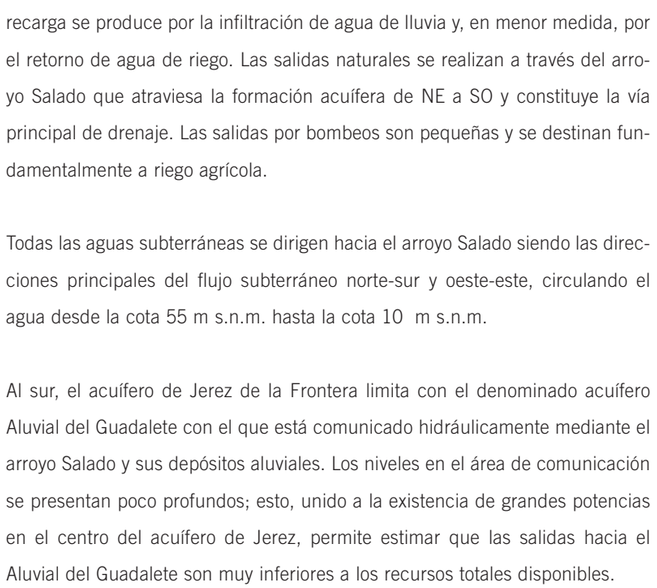
13.4.3.2.3 Funcionamiento hidrodinámico. Piezometría

El acuífero presenta un carácter libre en toda su extensión de manera que la recarga se produce por la infiltración de agua de lluvia y, en menor medida, por el retorno de agua de riego. Las salidas naturales se realizan a través del arroyo Salado que atraviesa la formación acuífera de NE a SO y constituye la vía principal de drenaje. Las salidas por bombeos son pequeñas y se destinan fundamentalmente a riego agrícola.

Todas las aguas subterráneas se dirigen hacia el arroyo Salado siendo las direcciones principales del flujo subterráneo norte-sur y oeste-este, circulando el agua desde la cota 55 m s.n.m. hasta la cota 10 m s.n.m.

Al sur, el acuífero de Jerez de la Frontera limita con el denominado acuífero Aluvial del Guadalete con el que está comunicado hidráulicamente mediante el arroyo Salado y sus depósitos aluviales. Los niveles en el área de comunicación se presentan poco profundos; esto, unido a la existencia de grandes potencias en el centro del acuífero de Jerez, permite estimar que las salidas hacia el Aluvial del Guadalete son muy inferiores a los recursos totales disponibles.

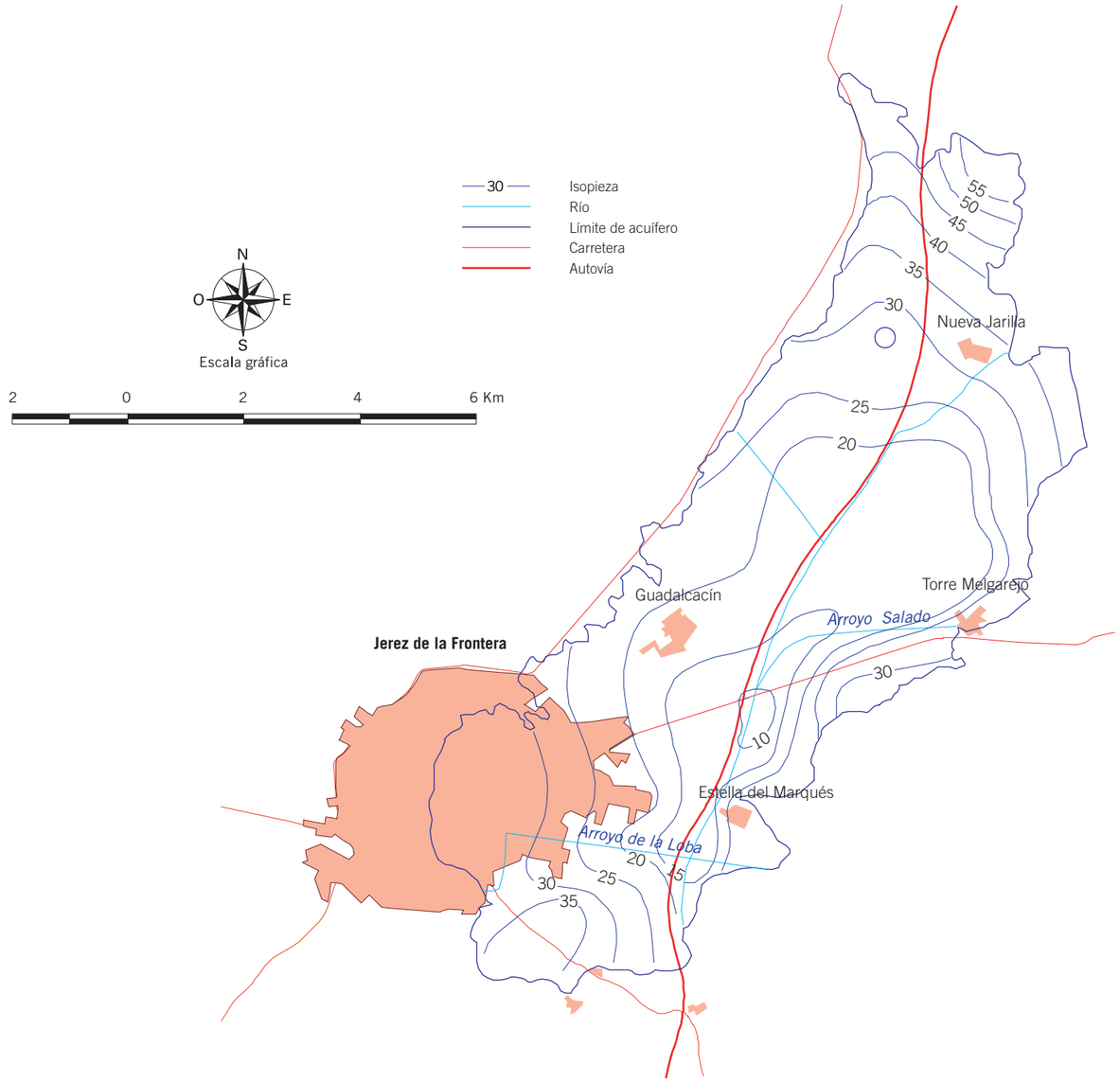
La superficie piezométrica en el acuífero se encuentra muy cercana a la superficie, estando en general a una profundidad inferior a los 10 m y, más frecuentemente comprendida entre 2 y 5 m. En el sector de la población de Jerez de la Frontera es donde mayores profundidades de agua se alcanzan.



Uno de los principales problemas que pueden producirse en los sondeos del acuífero de Jerez de la Frontera, es la elevada producción de arena debido a la baja granulometría de los materiales (arenas muy finas), que puede provocar daños en el equipo de bombeo y que se minimiza con un adecuado diseño constructivo (5)

Mapa de la superficie piezométrica

Mayo - junio 2003 (IGME, 2003)



Red de control piezométrico del IGME

Nº Piezómetro	Coordenadas UTM (Huso 30S)			Prof. (m)	Naturaleza	Nombre
	x	y	z			
1244-6-0001	226411	4066844	35,00	200,00	Sondeo	INC
1244-6-0005*	229237	4067976	33,89	16,42	Pozo con galería	Torre Melgarejo
1244-6-0008	223872	4064725	32,49	13,10	Pozo	Cementerio Jerez
1244-6-0080	228910	4069950	22,00	30,00	Pozo	Masotán-Vía
1244-6-0081	229159	4069133	23,00	38,00	Pozo	Masotanillo

** Pertenece también a la Red de Control de Calidad*

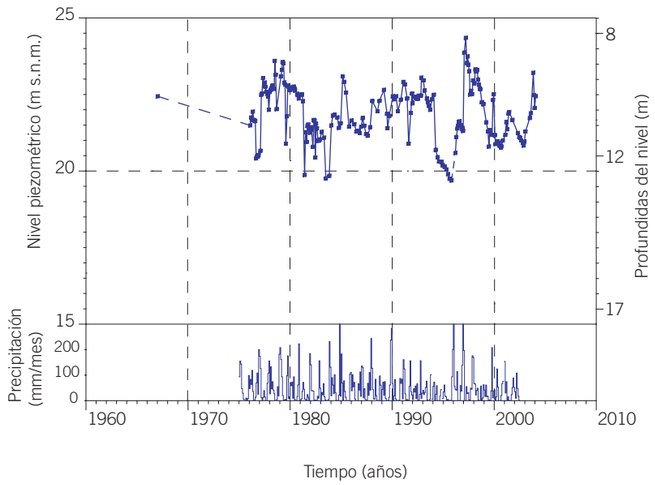
Tradicionalmente las reservas del acuífero se han estimado entre 100 y 140 hm³ como mínimo. Recientemente se ha efectuado una nueva valoración aproximada (CHG-IGME, 2000-2001) que arroja valores para la reserva de entre 237 y 296 hm³.

En cuanto a la evolución piezométrica del acuífero se han realizado, por parte del IGME, medidas generalizadas en todo el acuífero en los años 1967, 1994 y 2003 (meses de mayo-junio) indicando las medidas resultantes que en 1994 (año de persistente sequía), los niveles piezométricos se situaron unos 3 m de media más bajos que en 1967; mientras que en el año 2003 la posición del nivel piezométrico es similar a la medida inicialmente.

En conjunto los datos de esta red ponen de manifiesto que existe una ciclicidad del nivel anual, con depresiones en estiaje que se recuperan en épocas de mayores precipitaciones, no mostrando tendencias de descenso de nivel progresivas y permanentes lo que indica que no existe una explotación excesiva del acuífero. Este hecho se ilustra en la figura donde se observa una tendencia del nivel estable marcada por los períodos de sequía de 1981-1983 y 1992-1995 coincidentes con los niveles del acuífero más bajos.

Evolución piezométrica
(Punto 1244 - 6 - 0008)

Acuífero de Jerez de la Frontera





Paraje El Minero. Todo el acuífero de Jerez de la Frontera está perforado por numerosos pozos, de pocos metros de profundidad, tradicionalmente empleados para uso doméstico (5)

13.4.4.1 Calidad química y composición natural

Las aguas subterráneas del acuífero presentan, en general, una fuerte mineralización y una dureza elevada con facies clorurada sulfatada sódica cálcica o sódica magnésica, no resultando aptas para abastecimiento urbano.

La mayor parte de los análisis químicos se realizaron en el año 1967, excepto en el punto de la red de control de calidad del IGME donde existen análisis químicos desde 1982 hasta el año 2001. En total se dispone de 58 análisis que reflejan unos contenidos elevados en conductividad eléctrica, cloruros, sulfatos, nitratos, sodio y potasio, siendo los valores característicos los recogidos en la tabla adjunta.

Espacialmente, la mayor parte del acuífero presenta un residuo seco entre 1 y 2 g/L. En el sector de Nueva Jarilla la calidad de las aguas es mejor, con un residuo seco inferior a 1g/L, mientras que los sectores de mayor mineralización (R.S. > 3 g/L) se localizan en el centro y el extremo norte del acuífero (FAO-IGME, 1969).

El origen de la elevada mineralización de las aguas subterráneas en el acuífero puede deberse a la influencia de las margas yesíferas del sustrato triásico, o a una concentración de sales debido a la evaporación que se produce por la proximidad del nivel piezométrico a la superficie.

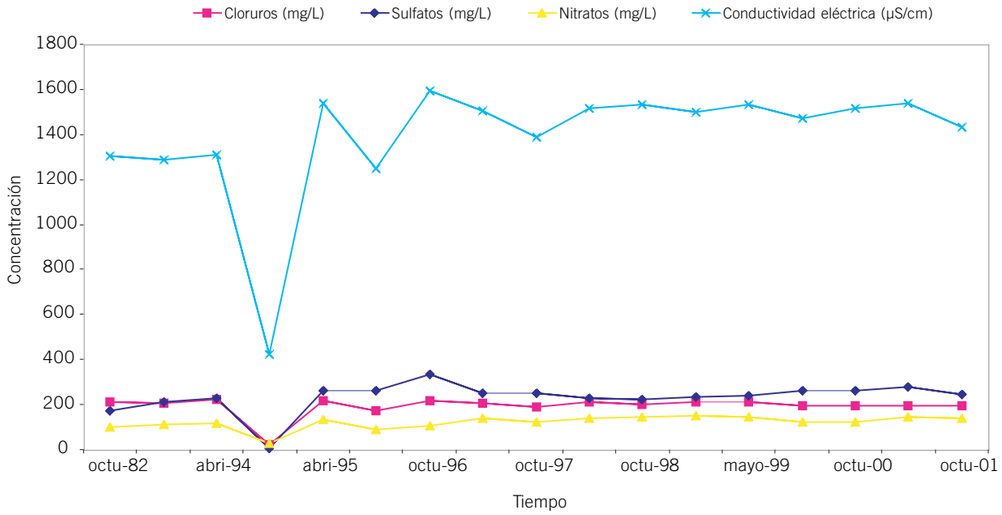
Características químicas del acuífero de Jerez de la Frontera

mg/L	Máximo	Mínimo	Promedio	Mediana
Cloruros	6.298	23	700	298
Sulfatos	3.293	6	559	312
Bicarbonatos	2.280	77	367	210
Nitratos	148	29	120	124
Sodio	1.770	9	376	207
Magnesio	600	2	95	54
Calcio	1.800	52	255	223
Potasio	178	1	19	4
Conductividad eléctica (µS/cm)	17.540	421	3.373	1.900

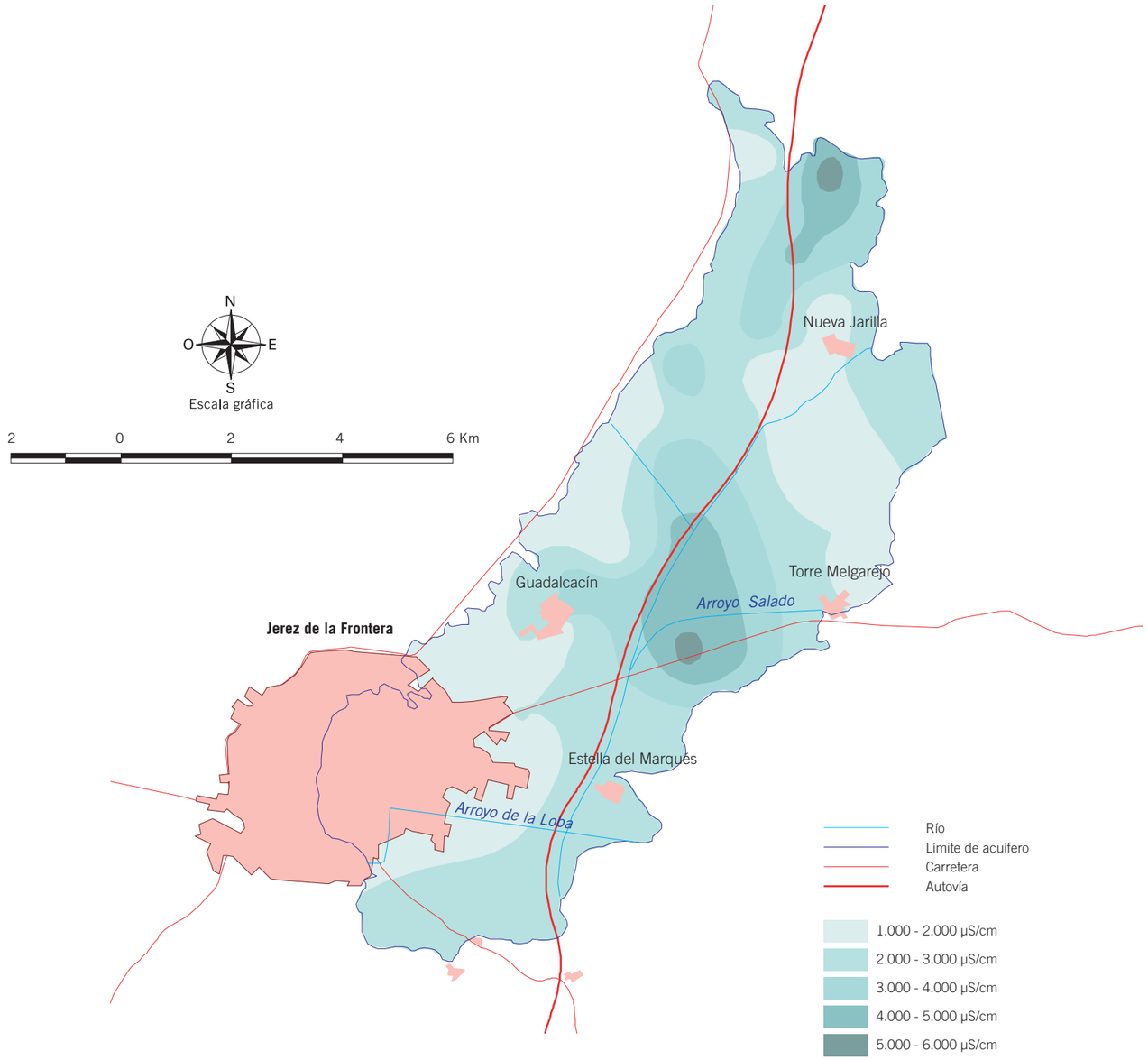
Respecto a la evolución de la calidad en el tiempo, los análisis en el punto de la red de calidad (punto IGME 1244-6-0005) situado al este del acuífero, reflejan una tendencia estable en todos los parámetros químicos analizados, destacando en esa zona unos valores promedio de conductividad eléctrica de 1.390 µS/cm y una concentración media de cloruros, sulfatos y nitratos de 193, 232 y 120 mg/L respectivamente.

No obstante, la campaña de campo realizada por el IGME durante los meses de Mayo y Junio de 2003 determinando la conductividad eléctrica "in situ" del acuífero, ha puesto de manifiesto que los valores máximos de conductividad eléctrica han disminuido en el tiempo. Se ha constatado una distribución en la mineralización de las aguas similar a la presentada anteriormente, y que refleja una mayor conductividad eléctrica en el centro del acuífero (donde los espesores son mayores) y en el extremo norte (conductividad eléctrica > 5.000 µS/cm); mientras que destaca la menor mineralización en el sector de Nueva Jarilla y en Jerez de la Frontera (conductividad eléctrica < 2.000 µS/cm).

Evolución de la calidad
(Punto IGME 1244-6-0005)



Mapa de conductividad eléctrica de las aguas subterráneas
(Mayo - junio 2003)





Sondeo para riego de cultivo hidropónico, al fondo los Llanos de Caulina (5)

13.4.4.2 Contaminación y vulnerabilidad

La práctica totalidad de los materiales acuíferos presentan una vulnerabilidad alta a la contaminación, no sólo por la permeabilidad de los mismos, sino por el hecho de que se trata de un acuífero libre - sin ninguna protección natural ante la entrada de contaminantes - y el nivel freático se encuentra muy próximo a la superficie, limitando de este modo el poder autodepurador del terreno no saturado.

El principal problema de contaminación detectado es la elevada concentración de nitratos en las aguas, con valores medios que superan localmente los 100 mg/L. Aunque existen actividades potencialmente contaminante que podrían aportar compuestos nitrogenados a las aguas subterráneas tales como la existencia de pequeñas instalaciones ganaderas y diversas casas de campo no conectadas a ninguna red de depuración, es la intensa actividad agrícola establecida desde hace años en la zona, la principal causante de esta contaminación que deriva de una práctica inadecuada y abusiva en el uso de fertilizantes. Se estima que se aplica un total de 662 t al año de nitrógeno en las 4.725 ha de riego del área, valor obtenido considerando un aporte de nitrógeno de 0,14 t/ha/a.

Cabe destacar como una fuente potencial de contaminación particular, la existencia de numerosos pozos en desuso que se encuentran actualmente abandonados y que constituyen una vía directa de entrada de contaminantes en el acuífero.

13.4.5 Explotación y balance

13.4.5.1 Entradas

La recarga natural del sistema se realiza a través de la infiltración del agua de lluvia. Se estima que esta infiltración es del orden del 20% de la lluvia media anual (100 mm), de modo que para una superficie permeable de recarga de 95 km^2, las entradas en el acuífero suponen un volumen medio anual estimado en 9,5 hm^3.

Asimismo, el sistema recibe un aporte adicional de agua procedente de los retornos de riego. Existen en la zona aproximadamente 4.725 ha, incluidas en la Zona Regable del Guadalcacín, que se riegan con un volumen de aguas superficiales de 32,3 hm^3/año (Junta de Andalucía, 2002); se estima que el retorno de riego puede ser del 15 ó 20% del volumen total aplicado, lo que representa unas entradas de 4,8 a 6,5 hm^3/año.

13.4.5.2 Salidas

La explotación de las aguas subterráneas del acuífero de Jerez es muy reducida. No existen en la actualidad captaciones para abastecimiento de agua potable a la población, aunque sí cabe destacar la utilización de las aguas del acuífero para el riego de jardines y limpieza urbana, en especial del núcleo de Jerez de la Frontera, que bombea un total de 0,7 hm^3/año.

La actualización del inventario de regadíos de Andalucía del 2002 no refleja ningún bombeo para riego agrícola en la zona. No obstante, durante la revisión del inventario de campo realizado en el 2003 y contrastado con los datos estimados en campañas anteriores (CHG-ITGE, 1993) se pone de manifiesto la existencia de numerosos pozos que captan agua para uso doméstico, incluyendo este uso además del consumo de la casa, el riego de pequeños huertos y el abastecimiento de un reducido número de ganado. El volumen anual estimado para este uso es del orden de 1 hm^3, mientras que el uso exclusivo agrícola-ganadero se estima cercano a 0,2 hm^3/año.

Respecto a las salidas naturales, éstas se efectúan a través del drenaje al arroyo Salado y se estiman del orden de 13 hm^3 en un año de precipitaciones medias.

Con estas cifras, el balance hídrico en el acuífero (año 2002-2003) queda de la siguiente manera:

Entradas	hm^3/a
Infiltración agua de lluvia	9.50
Retornos de regadío	5.50
Total	**15.00**
Salidas	hm^3/a
Bombeo riego jardines y limpieza urbana	0.77
Bombeo uso agrícola-ganadero	0.20
Bombeo uso doméstico	1.03
Drenaje natural	13.00
Total	**15.00**

13.4.6 Problemática existente y pautas de gestión

El acuífero de Jerez de la Frontera es un acuífero excedentario ya que, frente a una aportación evaluada en 15 hm^3/año, la explotación del mismo no supera los 2 hm^3/año. Pese a ello, la calidad del agua puede ser un factor limitante en su utilización ya que se trata de aguas bastante mineralizadas que, en general, no resultan aptas para consumo humano, aunque sí pueden ser utilizadas en otros usos menos restrictivos, tales como la limpieza urbana y el riego de zonas ajardinadas, uso que actualmente ya se está realizando en los núcleos urbanos más importantes del entorno.

Por otro lado, estos recursos podrían resultar de gran utilidad en periodos de sequía para abastecimiento de emergencia a la población, si bien las aguas requerirían un tratamiento previo a su utilización.

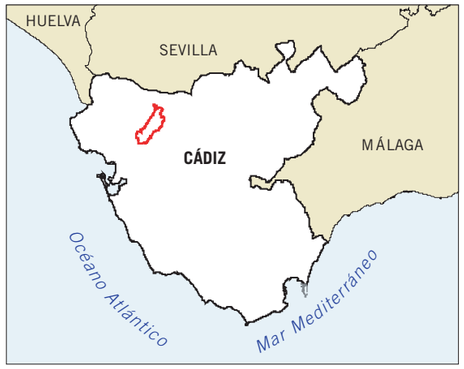


Antiguo pozo de abastecimiento a Estella del Marqués (5)

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

Acuífero de Jerez de la Frontera

SITUACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA PROVINCIA



LEYENDA

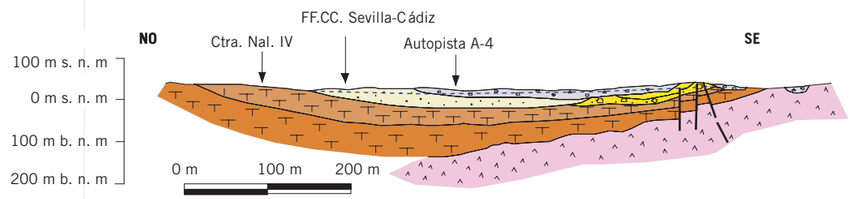
LITOLOGÍA	EDAD GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD
Conglomerados con matriz arenosa y arcillas	Cuaternario	Media-alta
Arenas finas rojas con arcillas	Cuaternario	Media-baja
Arenas ricas en quarzo y arenas rojas	Pliocuaternario	Media
Calizas con gasterópodos	Plioceno superior	Alta
Arenas y limos arenosos con niveles conchíferos	Plioceno inferior-medio	Media
Margas gris-azuladas	Mioceno superior	Muy baja
Margas blancas silíceas (moronitas o albarizas)	Mioceno medio	Muy baja
Arcillas, margas y yesos	Triásico superior	Muy baja

SIMBOLOGÍA

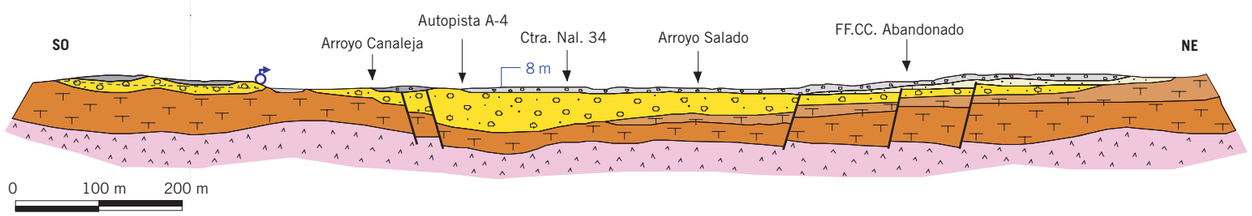
- Lámina de agua
- Red hidrográfica
- Carreteras
- Autovía
- Núcleos urbanos
- Límite superficial de acuífero
- I-I' Localización del corte hidrogeológico
- Sondeo
- Manantial
- Pozo
- 7 m Profundidad del nivel piezométrico
- Nivel piezométrico
- Sinclinal
- Falla

CORTES HIDROGEOLÓGICOS

CORTE I-I'



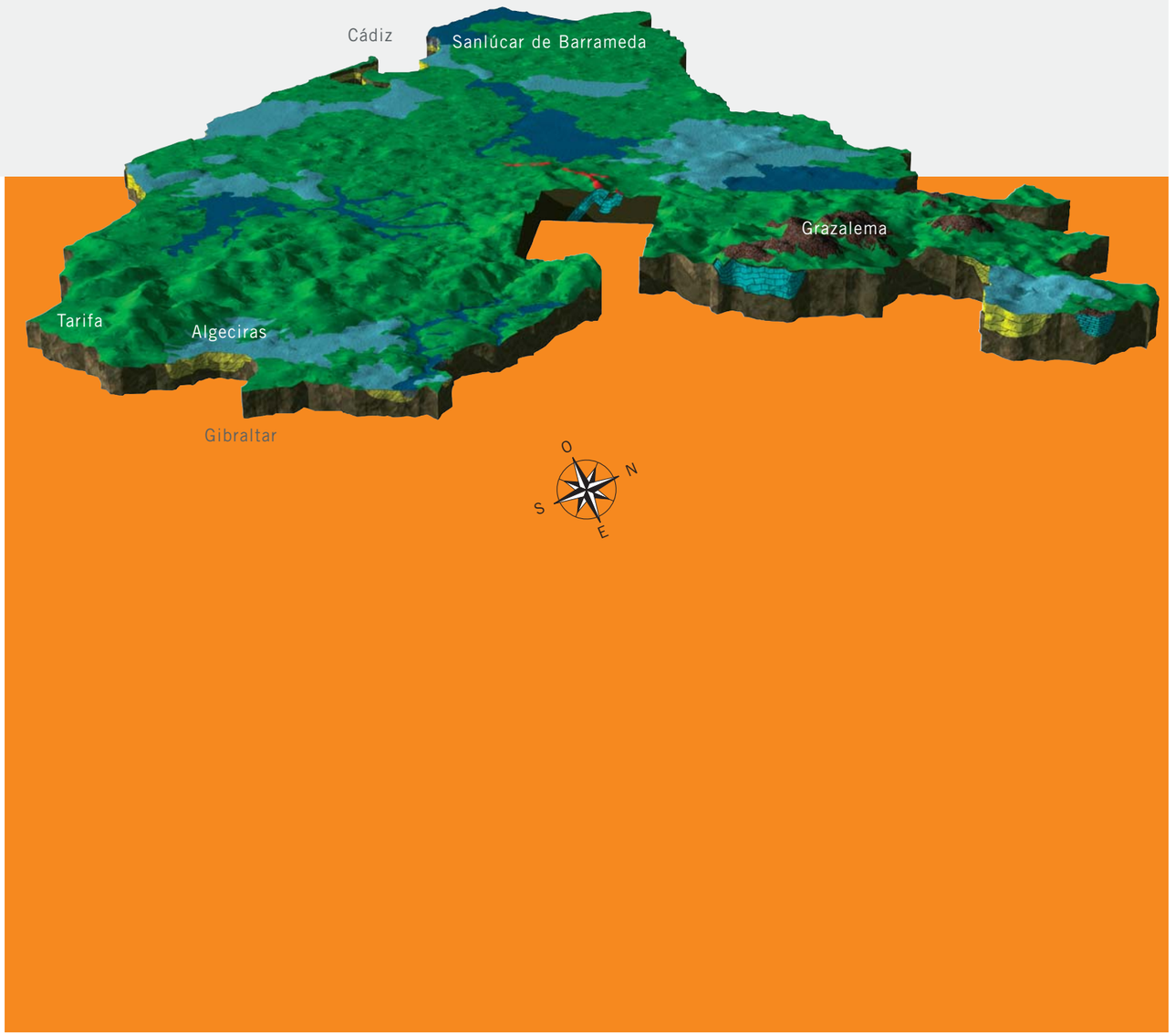
CORTE II-II'



Principales acuíferos

Sierra de las Cabras

13.5



13.5.1 Situación y límites

La Sierra de las Cabras está situada en la parte central de la provincia de Cádiz, dentro de los términos municipales de Algar y San José del Valle, que son también las poblaciones más importantes del entorno con 1.900 y 4.300 habitantes, respectivamente. Está limitada, al norte, por el embalse de los Hurones y, al sur, por la carretera que une San José del Valle y el Puerto de Galis. De oeste a este, comprende las sierras del Valle, de Dos Hermanas, de la Sal, de las Cabras y de la Loma del Tempul; todas configuran una alineación montañosa, cuya forma en planta es de medialuna con la concavidad abierta hacia el sureste. El relieve de estas montañas, con altitudes de hasta 667 m s.n.m. (Sierra de las Cabras) y pendientes importantes (30 a 40 %), destaca claramente en la campiña gaditana de topografía menos abrupta; así se puede constatar en la hoja nº 1.063 (Algar) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000, dentro de la cual se encuentran.

13.5.2 Climatología e hidrología

13.5.2.1 Climatología

El clima en la Sierra de las Cabras es de tipo subtropical mediterráneo. La precipitación media es superior a 825 y 850 mm/año, valores registrados en las estaciones de Gibraltar y El Tempul, respectivamente, situadas a cotas inferiores a la propia sierra. La temperatura media anual es de 17,5 ºC y la evapotranspiración potencial presenta un valor medio anual del orden de 1.000 mm.

13.5.2.2 Hidrología

La Sierra de las Cabras es atravesada por dos cauces fluviales: el arroyo de Bogaz, también llamado Boca de Foz, en la parte oriental y el arroyo de Bujalance en el sector occidental; ambos son tributarios del río Guadalcacín y forman parte de la cuenca hidrográfica del río Guadalete. El agua del arroyo de la Boca de Foz se almacena en el embalse de los Hurones.





Foto superior: Arroyo de Bogaz (o Boca de Foz), entre las sierras de las Cabras y de la Sal (vertiente septentrional) (6)
Foto inferior: Calizas tableadas del Jurásico superior (Malm). Arroyo de la Boca de Foz (6)

13.5.3 Hidrogeología

13.5.3.1 Contexto geológico

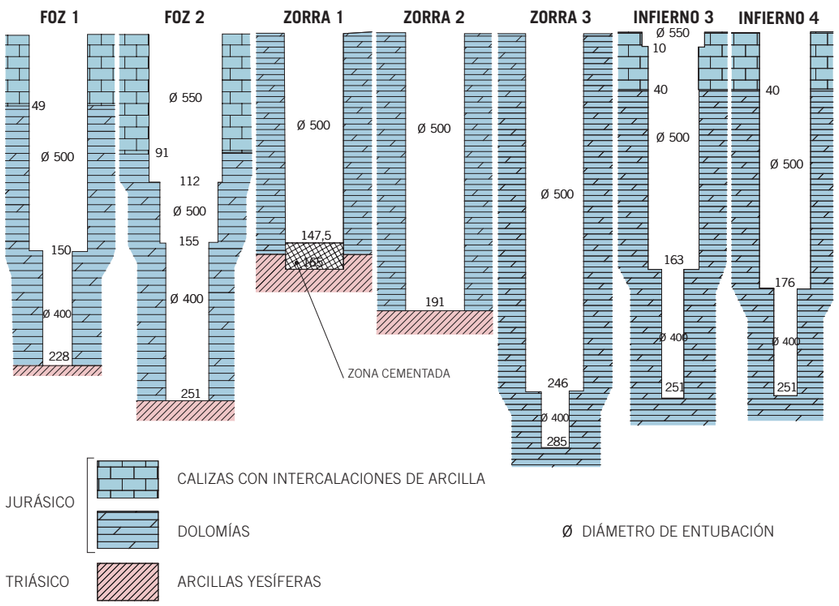
Desde el punto de vista geológico, la unidad de la Sierra de las Cabras pertenece al dominio Subbético Medio de la Zona Externa de la Cordillera Bética, en transición al Subbético Externo (Chauve, 1960-62; Martín Algarra, 1987; ITGE, 1990). La serie estratigráfica está constituida por tres conjuntos litológicos principales que aparecen en el mapa: uno inferior, de edad triásica, en facies germano-andaluza (Keuper); otro medio, de 300 m de espesor y naturaleza calcáreo-dolomítica, de edad fundamentalmente jurásica, y otro superior, de carácter margosocalcáreo-arcilloso, de edad cretácico-terciaria. Dentro del conjunto jurásico cabe distinguir, de muro a techo, las siguientes formaciones: dolomías del Lías, calizas oolíticas del Dogger y calizas tableadas del Malm.

La estructura geológica del área está formada por pliegues anticlinales y sinclinales que presentan una forma arqueada en cartografía y que han sido afectados por una tectónica de fractura posterior. En la parte meridional hay una estructura anticlinal que constituye los relieves de Sierra del Valle, Sierra de la Sal y Sierra de las Cabras, en cuyo núcleo afloran principalmente los materiales carbonáticos jurásicos. Únicamente en la parte central de la Sierra del Valle afloran los materiales del Trías. Hacia el norte, la estructura es un sinclinal ocupado por materiales cretácicos, bajo los cuales deben encontrarse las calizas y dolomías jurásicas, que afloran inmediatamente al norte (Sierra de Dos Hermanas y Loma del Tempul) formando parte del flanco meridional del siguiente anticlinal.



Vista panorámica de la Sierra de las Cabras (5)

Columnas de los sondeos perforados en 1995
(tomada de Carreras, 1996)



13.5.3.2 Características hidrogeológicas

13.5.3.2.1 Descripción general

Las calizas y dolomías del Jurásico constituyen un acuífero permeable por fisuración y karstificación, cuya superficie permeable total es del orden de 34 km^2, de acuerdo con la siguiente distribución: 29 km^2 en la Sierra de la Sal-Cabras, 2,6 km^2 en la Sierra del Valle, 1,8 km^2 en la Sierra de Dos Hermanas y 0,45 km^2 en la Loma del Tempul. En estas sierras, el modelado kárstico está poco desarrollado, particularmente las morfologías exokársticas de absorción.

El acuífero está limitado, al norte y al este, por el contacto entre los materiales carbonáticos y las arcillas triásicas y, al sur y oeste, por el contacto entre los carbonatos del Jurásico y las margas y margocalizas del Cretácico. La geometría del acuífero está condicionada por la estructura geológica previamente descrita, de forma que debe haber continuidad hidrogeológica entre los afloramientos calcáreos meridionales y septentrionales, aunque la estructura sinclinal intermedia, en el detalle, puede ser bastante compleja debido a las fracturas asociadas al plegamiento y/o posteriores. Así, la extensión de la zona saturada del acuífero es superior a la superficie de recarga del mismo (afloramientos permeables); concretamente, del orden de 42 km^2. El acuífero es de tipo libre en los afloramientos carbonáticos, aunque se encuentra confinado bajo los materiales cretácicos que constituyen el núcleo de la estructura sinclinal.

13.5.3.2.2 Parámetros hidrogeológicos

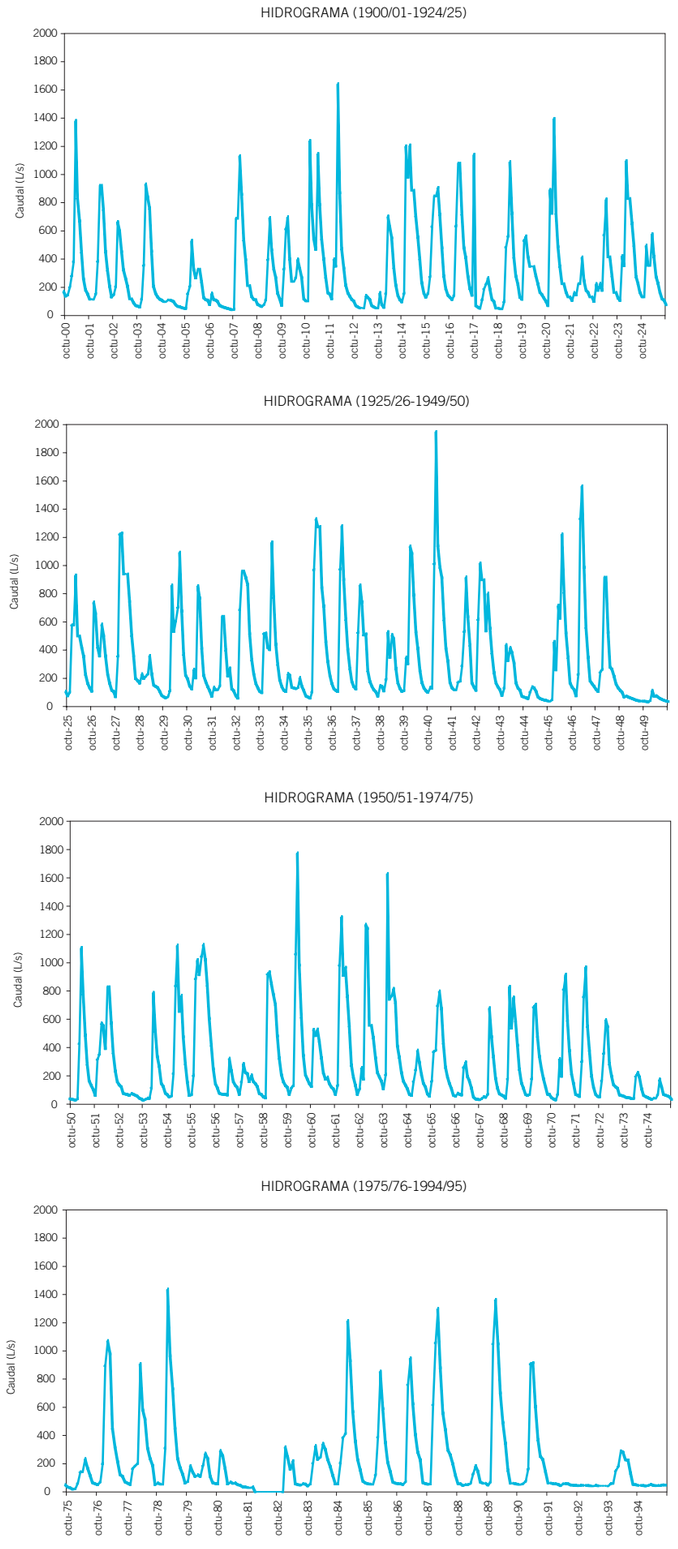
Durante el periodo comprendido entre agosto de 1995 y marzo de 1996 se perforaron varios sondeos: en la Sierra de Dos Hermanas (arroyo de la Zorra y arroyo del Infierno), en el arroyo de la Boca de Foz y en las inmediaciones del manantial de El Tempul (Carreras, 1996; ITGE, 1996); todos ellos atraviesan un espesor saturado de acuífero mayor de 200 m, excepto en la vertical del manantial de El Tempul donde la potencia del acuífero es de unos 18 m. Varios sondeos fueron instalados y puestos en funcionamiento, lo que permitió calcular valores de transmisividad comprendidos entre 10 y 104 m^2/día (Carreras, 1996). Se bombeó un volumen superior a 6 hm^3, con caudales continuos de hasta 900 L/s, y se produjo un descenso piezométrico del orden de 20 a 30 m, aunque habría sido mayor si no se hubieran registrado precipitaciones. El control de los volúmenes bombeados y de la piezometría permitieron estimar las reservas del acuífero en 0,2 hm^3/m en los 29 m más someros de la zona saturada (Carreras, 1996). Con estos datos, en un informe del ITGE (actual IGME) (1996) se calculó la porosidad drenable, que resultó ser del orden de 0,5 %.

13.5.3.2.3 Funcionamiento hidrodinámico. Piezometría

A partir de las series históricas de datos de precipitación y de caudales en el manantial de El Tempul, se ha caracterizado el funcionamiento hidrogeológico del acuífero de la Sierra de las Cabras (ITGE-GHUMA, 2000; Jiménez *et al.*,2001). La lluvia en el área de estudio es un fenómeno casi aleatorio y, sin embargo, el acuífero actúa como un gran filtro capaz de amortiguar y modular la señal de entrada. Se trata de un sistema con un efecto memoria considerable (del orden de 100 días) y el tiempo de regulación es igualmente elevado (85 días), aspectos ambos indicativos de una importante inercia y una gran capacidad reguladora ante las precipitaciones. En general, las variaciones más importantes de caudal tienen que ver con la componente anual de la distribución de las precipitaciones, es decir, todos los años hay un aumento de caudal asociado a las lluvias invernales, que son las que producen la recarga más importante. Estas lluvias encuentran una respuesta lineal y amplificada, aunque desfasada más de 2 meses.

Los resultados del análisis de hidrogramas unitarios del manantial de El Tempul, tanto para la serie de datos diarios de caudal como para la serie de datos mensuales, muestran que la decrecida del manantial tiene lugar lentamente, durante más de 100 días, lo cual significa que la infiltración no se produce de forma rápida o concentrada, porque existe una zona de infiltración potente y poco karstificada. El agotamiento del manantial comienza con un caudal de 75 L/s y está caracterizado por un coeficiente α del orden de 2 x 10^{-3} días^{-1}, indicativo de que el agotamiento se realiza de forma lenta (Jiménez *et al.*,2001). Al inicio del agotamiento suele haber 5 hm^3 susceptibles de ser drenados por el manantial y al cabo de un año sin llover se drena, como mucho, la mitad del mismo.

Hidrogramas históricos del manantial de El Tempul



El análisis de caudales clasificados de la serie de datos diarios del manantial de El Tempul permite concluir que por encima de 900 L/s el manantial está en crecida y previsiblemente emergerá agua en Fuente Imbro e incluso en Boca de Foz, por lo que la variación de los caudales de El Tempul se producirá de forma más lenta de lo que cabría esperar (Jiménez et al., 2001). Entre 900 y 75 L/s el manantial se encuentra en decrecida drenando la reserva almacenada anteriormente entre 140 y 120 m s.n.m.. Y, por debajo de 75 L/s el manantial está en agotamiento, por lo que el vaciado se realiza de acuerdo con el coeficiente de agotamiento.

La red de control piezométrico del IGME en este acuífero está compuesta por cuatro puntos cuyas características se muestran en la tabla adjunta. La cota piezométrica en estos puntos es coherente con un flujo subterráneo dirigido preferentemente hacia el manantial de El Tempul, con un gradiente hidráulico del orden del 7‰ (Carreras, 1996). Las evoluciones piezométricas registradas después del bombeo de los años 1995 y 1996 muestran únicamente ascensos del nivel en respuesta a las precipitaciones, como suele ocurrir en acuíferos que funcionan en régimen natural. Dichos ascensos piezométricos llegan a ser del orden de 20 a 25 m.

13.5.4 Hidroquímica

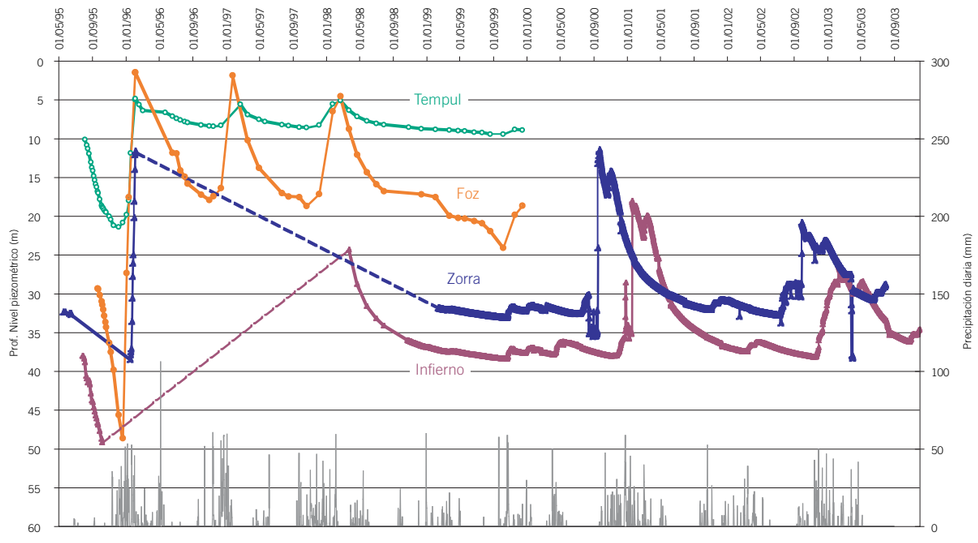
13.5.4.1 Calidad química y composición natural

El agua subterránea de la Sierra de las Cabras es de facies bicarbonatada cálcica, dada la naturaleza caliza de las rocas por las que circula. En el manantial de El Tempul, la conductividad eléctrica del agua está comprendida entre 500 y 600 µS/cm y la composición química del agua varía poco. Los contenidos en sulfatos (35 mg/L) y cloruros (30 mg/L) son ligeramente elevados para lo que cabría esperar de una concentración del agua meteórica, por lo que se deduce una influencia del sustrato triásico del acuífero, de carácter arcilloso-evaporítico. Los contenidos en nitratos son del orden de 2 mg/L y los de magnesio de 20 mg/L. En los sondeos del arroyo de la Zorra se detectó un aumento de la mineralización del agua (700-1.400 µS/cm), durante la explotación llevada a cabo en 1995 (Carreras, 1996), debido al aumento del contenido en sulfatos procedentes del sustrato yesífero triásico.

Red de control piezométrico del IGME

Nº Piezómetro	Coordenadas UTM (Huso 30S)			Prof. (m)	Ø entubación (mm)	Nombre
	x	y	z			
1345-2-0039	253337	4056672	152.10	166	500	Zorra 1
1345-2-0044	259200	4056150	150.00	100	180	Boca de la Foz 3
1345-2-0048	254080	4057675	157.00	100	200	Infierno II
1345-3-0002	260750	4058150	130.00	130	200	Tempul

Evolución piezométrica en los sondeos controlados por el IGME en la Sierra de las Cabras





Panel indicativo del trazado del acueducto romano del Tempul (línea a trazos) y de las conducciones actuales de abastecimiento (línea continua) (3)



Canal del manantial de El Tempul (2)

13.5.4.2 Contaminación y vulnerabilidad

La vulnerabilidad del acuífero de la Sierra de las Cabras a la contaminación puede considerarse moderada en los afloramientos carbonáticos, donde el acuífero es de tipo libre, dada la escasez de formas exokársticas de absorción preferencial, el funcionamiento hidrogeológico de la Sierra de las Cabras (acuífero de flujo difuso) y la profundidad a la que se encuentra el nivel piezométrico. En el sector central, donde al acuífero carbonático está confinado bajo las margas y margocalizas cretácicas, la vulnerabilidad a la contaminación es baja.

El agua es de buena calidad para abastecimiento urbano y no se ha detectado un deterioro de la calidad natural de la misma por la actividad antrópica que se desarrolla sobre el acuífero o en su entorno inmediato. Únicamente, cabe hacer referencia a la actividad ganadera que se practica en la región y la posible contaminación microbiológica asociada, aunque no se tiene constancia hasta el momento de que ello haya ocurrido.

13.5.5 Explotación y balance

13.5.5.1 Entradas

La alimentación del acuífero se produce por infiltración directa de las precipitaciones caídas sobre los afloramientos permeables y, eventualmente, por infiltración de parte de la escorrentía que circula por los arroyos de Bujalance y Bogaz, los cuales se encuentran normalmente secos y con sus cauces colgados del orden de 30 m o más sobre la zona saturada del acuífero. La tasa media de recarga anual está comprendida entre el 20 y 40 % de la precipitación en la mayor parte del área y sólo en las partes altas de las sierras de las Cabras y del Valle se superan estos valores (IGME-GHUMA, 2003). El valor medio anual para toda la sierra es del orden de la tercera parte de la lluvia que cae sobre la superficie permeable y los recursos medios anuales se estiman en unos 9 a 10 hm³/año (ITGE-GHUMA, 2000; Jiménez *et al.*, 2001).

13.5.5.2 Salidas

La descarga se produce, de modo natural, por el manantial de El Tempul, a la cota 120 m s.n.m., cuyo caudal varía entre unos 20 L/s y menos de 2.000 L/s, con un valor medio histórico de 283 L/s. En épocas de recarga excepcional entra en funcionamiento el "trop plein" de Fuente Imbro, situado en la cabecera del arroyo del Infierno (Sierra de Dos Hermanas) a la cota de 140 m s.n.m.

Una pequeña parte de la descarga natural del acuífero que se produce a través del manantial de El Tempul, se utiliza para el abastecimiento urbano de San José del Valle (0,3 hm³/año) y Jerez de la Frontera (1 hm³/año).

Respecto al uso agrícola de las aguas subterráneas del acuífero, cabe señalar que se utilizan del orden de 0,15 hm³/año para complementar el riego de 178 ha (Junta de Andalucía, 2002).

Con estas cifras, el balance hídrico del acuífero estimado para el año 2002, es el siguiente:

Entradas	hm³/a
Infiltración agua de lluvia	9,50
Total	**9,50**
Salidas	hm³/a
Manantial de El Tempul	9,50
Total	**9,50**

13.5.6 Problemática existente y pautas de gestión

El acuífero de la Sierra de las Cabras no presenta problemas relacionados con la explotación del agua, porque funciona en régimen natural. El agua se aprovecha, fundamentalmente, para abastecimiento urbano de Jerez de la Frontera y San José del Valle, mientras que el aprovechamiento agrícola es prácticamente inexistente. Dada la buena calidad natural del agua de este acuífero, convendría preservarlo para abastecimiento urbano.

La Sierra de las Cabras es una reserva estratética de agua de buena calidad que puede ser potencialmente explotada en épocas de sequía, como la de los años 1995 y 1996, para el abastecimiento de la Bahía de Cádiz.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España
Diputación de Cádiz

Acuífero de la Sierra de las Cabras

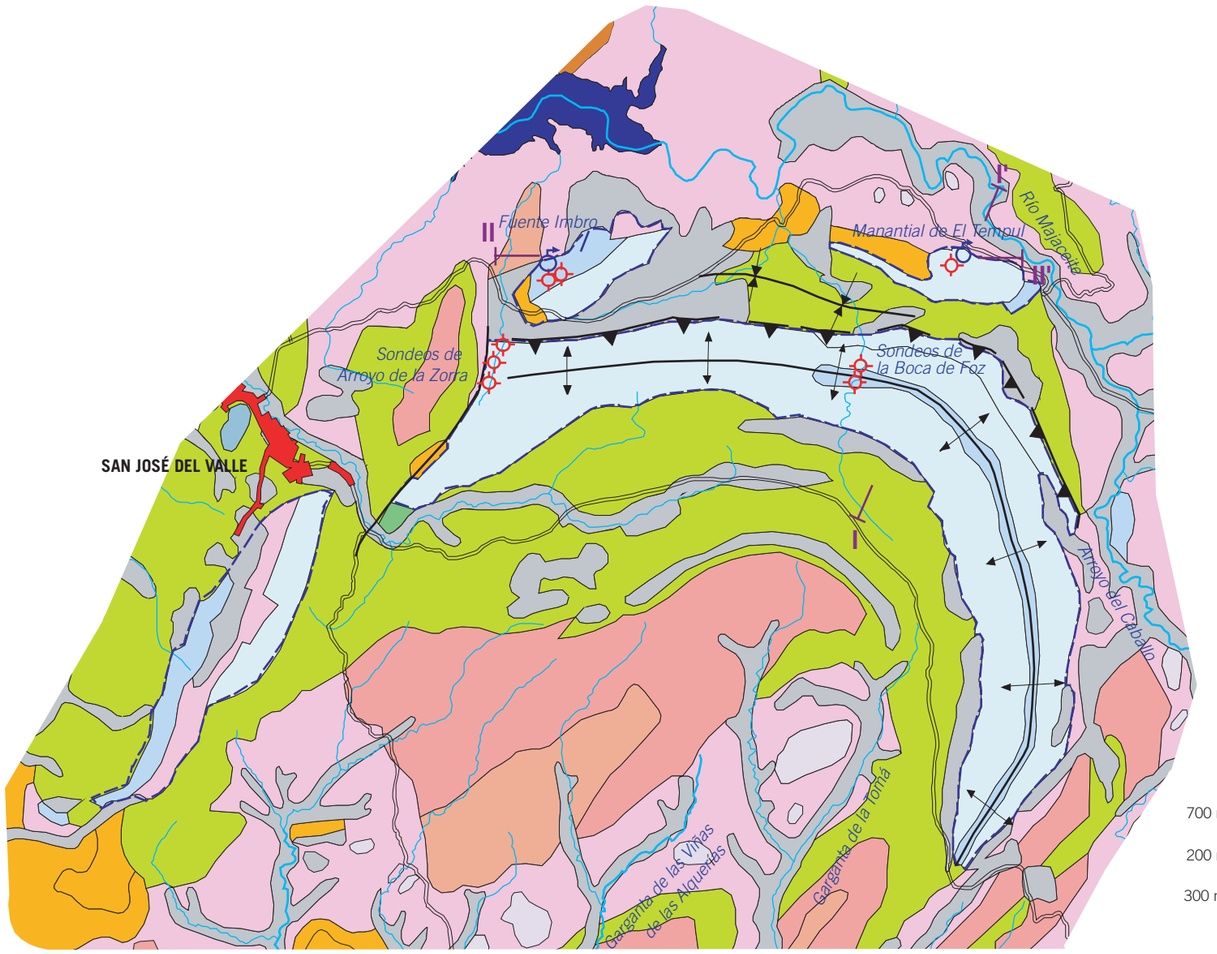
SITUACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA PROVINCIA



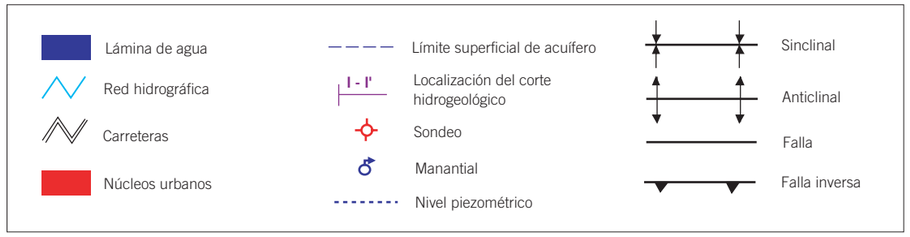


LEYENDA

LITOLOGÍA	EDAD GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD
Arenas y gravas (depósitos fluviales). Depósitos de ladera	Cuaternario	Media
Calcarenitas y margas azules	Mioceno superior	Media-baja
Margas y margocalizas blancas	Oligoceno	Baja
Margas y margocalizas con niveles turbidíticos	Paleoceno	Baja
Margas y margocalizas blancas y verdes. Margas y margocalizas rojas	Cretácico	Baja
Calizas oolíticas y calizas tableadas	Dogger-Malm	Alta
Calizas y dolomías	Lías	Alta
Dolomías tableadas y carniolas	Triásico superior	Alta
Arcillas con evaporitas	Triásico superior	Baja

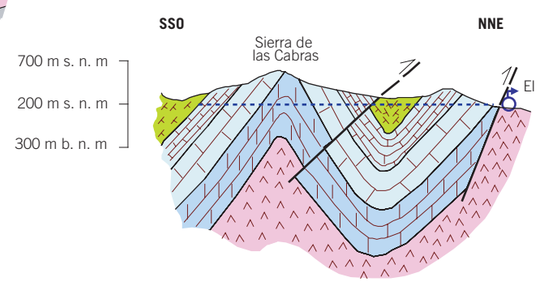


SIMBOLOGÍA

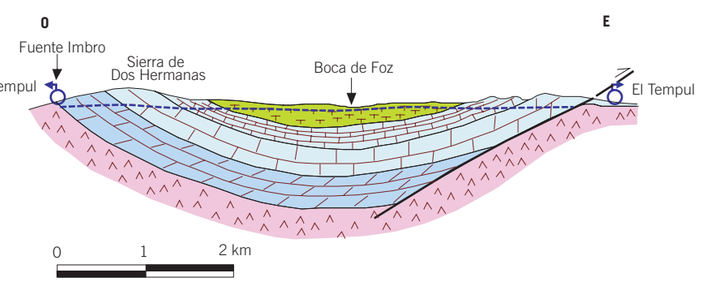


CORTES HIDROGEOLÓGICOS

CORTE I-I´



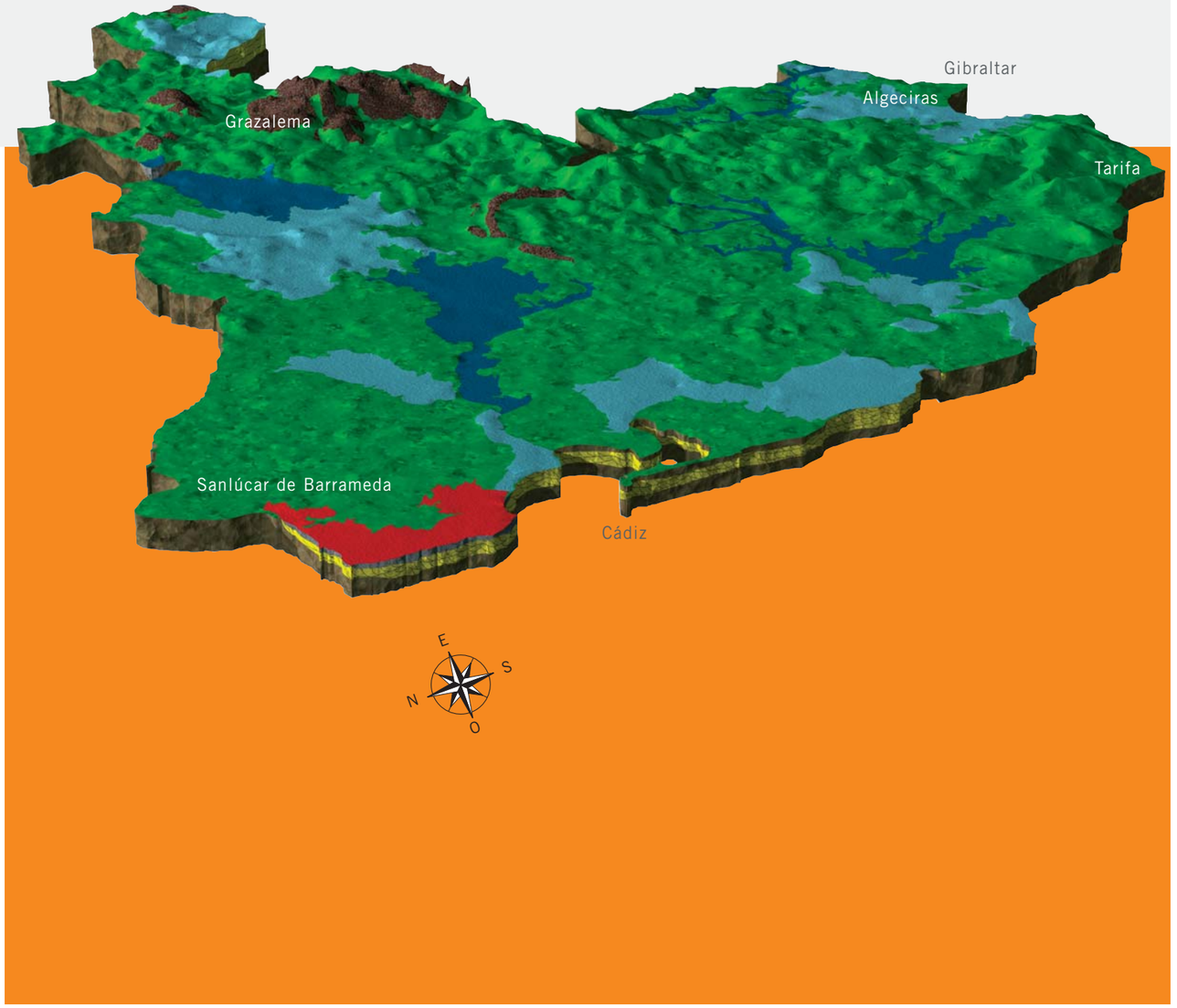
CORTE II-II´



Principales acuíferos

Rota - Sanlúcar - Chipiona

13.6



13.6.1 Situación y límites

Este acuífero, con una extensión de 88 km^2, se encuentra situado al NO de la provincia de Cádiz. Con una forma irregular, se extiende a modo de triángulo, con los vértices en las poblaciones de Sanlúcar de Barrameda, Chipiona y Rota, según una banda subparalela a la costa, de unos 25 km de longitud y unos 7 km de ancho. Quedan incluidos en el acuífero, el término municipal de Chipiona en su totalidad (17.334 habitantes) y parcialmente los términos de Sanlúcar de Barrameda (62.308 habitantes) y Rota (26.431 habitantes). Este acuífero conforma la unidad hidrogeológica 05.57 cuya poligonal tiene una superficie total de 163 km^2.

Las hojas del Mapa Topográfico Nacional, escala 1:50.000, en las que se encuentra cartografiado son las siguientes: 1.047 (11-44) Sanlúcar de Barrameda y 1.061 (11-45) Cádiz.

13.6.2 Climatología e hidrología

13.6.2.1 Climatología

El acuífero presenta, según la clasificación de Papadakis, un clima mediterráneo subtropical con régimen térmico semicálido.

Los datos pluvio-termométricos y de evapotranspiración potencial de que se dispone, y que se consideran representativos, son los tomados del Plan Hidrológico del Guadalquivir (C.H.G., 1995) y corresponden al periodo 1954-1988. Estos datos arrojan los siguientes valores:

- Precipitación media anual: 550 mm.
- Temperatura media anual: 17 ºC.
- Evapotranspiración potencial: 850 a 900 mm.
- Lluvia útil: 120 mm.

13.6.2.2 Hidrología

La red hidrográfica de la zona tiene poca entidad y está constituida por el arroyo Hondo, en la zona este, y su cuenca vertiente, que desemboca en la Bahía de Cádiz y algunos arroyos de menor importancia que vierten directamente en el Océano Atlántico. La parte norte del acuífero (un 15 % aproximadamente) pertenece a la subcuenca del Guadalquivir y el resto a la del Guadalete-Barbate.



Centro urbano de Sanlúcar de Barrameda (plaza de San Roque) (6)

13.6.3 Hidrogeología

13.6.3.1 Contexto Geológico

El acuífero se enmarca en el extremo occidental de las Cordilleras Béticas, en la zona de contacto con la Depresión del Guadalquivir. Los materiales que afloran pertenecen a la Zona Circumbética de edad Terciaria y tienen un carácter alóctono o para-autóctono. Igualmente aparecen formaciones para-autóctonas (o autóctonas) terciarias y una serie claramente autóctona que abarca desde el Plioceno inferior hasta el Holoceno.

Las unidades litoestratigráficas existentes son, de muro a techo, las siguientes:

Formación alóctona o para-autóctona

Está constituida principalmente por arcillas verdes y margas abigarradas con algún nivel esporádico de areniscas calcáreas de carácter turbidítico. La asignación de edad resulta compleja por lo que se las considera como Terciario s.l.. Su potencia es indeterminada.

Formación para-autóctona o autóctona

Está constituida principalmente por margas blancas silíceas (albarizas) que constituyen la base de la serie miocena. En ocasiones presenta intercalaciones de calcarenitas. Se le atribuye una edad Burdigaliense-Andaluciense. Su potencia puede estimarse en un mínimo de 200 metros.

Serie Autóctona

- Plioceno superior: se dispone discordante sobre las formaciones anteriores y está constituido por arenas, conglomerados y calcarenitas con niveles conchíferos (facies ostionera). Su potencia se ha estimado en 25 metros en función de los datos de espesor recogidos en la base de datos del IGME.
- Pliocuaternario: está representado también por conglomerados y calcarenitas con niveles conchíferos (facies ostionera), además de arenas cuarzosas con cambios de facies hacia margas verdosas (lagoon); se le asigna una potencia de aproximadamente 25 metros.
- Cuaternario: incluye todo un conjunto de materiales detríticos en el que predominan los depósitos arenosos y arenoso-arcillosos. Se le estima una potencia máxima de 5 metros.

13.6.3.2 Características hidrogeológicas

13.6.3.2.1 Descripción general

El acuífero de Rota–Sanlúcar-Chipiona está constituido por los materiales detríticos de la serie autóctona de edad Plioceno, Pliocuaternario y Cuaternario que litológicamente corresponden a arenas, calcarenitas y conglomerados.

Se trata de un acuífero libre y costero, permeable por porosidad intergranular. El sustrato impermeable lo constituyen las margas y arcillas verdes de la formación alóctona o para-autóctona y las margas blancas silíceas de la formación para-autóctona o autóctona; materiales que también limitan el acuífero hacia el este. Al oeste el acuífero limita con el Océano Atlántico, con el que está en contacto hidráulico.

Su superficie permeable total es de 88 km^2 y su espesor es variable, oscilando entre 5 y 27 m, y ha sido determinado sobre la base de sondeos mecánicos y por la campaña de prospección geofísica llevada a cabo por el IGME (IGME, 1986).

La recarga del sistema se produce por infiltración del agua de lluvia y actualmente también, por el retorno de los riegos con aguas superficiales procedentes del río Guadalete, concretamente en el Subsector II, del Sector V, de la Zona Regable del NO de Cádiz, que se ubica en el término municipal de Chipiona.





Foto superior: Pozo Romero, antiguo abastecimiento a Chipiona (1)
Foto inferior: Biocalcarenitas y conglomerados pliocuaternarios (facies ostionera). Playa de la Ballena, término municipal de Rota (6)

13.6.3.2.2 Parámetros hidrogeológicos

De los datos aportados por la interpretación de las pruebas de bombeos efectuadas en varios sondeos que captan el acuífero se han obtenido valores medios de la transmisividad de 300 m^2/día. (IGME, 1985). La porosidad eficaz se estima en el 2%, siendo la permeabilidad media del orden de 10^{-4} m/s.

13.6.3.2.3 Funcionamiento hidrodinámico. Piezometría

La recarga del sistema se produce por infiltración del agua de lluvia y en menor medida por el reciclaje de riegos. Las salidas se producían, en fechas próximas a 1966, por drenaje oculto al mar. Posteriormente y como consecuencia del incremento de las extracciones por bombeo, el sentido del flujo se invirtió en algunas zonas lo que provocó el avance de la intrusión marina. La evolución de los niveles presentaba un ciclo con depresiones, en estiaje, recuperadas en épocas de mayores precipitaciones, pero con tendencia al descenso en casi todo el acuífero. En la actualidad no existen salidas naturales localizadas, existiendo la posibilidad de que el drenaje se produzca de manera oculta al mar, al menos en determinadas épocas, como sucedía en 1966. Las únicas salidas cuantificadas corresponden a bombeos destinados a regadíos.

El flujo del agua es, en condiciones naturales, hacia el mar con direcciones de circulación del agua subterránea, sensiblemente perpendiculares a la costa. La profundidad del nivel del agua en el acuífero oscila, dependiendo de la situación, entre 1 y 17 m.

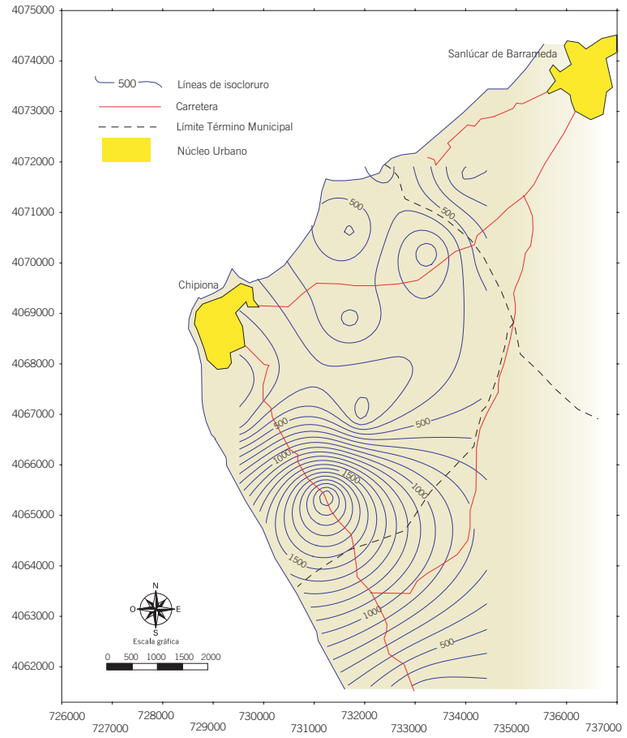
En 1992 se comenzó el riego, en amplias zonas del acuífero, con aguas del río Guadalete, por lo que la tendencia general de descenso en los niveles se ha invertido, existiendo ascensos casi generalizados, aunque en sectores próximos a la costa, donde los riegos continúan efectuándose con aguas subterráneas, sigue produciéndose, local y estacionalmente inversión del flujo del agua subterránea con entrada de agua marina en el acuífero.

La superficie regada con aguas superficiales ha ido aumentando hasta la actualidad en la que se riegan aproximadamente 3.900 ha. Estos riegos representan, con una dotación media entre 5.000 y 6.000 m^3/ha/a, un volumen total de 21 hm^3/a, según el Inventario de Regadíos de la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía.

La red de control piezométrico, establecida por el IGME a principios de la década de los 80, ha estado tomando medidas en 15 puntos del acuífero hasta el año 2002, con una periodicidad mensual.

Piezometría

Octubre 2003 (IGME, 2003)



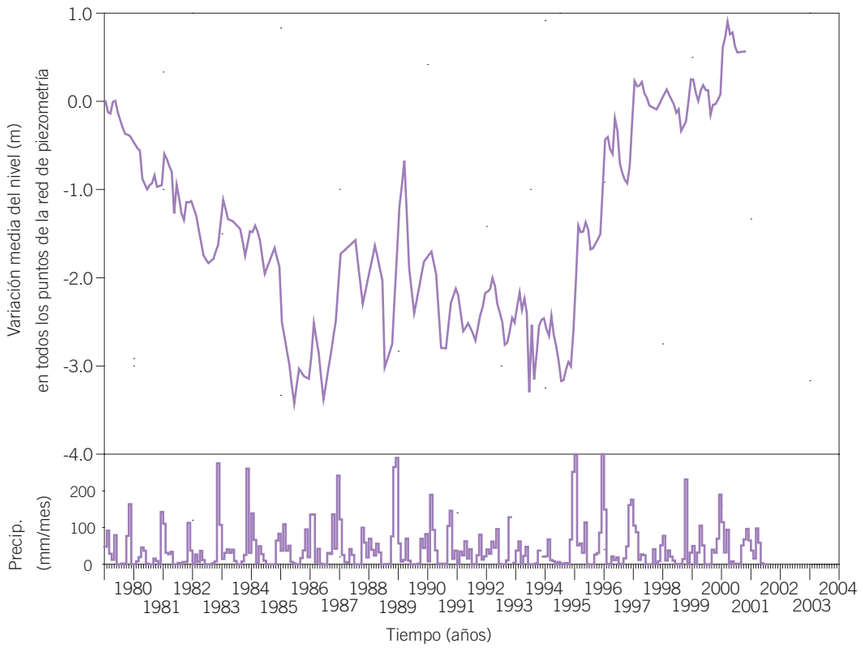
Red de control piezométrico del IGME

Nº de Punto	X	Y	Cota	Profundidad
1144-2-0005	198326	4073839	17,78	35
1144-2-0025	196155	4073576	8,06	7,40
1144-2-0027	196049	4072902	9,33	18
1144-2-0036	196799	4074120	7	6
1144-6-0010	195238	4067706	10,32	20
1144-6-0013	196887	4063487	11,89	8
1144-6-0021	199354	4071705	24,73	8,80
1144-6-0042	195913	4071176	12,5	34
1144-6-0079	193611	4069225	5,6	6,65
1144-6-0083	193691	4070025	5,87	13
1144-6-0085	195993	4069168	15,1	28,50
1144-6-0086	196978	4070056	16,05	37
1144-6-0087	198692	4072122	21,5	37,50
1144-6-0088	196082	4065136	10,73	16
1144-6-0095	196071	4072301	9,45	14

En cuanto a la evolución piezométrica del acuífero, se ha representado la variación del nivel piezométrico en función del tiempo, considerando el conjunto de toda la red de control del IGME. En el año 1995 el nivel piezométrico se situaba en torno a los 2-3 m s.n.m., mientras que en el año 1999 y 2000 el nivel se encontraba del orden de los 6 m s.n.m., lo que representa un ascenso de casi 4 m para dicho período.

Además del comentado ascenso del nivel piezométrico, los aportes por retorno de regadíos unidos a la disminución de las extracciones de aguas subterráneas, han hecho que la tendencia a la inversión del flujo y el consiguiente peligro de intrusión disminuyan considerablemente. No obstante se siguen produciendo descensos no deseables en zonas exteriores a la zona regable, y próximas a la costa, siendo el área situada al sur de Chipiona la que presenta una mayor concentración de cloruros.

Evolución piezométrica en el acuífero de Rota-Sanlúcar-Chipiona



13.6.4 Hidroquímica

13.6.4.1 Calidad química y composición natural

En la base de datos del IGME existen 276 análisis realizados, entre los años 1966 y 2001, en los puntos de la red de control de calidad de éste Organismo, análisis que sustentan la caracterización química de este acuífero.

Red de control de calidad del IGME

Nº de Punto	X	Y
1144-2-0005	198326	4073839
1144-2-0027	196049	4072902
1144-2-0036	196799	4074120
1144-6-0010	195238	4067706
1144-6-0013	196887	4063487
1144-6-0042	195913	4071176
1144-6-0063	195850	4071597
1144-6-0079	193611	4069225
1144-6-0083	193691	4070025
1144-6-0085	195993	4069168
1144-6-0086	196978	4070056
1144-6-0087	198692	4072122
1144-6-0095	196071	4072301

Las aguas subterráneas del acuífero Rota-Sanlúcar-Chipiona presentan facies predominantemente cloruradas sódicas, son de mineralización notable a fuerte y duras a extremadamente duras, con elevados contenidos en nitratos. Los máximos valores de salinidad total se encuentran en las zonas costeras.

Características químicas del acuífero Rota-Sanlúcar-Chipiona

Parámetro (mg/L)	Máximo	Mínimo	Medio
Cloruros	3.354	17	823
Sulfatos	1.270	3	351
Bicarbonatos	3.120	6	269
Nitratos	880	1	252
Sodio	1.783	10	443
Magnesio	240	2	69
Calcio	760	3	251
pH (unidades de pH)	9,7	4,2	7,4
Conductividad eléctrica (µS/cm)	11.552	95	3.891

Los valores máximos, se distribuyen entre el núcleo de Chipiona y el de Rota para los sulfatos, cloruros y bicarbonatos. Los máximos contenidos en nitratos se obtienen en los puntos de observación costeros en la franja entre Chipiona y Sanlúcar. Los valores mínimos del contenido en cloruro y sulfato aparecen situados hacia el interior del acuífero y es posible que estos mínimos del contenido salino tengan relación con la importante recarga del acuífero por el riego con aguas superficiales.

Los valores mínimos del pH presentes en el cuadro corresponden posiblemente a muestras tomadas en aguas estancadas y/o analizadas mucho tiempo después de haber sido tomadas (no descartándose algún error instrumental) ya que los puntos que presentan esos valores están distribuidos irregularmente por el acuífero y muestras de los mismos analizadas en otros momentos, arrojan resultados habituales.

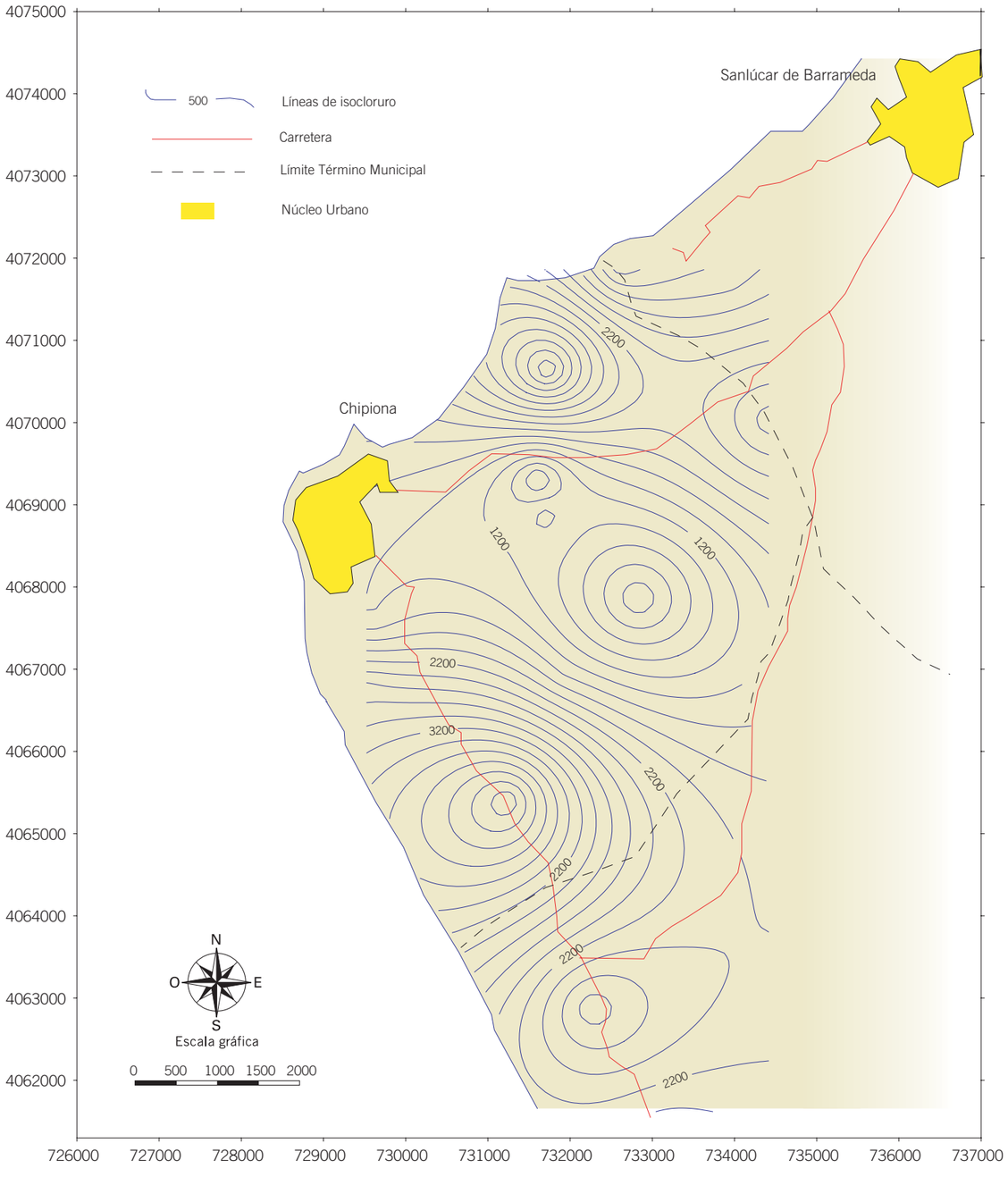
Para su uso en agricultura se clasifican como aguas del tipo C3-C4/S1-S2, de mala calidad, aptas para el cultivo sólo en terrenos con buen drenaje y con peligro de sodificación en casos excepcionales.

MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

Isocloruros

(IGME, 2003)

Julio 1992



Junio 2001

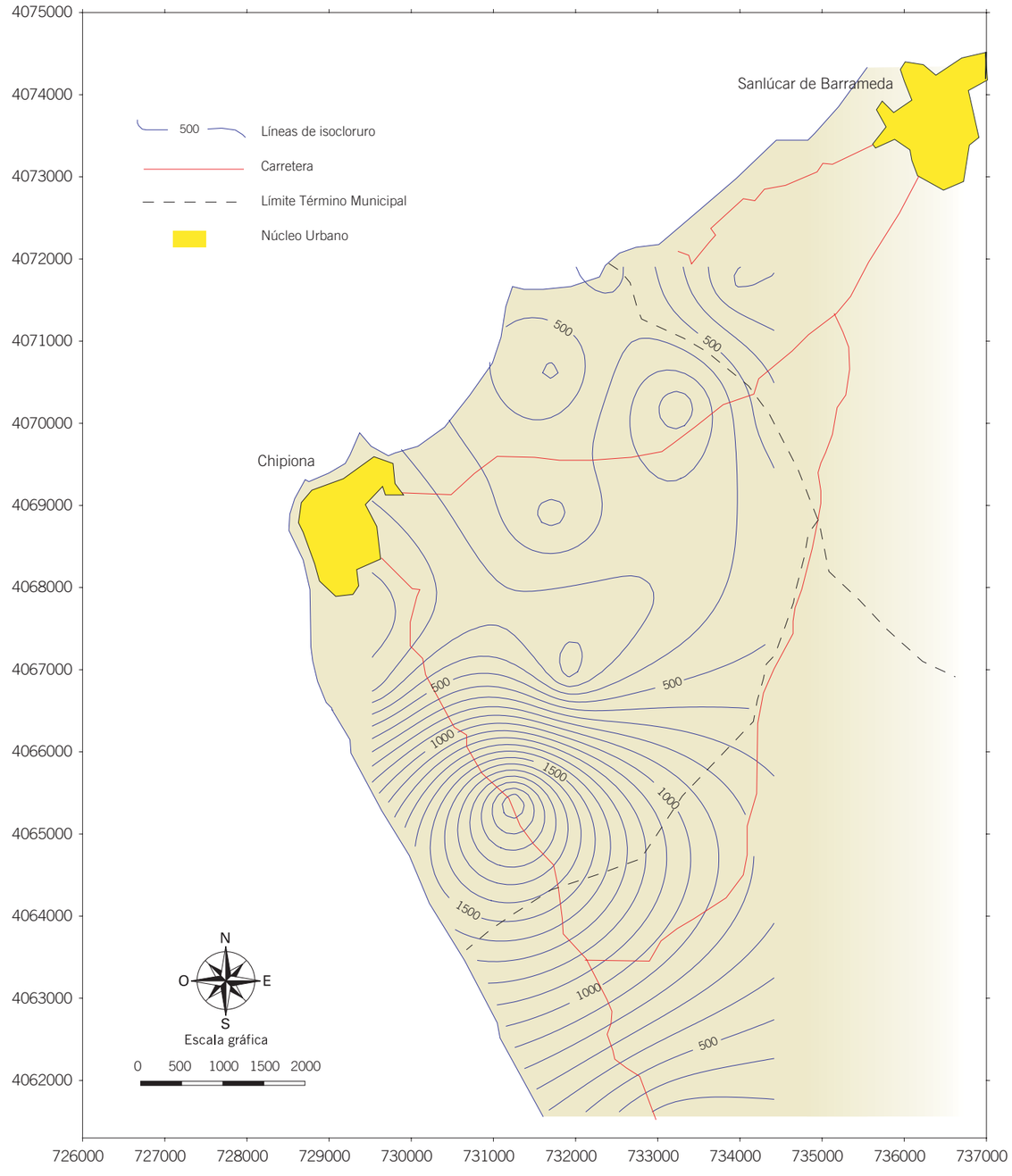






Foto superior: Invernaderos y, en primer plano, cultivo de algodón. Término municipal de Chipiona (6)
Foto inferior: Sondeo IRYDA (Chipiona), que forma parte de la red piezométrica del IGME (1)

13.6.4.2 Contaminación y vulnerabilidad

La práctica totalidad de los materiales presentes en el acuífero presentan una elevada vulnerabilidad a la contaminación, por la elevada permeabilidad y escasa protección de los mismos.

Los focos potenciales de contaminación existente en el área corresponden principalmente a la actividad agrícola intensiva, a las explotaciones ganaderas diseminadas por todo el acuífero y a las aguas residuales procedentes de un gran número de casas diseminadas, en algunos sectores del acuífero, y en las que no se dispone de infraestructura sanitaria.

El desarrollo agrícola de la zona y en particular las especiales características de los numerosos cultivos en invernaderos, ha dado lugar a problemas de contaminación debido al notable incremento de compuestos nitrogenados en las aguas subterráneas. La carga contaminante procedente de los abonos nitrogenados, se estima en un total de 617 t/a de nitrógeno que corresponden a las aproximadamente 4.750 ha de regadío existentes en el acuífero.

Un problema importante de contaminación de este acuífero, aunque en la actualidad en vías de corrección, es el ocasionado por la intrusión marina. La aparición de este fenómeno fue provocado por la explotación intensiva y sin control de aguas subterráneas para usos agrícolas, con extracciones de aguas subterráneas que superaban los recursos existentes. El cambio de origen de las aguas para riego, que desde 1992 se realiza con aguas superficiales, ha dado lugar a un descenso importante y generalizado de los niveles de cloruros en las aguas subterráneas (como se observa en el mapa de isocloruros del acuífero), aunque en áreas concretas, donde se siguen utilizando las aguas subterráneas para riego, las concentraciones se mantienen o incluso aumentan como es el caso de un sector situado 4 km al sur de Chipiona donde se dan las máximas concentraciones del acuífero (> 3.000 mg/L).

13.6.5 Explotación y balance

El balance hídrico del acuífero de Rota-Sanlúcar-Chipiona se ha realizado tomando, para el cálculo de la recarga, una superficie permeable de 88 km^2 y se ha considerado una infiltración eficaz de 120 mm/a que supone un 22% de la precipitación media del acuífero. También se ha considerado como válido el volumen de riego con aguas superficiales de 21 hm^3/a obtenidos del Inventario de Regadíos de la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía y que implica unos aportes por retorno de riego de 2,5 hm^3/a.

Las posibles salidas ocultas al mar se han considerado en conjunto con el incremento de la reserva del acuífero, que se refleja en la subida del nivel piezométrico, cifrado en 1,3 m de promedio.

De este modo, el balance hídrico del acuífero, para el año 2002, es el siguiente:

Entradas:	hm^3/a
Infiltración del agua de lluvia	10,0
Infiltración por retorno de regadíos	2,5
Total	**12,5**
Salidas	hm^3/a
Bombeo	2,0
Salidas ocultas al mar y/o incremento de la reserva	10,5
Total	**12,5**

13.6.6 Problemática existente y pautas de gestión

El acuífero Rota–Sanlúcar-Chipiona presenta en la actualidad aguas de calidad deficiente con altos contenidos en sulfatos y productos nitrogenados como consecuencia de un uso abusivo de los fertilizantes agrícolas. En lo referente a la intrusión marina hay que destacar dos zonas especialmente afectadas, la primera a unos 3,5 a 4 km al sur de Chipiona, con concentraciones de cloruros superiores a los 3.000 mg/L, y la segunda situada entre las poblaciones de Sanlúcar de Barrameda y Chipiona, en las proximidades de la costa, con 700 mg/L. En ambos sectores el fenómeno de la intrusión salina se produce por la extracción de agua subterránea para uso agrícola.

En el resto del acuífero y debido mayormente a que el riego agrícola con agua subterránea se ha sustituido por aguas superficiales, las condiciones han mejorado, en cuanto al tema de la intrusión marina, no así en el tema de la contaminación por otros productos. Por otro lado el ascenso de niveles comienza a provocar problemas de encharcamiento en algunos sectores.

La tendencia observada a partir de los datos obtenidos en las redes de control hace pensar que de mantenerse las condiciones actuales de explotación de aguas subterráneas en las zonas costeras, el proceso de intrusión marina continuará su avance en los sectores anteriormente citados. Sin embargo es posible que ante el empeoramiento de la calidad del agua y debido al empleo de las aguas superficiales, el efecto de la intrusión marina se llegue a detener y puedan disminuir las altas concentraciones de cloruros que actualmente se presentan. Sería aconsejable la inclusión dentro del sistema de riego con aguas superficiales, de las áreas costeras situadas entre Chipiona y Sanlúcar y entre Chipiona y Rota ya que el efecto de la intrusión salina se podría ver detenido.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

Acuífero de Rota - Sanlúcar - Chipiona

SITUACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA PROVINCIA



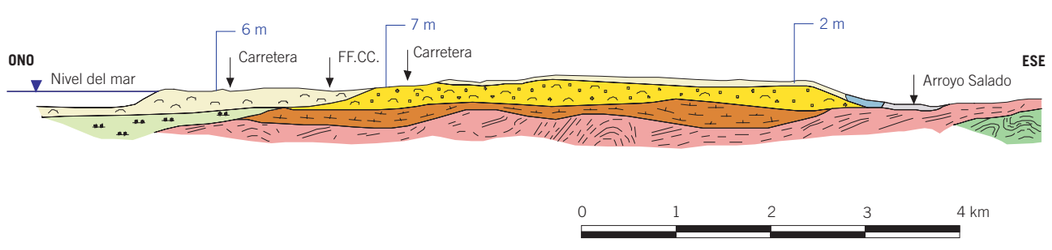
LEYENDA

LITOLOGÍA	EDAD GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD
Arenas	Cuaternario	Media
Arcillas, arenas y costras (depósitos edáficos)	Cuaternario	Media
Arenas, arcillas y cantos (depósitos de ladera)	Cuaternario	Media
Arenas y gravas (depósitos fluviales)	Cuaternario	Alta
Biocalcarenitas y conglomerados (facies ostionera) y suelos rojos	Pliocuaternario	Media
Arenas, biocalcarenitas y conglomerados (facies ostionera)	Plioceno	Media
Margas grises	Plioceno	Baja
Margas blancas silíceas (albarizas o moronitas)	Mioceno medio	Baja
Arcillas verdes y margas blancas	Terciario S.L. (Paleógeno)	Baja
Calizas margosas y margas	Cretácico superior	Baja

SIMBOLOGÍA

- Lámina de agua
- Red hidrográfica
- Carreteras
- Ferrocarril
- Núcleos urbanos
- Límite superficial de acuífero
- I - I' Localización del corte hidrogeológico
- Sondeo
- Pozo
- Falla supuesta
- 7 m Profundidad del nivel piezométrico

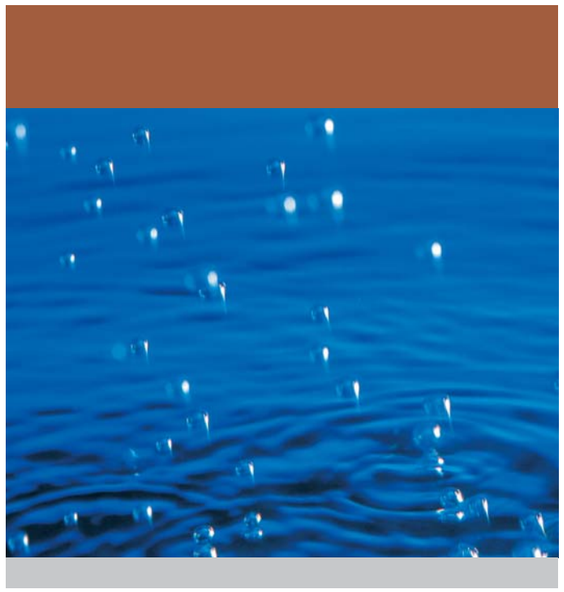
CORTE HIDROGEOLÓGICO
CORTE I-I



De “Galerías “

¡Oh tiempo en que mis dolores
traían lágrimas buenas,
y eran como agua de noria
que va regando una huerta!
Hoy son agua de torrente
que arranca el limo a la tierra.

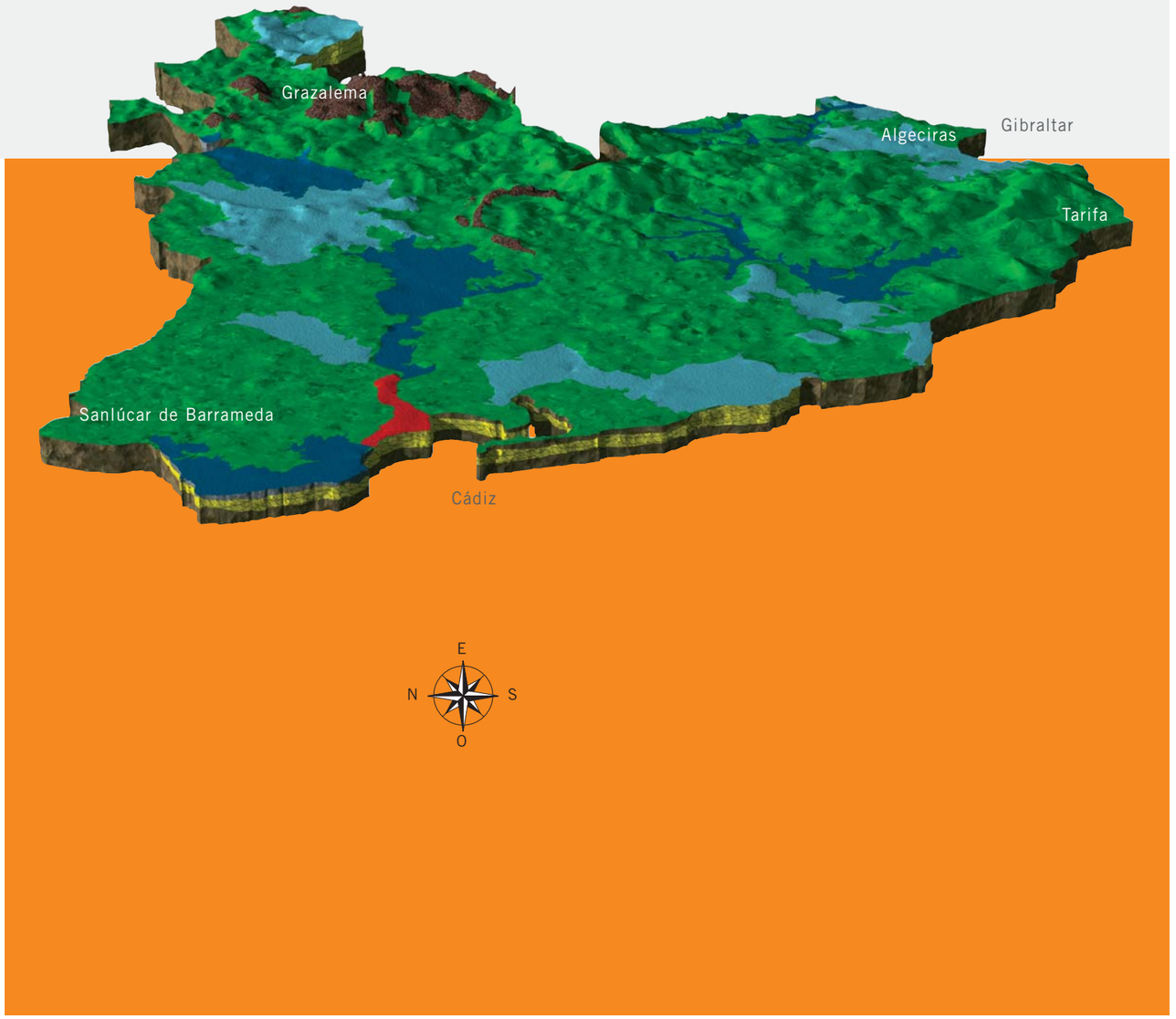
Antonio Machado



Principales acuíferos

Puerto de Santa María

13.7



13.7.1 Situación y límites

El acuífero de El Puerto de Santa María se sitúa en la Cuenca Baja del Guadalquivir, en concreto, en la desembocadura del río Guadalete. Con una superficie de 44,02 km^2 de materiales permeables, se extiende a lo largo de la costa atlántica de la provincia de Cádiz, entre el arroyo Salado de Rota y la desembocadura del río Guadalete y queda enmarcado en el sector costero de la comarca de la Campiña de Jerez. El único núcleo de población existente es El Puerto de Santa María, con una población de 77.747 habitantes.

El acuífero está limitado por el arroyo del Salado de Rota al oeste, el río Guadalete al sur, el arroyo del Carrillo al este y el Océano Atlántico al suroeste. Este acuífero conforma la unidad hidrogeológica 05.58, cuya poligonal limita al noroeste con la unidad hidrogeológica 05.57 “Rota-Sanlúcar-Chipiona”, al este con la 05.55 “Aluvial del Guadalete” y al sur con la 05.59 “Puerto Real-Conil”.

Las hojas del Mapa Topográfico Nacional, escala 1/50.000, en las que se localiza son las nº 1.061 (11-45) Cádiz y 1.062 (12-45) Paterna de la Rivera.

13.7.2 Climatología e hidrología

13.7.2.1 Climatología

El tipo de clima que caracteriza a la zona es el mediterráneo semihúmedo de invierno templado, marcado por la influencia conjunta del mar y de los vientos cálidos procedentes del Sahara, y por las masas frías provenientes de Centroeuropa, que en invierno generan perturbaciones sobre el Atlántico dejando sentir la influencia oceánica sobre las costas y originando lluvias abundantes y temporales de viento, así como un régimen térmico suave.



El Puerto de Santa María. Centro urbano (6)



Desembocadura del río Guadalete (6)

La caracterización climática del área sobre la que se sitúa el acuífero, se ha realizado mediante la información proporcionada por la estación meteorológica de Puerto Real, de similares características que la de El Puerto de Santa María pero con una serie temporal más completa (periodo 1957 a 1995). La precipitación media anual es de 628 mm, valor algo superior a la registrada en las estaciones de Rota (522 mm) y San Fernando (616 mm), que bordean el acuífero. Siendo los datos principales los siguientes:

- Precipitación media anual: 628 mm
- Temperatura media anual: 17,4 ºC
- Evapotranspiración potencial (ETP) anual: 798 mm
- Evapotranspiración real (ETR) anual: 488 mm.
- Lluvia útil media anual: 201 mm.

13.7.2.2 Hidrología

El acuífero se situa en la cuenca del Guadalete-Barbate. No hay jerarquización y definición de red de drenaje en los afloramientos permeables, la escorrentía generada bien se infiltra en el acuífero o bien es evacuada por las redes urbanas de aguas pluviales.

El curso del río Guadalete, jalonado en su trazado por la marisma y por los muros de defensa de los terrenos colonizados, los sistemas de drenaje de la Zona Regable de la Margen Derecha del Bajo Guadalete, y los esteros y salinas, configuran los únicos componentes hidrográficos del ámbito.

13.7.3 Hidrogeología

13.7.3.1 Contexto geológico

El acuífero está ubicado en el extremo occidental de las Cordilleras Béticas (Zona Subbética), entre la desembocadura del río Guadalete y el arroyo Salado de Rota. Los materiales subbéticos presentes, están constituidos sobre todo por arcillas, margas yesíferas y areniscas triásicas. Sobre éstos se depositaron, en principio, margas silíceas blancas con carácter paraautóctono. Seguidamente, ya con carácter autóctono, se depositó una serie detrítica desde el Mioceno al Cuaternario. Las características de estos materiales se detallan a continuación:

Zona Subbética

Triásico: constituye el basamento de todos los materiales aflorantes. Está formado por arcillas abigarradas multicolores (desde roja a violeta y amarillas), areniscas rojas o amarillentas, yesos y dolomías intercaladas en delgadas capas, entre la arcilla y la arenisca.

Cretácico: se trata de calizas margosas y margas verdosas o blanquecinas. Su afloramiento es muy reducido y se sitúan al noroeste del acuífero. La potencia de la serie es como máximo de 80 m.

Terciario (Paleógeno): está constituido en su mayor parte por arcillas o margas arcillosas verdes oscuras con las que alternan esporádicos episodios de margas blancas y calizas arenosas o areniscas de carácter turbidítico. Tiene una potencia variable que, como máximo, alcanza en la zona unos 150 m.

Formación para-autóctona

Mioceno: representado por margas silíceas blancas que localmente se denominan “albarizas” o “moronitas” de edad Burdigaliense-Andaluciense, cuya potencia es variable, pudiendo alcanzar hasta 30 m. Se comportan como impermeables y constituyen, junto a los materiales subbéticos, el substrato impermeable del acuífero.

Formaciones autóctonas

Mioceno superior: formado por un paquete de margas azules, que pueden alcanzar potencias de 100 a 150 m, sobre el que se disponen las calcarenitas (caliza tosca) que constituyen toda la alineación de la sierra de San Cristóbal. Estas calcarenitas se comportan hidrogeológicamente como acuíferos y su potencia varía de unos puntos a otros, aunque suele ser superior a los 50 m.

Plioceno inferior medio: se trata de limos arenosos, más arcillosos en profundidad, que no afloran en superficie y es muy probable que se encuentren rellenando la pequeña fosa post-miocena situada entre la sierra de San Cristóbal y El Puerto de Santa María según se desprende de datos geofísicos.

Plioceno superior: constituido principalmente por arenas amarillas y calcarenitas bioclásticas. También están presentes limos y margas arenosas, así como conglomerados cementados con ostras de edad plio-cuaternaria. Aflora a lo largo de la costa formando una franja aproximadamente de 1 km de anchura. Su potencia varía entre 5 y 20 m. Se comportan hidrogeológicamente como un acuífero.

Cuaternario: formado por conglomerados, cantos, arenas, limos y arcillas. También por depósitos de glacis de cobertera, terrazas y aluviales, dunas, flechas litorales y marismas, entre otros. Las marismas se localizan en la desembocadura del río Guadalete. Se comportan hidrogeológicamente como un acuífero, excepto las arcillas y limos de la marisma que son impermeables.

13.7.3.2 Características hidrogeológicas

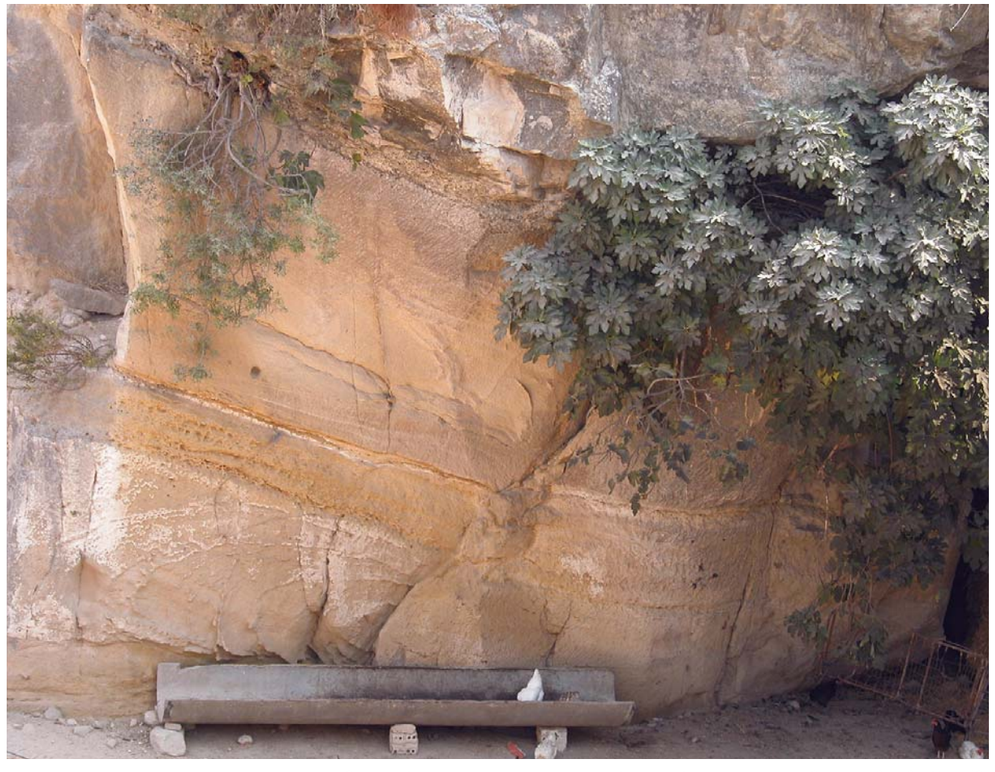
El acuífero integra fundamentalmente materiales detríticos autóctonos, dispuestos sobre un zócalo o paleorelieve de carácter margoso que en tiempos geológicos configuraba la vertiente septentrional del gran estuario del Guadalete. La formación acuífera se compone de: a) un conjunto de sedimentos de carácter litoral inducidos por la transgresión marina del Plioceno (conglomerados y areniscas muy carbonatadas), y b) formaciones superpuestas y de espesor más reducido constituidas por arenas eólicas, arenas de flechas litorales y arenas arcillosas típicas de glacis de cobertera.

Zonalmente se reconocen cuatro grandes sectores con características hidrogeológicas diferenciadas:

El sector costero, comprendido entre el término municipal de Rota y la ría del Guadalete. Se compone de un gran manto de arenas eólicas superpuestas a las calcarenitas infrayacentes.

El sector costero o isla de Levante, integra formaciones típicas de bocana de estuario, básicamente depósitos arenosos (flecha litoral) que con su acreción hacia el sur protegen al estuario del Guadalete ante la climatología marina y favorecen la formación de amplias llanuras mareales, configuradas fundamentalmente por arcillas de colmatación del estuario. El espesor de los depósitos arenosos es reducido y disminuye hacia la bocana del río San Pedro.

El sector central, presenta una mayor complejidad derivada de la superposición y alternancia de diferentes ambientes sedimentarios asociados a las variaciones cuaternarias del nivel del mar: fundamentalmente areniscas en facies ostionera, arenas características de terrazas fluviomarinas, y arcillas arenosas típicas de glacis de cobertera.



Calcarenitas del Mioceno superior, en antigua cantera de la barriada Sierra de San Cristóbal (6)

La Sierra de San Cristóbal. Relieve estructural formado por potentes formaciones de calcarenitas muy permeables.

Se trata de un acuífero detrítico libre y costero, permeable por porosidad intergranular y con carácter libre, excepto bajo las marismas, en las que los materiales impermeables (limos y arcillas) le proporcionan un carácter confinado.

El substrato impermeable está formado por los materiales del subbético, predominantemente de carácter margoso, y las margas blancas de la formación paraautóctona. Constituye un paleorelieve ligeramente inclinado hacia el interior del estuario (SE) y bastante regularizado, que puntualmente llega a aflorar en el segmento costero de Punta Bermeja.

En la serie detrítica autóctona todos los materiales son permeables, excepto los limos del Plioceno inferior, que se comportan como un acuitardo, y las margas azules miocenas y los limos y arcillas de marisma que son impermeables.

El conjunto de formaciones permeables se inclinan hacia el interior del estuario (SE), continuándose bajo las marismas, variando su espesor entre escasos metros en Punta Bermeja (Fuentebravía y El Manantial), 40 m en el entorno de Punta de Santa Catalina (Vista Hermosa), 60 m en el sector central y más de 100 m en la ladera sur de la Sierra de San Cristóbal.

La cota del muro impermeable mantiene similares características incrementándose en dirección NO-SE desde los 40-50 m s.n.m. de Cantarranas y de la vertiente norte de la Sierra de San Cristóbal, o los 20 m s.n.m. de Punta Bermeja-Mochicle, a los 20 m b.n.m. en Vista Hermosa y ribera fluvial de El Puerto de Santa María (ciudad); 50 m b.n.m. en el borde marismeño central; y superior a los 100 a 150 m b.n.m. en el borde sur de la Sierra de San Cristóbal, incrementándose bajo las marismas.

El espesor no saturado presenta la siguiente distribución:

- De 0-5 m en toda la ribera marismeña.
- Desde los 0-5 m de la base hasta los 50-60 m en las cotas más elevadas de la Sierra de San Cristóbal.
- Del orden de 10 m en la vertiente marítima aunque alcanzando máximos de 15 a 20 en los sectores norte de El Puerto de Santa María y Vista Hermosa, y mínimos del orden de 5 m en las áreas más elevadas (Cantarranas).



Piedra ostionera (Pliocuaternario), utilizada en edificación. El Puerto de Santa María (6)

13.7.3.2.1 Parámetros hidrogeológicos

Los parámetros hidrogeológicos obtenidos son en su mayor parte estimaciones realizadas sobre la base de experiencias comparadas con formaciones análogas o responden a información de carácter puntual. Los valores habitualmente manejados son los siguientes:

- Transmisividad: 8.640 a 86,4 m^2/d (10^{-2} – 10^{-4} m^2/s).
- Coeficiente de almacenamiento: 5 %
- Gradiente hidráulico: 3%.

13.7.3.2.2 Funcionamiento hidrodinámico. Piezometría

La recarga del acuífero se produce fundamentalmente por la infiltración del agua de lluvia, especialmente la precipitada en forma de intensos aguaceros.

Esta recarga se produce de forma selectiva según ámbitos, entre los que se destaca:

- Las calcarenitas de la Sierra de San Cristóbal constituyen en general una formación de elevada permeabilidad (superior a 50 m/d) e infiltración eficaz (posiblemente superior al 40% de la precipitación). Localmente estos parámetros son magnificados por auténticos sumideros de agua de lluvia (grandes pozas en las canteras existentes).

- El manto de arenas eólicas costeras conforma un depósito de permeabilidad alta (superior a 50 m/d) e importante infiltración eficaz de la lluvia. La inexistencia de definición de red de drenaje, los importantes bombeos realizados por parte de las innumerables captaciones destinadas a atender las demandas residenciales y turísticas, y la relativa estabilidad de los niveles piezométricos, son hechos que parecen justificarlo.

Otra entrada al sistema se produce por el retorno de agua de regadío, que es de escasa magnitud debido a que la mayor parte de los cultivos se sitúan fuera de los materiales permeables del acuífero.

Las salidas del agua del sistema, son dos:

- Bombeos destinados a abastecimiento público, mantenimiento de espacios verdes y limpieza pública, usos en urbanizaciones turísticas y sectores urbanos con tipología de ciudad jardín, mantenimiento del campo de golf de Vista Hermosa y usos mixtos en parcelaciones urbanísticas, no existiendo datos sobre la cuantía de este tipo de salidas.

- Drenaje natural hacia el mar, ría del Guadalete y borde marismeño.

El flujo del agua se produce, en condiciones naturales, desde las campiñas del marco de Jerez-El Puerto de Santa María hacia el nivel de base (mar o marismas), con direcciones de circulación del agua subterránea sensiblemente perpendiculares a la costa y marisma.

Los gradientes hidráulicos varían entre el 1% en toda la ribera marismeña y litoral de Vista Hermosa, pasando por valores del orden del 3%-4% en las zonas más elevadas del sector occidental del acuífero, así como en la sierra de San Cristóbal.

Se detecta un gran rellano piezométrico caracterizado por gradientes del 1% y niveles inferiores a 5 m s.n.m. en toda la ribera marítima y marismeña. En su interior, localmente (Las Redes-Vista Hermosa y norte de la ciudad) se identifican varios conos de depresión piezométrica que, en noviembre de 2000, alcanzan máximos del orden de 2 m b.n.m.

Lógicamente, dado el carácter estacional de los bombeos realizados, estas depresiones deben acentuarse y aumentar sus repercusiones territoriales en periodos de sequía y temporadas estivales, y recíprocamente, disiparse parcialmente en los periodos invernales. Por su significación y extensión se destaca el cono de bombeo registrado bajo Vista Hermosa. Exceptuando este rellano, la piezometría del acuífero presenta un sensible paralelismo a la topografía.



Calcarenitas del Mioceno superior de la Sierra de San Cristóbal (6)

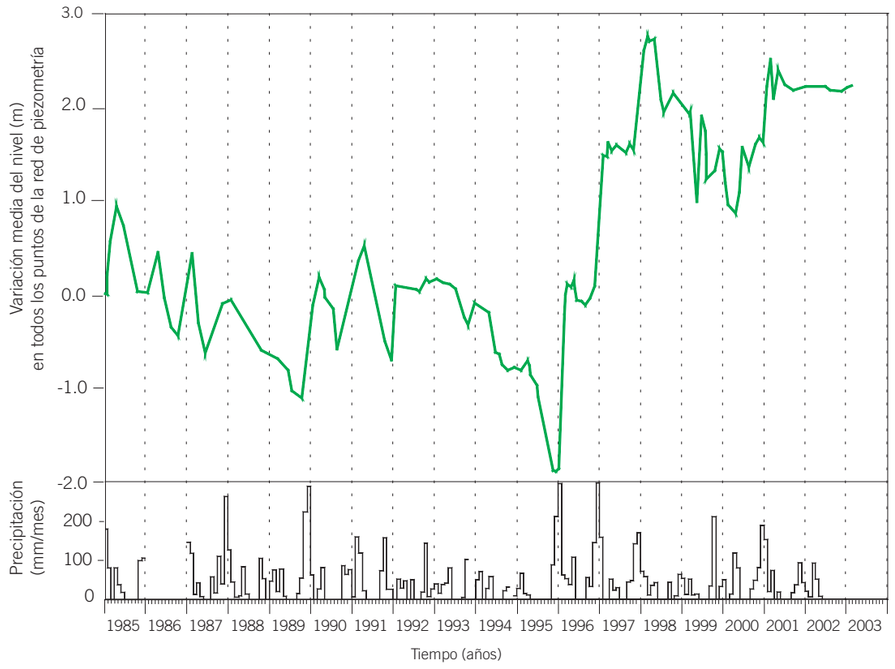
1997 restablecieron en gran medida las condiciones naturales reinantes en la época anterior a la extracción generalizada de las aguas subterráneas.

En el sector costero, los registros piezométricos parciales y la información de campo obtenida, permiten intuir que la situación general se encuentra más o menos estabilizada, evidenciándose anualmente acusados mínimos piezométricos estivales, en relación clara con la utilización turística de las aguas, y rápidas recuperaciones de los niveles en otoño tras el cese de los bombeos vacacionales. Los temporales de los años 96 y 97 produjeron una importante recarga que todavía mantiene el nivel piezométrico por encima de los niveles medios.

En el sector de la Sierra de San Cristóbal, los registros piezométricos disponibles presentan un marcado paralelismo. A finales de los setenta y principios de los ochenta se producen los mínimos históricos (descensos de 1,5 m bajo la media de datos existente); del periodo 1984 a 1995, no se dispone de información; entre diciembre de 1995 y enero de 1998 se produjo un fuerte ascenso de los niveles piezométricos (3 a 5 m) y desde entonces se detecta una marcada estabilidad, solamente alterada estacionalmente por las extracciones realizadas en el Parque Acuático y en los pozos de abastecimiento a El Puerto de Santa María.

Presumiblemente, en esta evolución tiene mucho que ver los importantes volúmenes de agua captados por El Puerto de Santa María (aprovechamiento mayoritario de los recursos de la Sierra) en la sequía de la primera mitad de los años noventa y su reducción y cese progresivo en la segunda mitad de la década. APEMSA (Aguas del Puerto Empresa Municipal, S.A.) captaba aproximadamente 1,5 hm³/año de aguas subterráneas en sus pozos situados al pie de la Sierra de San Cristóbal, antes de que se iniciara el abastecimiento en 1991 con aguas superficiales. Estas captaciones se consideran actualmente como tomas de emergencia para períodos de sequía (punto IGME 1145-4-0106).

Evolución piezométrica del acuífero de El Puerto de Santa María



Red de control piezométrico del IGME

Nº de Punto	X	Y	Cota	Profundidad
1145-4-0002	209000	4054959	44,53	30
1145-4-0004	210769	4056542	41,55	11,20
1145-4-0105	214142	4058976	52,5	109
1245-1-0026	215260	4058430	23	284
1245-1-0041	215557	4059965	88	100

La evolución de la piezometría del acuífero está regulada fundamentalmente por los grandes acontecimientos climáticos, los periodos de sequía padecidos en los principios de los años ochenta y en la primera mitad de los noventa indujeron los dos mínimos históricos de la capa freática, y los periodos húmedos de finales de los ochenta y, principalmente, los temporales de los inviernos de 1996 y

13.7.4 Hidroquímica

13.7.4.1 Calidad química y composición natural

Las aguas del acuífero presentan en general facies bicarbonatadas cálcicas, mineralización media y extremada dureza. No obstante en las zonas más próximas a la costa, las aguas bombeadas de algunas captaciones afectadas por procesos de intrusión salina, presentan estacionalmente facies cloruradas sódicas, con contenidos salinos del orden de 2.000 a 3.000 mg/L de cloruros en las zonas marismeñas.

Red de calidad del acuífero

Nº de Punto	X	Y	Cota	Profundidad
1145-4-0002	209000	4054959	44,53	30,00
1145-4-0049	208069	4054363	14	29,00

En la base de datos del IGME existen 66 análisis, realizados entre los años 1967 y 2000. En el cuadro se resumen las principales características de estos análisis.

Características químicas del acuífero de El Puerto de Santa María

Parámetros (mg/L)	Mínimo	Medio	Máximo
Cloruros	29	450	3.266
Sulfatos	2	202	888
Bicarbonatos	66	299	1.710
Nitratos	2	52	160
Sodio	18	220	2.025
Magnesio	7	52	232
Calcio	28	159	749
Conductividad eléctrica (µS/cm)	410	2.021	10.850

Respecto al uso para riego, son aguas de los tipos C3-C4/S1, lo que significa que existe un elevado riesgo de salinización del suelo y no existe riesgo de sodificación al estar el sodio suficientemente compensado por los cationes divalentes.

Debido a la intrusión marina y a la existencia de formaciones con niveles evaporíticos, existen algunas zonas con altos contenidos en cloruros. Por todo ello y de forma general, no resultan aptas para el consumo humano.

13.7.4.2 Contaminación y vulnerabilidad

Este acuífero presenta una elevada vulnerabilidad frente a la contaminación en las áreas próximas a la marisma dada la alta permeabilidad de los materiales que la constituyen. En el resto es variable en función de la naturaleza de los materiales, del espesor de la zona no saturada y de la elevada población que se asienta sobre algunos sectores del mismo, como corresponde a El Puerto de Santa María y a las urbanizaciones de su entorno.

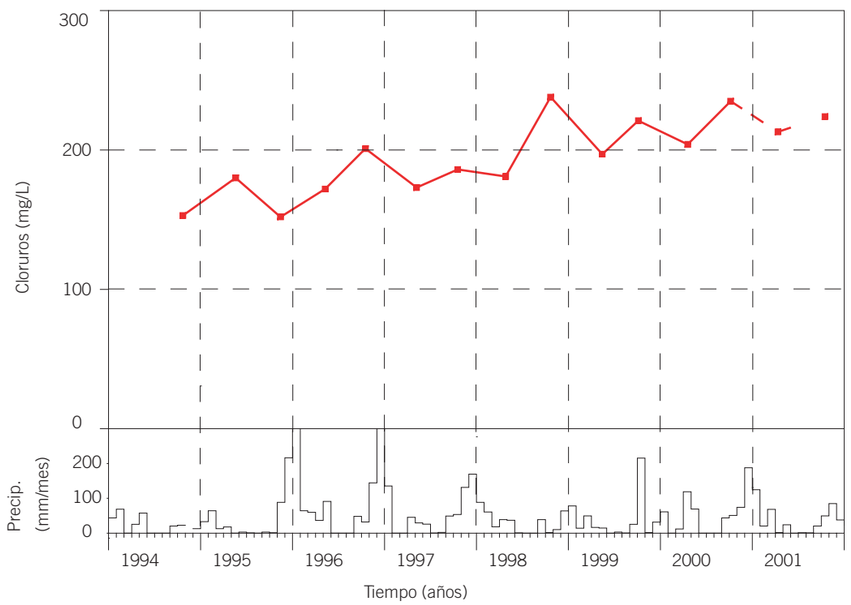
El núcleo de El Puerto de Santa María, sus polígonos industriales, las urbanizaciones turísticas y algunas de las urbanizaciones residenciales del interior del municipio se encuentran conectados al Sistema Zona Gaditana para el suministro de agua potable, y vierten sus aguas residuales a la EDAR de El Puerto, situada en las Dunas de San Antón.

Prácticamente todos los terrenos rústicos del municipio de El Puerto de Santa María (unas 600 ha) emplazados sobre afloramientos permeables y a poniente de la carretera N-IV, que no tienen un uso forestal, se encuentran intensamente parcelados y en gran medida urbanizados. Estos usos y su continuado incremento superficial han sido propiciados por la existencia de recursos hídricos subterráneos, que si bien en muchas zonas son limitados, son suficientes para atender las reducidas e innumerables demandas existentes para riego de pequeñas parcelas o jardines, para uso recreativo como piscinas, etc, siendo estas actividades incontroladas las que aumentan el riesgo de contaminación del acuífero.

Los problemas de intrusión marina aparecen de forma estacional y se encuentran relacionados con la actividad turística de temporada y, por tanto se acentúa en los meses veraniegos. La disipación del cono de bombeo estival tras el cese de las extracciones de temporada conjuntamente con las lluvias invernales producen la dilución, empuje de la zona de mezcla de aguas y, en años húmedos, las restitución de la calidad de las aguas a niveles próximos a su composición original.

No obstante la información disponible y el conjunto de características analizadas hasta el momento permite determinar que el proceso de intrusión salina es un hecho que afecta de forma generalizada al sector sur de la zona de la urbanización Vista Hermosa.

Evolución de cloruros
(punto 1145-4-0002)



13.7.5 Explotación y balance

El balance de este acuífero ha sido recientemente actualizado por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, tanto en lo que se refiere al tratamiento climatológico como a las extracciones y grado de utilización (años 2001-2002). Se trata de un balance complejo y las cifras aquí aportadas pueden considerarse como un orden de magnitud de suficiente aproximación.

13.7.5.1 Entradas

Se ha establecido una lluvia eficaz que por término medio se cifra en el 24 % de la precipitación (150 mm/a), y es el resultado de la agregación ponderada entre los siguientes factores: permeabilidad de suelos y formaciones acuíferas, pendiente del terreno, usos del suelo y hechos singulares. La superficie susceptible de recarga por agua de lluvia se cifra en 44 km^2 y la recarga por lluvia supone 6,6 hm^3/a.

Dada la enorme longitud y ramificación de las redes de abastecimiento urbano, se ha considerado que un 10% del volumen facturado por Zona Gaditana constituyen parte de las pérdidas en las redes en baja (25%) que, dada la proximidad del nivel freático, pueden constituir recarga efectiva del acuífero.

Los retornos de los usos urbanos, turísticos y residenciales-agrarios se consideran despreciables debido a que la utilización del agua se efectúa fundamentalmente en temporada veraniega. Los retornos por riego son igualmente despreciables, ya que las zonas de regadío existentes no están sobre los materiales permeables del acuífero.



Sondeo de explotación "El Madrugador" (1)

13.7.5.2 Salidas

El volumen de agua drenado de forma natural hacia el mar, la ría del Guadalete y el borde marismeño se estima en conjunto en unos 3,6 hm³/a, (MMA-CGH, 2001), pero resulta difícil conocer el porcentaje que representa cada una de estas salidas naturales. El drenaje natural hacia el mar sería de 1,6 hm³/a, por lo que el resto, corresponderían a las otras salidas naturales.

Los usos del agua registrados son los que se detallan a continuación:

Uso del agua en el acuífero de El Puerto de Santa María

Uso del agua	Origen superficial (hm³)	Origen subterráneo (hm³)
Urbano	10	0,6 - 0,7
Turístico	Incluido en urbano	1,3
Residencial-agrario	-	1,0 - 1,5
Agrícola	-	0,5
Total	**10**	**3,4 - 4,0**

Con estas cifras el balance del acuífero es el siguiente (año 2001-2002):

Entradas:	hm³/a
Infiltración de agua de lluvia	6,6
Retorno urbano	1,0
Total	**7,6**
Salidas:	hm³/a
Extracciones por bombeo	4,0
Drenaje natural arroyos, ríos y mar	3,6
Total	**7,6**

13.7.6 Problemática existente y pautas de gestión

El acuífero de Puerto de Santa María contiene en la actualidad aguas de mediana calidad, excepto en el área de la sierra de San Cristóbal que son de calidad buena, con mineralización media y muy duras. El acuífero no presenta afecciones importantes por intrusión marina, excepto en la zona de la urbanización de Vista Hermosa, siendo la evolución de los cloruros de total normalidad. Del análisis de las relaciones iónicas tampoco parece desprenderse que exista intrusión del agua de mar en el acuífero en líneas generales.

Sería recomendable disponer de una red en el acuífero, ya que parece insuficiente el número de puntos de control existentes, así como la distribución espacial de los mismos.

Se pueden establecer las siguientes pautas de gestión, atendiendo a las diferentes zonas definidas en función de su comportamiento hidrogeológico. Entre estas pautas cabría citar:

- La no autorización de nuevas captaciones, en el área de Vistahermosa, en la Reserva natural de las lagunas Salada, Chica y Juncosa y en las áreas de marismas.
- El establecimiento de una zona de protección, para uso exclusivamente urbano, en cantidad y calidad en el cerro de San Cristóbal delimitando una superficie de protección alrededor del sondeo "el Madrugador ", con un radio mínimo de 1.000 m.
- Fijar zonas en las que se limite el volumen y la distancia entre captaciones para evitar el empeoramiento de la calidad de las aguas subterráneas debido al riesgo de intrusión marina. Se establece como tal una franja de 1 km de ancho a lo largo de la costa y en torno a las marismas, y para el resto de materiales permeables del acuífero. Se excluyen las áreas que, dentro de esta franja, están incluidas en la zona no autorizada y en la zona de protección de la cantidad para uso urbano

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

Acuífero de El Puerto de Santa María

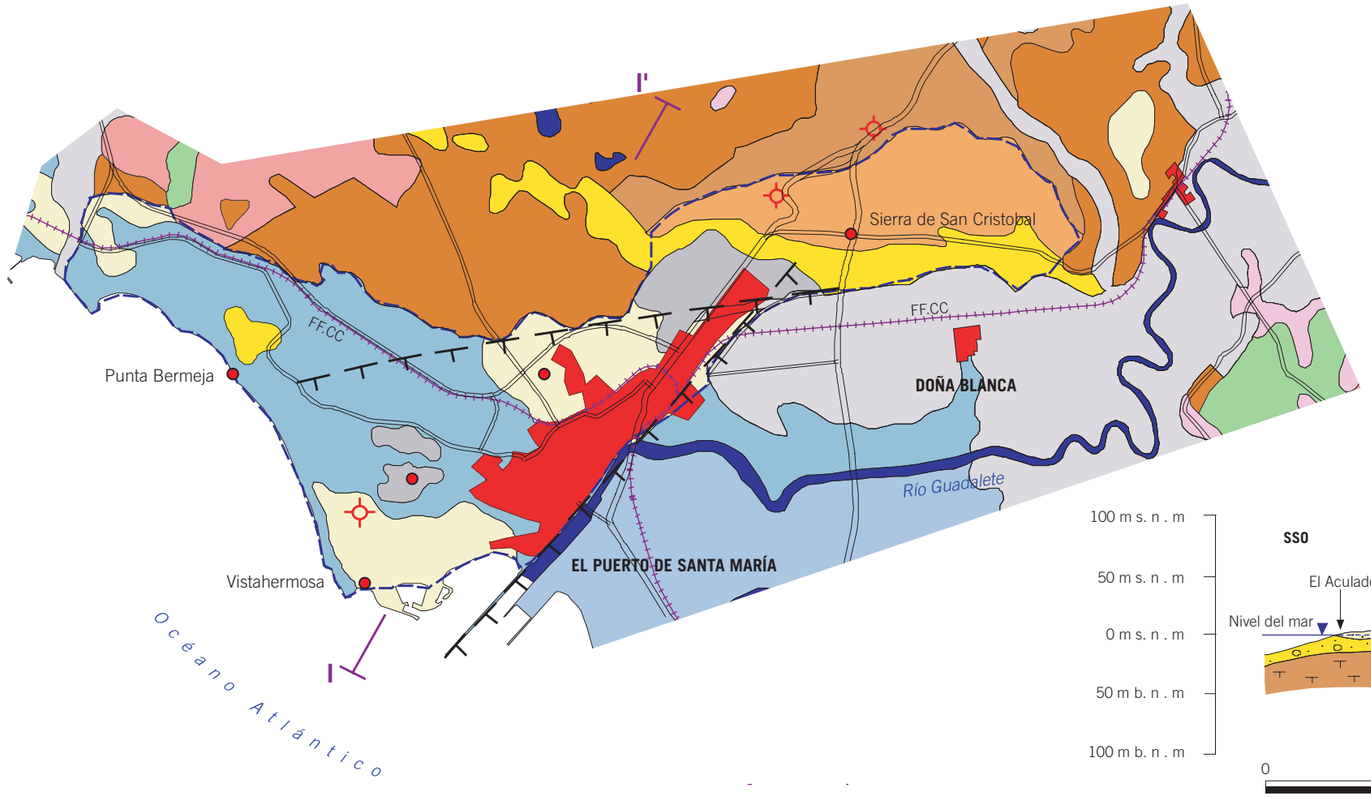
SITUACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA PROVINCIA





LEYENDA

LITOLOGÍA	EDAD GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD
Arenas, arcillas y cantos (depósitos de ladera)	Cuaternario	Media-baja
Arenas, gravas y limos (depósitos fluviales)	Cuaternario	Media-alta
Arenas (depósitos eólicos)	Cuaternario	Muy alta
Limos y arcillas	Cuaternario	Baja
Conglomerados y areniscas con abundantes fósiles	Pliocuaternario	Media
Arenas, biocalcarenitas y conglomerados	Plioceno	Media
Margas grises	Plioceno	Baja
Biocalcarenitas	Mioceno superior	Alta
Margas azules	Mioceno superior	Baja
Margas blancas (albarizas)	Mioceno superior	Baja
Arcillas verdes y margas blancas	Terciario S.L. (Paleógeno)	Baja
Calizas y margas	Cretácico superior	Baja
Arcillas, margas, yesos y areniscas	Triásico	Baja

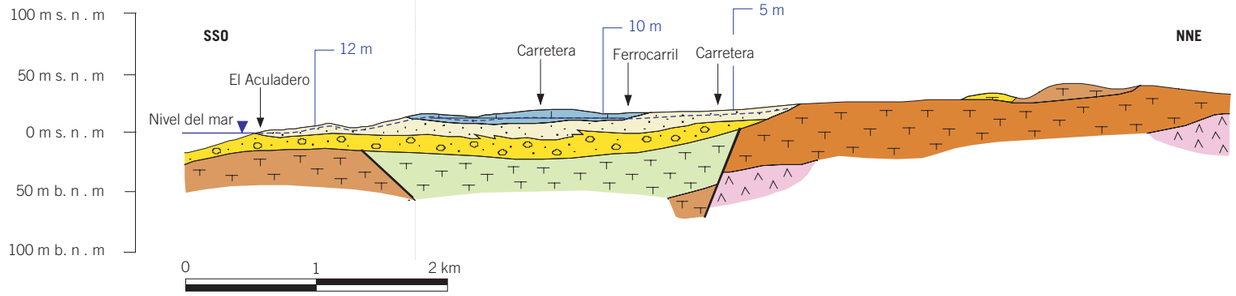


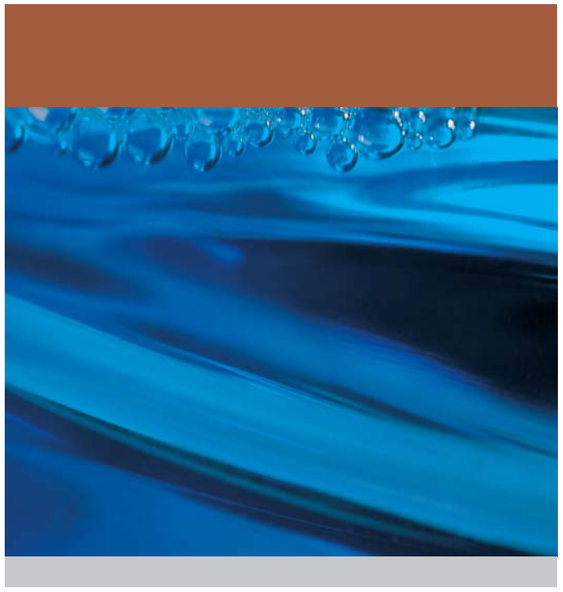
SIMBOLOGÍA

- Lámina de agua
- Red hidrográfica
- Carreteras
- Ferrocarril
- Núcleos urbanos
- Límite superficial del acuífero
- I - I' Localización del corte hidrogeológico
- Sondeo
- Manantial
- Pozo
- Falla con indicación del labio hundido (cubierta y/o supuesta)
- 7 m Profundidad del nivel piezométrico
- Nivel piezométrico

CORTES HIDROGEOLÓGICOS

CORTE I-I´





“Marinero en tierra”

… Y ya estarán los esteros
rezumando azul de mar.
¡Dejazme ser, salineros,
granito del salinar!
¡Qué bien, a la madrugada,
correr en las vagonetas,
llenas de nieve salada,
hacia las blancas casetas!
¡Dejo de ser marinero,
madre, por ser salinero!

Si mi voz muriera en tierra,
llevadla al nivel del mar
y nombradla capitana
de un blanco bajel de guerra.
¡Oh mi voz condecorada
con la insignia marinera:
y sobre el ancla una estrella
y sobre la estrella el viento
y sobre el viento la vela!

Rafael Alberti

Principales acuíferos

Puerto Real - Conil

13.8



13.8.1 Situación y límites

El acuífero de Puerto Real-Conil se extiende a lo largo de la costa atlántica de la provincia de Cádiz, entre las desembocaduras de los ríos Guadalete y Salado de Conil, con una superficie de materiales permeables de 238 km^2. Queda enmarcado en el sector sur de la comarca Costa Noroeste, Bahía de Cádiz y parte de la comarca de la Janda. Los núcleos de población existentes son, de norte a sur, Puerto Real (37.033 habitantes), Cádiz (134.989 habitantes), Chiclana de la Frontera (65.694 habitantes), San Fernando (88.490 habitantes) y Conil de la Frontera (18.656 habitantes).

El acuífero está limitado por el río Guadalete al norte, el río Salado de Conil al sur, los afloramientos subbéticos y margas blancas subbéticas al norte y al este y el Océano Atlántico al oeste. Conforma la unidad hidrogeológica 05.59 (Puerto Real-Conil) que limita al norte con la unidad hidrogeológica 05.58 (Puerto de Santa María), mediante las marismas del río Guadalete, y con la 05.55 (Aluvial del Guadalete). Al sur limita con la unidad 05.61 (Vejer-Barbate) a través de las marismas del río Salado de Conil. Las marismas separan las unidades hidráulicamente. Tiene una forma groseramente trapezoidal, que engloba las marismas de San Fernando en los términos de Puerto Real, San Fernando, Chiclana y Conil de la Frontera, con una anchura comprendida entre 25 km (Llanos de Guerra-Cádiz) y 10 km (norte de Conil de la Frontera).

Las hojas del Mapa Topográfico Nacional, escala 1/50.000, en las que se encuentra cartografiado son: 1.061 (11-45) Cádiz; 1.062 (12-45) Paterna de la Rivera; 1.068 (11-46) San Fernando; 1.069 (12-46) Chiclana de la Frontera; 1.073 (12-47) Vejer de la Frontera





Foto superior: Vista de Conil de la Frontera (6)
Foto inferior: Río Zurraque, en la zona de marismas (6)

13.8.2 Climatología e hidrología

13.8.2.1 Climatología

El tipo de clima que caracteriza a la zona del acuífero, es el mediterráneo semihúmedo de invierno templado, marcado por la influencia conjunta del mar y de los vientos cálidos procedentes del Sahara, y por las masas frías provenientes de Centroeuropa, que en invierno generan perturbaciones sobre el Atlántico dejando sentir la influencia oceánica sobre las costas y originando lluvias abundantes y temporales de viento, así como un régimen térmico suave.

Existe un gradiente pluviométrico registrado, ascendente de norte a sur, que viene caracterizado por la información proporcionada por las estaciones meteorológicas de Puerto Real y Chiclana (Campano). La precipitación media anual registrada en cada observatorio se cifra en 628 mm y 668 mm respectivamente, aplicándose los datos de la estación de Puerto Real al sector norte del acuífero y los de la estación de Chiclana al sector sur.

Características climáticas básicas del periodo 1959-1995

	Puerto Real	Chiclana Campano
Precipitación media anual (mm)	628	668
Temperatura media anual (ºC)	17,4	17,2
Evapotranspiración potencial media anual. ETP (mm)	798	769
Evapotranspiración real media anual. ETR (mm)	488	495
Lluvia útil media anual (mm)	201	220

La diferencia básica entre ambas estaciones estriba en que Chiclana-Campano presenta una distribución anual más regular de las lluvias y unas sequías estivales menos acentuadas y duraderas.

A partir de los datos aportados por la estación del observatorio de La Marina en San Fernando, con datos desde 1805, se puede estudiar la evolución de la precipitación y los períodos secos en el acuífero. La precipitación es bastante uniforme sin fuertes diferencias interanuales, observándose precipitaciones del orden de 1.000 mm, aunque no de forma frecuente (período de retorno de 1.000 años). Si se considera el año medio, se puede apreciar como la variación estacional es importante, con un invierno muy lluvioso (con cerca del 50% de la precipitación anual) y un verano muy seco. Los meses más regulares son, debido a su sequedad, agosto y septiembre, siendo mayo el más irregular. Las medias máximas superan en invierno y en primavera los 100 mm y las mínimas los 60 mm (80 mm/mes de media en invierno). En verano las medias máximas alcanzan los 20 mm y las mínimas son del orden del milímetro (10 mm/mes de media en verano). En cuanto a los períodos secos, tienen una periodicidad de 10 a 11 años. El período seco comienza generalmente en el mes de junio alargándose hasta septiembre y excepcionalmente hasta noviembre.

13.8.2.2 Hidrología

El acuífero pertenece a la Cuenca del Guadalete - Barbate. La red hidrográfica reconocible responde a un conjunto de ríos y arroyos de mediana y pequeña entidad con sus cabeceras instaladas sobre las campiñas impermeables (margas triásicas y albarizas). Estos ríos limitan y/o recorren el acuífero en dirección este-oeste hasta su desembocadura en el mar. Presentan un régimen de corriente de carácter torrencial y estacional, potenciado por las escorrentías generadas principalmente por lluvias de elevada intensidad horaria precipitadas en cabecera de cuenca. En la zona de la ciudad de Cádiz y de la desembocadura del río Guadalete existen extensas áreas de marisma.

Se registran comportamientos diferenciales según sectores:

En el sector norte, aparte del río Guadalete, apenas se produce jerarquización y definición de la red de drenaje, tan sólo el río Zurraque (corriente estacional) genera láminas de inundación de relativa importancia y transcurre durante 8 km en conexión hidráulica con las formaciones permeables.

En el sector central, el río Iro presenta un régimen de corriente menos estacional pero sus caudales, procedentes de las campiñas de Medina Sidonia, y sus importantes avenidas apenas repercuten sobre el acuífero, solamente sobre su reducida llanura aluvial.

En el sector sur, se reconocen tres patrones hidrológicos diferentes:

- La llanura prelitoral encierra áreas con drenaje deficiente e incluso endorréicas (Campano, Lagunetas, etc.), que son favorecidas por niveles freáticos altos (3-6 m) y el afloramiento o proximidad a la superficie del zócalo.
- Los arroyos Carrotilla y Ahogarratones son cursos de corriente ocasional que presentan un perfil hidrológico muy tendido, aluviales con amplio desarrollo, y extensas láminas de inundación; en consecuencia sus flujos estacionales pueden ser objeto de recarga.
- El río Roche en su tramo final se encaja en los materiales detríticos permeables e incluso en las margas azules de base, ejerciendo así de colector de drenaje del entorno acuífero.



Arenas del Plioceno, en la costa acantilada de Conil (sector de Fuente del Gallo) (6)

13.8.3 Hidrogeología

13.8.3.1 Contexto Geológico

El acuífero Puerto Real-Conil está ubicado en el extremo occidental de las Cordilleras Béticas (Zona Subbética). Los materiales subbéticos presentes, que son parte del sustrato impermeable, están constituidos sobre todo por arcillas y margas triásicas; aunque también afloran margas y margocalizas del Paleógeno. También están presentes, en la zona meridional, las areniscas del Aljibe y las arcillas versicolores del Complejo Tectosedimentario mioceno.

Sobre estos materiales se depositaron, en principio, margas silíceas blancas con carácter para-autóctono. A continuación, ya con carácter autóctono, se depositó una serie detrítica desde el Mioceno al Cuaternario. Las características de dichos materiales postorogénicos se detallan a continuación.

Formación para-autóctona: margas silíceas blancas; se denominan localmente albarizas o moronitas, su edad es Burdigaliense-Andaluciense y se comportan como impermeables. Constituyen, junto a los materiales subbéticos, el sustrato impermeable del acuífero.

Mioceno: serie constituida, de muro a techo, por margas arenosas azules, que se comportan como acuitardo, alternancia de margas y calcarenitas y, por último, calcarenitas.

Plioceno: formado principalmente por arenas amarillas y biocalcarenitas, también presentes limos y margas arenosas, de edad pliocuaternaria y conglomerados cementados con ostras. Aflora a lo largo de la costa formando una franja de aproximadamente 1 km de anchura, su potencia oscila entre 5 y 20 m y su comportamiento hidrogeológico es como acuífero.

Cuaternario: incluye conglomerados, cantos, arenas, limos y arcillas; depósitos de glacis de cobertera, terrazas y aluviales, dunas, flechas litorales y marisma, entre otros. Las marismas se localizan en las desembocaduras del Guadalete y Salado de Conil y, sobre todo, en la bahía de Cádiz, entre Puerto Real y Chiclana de la Frontera. Su comportamiento hidrogeológico es como acuífero, excepto las arcillas y limos de marisma, que son impermeables.

13.8.3.2 Características hidrogeológicas

13.8.3.2.1 Descripción general

El sistema constituye un acuífero detrítico, permeable por porosidad intergranular y con carácter libre, excepto en las áreas de marismas, en las que los limos y arcillas de marismas le dan un carácter confinado.

El sustrato impermeable está constituido por los materiales del Subbético, predominantemente de carácter margoso, y las margas blancas de la formación para-autóctona. En la serie detrítica autóctona los materiales son permeables, excepto las margas arenosas azules miocenas, que se comportan como acuitardo, y los limos y arcillas de marisma, que son impermeables.

El acuífero presenta una forma alargada según dirección N-S, desde el río Guadalete al Salado de Conil, con una anchura media de 7 km. El espesor, muy variable, es mayor en las partes centrales (30 a 40 m de media) y menor en las partes oeste y este (5 a 15 m de media).

13.8.3.2.2 Parámetros hidrogeológicos

Los parámetros obtenidos son en su mayor parte estimaciones realizadas sobre la base de experiencias comparadas con formaciones análogas o responden a información de carácter puntual. Los valores habitualmente manejados son los siguientes:

- Transmisividad: 864 - 86,4 m^2/d (10^{-3} - 10^{-4} m^2/s). En Llanos de Guerra su valor es de 260 m^2/d ($3x10^{-4}$ m^2/s) calculado a partir de ensayos de bombeo.
- Coeficiente de almacenamiento: 5%.
- Gradiente hidráulico: 1% (medio) y 4% (máximo).

13.8.3.2.3 Funcionamiento hidrodinámico. Piezometría

La recarga del acuífero se produce fundamentalmente por la infiltración del agua de lluvia, especialmente por intensos aguaceros. La infiltración eficaz induce una oscilación de los niveles freáticos que obedece a dos grandes patrones: a) la oscilación anual media se cifra entre 1,5 y 2 m; y b) la oscilación interanual alcanza valores máximos de 6 m, en especial la registrada en los ciclos extremos de sequía temporal correspondientes con los periodos de final de los ochenta; principios y mediados de los noventa.

El flujo del agua se produce, en condiciones naturales, desde las campiñas de Puerto Real y Medina Sidonia hacia el nivel de base (mar o marismas), con direcciones de circulación del agua subterránea sensiblemente perpendiculares a la costa y marisma.

Los gradientes hidráulicos varían entre el 1 % y el 2 %, detectándose grandes rellanos piezométricos en toda la ribera marismeña, y en particular en Carrahola, Villanueva, oeste y sur de Chiclana de la Frontera hasta La Barrosa, llanura prelitoral de Conil de la Frontera, etc. Gradientes ligeramente mayores se registran en las aureolas que bordean estas mismas zonas y en el arranque de la llanura prelitoral desde los relieves estructurales orientales.

Conos de depresión piezométrica se detectan en diferentes áreas, casi siempre coincidentes con los rellanos piezométricos enumerados: a) Carrahola, Villanueva-Zurraque y Llanos de Guerra en el municipio de Puerto Real; b) Marquesado Central y El Sotillo (entorno de los arroyos Caretilla y Ahogarratones) en el término municipal de Chiclana de la Frontera; y c) urbanización Roche en Conil de la Frontera.

La barrera hidráulica interpuesta por el acuitardo basal en el segmento litoral comprendido entre Novo Sancti Petri y Faro de Roche, condiciona el flujo subterráneo hacia el mar distorsionando los flujos hacia el noroeste (La Barrosa) y suroeste (río Roche).

En este sentido, el drenaje impedido en el segmento costero Roche-Novo Sancti Petri; los rellanos piezométricos y conos de bombeo que, con cotas similares a las del nivel del mar o menores, bordean la mayor parte de las marismas; los procesos de intrusión salina; o el carácter efluente de la red hidrológica, son aspectos fundamentales que en buena lógica determinan un modelo conceptual del acuífero en el que las salidas naturales del sistema deben suponer una escasa significación.

Las únicas salidas registradas se reconocen en el núcleo y entorno de Conil de la Frontera, mediante fuentes públicas y manantiales derivados a la red municipal de saneamiento. Las salidas (rezumes) detectadas a lo largo del acantilado Roche-Conil se consideran despreciables.

El volumen de agua drenado de forma natural hacia el mar, el borde marismeño y los ríos comentados anteriormente, no se conoce con exactitud. Este volumen correspondería al 20 % del total de las salidas.

Puntos de la red de control piezométrico

Nº de puntos	X	Y	Cota	Profundidad
1245-5-0012	219781	4047571	41,77	8,00
1245-5-0023	220651	4044488	43,98	19,50
1245-5-0038	217952	4046186	20	27,00
1246-1-0007	220380	4037616	33,63	13,18
1246-1-0010	219270	4036784	24,17	20,00
1246-1-0021	220555	4042269	12,89	8,34
1246-1-0023	221617	4043500	32,65	14,00
1246-1-0035	219681	4042004	5	24,00
1246-1-0038	220140	4037080	30	6,26
1246-1-0047	220947	4042151	13,5	32.00
1246-1-0049	219585	4036213	25,3	12,47
1246-5-0010	220530	4030729	33,11	58,00
1246-5-0011	220502	4031378	31,21	6,81
1246-5-0034	218757	4028380	22,04	9,75
1246-5-0069	214430	4031781	9	5,00
1246-5-0074	218516	4031920	20	30,00
1247-2-0007	222922	4025129	56,16	11,00
1247-2-0075	222911	4025243	50	7,45



Sondeo nº 2, en el campo de golf de San Andrés (Chiclana) (1)

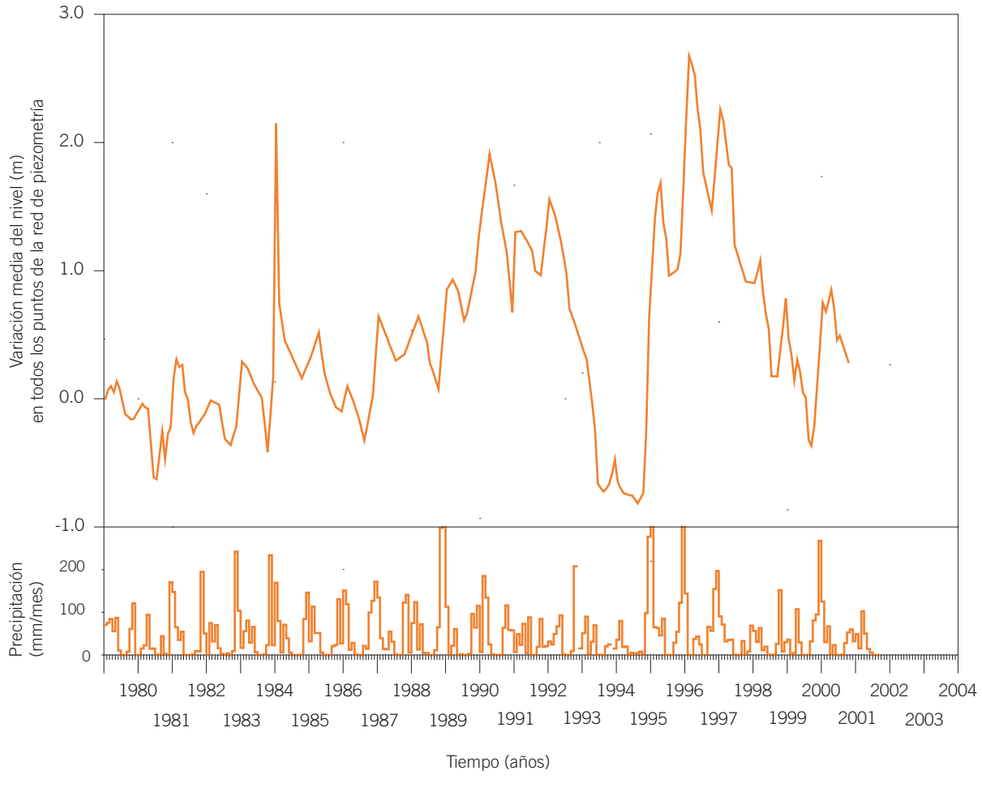
Estas depresiones piezométricas, caracterizadas por niveles freáticos situados frecuentemente por debajo del nivel de base, vienen siendo registradas desde hace años, sin embargo, se desconoce su progresión y tendencias ya que existen deficiencias que impiden establecer un diagnóstico. No obstante, atendiendo a observaciones realizadas en campo se insinúan los siguientes marcos tendenciales:

- La depresión piezométrica en la zona de Carrahola sigue ampliando su área de influencia.
- Villanueva, Zurraque y Llanos de Guerra, tras una fase de fuerte expansión de las distintas depresiones piezométricas, tienden a estabilizar su situación (piezómetro 1246-1-0021). La reducción de la superficie regable en los Llanos de Guerra (de 600 a 300 ha aproximadamente) o el abandono parcial de algunos riegos del sector de Villanueva, en ambos casos tras la experiencia obtenida tras la sequía de la primera mitad de los noventa, deben contribuir, en buena lógica, a frenar esta tendencia.

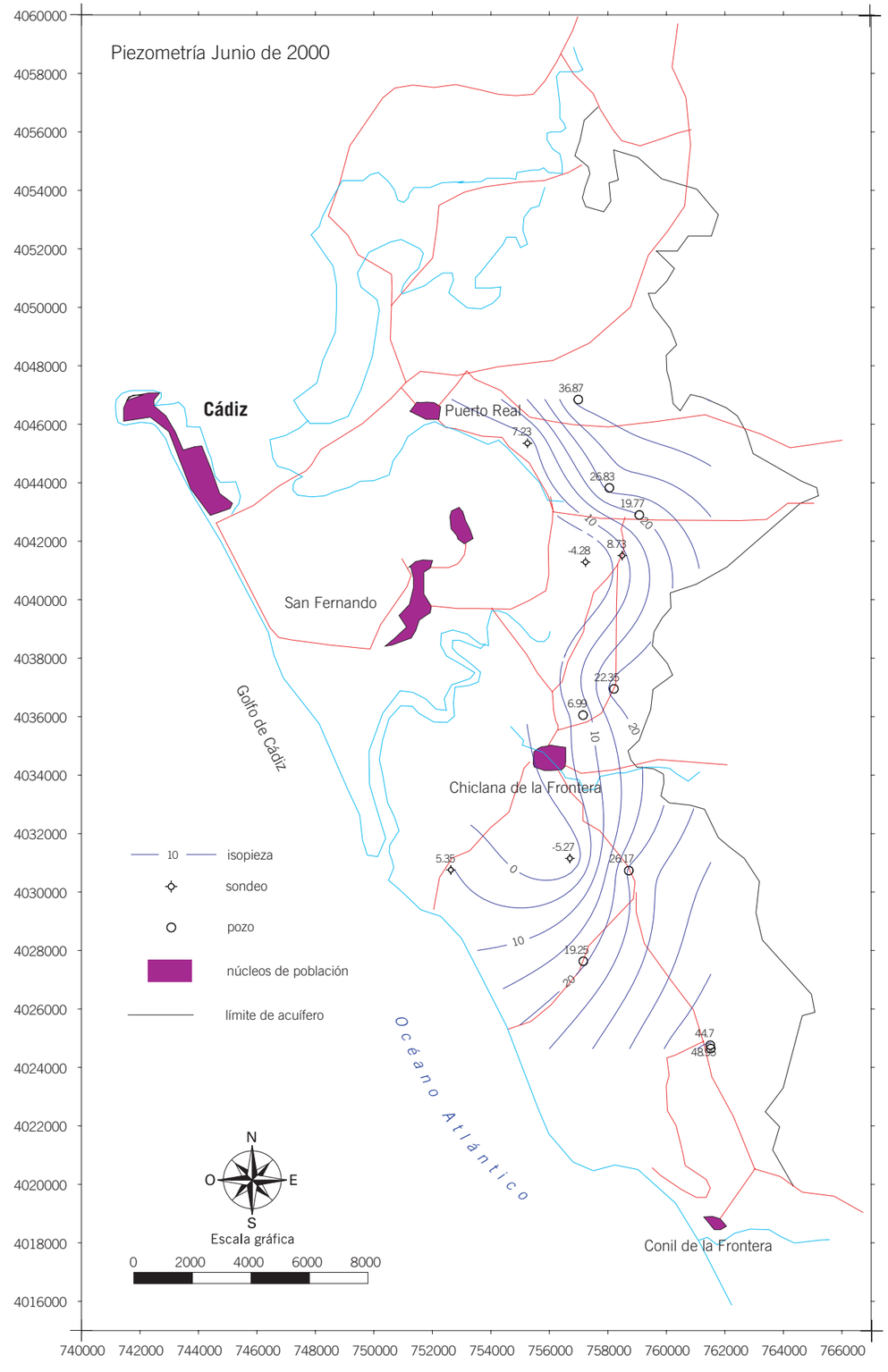
- El rellano de la franja marismeña del Marquesado muestra una tendencia expansionista, ya que en esta década se han construido numerosos pozos y se han renovado y reprofundizado la mayoría de las captaciones existentes.
- La zona de Ahogarratones y Carrotilla se mantiene más o menos estable, aunque con importantes variaciones interanuales. No obstante, en su sector central (piezómetro 1246-5-0074) se registra la tendencia descendente más clara de la unidad (5 m aproximadamente en la presente década). Hay que destacar que se emplaza en el área de influencia de zonas regables y pozos de abastecimiento a Chiclana de la Frontera.
- En la urbanización Roche los conos piezométricos parecen acentuarse en periodos vacacionales.

Fuera de los ámbitos donde se registran estos rellanos y conos piezométricos, determinados y condicionados por los bombeos realizados, la piezometría del resto del acuífero presenta un sensible paralelismo a la topografía y una evolución más o menos estable, dentro de las lógicas oscilaciones anuales e interanuales.

Evolución piezométrica en el acuífero de Puerto Real-Conil



Superficie piezométrica del acuífero



13.8.4 Hidroquímica

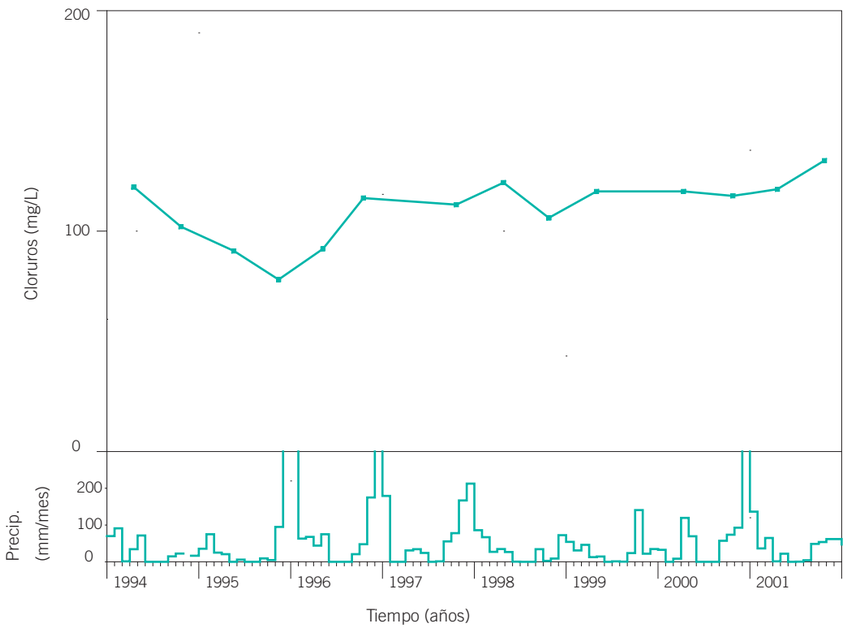
13.8.4.1 Calidad química y composición natural

Las aguas del acuífero presentan en general facies clorurada sulfatada cálcica magnésica. La mineralización es notable y las aguas presentan dureza de media a alta. En las zonas ribereñas, son predominantes las facies cloruradas sódicas, con contenidos salinos del orden de 2.000-3.000 mg/L de cloruros. En la base de datos del IGME existen 250 análisis, realizados entre los años 1967 y 2001. En el cuadro siguiente se resumen las principales características de estos análisis.

Parámetros representativos de la calidad química del acuífero de Puerto Real-Conil

Parámetros (mg/L)	Mínimo	Media	Máximo
Cloruros	18	400	9.592
Sulfatos	10	217	2.355
Bicarbonatos	91	538	4.890
Nitratos	1	58	190
Sodio	14	246	5.934
Magnesio	1	43	451
Calcio	20	137	882
Potasio	1	14	211
Residuo seco	200	1.325	17.970
Conductividad eléctrica (µS/cm)	310	1.952	29.950

Evolución de cloruros en el punto 1247-2-0057



En relación con el uso para abastecimiento, son aguas potables, con residuos secos entre 500 y 1.000 mg/L, aunque excepcionalmente se encuentran valores superiores a los 3.000 mg/L debido a la existencia de formaciones con niveles evaporíticos y, localmente, a fenómenos de intrusión marina. En cuanto al riego predominan las aguas de clase C2/S1 que pueden ser empleadas sin restricción con cultivos no sensibles y C3/S1 que sólo pueden ser empleadas en cultivos que no sean sensibles y bajo condiciones adecuadas de drenaje. Existen sectores en los que se ha detectado intrusión marina, con salinidad que puede superar los 10.000 µS/cm. Tan sólo se dispone de un punto de los disponibles por el IGME (1247-2-0057) donde puede observase la evolución de los cloruros en el acuífero, situado en el entorno de Conil de la Frontera.

13.8.4.2 Contaminación y vulnerabilidad

El acuífero presenta riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, alto (áreas de marisma) y variable (resto del acuífero). Ese alto riesgo se debe a la alta permeabilidad de los materiales acuíferos; al escaso espesor de la zona no saturada en algunas áreas y a la elevada densidad de población existente en Puerto Real y en todas las urbanizaciones de su entorno.

El vertido de residuos sólidos urbanos de Puerto Real (56.085,11 t/a) y Conil de la Frontera (28.316,52 t/a) se realiza en la planta de bioreciclaje de "Miramundo" en T.M. de Medina Sidonia, mientras que los de Chiclana de la Frontera (105.088 t/a) se vierten en el vertedero del paraje de "La Victoria". El total de residuos sólidos urbanos generados por los municipios comprendidos dentro del acuífero asciende a unos 190.000 t/a (año 2002).

El núcleo de Puerto Real, sus polígonos industriales y algunas barriadas se encuentran conectadas al sistema Zona Gaditana del que reciben agua potabilizada sin problemas destacables en el suministro.

Chiclana de la Frontera cuenta con dos EDAR, el Torno (1988) atiende a Chiclana y su área de influencia próxima y depura un caudal medio de 11.400 m^3/d. Se pretende implementar un tratamiento terciario con la finalidad de aprovechar el efluente para riego agrícola en la vega del río Iro y su entorno y para la recuperación de una laguna hoy desecada, y la EDAR de la Barrosa (1990) con tratamiento terciario y su efluente es bombeado hacia el Complejo turístico de Novo Sancti Petri para riego de zonas verdes y campo de golf. Además, existen dos pequeñas depuradoras de tipo aireación prolongada para pequeños núcleos de población en el área del diseminado.

El núcleo de Conil de la Frontera y las urbanizaciones turísticas se encuentran conectadas al sistema Zona Gaditana del que reciben agua potabilizada. En el municipio existe un importante diseminado rural (unos 5.000 habitantes) que carece de servicios de agua, alcantarillado y depuración.

Conil de la Frontera cuenta con una EDAR emplazada en la vega del arroyo Salado que realiza un tratamiento secundario, cuyos efluentes son vertidos directamente al mencionado arroyo. La depuración de la urbanización Roche se resuelve mediante una EDAR que gestiona la propia entidad turística.

Los afloramientos permeables están ocupados por los usos turísticos característicos de las ciudades litorales (urbanos, industriales, turísticos, militares, extractivos, etc.), estando los usos agrícolas, en general, relegados a un segundo plano. No obstante los usos agrícolas en regadío (en su totalidad puestos en riego con aguas subterráneas), no dejan de tener su importancia (1.883 ha)

En relación con el deterioro de la calidad de las aguas del acuífero solamente están registrados parcialmente los problemas derivados de la intrusión salina. Sin embargo el acuífero se encuentra afectado por importantes niveles de contaminación de origen orgánico y agrícola (parcelaciones urbanísticas de Chiclana y área de diseminados de Conil). En estos lugares la superposición de pozos de abastecimiento, la inexistencia de redes de saneamiento y la utilización de los productos químicos requeridos por la agricultura intensiva, configuran una zona de riesgo para la salud y el medio ambiente.

13.8.5 Recursos hídricos

El balance hídrico del sistema acuífero se encuentra equilibrado. Así, para el año 2002, las entradas se cifran en 28 hm³/a y los bombeos realizados se estiman en 13 hm³/a, en consecuencia el balance presenta un saldo positivo de 15 hm³/a. En buena lógica, estos excedentes deben drenar hacia el mar, en particular por el segmento costero Roche-Conil.

Entradas	hm³/a
Infiltración de agua de lluvia	26
Retorno residencial-agrario	1
Retorno agrícola	1
Total	**28**
Salidas	hm³/a
Extracciones por bombeo	13
Drenaje natural arroyos, ríos y mar	15
Total	**28**

13.8.6 Problemática existente y pautas de gestión

Entre los problemas y procesos relacionados con la calidad de las aguas destacan la contaminación de origen agrícola y urbana y la intrusión marina.

No se dispone de información para efectuar un diagnóstico de la situación. Sin embargo, todo parece indicar que la contaminación de origen agrícola, urbano o mixta, constituye hoy uno de los problemas ambientales y de salud pública más relevantes del acuífero. Especialmente en los municipios de Conil y Chiclana de la Frontera donde se superponen las actividades agrícolas y ganaderas con unos usos residenciales y un importante hábitat rural en diseminado desprovisto de redes de abastecimiento y saneamiento público.

Existen problemas de intrusión marina en el área de la playa de la Barrosa y el Coto de San José, aunque se trata de un fenómeno parcialmente conocido ya que se dispone de poca información. La intrusión marina es un proceso solidario con las áreas de depresión piezométrica, potenciada por la concentración en el tiempo y en el espacio de innumerables captaciones individuales de escasa importancia, pero con notable significación colectiva, que presenta una extensión generalizada (especialmente en periodos de sequía) y una intensidad media. Sus máximas repercusiones se registraron a finales del año 1994 (concentraciones de cloruros próximas a 1.000 mg/L) coincidiendo con el final de un gran periodo de sequía.

Esta situación fue truncada por la recarga inducida por los temporales de los años 1996 y 1997, y sus efectos provocaron una dilución de los contenidos salinos del orden de dos a tres veces, así como la expulsión o empuje de la interfase hacia el mar. En la actualidad los valores máximos registrados rondan los 400-500 mg/L de cloruros y la tendencia se mantiene estabilizada en estos rangos.



Arenas pliocuaternarias del acuífero de Puerto Real - Conil, en Fuente del Gallo (6)



Pozo de explotación Malasnoches (1)

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España
Diputación de Cádiz

Acuífero de Puerto Real - Conil

SITUACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA PROVINCIA

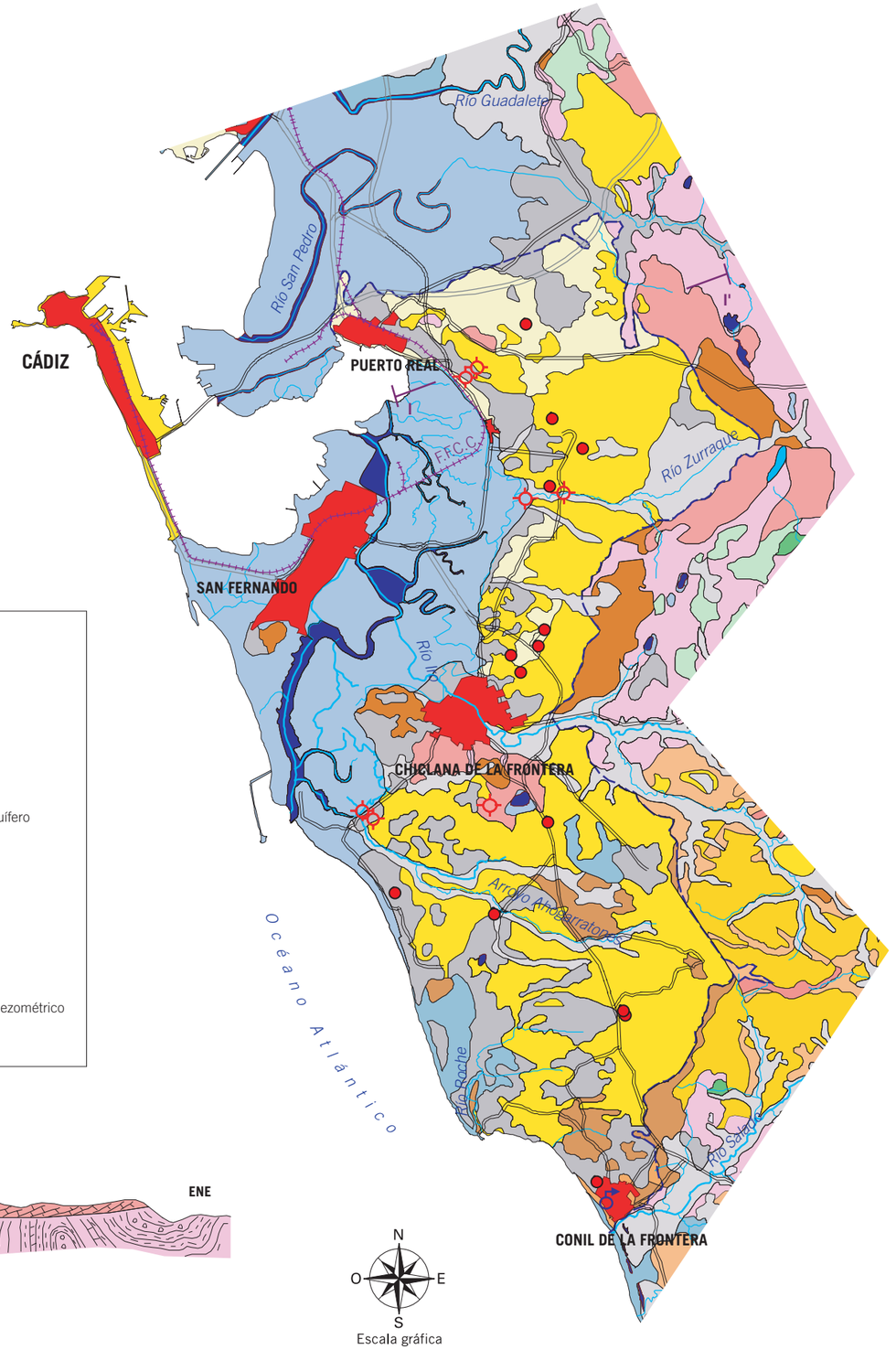


LEYENDA

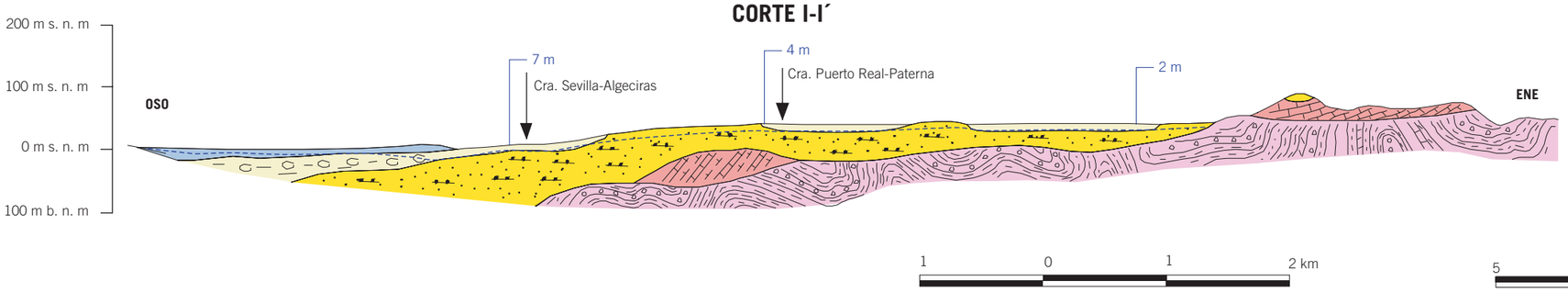
LITOLOGÍA	EDAD GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD
Arenas, arcillas y cantos (depósitos de ladera)	Cuaternario	Media
Arenas y gravas (depósitos fluviales)	Cuaternario	Media
Arenas (manto eólico)	Cuaternario	Alta
Limos y arcillas de marisma	Cuaternario	Baja
Arenas y suelos rojos	Pliocuaternario	Baja
Arenas amarillas y biocalcarenitas	Plioceno	Media-alta
Margas y biocalcarenitas	Mioceno superior	Baja
Margas azules	Mioceno superior	Baja
Margas silíceas blancas (Moronitas)	Mioceno medio	Baja
Margas y margocalizas con niveles calcáreos turbidíticos (Subbético)	Paleógeno	Baja
Arcillas, margas, yesos y areniscas	Triásico	Baja
Arcillas versicolores (Complejo Tectosedimentario)	Mioceno inferior	Baja
Areniscas del Aljibe (Complejo Tectosedimentario)	Mioceno inferior	Baja

SIMBOLOGÍA

- Lámina de agua
- Red hidrográfica
- Carreteras
- Ferrocarril
- Núcleos urbanos
- Límite superficial de acuífero
- I - I' Localización del corte hidrogeológico
- Sondeo
- Manantial
- Pozo
- 7 m Profundidad del nivel piezométrico
- Nivel piezométrico



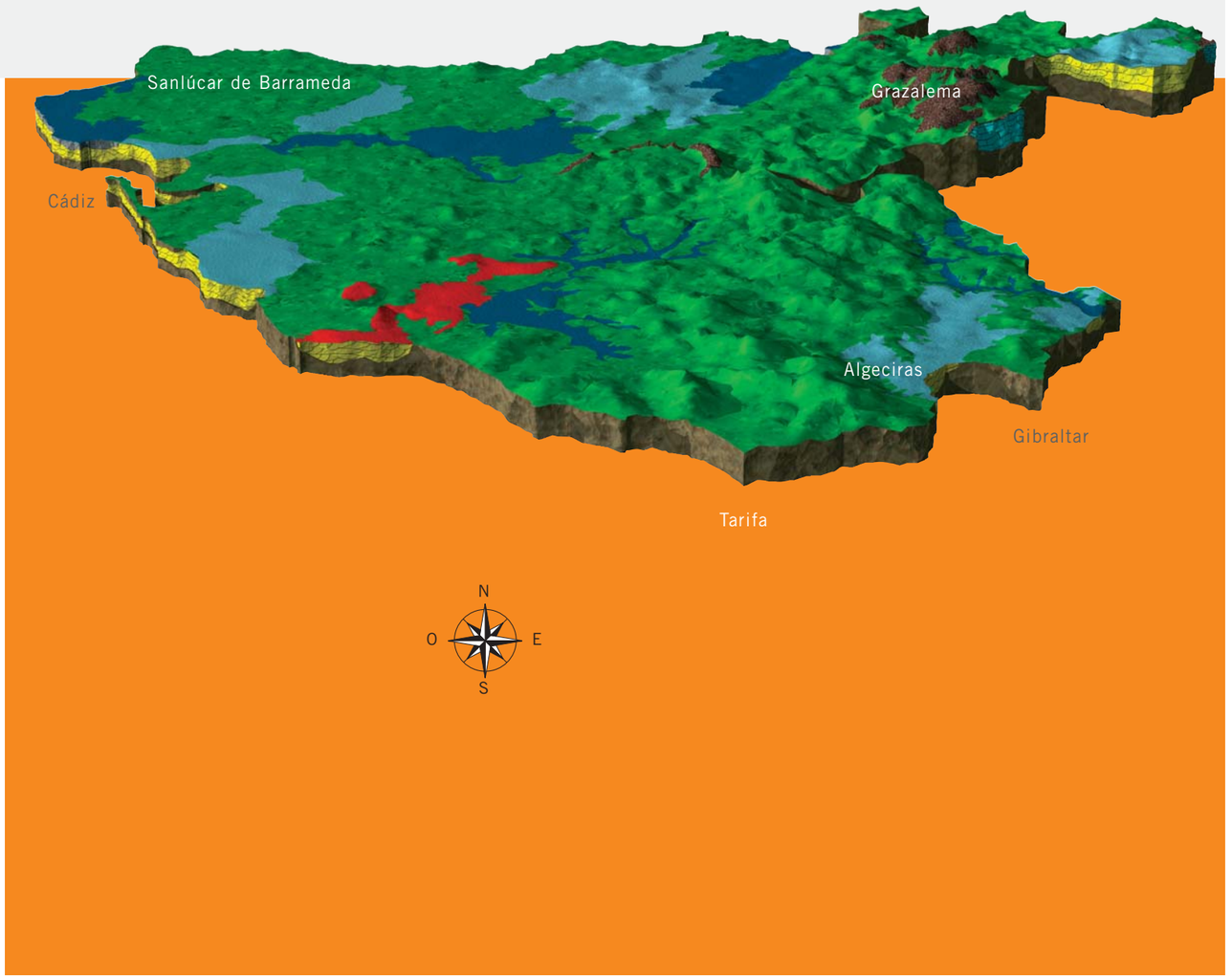
CORTE HIDROGEOLÓGICO
CORTE I-I´



Principales acuíferos

Vejer-Barbate

13.9



13.9.1 Situación y límites

El acuífero de Vejer-Barbate se localiza en el extremo suroccidental de la provincia de Cádiz, enmarcado en la comarca de la Janda. Quedan englobados parcialmente dentro del mismo los términos municipales de Vejer de la Frontera, Barbate, Medina Sidonia y Benalup-Casas Viejas. El municipio con un término más extenso es el de Vejer, seguido de Barbate. Las localidades con mayor población son: Barbate (22.264 habitantes) y Vejer de la Frontera (12.690 habitantes). Este acuífero queda incluido dentro de la unidad hidrogeológica 05.61(Vejer-Barbate), que tiene una extensión de 356 km^2, siendo la superficie total de afloramientos permeables de 152 km^2.

Como límites geográficos se consideran el arroyo del Yeso y del Charco Dulce al norte, el río Barbate como límite oriental, el mar al sur, y el río Salado y la carretera Medina Sidonia - Vejer al oeste (C-440).

El acuífero se encuentra cartografiado en las siguientes hojas del Mapa Topográfico Nacional (E: 1:50000): 1.076 (12-46) Chiclana de la Frontera; 1.070 (13-46) Alcalá de los Gazules; 1.073-1.076 (12-47/12-48) Vejer de la Frontera; 1.074 (13-47) Tahivilla.

13.9.2 Climatología e hidrología

13.9.2.1 Climatología

El clima existente en el área es mediterráneo subtropical, con veranos secos e inviernos suaves y lluviosos. De acuerdo con el estudio climatológico (DGOH, 1994) realizado para el período 1957-1989 se consideran los siguientes datos medios anuales:

- Precipitación: 778,3 mm
- Temperatura: superior a los 18ºC
- Evapotranspiración potencial: 930 mm
- Evapotranspiración real (Thornthwaite): 396 a 446 mm

13.9.2.2 Hidrología

El acuífero de Vejer-Barbate se sitúa en la Cuenca del Guadalete-Barbate, en concreto, entre la desembocadura del río Barbate y el río Salado de Conil.

El área presenta una red hidrográfica de tipo dendrítico cuyo eje principal es el río Barbate, el cual constituye, además, el límite oriental del acuífero en el sector de las marismas.

El río Barbate discurre desde la confluencia con el arroyo del Yeso, al noreste de Benalup-Casas Viejas, en sentido noreste-suroeste por terrenos impermeables. A la altura de "El Varelo", se produce un brusco cambio de dirección y el río atraviesa a la formación acuífera, en sentido este-oeste y en una longitud de unos 5 km, compartimentándola en dos unidades.

En el tramo en el que el río Barbate atraviesa al acuífero, se produce la confluencia al mismo de una serie de arroyos menores y con un marcado carácter estacional (arroyo del Pilón, arroyo de Torá, arroyo Donadie, etc.). El arroyo del Yeso bordea el acuífero por el norte sin llegar a penetrar en él.

Los ríos Celemín y Almodóvar, que no atraviesan los terrenos permeables del Manto de Vejer, constituyen los principales afluentes, ambos por la margen izquierda, del río Barbate en la zona.



Afloramiento de calcarenitas bioclásticas miocenas con estratificación cruzada en La Barca de Vejer (3)



Panorámica de Vejer de la Frontera (1)

A partir de la Barca de Vejer y hasta su desembocadura, el tramo del río Barbate se hace muy divagante debido a la escasa pendiente topográfica.

Por el sector noroccidental, discurre el río Salado de Conil, segundo en importancia en la zona, que constituye el límite occidental del acuífero, con una dirección NE-SO, que bordea el acuífero por el noroeste sin llegar a penetrar en él.

El volumen de agua drenado de forma natural hacia el mar por el río Barbate, el río Salado de Conil y el borde marismeño se estima en conjunto en unos 6,5 hm^3/a, pero resulta difícil conocer el porcentaje que representa cada una de estas salidas naturales.

13.9.3 Hidrogeología

13.9.3.1 Contexto geológico

El acuífero está ubicado en el extremo occidental de las Cordilleras Béticas (Zona Subbética), en el ámbito de los mantos relacionados con el Campo de Gibraltar. Los materiales subbéticos presentes, están constituidos sobre todo por arcillas, margas yesíferas y calcarenitas triásicas; materiales cubiertos en la mayor parte por el Complejo Tectosedimentario Mioceno sobre el cual, y ya con carácter autóctono, se deposita la serie detrítica y carbonatada postorogénica que abarca desde el Mioceno hasta el Cuaternario.



Arenas eólicas cementadas (duna fósil)del acuífero de Vejer - Barbate, en el Cabo de Trafalgar (6)

Las características de los materiales descritos anteriormente se detallan a continuación (IGME, Mapa Geológico Nacional. Escala 1:50 000. Hojas nº 1.069, 1.070, 1.073 y 1.074):

Zona Subbética

- Triásico: Constituye el basamento de todos los materiales aflorantes. Está formado por arcillas abigarradas multicolores (desde roja a violeta y amarillas), areniscas rojas o amarillentas, yesos y dolomías intercaladas en delgadas capas entre la arcilla y la arenisca. El espesor de esta formación puede superar los 500 m.

Complejo Tectosedimentario

- Mioceno inferior: se trata de un conjunto de arcillas rojas y verdes, satinadas y de aspecto esquistoso, con restos de trazas fósiles (Tubotomaculum) y nódulos de azufre y yesos. La característica más importante de estas arcillas es la de englobar una serie de materiales de las más diversas litologías y edades que, en forma de bloques, se distribuyen irregularmente entre ellas.

Terrenos Post-orogénicos

Mioceno superior: formado por tres tramos que de muro a techo incluyen:

- Margas azules, localmente limosas y arenosas con intercalaciones de calizas y calcarenitas bioclásticas, de potencia máxima de 200 m y edad Tortoniense.
- Alternancia de margas azules arenosas con niveles de calcarenitas bioclásticas, de potencia máxima de 500 m y edad Tortoniense.
- Calcarenitas de grano grueso con niveles esporádicos de conglomerados y brechas calcáreas, de potencia máxima de 300 m y edad Messiniense.

Plioceno: constituido principalmente por arenas amarillas y calcarenitas bioclásticas. También están presentes limos y margas arenosas, así como conglomerados. Su potencia no sobrepasa los 200 m.

Piocuaternario: formado por series rojas de origen marino-continental.

Cuaternario: formado por conglomerados, cantos, arenas, limos y arcillas. También por depósitos de glacis, terrazas y aluviales, dunas, flechas litorales y marismas, entre otros. Las marismas se localizan en la desembocadura del río Barbate.

Desde el punto de vista estructural, el acuífero se encuentra compartimentado en una serie de unidades independientes, que son el Manto de Vejer y La Muela.

La subunidad de La Muela, situada al noroeste de Vejer, está constituida por calcarenitas miocenas que forman en conjunto una estructura sinclinal. El espesor de esta formación varía de un punto a otro, siendo en el norte de aproximadamente 80 m, disminuyendo hacia el centro hasta unos 50 m y aumentando de nuevo hacia el sur donde alcanza los 130 m.

La subunidad del Manto de Vejer está formada por calcarenitas miocenas, y posee unos límites muy irregulares. Debido a la morfología de esta zona su espesor es muy variable, pudiendo alcanzar los 200 m.

13.9.3.2 Características hidrogeológicas

13.9.3.2.1 Descripción general

Se trata de un acuífero detrítico, costero, permeable por porosidad intergranular, con una extensión de 152 km^2 y compartimentado tectónicamente en dos unidades independientes: Manto de Vejer y La Muela. Los materiales permeables que conforman el acuífero son las calcarenitas y biocalcarenitas del Mioceno superior (Messiniense) y las arenas del Plioceno y Pliocuaternario, funcionando las margas arenosas tortonienses como un acuitardo. En general presentan potencias variables entre los 20 y los 130 m, disminuyendo normalmente hacia el este y hacia el norte.

Aunque la mayor parte del acuífero tiene carácter libre, se encuentra en sectores cubierto por materiales cuaternarios, en los que presenta carácter semiconfinado. Tanto los límites laterales como el sustrato impermeable triásico, lo constituyen las arcillas triásicas subbéticas y las pertenecientes al Complejo Tectosedimentario del Mioceno superior, así como por las margas azules tortonienses.

La subunidad de la Muela se sitúa al noroeste de Vejer de la Frontera y se extiende sobre una superficie de 16,4 km^2. Morfológicamente está constituida por un altiplano de forma ovalada, formado por una alternancia de margas y calcarenitas y por biocalcarenitas. La base impermeable está constituida por las margas azules, que son la base de la serie del Mioceno superior y presenta un carácter libre en toda su extensión.

El resto del acuífero está configurado por la subunidad del Manto de Vejer, la cual tiene una superficie interior de afloramientos permeables de 101,3 km^2, y 34,5 km^2 en el sector costero. Los niveles acuíferos están constituidos por la serie del Mioceno superior, si bien los puntos de extracción de agua explotan sobre todo la alternancia de margas y calcarenitas y las biocalcarenitas miocenas, y las arenas del Plioceno. Presenta un carácter libre, excepto en la mitad sur y a lo largo del río Barbate, que aparece recubierto por la serie cuaternaria, con un carácter semiconfinado. La circulación de las aguas se dirige principalmente hacia el este y el sur, drenando sus aguas al río Barbate y también hacia el mar.

El sentido de circulación del agua subterránea varía de unos sectores a otros dentro del acuífero, siendo de sur a norte entre El Soto y Jandilla, noreste a sudoeste en La Mesa Alta y Baja, de oeste a este en La Muela, y de norte a sur en el resto. El drenaje natural del acuífero se produce hacia el río Barbate, río Salado de Conil, las marismas, el mar y algunos manantiales de borde de carácter permanente o estacional. Se estima que en el sector de Vejer de la Frontera el río Barbate recarga al acuífero con 0,6 hm^3/a (ITGE, 1991). Los materiales permeables costeros se encuentran conectados con los del interior, lo que permite a éste acuífero interior un drenaje hacia el mar, con direcciones de circulación del agua subterránea sensiblemente perpendiculares a la costa.

En general la profundidad hasta el agua varia desde unos pocos metros en el contacto con las marismas del río Barbate y el mar, y más de 100 m, aunque esto no es frecuente, en la subunidad de La Muela.

13.9.3.2.2 Parámetros hidrogeológicos

Los parámetros hidráulicos obtenidos son en su mayor parte estimaciones realizadas en experiencias comparadas con formaciones análogas o responden a información de carácter puntual y son los siguientes:

Transmisividad:

- Manto de Vejer-Barbate : > 200 m^2/d
- Norte Manto Vejer-Barbate : 4000 - 6000 m^2/d (ensayo de bombeo en el punto IGME 1247-4-0010)
- La Muela: 20 - 100 m^2/d

Coeficiente de almacenamiento:

- Manto de Vejer-Barbate : 0,01 (ensayo de bombeo en el punto IGME 1247-7-0048)
- Norte Manto Vejer-Barbate: $0,5x10^{-3}$ - $1x10^{-3}$ (ensayo de bombeo en el punto IGME 1247-4-0010)

Gradiente hidráulico:

- Valor medio: 1 %
- La Muela: 1,6 %
- Mesa Alta: 4 %
- Sector central Vejer-Barbate: 0,8 %

13.9.3.2.3 Funcionamiento hidrodinámico. Piezometría

El acuífero presenta un carácter libre, excepto en los sectores próximos al río Barbate y en la parte meridional, donde se encuentra recubierto por materiales de la serie cuaternaria, sectores donde presenta un carácter semiconfinado. Los materiales cuaternarios próximos al río son sedimentos de marisma de carácter impermeable.

La recarga del acuífero se produce fundamentalmente por la infiltración del agua de lluvia, especialmente la precipitada en forma de intensos aguaceros. Además, hay que considerar una recarga adicional, de carácter estacional, correspondiente al río Barbate.

Las salidas tienen lugar a través de los bombeos en los pozos y sondeos que explotan el acuífero, además de los manantiales existentes en el cerro de La Muela, Caños de Meca, Charco Dulce, arroyo de los Badalejos y arroyo del Cucarrate, así como en la margen derecha del río Barbate, en la zona de los Libreros.

El sentido de circulación del agua subterránea es de sur a norte en el sector entre El Soto y Jandilla (al este de Vejer de la Frontera), de noreste a suroeste



Sondeo "Lagunilla 3" de abastecimiento a Benalup-Casas Viejas (1)

en La Mesa Alta y Mesa Baja, mientras que en el resto del acuífero el flujo se produce de norte a sur. En la subunidad de La Muela, el sentido de circulación es hacia el este y sureste.

La Mesa Alta y Baja constituyen las principales áreas de recarga del acuífero. Parte del flujo procedente de la Mesa Alta se descarga a través de varias surgencias naturales: Charco Dulce, y, principalmente por el arroyo de los Badalejos y arroyo Cucarrate.

El acuífero se caracteriza por una marcada isotropía. En general las isopiezas se adaptan bastante bien a la topografía del terreno, excepto las pequeñas depresiones originadas por bombeos puntuales, aspecto que queda reflejado en el mapa de piezometría realizado por el IGME en junio del 2001.

La profundidad de la superficie piezométrica va decreciendo desde 160 m en Vejer a 4 ó 5 m en la zona más meridional. En el sector septentrional de la subunidad Vejer-Barbate los niveles piezométricos se sitúan próximos a la superficie, menos de 15 m, llegando a ser surgentes, con carácter estacional, en algunas zonas, como Mesa Baja, Badalejos y algunos puntos próximos a las marismas. El valor medio del gradiente hidráulico es del orden del 1% con valores extremos del 4 % en La Mesa Alta y del 0,8 % en el sector central del acuífero.

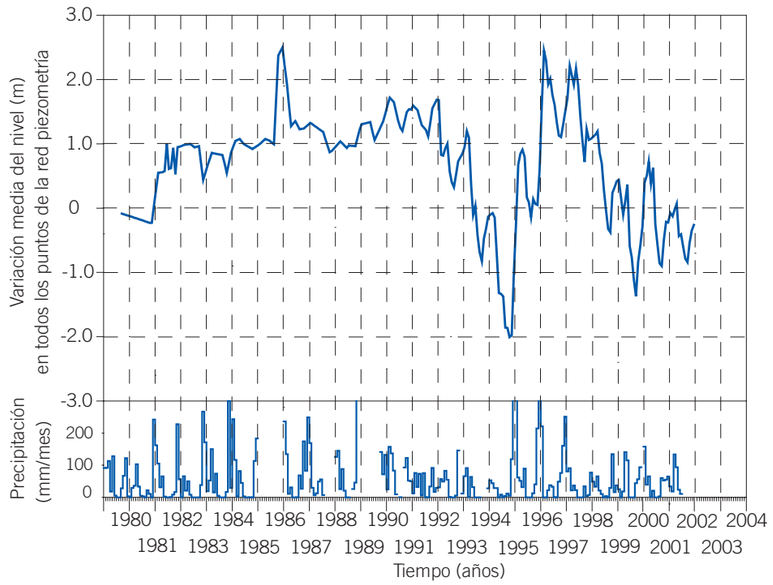
Hasta el año 2002 el IGME controlaba, con frecuencia mensual, una red piezométrica compuesta por un total de 46 puntos de agua, cuyas características se describen en la tabla adjunta.

En cuanto a la evolución piezométrica del acuífero, se ha representado la variación del nivel piezométrico, en función del tiempo, considerando el conjunto de toda la red de control del IGME, observándose con claridad la disminución del nivel en el periodo de sequía 1992-1995 y su posterior recuperación tras las lluvias.

Red de control piezométrico del IGME

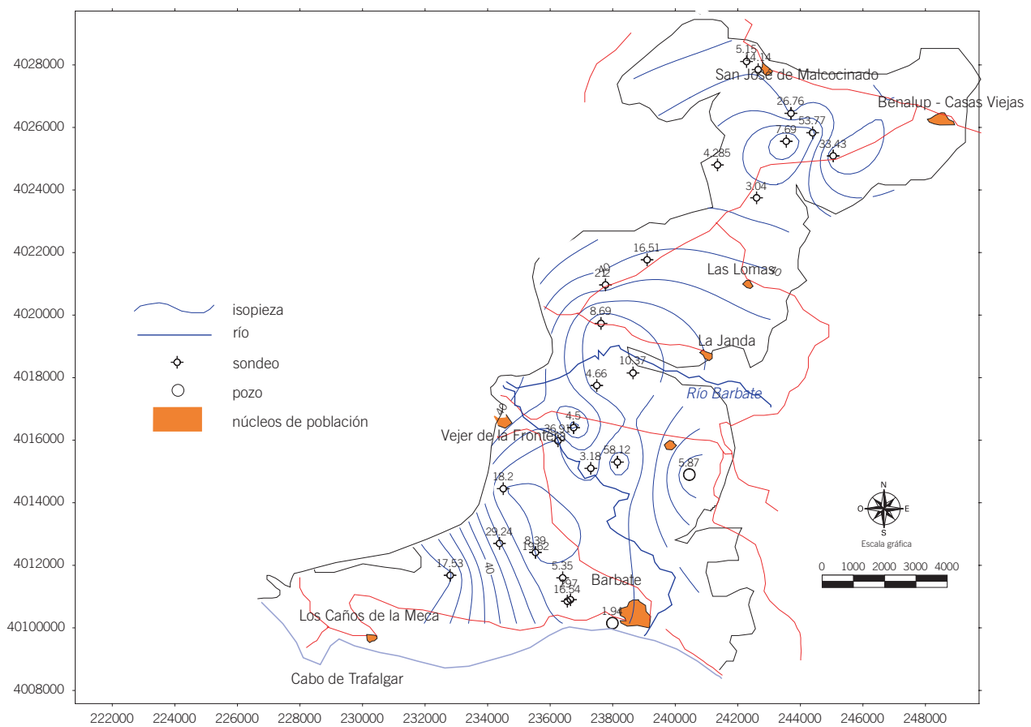
Nº de piezómetro	X	Y	Cota	Profun
1246-8-0007	240850	4029720	95	84
1246-8-0011	242650	4027850	85	87
1246-8-0015	242280	4028108	78	112
1246-8-0021	242580	4026993	73	103
1246-8-0023	242590	4027523	75	117
1247-3-0089	236750	4016400	50	80
1247-4-0004	776528	4020172	10	30
1247-4-0012	237490	4017750	9,63	80
1247-4-0017	240200	4022600	45	70
1247-4-0021	779699	4023329	38,02	40
1247-4-0023	242600	4023750	56,94	50
1247-4-0024	243550	4025557	36	50
1247-4-0032	778379	4018209	10	86
1247-4-0033	776595	4021411	56	92
1247-4-0034	239100	4021768	54	87
1247-4-0035	241350	4024801	60	75
1247-4-0036	779927	4025306	66	80
1247-4-0037	241999	4024380	64	80
1247-7-0047	774482	4013231	10	13
1247-7-0048	234500	4014450	18	70,46
1247-7-0058	235390	4013100	7	20,50
1247-8-0005	240450	4014900	54,92	8,45
1247-8-0007	237300	4015100	20	31
1247-8-0008	236850	4015050	36,6	57
1247-8-0009	236250	4015980	45	
1346-5-0001	245050	4025090	122	80
1346-5-0019	244391	4025830	100	98
1247-4-0040	238650	4018150	12,2	35
1247-7-0067	235140	4012400	15	150
1247-8-0015	236650	4010900	10	19
1247-7-0064	235531	4012412	10	125
1247-7-0065	235546	4012412	15	108
1247-7-0066	234380	4012700	50	140
1247-3-0091	231750	4018100	123,19	12
1247-8-0016	236550	4010850	17	83
1247-7-0068	232800	4011680	100	80
1247-8-0017	238150	4015300	50	150
1246-8-0028	242700	4026980	80	70
1246-8-0029	241990	4026200	70	90
1246-8-0030	243700	4026450	98	90
1247-7-0071	231990	4011200	100	4
1247-8-0018	236400	4011600	10	12
1247-8-0019	237990	4010150	10	6
1347-1-0011	246990	4018700	25	110
1347-1-0012	247200	4019350	28	100
1346-5-0023	247550	4027700	100	3

Evolución del nivel piezométrico en el acuífero de Vejer-Barbate



Superficie piezométrica en el Manto de Vejer

Junio 2001 (IGME, 2003)



13.9.4 Hidroquímica

13.9.4.1 Calidad química y composición natural

Las aguas subterráneas del acuífero son, en general, de dureza media a duras y mineralización ligera a notable con residuos secos entre 234 y 1.250 mg/L. Presentan facies predominantemente bicarbonatadas cálcicas con leve exceso en la concentración del ion bicarbonato que supera los máximos permitidos por la legislación vigente, aunque aptas para el consumo humano. Los cloruros presentan valores normales y, aunque en las proximidades de la costa haya algún contenido mayor que en el resto, puede decirse que no existe intrusión marina.

La red de calidad del IGME en el acuífero ha estado integrada por 13 puntos en los que se han recogido, entre los años 1978 y 2001, un total de 276 análisis cuyas valores característicos se detallan en la tabla adjunta.

Red de control de calidad del IGME

Nº de punto	X	Y
1246-8-0011	242650	4027850
1246-8-0018	242947	4026787
1247-3-0031	232670	4018850
1247-4-0021	240986	4022687
1247-6-0010	226621	4010651
1247-7-0048	234500	4014450
1247-7-0049	235575	4012280
1247-7-0050	234938	4011855
1247-7-0063	235526	4012406
1247-7-0067	235140	4012400
1247-8-0008	236850	4015050
1247-8-0010	236868	4010975
1247-8-0015	236650	4010900

Características químicas del acuífero Vejer-Barbate

Parámetros (mg/L)	Mínimo	Media	Máximo
Cloruros	15	124	504
Sulfatos	1	65	788
Bicarbonatos	48	268	508
Nitratos	1	33	205
Sodio	10	56	187
Magnesio	3	18	96
Calcio	10	118	384
Conductividad eléctrica (µS/cm)	125	895	2.671

En algunos puntos aislados del acuífero (sector de Cantarranas, Vega de El Torero y Cantera del Torero) existen obras de captación con aguas de elevada salinidad, debida probablemente a la existencia de lentejones arcillosos que contienen aguas marinas congénitas.

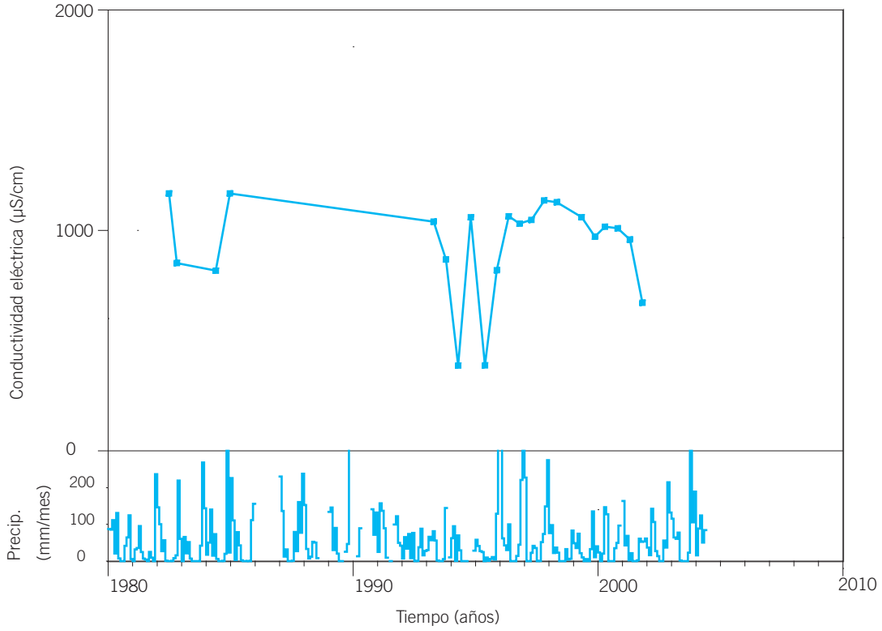
En general, para el abastecimiento urbano son aguas químicamente potables. Para el riego se clasifican como C1/S1o C2/S2 (incluso C3/S1 puntualmente), es decir que se trata de aguas de salinidad media-alta con bajo contenido en sodio.

Las aguas de las zonas marismeñas presentan contenidos salinos del orden de 2.000-3.000 mg/L de cloruros.



Sondeo "Picazo" de abastecimiento urbano a Barbate. (1)

Evolución de la conductividad eléctrica en Santo Tomás de Villanueva
(punto IGME 1247-4-0021)



13.9.4.2 Contaminación y vulnerabilidad

El acuífero presenta un riesgo de contaminación de las aguas subterráneas previsiblemente alto. Los principales focos de contaminación de aguas subterráneas existentes son los derivados de los asentamientos urbanos y de las prácticas agrícolas. Asimismo debe prestarse atención al riesgo de intrusión marina existente en la zona sur.

Vejer de la Frontera, así como los núcleos de población de la comarca de La Janda, excepto Barbate, vierten sus residuos sólidos urbanos a la Planta de Compostaje de Cañada Ancha en La Barca de Vejer. Esos residuos son trasladados posteriormente a la Planta de Biorreciclaje (vertedero controlado) de Miramundo (Medina Sidonia), donde se reciben también los residuos de Barbate. El total de residuos generados en Vejer de la Frontera y Barbate asciende a 12.800 t/a.

Respecto a las aguas residuales, se vierten a cauces de aguas superficiales, sin tratamiento de depuración. Barbate y Zahara de los Atunes vierten sus aguas residuales en la misma depuradora, que actualmente se encuentra en reparación por problemas técnicos. Vejer de la Frontera carece de depuradora y vierte sus aguas residuales directamente al río Barbate. Caños de Meca vierte sus aguas residuales directamente al mar.

Una parte de las Zonas Regables de Barbate de iniciativa privada (3.200 ha) se sitúan sobre los afloramientos permeables: 2.800 ha sobre los materiales permeables de la subunidad del Manto de Vejer, en el centro y al norte de la misma; y 400 ha en la misma subunidad pero emplazadas al sur, entorno a las marismas del río Barbate.

En la zona de la desembocadura directa al Atlántico del río Barbate en la cuenca del mismo, la principal actividad contaminante está constituida por los vertidos domésticos. La ganadería, con una población equivalente estimada de 33.000 habitantes, puede suponer una contribución máxima de 12,6 % a la carga contaminante de DBO_5.

Las industrias existentes eliminan sus residuos mediante la red de saneamiento, englobándose así en los vertidos sólidos urbanos.

Un importante riesgo de contaminación procede de urbanizaciones y parcelaciones ilegales en materia urbanística, situadas en el sector costero y especialmente en Los Caños de Meca. Las captaciones de aguas subterráneas en estas zonas tienen fines diversos (doméstico, riego de huertos, etc.). Gran parte de los terrenos rústicos de estas zonas, emplazados sobre afloramientos permeables, que no tienen un uso forestal, se encuentran intensamente parcelados y en gran medida urbanizados.

En estos lugares la superposición de pozos de abastecimiento, la inexistencia de redes de saneamiento y la utilización de los productos químicos requeridos por la agricultura, configuran una zona de riesgo para la salud pública y el medio ambiente.

13.9.5 Explotación y balance

El balance hídrico del acuífero se encuentra equilibrado, las entradas en el sistema se cifran en 30,5 hm^3/a y los bombeos realizados en 24 hm^3/a, en consecuencia el balance presenta un saldo positivo de 6,5 hm^3/a. En buena lógica, estos excedentes deben constituir el drenaje natural hacia el mar, las marismas, arroyos y el río Barbate.

Para determinar la recarga de la lluvia se ha establecido un coeficiente de lluvia eficaz que por término medio se cifra en el 20 % de la precipitación (150 mm/a), y es el resultado de la agregación ponderada entre los siguientes factores: permeabilidad de suelos y formaciones acuíferas, pendiente del terreno, usos del suelo y hechos singulares. La superficie susceptible de recarga por agua de lluvia se cifra en 152 km^2, lo que implica una recarga por infiltración de la lluvia de 23,0 hm^3/a.

Dada la enorme longitud y ramificación de las redes de abastecimiento urbano, se ha considerado que un 10% del volumen de agua consumido (4 hm^3/a) constituye parte de las pérdidas en las redes en baja (evaluadas en un 18-25% del volumen facturado) que, dada la proximidad del nivel freático, pueden convertirse en recarga efectiva del acuífero. Este volumen es aproximadamente de 0,5 hm^3/a.



Manantial en el acantilado de las calcarenitas miocenas. Caños de Meca (6)

De las 7.500 ha de la Zona de Riego de Barbate, sólo 3.200 ha se encuentran sobre materiales permeables del acuífero. La dotación media anual de 6.000 m³/ha, supone un volumen de agua (superficial y subterránea) para riego de 19,2 hm³/a. Se considera que un 20% de las dotaciones aplicadas retornan al sistema, suponiendo una aportación suplementaria de aproximadamente 4,0 hm³/a.

Las 4.300 ha sobre materiales de baja permeabilidad, suponen un volumen de agua de 25,8 hm³/a, de las que al menos un 5 % retornarán al acuífero, aunque la superficie de riego no esté situada sobre los materiales permeables. Esa aportación suplementaria será aproximadamente de 1,5 hm³/a.

El volumen medio aportado al acuífero por el río Barbate, deducido de aforos diferenciales, se estima aproximadamente en 1,5 hm³/a.

Se consideran unas extracciones totales de 24 hm³/a para todo el acuífero, teniendo en cuenta que el abastecimiento urbano requiere 4 hm³/a y las extracciones para riego son del orden de 20 hm³/a.

De esta manera, el balance hídrico del acuífero de Vejer-Barbate (2002) es el siguiente:

Entradas	hm³/a
Infiltración de agua de lluvia	23,0
Recarga natural del río Barbate	1,5
Retorno urbano	0,5
Retorno agrícola	5,5
Total	**30,5**
Salidas	
Extracciones por bombeo (riego)	20,0
Extracciones por bombeo (abastecimiento)	4,0
Drenaje natural arroyos, ríos y mar	6,5
Total	**30,5**

13.9.6 Problemática existente y pautas de gestión

El acuífero presenta un riesgo de contaminación de las aguas subterráneas previsiblemente alto. Los principales focos de contaminación de aguas subterráneas existentes son los derivados de los asentamientos urbanos, principalmente por la inadecuada gestión de las aguas residuales; y de las prácticas agrícolas, que suponen una contaminación de grado medio, con una localización difusa y aislada. Asimismo debe prestarse atención al riesgo de intrusión marina existente en la zona sur.

Un importante riesgo de contaminación procede de urbanizaciones y parcelaciones situadas en el sector costero y especialmente en Los Caños de Meca, hecho que se viene produciendo desde la década de los 80. Mayoritariamente son parcelaciones rústicas, en las que predomina un uso residencial carente de dotaciones y equipamientos para tal fin. Además, estas parcelas carecen de red de saneamiento, existiendo numerosos pozos ciegos situados a poca distancia del propio pozo de abastecimiento.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

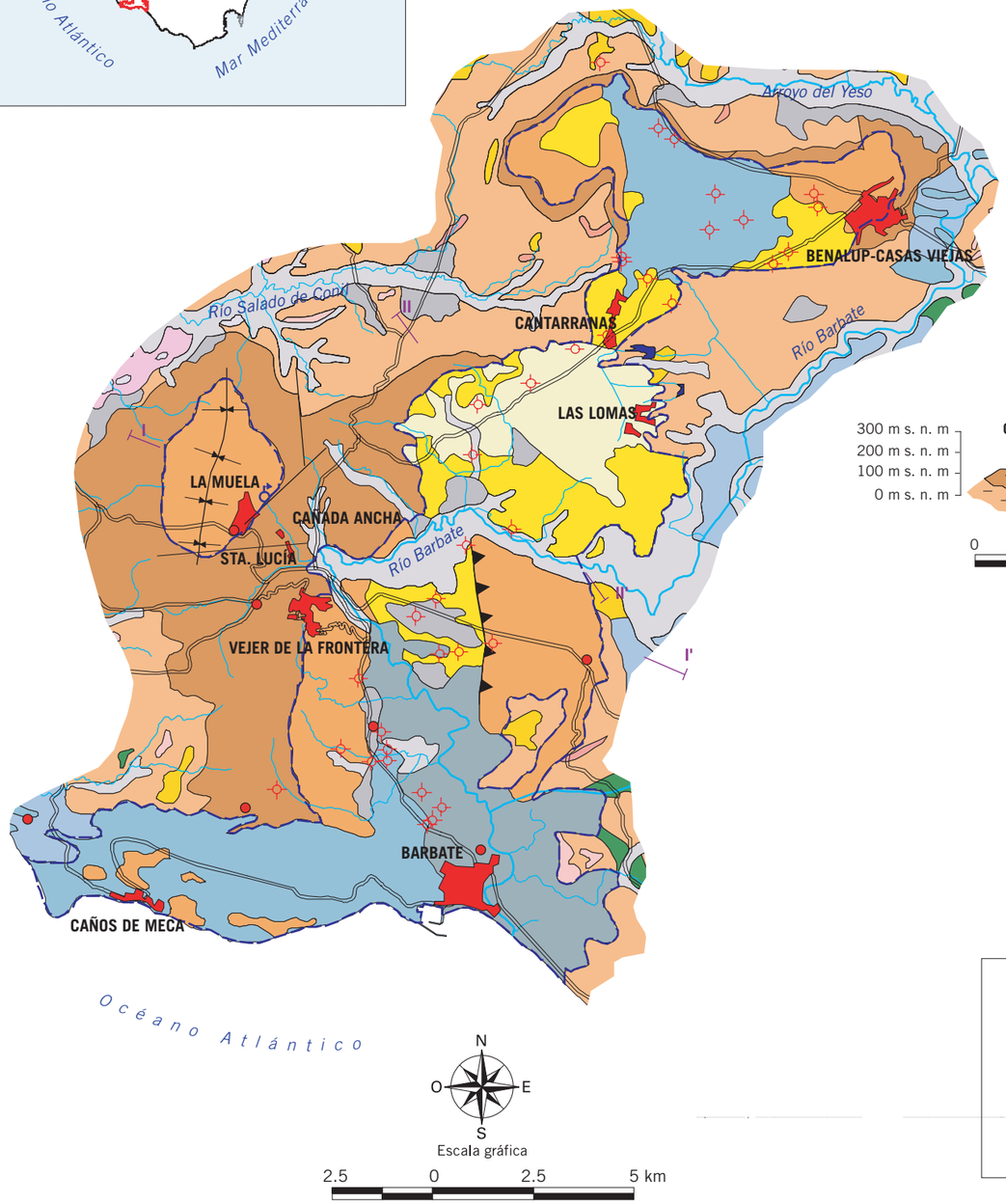
Acuífero de Vejer - Barbate

SITUACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA PROVINCIA



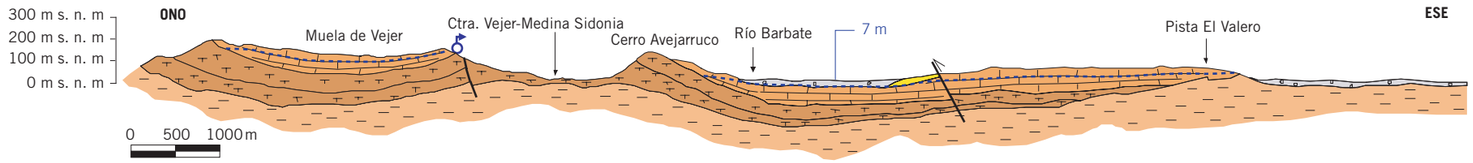
LEYENDA

LITOLOGÍA	EDAD GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD
Arenas, arcillas y cantos (depósitos de ladera)	Cuaternario	Baja
Arenas y gravas (depósitos fluviales)	Cuaternario	Baja
Limos y arcillas de marisma	Cuaternario	Baja
Calcarenitas y arenas (depósitos eólicos)	Cuaternario	Muy alta
Arenas, y suelos rojos	Pliocuaternario	Media-alta
Arenas, biocalcarenitas y conglomerados	Plioceno	Media-alta
Biocalcarenitas	Mioceno superior (Messiniense)	Media-alta
Margas azules	Mioceno superior (Tortoniense)	Baja
Arcillas rojas y verdes (Complejo Tectosedimentario)	Mioceno inferior	Baja
Calizas, margas y arcillas (Formación Almarchal)	Cretácico superior	Baja
Arcillas, margas, yesos y areniscas	Triásico	Baja

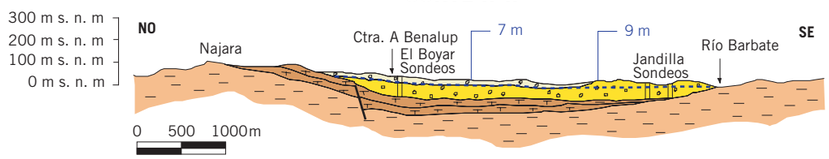


CORTES HIDROGEOLÓGICOS

CORTE I-I'



CORTE II-II'



SIMBOLOGÍA

- Límite superficial de acuífero
- 7 m — Profundidad del nivel piezométrico
- Nivel piezométrico
- Lámina de agua
- Red hidrográfica
- Carreteras
- Núcleos urbanos
- Sondeo
- Manantial
- Pozo
- I-I' — Localización del corte hidrogeológico
- Sinclinal
- Falla
- Cabalgamiento o falla inversa

Principales acuíferos

Aluvial del Barbate

13.10



13.10.1 Situación y límites

El acuífero Aluvial del Barbate se encuentra en el extremo suroccidental de la provincia de Cádiz, enmarcado en la comarca de la Janda. Con una extensión de 111 km^2 de afloramientos permeables, ocupa parcialmente los términos municipales de Alcalá de los Gazules, Barbate, Medina Sidonia, Benalup-Casas Viejas, Tarifa y Vejer de la Frontera. Dentro del acuífero se encuentra ubicado el núcleo de población de Alcalá de los Gazules, con 5.491 habitantes. Administrativamente el acuífero se incluye en la unidad hidrogeológica 05.62 (Aluvial del Barbate).

Como límites geográficos se considera la carretera Medina Sidonia - Alcalá de los Gazules (C-440) al norte, el río Barbate y el arroyo del Yeso como límite occidental, la carretera Vejer de la Frontera - Tahivilla (N-340) al sur y los afloramientos de arcillas con Tubotomaculum y Areniscas del Aljibe al este.

Las hojas del Mapa Topográfico Nacional Escala 1/50.000 en las que se encuentra cartografiado son: 1.063 (12-45) Algar; 1.069 (12-46) Chiclana de la Frontera; 1.070 (13-46) Alcalá de los Gazules; 1.073-1.076 (12-47/12-48) Vejer de la Frontera; 1.074 (13-47) Tahivilla.

13.10.2 Climatología e hidrología

13.10.2.1 Climatología

El tipo de clima que caracteriza a la zona, es el mediterráneo semihúmedo de invierno templado, marcado por la influencia conjunta del mar y de los vientos cálidos procedentes del Sáhara, y por las masas frías provenientes de Centroeuropa, que en invierno generan perturbaciones sobre el Atlántico dejando sentir la influencia oceánica sobre las costas y originando lluvias abundantes y temporales de viento, así como un régimen térmico suave.

La caracterización climática del acuífero se ha realizado para el periodo 1957 a 1989 obteniéndose los siguientes valores medios anuales (DGOH, 1995):

- Precipitación: 778,3 mm
- Temperatura: 18º C.
- Evapotranspiración potencial: 930 mm
- Evapotranspiración real (Thornthwaite): 421 mm
- Lluvia útil: 253 mm.





Foto superior: Panorámica de Benalup - Casas Viejas, localidad situada junto al límite centro-occidental del acuífero (6)
Foto inferior: Zona central de la antigua laguna de La Janda, cubierta por depósitos cuaternarios de naturaleza arcillosa (6)

13.10.2.2 Hidrología

El sistema acuífero del Aluvial del Barbate se sitúa en la Cuenca Hidrográfica Administrativa del Guadalete-Barbate; en concreto, en la cuenca del río Barbate. El área presenta una red hidrográfica de tipo dendrítico cuyo eje principal es el río Barbate y diversos ríos y arroyos afluentes del mismo, cuyos depósitos aluviales configuran el acuífero.

El río Barbate tiene un recorrido sinuoso por el acuífero. Al norte y hasta Alcalá de los Gazules su dirección es noreste-suroeste. A partir de ahí continua norte-sur hasta el Llano de la Mata, desde donde toma de nuevo dirección noreste-suroeste hasta El Varelo. Finalmente, desde ahí y hasta el límite acuífero su dirección es este-oeste.

Los principales afluentes del Barbate son los ríos Almodóvar, Celemín, Alberite, Rocinejo, arroyo del Yeso, río Álamo y el río Fraja.

Existen dos embalses en la unidad, el del río Celemín y el del río Barbate, que incluye también los ríos Alberite y Rocinejo. El embalse del río Celemín tiene una capacidad de 43 hm^3, y el del río Barbate de 228 hm^3.

El drenaje natural del acuífero se produce principalmente hacia río Barbate, y en menor medida a las marismas y algunos manantiales de borde de carácter estacional, no existiendo conexión directa con el mar. El volumen de agua drenado se estima en conjunto en unos 16,6 hm^3/a.

13.10.3 Hidrogeología

13.10.3.1 Contexto geológico

El sistema acuífero está ubicado en el extremo occidental de las Cordilleras Béticas (Zona Subbética), en el ámbito de los mantos relacionados con la unidad del Campo de Gibraltar, los cuales constituyen el sustrato impermeable, sobre los que se depositaron los materiales aluviales del río Barbate y sus afluentes. Los materiales subbéticos presentes, están constituidos sobre todo por arcillas, margas yesíferas y calcarenitas triásicas. También como sustrato se encuentra el manto del Aljibe, formado básicamente por arcillas versicolores y areniscas, y el Complejo Tectosedimentario, constituido por arcillas con Tubotomaculum, que engloban abundantes bloques de las más diversas litologías y edades. A continuación, ya con carácter autóctono, se depositó una serie detrítica desde el Mioceno al Cuaternario.



Embalse del Celemín (6)

Las características más relevante de los materiales descritos se detallan a continuación:

Subbético Medio

Triásico: constituye el basamento de todos los materiales aflorantes. Está formado por arcillas abigarradas multicolores (desde roja a violeta y amarillas), areniscas rojas o amarillentas, yesos y dolomías intercaladas en delgadas capas entre la arcilla y la arenisca. El espesor de esta formación puede superar los 500 m.

Serie del Aljibe

Cretácico: el conjunto está formado por una alternancia de calizas, margas y arcillas. Su espesor no se conoce pero se supone superior a los 300 m.

Paleoceno - Eoceno

- Eoceno: formado por calizas arenosas y bioclásticas con margas alternantes
- Oligoceno: constituidao por calizas y arcillas margosas

Mioceno inferior (Aquitaniense): se trata de las Areniscas del Aljibe, que constituyen la mayor parte de los afloramientos de la unidad. Su estructuración en escamas apiladas le confiere un espesor de 1.500-2.000 m de areniscas de color anaranjado - amarillento y aspecto masivo, con delgadas intercalaciones pelíticas de color marrón claro. Estas areniscas aparecen también en forma de bloques dentro de la pasta de arcillas con Tubotomaculum. Estas areniscas presentan, en aparente continuidad estratigráfica, un recubrimiento de arcillas marrones dentro de las cuales se intercalan ocasionalmente niveles decimétricos de unas areniscas cuarzomicáceas, muy bien cementadas. Su potencia total no se puede estimar, aunque el mayor espesor de afloramiento oscila alrededor de los 100 m.



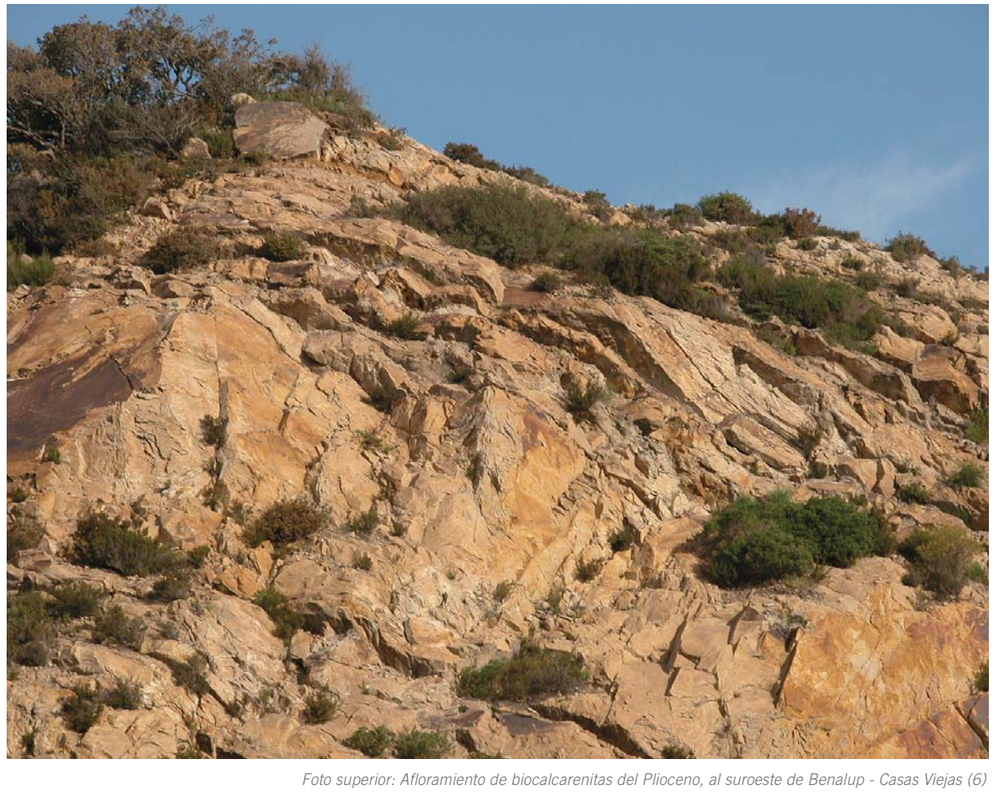


Foto superior: Afloramiento de biocalcarenitas del Plioceno, al suroeste de Benalup - Casas Viejas (6)
Foto inferior: Areniscas del Aljibe (6)

Complejo Tectosedimentario

Mioceno inferior: se trata de un conjunto de arcillas rojas y verdes, satinadas y de aspecto esquistoso, con restos de trazas fósiles (Tubotomaculum) y nódulos de azufre y yesos. La característica más importante de estas arcillas es la de englobar una serie de materiales de las más diversas litologías y edades que, en forma de bloques, se distribuyen irregularmente entre ellas.

Terrenos Post-orogénicos

Mioceno superior: formado principalmente por biocalcarenitas de grano grueso a muy grueso con abundantes fragmentos de microfauna pudiendo aparecer en la base niveles esporádicos de brechas y conglomerados calcáreos. Su potencia es variable llegando a alcanzar en algunos lugares mas de 300 m.
Plioceno: constituido principalmente por arenas amarillas y calcarenitas bioclásticas. También están presentes limos y margas arenosas, así como conglomerados cementados con ostras de edad pliocuaternaria. Su potencia varia entre 5 y 20 m.
Cuaternario: formado por conglomerados, cantos, arenas, limos y arcillas. También por depósitos de glacis de cobertera, terrazas y aluviales, dunas, flechas litorales y marismas, entre otros. Las marismas se localizan en la desembocadura del río Barbate.

Respecto a la estructura geológica, el zócalo impermeable del acuífero está constituido por materiales del Subbético Medio, de la Serie del Aljibe y del Complejo Tectosedimentario, sobre los que se depositan discordantes y subhorizontales los materiales que forman el aluvial del río Guadalete y sus afluentes. Con la prudencia que la escasa información disponible determina, se apunta que los espesores de esta formación acuífera varían según sectores, aunque presenta potencias medias del orden de 30 a 40 m.

Las biocalcarenitas del Mioceno superior, que afloran en el Cerro del Mirador, se disponen discordantes sobre las calizas y arcillas (Serie del Aljibe), en una estructura sinclinal, con un espesor que puede llegar a los 150 m.

13.10.3.2 Características hidrogeológicas

13.10.3.2.1 Descripión general

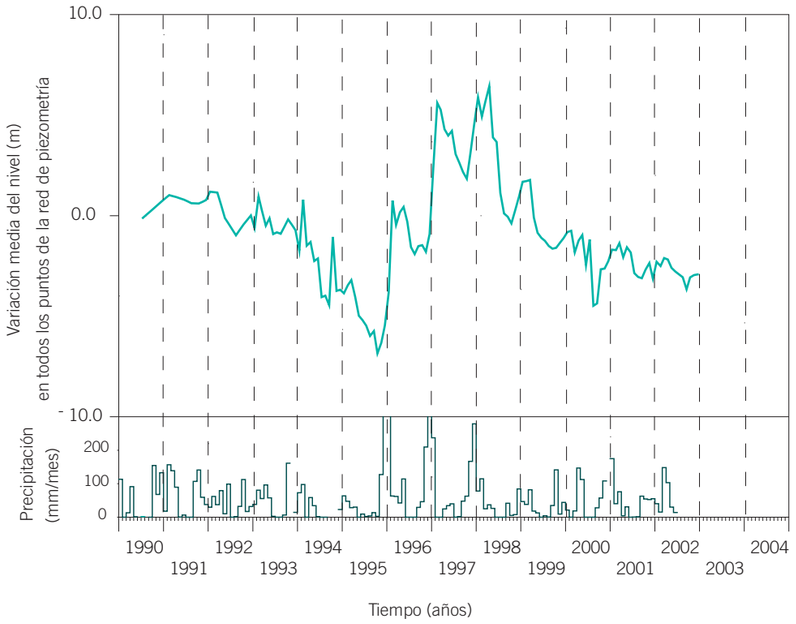
Se trata de un acuífero detrítico, permeable por porosidad intergranular, con una extensión de 111 km^2, asociado principalmente a los depósitos aluviales del río Barbate y sus afluentes. Tales depósitos, de naturaleza arcillosa principalmente, tienen poca entidad hidrogeológica. Son los afloramientos miopliocenos de la Subunidad de La Mediana los que presentan unos mayores potenciales de almacenamiento y explotación de agua subterránea; las biocalcarenitas del Mioceno que afloran en el Cerro del Mirador, Cerro de los Pájaros e inmediaciones de Benalup-Casas Viejas, y los depósitos arenosos del Plioceno (arenas amarillas) constituyen esos acuíferos de mayor entidad.

Respecto a las sierras constituidas por las Areniscas del Aljibe, a pie de las mismas, en el contacto de las arcillas rojas, se han observado, cuando el buzamiento es favorable, algunos manantiales de poca importancia que drenan aguas de baja calidad, con un contenido demasiado elevado en hierro. Estas areniscas, cuando se encuentran formando bloques dentro de las arcillas con Tubotomaculum, pueden dar lugar a la formación de pequeños acuíferos confinados por las arcillas que los engloban.

En algunos casos, los coluviones, conos de derrubios y abanicos aluviales que se sitúan a pie de las sierras anteriormente mencionadas, cuando adquieren espesores importantes pueden constituir pequeños acuíferos.

Las Areniscas del Aljibe son en general materiales poco permeables, que podrían clasificarse como acuitardos, cuyo interés es limitado, a pesar de la gran superficie que ocupan. Constituyen acuíferos de permeabilidad mixta por porosidad intergranular y fracturación, baja en ambos casos, muy compartimentados quedando delimitados por los límites geológicos de sus afloramientos. Aunque llegan a ser formaciones de gran espesor (más de 1.000 m), su baja permeabilidad, su posición estructural (colgadas sobre materiales impermeables) y la presencia de discontinuidades estratigráficas o tectónicas con materiales impermeables, hacen que se comporten como un acuífero heterogéneo, en cierto modo multicapa, con una permeabilidad vertical muy inferior a la horizontal, y en definitiva, con escasa potencialidad a pesar de su gran extensión en superficie.

Evolución de la piezometría en el acuífero Aluvial del Barbate



No se puede hablar de la existencia de una única superficie piezométrica en las areniscas, sino más bien de diversos niveles acuíferos superpuestos, parcialmente desconectados entre sí, que dan lugar a numerosos puntos de surgencia a distintas cotas, con diferentes caudales. Estos manantiales no suelen superar los 5 L/s, y en su inmensa mayoría son inferiores a 1 L/s.

13.10.3.2.2 Parámetros hidrogeológicos

Los parámetros hidráulicos obtenidos son en su mayor parte estimaciones basadas en comparaciones con formaciones análogas o responden a información de carácter puntual. Los valores habitualmente manejados son:

- Transmisividad : 10-850 m^2/d
- Coeficiente de almacenamiento: $2x10^{-2}$ a $5x10^{-2}$
- Gradiente hidráulico (La Mediana): 3,3 %

13.10.3.2.3 Funcionamiento hidrodinámico. Piezometría

El acuífero presenta un carácter libre, excepto en los sectores próximos al río Barbate y en la parte meridional, donde se encuentra recubierto por materiales de la serie cuaternaria, sectores donde presenta un carácter semiconfinado. Los materiales principalmente acuíferos son los de edad miopliocena, ubicados al suroeste, entre los que destaca la Subunidad de La Mediana, en el Cerro del Mirador, constituida por biocalcarenitas que poseen una alta permeabilidad.

La recarga del acuífero se produce fundamentalmente por la infiltración del agua de lluvia, especialmente la precipitada en forma de intensos aguaceros.

Las salidas se efectúan mediante manantiales, por extracción mediante sondeos, así como por el drenaje hacia el río Barbate y sus afluentes.

La evolución de la piezometría está regulada fundamentalmente por los grandes acontecimientos climáticos como puede observarse en el gráfico; los periodos de sequía padecidos en los principios de los años ochenta y en la primera mitad de los noventa indujeron los dos mínimos históricos de la capa freática, y los periodos húmedos de finales de los ochenta y, principalmente, los temporales de los inviernos de 1996 y 1997 restablecieron en gran medida las condiciones naturales reinantes.

Red de control piezométrico del IGME

Nº de piezómetro	X	Y	Cota	Profundidad
1246-8-0011	242700	4027850	85	80
1346-5-0001	244999	4025050	122	80
1346-5-0010	247645	4026712	124	76
1347-1-0001	247100	4018250	42	100
1347-1-0002	244370	4023250	21	25
1347-1-0003	244200	4023200	21	30
1347-1-0008	245100	4024900	100	61

13.10.4 Calidad de las aguas subterráneas

13.10.4.1 Calidad química y composición natural

Las aguas subterráneas del acuífero son, en general, de dureza media a duras y mineralización ligera a notable. Presentan facies predominantemente bicarbonatadas cálcicas.

En la base de datos del IGME existen 33 análisis, realizados entre los años 1982 y 2001, mostrando la tabla adjunta el resumen de las principales características químicas.

Características químicas del acuífero Aluvial del Barbate

Parámetros (mg/L)	Mínimo	Medio	Máximo
Cloruros	12	34	122
Sulfatos	1	15	63
Bicarbonatos	61	262	392
Nitratos	1	28	160
Sodio	8	14	30
Magnesio	2	7	20
Calcio	14	97	136
Conductividad eléctrica (µS/cm)	141	518	927

En general, para abastecimiento urbano son aguas químicamente potables. Para su uso en agricultura se clasifican como C1/S1, siendo aptas para cualquier tipo de cultivo.

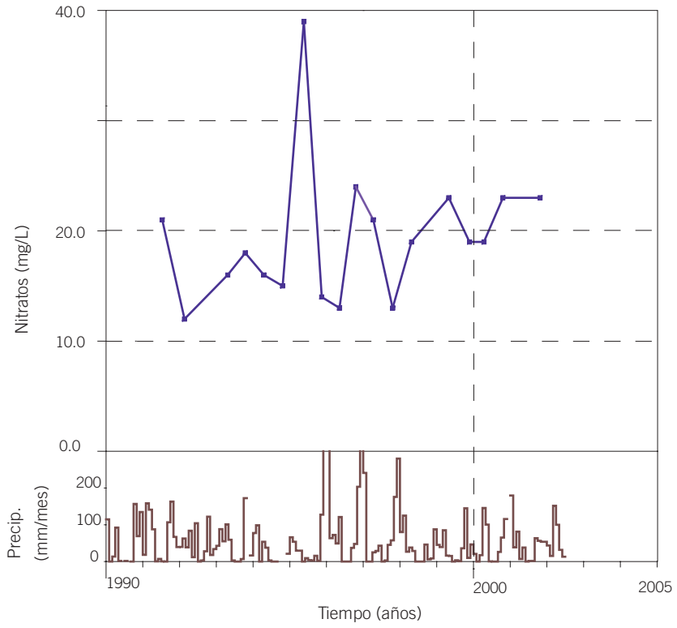
Las aguas de las zonas marismeñas presentan contenidos del orden de 2.000-3.000 mg/L de cloruros.

La red de control de calidad del IGME en el acuífero constaba de dos puntos cuyas características se detallan en la siguiente tabla. Cabe destacar la evolución del contenido en nitratos en el punto IGME 1346-5-0012, que presenta una tendencia estable en el tiempo.

Red de control de calidad del IGME

Nº de Punto	X	Y	Cota	Profundidad
1346-5-0012	246242	4026170	120	65
1346-5-0025	246160	4026400	115	102

Evolución de nitratos
(punto IGME 1346-5-0012)



13.10.4.2 Vulnerabilidad y contaminación

Los principales focos de contaminación de aguas subterráneas existentes son los derivados de los asentamientos urbanos y de las prácticas agrícolas.

Alcalá de los Gazules, único municipio de mayor entidad en el acuífero, vierte sus R.S.U. a la Planta de Compostaje de Cañada Ancha en La Barca de Vejer. Esos residuos son trasladados posteriormente al vertedero de Miramundo, gestionado por Biorreciclaje Cádiz, en Medina Sidonia. Los R.S.U. generados en la comarca de La Janda son de 40.000 t/a. Alcalá de los Gazules genera un total de 1.800 t/a de residuos sólidos urbanos y, respecto a las aguas residuales, posee su propia depuradora.

La contaminación de tipo agrícola es de grado bajo, con una localización difusa y aislada.

13.10.5 Explotación y balance

13.10.5.1 Entradas

Entre los fundamentos del balance realizado se destacan las siguientes entradas:

- Recarga de la lluvia: se ha establecido un coeficiente de lluvia eficaz que por término medio se cifra en el 20 % de la precipitación (150 mm/a), y es el resultado de la agregación ponderada entre los siguientes factores: permeabilidad de suelos y formaciones acuíferas, pendiente del terreno, usos del suelo y hechos singulares. La superficie susceptible de recarga por agua de lluvia se cifra en 111 km^2, lo que implica una recarga por infiltración de la lluvia de 16 hm^3/a.

- Retorno de los usos no consuntivos: se trata de un conjunto de partidas de difícil evaluación y justificación, pero que sin duda tienen una notable transcendencia. Se consideran básicamente los retornos de regadíos, ya que los de usos urbanos constituyen un volumen despreciable.

- Retorno de regadíos: de las 7.000 ha de la Zona de Riego de Barbate, sólo 3.800 ha se encuentran sobre materiales permeables del acuífero. La dotación media de 6.000 m^3/ha, supone un volumen de agua (superficial y subterránea) para riego de 23 hm^3/a. Se considera que un 20% de las dotaciones aplicadas retornan al sistema, suponiendo una aportación suplementaria de aproximadamente 4,5 hm^3/a. Las 3.200 ha sobre materiales de baja permeabilidad, suponen un volumen de agua de 19 hm^3/año, de las que al menos un 5 % retornarán al acuífero, aunque la superficie de riego no esté situada sobre los materiales permeables. Esa aportación suplementaria será aproximadamente de 1 hm^3/a.

13.10.5.2 Salidas

A partir de información sobre la superficie de riego se ha calculado que las extracciones para riego son del orden de 4 hm^3/a. Si se considera que el abastecimiento urbano requiere 1 hm^3/a, las extracciones totales por bombeo son de 5 hm^3/a.

El balance hídrico del acuífero se encuentra equilibrado, las entradas en el sistema se cifran en 21,5 hm^3/a y los bombeos realizados se estiman en 5 hm^3/a, en consecuencia el balance presenta un ligero saldo positivo de 16,5 hm^3/a. En buena lógica, estos excedentes deben constituir el drenaje natural hacia las marismas, arroyos y el río Barbate.

Con estas consideraciones, el balance hídrico del Aluvial del Barbate en el año 2002 queda de la siguiente manera:

Entradas	hm^3/a
Infiltración de agua de lluvia	16,0
Retorno de regadíos y urbano	5,5
Total	**21,5**
Salidas	hm^3/a
Extracciones para abastecimiento	1,0
Extracciones para regadíos	4,0
Drenaje natural arroyos, ríos y manantiales	16,5
Total	**21,5**



Riego por aspersión, en la zona central de la antigua laguna de La Janda (6)

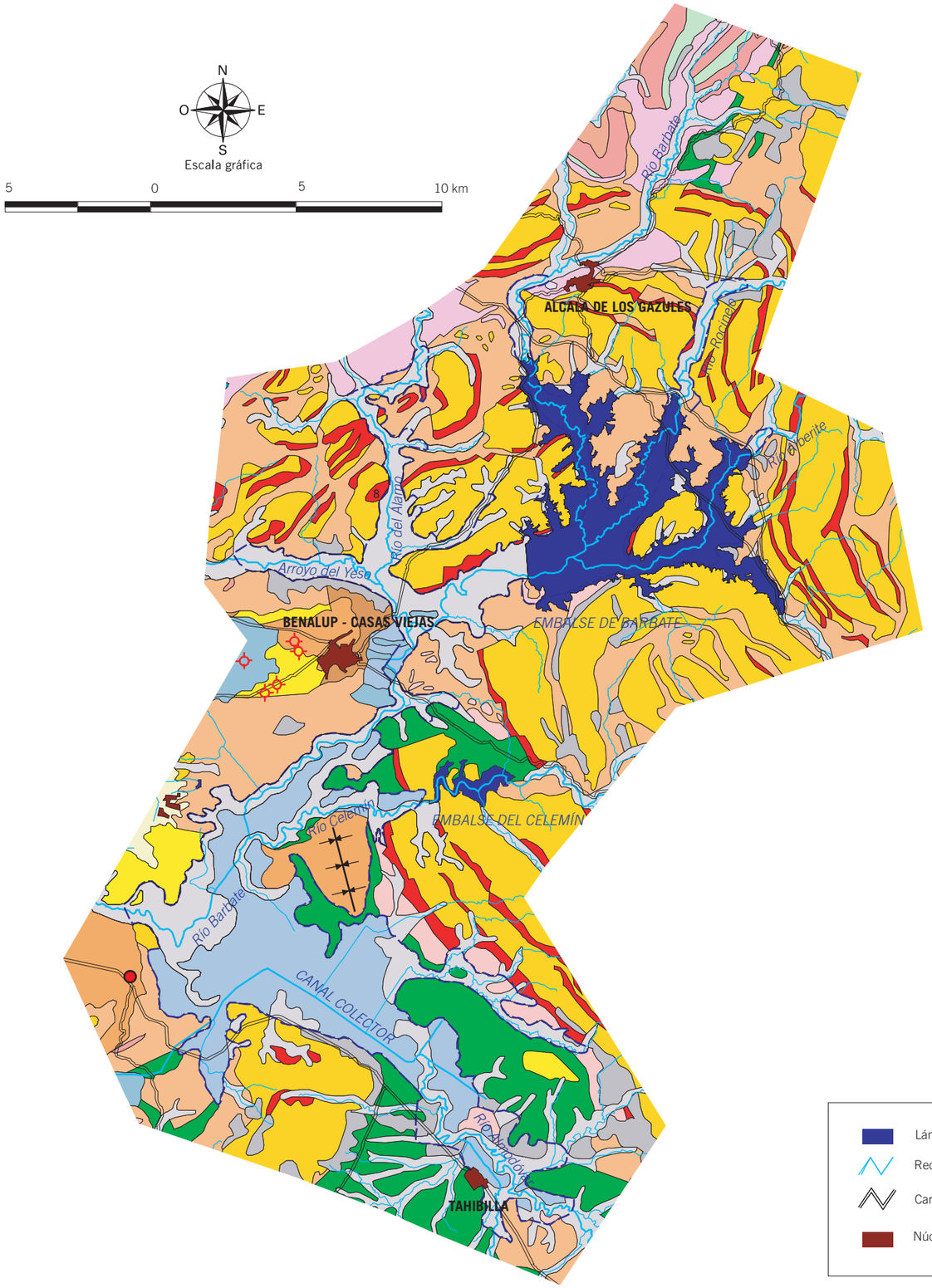
13.10.6 Problemática existente y pautas de gestión

El acuífero presenta un riesgo de contaminación de las aguas subterráneas previsiblemente alto. Los principales focos de contaminación de aguas subterráneas existentes son los derivados de los asentamientos urbanos y de las prácticas agrícolas.

Se trata en definitiva de un acuífero de gran entidad, pero de un interés hidrogeológico local dada la naturaleza principalmante arcillosa de los depósitos aluviales y la discontinuidad que presentan las areniscas del Aljibe, aunque no por ello debería dejar de protegerse frente a las distintas fuentes de contaminación ya enunciadas.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España
Diputación de Cádiz

Acuífero del Aluvial de Barbate



SITUACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA PROVINCIA



LEYENDA

LITOLOGÍA	EDAD GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD
TERRENOS POSTOROGÉNICOS		
Arenas, arcillas y cantos (depósitos de ladera)	Cuaternario	Baja
Limos arenosos con algún canto	Cuaternario	Baja
Arenas conglomerados y limos de marismas (depósitos litorales), arenas (depósitos eólicos)	Cuaternario	Baja
Limos y arcillas (depósitos lacustres)	Cuaternario	Baja
Arenas, biocalcarenitas y conglomerados	Plioceno	Media-alta
Biocalcarenitas	Mioceno superior (Messiniense)	Media-alta
Margas azules	Mioceno superior (Tortoniense)	Baja
COMPLEJO TECTOSEDIMENTARIO		
Arcillas versicolores	Mioceno inferior (Burdigaliense)	Baja
SERIE DEL ALJIBE		
Areniscas del Aljibe	Mioceno inferior (Aquitaniense)	Baja
Calizas y arcillas margosas	Oligoceno	Baja
Caliza arenosas y bioclásticas, con margas alternantes	Eoceno	Baja
Calizas margosas y arcillas	Cretácico superior	Baja
SUBBÉTICO MEDIO		
Arcillas y margas yesíferas	Triásico	Baja

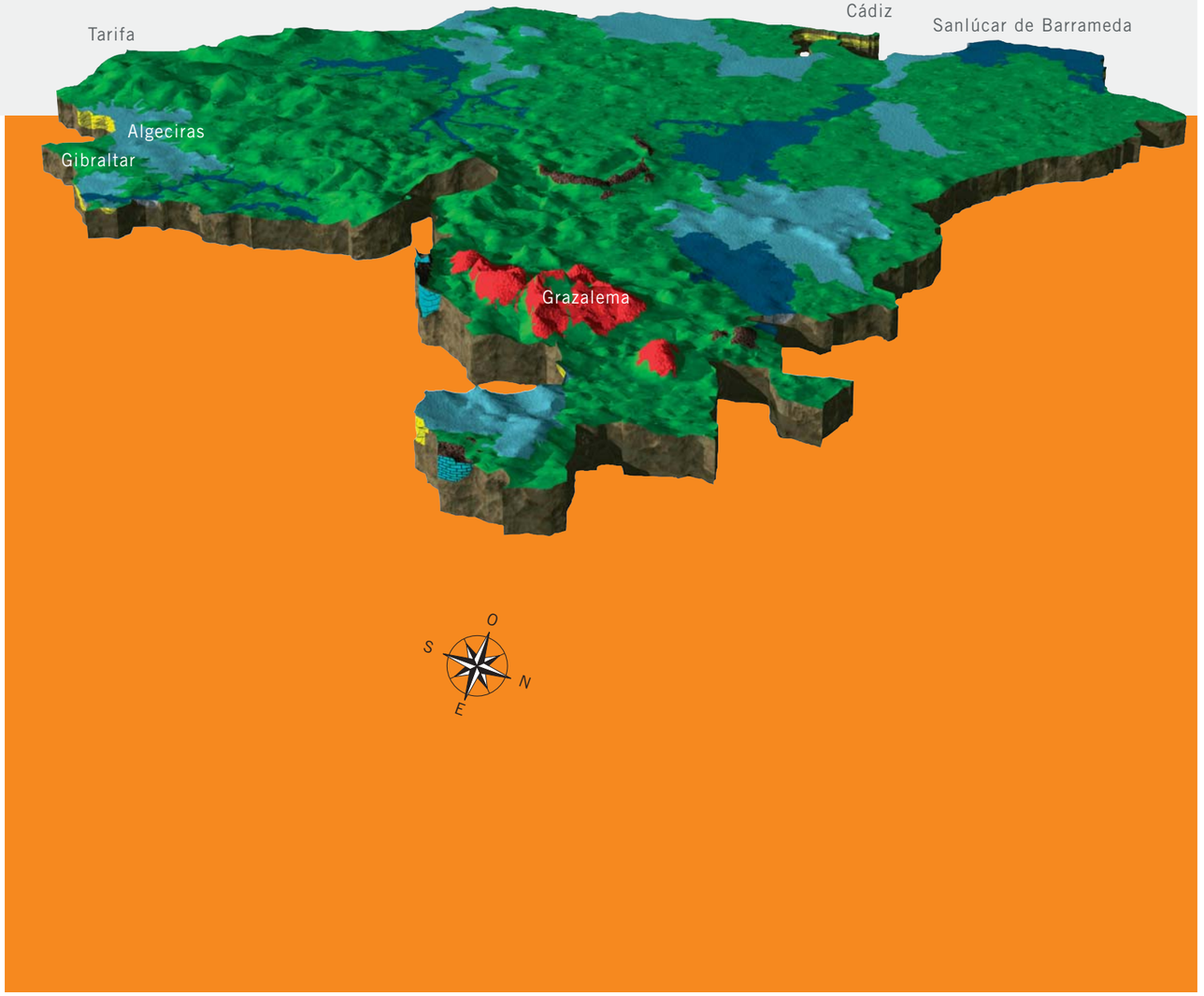
SIMBOLOGÍA

- Lámina de agua
- Red hidrográfica
- Carreteras
- Núcleos urbanos
- Límite superficial de acuífero
- Sondeo
- Pozo
- Sinclinal

Principales acuíferos

Sierras de Grazalema y Líjar

13.11



13.11.1 Situación y límites

Los acuíferos de la Sierra de Grazalema y Sierra de Líjar se sitúan prácticamente en su totalidad dentro de la provincia de Cádiz, en el sector noreste de la misma, limitan al sureste con la provincia de Málaga y constituyen el sector más occidental de la Serranía de Ronda.

La superficie de materiales permeables aflorantes para la Sierra de Grazalema es de 163 km^2 y de 15 km^2 en la Sierra de Líjar. Geológicamente, el conjunto limita al norte con los extensos afloramientos triásicos del Subbético, al oeste con la campiña de Jerez, al este con la Serranía de Ronda y al sur con la sierra del Aljibe.

La totalidad de la Serranía de Grazalema, exceptuando el relieve de la Silla, presenta extensas áreas situadas por encima de los 1.200 m s.n.m. con una cota media superior a los 1.000 m s.n.m. y un máximo de 1.654 m s.n.m en el alto del Pinar, seguido por el del Reloj con 1.539 m s.n.m. El relieve de la Silla tiene una altitud media de 600 m s.n.m y un máximo de 920 m s.n.m. Otros relieves destacados dentro del conjunto de la Sierra de Grazalema son los de las sierras de Zafalgar, Labradillo, Endrinal, Alta y Caíllo. La sierra de Líjar, presenta una cota media del orden de 700 m s.n.m. destacando el pico de Las Palomas con 1.027 m s.n.m.

Dentro del área se localiza el Parque Natural de la Sierra de Grazalema que, con una superficie de 500 km^2, constituye uno de los parajes naturales más singulares de toda Andalucía por su riqueza faunística, cuestión que le hace merecer la calificación de Reserva de la Biosfera y Parque Natural. La morfología de la zona destaca por la presencia de un desarrollado relieve kárstico, donde existen toda la variedad de formas exokársticas y endokársticas.



Panorámica del núcleo urbano de Grazalema (3)

Los términos municipales incluidos de forma parcial dentro de los límites de estos acuíferos y el número de habitantes de cada uno de éstos, referidos al padrón municipal de enero de 2003, es el siguiente: Olvera (8.584 hab), Algodonales (5.621 hab), El Bosque (1.997 hab), Zahara de la Sierra (1.506 hab), El Gastor (1.957 hab), Grazalema (2.200 hab), Benaocaz (672 hab), Villaluenga del Rosario (449 hab), Ubrique (17.478 hab), y Prado del Rey (5.873 hab).

La zona cartográficamente queda incluida dentro de las hojas escala 1:50.000 del Mapa Topográfico Nacional, de Ubrique, nº 1.050 (14-44), de Olvera nº 1.036 (14-43) y de Cortes de la Frontera nº1.064 (14-45).

Administrativamente, el acuífero de la Sierra de Grazalema está incluido en la unidad hidrogeológica 05.64 (Sierra de Grazalema), no ocurre lo mismo con la sierra de Líjar, que no está incluida en ninguna unidad hidrogeológica (MOPU-IGME,1988) de las definidas actualmente.

13.11.2 Climatología e hidrología

13.11.2.1 Climatología

La disposición de la sierra de Grazalema y su fuerte gradiente topográfico hace que este relieve conforme el primer gran obstáculo que encuentran los frentes atlánticos cuando la circulación atmosférica dominante es de componente oeste, cuestión que provoca abundantes precipitaciones.

En el área que se sitúan ambos acuíferos el clima es de tipo Mediterráneo templado-húmedo (IGME, 1992). Los datos climáticos de los que se dispone (DGOH, 1998) y que corresponden al periodo 1966/67-1995/96 varían entre los siguientes valores:

- Precipitación media anual: 1.260 - 1.730 mm
- Temperatura media anual: 16-17 ºC
- Evapotranspiración potencial: 1.120 mm
- Evapotranspiración real: 650 mm

13.11.2.2 Hidrología

Buena parte de la Serranía de Grazalema pertenece a la cuenca del Guadalete, existiendo un pequeño sector que vierte a la cuenca endorreica del Gaduares, tributario atípico del Guadiaro, que a su vez pertenece a la Cuenca Sur.

El río Guadalete nace en el Puerto de Boyar y discurre por la margen septentrional de la Sierra de Grazalema donde también se localizan varios afluentes de éste como los de Bocaleones y Chorreadero. Sobre el propio Guadalete junto a la localidad de Zahara de la Sierra se sitúa el embalse de Zahara-El Gastor con 223 hm^3 de capacidad. La margen occidental de este relieve es drenada por varios afluentes del Guadalete, entre los que destacan los ríos Bosque, Tavizna, y Ubrique que confluyen en el embalse de Los Hurones, dando lugar aguas abajo al río Majaceite. La capacidad de regulación del mencionado embalse es de 135 hm^3 (IGME, 2002).

Los recursos generados en la vertiente nordeste de las sierras de Zafalgar y Labradillo, discurren a través del arroyo Chorreadero y otros, hasta el embalse de Bornos (204 hm^3 de capacidad), situado en el Guadalete, aguas abajo y alejado al oeste de la Sierra de Grazalema; una parte de los recursos de la margen sudeste de esta sierra se drena hacia las cuencas endorreicas del río Gaduares.





Foto superior: Sierra del Caillo, antiforma constituido por calizas jurásicas (3)
Foto inferior: Manantial El Hondón, en Benaocaz (1)

13.11.3 Hidrogeología

13.11.3.1 Contexto geológico

La sierras de Grazalema y Líjar se localizan en el extremo occidental de la Cordillera Bética, situándose en áreas correspondientes a las Zonas Subbética y Circumbética.

La organización de la Cordillera Bética en mantos de corrimiento y escamas, junto a la diversidad de dominios paleogeográficos, hace imposible definir una única columna estratigráfica tipo. En consecuencia, para abordar la estratigrafía de las sierras estudiadas se ha de recurrir a describir la de cada uno de los dominios presentes.

En la zona subbética se distinguen Subbético indiferenciado, medio e interno (IGME, 1984). En el Subbético indiferenciado se incluyen los materiales del Triás gemano-andaluza que afloran en el sector septentrional y occidental de la serranía de Grazalema y alrededor de la Sierra de Líjar, formado fundamentalmente por arcillas y yesos, además de calizas negras, carniolas y areniscas. El Subbético medio situado en el sector septentrional incluye las sierras de Albarracín, Zafalgar, Labradillo y Margarita. Presenta una serie que parte desde el Triásico, siguiéndole en la vertical espesores superiores a 700 m de carbonatos jurásicos, de los que unos 500 m están constituidos fundamentalmente por calizas y dolomías. El resto es de naturaleza margosa, con importantes intercalaciones de calizas a techo. El Cretácico, más homogéneo, presenta entre 400 y 500 m de calizas margosas y margozalizas, seguidas a techo de 150 a 200 m de una alternancia de arcillas y margas con algunas pasadas calizas. El Subbético interno, aflora al sur del corredor de Boyar, con una secuencia que parte en arcillas y margas del Trías, a las que se superponen 550 m de calizas parcialmente dolomitizadas. El Cretácico dispone de unos 360 m de margas y margozalizas que a techo presentan coloraciones asalmonadas “capas rojas”, mientras que el Eoceno está constituido por un flysch formado por areniscas y calizas.

El sector circumbético, que comprende los dominios situados originariamente entre el Subbético interno y las Zonas Internas de las Béticas, se presenta en la zona mediante el Complejo Predorsaliano, que aflora en las sierras de la Silla, Pinar, Monte Prieto y Corredor Boyar. La serie comienza con el sustrato triásico, al que siguen 500 m de dolomías superpuestas por 250 m de calizas y 275 m de calizas y margas. El Cretácico, con unos 600 m de espesor es de carácter flyschoide, mientras que el Terciario sólo se localiza en las escamas del Corredor de Boyar con series muy tectonizadas y de menos de 50 m de potencia, formadas por calizas, conglomerados y margas.

Como formaciones postorogénicas, se destaca el Cuaternario, donde se incluyen las terrazas de los cauces principales, de escasa entidad y algunos afloramientos travertínicos en laderas occidentales de las sierras de Margarita, Albarracín y Silla, así como en la septentrional de Monte Prieto.

Desde el punto de vista estructural se trata de una masa alóctona, plegada en antiformas y sinformas generalmente vergentes al sur y con una elongación predominante NE-SO, con presencia de pliegues y fracturas de importante desarrollo longitudinal. Dichas antiformas están ocupadas por materiales carbonatados jurásicos y se corresponden con las sierras que constituyen el acuífero. Por el contrario, las sinformas se sitúan en las zonas mas deprimidas (zonas de valle) y están ocupadas por materiales impermeables triásicos o series flyschoides cretácicas y miocenas del Campo de Gibraltar. El Trías en facies germano-andaluza aparece claramente superpuesto por cabalgamiento sobre las series del Subbético, alrededor de la Sierra de Líjar, en el borde norte y oeste de la Sierra de Zafalgar y Albarracín, y al oeste de la Sierra del Pinar y de la Silla (IGME, 2002).

13.11.3.2 Características hidrogeológicas

13.11.3.2.1 Descripción general

Los materiales acuíferos de la Sierra de Grazalema y Sierra de Líjar están representados por formaciones carbonatadas, fundamentalmente de edades jurásicas, de los dominios Subbético y Circumbético y constituyen acuíferos permeables por fisuración y karstificación. El sustrato impermeable lo forman materiales del Trías. Los límites laterales impermeables de las diferentes subunidades los definen las formaciones margoarcillosas de muro, y de techo, materiales estos últimos del Subbético que abarcan desde el Cretácico inferior al Terciario y/o materiales tipo flysch de diferentes unidades del Campo de Gibraltar (IGME, 1992). La superficie total de los afloramientos de los acuíferos carbonatados en la Sierra de Grazalema es de 163 km^2 (IGME, 1984), y de 15 km^2 para la Sierra de Líjar (Euroestudios, 1981).

Según la procedencia paleogeográfica de los materiales, la complejidad estructural de la zona, y la presencia o no, entre los materiales carbonatados, del sustrato triásico impermeable y/o el flysch arcilloso del Campo de Gibraltar, se han diferenciado dentro de la Sierra de Grazalema las siguientes subunidades (IGME,1984): Zafalgar - Labradillo, Pinar - Monte Prieto, El Bosque, Endrinal, Hondón y Ubrique. Algunas de estas subunidades están alimentadas por pequeñas cuencas endorreicas, que bien se localizan sobre afloramientos permeables de la propia subunidad, o en cuencas anexas vertientes a éstos, generalmente constituidas por materiales de muy baja permeabilidad (IGME, 1992).





Foto superior: Sierra de Líjar. A su pie, la población de Algodonales (6)
Foto inferior: Depresión kárstica en la Sierra del Endrinal (3)

Además existen una serie de afloramientos carbonatados aislados, pertenecientes a diferentes dominios del Subbético, así como las areniscas del Aljibe y otras formaciones que, aunque son de reducido potencial hidrogeológico, localmente son susceptibles de aprovechamiento. Así ocurre en Grazalema donde se explotan los recursos de las escamas del Corredor de Boyar, y en Benaocaz y Villaluenga del Rosario que se abastecen de captaciones realizadas en la formación Areniscas del Aljibe (IGME,1992).

Sierra de Líjar

Situada al norte de la Sierra de Grazalema, consiste en un anticlinal volcado con vergencia NO, cuyo núcleo está dominado por materiales dolomíticos del Lías inferior. Toda la estructura se dispone mecánicamente sobre materiales triásicos brechoides, que constituyen la base impermeable de la subunidad y delimitan su perímetro cerrado al flujo subterráneo. Por el noroeste, la serie jurásica se encuentra montada sobre la cobertera cretácica margosa en el flanco invertido de la estructura, por lo que éstas margas cretácicas delimitan el límite impermeable por este sector. Se pueden diferenciar dos compartimentos, el de Algodonales y el de Líjar, con superficies de recarga equivalentes, separadas entre sí por el levantamiento del impermeable de base en el núcleo anticlinal del domo de Líjar (IGME-CHG, 2002).

Sierra de Grazalema

SUBUNIDAD DE ZAFALGAR - LABRADILLO

Es la más septentrional de las subunidades que constituyen el acuífero de la Sierra de Grazalema. Dispone de 46 km^2 de afloramientos permeables del Jurásico basal del Subbético interno, que en la vertical dispone de unos 500 a 600 m de espesor. Su estructura general es la de un gran anticlinal bastante laxo. Los materiales suprayacentes, del Cretácico Inferior y de carácter impermeable, delimitan lateralmente la unidad por los bordes occidental, septentrional y nororiental. El límite sur y sudeste, de naturaleza tectónica, está formado por una estrecha franja de margas y arcillas triásicas que sirve a su vez de separación con la subunidad de la Sierra del Pinar-Monte Prieto, situada inmediatamente al sur (IGME, 1984).

SUBUNIDAD DE PINAR-MONTE PRIETO

Se sitúa al sur de la anterior, presenta unos 37 km^2 de afloramientos permeables carbonatados del Jurásico y pertenecientes al Complejo Predorsaliano, está limitada al sur por el Corredor de Boyar. En la vertical se diferencian dos tramos permeables, el Jurásico basal con unos 800 m de carbonatos de alta permeabilidad y el superior, con 100 m de los mismos materiales, pero con menor permeabilidad y separados ambos por un potente acuitardo. En la estructura de la subunidad destaca el anticlinal de la Sierra de Pinar y las numerosas fallas inversas de flanco sur, así como la superposición tectónica de la subunidad de Zafalgar- Labradillo con la cual no parece existir conexión hidráulica por la inyección de materiales triásicos entre ambas. El límite sur, cerrado al flujo, lo forman los materiales flyschoides cretácicos del Corredor de Boyar. Hacia el oeste desaparecen estos materiales y la subunidad entra en contacto casi directo con la Subunidad del Bosque, en su único límite abierto.

SUBUNIDAD EL BOSQUE

Se localiza al sureste de la subunidad de Zafalgar-Labradillo, con una extensión de 16 km^2, y queda incluida también en los dominios del Subbético medio, al igual que ésta, con una serie estratigráfica similar, aunque de menor potencia. Presenta una complejidad tectónica muy acusada. El límite es cerrado en todo su perímetro salvo en la margen noreste, donde cabalga sobre Pinar - Monte Prieto.

SUBUNIDAD DE SILLA

Este relieve es el más sudoccidental de la Sierra de Grazalema y tiene una extensión aproximada de 8 km^2 de afloramientos permeables. Los materiales carbonatados que la forman pertenecen al Complejo Predorsaliano. La secuencia estratigráfica es similar a la de la subunidad de Pinar-Monte Prieto, aunque de menor espesor en el tramo del Jurásico basal. Su estructura responde a un sinclinal en cuyos extremos meridional y septentrional la serie aparece volcada hacia el interior de la estructura en forma de hongo invertido. El sustrato impermeable lo forman materiales triásicos, que bordean asimismo la subunidad en superficie, aislándola hidráulicamente del resto (IGME, 1992).

SUBUNIDAD DEL ENDRINAL

Se sitúan en el sector más oriental de la Sierra de Grazalema, dispone de 15 km^2 de afloramientos carbonatados jurásicos muy karstificados, pertenecientes al Subbético interno, con estructura en anticlinal laxo. Los materiales acuíferos están constituidos por un conjunto calco-dolomítico, de elevada permeabilidad, con espesores de 500 a 600 m, limitados a muro por el Triásico impermeable y a techo por las capas rojas del Cretácico. Esta subunidad se encuentra compartimentada en su mitad sur causa del levantamiento del impermeable de base en el núcleo del anticlinal. Los límites abiertos son por el SO con la subunidad del Hondón, que es cabalgada, lo que hace probable la conexión bajo el corredor del río Gaduares con el acuífero de la Sierra de Líbar (IGME, 1984; DGOH,1998) . El resto de límites son cerrados al flujo subterráneo.

Esquema de subunidades hidrogeológicas de las Sierras de Grazalema y Líjar

SUBUNIDAD DEL HONDÓN

Ubicada al oeste de la subunidad anterior y en contacto mecánico con la misma. Presenta 17 km^2 de afloramientos permeables muy karstificados, que se disponen en una estructura tabular, bastante uniforme, pero trastocada por la existencia de varias fallas que la compartimentan en tres grandes bloques. La serie, también del Subbético interno, es muy parecida a la de la subunidad anterior, presentando el acuífero 500 m de espesor. Esta subunidad es cabalgada por las de Endrinal y Ubrique, con las que está en conexión hidráulica con ambas. El resto de límites es de flujo nulo.

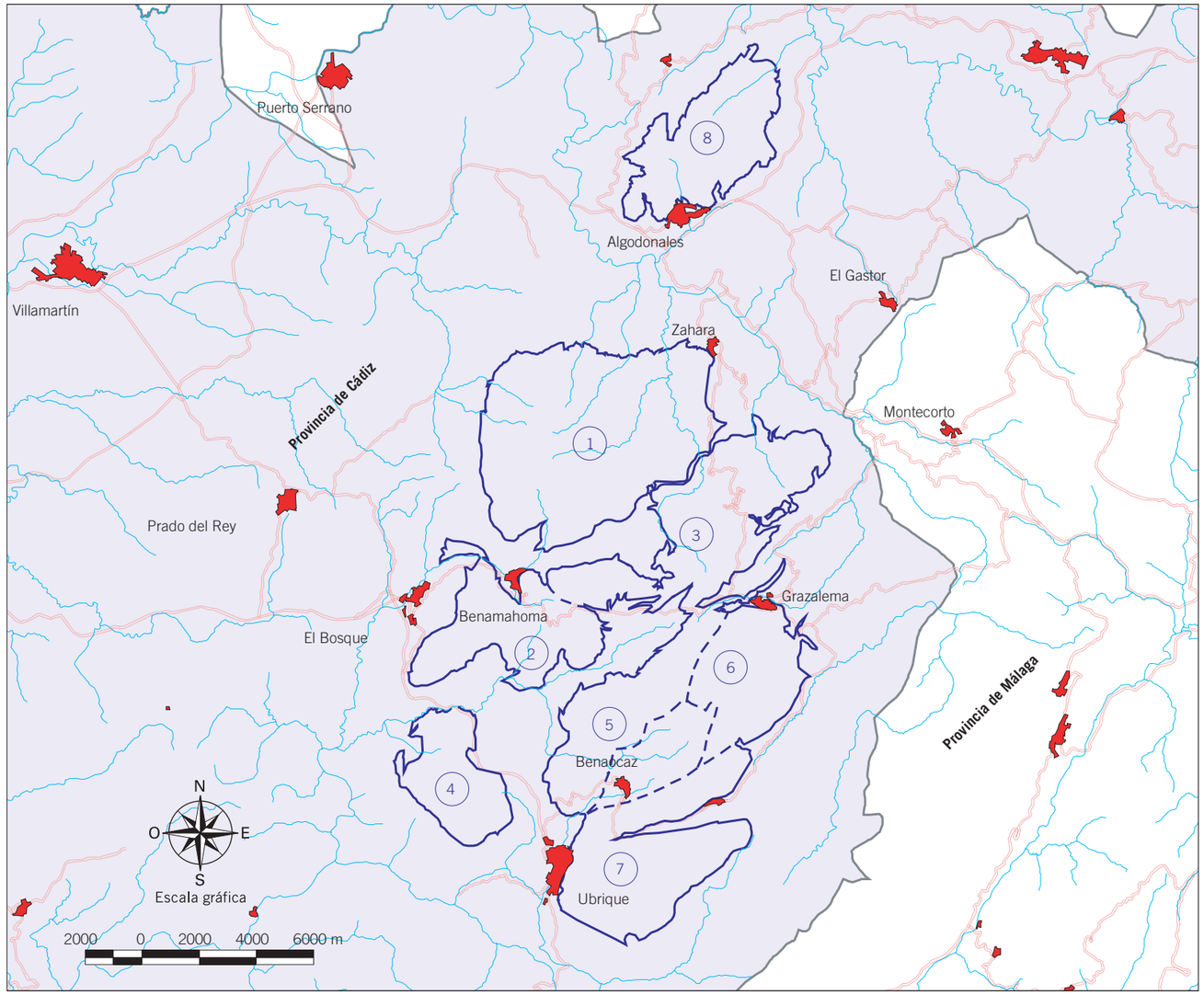
SUBUNIDAD DE UBRIQUE

Es la más meridional de las subunidades de la Sierra de Grazalema, con 24 km^2 de afloramientos jurásicos permeables muy fracturados y pertenecientes al Subbético interno. Esta serie es similar a la del Subbético interno ya descrita, aunque aquí el único nivel acuífero, con 500 m de espesor, incluye la base del Cretácico. Su estructura es la de un anticlinal, con un eje de dirección N70E afectado en sus bordes por fallas normales. Presenta un alto grado de karstificación, que se manifiesta en superficie por el polje de la Manga de Villaluenga, con una cuenca endorreica con 7 km^2 de superficie, localizándose también algunas dolinas y campos de lenar muy bien desarrollados. Se diferencian tres bloques: el situado al norte con 2 km^2 de superficie y formado por el flanco norte de un anticlinal, el central con 9 km^2 y el sur con 13 km^2. Al norte, cabalga a la subunidad de El Hondón, con la que está en continuidad hidráulica. El resto de límites también son de carácter tectónico, pero cerrados al flujo subterráneo, al enfrentarse los materiales permeables con las arcillas del Trías Keuper.

13.11.3.2.2 Parámetros hidrogeológicos

Se disponen de pocos datos, al ser muy escasa la presencia de sondeos. En la calibración del modelo matemático de flujo de la Sierra de Grazalema realizado por el IGME en 1984, se ajustaron transmisividades que van desde los 1x10^{-3} a 6x10^{-3} m^2/s y una porosidad eficaz del 1%, si bien el ajuste de las curvas de agotamiento de los manantiales indicaba que esta variable presentaba una media de 0,3% (IGME,1984).

Como datos puntuales pueden destacarse, el obtenido en el ensayo de bombeo realizado en la subunidad de Ubrique correspondiente al sondeo nº 1444-5-0001, del que se deduce una transmisividad de 2x10^{-3} m^2/s (IGME,1984); el sondeo de abastecimiento a Grazalema en las calizas del corredor de Boyar presenta una transmisividad de 6x10^{-4} m^2/s (IGME, 1982) y para los sondeos Bocaleones se han determinado caudales específicos comprendidos entre 21 y 2,5 L/s/m.

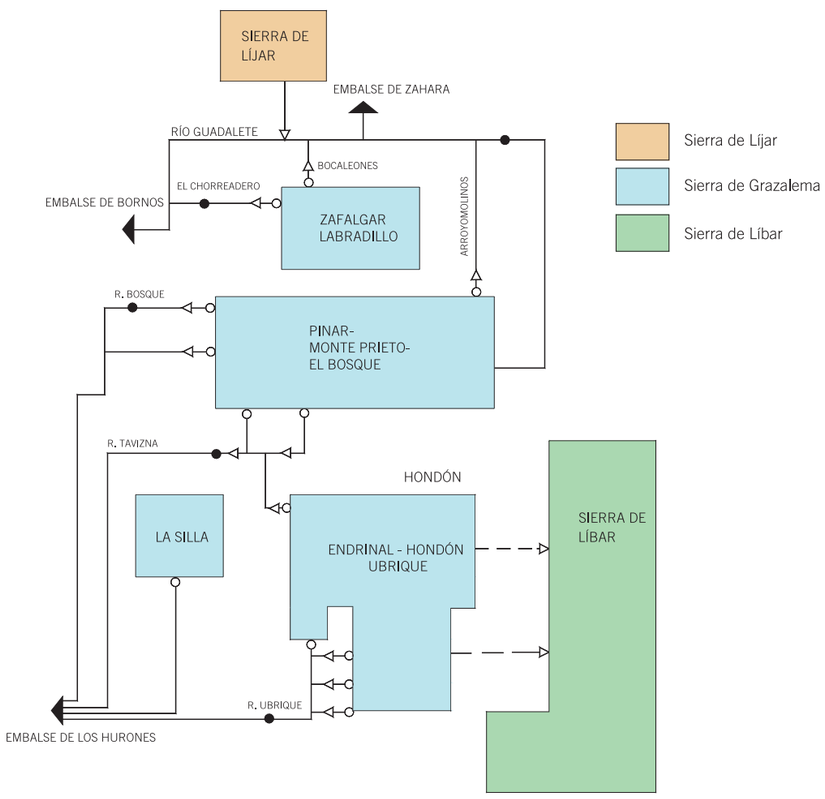


1 Unidad de Zafalgar-Labradillo
2 Unidad de El Bosque
3 Unidad de Sierra del Pinar-Monteprieto
4 Unidad de Silla
5 Unidad del Hondón
6 Unidad de El Endrinal
7 Unidad de Ubrique
8 Unidad de Sierra de Lijar



Sima de Villaluenga (6)

Esquema de funcionamiento hidráulico del sistema



13.11.3.2.3 Funcionamiento hidrodinámico. Piezometría

Existen varios registros, medidos en la Sierra de Líjar para el periodo 1982 a 1986. La recarga del sistema se produce principalmente por infiltración del agua de lluvia, bien caída directamente sobre los materiales permeables, bien por percolación de las aguas de escorrentía generadas sobre los materiales impermeables colindantes, que generalmente constituyen cuencas endorreicas que alimentan a los acuíferos a través de simas y sumideros. Son de resaltar las zonas endorreicas de las subunidades del Endrinal, Hondón y de Ubrique, ésta última conectada con la Sima de Villaluenga, hecho que pudo comprobarse mediante la realización de ensayos de trazadores (IGME, 1984). La practica totalidad de las salidas se producen por drenaje natural a través de los numerosos manantiales y ríos ganadores asociados a los materiales carbonatados.

Sierra de Líjar

Esta subunidad se recarga mediante infiltración directa del agua de lluvia, dirigiéndose los recursos de la mitad NO, que corresponde con la Sierra de Algodonales, hacia el extremo SO, en concreto hacia la Fuente Baja de Algodonales (1443-6-0011), coincidente con la cota más baja del acuífero, alrededor de 380 m s.n.m., registrándose caudales en estiaje de 40 a 50 L/s (Euroestudios, 1981). La mitad SE del acuífero, sector de Líjar, se drena principalmente hacia el extremo NE donde a una cota media de 400 m s.n.m. se sitúan los manantiales de La Ermita (1443-2-0003) y Ramos (1443-2-0002). Parte de los recursos del sector de Líjar también drenan en la margen sur a través de Fuente Alta (1443-6-0010) a unos 410 m s.n.m. En esta subunidad existen tres sondeos que se destinan al abastecimiento de los núcleos urbanos de Coripe y Olvera.

Sierra de Grazalema

El acuífero de la Sierra de Grazalema, presenta varios compartimentos independientes, que están constituidos por los conjuntos de: Zafalgar-Labradillo; La Silla; Pinar-Mote Prieto-El Bosque y El Endrinal-Hondón-Ubrique (DGOH, 1998).

SUBUNIDAD DE ZAFALGAR - LABRADILLO

Se recarga por infiltración directa del agua de lluvia dirigiéndose su drenaje hacia el borde septentrional, fundamentalmente a través de los manantiales de Bocaleones (1444-2-0011 y 1444-2-0012), situados a cotas de 400 m s.n.m. y con caudales muy fluctuantes, con una media superior a 300 L/s. Hacia la margen occidental, también existe una componente de flujo que se manifiesta en la presencia de los manantiales de Veguino o Moro (1444-1-0004) y de Las Cuevas (1444-1-0005), situados entre 660 y 630 m s.n.m. y con caudales medios de 15 y 5 L/s respectivamente, que son avenados aguas abajo por el arroyo del Chorreadero (IGME, 1984).

CONJUNTO PINAR - MONTE PRIETO Y EL BOSQUE

Estas subunidades del acuífero de la Sierra de Grazalema están conectadas entre sí formando un único compartimiento independiente del resto (DGOH, 1998). El sector de Pinar-Monte Prieto presenta sus principales salidas por los extremos oriental y occidental. El primero es drenado fundamentalmente por el manantial de Arroyomolinos (1444-2-0009), situado a una cota de 430 m s.n.m. y con un caudal medio de 150 L/s. El sector occidental hace lo propio por el manantial de Los Cachones (1444-1-0003) situado a 527 m s.n.m. y que presenta caudales medios de 200 L/s, si bien existen numerosos manantiales en todo el perímetro y en la parte central, muchos de ellos surgentes a cotas elevadas al corresponder a manantiales colgados (DGOH, 1998).

La subunidad del Bosque se encuentra compartimentada en dos bloques: Sierra de Albarracín y Cerro de las Cuevas. El primero y más occidental, presenta un flujo divergente radial hacia sus márgenes norte, oeste y sur, recursos que son recogidos por el arroyo de Escaña y hacia el río Tavizna, destacan las surgencias de El Quejigo (1444-5-0005) y Vihuelo (1444-5-0007), con caudales medios de 25 L/s, situadas a cotas de 280-330 m s.n.m., la primera regulada por el sondeo 1444-5-0008 para abastecimiento a El Bosque. El segundo bloque consistiría en una prolongación de la subunidad de Pinar - Monte Prieto de la que recibe buena parte de los recursos que drena por manantiales como los del Gorito (1444-5-0009) con caudales medios superiores a los 50 L/s y situado a 565 m s.n.m. En la margen nororiental de la Sierra de Albarracín y relacionado con la subunidad de Pinar - Monte Prieto se sitúa el manantial de Benamahona (1444-1-0002) con 350 L/s de caudal medio y situado a 450 m s.n.m.

SUBUNIDAD DE LA SILLA

Pese a presentar en todo su perímetro distintas surgencias, sus principales salidas se localizan en su borde más occidental, a una cota próxima a los 290 m s.n.m, a través de los manantiales de La Esparragosilla (1444-5-0011) y Fuentefría (1444-5-0012), con un caudal conjunto del orden de 45 L/s.

Conjunto del Endrinal-Hondon-Ubrique

El conjunto formado por las tres subunidades más meridionales de la Sierra de Grazalema, presenta una serie de características singulares derivadas de las relaciones establecidas entre ellas y el acuífero de la Sierra de Líbar.

La subunidad de Endrinal carece de puntos significativos de drenaje. Su conexión con la Sierra del Hondón está disminuida por compartimentación interna, transfiriendo buena parte de sus recursos hacia la Sierra de Líbar (DGOH,1998). La subunidad de Ubrique, además de recargarse con la infiltración directa del agua de lluvia, recibe la escorrentía superficial generada en las distintas cuencas endorreicas que la alimentan por simas como las de Villaluenga. Además, esta subunidad cabalga a la del Hondón, de la que recibe buena parte de sus recursos, drenados por los manantiales de Benafeliz (1444-5-0003), Cornicabra (1444-5-0004), El Garciago (1445-1-0004) y Algarrobal (1444-5-0001), regulado este último por el sondeo Algarrobal o Saltadero (1444-5-0029) que abastece a Ubrique, situados entre 410 y 350 m s.n.m. y con caudales medios el primero de 200 L/s y los otros algo inferiores a 100 L/s. En este sector se ubican los sondeos 1444-5-0026 y 1444-5-0027 (sondeos Rano 1 y 2) de abastecimiento a Ubrique.

Destacar como manantial de interés el del Hondón 1444-5-0002 en la subunidad del mismo nombre, con caudales medios superiores a los 100 L/s y 430 m s.n.m. de cota.

13.11.4 Hidroquímica

13.11.4.1 Calidad química y composición natural

Las aguas subterráneas de los distintos acuíferos de la Sierra de Grazalema son fundamentalmente bicarbonatadas cálcicas de baja mineralización, con conductividades eléctricas medias próximas a los 500 µS/cm, si bien existen puntos donde las aguas son de tipo bicarbonatadas-sulfatadas cálcicas y sulfatadas cálcicas. Las sulfatadas cálcicas, con mineralizaciones más altas y que llegan a alcanzar conductividades de hasta 3.000 µS/cm, son las segundas más frecuentes; se presentan en el contacto entre las formaciones carbonatadas y el sustrato arcilloso del Trías donde abundan los yesos, y son frecuentes en la margen suroriental de Pinar - Monte Prieto especialmente en la subunidad de la Silla. Son bicarbonatadas - sulfatadas cálcicas las aguas de los sondeos Bocaleones I y II, debido a que éstos atraviesan el acuitardo margoso del Jurásico superior.

En la Sierra de Líjar, el sector de Algodonales presenta aguas sulfatadas cálcico-magnésicas con conductividades eléctricas que varían entre 1.100 y 750 µS/cm, mientras que las del sector de Líjar son de tipo bicarbonatado cálcico y con menores salinidades (500-700 µS/cm).

En general las aguas son aptas para cualquier tipo de uso si bien en algunos puntos se superan, de forma natural, las máximas concentraciones recomendadas de sulfatos para uso urbano.

13.11.4.2 Contaminación y vulnerabilidad

Los acuíferos de las sierras de Grazalema y de Líjar son extremadamente vulnerables a la contaminación dado al carácter libre de buena parte de los mismos, y al alto grado de desarrollo de la karstificación; siendo habitual la presencia de cuencas endorreicas relacionadas con los sistemas kársticos.

Destacar como zona de mayor riesgo el eje Ubrique - Villaluenga del Rosario, ya que en este sector se sitúan distintas fuentes potencialmente contaminantes sobre materiales permeables o bien sobre terrenos impermeables que drenan hacia los anteriores. En esta zona se localizan los vertidos de aguas residuales urbanas de Villaluega del Rosario y Benaocaz, el complejo turístico de Las Chozas, el antiguo vertedero de Benaocaz y el vertedero de chatarra de Ubrique (DGOH, 1998).

En la actualidad todos los municipios del entorno tienen resuelta la gestión de residuos líquidos urbanos mediante estaciones de depuración de aguas residuales. En cuanto a la gestión de los residuos sólidos urbanos, los municipios localizados en el sur de la Sierra: El Bosque, Grazalema, Villaluenga del Rosario, Benaocaz y Ubrique eliminan sus residuos en la incineradora de Ubrique, perteneciente al Consorcio de La Bahía de Cádiz, mientras que los municipios más septentrionales se encuentran mancomunados para la utilización del vertedero controlado de Olvera, entre los que se encuentran, Zahara de la Sierra, El Gastor y Algodonales (IGME, 2002).

Las prácticas agrícolas son marginales y presentan una baja incidencia sobre la contaminación de los acuíferos, al situarse los cultivos en el perímetro externo a los relieves carbonatados, tan solo algunos campos de olivos se superponen tímidamente sobre los materiales permeables.

El escaso desarrollo del sector industrial junto con el emplazamiento de esta actividad en terrenos impermeables hace que la contaminación derivada de esta actividad sea prácticamente nula, destacando tan sólo la industria alimentaría y algunos pequeños talleres metalúrgicos ubicados en Ubrique.





Foto superior: Manantial El Beguino, utilizado para abastecimiento a Prado del Rey (1)
Foto inferior: Noria antigua en el Bosque (2)



Manantial de La Mina (Villaluenga) (1)

13.11.5 Explotación y balance

13.11.5.1 Entradas

La última evaluación de los recursos hídricos de los distintos acuíferos que integran la Sierra de Grazalema fue realizada en 1998 (DGOH, 1988). Se basó en la determinación de las salidas del sistema y en el análisis de la variación de reservas, para de esta forma poder evaluar la recarga. Cuando las salidas no correspondían con la recarga supuesta, se procedió a la determinación de ésta mediante balances hidrometeorológicos de agua en el suelo.

La recarga natural de este sistema se produce por infiltración directa del agua de lluvia que alcanza tanto a los materiales permeables como a las cuencas endorreicas ligadas a éstos. Precisamente el conjunto Endrinal-Hondón-Ubrique, donde existe mayor desarrollo de formas kársticas y de cuencas endorreicas, es el que presenta unas salidas por debajo de las esperadas, aspecto que explica la necesaria transferencia de recursos hacia el acuífero de la Sierra de Líbar lo que permite ajustar el balance de este último. En el caso de la Sierra de Líjar, las entradas se calcularon utilizando el método de Kessler (Euroestudios, 1981).

13.11.5.2 Salidas

La determinación de las salidas de las distintas subunidades que integran el acuífero de la Sierra de Grazalema ha sido fundamental para la realización del balance hídrico. Las medidas directas empleadas para la obtención de los hidrogramas corresponden a las realizadas en el periodo 1996-1997 (DGOH, 1998) más las que determinó en 1984 el IGME, año en el que se registró una precipitación muy próxima a la media.

En la tabla se incluye el balance hídrico resultante para el año medio del periodo 1967-1996 en la Sierra de Grazalema (DGOH, 1998), así como el balance de la Sierra de Líjar (IGME, 2002). Las salidas por bombeo que se incluyen han sido actualizadas por el IGME al año 2002 y se destinan a abastecimiento de la población. No se conocen sondeos en explotación para uso agrícola (CAP, 2002).

Entradas	hm³/a
Infiltración del agua de lluvia	
Sierra de Líjar	7,2
Sierra de Grazalema	
Zafalgar - Labradillo	12,7
Pinar- Monte Prieto-El Bosque	18,7
Silla	1,7
Endrinal-Hondón- Ubrique	30,0
Total	**70,3**
Salidas	hm³/a
Salidas naturales (manantiales y ríos)	
Sierra de Líjar	6,4
Sierra de Grazalema	
Zafalgar - Labradillo	12,7
Pinar- Monte Prieto- El Bosque	18,5
Silla	1,7
Endrinal-Hondón- Ubrique	12,4
Bombeos (captaciones)	
Sierra de Líjar *	0,8
Sierra de Grazalema	
Pinar- Monte Prieto- El Bosque	0,2
Endrinal-Hondón- Ubrique	1,0
Trasferencias laterales	
Endrinal-Hondón- Ubrique	16,6
Total	**70,3**

** Se contempla la entrada en funcionamiento del sondeo de abastecimiento a Olvera.*

13.11.6 Problemática existente y pautas de gestión

Los caudales que drenan estos acuíferos constituyen gran parte de las aportaciones del río Guadalete y parte de las del Guadiaro, regulados ambos aguas abajo por una serie de embalses de superficie, de los que depende el suministro de agua para uso urbano, agrícola e industrial de toda la fachada atlántica de la provincia de Cádiz. Su valor ambiental es importante, dado que estos acuíferos se extienden por el Parque Natural de la Sierra de Grazalema.

Mediante el aprovechamiento directo del agua subterránea en el propio ámbito del la Serranía se puede garantizar la demanda de agua para el abastecimiento de las localidades del entorno, que ha sido determinada en 2,3 hm³/a, no obstante, existen problemas de abastecimiento en Villaluenga del Rosario y Benaocaz, debidos fundamentalmente a problemas infraestructurales y no a la falta de recursos disponibles. De otra parte el aprovechamiento indirecto mediante los embalses de regulación existentes (Zahara, Bornos, Los Hurones y Guadalcacin) ha alcanzado prácticamente el máximo grado de eficacia.

Existen una serie de poblaciones situadas al norte de la serranía de Grazalema en las que se dan problemas de suministro y en las que sería factible una solución mediante la explotación directa de la subunidad de Zafalgar - Labradillo. Además de cubrir esta demanda, cabe la posibilidad de explotar esta subunidad en situaciones de emergencia mediante sondeos penetrantes que capten los recursos por debajo de la cota de drenaje de las principales surgencias, impidiendo de este modo que se produzca la salinización de los recursos no regulados en el propio acuífero, al escurrir superficialmente éstos sobre los materiales salinos del Triásico, antes de su llegada al embalse de Bornos.

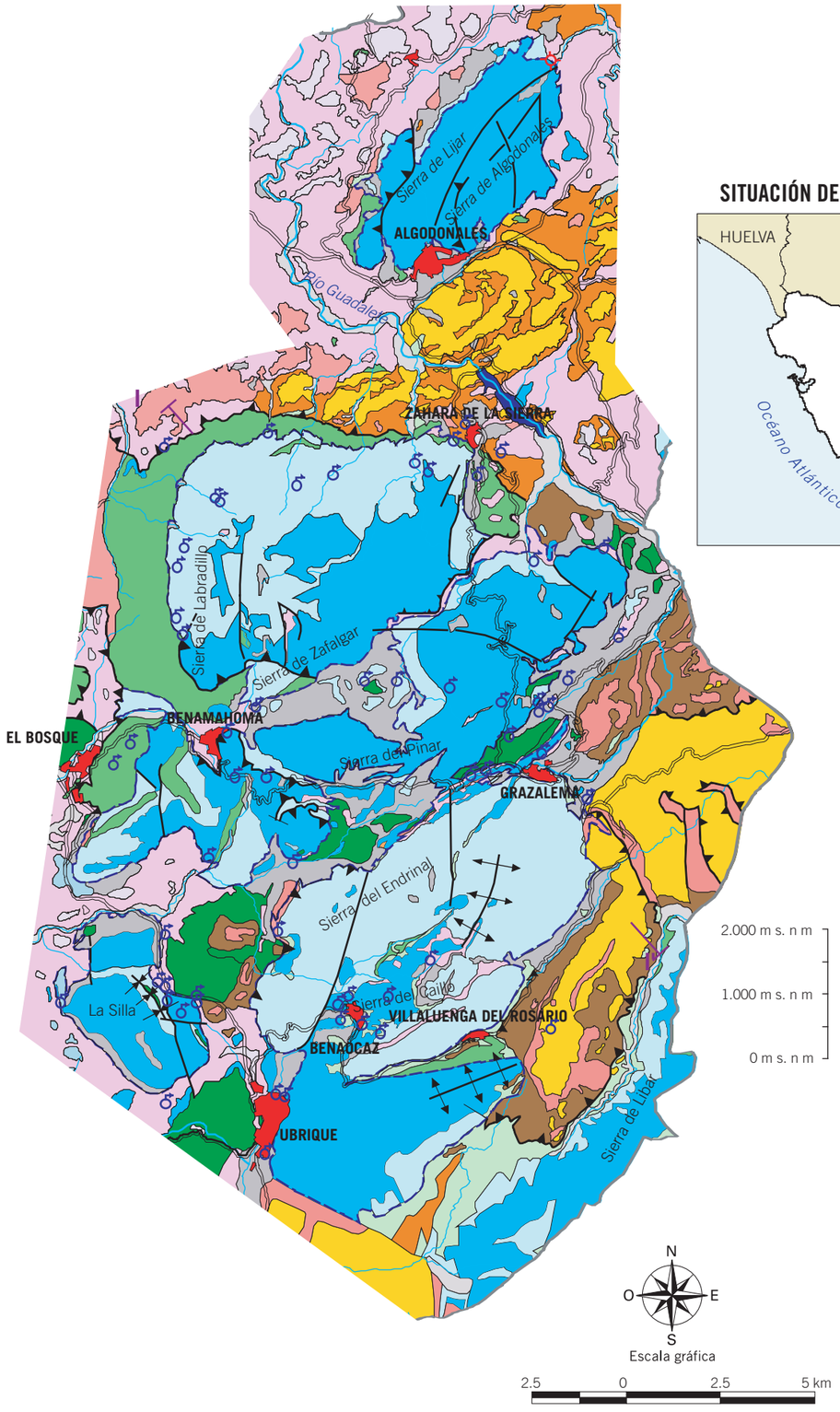
Un problema que no debe pasar desapercibido, es la elevada vulnerabilidad de estas formaciones acuíferas, dada su alta permeabilidad y su bajo poder autodepurador.



Sondeo surgente Bocaleones II situado en la subunidad Zafalgar - Labradillo (Zahara) (1)

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

Acuífero de las Sierras de Grazalema y Líjar



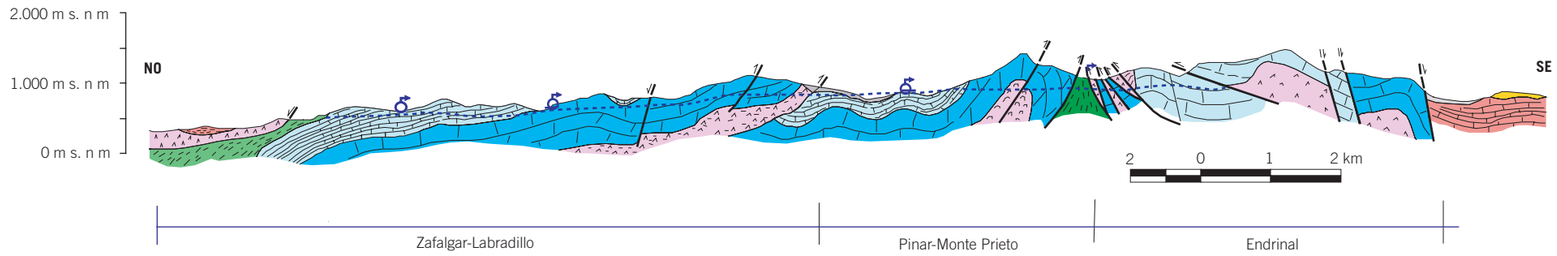
SITUACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA PROVINCIA



LEYENDA

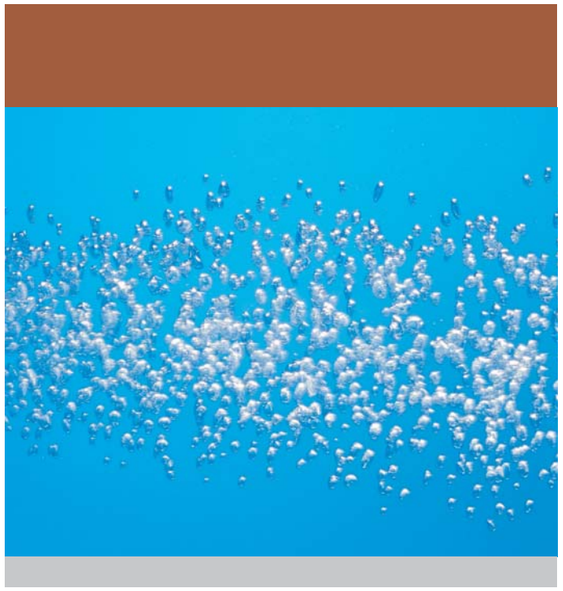
LITOLOGÍA	EDAD GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD
MATERIALES POSTOROGÉNICOS		
Arenas, arcillas y cantos (depósitos de ladera)	Cuaternario	Media-baja
Arenas y gravas (depósitos fluviales)	Cuaternario	Media-baja
Travertinos (depósitos kársticos)	Cuaternario	Alta
ZONA SUBBÉTICA		
Arcillas versicolores, areniscas y calizas	Mioceno inferior	Muy baja
Calizas y margas rojas (capas rojas)	Cretácico superior	Baja
Calizas margosas y margas	Cretácico inferior	Baja
Calizas nodulosas, calizas margosas, margocalizas silíceas y margas	Jurásico superior	Baja
Calizas y dolomías	Jurásico inferior	Alta
Dolomías tableadas y carniolas	Triásico superior	Media-alta
Arcillas, margas, yesos, areniscas	Triásico superior	Muy baja
COMPLEJO DEL CAMPO DE GIBRALTAR		
Arcillas con bloques. Complejo Tectosedimentario	Mioceno inferior	Baja
Areniscas del Aljibe	Mioceno inferior	Media-baja
Calizas de "Microcodium" y margas y areniscas	Paleógeno	Media-baja
Calizas, margas y arcillas	Cretácico	Baja

CORTE HIDROGEOLÓGICO
CORTE I-I´



SIMBOLOGÍA

- Lámina de agua
- Red hidrográfica
- Carreteras
- Núcleos urbanos
- Nivel piezométrico
- Límite superficial del acuífero
- I - I' Localización del corte hidrogeológico
- Sondeo
- Manantial
- Sinclinal
- Anticlinal
- Falla
- Cabalgamiento o falla inversa



De “ Los versos del capitán”.

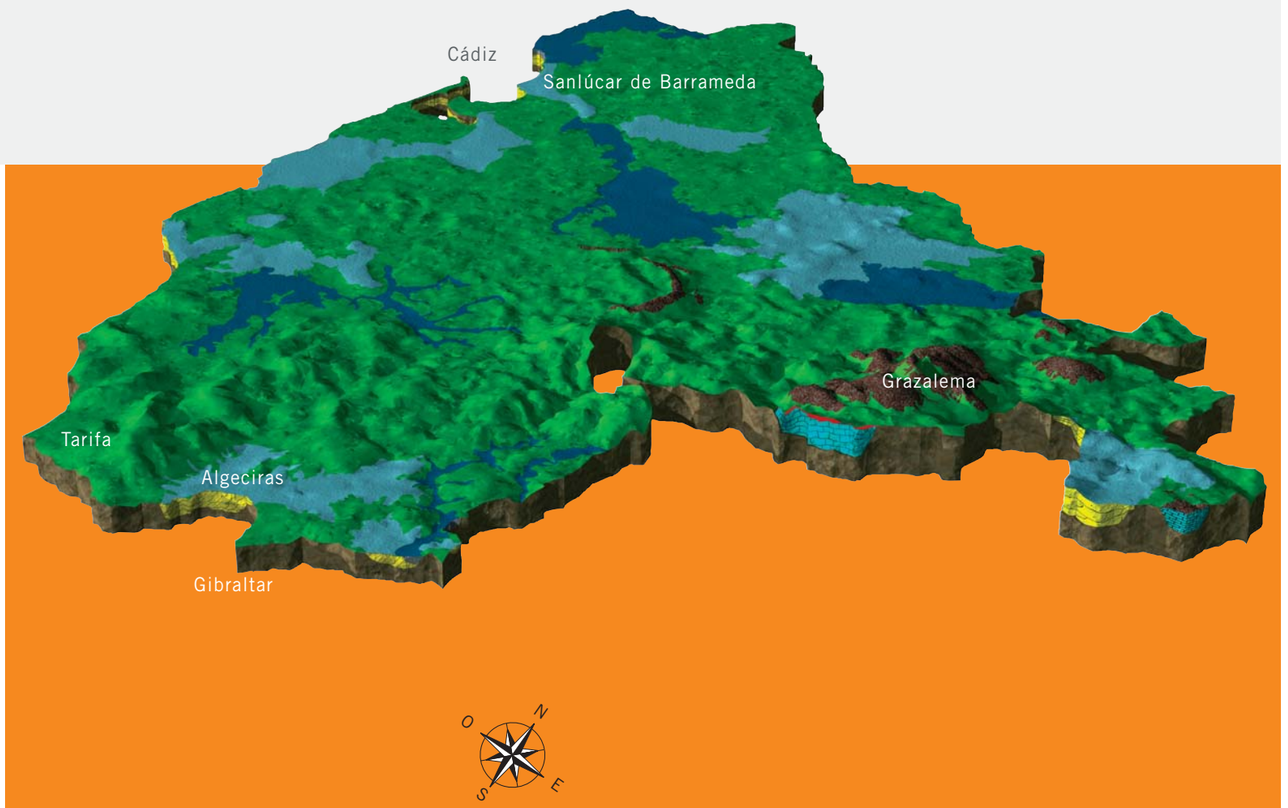
Bella,
como en la piedra fresca
del manantial, el agua
abre un ancho relámpago de espuma,
así es la sonrisa de tu rostro,
bella.

Pablo Neruda

Principales acuíferos

Sierra de Líbar

13.12



13.12.1 Situación y límites

El sector noroccidental del acuífero de la Sierra de Líbar se sitúa en la provincia de Cádiz mientras que el resto lo hace en la provincia de Málaga. Éste presenta una forma trapezoidal de aproximadamente 22 km de longitud por 6,5 km de anchura, con una superficie total de afloramientos permeables de 84 km^2 (DGOH, 1998).

Se extiende entre las localidades malagueñas de Montejaque y Cortes de la Frontera, donde quedan incluidos relieves como los de Sierra de Líbar, Mojón Alto, Sierra de Montalate, Sierra de los Pinos, Sierra Blanquilla, Sierra del Palo, Juan Diego y Mures. Este relieve está constituido por dos alineaciones montañosas que delimitan los bordes este y oeste de la sierra y aíslan una zona central deprimida (Llanos de Líbar). La alineación oriental está más elevada que la occidental, con un máximo en el vértice de Palo con 1.401 m s.n.m.; destacar en la margen occidental los 1.299 m s.n.m. del Hoyo de los Quejigos. El mapa hipsométrico del acuífero indica que el 86 % de la superficie está situada entre 700 y 1.200 m s.n.m. y el 34 % entre 1.000 y 1.200 m s.n.m (IGME, 2003).

La Sierra de Líbar junto con la Sierra de Grazalema, constituye el núcleo del Parque Natural de la Sierra de Grazalema, paraje que disfruta de la calificación de Reserva de la Biosfera. Esta serranía también se caracteriza por presentar un importante paisaje kárstico superficial y subterráneo. Su cavidad más conocida es la del Complejo Hundidero-Gato, situado en el borde nororiental de la Sierra, y son de destacar los poljes del Llano de Líbar, Benaoján y Pozuelo (Delanoy, 1998). La existencia de frecuentes campos del lapiaz, con pitones de hasta 10 m, morfologías en “pila de platos”, así como pequeños valles ciegos y varios poljes de pequeña extensión, hacen de esta sierra uno de los macizos kársticos más importantes de la península ibérica (IGME, 2003).

Los términos municipales en los que queda incluido el acuífero son: Cortes de la Frontera, Jimera de Líbar, Montejaque, Benaoján y Ronda (provincia de Málaga), y de Villaluenga del Rosario (provincia de Cádiz), con una población total en esta última provincia de 449 habitantes, a fecha de 1 de enero de 2003.

Las hojas del Mapa Topográfico Nacional, escala 1:50.000, en las que se encuentra el acuífero son la nº 1.050 (14-44) Ubrique y 1.064 (14-45) Cortes de la Frontera.

Administrativamente, el acuífero de la Sierra de Líbar se incluye en una de las unidades hidrogeológicas intercuenca (DGOH-ITGE, 1993), concretamente la identificada como 00.06.



Vista del polje de los Llanos del Republicano. En el centro, se aprecia un pequeño relieve residual formado por capas rojas del Cretácico superior-Paleógeno (6)

13.12.2 Climatología e hidrología

13.12.2.1 Climatología

El acuífero de la Sierra de Líbar, aunque en menor medida que el de la Sierra de Grazalema, constituye el primer gran obstáculo que encuentran los frentes oceánicos cuando la circulación es de componente oeste, haciendo que tanto el relieve de Líbar como el de Grazalema constituyan dos islas húmedas en relación con las áreas circundantes.

El acuífero presenta un clima lluvioso templado (Mesotérmico Húmedo) con verano seco y caluroso (Martín, 1986). Los últimos datos climáticos tratados para la Sierra de Líbar (DGOH, 1998) corresponden al periodo 1966/67-1995/96 y presentan los siguientes valores:

- Precipitación media anual: 1.744 mm.
- Temperatura media anual: 14-18 ºC.
- Evapotransporación potencial media anual : 1.122 mm
- Evapotranspiración real media anual : 653 mm.

13.12.2.2 Hidrología

La Sierra de Líbar queda encuadrada en la cuenca del río Guadiaro, Cuenca Sur (actualmente Cuenca Mediterránea de Andalucía), con excepción de la margen suroeste que vierte hacia el río Ubrique, tributario del Guadalete en la cuenca del Guadalquivir. En la vertiente norocidental de la Sierra se sitúan las cuencas endorreicas asociadas al río Gaduares y el arroyo de los Álamos con 48 y 30 km^2 de extensión respectivamente, mientras que la fachada oriental drena directamente hacia el río Guadiaro.

En el año 2000 entra en funcionamiento el trasvase Guadiaro-Majaceite. Básicamente consiste en una toma en el río Guadiaro, un túnel que une las dos cuencas, con 12.125 m de longitud y un diámetro interno de 4,2 m y una obra de entrega en la Garganta Barrida (afluente del Majaceite). Estos caudales están regulados primero en el embalse de Los Hurones, de 135 hm^3 de capacidad, y aguas abajo en el de Guadalcacín con 800 hm^3 de capacidad, desde donde se incorporan al sistema de abastecimiento de agua potable a la Zona Gaditana.

13.12.3 Hidrogeología

13.12.3.1 Contexto geológico

La Sierra de Líbar se localiza en el extremo occidental de la Cordillera Bética, situándose en áreas correspondientes a las Zona Subbética y Circumbética.

En la zona subbética se distinguen Subbético Indiferenciado, Medio e Interno. Este último constituye el acuífero de la Sierra de Líbar (IGME, 1984). El Subbético Interno, aflora al sur del corredor de Boyar, con una secuencia que parte con las arcillas y margas del Trías, a las que se superponen 550 m de calizas parcialmente dolomitizadas. El Cretácico dispone de unos 360 m de margas y margozalizas que a techo presentan coloraciones asalmonadas “capas rojas”, mientras que el Eoceno está constituido por un flysch formado por areniscas y calizas.

El sector circumbético, situado al norte de la Sierra de Líbar, que comprende los dominios situados originariamente entre el Subbético Interno y las Zonas Internas de las Béticas, se presenta en la zona mediante el Complejo Predorsaliano, que aflora en las sierras de la Silla, Pinar, Monte Prieto y Corredor Boyar, con una secuencia que comienza con el sustrato arcilloso del Trías, al que sigue una potente serie de carbonatos, integrada por unos 500 m de dolomías superpuestas por 250 m de calizas y 275 m de calizas y margas. El Cretácico, con unos 600 m de espesor es de carácter flyschoide, mientras que el Terciario sólo se localiza en las escamas del Corredor de Boyar con series muy tectonizadas y de menos de 50 m formadas por calizas, conglomerados y margas.

Como formaciones postorogénicas, se destacan las terrazas de los cauces principales aunque éstas son de escasa entidad.

La estructura interna del macizo carbonatado corresponde, a grandes rasgos, a dos grandes anticlinales paralelos: Sierra de Líbar-Mojón Alto-Montalate y Sierra de Los Pinos-El Palo-Juan Diego, de dirección N50E, delimitados por una serie de fracturas longitudinales de gran continuidad que dan lugar a la existencia de depresiones y poljes en el núcleo de la unidad. Además existen otros juegos de fracturas según direcciones N-S, N20 E y N60 O que provocan una compartimentación en sentido transversal.

13.12.3.2 Características hidrogeológicas

13.12.3.2.1 Descripción general

El acuífero carbonatado de la Sierra de Líbar se extiende por el macizo montañoso homónimo, aunque al sureste de este relieve existen tres pequeños afloramientos aislados ligados a este acuífero: Peñón de Berrueco, Loma de las Encinillas y Ojal de Buitreras.

Se trata de un acuífero carbonatado, permeable por fisuración y karstificación, de carácter libre y que está confinado entre el macizo de la Sierra de Líbar y los mencionados afloramientos aislados. El acuífero de la Sierra de Líbar dispone de unos 80 km^2 de afloramientos permeables, mientras que los tres afloramientos aislados suman en total otros 4 km^2.

La serie estratigráfica corresponde a la del Subbético Interno con una única formación acuífera carbonatada compuesta por materiales jurásicos y del Cretácico basal, con un espesor que se incrementa de norte a sur, de 500 a 700 m. En la base se sitúa el muro impermeable compuesto por arcillas triásicas.

Parte de los límites laterales del acuífero vienen impuestos por el contacto de los niveles permeables con los tramos margosos del Cretácico. En el borde NO existe un corredor de unos 2 km de anchura mínima, ocupado por formaciones de tipo flysch. Por debajo de éstas y en algunos sectores afloran margas y margocalizas cretácicas, por lo que se supone continuidad del Jurásico y por tanto conexión geométrica e hidráulica con la Sierra de Grazalema. El resto de los límites es cerrado al flujo subterráneo (DGOH, 1998).

Hay que destacar el importante desarrollo del modelado kárstico, condicionado a su vez por las directrices tectónicas existentes en el área. Estrechamente ligadas al acuífero, aunque situadas sobre materiales impermeables de las facies flysch terciarias, se encuentran las cuencas endorréicas del río Gaduares o Campobuche, con una superficie de 43,5 km^2 y la del arroyo de Los Álamos, con una superficie de 30 km^2 (IGME, 2003).

13.12.3.2.2 Parámetros hidrogeológicos

Se han analizado las series temporales de caudal de los principales manantiales, habiéndose determinado unos coeficientes de agotamiento para las principales surgencias: Cueva del Gato y Benaoján, de 1,2 y 1,3 x 10^{-2} respectivamente, valores indicativos de la rápida respuesta frente a la lluvia de éstas (DGOH, 1998).

13.12.3.2.3 Funcionamiento hidrodinámico. Piezometría

La alimentación del sistema se produce por infiltración directa del agua de lluvia sobre los afloramientos permeables y en gran medida por los aportes que, procedentes de las cuencas endorréicas asociadas, percolan a través de las simas y sumideros existentes en los bordes norte y oeste (simas del Republicano y Hundidero). Además se suponen unas importantes entradas laterales procedentes de la Subunidad Endrinal-Hondon-Ubrique, perteneciente al acuífero de la Sierra de Grazalema (DGOH, 1998).

La descarga del acuífero se produce principalmente a través de los manantiales de la Cueva del Gato (1444-8-0003) con un caudal medio de 1.500 L/s; Ejío también llamado Benaoján o Molino Santo (1444-8-0004) con 1.200 L/s de caudal medio y Charco del Moro (1445-6-0001); este último situado en el afloramiento del Ojal de Buitreras situado 6 km al sur de la sierra y con un caudal medio de 800 L/s. En menor cuantía también se producen descargas a través de los manantiales de Jimera de Líbar y La Artezuela (1445-3-0001 y 1445-3-0002) y La Fresnedilla (1444-8-0005). Además, hay que contabilizar la existencia de salidas ocultas desde los materiales carbonatados al aluvial del río Guadiaro, entre Benaoján y Jimera de Líbar cuyo caudal medio conjunto se aproxima a 300 L/s (IGME, 2003).

Con respecto a las características piezométricas del acuífero, el único punto que permite observar el nivel piezométrico regional es la sima del Republicano en la que se ha podido llegar a la zona inundada situada a una cota absoluta de entre 517 y 585 m s.n.m. según autores (Batlle, 1986). La superficie piezométrica se sitúa por tanto entre 585 y 220 m s.n.m., cota ésta última a la que se sitúa el manantial del Charco del Moro (1445-6-0001). La disposición de estos tres manantiales principales y su importante caudal ha contribuido a considerar que tradicionalmente el flujo subterráneo principal se dirigía a dichos puntos. Simultáneamente se ha admitido la presencia de flujos secundarios dirigidos hacia el este y el sur.

Los principales manantiales presentan un régimen de descarga irregular con fuertes variaciones de caudal, con agotamientos rápidos, propio de sistemas poco reguladores. La evaluación temporal del quimismo de las aguas muestra que estos manantiales responden rápidamente ante las precipitaciones con importantes procesos de dilución, evidenciando así su carácter eminentemente kárstico (Carrasco, 2001)

Aunque no se dispone de información de los parámetros hidráulicos, sin embargo se han estimado las reservas en 225 hm^3, considerando un espesor saturado medio de 150 m, una superficie del acuífero de 75 km^2 y un coeficiente de almacenamiento de 2 x 10^{-2} (IGME, 2002). En cualquier caso, estos cálculos se deben entender como aproximados.



Flanco suroriental del anticlinal de la Sierra de Líbar (6)

13.12.4 Hidroquímica

13.12.4.1 Calidad química y composición natural

Las aguas subterráneas del acuífero presentan predominantemente facies bicarbonatada cálcica (DGOH-ITGE, 1993; DGOH,1998), son de dureza media y mineralización ligera y presentan una calidad adecuada para consumo humano. En cuanto a su uso para riego, son aguas de tipo C1-C2/S1 y C4/S2, sin peligro de alcalinización del suelo (Batlle *et al.*, 1986).

En la base de datos del IGME existen 83 análisis realizados entre los años 1968 y 2000, resumiéndose en el cuadro adjunto las principales características de estos análisis.

Características químicas de las aguas subterráneas del acuífero de la Sierra de Líbar

Parámetros (mg/L)	Máximo	Mínimo	Medio
Cloruros	78	2	18
Sulfatos	700	1	55
Bicarbonatos	1.080	53	221
Nitratos	70	1	8
Sodio	57	1	7
Magnesio	90	1	14
Calcio	210	5	65
Conductividad eléctrica (µS/cm)	1.700	213	448

13.12.4.2 Contaminación y vulnerabilidad

El acuífero de la Sierra de Líbar es extremadamente vulnerable frente a la contaminación dado el carácter libre de buena parte del mismo y su alto grado de desarrollo kárstico. Deben considerarse además como zonas vulnerables ligadas a este acuífero, las cuencas endorreicas de los ríos Gaduares y arroyo de los Álamos.

El principal riesgo de contaminación lo representa la actividad ganadera y la de origen urbano, si bien los vertidos de este tipo se efectúan sobre los materiales impermeables del Cretácico, o bien se realizan directamente en el río. Las empresas chacineras de Benaoján se concentran en un polje homónimo, vertiendo directa o indirectamente a las formaciones acuíferas de la Sierra de Líbar. El río Guadiaro llega a los dominios de la Sierra de Líbar con concentraciones apreciables de nitratos, heredadas de su paso por la ciudad de Ronda (DGOH, 1998).





Foto superior: Boca de entrada a la sima del Republicano. Situada al pie de la ladera noroccidental de la Sierra, funciona como drenaje del polje de los Llanos del Republicano (6)
Foto inferior: Polje de Líbar, a caballo de las provincias de Cádiz y Málaga. Al fondo, la Sierra del Palo (Málaga) (6)

Se han detectado problemas de contaminación bacteriológica en los manantiales de Benaoján, Fresnedilla, Adalid y Cañuelo, ligados, en los dos primeros a fuentes puntuales de contaminación en el polje de Benaoján, mientras que el resto sólo parecen estar relacionados con la cabaña ganadera existente en sus proximidades.

13.12.5 Explotación y balance

13.12.5.1 Entradas

La última evaluación de los recursos hídricos en la Sierra de Líbar fue realizada por la DGOH en 1998 y se basó en la determinación de las salidas del sistema y en el análisis de la variación de reservas, para de esta forma poder evaluar la recarga. Cuando las salidas no correspondían con la recarga supuesta, se procedió a la determinación de ésta mediante balances hidrometeorológicos de agua en el suelo.

La recarga natural de este acuífero se produce por infiltración directa del agua de lluvia que alcanza sus afloramientos, por la escorrentía generada en las cuencas endorreicas del Gaduares (43,5 km^2) y arroyo de los Álamos (30 km^2), que termina por desaparecer en los sumideros situados en el borde oeste (Sima del Republicano) y norte (Hundidero), y por aportes laterales procedentes de la subunidad del Endrinal-Hondón-Ubrique perteneciente al acuífero de la Sierra de Grazalema (DGOH, 1998).

13.12.5.2 Salidas

La determinación de las salidas de la Sierra de Líbar ha sido fundamental para la realización del balance hídrico. Las medidas directas empleadas para la obtención de los hidrogramas corresponden a las realizadas en el periodo 96/97 (DGOH, 1998) más las determinadas en 1984 (IGME, 1984), año en el que se registró una precipitación muy próxima a la media.

En la tabla se incluye el balance hídrico resultante para el año medio del periodo 1967-1996 en la Sierra de Líbar (DGOH, 1998). Las salidas destinadas a abastecimiento son de 0,7 hm^3 (DGOH, 1998). No existen sondeos en explotación para uso agrícola (CAP, 2002).

Entradas	hm^3/a
Infiltración del agua de lluvia	32,1
Infiltración de aguas superficiales	33,5
Transferencias laterales de la Sierra de Grazalema	16,6
Total	**82,2**
Salidas	hm^3/a
Salidas naturales (manantiales y ríos)	81,5
Bombeos/captaciones	0,7
Total	**82,2**

13.12.6 Problemática existente y pautas de gestión

Los caudales que drena este importante acuífero hacia el río Guadiaro, derivados en parte por el reciente trasvase hacia la cuenca del Guadalete, son regulados aguas abajo por los embalses de Los Hurones y Guadalcacín, de los que depende el suministro de agua para uso urbano, agrícola e industrial de toda la fachada atlántica de la provincia de Cádiz. A este valor debe de añadirse el ambiental, dado que este acuífero se extiende sobre el Parque Natural de la Sierra de Grazalema. De forma directa se abastecen las localidades de Montejaque, Benaoján, Cortes de la Frontera y Jimera de Líbar que, en caso de necesidad, podrían complementar su abastecimiento con la realización de nuevos sondeos de explotación.

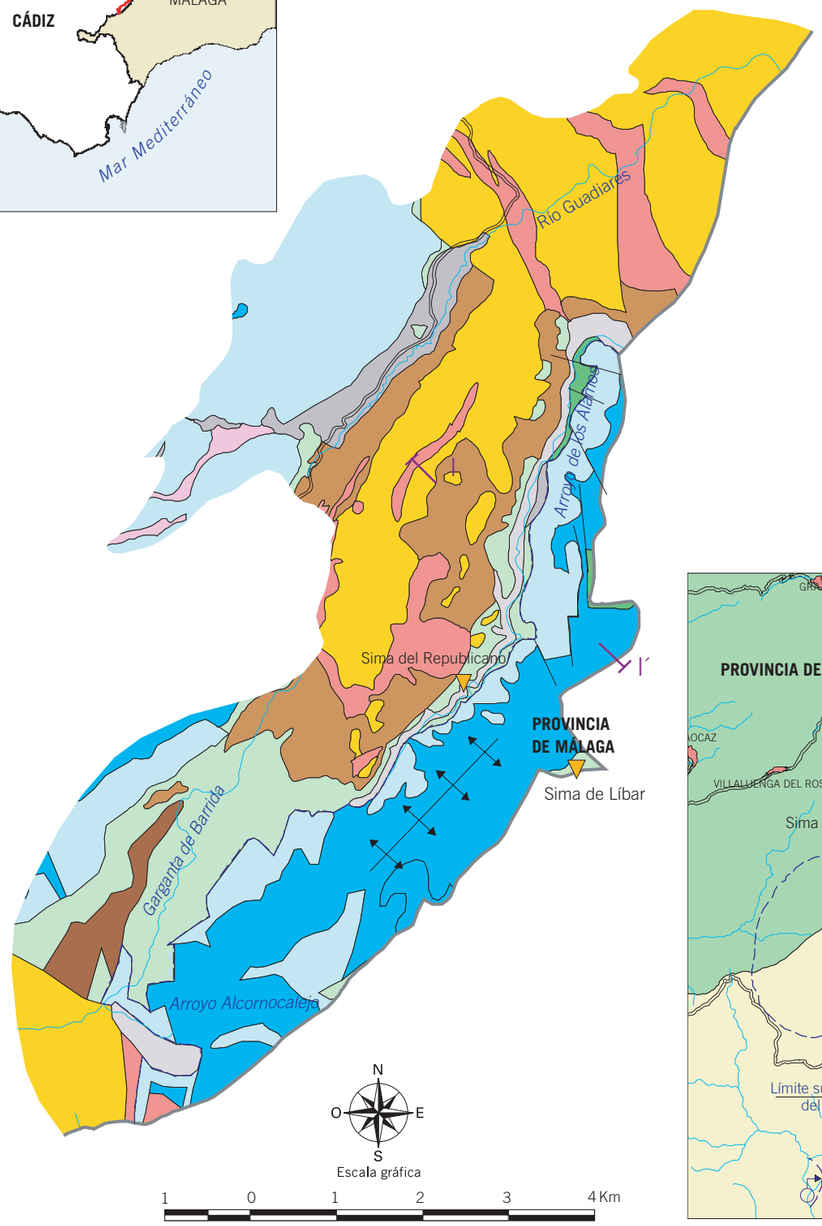
Debe considerarse primordial el preservar la cantidad y calidad de los recursos hídricos de éste acuífero. Para ello se considera necesario incrementar su conocimiento hidrogeológico, avanzar en este sentido permitiría definir el óptimo grado de aprovechamiento mediante la aplicación de técnicas de uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, y conocer las reservas almacenadas que podrían ser explotadas en situaciones de emergencia.

Un problema que no debe pasar desapercibido para las distintas administraciones competentes, es la elevada vulnerabilidad de estas formaciones acuíferas, dada su alta permeabilidad y su bajo poder autodepurador.

Acuífero de la Sierra de Líbar

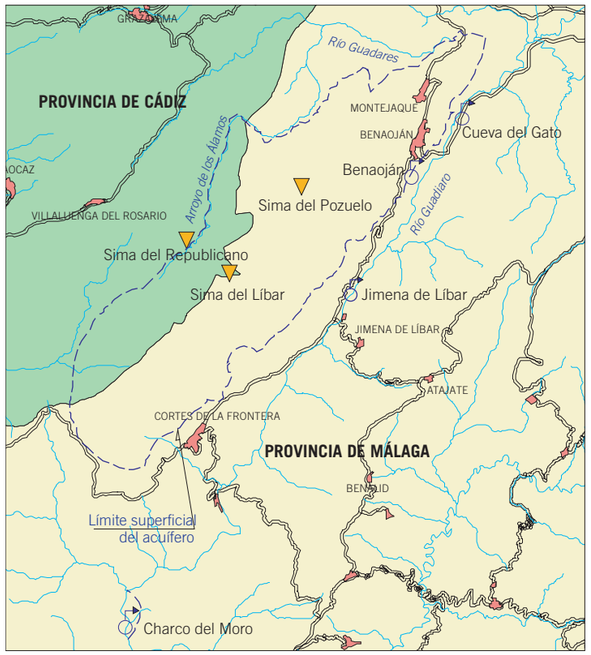
SITUACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA PROVINCIA





LEYENDA

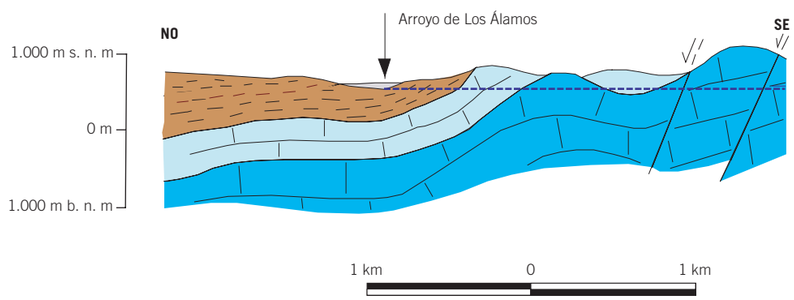
LITOLOGÍA	EDAD GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD
TERRENOS POSTOROGÉNICOS		
Arenas y gravas (depósitos fluviales)	Cuaternario	Alta
Arenas, arcillas y cantos (depósitos de ladera)	Cuaternario	Media
ZONA SUBBÉTICA		
Calizas y margas rojas (capas rojas)	Cretácico superior-paleógeno	Baja
Calizas margosas y margas	Cretácico inferior	Baja
Calizas nodulosas, calizas margosas, margocalizas silíceas y margas	Jurásico (Dogger-Malm)	Media
Calizas y dolomías	Jurásico (Lías)	Alta
Arcillas, margas, yesos y areniscas	Triásico	Baja
CAMPO DE GIBRALTAR		
Arcillas, areniscas y calizas (Formación Estepona)	Mioceno inferior	Baja
Arcillas, margas, calizas, areniscas y bloques diversos	Mioceno inferior (Aquitaniense)	Baja
Areniscas del Aljibe	Mioceno inferior	Media
Margas y areniscas micáceas (Formación Algeciras)	Oligoceno medio-superior	Baja
Calizas y arcillas margosas (Formación Benaiza)	Eoceno-Oligoceno	Baja



SIMBOLOGÍA

- Lámina de agua
- Red hidrográfica
- Carreteras
- Autovía
- Límite provincial
- Límite superficial del acuífero
- I - I' Localización del corte hidrogeológico
- Nivel piezométrico
- Anticlinal
- Falla
- Manantial
- Sumidero

CORTE HIDROGEOLÓGICO
CORTE I-I´





De "¿Puedes?"

Puedes venderme lluvia, el agua
que te ha dado tus lágrimas y te moja la lengua?
¿Puedes venderme un dólar de agua
de manantial, una nube preñada,
crespa y suave como una cordera,
o bien agua llovida en la montaña,
o el agua de los charcos
abandonados a los perros,
o una lengua de mar, tal vez un lago,
cien dólares de lago?

El agua cae, rueda.
El agua rueda, pasa.
Nadie la tiene, nadie.

Nicolás Guillén

Principales acuíferos

Setenil - Ronda

13.13



13.13.1 Situación y límites

El acuífero de Setenil-Ronda se sitúa en las provincias de Cádiz y Málaga, ocupando el extremo nororiental de Cádiz, en la comarca de la Sierra, y un sector del borde occidental de Málaga.

Desde el punto de vista fisiográfico se incluye en las Campiñas serranas nororientales. Se trata de una depresión intramontañosa individualizada entre los relieves béticos de las Serranías de Ronda y Grazalema, caracterizado por un relieve de suaves lomas y depresiones, con altitud variable entre 500 y 800 m s.n.m.. La pequeña alineación montañosa, ya en la provincia de Málaga, de la Sierra de Salinas-La Sanguijuela, donde se alcanzan altitudes próximas a los 1.000 m s.n.m., atraviesa el acuífero en dirección NE-SO, y coincide con la divisoria de aguas superficiales entre la cuenca del Guadalete y la del Sur.

Los núcleos de población asentados en el acuífero son, en la provincia de Cádiz: Alcalá del Valle, Setenil de las Bodegas y Torre Alháquime que cuentan con una población dentro del término municipal de 5.278, 3.043 y 912 habitantes respectivamente. Las poblaciones más importantes incluidas en la provincia de Málaga son Ronda y Arriate, con 30.127 y 3.267 habitantes en cada núcleo urbano. Estos datos de población se refieren al padrón municipal del año 2002 del Instituto Nacional de Estadística.

Las hojas del Mapa Topográfico Nacional, escala 1/50.000, en las que se cartografía el acuífero son las siguientes:

- Provincia de Cádiz: 1.036 (14-43) Olvera
  1.037 (15-43) Teba
- Provincia de Málaga: 1.050 (14-44) Ubrique
  1.051 (15-44) Ronda

Administrativamente, el acuífero se incluye en la unidad hidrogeológica 00.07, Setenil-Ronda, formando parte del grupo de unidades definidas como intercuenca en el Catálogo de unidades hidrogeológicas del territorio Peninsular e Islas Baleares (MOPU-IGME, 1988). Al tratarse de una unidad intercuenca también se designa como 05.63, en la Cuenca del Guadalquivir, o 06.42 en la Cuenca del Sur (Demarcación Mediterránea Andaluza).





Foto superior: Panorámica de Setenil (6)
Foto inferior: Cañón del río Trejo (6)

13.13.2 Climatología e hidrología

13.13.2.1 Climatología

El clima existente en la zona donde se sitúa el acuífero es mediterráneo subtropical.

Atendiendo a los datos recogidos en el Plan Hidrológico del Guadalquivir (CHG, 1995), los valores medios anuales pluvio-termométricos y de evapotranspiración potencial (E.T.P) representativos de la zona y correspondientes al período 1942-1988 son los siguientes:

- Precipitación: 700 mm
- Temperatura: 15,5 ºC
- E.T.P.: 850-900 mm
- Lluvia útil: 250 mm

13.13.2.2 Hidrología

La alineación montañosa malagueña que atraviesa el acuífero en dirección NE-SO (Sierra de Salinas-La Sanguijuela) constituye la divisoria de la vertiente Atlántico-Mediterránea. Así, el acuífero de Setenil-Ronda se sitúa entre las Cuencas del Guadalquivir y del Sur de España y más concretamente entre la cuenca alta de los ríos Guadalete y Guadiaro.

Por tanto, su hidrografía se caracteriza porque la mitad suroriental vierte sus aguas al río Guadiaro (Cuenca Sur, vertiente Mediterránea), que en cabecera se denomina Guadalcobacín, y recoge la escorrentía superficial de esta mitad meridional. La vertiente septentrional corresponde a la cuenca alta del Guadalete (Cuenca del Guadalquivir, vertiente Atlántica), del que son tributarios los ríos Trejo y Setenil que recogen la escorrentía de la mitad noroccidental del acuífero.

La parte del acuífero que se extiende en la provincia de Cádiz pertenece íntegramente a la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir y se encuentra incluida dentro del sistema de explotación nº 16 “Guadalete”.

13.13.3 Hidrogeología

13.13.3.1 Contexto geológico

En el ámbito de las Cordilleras Béticas, la Cuenca Neógena de Ronda constituye una depresión intramontañosa, rodeada por las estribaciones de la Serranía de Ronda (Sierra del Tablón al norte, Sierra de Cañete, Sierra de los Merinos y Sierra Blanquilla al este, Sierra de la Hidalga y Sierra del Oreganal al sur y las Sierras de Montejaque y Cortes al suroeste). Esta cuenca, rellena de sedimentos postorogénicos miocenos, se sitúa sobre materiales mesozoicos de la Zona Subbética y sobre otros pertenecientes a las Unidades del Campo de Gibraltar.

Desde el punto de vista litoestratigráfico, las unidades que conforman el substrato de la cuenca son, de muro a techo, las siguientes:

Zona Subbética

- Triásico: aflora al norte y nordeste y está formado por areniscas, margas, arcillas abigarradas de facies Keuper de tonos rojos y verdes con abundantes evaporitas, que presentan englobados niveles dolomíticos y masas de ofitas.
- Jurásico: formado por un tramo inferior dolomítico y un conjunto superior de calizas nodulosas y margocalizas con silex grises e intercalaciones de radiolaritas.
- Cretácico: se diferencia un Cretácico inferior, constituido por margocalizas y calizas rosadas, y un Cretácico superior formado por calizas margosas y margas de tonos rojos.

Unidades del Campo de Gibraltar

La formación fundamental dentro de este dominio está constituida por las arcillas con bloques del denominado Complejo Tectosedimentario del Mioceno, cuya matriz está formada por un conjunto de arcillas rojas y verdes con nódulos de azufre, yesos y niveles de limolitas ferruginizadas. Relacionadas con éstas aparecen un conjunto de arcillas versicolores y areniscas del Aljibe. La potencia del conjunto es indeterminada y representa la base de los materiales postmantos incluidos en el Mioceno de la Cuenca de Ronda.



Contraste morfológico entre las margas de la Formación La Mina (parte baja del relieve, afectadas por procesos de deslizamiento) y las biocalcarenitas de la Formación Setenil, que proporcionan un marcado escarpe estructural (6)

Por otro lado, los sedimentos postorogénicos que rellenan la cuenca de Ronda son los siguientes:

MIOCENO SUPERIOR

Se pueden diferenciar cuatro formaciones isocronas entre sí, ya que corresponden a distintos lugares y facies sedimentarias dentro de la cuenca en un mismo momento. Su edad, en conjunto, abarca todo el Tortoniense y el Messinense.

Formación Setenil: Aflora prácticamente en toda la depresión, excepto en su extremo noroccidental. Se sitúa sobre materiales del substrato o sobre la Formación La Mina, con la que cambia de facies. Su potencia puede llegar a superar los 200 metros y está constituida por calcarenitas bioclásticas y calizas de algas.

Formación La Mina: Ocupa la parte centro-occidental de la depresión. Su litología es de margas de color azul grisáceo, con radiolarios, espículas de esponjas y foraminíferos planctónicos. En las partes centrales de la depresión, su potencia puede superar los 800 metros. Esta formación cambia de facies con la anteriormente descrita Formación Setenil.

Formación Tajo: Aflora solamente al sur y suroeste de la depresión, en la provincia de Málaga. Esta compuesta por conglomerados y areniscas calcáreas bioclásticas con una potencia máxima de alrededor de 200 m.

Formación El Gastor: Está compuesta por una secuencia arenoso-limosa y conglomerática cuyos tramos pasan lateralmente y se indentan con la Formación La Mina. La potencia de esta formación es de unos 500 m. Aflora en el borde oeste de la depresión.

CUATERNARIO

Está representado en el área por los afloramientos de depósitos aluviales de poco espesor relacionados directamente con los cauces actuales de los ríos Trejo y Setenil y por formaciones travertínicas y conos de deyección y deslizamientos de ladera en la parte sureste de la unidad.

Tectónicamente, los materiales postorogénicos están por lo general poco deformados constituyendo estructuras de pliegues de gran radio, suaves, con buzamiento predominantemente hacia el oeste, pudiendo verse afectados por fallas normales. Su rasgo más característico es la presencia de un núcleo anticlinal de orientación noreste-suroeste, coincidente con las Sierras de La Salina y La Sanguijuela, y posiblemente relacionado con la actividad halocinética del Trías.

13.13.3.2 Características hidrogeológicas

13.13.3.2.1 Descripión general

Los materiales potencialmente acuíferos son aquellos que componen la Formación Setenil, la Formación Tajo y el miembro conglomerático de la Formación El Gastor.

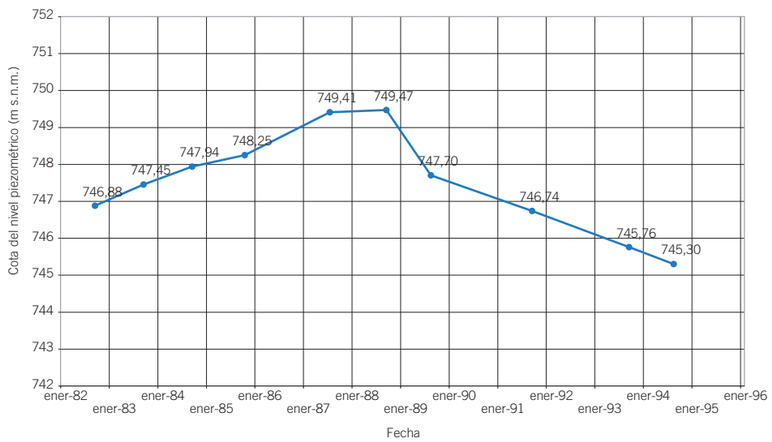
Este conjunto de materiales postorogénicos (también denominado Mioceno de Ronda) está constituido por un paquete muy potente y heterogéneo de calcarenitas, areniscas, conglomerados, calizas y arcillas, con frecuentes cambios laterales de facies. Aflora en una superficie de 211 km^2. La potencia del conjunto es variable, encontrándose espesores de hasta 400 m hacia el sur, donde se localizan las facies más detríticas.

El sustrato impermeable está constituido generalmente por las arcillas de las Unidades del Campo de Gibraltar, aunque en zonas muy localizadas descansa directamente sobre las margas y arcillas impermeables triásicas.

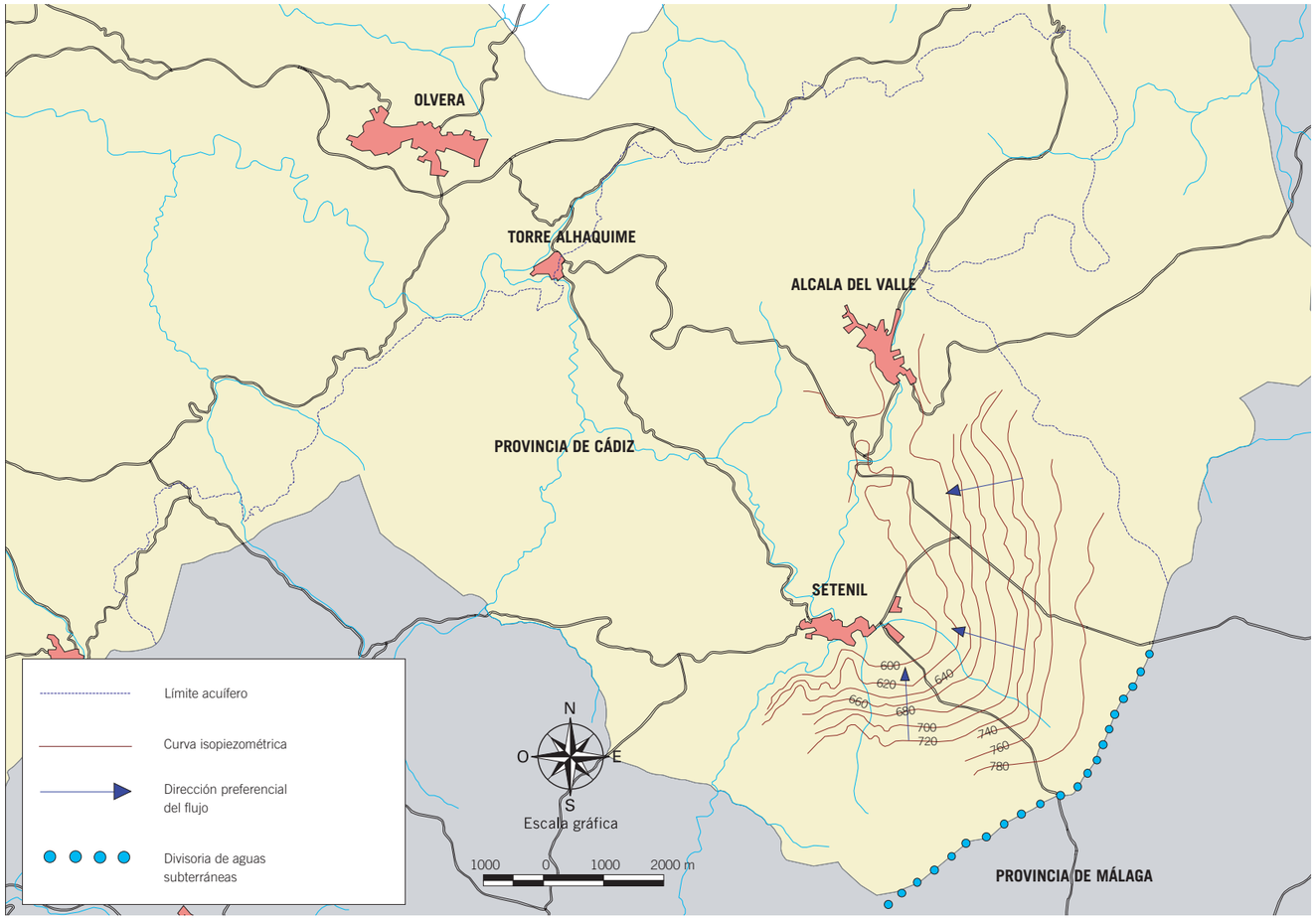


Calcarenitas bioclásticas de la Formación Setenil (6)

Evolución piezométrica (punto IGME 1544-1-0128)
Sector meridional del acuífero de Sentenil - Ronda



Superficie piezométrica (agosto 1994).
Sector septentrional del acuífero



Debido a la existencia de estratificación y cambios laterales de facies, el conjunto se comporta como un sistema acuífero complejo, heterogéneo y anisótropo, que, en determinadas zonas, se corresponde con un modelo multicapa, por la dificultad de circulación vertical de agua a través de las capas menos permeables.

La alineación montañosa de la Sierra de Salinas-La Sanguijuela, coincidente con la divisoria Guadiaro-Guadalete, corresponde a una estructura del substrato, posiblemente constituido aquí por materiales margoso-evaporíticos del Trías, y origina una barrera hidrogeológica que independiza también los dos sectores de esta unidad separados por la divisoria superficial. Se puede establecer, por tanto, que con carácter regional, existe una coincidencia bastante aproximada entre las divisorias superficial y subterránea.

13.13.3.2.2 Parámetros hidrogeológicos

Se dispone de los valores de transmisividad obtenidos en dos ensayos de bombeo realizados en los puntos IGME 1543-5-0103 y 1543-5-0115 que dieron valores de 750-5.900 m^2/d y 345-310 m^2/d respectivamente.

13.13.3.2.3 Funcionamiento hidrodinámico. Piezometría

El Mioceno de Ronda es un sistema acuífero complejo, heterogéneo y anisótropo, permeable por fisuración y karstificación y que presenta un carácter libre en la mayor parte de su extensión.





Foto superior: Sondeo de abastecimiento a Setenil (sondeo El Higuerón) (1)
Foto inferior: Vista de la Formación calcarenítica de Setenil en el núcleo urbano (6)

Su alimentación se produce mayoritariamente por infiltración directa del agua de lluvia sobre los afloramientos permeables y, en parte, en forma de recarga oculta procedente de la Sierra de Cañete y de las Sierras Blanquilla-Merinos-Borbollón, con las que está en contacto.

La descarga natural del acuífero se produce principalmente a través de los ríos Guadiaro, en la Cuenca Sur, y Trejo en la del Guadalquivir. A ellos afluyen numerosos arroyos que recogen la escorrentía superficial y las aportaciones de los numerosos aunque poco caudalosos manantiales (0,1-2 L/s) que drenan los múltiples sectores del acuífero, más abundantes en la mitad norte del acuífero.

El drenaje subterráneo se realiza siguiendo la misma pauta que la escorrentía superficial: aproximadamente, el 60 % se realiza hacia el norte (Cuenca del Guadalquivir) y el 40 % hacia el sur (Cuenca Sur).

La superficie piezométrica se sitúa a cotas comprendidas entre 500 m s.n.m. al oeste de Ronda y 800 m s.n.m. en la zona de Setenil y se adapta con cierta fidelidad a la superficie topográfica. En líneas generales, en el sector meridional de la unidad, la dirección del flujo subterráneo es sureste o suroeste confluyendo en el río Guadiaro, mientras que en el septentrional tiene dirección noroeste confluyendo en el río Trejo.

En el sector meridional se localizan, en la provincia de Málaga, los manantiales más importantes denominados La Mina (punto IGME 1544-5-0004) y La Ventilla (punto IGME 1544-2-0003) que, a pesar de emerger de las formaciones miocenas, deben relacionarse con las estructuras carbonatadas subbéticas del acuífero de la Sierra Blanquilla-Merinos-Borbolla. Esta relación viene apoyada por el hecho de que muchas de las captaciones de la zona sean surgentes y con caudales muy superiores a los del resto del conjunto, algunos de ellos pasan de 30 L/s cuando en la mayor parte del acuífero raramente se alcanzan los 10 L/s.

Se dispone de un corto registro continuo en el punto 1544-1-0128, perteneciente a la red de control del IGME y situado en el sector meridional del acuífero en Málaga, donde se observa que existe una tendencia al descenso que se mantiene desde el año 1988 y que coincide con una etapa de sequía. A partir de 1994 no se dispone de datos.

Las reservas del acuífero en conjunto han sido evaluadas recientemente (CHG-IGME, 2000-2001). En el Mioceno de Ronda, el volumen de materiales detríticos saturados, obtenido tomando un espesor saturado medio de 200 m y una superficie del acuífero de 211 km^2, es de 42.200 hm^3, que multiplicado por un coeficiente de almacenamiento del 1 % arroja un resultado de 422 hm^3 de reservas potencialmente explotables. Estos cálculos se deben entender como aproximados.

13.13.4 Hidroquímica

13.13.4.1 Calidad química y composición natural

Las aguas subterráneas del sector norte del Mioceno de Ronda presentan una dureza elevada y una mineralización débil a media. En cuanto a su uso para riego, son aguas aptas de tipo C1/S1 a C2/S1, es decir aguas con salinidad baja media con bajo contenido en sodio.

En la base de datos del IGME existen 66 análisis realizados mayoritariamente entre los años 1969 y 1992 (sólo 4 son recientes, del año 2002). Los valores característicos de las aguas se resumen en la tabla, donde destaca que el valor más frecuente de conductividad eléctrica se sitúa en torno a los 600 µS/cm.

Características químicas del acuífero Setenil-Ronda (sector norte)

mg/L	Máximo	Mínimo	Promedio	Mediana
Cloruros	859	6	45	23
Sulfatos	1.400	7	149	67
Bicarbonatos	409	13	231	218
Nitratos	136	1	25	15
Sodio	178	1	25	14
Magnesio	181	2	31	21
Calcio	321	27	87	69
Potasio	19	0	4	2
Conductividad eléctrica (µS/cm)	3.000	260	704	596

Aunque los análisis están dispersos en espacio y tiempo parecen reflejar un predominio de facies mixtas, bicarbonatadas-sulfatadas o sulfatadas-bicarbonatadas cálcicas magnésicas, en la mayor parte de éste sector norte del acuífero, diferenciándose unas facies claramente bicarbonatadas cálcicas en el área más próxima a la divisoria de aguas superficiales y subterráneas (área de recarga) y un área de aguas más sulfatadas en el extremo occidental, cercano al límite impermeable del mismo (materiales triásicos).

Un aspecto puesto de manifiesto en las dos campañas analíticas realizadas por el IGME en el año 1980 es que se produce un aumento considerable del contenido en sulfatos y magnesio desde el mes de abril al mes de octubre, aspecto éste posiblemente relacionado con la variación del nivel piezométrico a lo largo del año; en el mes de abril los niveles están más altos y el agua es más bicarbonatada, mientras que en octubre los niveles están más bajos y el agua presenta un carácter más sulfatado.

Concentración de Sulfatos y Magnesio. Acuífero Setenil-Ronda, sector norte

Nº de Punto	mg/L $SO4^{=}$		mg/L Mg^{++}	
	Abril 1980	Octubre 1980	Abril 1980	Octubre 1980
1443-8-0010	51	121	19	63
1443-8-0020	77	168	44	36
1443-8-0051	64	168	21	51
1543-1-0003	78	178	29	59
1543-1-0013	10	39	11	24
1543-1-0022	44	126	9	32
1543-5-0057	57	130	3	39
1543-5-0061	77	158	21	46

Respecto a la calidad de las aguas en el sector meridional del acuífero se dispone de 6 análisis químicos procedentes de la base de datos del IGME, que datan de los años 1975 y 1980. En ellos se refleja un carácter más bicarbonatado de las aguas, con un contenido medio de sulfatos más bajo, del orden de 50 mg/L, y una conductividad eléctrica media de unos 500 µS/cm.

13.13.4.2 Contaminación y vulnerabilidad

El carácter heterogéneo del acuífero, que presenta importantes cambios laterales de facies, le confiere una vulnerabilidad a la contaminación media, a pesar de que los distintos niveles piezométricos correspondientes al modelo multicapa se sitúan generalmente a escasos metros de profundidad (máximo 20 m) y de que el acuífero se presenta libre en la mayor parte de su extensión. El uso de fertilizantes y plaguicidas en el regadío constituye el principal riesgo de contaminación. Se han detectado puntualmente (año 1980) concentraciones de nitratos superiores a los 50 mg/L, situadas generalmente en las inmediaciones de Alcalá del Valle. En la actualidad existen análisis químicos (diciembre 2002) en los puntos de abastecimiento a Alcalá del Valle, Setenil, Olvera y Torre Alháquime que muestran concentraciones bajas en nitratos excepto en el manantial Venta de Leche que presenta un valor de 54 mg/L, razón por la cual ha dejado de abastecer temporalmente a la pedanía de Setenil (Venta de Leche).

Salvo éstos datos, no se tiene constancia de la existencia de una carga contaminante significativa procedente de los abonos nitrogenados, no obstante se calcula que la superficie cultivada en toda la Cuenca de Ronda genera una cantidad de nitratos próxima a 2.200 t/a (IGME-Junta de Andalucía, 1998).

13.13.5 Explotación y balance

13.13.5.1 Entradas

La recarga de este acuífero se realiza por infiltración del agua de lluvia y por transferencia subterránea desde otros acuíferos adyacentes.

La infiltración directa del agua de lluvia supone - considerando una superficie de 211 km^2, una lluvia útil media de 250 mm/a y un coeficiente de infiltración sobre las calcarenitas del 20% - un volumen del orden de 10,5 hm^3/a. La recarga subterránea, procedente de los materiales carbonatados adyacentes, se cifra de la misma cuantía (CHG-IGME, 2000-2002).

13.13.5.2 Salidas

La descarga natural del acuífero se produce a través de los numerosos manantiales existentes y principalmente, de forma difusa, a través de los ríos que atraviesan la formación acuífera.

Los núcleos de población de Alcalá del Valle, Torre Alháquime, Olvera y Arriate se abastecen de aguas subterráneas procedentes de sondeos y manantiales del acuífero, mientras que Setenil se abastece de un sondeo situado en el acuífero de la Sierra Blanquilla-Merinos-Borbolla y Ronda se abastece de aguas superficiales. Atendiendo a las encuestas de abastecimiento de aguas subterráneas realizadas por el IGME en el año 2002-2003, el volumen explotado mediante sondeos es del orden de 1,4 hm^3/a, que proceden casi en su totalidad del sector norte del acuífero.

Según la actualización del año 2002 del inventario y caracterización de los regadíos de Andalucía, las extracciones por bombeo para regadío en el conjunto del acuífero suponen del orden de 2 hm^3/a, que se utilizan para el riego de unas 500 ha de terreno cultivado.

Con estas consideraciones, el balance hídrico del acuífero Setenil-Ronda (año 2002) es el siguiente:

Entradas	hm^3/a
Infiltración del agua de lluvia	10,5
Recarga subterránea desde la Sierra de Cañete	3,5
Recarga subterránea desde otros acuíferos.	7,0
Total	**21,0**
Salidas	hm^3/a
Bombeo para regadíos	2,0
Bombeo para abastecimiento	1,4
Salidas por manantiales y difusas a ríos	17,6
Total	**21,0**

13.13.6 Problemática existente y pautas de gestión

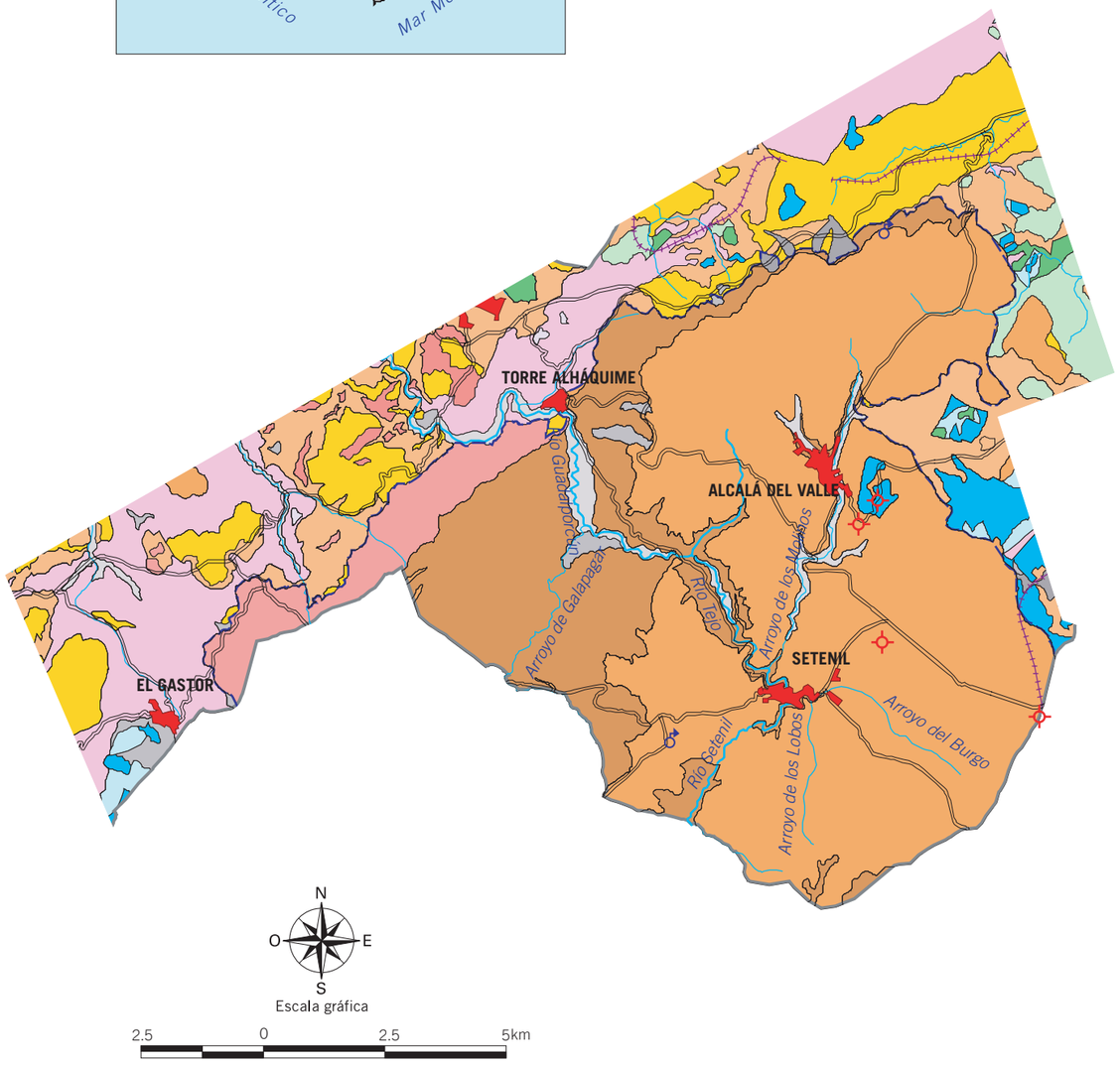
El acuífero de Setenil-Ronda es un acuífero claramente excedentario ya que frente a una aportación evaluada en 21 hm^3/año, sólo se explotan por bombeo 3,4 hm^3/año, aunque también hay un aprovechamiento del caudal de los manantiales para abastecimiento urbano y para regadío y uso doméstico. Por ello, sería recomendable el establecimiento de comunidades de usuarios que permitan un aprovechamiento ordenado y controlado de cara a potenciar su uso como recurso hídrico de primer orden.

El carácter multicapa del acuífero, constituido por numerosos niveles detríticos superpuestos, de dimensiones poco conocidas debido a las heterogeneidades litológicas y a los cambios laterales de facies, dificulta considerablemente su explotación, por lo que sería conveniente mejorar el conocimiento disponible actualmente.

Acuífero de Setenil - Ronda

SITUACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA PROVINCIA

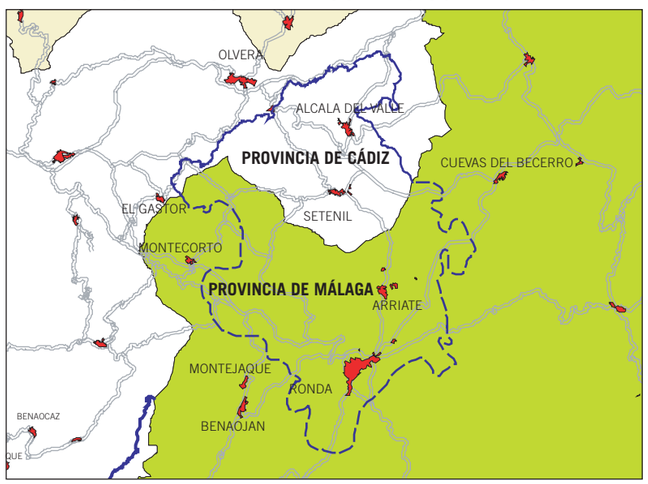




LEYENDA

LITOLOGÍA	EDAD GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD
MATERIALES POSMANTO		
Arenas, arcillas y cantos (depósitos de ladera)	Cuaternario	Media
Arenas y gravas (depósitos fluviales)	Cuaternario	Alta
Conglomerados, arenas y limos (Formación El Gastor)	Mioceno superior	Alta
Calcarenitas y calizas con algas (Formación Setenil)	Mioceno superior	Alta
Margas azules (Formación La Mina)	Mioceno superior	Baja
ZONA SUBBÉTICA		
Calizas margosas y margas	Cretácico superior	Baja
Margocalizas y calizas rosas	Cretácico inferior	Baja
Calizas nodulosas y margocalizas con silex	Jurásico (Dogger)	Media
Dolomías	Jurásico (Lías)	Alta
Arcillas, margas, yesos y areniscas	Triásico superior	Baja
CAMPO DE GIBRALATAR		
Arcillas con bloques del complejo Tectosedimentario y arcillas versicolores del la Unidad del Aljibe	Terciario, Mioceno inferior	Baja
Areniscas del Aljibe	Terciario, Mioceno inferior	Media-baja
Margas blancas y calcarenitas	Terciario, Oligoceno	Baja

LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO COMPLETO



SIMBOLOGÍA

- Lámina de agua
- Red hidrográfica
- Carreteras
- Ferrocarril
- Núcleos urbanos
- Límite superficial del acuífero
- Manantial
- Sondeo



De “Llamadme publicano”

Siempre habrá nieve altanera
que vista el monte de armiño
y agua humilde que trabaje
en la presa del molino.
Y siempre habrá un sol también
- un sol verdugo y amigo -
que trueque en llanto la nieve
y en nube el agua del río

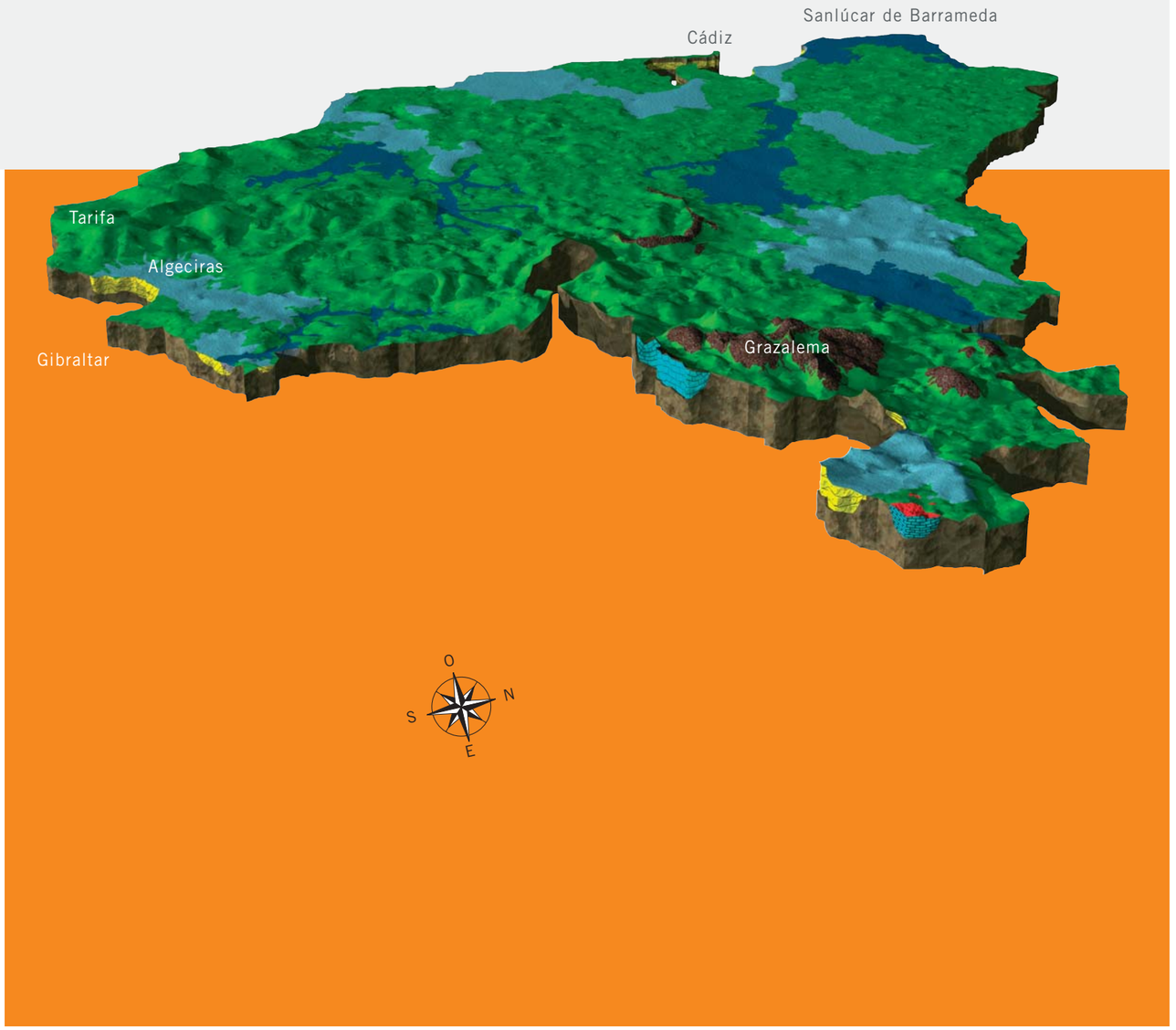
Romped,
romped todos los cuentos,
que no quiero verme
en el tiempo
ni en la tierra
ni en el agua sujeto.

León Felipe

Principales acuíferos

Sierra de Cañete

13.14



13.14.1 Situación y límites

El acuífero de la Sierra de Cañete se encuentra situado en el sector noroccidental de la provincia de Málaga, y se extiende hacia el suroeste, en una pequeña parte de la provincia de Cádiz. Desarrolla la mayor parte de su extensión superficial en la provincia de Málaga, en el término municipal de Cañete la Real, abarcando también una pequeña porción de los municipios de Almargen y Teba (en el extremo septentrional) y parte de los municipios de Ronda y Cuevas del Becerro (al sur y sureste).

El límite occidental del acuífero está ocupado parcialmente por los términos municipales de Alcalá del Valle y Setenil de las Bodegas, ya en la provincia de Cádiz. Sobre el acuífero sólo se asienta un núcleo de población importante, Cañete la Real, que cuenta con 2.152 habitantes según los datos procedentes del padrón municipal del año 2002 del Instituto Nacional de Estadística. El área se encuentra cartografiado en la hoja del Mapa Topográfico Nacional, escala 1/50.000, 1.037 Teba (15-43).

El acuífero está básicamente configurado por los relieves carbonatados de la Sierra de Cañete, Sierra del Borbollón, cerros del Mojón Gordo, Atalayón, Las Chinas, Padrastro y del Castillo, la loma de la Mata y las sierras de Mollina y de Viján. La mayor elevación de la zona se localiza en el cerro del Mojón Gordo, con 1.019 m s.n.m., el resto de los relieves no superan los 1.000 m de altitud.

Administrativamente, el acuífero se incluye en la unidad hidrogeológica 00.08 Sierra de Cañete, formando parte del grupo de unidades definidas como intercuenca en el Catálogo de unidades hidrogeológicas del territorio Peninsular e Islas Baleares (MOPU-IGME, 1988).



Panorámica de la Sierra de Mollina (6)

13.14.2 Climatología e hidrología

12.14.2.1 Climatología

El clima existente en la zona donde se sitúa el acuífero es mediterráneo subtropical. Los valores medios anuales pluvio-termométricos representativos de la zona y referidos al período 1951-1995 (ITGE-Junta de Andalucía, 2000) son los siguientes:

- Precipitación media anual: 742-596 mm.
- Temperatura media anual: 15,5 ºC.
- Evapotranspiración real: 496-456 mm.
- Lluvia útil media: 69-106 mm.

13.14.2.2 Hidrología

Desde el punto de vista hidrográfico, la Sierra de Cañete constituye la divisoria Atlántico-Mediterráneo y se localiza entre la Cuenca del Guadalquivir y la Cuenca Sur. Así, la escorrentía superficial de la vertiente oeste de la Sierra de Cañete se recoge a través del río Corbones, afluente del Guadalquivir, mientras que la vertiente este vierte hacia los ríos Almargen y Guadalteba, ambos de la Cuenca Sur.

13.14.3 Hidrogeología

13.14.3.1 Contexto geológico

En las últimas síntesis paleogeográficas de las Cordilleras Béticas, la Sierra de Cañete se ha incluido dentro del dominio Subbético Interno o Penibético. Los materiales presentes en la zona pertenecen al dominio Subbético Interno, a la Unidad de la Sierra de Cañete y a las Unidades del Campo de Gibraltar. Discordantes sobre los anteriores se disponen los materiales postorogénicos del Mioceno superior y los depósitos Cuaternarios.

En síntesis las unidades litoestratigráficas que aparecen son, de muro a techo, las siguientes:

Zona Subbética

Triásico: aflora en la base de la unidad siempre por causas tectónicas. Está constituido por un conjunto de arcillas, margas, areniscas y yesos.

Jurásico: formado por un tramo inferior dolomítico de edad liásica y un conjunto superior de calizas oolíticas, calizas nodulosas y margocalizas con silex grises e intercalaciones de radiolaritas o calizas nodulosas y brechoides, atribuible al Dogger-Malm.

Cretácico: se diferencia un Cretácico inferior, constituido por margocalizas y calizas rosadas, y un Cretácico superior formado por calizas margosas y margas de tonos rojos.

Unidades del Campo de Gibraltar

La formación fundamental dentro de este dominio está constituida por las Arcillas con Bloques del denominado Complejo Tectosedimentario del Mioceno, cuya matriz está formada por un conjunto de arcillas rojas y verdes con nódulos de azufre, yesos y niveles de limolitas ferruginizadas. Rodeando la Sierra de Cañete y siempre relacionadas con las arcillas se observan un conjunto de margas rojas y areniscas del Aljibe.



Calizas brechoides karstificadas rellenas por las arcillas de descomposición, al Este de Alcalá del Valle (6)



Materiales carbonatados jurásicos, en el extremo suroccidental de la Sierra del Borbollón (6)

Materiales postorogénicos

Mioceno superior: rodea los afloramientos de la Sierra Cañete y está constituido por un tramo basal de margas con intercalaciones de areniscas calcáreas bioclásticas y silíceas, y hacia techo predominan los niveles de areniscas calcáreas bioclásticas con intecalaciones conglomeráticas y, en algunos sectores margas.

Cuaternario: está representado en el área por los depósitos relacionados con los sistemas de laderas, formados por arcillas, arenas y cantos, entre los que se incluyen los conos de deyección, deslizamientos, coluviones y canchales; y por los depósitos de poco espesor asociados a la red fluvial, formados por arcillas, limos y gravas.

Tectónicamente, la Sierra de Cañete conforma una estructura antiforme de dirección N30ºE, en cuyo núcleo afloran materiales del Subbético interno configurando una ventana tectónica (Cruz Sanjulián, 1974). La sierra constituye un bloque incluido dentro del Complejo Tectosedimentario Mioceno del Campo de Gibraltar, formando parte de las Arcillas con Bloques (Bourgois, 1978).

13.14.3.2 Características hidrogeológicas

13.14.3.2.1 Descripión general

Litológicamente el acuífero está constituido por los materiales de la serie jurásica, denominada Unidad de la Sierra de Cañete, que comprenden un potente paquete de dolomías de unos 700 m de espesor que hacia techo pasan a calizas, calizas dolomíticas y calizas oolíticas blancas. La serie continúa con un conjunto de calizas margosas con silex que culmina con calizas nodulosas y margocalizas con intercalaciones de radiolaritas. El espesor total de esta serie, y por tanto del acuífero, puede ser del orden de 850 m.

Este conjunto se dispone tectónicamente y separado por materiales margosos sobre otro acuífero de naturaleza carbonatada (Jurásico del Subbético interno), formado por dolomías, calizas nodulosas y brechoides y calizas oolíticas, que afloran en la ventana tectónica de Cañete la Real, y cuya potencia puede alcanzar los 520 a 600 m.

La base impermeable está constituida por las arcillas y yesos del Triásico superior y por la formación Arcillas con Bloques. Los límites noroccidental y suroriental vienen definidos por las margas y margocalizas del Cretácico, de naturaleza poco permeable, y por las Arcillas con Bloques; que confinan el acuífero en algunos sectores. Al norte y sur, el acuífero está en contacto hidráulico con los materiales permeables del Mioceno postorogénico y del Cuaternario.

La superficie acuífera aflorante de materiales carbonatados del Jurásico es de 53,81 km^2, de los cuales 42,29 km^2 corresponden a dolomías (Lías inferior); 8,31 km^2 a materiales fundamentalmente calcáreos (Lías superior) y 3,21 km^2 a materiales calizos con intercalaciones margosas. La extensión de materiales detríticos postorogénicos y cuaternarios directamente conectados con el jurásico es de 3,65 y 3,33 km^2 respectivamente.

13.14.3.2.2 Parámetros hidrogeológicos

En los materiales jurásicos el coeficiente de almacenamiento puede estimarse en 1 o 2%, mientras que en las zonas próximas a las surgencias se ha valorado entre 4 y 8%. Los valores de transmisividad en estas últimas zonas oscilan entre 500 m^2/día a más de 10.000 m^2/día.

13.14.3.2.3 Funcionamiento hidrodinámico. Piezometría

Se trata de dos acuíferos independientes, permeables por fisuración y karstificación, separados por una formación margosa, donde la recarga se realiza fundamentalmente por la infiltración de agua de lluvia, pudiendo existir algún aporte termal profundo. La descarga natural se produce a través de manantiales.

La unidad carbonatada superior descarga por los manantiales del Ojo de la Laguna, Cortijo Grande y El Pleito en el borde occidental y por el extremo norte de la Sierra a través de los manantiales de Majabea, Majaborrego y Almirón. En el borde oriental se sitúan numerosos manantiales de pequeño caudal entre los que destacan Fuentepeones, Valparaiso y Fuencaliente, éste último de carácter termal. La circulación subterránea se realiza en su mayor parte hacia el Norte, hacia los depósitos cuaternarios de origen fluvial próximos a Almargen en los que se localizan algunas captaciones. Parte de ese flujo se debe dirigir hacia el Sur a alimentar el acuífero detrítico del Mioceno de Ronda.

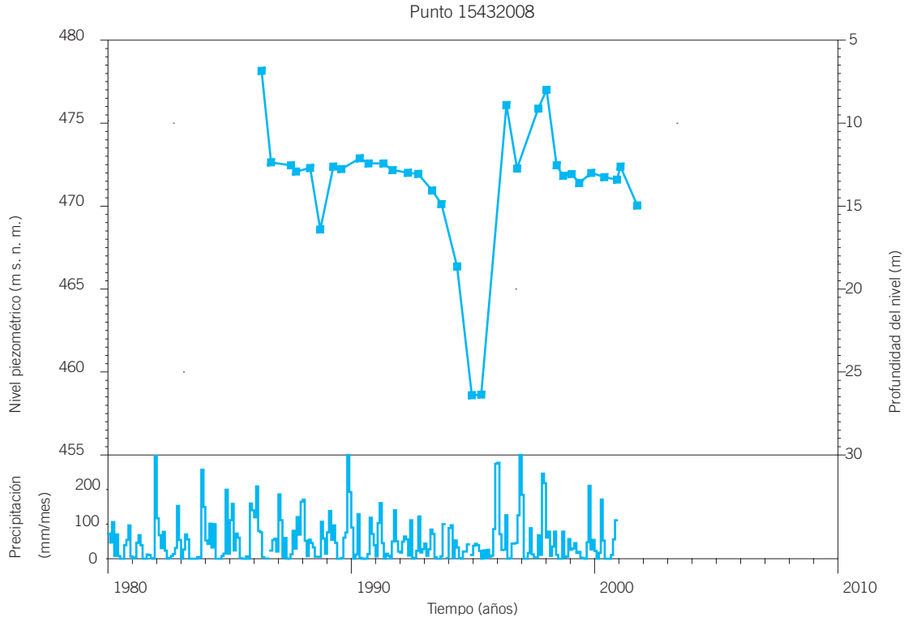
La formación carbonatada inferior, aflorante en Cañete La Real, es drenada por varios manantiales de escaso caudal entre los que destaca el de El Berrillo, no existiendo captaciones que la exploten.

Principales manantiales

Nº Red Hidrometría	Coordenadas UTM (Huso 30S)			Caudal medio anual (L/s)	Nombre
	x	y	z		
1543-2-0005	314220	4090887	670	36,29	Ojo de la Laguna
1543-2-0011	314492	4090360	680	13,70	Cortijogrande
1543-2-0007	314088	4089763	670	8.55	El Pleito
1543-2-0001	318128	4096337	530	29,95	Majabea
1543-2-0002	319453	4096279	520	13,59	Majaborrego
1543-3-0002	320759	4096213	600	5,06	Almirón
1543-6-0002	318222	4087263	670	6,42	Fuentepeones
1543-3-0009	320470	4091048	600	< 10	Valparaiso
1543-2-0012	319542	4090579	680	1,75	Fuencaliente
1543-2-0006	318789	4090084	720	2-20	El Berrillo

El nivel piezométrico viene impuesto por las cotas de las surgencias, que indican que debe existir una sectorización del acuífero superior dada la variación observada, además existe información de tres sondeos que se sitúan en las inmediaciones de las captaciones de abastecimiento al El Saucejo, al norte del acuífero.

Evolución del nivel piezométrico en el acuífero de la Sierra de Cañete, sector norte



Puntos disponibles con información piezométrica

Nº Piezómetro	Coordenadas UTM (Huso 30S)			Prof. (m)	Naturaleza	Toponimia
	x	y	z			
1543-2-0008	319630	4096648	485	59.50	Sondeo	-
1543-2-0009	317891	4095102	690	254.60	Sondeo	Aº Saucedilla
1543-2-0010	319770	40966203	515	201.00	Sondeo	Cjo. Cabreriza

Los gráficos de evolución muestran que el nivel piezométrico en este sector presenta una tendencia estable, con variaciones estacionales del orden de 3 a 10 m hasta el año 1993, momento en que se acusa un descenso brusco por efecto del período de sequía de 1992/95. Posteriormente, con el aumento de la precipitación, los niveles se recuperan rápidamente, mostrandose en el año 2001 niveles del mismo orden que los medidos inicialmente en los años ochenta.

Las reservas hídricas del acuífero han sido evaluadas recientemente en 108 hm^3 (CHG-IGME, 2000-2001), considerando una potencia media saturada de 100 m, una superficie de 54 km^2 y un coeficiente de almacenamiento de $2x10^{-2}$. Estos cálculos deben entenderse como aproximados ya que la información relativa a los espesores de los materiales permeables es escasa.

13.14.4 Hidroquímica

13.14.4.1 Calidad química y composición natural

Las aguas subterráneas de la Sierra de Cañete presentan una facies química dominante bicarbonatada-sulfatada cálcica-magnésica, de dureza elevada y mineralización débil, siendo la conductividad eléctrica media del orden de 600 µS/cm.

Se dispone de información de tres puntos de agua situados al norte del acuífero. Los análisis químicos existentes en esta red, realizados entre el año 1980 y el 2001, muestran un contenido medio en cloruros bajo, del orden de 25 mg/L, mientras que la concentración media de bicarbonatos y sulfatos ronda los 250 mg/L y 100 mg/L respectivamente. Destaca la baja concentración de nitratos que presentan un valor medio de 10 mg/L.

La concentración de calcio, magnesio y sodio es normal para la mineralización y facies que presentan éstas aguas, siendo el contenido promedio de 60, 30 y 6 mg/L respectivamente.

Desde el punto de vista de su aptitud para abastecimiento urbano, las aguas presentan una buena calidad química y son aptas para consumo humano, no superando los límites de potabilidad establecidos en la legislación vigente en ninguno de los parámetros analizados.

13.14.4.2 Contaminación y vulnerabilidad

Los materiales acuíferos definidos por las calizas del jurásico presentan una vulnerabilidad a la contaminación alta, mientras que en los depósitos detríticos asociados puede considerarse como media.

La principal amenaza de contaminación de las aguas es el aumento de nitratos de origen agrario. Aunque las concentraciones medidas de este ión son bajas, cabe destacar la existencia de numerosas granjas porcinas situadas cercanas a los abastecimientos, que podrían ser responsables de un deterioro paulatino de la calidad de las aguas en un futuro.

Puntos disponibles con información de calidad

Nº Red Calidad	Coordenadas UTM (Huso 30S)			Prof. (m)	Naturaleza	Nombre
	x	y	z			
1543-2-0002	319453	4096279	520	-	Manantial	Majaborrego
1543-2-0003	318926	4095982	640	100	Sondeo	Saucedilla (Abto. El Saucejo)
1543-2-0004	319125	4095906	640	100	Sondeo	Rocío (Abto. El Saucejo)



Calizas dolomíticas tableadas, al noreste de Alcalá del Valle (6)

13.14.5 Explotación y balance

13.14.5.1 Entradas

La recarga natural del sistema se realiza a través de la infiltración del agua de lluvia, que supone un volumen medio anual de 12,73 hm³, valor obtenido para el periodo 1946-1995 (ITGE-Junta de Andalucía, 2000).

13.14.5.2 Salidas

El volumen estimado que drenan los principales manantiales reflejados en el cuadro, junto con el que arrojan otros manantiales de menor caudal inventariados durante el año 2000 (IGME-Junta de Andalucía, 2000), resulta del orden de 4,5 hm³/año.

Del acuífero se abastecen, por medio de sondeos, los núcleos de población de Almargen, El Saucejo, Teba y Cañete la Real, siendo el volumen anual captado de 2 hm³ (CHG-IGME, 2000-2001); y a través de manantiales se abastecen Campillos, La Atalaya y Cañete la Real cuyo volumen, a efectos del balance queda incluido en la descarga a favor de manantiales. Por otro lado, las extracciones de aguas subterráneas mediante sondeos para regadío se cifran del orden de 0,5 hm³/año (CHG-IGME, 2000-2001).

En función de estos datos, el balance en el acuífero para el año 2001 es el siguiente:

Entradas	hm³/a
Recarga Infiltración agua de lluvia	13,0
Total	**13,0**
Salidas	hm³/a
Manatiales	4,5
Bombeos para abastecimiento	2,0
Bombeos para uso agrícola y otros:	0,5
Descarga oculta al acuífero de Setenil-Ronda	3,5
Descarga oculta al norte y noroeste	2,5
Total	**13,0**

13.14.6 Problemática existente y pautas de gestión

Se trata de un acuífero estructuralmente muy complejo debido a la intensa tectónica que le afecta por lo que sería recomendable profundizar en su geometría y en su relación con el acuífero de Setenil-Ronda, con el que limita al SO, ya que buena parte de sus recursos fluyen subterráneamente hacia él. Esta relación lleva a pensar que la gestión de ambos acuíferos debería realizarse de forma conjunta.

Por otro lado el acuífero de la Sierra de Cañete, aunque una parte considerable del mismo carece de información hidroquímica (sería recomendable realizar su caracterización hidroquímica), presenta aguas de muy buena calidad química para el abastecimiento urbano por lo resulta importante realizar un control analítico periódico de la calidad de éstas aguas y establecer perímetros de protección de las actuales y futuras captaciones para consumo humano, ya que aunque las concentraciones de nitratos son bajas, existen puntos potencialmente contaminantes que podrían ser responsables de un deterioro paulatino de la calidad de las aguas del acuífero.



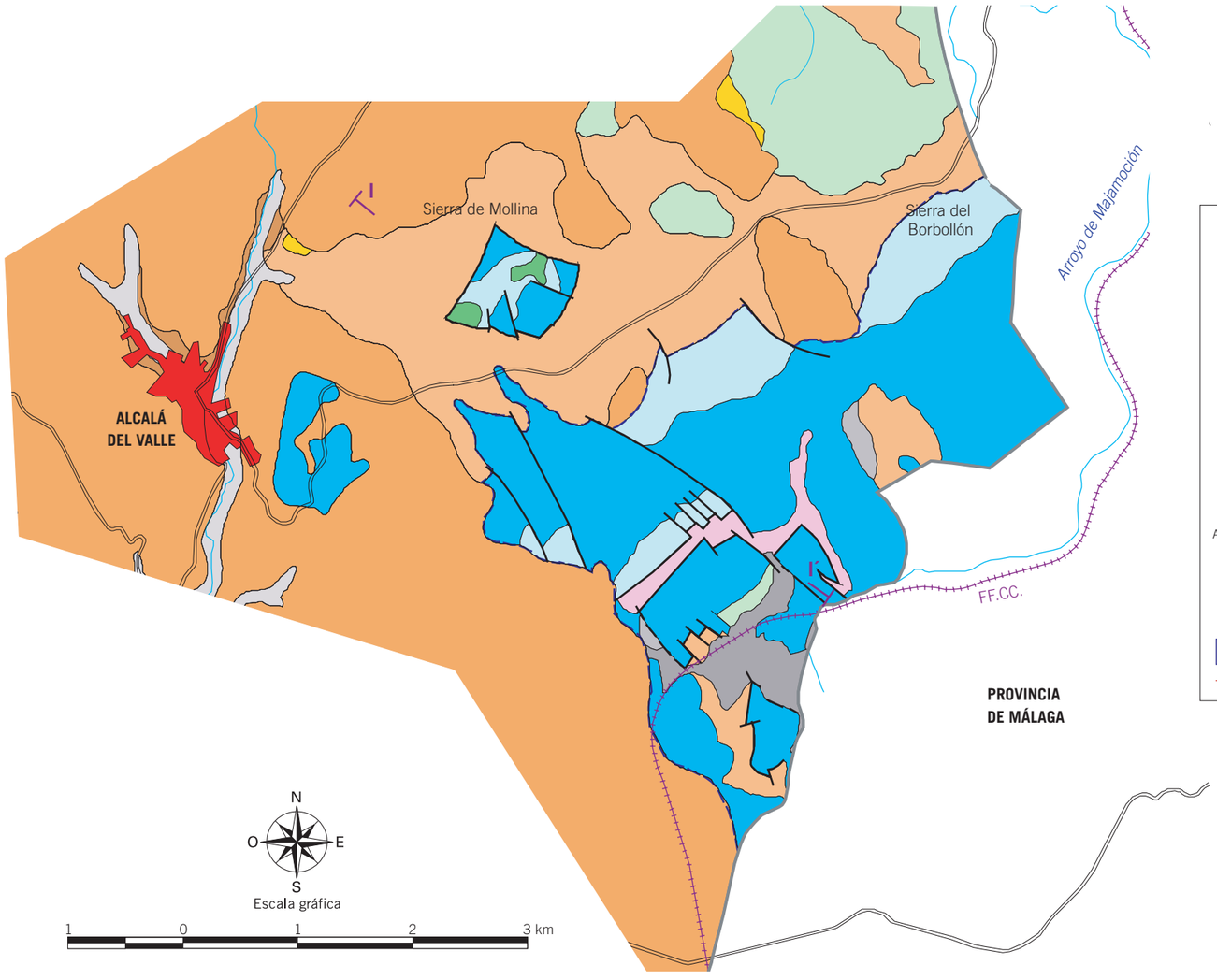
Lapiaz en calizas dolomíticas. Cortijo de los Preciados, en el borde suroccidental de la Sierra de Cañete (6)

SITUACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA PROVINCIA

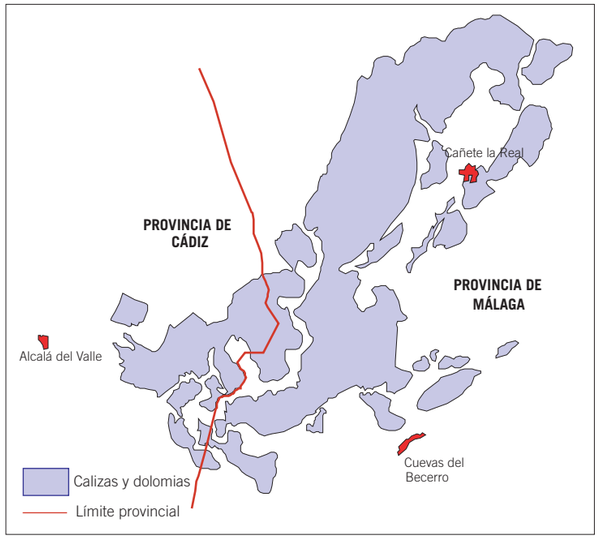


LEYENDA

LITOLOGíA	EDAD GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD
MATERIALES POSTMANTO		
Arenas, arcillas y cantos (depósitos de ladera)	Cuaternario	Media
Arenas, arcillas y gravas (depósitos fluviales)	Cuaternario	Alta
Calcarenitas, conglomerados y margas	Mioceno superior	Alta
Margas con intercalaciones de calcarenitas	Mioceno superior	Baja
ZONA SUBBÉTICA		
Calizas margosas y margas	Cretácico superior	Baja
Margocalizas y calizas rosas	Cretácico inferior	Baja
Calizas oolíticas, calizas nodulosas y margocalizas con sílex	Jurásico (Dogger)	Media
Dolomías	Jurásico (Lías)	Alta
Arcillas, margas, yesos y areniscas	Triásico superior	Baja
CAMPO DE GIBRALTAR		
Arcillas con bloques del Complejo Tectosedimentario	Terciario, Mioceno inferior	Baja
Areniscas del Aljibe	Terciario, Mioceno inferior	Media-baja



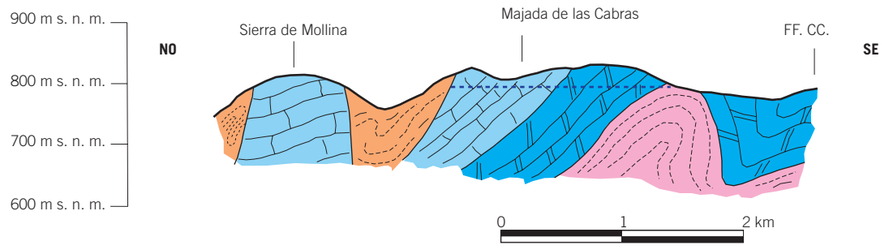
LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO COMPLETO



SIMBOLOGíA

- Lámina de agua
- Red hidrográfica
- Carreteras
- Ferrocarril
- Núcleos urbanos
- Límite superficial del acuífero
- I - I' Localización del corte hidrogeológico
- Falla
- Nivel piezométrico

CORTE I - I



Principales acuíferos

Campo de Gibraltar

13.15

Javier Gollonet Fernández de Trespalacios
Alfonso Rodríguez Pastor
Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz



13.15.1 Situación y límites

En el denominado Acuíferos del Campo de Gibraltar se incluyen un conjunto de acuíferos de una cierta entidad situados al sur y sureste de la provincia de Cádiz y dentro de los límites de la comarca natural del mismo nombre.

La Comarca del Campo de Gibraltar, situada en el extremo más meridional de la Península Ibérica, tiene una extensión de 1.512 km^2 lo que representa una quinta parte de la superficie de la provincia. Se incluyen en esta comarca los municipios de Algeciras, Castellar de la Frontera, Jimena de la Frontera, La Línea de la Concepción, Los Barrios, San Roque y Tarifa. La población del área supera los 240.000 habitantes de los que cerca del 90 % se concentran en la Bahía de Algeciras, donde destacan los núcleos de Algeciras, con 107.584 habitantes y La Línea con 60.304, según datos del Instituto Nacional de Estadística en 2003.

Dentro de las Unidades Fisiográficas definidas en la provincia, en la Comarca del Campo de Gibraltar se diferencian las subunidades de las Sierras del Aljibe y Campo de Gibraltar que la recorren de norte a sur en su mitad oeste, la Campiña del Campo de Gibraltar que ocupa su mitad este y las Vegas y Valles Fluviales de Palmones-Guadarranque y Guadiaro-Hozgarganta así como parte de la de Barbate-La Janda.

Los límites geográficos vienen definidos por los mencionados términos municipales y son, al sur y sureste, el mar Mediterráneo hasta Tarifa; al suroeste, el océano Atlántico desde Tarifa hasta Zahara de los Atunes; al norte y noreste, la provincia de Málaga y, al noroeste, otros municipios de la provincia de Cádiz como Medina Sidonia, Vejer de la Frontera, Alcalá de los Gazules y Barbate. Este último límite coincide en algunos sectores con la divisoria de las vertientes Atlántica y Mediterránea.

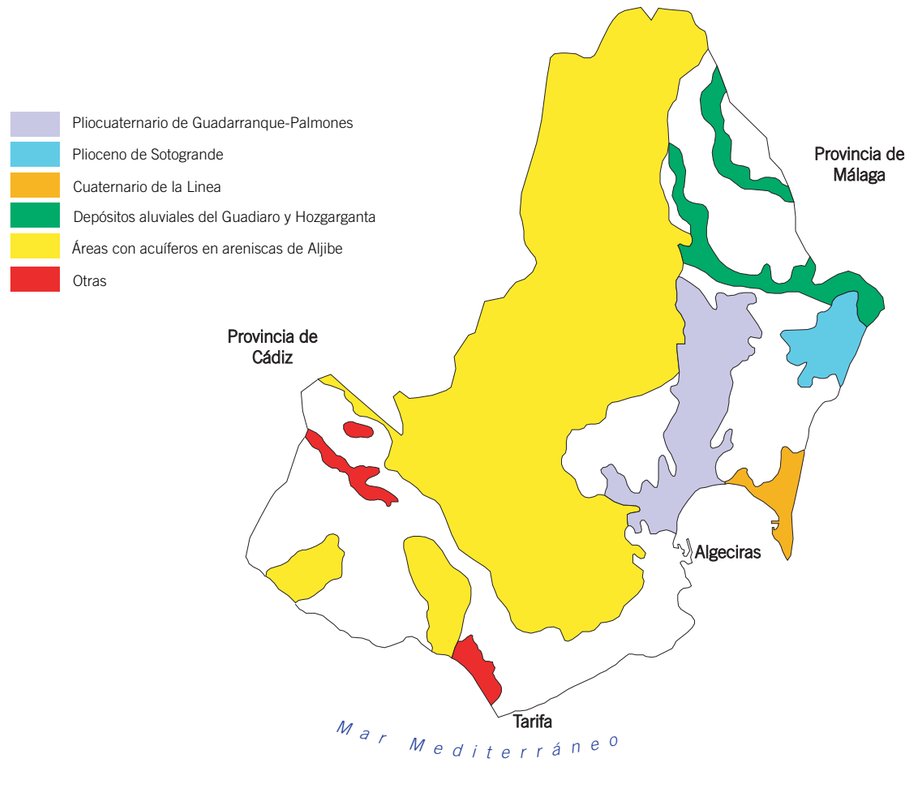
Los acuíferos que se localizan en la comarca son los siguientes:

- Acuífero Plioceno de Guadarranque-Palmones, situado aproximadamente entre las localidades de Algeciras, Los Barrios y la cabecera del río Guadarranque.
- Acuífero Plioceno de Sotogrande, situado al sureste de Sierra Almenara y en ambas márgenes del río Guadiaro junto a su desembocadura.
- Acuífero Cuaternario de La Línea, que ocupa el istmo que une el Peñón de Gibraltar a la Península Ibérica.
- Acuífero Aluvial del Guadiaro y Hozgarganta, sobre los aluviales de los mencionados ríos.
- Acuíferos de las Areniscas del Aljibe que son un conjunto de pequeños acuíferos aislados con una amplia distribución en la comarca y que se extienden más allá de sus límites y en menor medida en la vecina provincia de Málaga.

Administrativamente, estos acuíferos se incluían en las unidades hidrogeológicas 06.47 Guadiaro-Hozgarganta, 06.48 Plioceno de Sotogrande, 06.49 Guadarranque-Palmones y 06.50 La Línea según el Catálogo Oficial de unidades hidrogeológicas del territorio Peninsular e Islas Baleares (MOPU-IGME, 1988). Actualmente se encuentran en revisión por el Organismo de Cuenca. Las Areniscas del Aljibe no están incluídas en ninguna unidad hidrogeológica.

Estos acuíferos se encuentran situados principalmente dentro de las hojas del Mapa Topográfico Nacional, a escala 1/50.000, de Jimena de la Frontera (1.071), Tahivilla (1074), San Roque (1.075), Tarifa (1.077) y La Línea (1.078).

Esquema de acuíferos del Campo del Gibraltar





Panorámica de Jimena de la Frontera (1)

13.15.2 Climatología e hidrología

13.15.2.1 Climatología

El área presenta un clima mediterráneo subtropical en la parte sureste y este, mediterráneo oceánico en la suroeste y mediterráneo semi-continental en el resto.

Los datos pluvio-termométricos y de evapotranspiración potencial representativos de la zona y correspondientes al período 1961-1981 son los siguientes:

- Precipitación media anual: 700-1.500 mm
- Temperatura media anual: 17 ºC
- Evapotranspiración potencial anual: 845 mm

La lluvia útil media anual estimada para el periodo oscila entre 239 mm para la zona suroeste y 1.000 mm para las elevaciones importantes situadas al norte.

13.15.2.2 Hidrología

El Campo de Gibraltar se sitúa entre las cuencas hidrográficas del Sur (actualmente Demarcación Mediterránea Andaluza) y del Guadalquivir, concretamente en el sector Guadalete-Barbate.

Los ríos principales dentro de la Demarcación Mediterránea Andaluza son el Guadarranque, el Palmones y el Guadiaro, con su afluente el Hozgarganta. En cuanto a la Cuenca del Guadalquivir, destacan el río Almodóvar y un corto tramo del río Alberite, ambos afluentes del río Barbate.

En cuanto a regulación superficial, existen tres embalses: el de Guadarranque, en el río del mismo nombre y con una capacidad de 78 hm^3, el de Charco Redondo con 73 hm^3 en el río Palmones y el de Almodóvar que embalsa dicho río y tiene 6 hm^3 de capacidad.

13.15.3 Hidrogeología

13.5.3.1 Contexto geológico

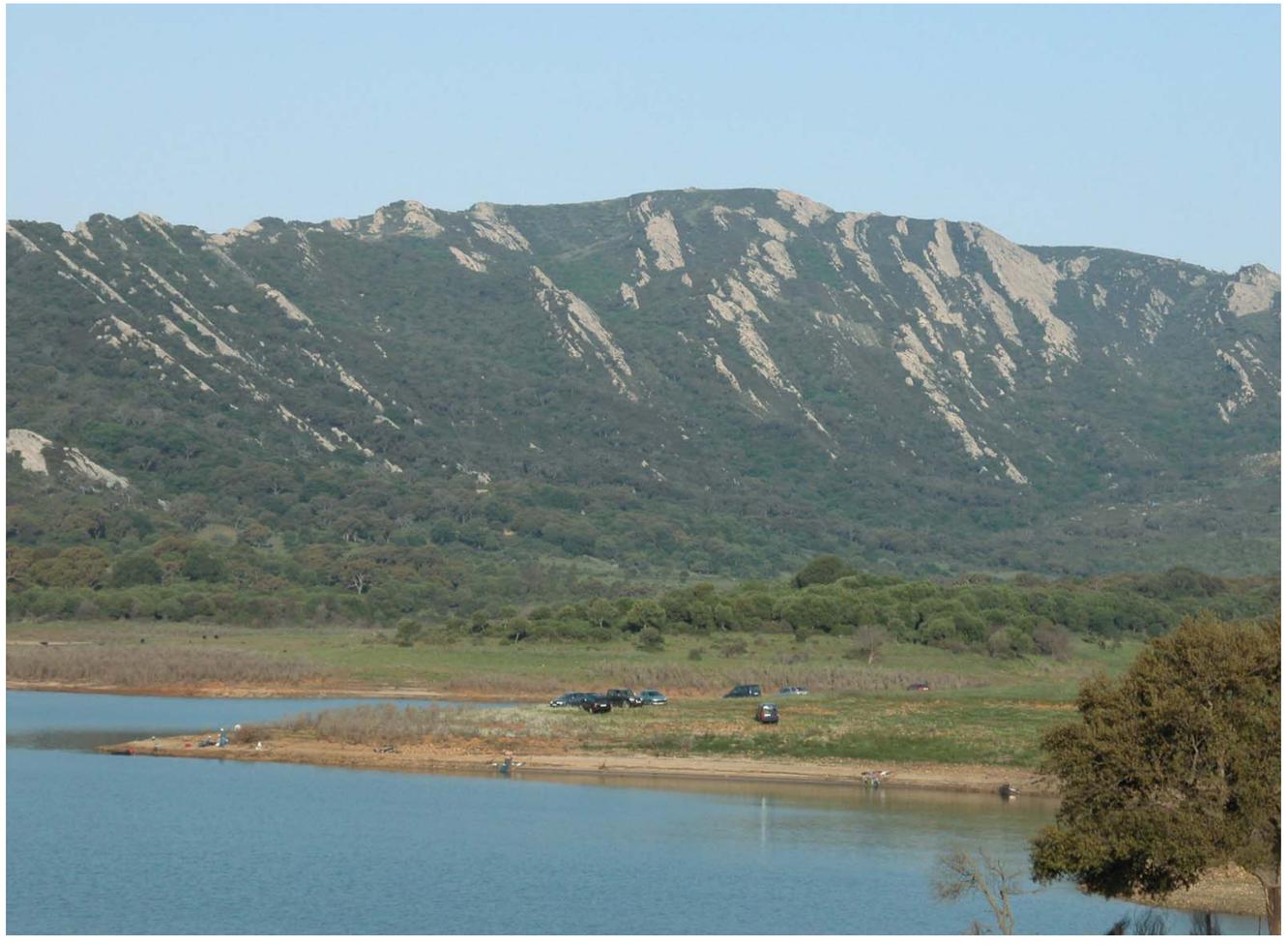
La región se localiza en el extremo occidental de las Cordilleras Béticas. Dentro de los grandes dominios tecto-paleogeográficos en los que se estructuran tradicionalmente dichas cordilleras (las conocidas Zonas Externas, Zonas Internas y el Complejo del Campo de Gibraltar, situado entre ambas) los acuíferos de la Comarca del Campo de Gibraltar se localizan principalmente dentro de esta última y en los materiales postorogénicos que son los depositados después de las principales fases de plegamiento de la Orogenia Alpina.

Materiales preorogénicos. Complejo del Campo de Gibraltar

Está formado principalmente por rocas de naturaleza arcilloso-margosa y alternancias de areniscas y arcillas tipo flysch junto con calizas con "Microcodium", calizas arenosas y biocalcarenitas del Paleoceno-Eoceno inferior. Las unidades que componen el Complejo constituyen un apilamiento de mantos de corrimiento cuyo emplazamiento tuvo lugar por tectónica gravitacional. Se diferencian tres unidades denominadas Unidad Algeciras, Unidad Intermedia y Unidad del Aljibe, esta última considerada la más elevada del edificio estructural.

Materiales postorogénicos

Están constituidos por materiales detríticos de edad Plioceno y Cuaternario. Los primeros son principalmente arenas finas, margas arenosas, niveles de calizas arenosas y conglomerados que rellenan relieves preexistentes alcanzando su mayor desarrollo en dos antiguas penetraciones del mar a lo largo de los ríos Guadarranque-Palmones y Guadiaro. Los depósitos cuaternarios constituyen el recubrimiento más superficial de la zona y están formados por materiales detríticos de granulometría variable (arcillas, limos, arenas y gravas) generalmente sin cementar. Entre ellos cabe diferenciar depósitos de ladera, fluviales y eólicos.



Embalse de Charco Redondo. Al fondo, Sierra Blanquilla, formada por areniscas del Aljibe (6)

13.15.3.2 Características hidrogeológicas

Entre los materiales anteriormente descritos, pueden considerarse acuíferos los detríticos, en mayor o menor grado permeables, del Plioceno y Cuaternario de los aluviales de los principales ríos de la zona y las areniscas de las facies flysch (Areniscas del Aljibe) que tienen también cierto interés desde el punto de vista hidrogeológico aunque en su conjunto presentan un comportamiento semipermeable. Por el contrario, el resto de los materiales del Complejo del Campo de Gibraltar, con predominio de formaciones arcillosas, se comportan como impermeables.

El esquema hidrogeológico de la zona se compone, por consiguiente, de un substrato impermeable formado por los materiales arcillosos de las principales formaciones de la zona (Algeciras, Benaiza y otras) sobre el que se disponen, por una parte, numerosos acuíferos aislados de baja permeabilidad (Areniscas del Aljibe) y, por otra, diversos acuíferos formados por materiales postorogénicos.

13.15.3.2.1 Descripción general

Acuífero Pliocuaternario de Guadarranque-Palmones

Lo constituyen los depósitos del Plioceno y Cuaternario que se extienden por la margen izquierda del río Guadarranque y en la cuenca baja de este y del río Palmones ya en las proximidades de su desembocadura en la Bahía de Algeciras. Ambos conjuntos de materiales podrían considerarse como acuíferos independientes por sus características particulares si bien su estrecha relación hidráulica permite considerarlos como un solo acuífero.

Los depósitos pliocenos constituyen el relleno de una cubeta aislada en sus bordes y en profundidad por materiales impermeables. Su extensión superficial es de 105 km^2.

Litológicamente, el horizonte acuífero plioceno está compuesto esencialmente por arenas, biocalcarenitas y conglomerados heterogéneamente distribuidos espacial y verticalmente cuyo espesor oscila entre unos metros en los bordes y más de 125 m.



Río Guadiaro en Sotogrande (6)

El acuífero cuaternario, con una extensión de 30 km^2, está constituido por arenas, limos, arcillas y gravas en los depósitos aluviales de los ríos Guadarranque y Palmones, y arenas en la franja litoral. Descansa sobre las arenas pliocenas o directamente sobre el impermeable de base, estando en contacto por el SE con el mar a lo largo de más de 4,5 km. Su espesor no sobrepasa los 20 m y debe ser en general inferior a 5 o 10 m.

En cuanto a su comportamiento hidrogeológico, la intercalación de niveles permeables e impermeables hace que el acuífero en su conjunto se comporte como multicapa con efectos de drenaje diferido.

Acuífero Plioceno de Sotogrande

Se denomina así al afloramiento de materiales pliocenos existente en la desembocadura del río Guadiaro, gran parte del cual queda dentro del Complejo Turístico de Sotogrande.

El acuífero está constituido por arenas y areniscas pliocenas y ocupa una extensión de 33,5 km^2. Geométricamente forma una cubeta sellada en sus bordes y en profundidad por materiales impermeables de las Unidades del Campo de Gibraltar.

El espesor del horizonte acuífero aumenta desde los bordes al centro, habiéndose atravesado hasta 65 m en sondeos de explotación. Su espesor máximo no debe alcanzar los 80 o 90 m siendo en general, inferior a 40 m.

Es atravesado de NO a SE por el río Guadiaro, cuyo aluvial se asienta asimismo sobre las arenas pliocenas, teniéndose constancia por sondeos de la posibilidad de continuidad de estas bajo el aluvial, y hacia la costa se le superponen arenas de depósitos litorales cuaternarios, estas últimas en contacto con el mar.

Acuífero Cuaternario de La Línea

Se extiende desde las inmediaciones de La Línea de la Concepción y Campamento hasta el Peñón de Gibraltar, ocupando prácticamente la llanura costera existente entre Sierra Carbonera y el Peñón.

El Cuaternario de La Línea tiene una extensión de unos 10 km^2 de los que cuatro están ocupados por los núcleos de La Línea y Campamento. Tiene una forma trapezoidal y limita al N con materiales impermeables de las Unidades del Campo de Gibraltar (Formaciones Areniscas del Aljibe y Algeciras), al E con el mar mediterráneo, al O con la Bahía de Algeciras y hacia el S con la elevación del Peñón.

El horizonte acuífero está constituido por arenas de granulometría media-fina muy homogéneas con intercalaciones con cemento calcáreo y pertenecientes a depósitos litorales. Su espesor no se ha podido determinar mediante sondeos aunque no debe sobrepasar los 20 m (IGME, 1982).

Acuífero Aluvial del Guadiaro y Hozgarganta

Está localizado al NE de la Comarca del Campo de Gibraltar, siendo el acuífero situado más al N de los descritos en este capítulo. Se incluyen en él conjuntamente los depósitos aluviales recientes y, en algunas zonas, antiguas terrazas aluviales, que ocupan las estrechas vegas de los ríos Guadiaro y su afluente el Hozgarganta dentro de la provincia de Cádiz y del río Genal en la de Málaga.

El horizonte acuífero está constituido por arenas, limos, arcillas y niveles de grava a veces de varios metros de espesor. La superficie de ambos aluviales es de 40 km^2, parcialmente fuera del Campo de Gibraltar, y de la provincia de Cádiz, en el caso del río Guadiaro. Los límites impermeables, así como el impermeable de base, los constituyen los materiales arcillosos de las Unidades del Campo de Gibraltar (Formación Algeciras).

La anchura de estos depósitos aluviales es muy variable a lo largo de su recorrido aunque en ningún caso es superior a 2.000 m y generalmente no supera los 600 m. El espesor es asimismo muy variable y aumenta hacia la desembocadura. En el caso del río Guadiaro varía de 2,5 m en San Pablo de Buceite a probablemente más de 50 m en San Enrique de Guadiaro (desembocadura). El aluvial del Hozgarganta presenta espesores de hasta 40 o 50 m en la desembocadura aunque en general son inferiores a 10 m.

Acuíferos de las Areniscas del Aljibe

La Unidad del Aljibe es la más elevada del edificio estructural que componen las Unidades del Campo de Gibraltar.

En la provincia de Cádiz, su superficie de afloramiento es de 1.162 km^2. En el Campo de Gibraltar se extiende sobre una superficie de 538 km^2, que supone del orden del 40% de la superficie comarcal, y su predominio es casi absoluto para altitudes superiores a 200 m s.n.m. Se diferencian una "Serie de base", margo-arcillosa, de gran variedad lateral y una formación superior, las "Areniscas del Aljibe", caracterizadas por una alternancia de gruesos bancos de areniscas constituidas mayoritariamente por cuarzo (75 a 99%), feldespatos y fragmentos de otras rocas, con arcillas y limos pudiendo alcanzar los 1.000 m de espesor. Su edad se atribuye al Mioceno inferior.

Las Areniscas del Aljibe constituyen acuíferos de permeabilidad mixta por porosidad intergranular y fracturación, baja en ambos casos, compartimentados en numerosos sectores con comportamiento independiente y delimitados por los límites geológicos de sus afloramientos.

El impermeable de base está constituido por la propia serie de base de la Unidad del Aljibe en la mayor parte de los casos o por materiales arcillosos de las diversas unidades del Campo de Gibraltar.



Detalle de las areniscas del Aljibe, en Castellar de la Frontera (6)

13.15.3.2.2 Parámetros hidrogeológicos

En el acuífero Pliocuaternario de Guadarranque-Palmones los parámetros hidráulicos oscilan entre 10^{-3} y 2 x 10^{-5} m^2/s para la transmisividad y entre 3 x 10^{-4} y 5 x 10^{-4} para el coeficiente de almacenamiento. Los caudales de los sondeos generalmente son próximos a 10 o 15 L/s, con máximos de 30 L/s.

Parámetros hidráulicos del acuífero plioceno Guadarranque-Palmones

Acuífero	Sondeo Nº	Transmisividad (m^2/s)	Coeficiente de almacenamiento	Año
Plioceno	1447-2-0001	1,85 x 10^{-5}	-	1982
Plioceno	1447-2-0002	2,3 x 10^{-3}	-	1982
Plioceno	1447-2-0003	2,3 x 10^{-3}	-	1982
Plioceno	1447-2-0005	6,9 x 10^{-4}	-	1982
Plioceno	1447-6-0080	1,39 x 10^{-4}	-	1982
Plioceno	1448-1-0001	1 x 10^{-3}	-	1983
Plioceno	1448-1-0002	8,3 x 10^{-4}	3 - 5 x 10^{-4} (*)	1983

(*): Calculado usando como piezómetro el sondeo 1448-1-0001

En el acuífero Plioceno de Sotogrande no se dispone de datos referentes a ensayos de bombeo aunque se puede estimar una transmisividad comprendida entre 10^{-2} y 10^{-3} m^2/s y una porosidad eficaz del 2 y 4% o ligeramente superior (IGME, 1982). Los sondeos existentes pueden proporcionar caudales de hasta 30 L/s (punto 1447-3-0040) aunque la mayoría son inferiores a 20 L/s.

Las transmisividades en el acuífero Cuaternario de La Línea son muy bajas, entre 10^{-3} y 10^{-4} m^2/s (ITGE 1998). Los caudales de los pozos, aunque de poca profundidad, llegan hasta los 10 L/s aunque generalmente son inferiores a 5 L/s (IGME, 1982).

En el acuífero Aluvial del Guadiaro y Hozgarganta las transmisividades son del orden de 10^{-3} y 10^{-4} m^2/s (ITGE 1998). Los caudales de los pozos y sondeos llegan hasta los 30 o 40 L/s existiendo pozos Fehlmann con caudales de hasta 50 L/s para descensos inferiores a 1 m (IGME, 1982).

Las Areniscas del Aljibe presentan valores de permeabilidad, obtenidos en sondeos geotécnicos, de entre 1,55 x 10^{-7} y 7,3 x 10^{-7} m/s, valores realmente bajos, propios ya de materiales impermeables, si bien a escala de afloramientos deben presentar valores algo superiores, especialmente en zonas con mayor fracturación.

Pliocuaternario de Guadarranque-Palmones

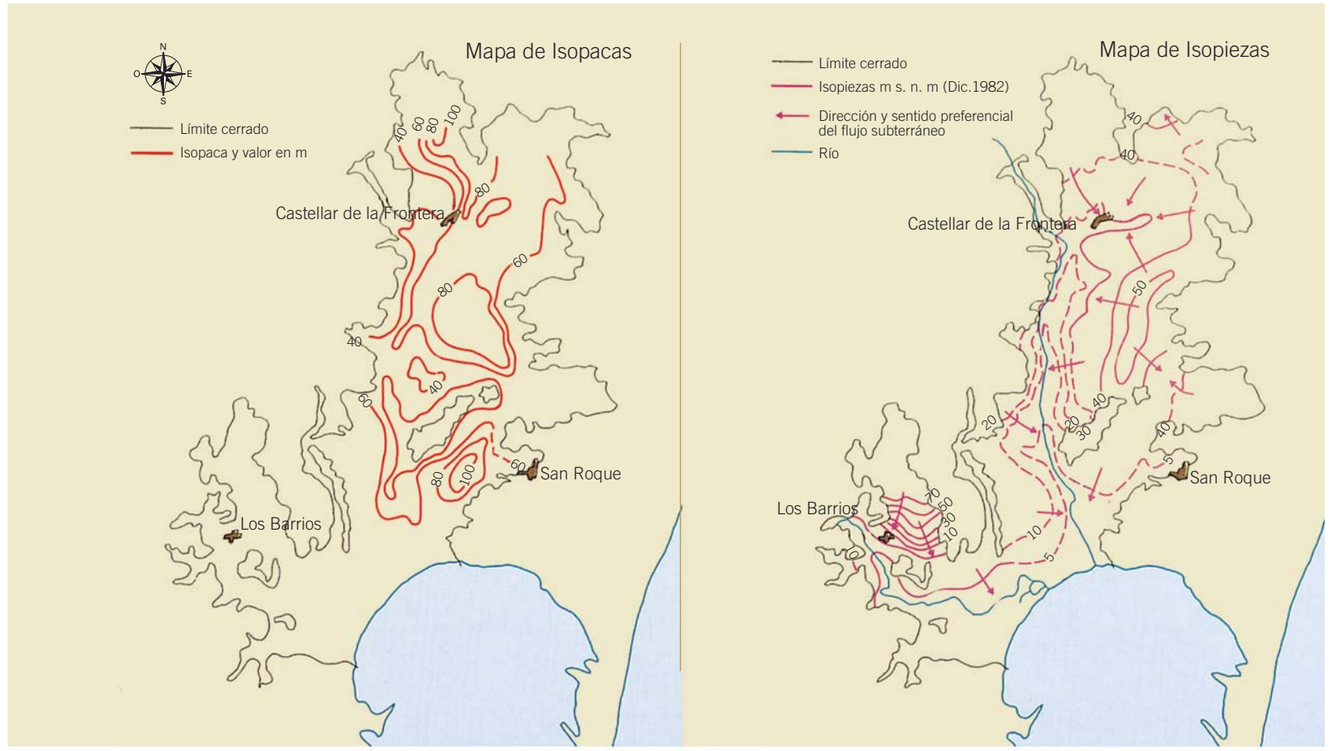
13.15.3.2.3 Funcionamiento hidrodinámico. Piezometría

Acuífero Pliocuaternario de Guadarranque-Palmones

La alimentación del sistema se produce por infiltración de la lluvia sobre los afloramientos permeables, de la escorrentía procedente de los materiales impermeables del borde y de parte del agua utilizada para riego. La descarga se realiza por extracción mediante bombeos para abastecimiento y regadío y de forma natural por drenaje superficial a través de los ríos y arroyos así como por drenaje subterráneo al mar, a lo largo de una zona de contacto de unos 4,5 km de largo.

La profundidad hasta el agua no supera los 70 m y en la mayor parte del acuífero no supera los 20 m. En los depósitos aluviales y litorales es generalmente inferior a 5 m.

La superficie piezométrica se adapta, a grandes rasgos, a la topografía, y se sitúa a cotas comprendidas entre 100 y 0 m s.n.m., por lo que las direcciones del flujo subterráneo coinciden con las líneas de máxima pendiente topográfica en las distintas zonas. Además, los ríos y arroyos, especialmente el Guadarranque, actúan como drenajes del acuífero. El gradiente hidráulico oscila entre el 1 y el 4%.





Aluvial del Guadiaro, en San Enrique (6)

Acuífero Plioceno de Sotogrande

El sistema se alimenta por infiltración de la lluvia sobre sus afloramientos permeables y de la infiltración de la escorrentía procedente de los materiales impermeables de borde. La descarga tiene lugar por drenaje superficial de los arroyos La Morra, Guadalquitón y el río Guadiaro y por drenaje subterráneo al mar a lo largo de un frente de 5 km.

La profundidad del agua es siempre inferior a 10 m y la superficie piezométrica debe oscilar entre 80 y 0 m s.n.m. desde los bordes hasta la costa en función de la topografía. El espesor saturado está comprendido entre 0 y 70 a 80 m con una media de 30 m.

La dirección del flujo es esencialmente NO-SE, dirigida hacia el mar o hacia los principales ejes de drenaje que son los arroyos La Morra y Guadalquitón y el río Guadiaro. El gradiente hidráulico puede variar entre el 1 y el 4%.

Acuífero Cuaternario de La Línea

La alimentación del acuífero tiene lugar por infiltración del agua de lluvia sobre los materiales permeables, la infiltración de la escorrrentía procedente de los materiales de borde impermeables y por una fracción del agua aplicada para riego sobre los materiales acuíferos. La descarga del sistema se realiza exclusivamente por drenaje subterráneo al mar y por extracción mediante bombeos.

La profundidad del agua es siempre inferior a 8 m y está comprendida entre 2 y 4 m en la mayoría de los pozos existentes. La superficie piezométrica se puede considerar comprendida entre 8 y 0 m s.n.m., bajando desde el límite N hacia la costa, con flujo hacia el SO y SE.

El gradiente hidráulico en la mayor parte del acuífero es inferior al 1% y el espesor saturado es variable entre 5 y 15 m, con un valor medio de 10 m.

Acuífero Aluvial del Guadiaro y Hozgarganta

La alimentación del acuífero tiene lugar por la infiltración del agua de lluvia sobre los afloramientos permeables, por infiltración de la escorrentía procedente de los materiales de borde impermeables, por infiltración del agua aplicada para regadío y por infiltración del agua procedente de los ríos principales (Guadiaro y Hozgarganta) sobre el aluvial. Esta última tendría lugar esencialmente en época de aguas altas en función de la relación río-acuífero y, en estado de equilibrio, esta recarga se transformaría en descarga de forma natural al invertirse la relación río-acuífero.

La profundidad del agua es siempre inferior a 10 m y menor de 5 m en la mayor parte del acuífero, con oscilaciones a lo largo del año de 1 a 3 m o superiores en algunas zonas.

En estiaje, las mareas penetran a lo largo del cauce del río Guadiaro, detectándose sus efectos en los pozos próximos al mismo.

La superficie piezométrica se encuentra comprendida entre 30 m s.n.m., a la altura de San Pablo de Buceite, y el nivel del mar, por lo que el gradiente hidráulico medio es de 1 ‰.

Red de control piezométrico del IGME

Acuífero	Nº Piezómetro	Coordenadas UTM (Huso 30S)			Prof. (m)	Naturaleza	Nombre
		x	y	z			
Guadiaro-Hozgarganta	1447-3-0007	293460	4020614	5,71	12	Pozo Fehlmann	Pozo Gral. Abto. Sotogrande
	1447-3-0041	293067	4021716	7,00	10	Pozo Fehlmann	Abto. S. Enrique de Guadiaro y S. Martín del Tesorillo
Sotogrande	1447-3-0042	291919	4017575	70,00	65	Sondeo	Chalet Sª. Anik
	1447-3-0040	293900	4018825	20,00	70	Sondeo	Sondeo Paniagua
Guadarranque-Palmones	1447-2-0026	285910	4019440	126,00	176	Sondeo	Romeral 2
	1447-2-0027	285370	4018520	135,00	203	Sondeo	Romeral 1
	1447-6-0080	281096	4012040	8,00	28	Sondeo	Los Timbales
	1448-1-0045	277533	4004540	20,00	35	Sondeo	Granja Vista Alegre
La Línea	1447-7-0004	290308	4008261	4,00	5	Pozo	Huerta González-Zabal
	1447-7-0014	289012	4007039	9,00	8	Pozo	Huerta Molina
	1447-7-0015	289012	4006800	9,00	7	Pozo	Granja Rocio

Acuíferos de las Areniscas del Aljibe

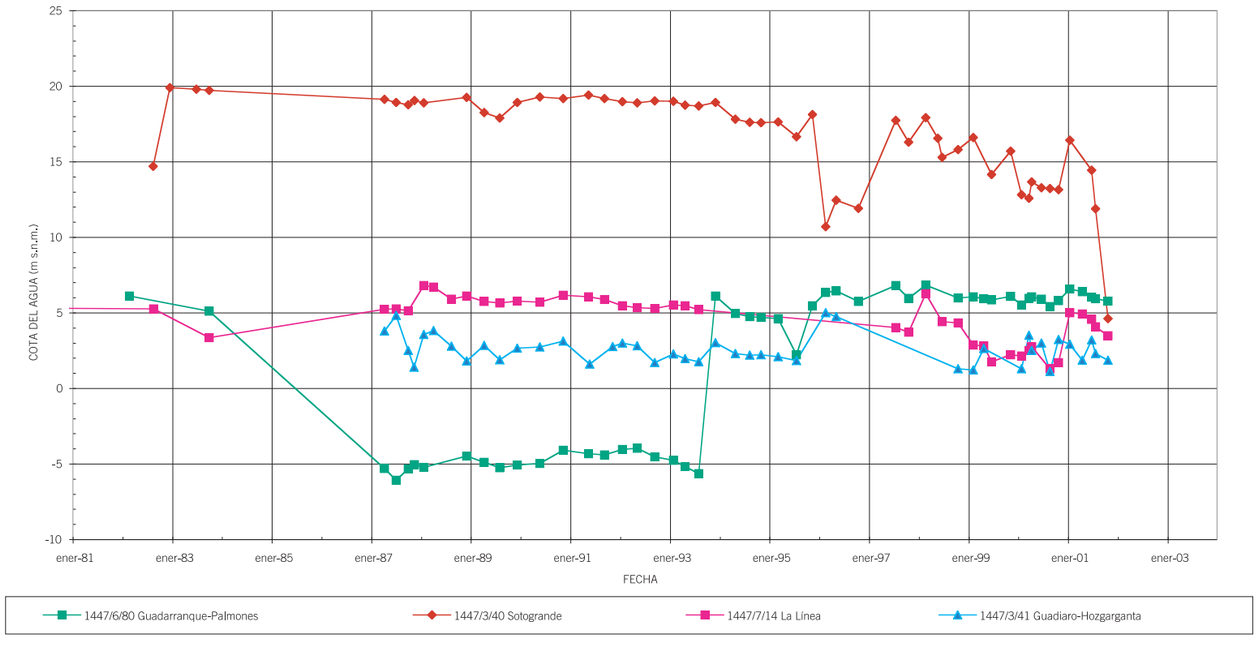
La alimentación de estos acuíferos tiene lugar exclusivamente por la infiltración del agua de lluvia caída sobre sus afloramientos, produciéndose la descarga por numerosísimas surgencias y zonas de drenaje dispersas que oscilan entre cotas de 200 y mas de 600 m s.n.m..

Debido a su naturaleza dispersa, no se puede hablar de la existencia de una única superficie piezométrica en estos materiales, sino más bien de diversos niveles acuíferos superpuestos, parcialmente desconectados entre sí, que dan lugar a numerosos puntos de surgencia a distintas cotas y con exiguos caudales.

Existe en los acuíferos del Campo de Gibraltar, una red de control piezométrico diseñada y controlada por el IGME hasta el año 2001 donde se efectuaban medidas periódicas de nivel desde 1974. Esta red estaba compuesta por los 15 puntos de control que figuran en la tabla siguiente.

Los datos de esta red ponen de manifiesto, como se ilustra en la figura adjunta, que el nivel piezométrico en los acuíferos aluviales de Guadarranque-Palmones y Guadiaro-Hozgarganta permanece más o menos constante a lo largo del tiempo, lo que es lógico ya que se trata de acuíferos aluviales ligados hidráulicamente a los ríos principales. En el caso de los acuíferos del Cuaternario de La Línea y del Plioceno de Sotogrande, se observa una tendencia descendente poco acusada en el primero (0,24 m/a) y algo más elevada (0,42 m/a) en el segundo, aunque en ambos casos poco significativas.

Evolución piezométrica de los acuíferos del Campo de Gibraltar



13.15.4 Hidroquímica

13.15.4.1 Calidad química y composición natural

Los acuíferos del Campo de Gibraltar presentan una amplia variedad de facies. Así, en el Pliocuaternario de Guadarranque-Palmones predominan las aguas bicarbonatadas cálcicas en los depósitos pliocenos y sulfatadas y cloruradas, magnésicas y sódicas en los cuaternarios; las facies predominantes en el Plioceno de Sotogrande son las bicarbonatadas cálcicas al igual que en los depósitos aluviales del Guadiaro y Hozgarganta y, en el Cuaternario de La Línea, las sulfatadas cálcicas y cloruradas cálcicas; en las Areniscas del Aljibe aparecen facies cloruradas cálcicas, bicarbonatadas cálcicas y cloruradas sódicas (ITGE-Junta de Andalucía, 1998).

En general son aguas poco mineralizadas, con totales de sólidos disueltos inferiores en la mayor parte de los casos a 1.000 mg/L, superándose este valor solamente en algunos puntos del Pliocuaternario de Guadarranque-Palmones y del Cuaternario de La Línea. Destacan las aguas procedentes de las Areniscas del Aljibe, con valores predominantes inferiores a 100 mg/L, que se pueden calificar como excepcionales en aguas subterráneas.

Las aguas presentan normalmente una buena calidad, desde el punto de vista fisicoquímico, siendo aptas para todos los usos; se puede hablar incluso de una excelente calidad en el caso de las Areniscas del Aljibe (ITGE-Junta de Andalucía, 1998).

En cuanto a su uso para riego, el agua de los acuíferos Aluvial del Guadarranque-Palmones y del Plioceno de sotogrande pertenecen al grupo C1/S1 con conductividades eléctricas menores a 750 µS/cm. Las del Cuaternario de La Línea son predominantemente C1-C2/S1 al igual que las del Aluvial del Guadiaro-Hozgarganta, con conductividades eléctricas comprendidas entre 600 y 900 µS/cm.

En la base de datos AGUAS del IGME existen 249 análisis fisicoquímicos cuyos valores característicos para todos los acuíferos del Campo de Gibraltar se resumen en la tabla siguiente.

Características químicas de los acuíferos del Campo de Gibraltar

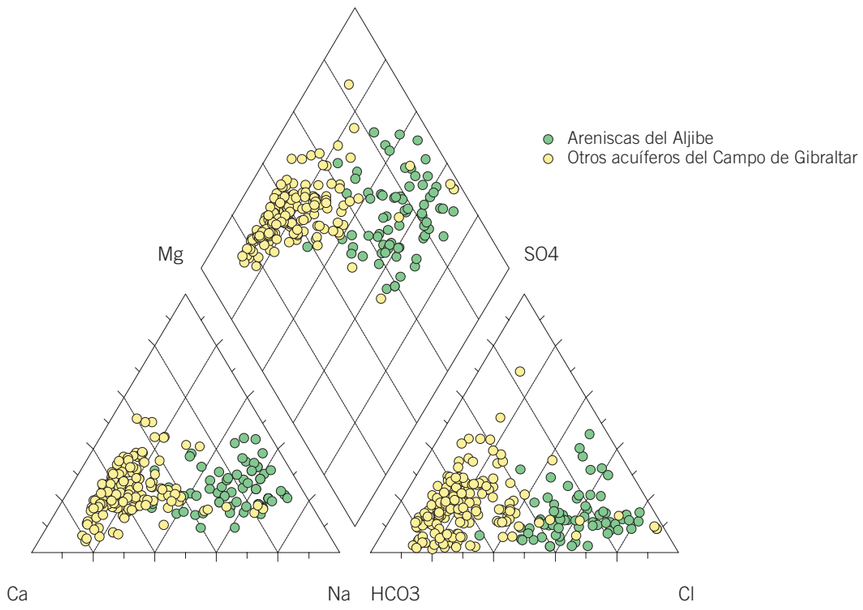
mg/L	Máximo	Mínimo	Promedio	Mediana
Cloruros	3.000	11	84	41
Sulfatos	576	1	59	43
Bicarbonatos	479	2	211	240
Nitratos	180	0	19	8
Sodio	1.528	6	47	24
Magnesio	192	1	20	17
Calcio	412	1	73	82
Potasio	230	0	4	2
Conductividad eléctrica (µS/cm)	9.551	76	633	626

Por acuíferos, existen importantes diferencias en la calidad del agua entre las procedentes de las Areniscas del Aljibe y el resto. Este aspecto se pone de manifiesto en la tabla siguiente, que recoge el valor más frecuente (mediana) de los principales parámetros analizados para cada acuífero, destacando los bajos contenidos iónicos y la baja conductividad eléctrica de las Areniscas del Aljibe.

Mediana de los principales parámetros químicos en los acuíferos del Campo de Gibraltar

mg/L	Areniscas del Aljibe	Guadiaro-Hozgarganta	Guadarranque-Palmones	Cuaternario de La Línea	Plioceno de Sotogrande
Cloruros	20	42	65	78,5	55
Sulfatos	5	75	53,5	68	16
Bicarbonatos	15	297	276	232	306
Nitratos	1	13	12,5	41	9
Sodio	12	29	32,5	47	24
Magnesio	3	29	22	18,5	12
Calcio	4	91	97	93	98
Potasio	1	2	1,5	9,5	1
Conductividad eléctrica (µS/cm)	95	701	769	766	657

Acuíferos del Campo de Gibraltar



Red de control de calidad del IGME

Acuífero	Nº Red Calidad	Coordenadas UTM (Huso 30S)			Prof. (m)	Naturaleza	Nombre
		x	y	z			
Guadiaro-Hozgarganta	1446-2-0003	284414	4033383	20,00	10	Pozo con taladros	Abto. Jimena-Los Ángeles
	1446-2-0004	284346	4039106	35,00	10	Pozo	Antiguo Abto. San Pablo de Buceite
	1446-7-0004	292761	4025115	10,00	10	Pozo	Antiguo Abto. S. Martín del Tesorillo
	1447-3-0007*	293460	4020614	5,71	12	Pozo Fehlmann	Pozo Gral. Abto. Sotogrande
	1447-3-0041	293067	4021716	7,00	10	Pozo Fehlmann	Abto. S. Enrique de Guadiaro y S. Martín del Tesorillo
Sotogrande	1447-3-0040*	293900	4018825	20,00	70	Sondeo	Sondeo Paniagua
	1447-3-0044*	294917	4017508	4,00	20	Sondeo	Sondeo D. Francisco
Guad-Palm.	1447-2-0005	282824	4017276	60,00	86	Sondeo	Sondeo Castellar IV
La Línea	1447-7-0004*	290308	4008261	4,00	5	Pozo	Huerta González-Zabal
	1447-7-0014*	289012	4007039	9,00	8	Pozo	Huerta Molina
Areniscas Aljibe	1348-4-0007	269980	3998360	520,00	-	Manantial	La Palanca (Abto. Tarifa)
	1348-4-0008	272653	4002967	250,00	-	Manantial	El Prior (Abto. Los Barrios)
	1448-1-0095	275532	3999480	200,00	-	Manantial	Manantiales El Cobre (Abto. Algeciras)

** Puntos que también forman parte de la Red de Intrusión*

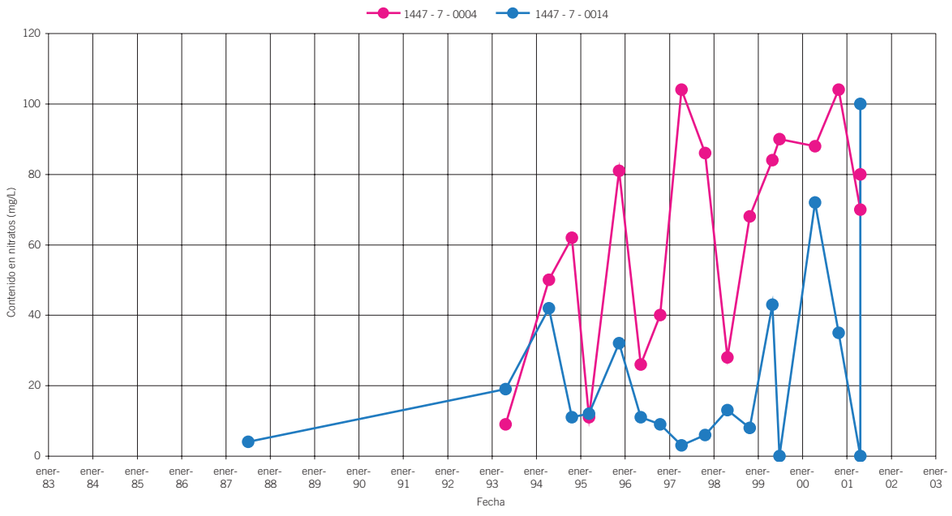
Esta diferenciación también se observa en el diagrama de Piper, donde se representan todos los análisis químicos realizados. Las muestras de las Areniscas del Aljibe se agrupan en la zona correspondiente a cloruradas sódicas y se distinguen claramente de las del resto de acuíferos del Campo de Gibraltar, a excepción de algunas muestras procedentes de puntos en los que se han detectado signos temporales de intrusión (si bien éstas presentan conductividades eléctricas muy superiores).

La red de control de calidad del IGME en los acuíferos del Campo de Gibraltar, operativa hasta el año 2001, cuenta con 13 puntos de control en los que se han tomado muestras periódicamente para su análisis desde 1983.

13.15.4.2 Contaminación y vulnerabilidad

Debido a su carácter detrítico con permeabilidad, en general, no muy elevada, los acuíferos del Campo de Gibraltar presentan un riesgo de contaminación moderado frente a las actividades humanas desarrolladas en su superficie (agricultura, vertidos sólidos y líquidos, etc.). Además, en el caso del Pliocuaternario de Guadarranque-Palmones, la existencia en un amplio sector de una zona no saturada relativamente significativa, favorece esta defensa frente a la contaminación.

Acuífero cuaternario de La Línea
Evolución del contenido en nitratos



Únicamente en el Cuaternario de La Línea las aguas son de mala calidad para consumo humano debido a la contaminación de origen agrícola, con concentraciones de nitratos que llegan a alcanzar en ocasiones los 104 mg/L y que superan frecuentemente los 50 mg/L.

Al tratarse de acuíferos que están en contacto con el mar, el fenómeno de la intrusión se ha controlado por el IGME a través de una red específica de intrusión (incluida casi totalmente dentro de la Red de Calidad). El riesgo que suponen estos procesos de intrusión, se ha puesto de manifiesto ocasionalmente en varios puntos de la red (dos del Cuaternario de La Línea y uno del Aluvial del Guadiaro-Hozgarganta) con valores puntuales de cloruros que suponen de 3 a más de 20 veces el contenido habitual, si bien en esos casos se trata de procesos relacionados con el avance de las mareas a lo largo de los cursos de agua que atraviesan los acuíferos, más que de un proceso de intrusión marina en sentido estricto.

13.15.5 Explotación y balance

13.15.5.1 Entradas

Las entradas de agua en los acuíferos del Campo de Gibraltar se efectúan prioritariamente por infiltración de parte de la lluvia y, en el caso de los Aluviales del Guadiaro-Hozgarganta, también juegan un importante papel las entradas por infiltración de la escorrentía superficial y el retorno de riegos.

13.15.5.2 Salidas

Las salidas tienen lugar por alimentación a ríos (Pliocuaternario de Guadarranque-Palmones y Aluvial del Guadiaro-Hozgarganta) y también de manera significativa como salidas ocultas al mar (excepto Areniscas del Aljibe). Las descargas por manantiales solo se producen en el Pliocuaternario de Sotogrande y en las Areniscas del Aljibe siendo, en este último, el principal y casi único componente de las salidas del acuífero.

Las extracciones por bombeo se han considerado tradicionalmente poco significativas, si bien en la actualidad del Aluvial de Guadiaro-Hozgarganta se extraen 3,5 hm³/a para abastecimiento urbano y en el Cuaternario de La Línea se bombean 1,6 hm³/a para regadío (más del 80% de las entradas totales de ese acuífero).

Especial significación tienen los casi 8,5 hm³/a procedentes de manantiales de las Areniscas del Aljibe usados para abastecimiento urbano de los municipios de Algeciras, Los Barrios y Tarifa cuya población total supera los 140.000 habitantes, y que suponen casi un 30% del total de aguas subterráneas utilizado para abastecimiento urbano a nivel provincial en el año 2002. Ello da idea de la importancia relativa de estos acuíferos, a pesar de su baja permeabilidad. Cabe destacar que su superficie global en la provincia de Cádiz es de 1.162 km², que si se considera un módulo de recursos similar al del Campo de Gibraltar (de 1,1 a 1,4 L/s/km²) supondría unos recursos medios del orden de 40 a 50 hm³/a.

En el cuadro que se incluye a continuación se resumen los balances hídricos para los cinco acuíferos definidos en esta Comarca. Las salidas por bombeo y manantiales para abastecimiento se han obtenido de la base de datos del IGME (tras la revisión de abastecimientos llevada a cabo en el año 2002) y los volúmenes utilizados para riego proceden del Inventario de Regadíos de la Junta de Andalucía, Actualización 2002. Se incluye un cuadro comparativo con los usos del agua por acuíferos para los años 1982 (primer balance realizado en la zona) y 2002 (con valores recientes). Como se puede observar, destaca el aumento de la extracción por bombeo tanto para abastecimiento urbano como para regadío en los acuíferos del Plioceno de Sotogrande y del Aluvial del Guadiaro-Hozgarganta y el aumento de uso de las surgencias en las Areniscas del Aljibe, lo que confirma su interés anteriormente comentado. En conjunto los recursos utilizados han duplicado prácticamente su valor en esos 20 años, pasando de unos 10,6 hm³/a en 1982 a unos 19,6 hm³/a en 2002.



Panorámica de Los Barrios sobre el límite norte del acuífero pliocuaternario de Guadarranque - Palmones (5)

Balance hídrico. Año 2002

Acuífero	Superficie Perm.* (km²)	Entradas por infiltración (hm³/a)				Salidas (hm³/a)						
		Directa	Escorrentía	Ret. Reg.	TOTAL	Bombeo		Manantiales		Difusas rios	Subter. mar	TOTAL
						Abast.	Regadío	Abast.	Natural			
Guadarranque-Palmones	105	16	0,21	16,21	0	0,33	0	0	9,40	6,50	16,23	
Sotogrande	33,5	4,5	0,4	0,05	4,95	0,25	0,80	0	0,7	1,60	1,60	4,95
La Línea	10	1	0,8	0	1,80	0	1,62	0	0	0	0,18	1,80
Guadiaro-Hozgarganta	40	10	4	2,64	16,64	3,50	4,00	0	0	9,00	16,50	
Areniscas del Aljibe	538	20-25	-	-	20-25	0	-	8,38	12-17	-	0	20-25

(*) Superficie aflorante dentro de la Comarca del Campo de Gibraltar.

Evolución de los usos del agua entre 1982 y 2002

Acuífero	Extracciones por bombeo (hm³/a)						Salidas por manantiales(hm³/a)					
	2002			1982			2002			1982		
	Abast.	Regadío	Subtotal	Abast.	Regadío	Subtotal	Abast.	Regadío	Subtotal	Abast.	Regadío	Subtotal
Guada-Palmon	0	0,33	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sotogrande	0,25	0,80	1,05	0	0,5	0,5	0	0,7	0,7	0	0,7	0,7
La Línea	0	1,62	1,62	0	1,3	1,3	0	0	0	0	0	0
Guadiaro-Hoz	3,5	4,00	7,50	2,1	1	3,1	0	0	0	0	0	0
Arenis. Aljibe	0	0	0	0	0	0	8,38	0	8'38	5	0	5



Cultivos en el acuífero aluvial del río Hozgarganta, al Oeste de San Martín del Tesorillo (6)

13.15.6 Problemática existente y pautas de gestión

Actualmente no existen problemas especiales en relación con estos acuíferos. El hecho más destacable es la presencia de compuestos nitrogenados en el acuífero Aluvial del Guadiaro-Hozgarganta y en el Cuaternario de La Línea, como consecuencia de la actividad agrícola. En esos mismos acuíferos y en el Plioceno de Sotogrande la detección ocasional de nitritos y amoníaco podría ser indicativa de contaminación por vertidos de aguas residuales.

En cuanto a la gestión se refiere, los recursos de los cinco acuíferos del Campo de Gibraltar se pueden cifrar entre 60 y 65 hm³/a de los que se aprovechan unos 19 hm³/a para abastecimiento (12 hm³/a) y regadío (7 hm³/a) lo que representa entre el 32 y el 29 % de los mismos.

Ante tal grado de utilización cabe destacar el papel que podrían representar las aguas subterráneas de cara a mejorar la garantía de suministro a la comarca en años secos e incrementar las posibilidades de agua a medio y largo plazo. Este aspecto ya se contempló en su día, durante la sequía de los años 1980-83, en la que la explotación de las aguas subterráneas se centró en el acuífero del Guadarranque-Palmones, alcanzando en 1983 un volumen extraído de 2,51 hm³. Esta explotación, que se realizó principalmente por parte de la CHS (1,87 hm³) y de las empresas CEPSA e INTERQUISA (0,63 hm³), contribuyó a solucionar el problema de abastecimiento suscitado por el descenso progresivo de los volúmenes disponibles en el Embalse del Guadarranque. También se realizaron captaciones de emergencia para la ciudad de Algeciras, aunque apenas llegaron a utilizarse por la llegada de las lluvias.

Es conveniente destacar, que en el caso de las aguas procedentes del Acuífero de las Areniscas del Aljibe, se trata de aguas de excelente calidad no aprovechadas en todo su potencial, y cuyos manantiales, a pesar de su bajo caudal individual, aportan actualmente volúmenes muy significativos (más de 8 hm³/a) y presentan las ventajas de sus elevadas cotas de surgencia (que permiten su utilización por gravedad) y su gran regularidad estacional y plurianual.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

Acuíferos del Campo de Gibraltar

SITUACIÓN DEL ACUÍFERO EN LA PROVINCIA



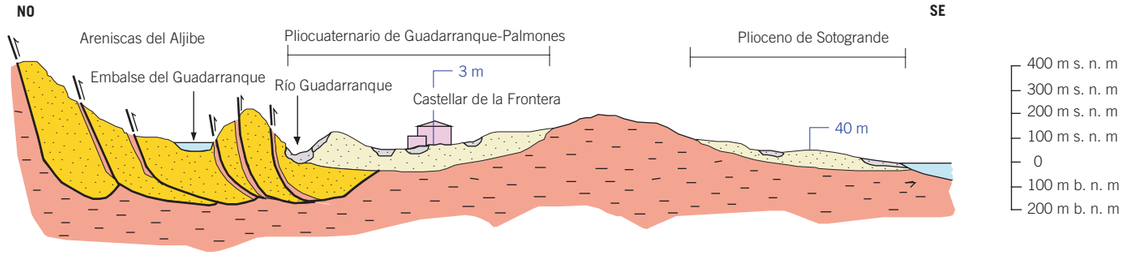
LEYENDA

LITOLOGÍA	EDAD GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD
Limos, arenas y gravas. Arenas costeras	CUATERNARIO	MEDIA-ALTA
Arenas con niveles de calcarenitas y conglomerados	PLIOCUATERNARIO	ALTA
Areniscas del Aljibe	MIOCENO INFERIOR	MEDIA
Arcillas y margas (Serie de base)	CRETÁCICO-TERCIARIO	BAJA

SIMBOLOGÍA

- Lámina de agua
- Red hidrográfica
- Carreteras
- Autovía
- Ferrocarril
- Núcleos urbanos
- Límite Comarca Campo de Gibraltar
- Límite superficial del acuífero
- I - I' Localización corte hidrogeológico
- Sondeo
- Manantial
- Pozo
- 7 m Profundidad del nivel piezométrico

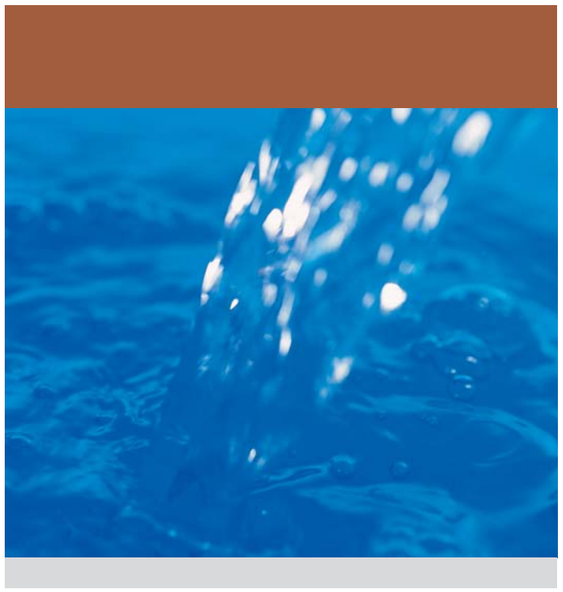
CORTE HIDROGEOLÓGICO
CORTE I-I´



De “Pido silencio”

...
Soy un pozo en cuyas aguas
la noche deja sus estrellas
y sigue sola por el campo.

Pablo Neruda



14 Contaminación y vulnerabilidad

Contaminación y vulnerabilidad

14

Las aguas subterráneas constituyen un recurso valioso, por su contribución al sostenimiento de numerosos ecosistemas acuáticos y terrestres, y por suponer una fuente de suministro significativa e importante de necesidades tan prioritarias como el abastecimiento de agua potable que, aunque dotado de una buena protección natural por su emplazamiento en el subsuelo, presenta un grado variable de vulnerabilidad frente a determinadas actividades humanas sobre el terreno.

Ante el riesgo de deterioro de este importante recurso subterráneo, traducido ya en abundantes casos de contaminación más o menos avanzada en diferentes áreas del territorio, constituye un objetivo primordial de la actual política de aguas el garantizar una reducción progresiva de la contaminación ya existente y evitar nuevas contaminaciones del agua subterránea, objetivo exigido además por la Directiva Marco de Aguas y recogido en nuestra Ley de Aguas a través de la trasposición de la norma europea.

En este capítulo dedicado a la contaminación, se va a dar una visión global sobre los principales problemas que en la actualidad se encuentran en las aguas subterráneas de la provincia de Cádiz. La relación detallada de problemas detectados, es decir, la foto fija de la realidad actual en cuanto a contaminación, se ha recogido en los distintos capítulos destinados a la descripción de los acuíferos provinciales, por lo que no parece necesaria su repetición.

Analizadas las actividades urbanas en las que, de forma general, la gestión de los residuos urbanos sólidos y líquidos es aceptable, si se exceptúan circunstancias de vertederos ilegales o de puntos negros sin sanear o de vertidos de puntuales, las agrarias e industriales, el desarrollo del sector turístico que ha promovido usos del suelo destinados al ocio y al deporte y la necesidad de más recursos para satisfacer las demandas, se ve que los problemas de mayor alcance en cuanto a la afección de la calidad natural de las aguas subterráneas es la contaminación por nitratos originada por las actividades agrarias y como posible problema a medio plazo las instalaciones de ocio.

Pensando en el futuro, ya que en el momento actual se están iniciando los problemas que supone para la calidad del recurso agua subterránea el desarrollo, en circunstancias sin las adecuadas medidas de control, de un número importante de campos de golf en la provincia, en el momento actual se encuentran operativos 14 y la práctica totalidad situados sobre acuíferos costeros. Son dos los aspectos mas relevantes de esta problemática: la pérdida de calidad de las aguas subterráneas ligados a la posible explotación intensiva de acuíferos costeros (intrusión marina) y los relacionados con la posible contaminación de las aguas subterráneas por la incorporación de compuestos no deseables derivados de prácticas inadecuadas, como son el riego con aguas residuales tratadas y el tratamiento del césped con fertilizantes y plaguicidas.



Planta de reciclado de residuos de obra y demolición, en la Sierra de San Cristóbal (El Puerto de Santa María) (6)



Estación depuradora de aguas residuales urbanas de Alcalá del Valle, realizada por la Consejería de Medio Ambiente en 2004 (6)

El uso de las 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 contaminación de las aguas subterráneas ligada al contenido salino y orgánico de las mismas, junto con elevados valores de nutrientes.

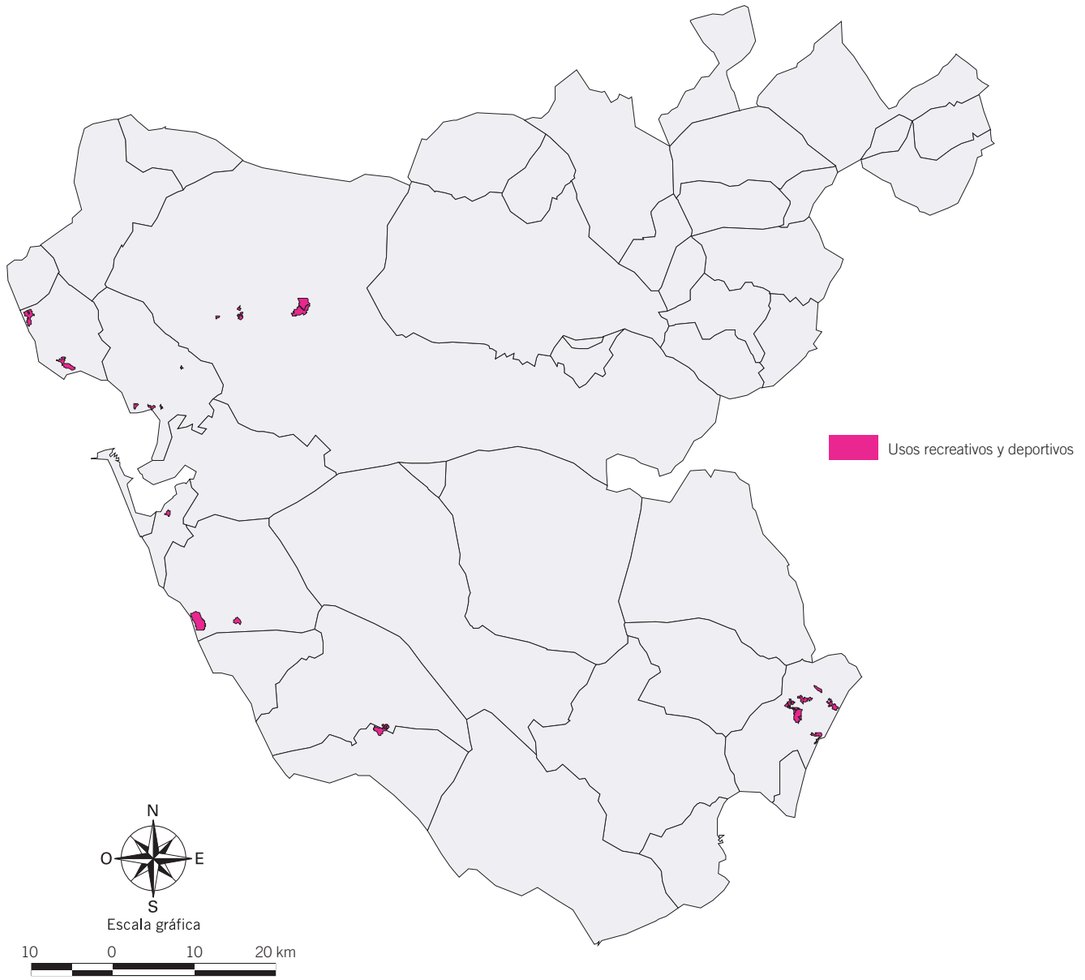
El objetivo de un programa de fertilizantes es crear un ambiente suficientemente saludable para mantener los campos de golf en condiciones óptimas durante todo el año, pero su mala utilización puede ocasionar un incremento de compuestos de nitrógeno, al ser estos los más usados para la revitalización, crecimiento y mantenimiento del color verde del césped. También los plaguicidas aplicados pueden dar lugar a problemas si su uso es inadecuado, aplicándose en zonas de riesgo de rápida infiltración.

Por último, destacar que las zonas de encharcamiento en el suelo a menudo tienen altos valores de conductividad por su alto contenido salino, y aunque la mayor parte de ellas suele permanecer entre los 5-10 cm de la superficie, una parte puede pasar a zonas inferiores con el riesgo que ello supone para las aguas subterráneas. Presenta riesgos de contaminación mucho mayores un campo de golf situado directamente sobre un acuífero o aquellas zonas del recinto que por su mayor capacidad de infiltración puedan trasmitir rápidamente compuestos contaminantes a las aguas subterráneas, como por ejemplo, zonas de *greens*.



Campo de golf en Benalup-Casas Viejas (1)

Usos del suelo recreativos y deportivos de la provincia de Cádiz

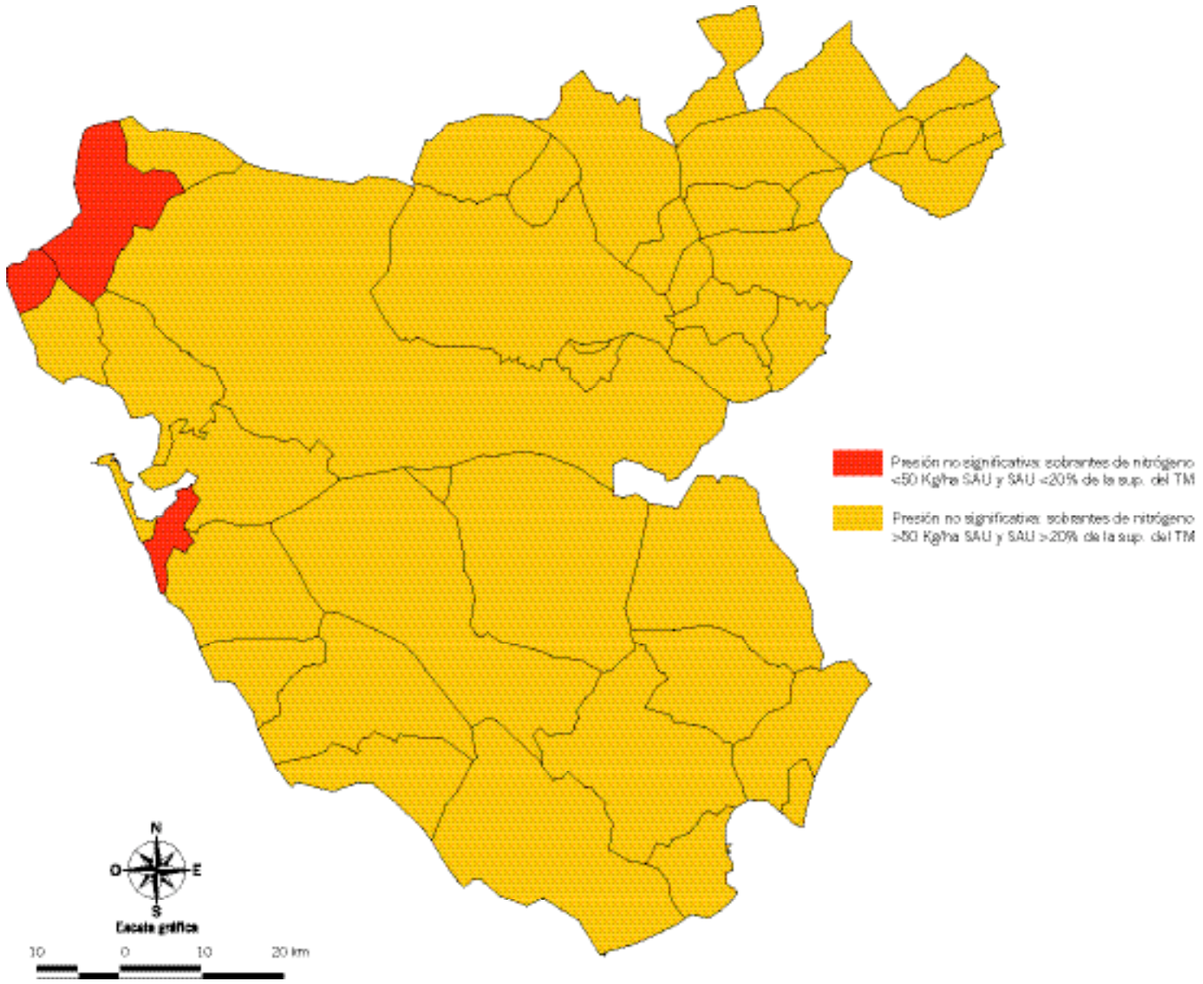


La contaminación por nitratos, derivada de las prácticas agrícolas, es probablemente una de las principales amenazas de las aguas subterráneas en Europa en cuanto al volumen de recursos y número de captaciones afectadas. Con el objetivo de reducir la contaminación de las aguas (superficiales, subterráneas, lagos, aguas costeras,…) atribuible de modo directo o indirecto a los nitratos de origen agrario y limitar su extensión, se adoptó por el Consejo Europeo la Directiva 676/91 relativa a los nitratos, incorporándose al ordenamiento jurídico español mediante el RD 261/1996.



Viñedos en Trebujena (6)

Presiones asociadas al nitrógeno liberado hacia el acuífero por ha de superficie agraria útil de la provincia de Cádiz



El objetivo que se persigue es el de reducir la contaminación de las aguas atribuible de modo directo o indirecto a los nitratos de origen agrario y prevenir su extensión. Para la consecución de estos objetivos se debe realizar la determinación de aguas afectadas por la contaminación con contenidos de más de 50 mg/L de nitratos o que podrían verse afectadas de no tomarse medidas, la designación de zonas vulnerables que corresponderán a aquellas superficies del territorio cuya escorrentía afecte o pueda afectar a la contaminación por nitratos de las aguas contempladas en el apartado anterior, la elaboración de uno o más códigos de buenas prácticas agrarias que podrán poner a efecto los agricultores de forma voluntaria y el establecimiento de programas de acción, que se aplicarán durante los cuatro años siguientes a su elaboración, en las zonas vulnerables designadas.

En la actualidad, la aplicación en el territorio español de la Directiva está presentando numerosos problemas, no sólo de plazos si no también técnicos y entre administraciones, por lo que los beneficios para el medio ambiente, y más concretamente para la recuperación y preservación de las aguas subterráneas frente a elevados contenidos en nitratos por la implantación de las medidas que se proponen, son todavía escasos.

En la provincia de Cádiz se han designado después de la determinación de aguas subterráneas afectadas con más de 50 mg/L de nitratos, dos zonas vulnerables. La primera comprende los términos municipales de Chipiona, Sanlúcar de Barrameda, El Puerto de Santa María y Rota. De los cuatro, los dos primeros presentan valores muy elevados de sobrantes de nitrógeno por hectárea de superficie agraria útil. Realizado el balance de nitrógeno, se ve que los mayores aportes proceden de la fertilización mineral (63% sobre los aportes totales), correspondiendo el resto por partes iguales a la fertilización orgánica y a los aportes producidos por las aguas de riego. La zona incluye 12.000 ha en regadío, correspondiendo la mayor superficie a cultivos en regadío y que, además, coincide con cultivos que requieren altas concentraciones de abonado nitrogenado al término municipal de Sanlúcar de Barrameda.

La zona vulnerable incluye las unidades hidrogeológicas Rota-Sanlúcar-Chipiona 05.57 y Puerto de Santa María 05.58. La primera de ellas presenta en su conjunto una elevada vulnerabilidad, lo que la hace más sensible a los problemas de contaminación, mientras que la segunda, aunque zonalmente presenta áreas de elevada permeabilidad, puede considerarse en su conjunto de vulnerabilidad media.

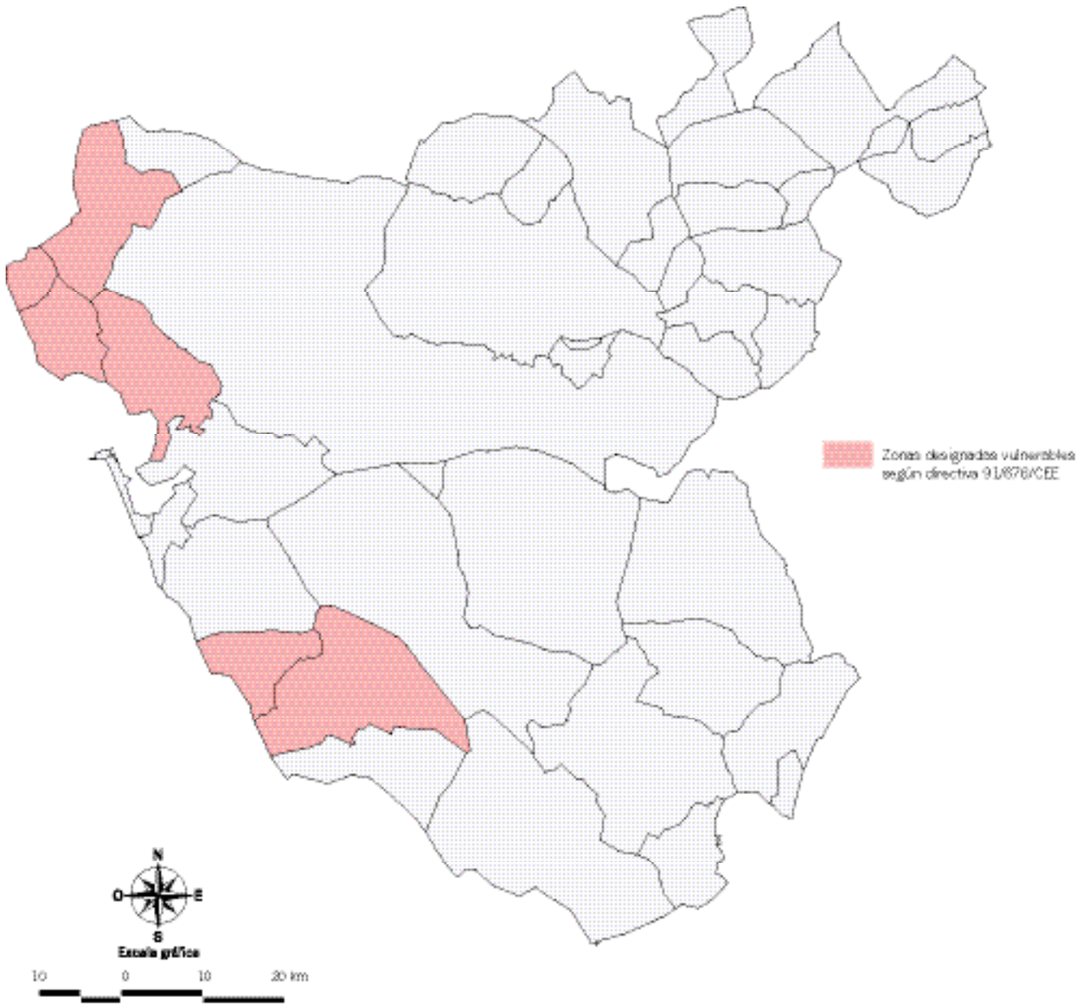
La otra zona vulnerable incluye los términos de Conil de la Frontera y Vejer de la Frontera. Tras el estudio en ambos municipios de sobrantes de nitrógeno y realizado el balance de nitrógeno, se observa que el 65% procede de fertilización mineral, mientras que el resto procede de los excrementos del ganado en pastoreo.

Es necesario señalar que en el término de Conil algunos de los puntos muestreados, que han presentado valores de nitratos por encima de 50mg /L, tiene su origen en actividades urbanas, y el municipio de Barbate que queda fuera de la zona vulnerables presenta algunas zonas con valores elevados de nitratos sin determinar su origen, por lo que será necesario definir su procedencia para intentar acotar más los límites de la zona vulnerable. Dadas las características específicas de la unidad hidrogeológica 05.59 Puerto Real-Conil, que en algunos sectores funciona como acuífero libre y en otros como multicapa, resulta indicado realizar estudios detallados de los puntos de muestreo, ya que dependiendo de la profundidad del muestreo se pueden recoger aguas de distinta procedencia.



Las simas constituyen puntos de muy alta vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas. Sima de Villaluenga del Rosario (3)

Zonas de la provincia de Cádiz designadas como vulnerables a la contaminación por nitratos según la directiva 91/676/CEE (marzo 2005)



MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
Instituto Geológico y Minero de España
Diputación de Cádiz

Vulnerabilidad de la provincia de Cádiz

Si hubiera que resumir en tres conceptos fundamentales el problema de la contaminación de las aguas subterráneas y de su protección, estos podrían ser los siguientes:

– Las aguas subterráneas se encuentran, en líneas generales, mejor protegidas frente a la contaminación que las aguas de superficie.

– Como contrapartida a este aspecto favorable se da el hecho que, una vez que el agente contaminante se incorpora al flujo subterráneo, resulta muy difícil y costoso, tanto conocer su movimiento y evolución, como detenerlo para evitar que llegue a los pozos y sondeos de explotación. La contaminación del agua subterránea es, en muchos casos, irreversible.

– En tercer lugar, y como consecuencia de los dos puntos precedentes, hay que considerar que la mejor manera de eliminar los problemas causados por la presencia de elementos nocivos en el agua subterránea es el de impedir su entrada al acuífero.

Dentro de los aspectos relativos a la protección natural de los acuíferos es necesario introducir un concepto importante: su vulnerabilidad frente a la contaminación, que se puede definir como la susceptibilidad de un acuífero a que se contamine.

La noción de vulnerabilidad de un acuífero puede establecerse considerando supuestos de partida muy diferentes; sin embargo, una de las formas más comprensibles es la de considerar los vertidos a partir de la superficie del terreno.

Con el objetivo de dar una visión general sobre la vulnerabilidad de las formaciones que conforman la provincia de Cádiz, se ha realizado una valoración cualitativa de ésta frente a los vertidos que se puedan llevar a cabo sobre ellas, en función de su litología, geometría, características hidrogeológicas, profundidad del nivel de agua y utilización de los recursos, que se ha reflejado en el mapa que acompaña a este texto y en el que mediante un código de colores se reflejan los distintos grados de vulnerabilidad.

Vulnerabilidad alta

Dentro de esta denominación se han considerado formaciones recientes asociadas a los cursos de los ríos y que, litológicamente, corresponden a una alternancia de niveles de gravas y arenas con una fracción arcillosa en mayor o menor grado. Los aluviales asociados a los ríos Guadalete, Barbate, Almodóvar y Guadiaro son los que presenta una mayor vulnerabilidad, dado el escaso espesor de la zona no saturada. También se han considerado dentro de esta categoría los aluviales de otros ríos, como el Guadarranque, Palmones y otros de menor entidad.

Otras formaciones detríticas de alta vulnerabilidad corresponden a los terciarios y pliocuaternarios constituidos por arenas y areniscas que se extienden a lo largo de la costa, desde Cádiz, El Puerto de Santa María y Sanlúcar de Barrameda en el extremo occidental y noroccidental hasta las áreas de Tarifa, Bahía de Algeciras y La Línea de la Concepción en el extremo sur y suroriental.

En cuanto a las formaciones carbonatadas que se han considerado dentro de este grupo, corresponden a las de las sierras de Grazalema, de las Cabras y a otras unidades carbonatadas de menor rango en la zona centro-oriental de la provincia.

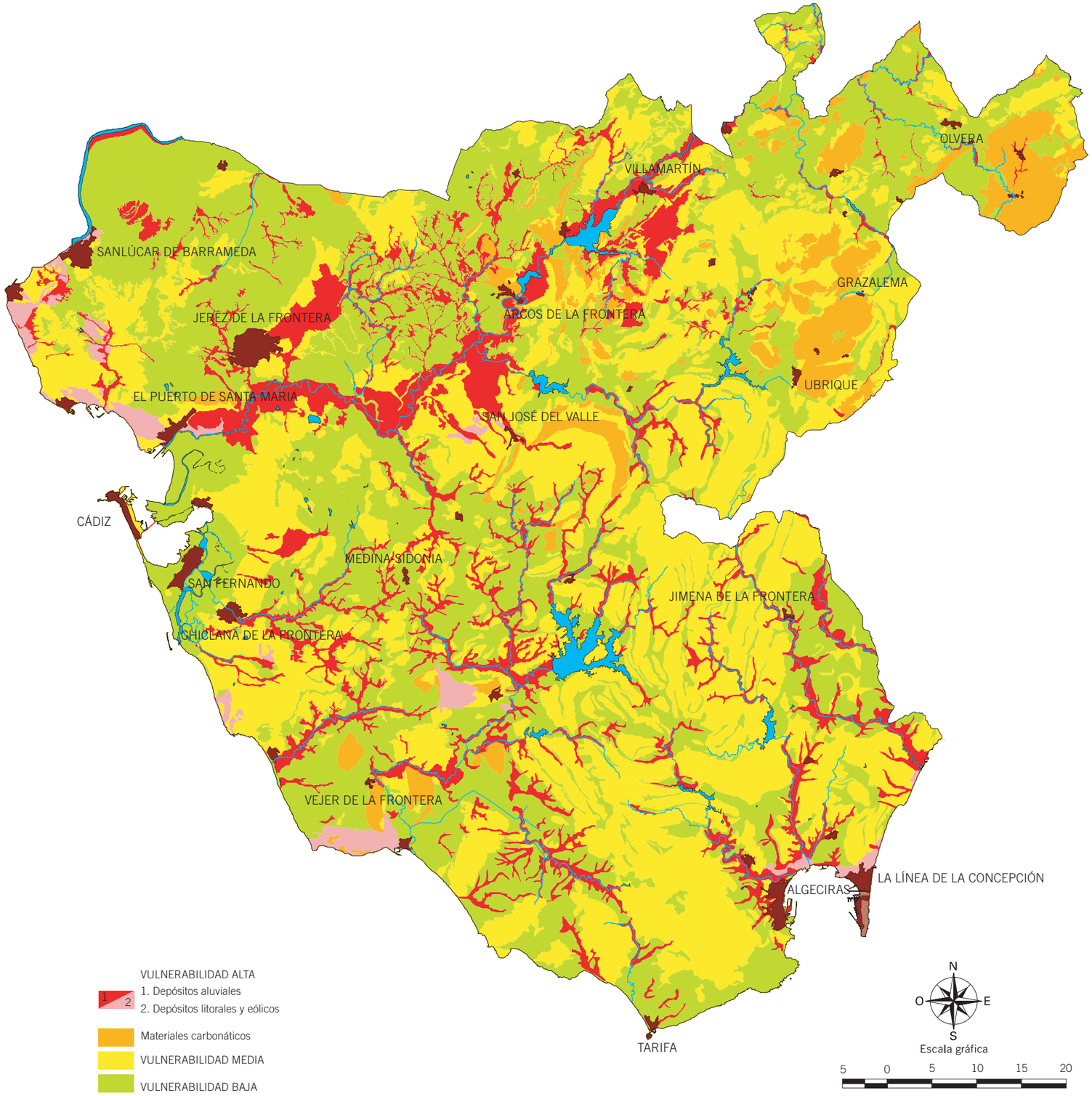
Vulnerabilidad media

Se han considerado dentro de esta categoría a formaciones miocenas y pliocenas de arenas, areniscas y calcarenitas que se localizan en las siguientes zonas: Puerto Real-Conil, Vejer-Barbate, Campo de Gibraltar (que engloban al Plioceno de Sotogrande, que se desarrolla en la desembocadura del Guadiaro, y a las areniscas de Aljibe, al E y SE de la provincia), Acuífero de Jerez, Acuífero del Puerto de Santa María, Acuífero de Setenil (constituido por un paquete muy potente de calcarenitas, calizas y arcillas con frecuentes cambios laterales de facies), y Acuífero de Arcos Bornos (formado por calcarenitas y areniscas del Mioceno y cuya base la conforman materiales mesozoicos margocalizos).

Vulnerabilidad baja

Bajo esta denominación, y representada en color verde, se han englobado una serie de formaciones cuya naturaleza litológica, disposición y características hidrogeológicas hace que presenten malas características como acuíferos, aunque esto no quiere decir que puntualmente no puedan satisfacer necesidades locales. Se trata de areniscas, margas y arcillas ampliamente distribuidas por la provincia y que, en ocasiones, actúan como formación confinante de acuíferos profundos.

Para finalizar, hay que indicar que, aunque determinadas formaciones queden incluidas dentro del grupo de vulnerabilidad media o baja, cualquier actividad o instalación que pueda suponer un riesgo para las aguas subterráneas, debe ir acompañada de un estudio hidrogeológico de detalle que indique la idoneidad o no de la formación para recibir los posibles vertidos que se puedan generar.



15 Agua y medio ambiente

Agua y medio ambiente

15

15.1. Introducción

La provincia de Cádiz posee unos valores naturalísticos, ecológicos y ambientales de gran magnitud, comparable a la del resto de las provincias andaluzas (Durán y Murillo, 1988). En su territorio se encuentran, parcial o totalmente, 27 espacios naturales protegidos, que suman unos 2.500 km^2, más de un tercio del total de la extensión provincial.

Muchos de estos espacios naturales protegidos tienen una relación muy estrecha con el agua, en general, y con la subterránea, en particular. Las lagunas gaditanas incluidas en el Convenio Internacional de Ramsar son un buen ejemplo de ello.

También existen numerosos manantiales singulares que configuran enclaves de gran interés ecológico, por su biodiversidad y por su importancia hidrogeológica.

Se pasará revista a todos los espacios naturales protegidos gaditanos, comentando las funciones que el agua desempeña en cada uno de ellos. También se describirán con mayor detalle geológico los tres espacios incluidos en el Convenio de Ramsar y, por último, se citarán algunos de los más notables manantiales de la provincia.

15.2. Espacios naturales protegidos y agua

La provincia de Cádiz cuenta con 27 espacios naturales protegidos. La mayor extensión de superficie protegida está ocupada por los cinco parques naturales existentes, entre los que destacan por su superficie el de los Alcornocales y el de la Sierra de Grazalema, ambos situados al este de la provincia.

15.2.1 Parque Natural de la Sierra de Grazalema

Ocupa una extensión de 51.695 ha, el segundo espacio protegido en cuanto a extensión de la provincia. Se extiende a través de ocho municipios gaditanos: Benaocaz, El Bosque, El Gastor, Grazalema, Prado del Rey, Ubrique, Villaluenga del Rosario y Zahara de la Sierra y otros seis de la provincia de Málaga. Además de la protección como parque natural, está declarado por la UNESCO Reserva de la Biosfera desde 1977.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la Sierra de Grazalema es un enclave excepcional. En él se encuentran las máximas altitudes de la provincia de Cádiz (El Torreón, con 1954 metros sobre el nivel del mar), y los mayores valores de pluviometría media anual (Grazalema, más de 2.000 litros por metro cuadrado). Estas circunstancias, junto con la naturaleza carbonática de gran parte de los afloramientos, han determinado la generación de unos macizos kársticos excepcionales, donde las aguas subterráneas juegan un papel fundamental. Tanto es así que dentro del parque natural abre sus puertas el Museo del Agua, en la localidad de Benamahoma.

En toda la Sierra de Grazalema son frecuentes las manifestaciones típicas de las regiones kársticas: cuevas, simas, pérdidas, surgencias, valles ciegos, cañones kársticos, dolinas, campos de lapiaz, etc. La hidrogeología kárstica tiene aquí un campo de estudio e investigación de gran interés, como muestran algunas de las muchas publicaciones existentes (Rodríguez Vidal, 1999).



Laguna del Taraje. Reserva Natural del Complejo Endorreico del Puerto de Santa María (3)

Espacios naturales protegidos de Andalucía. Año 2003

Figura de protección	Espacio Natural Protegido	Provincia	Nº municipios	Año Declaración	Normativa Declaración/ ampliación	Superficie (ha)	Superficie de protección (ha)	MAB[1]	RAMSAR[2]	LIC/ZEC[3]	ZEPA[4]
Parque Natural	Bahía de Cádiz	Cádiz	5	1989	Ley 2/89 (BOJA 27/7/89)	10000			Sí	Sí	Sí
Parque Natural	Estrecho	Cádiz	2	2003	Decreto 57/2003 de 4 de marzo, de declaración del Parque Natural del Estrecho	9684	9247				
Parque Natural	La Breña y Marismas del Barbate	Cádiz	2	1989	Ley 2/89 (BOJA 27/7/89) / Ampliación: D 424/1994	4863				Sí	Sí
Paraje Natural	Cola del Embalse de Arcos	Cádiz	1	1989	Ley 2/89 (BOJA 27/7/89)	120				Sí	Sí
Paraje Natural	Cola del Embalse de Bornos	Cádiz	3	1989	Ley 2/89 (BOJA 27/7/89)	630				Sí	Sí
Paraje Natural	Estuario del Río Guadiaro	Cádiz	1	1989	Ley 2/89 (BOJA 27/7/89)	27				Sí	Sí
Paraje Natural	Isla del Trocadero	Cádiz	1	1989	Ley 2/89 (BOJA 27/7/89)	525				Sí	Sí
Paraje Natural	Marismas de Sancti Petri	Cádiz	1	1989	Ley 2/89 (BOJA 27/7/89)	170				Sí	Sí
Paraje Natural	Marismas del Rio Palmones	Cádiz	2	1989	Ley 2/89 (BOJA 27/7/89)	58				Sí	Sí
Paraje Natural	Playa de Los Lances	Cádiz	1	1989	Ley 2/89 (BOJA 27/7/89)	226				Sí	Sí
Reserva Natural	Complejo Endorreico de Chiclana	Cádiz	2	1987	Ley 2/87 (BOJA 8/4/87)	49	518			Sí	Sí
Reserva Natural	Complejo Endorreico de Espera	Cádiz	1	1987	Ley 2/87 (BOJA 8/4/87)	59	379			Sí	Sí
Reserva Natural	Complejo Endorreico de Puerto Real	Cádiz	1	1987	Ley 2/87 (BOJA 8/4/87)	104	735			Sí	Sí
Reserva Natural	Complejo Endorreico del Puerto de Sta.María	Cádiz	1	1987	Ley 2/87 (BOJA 8/4/87)	63,46	228		Sí	Sí	Sí
Reserva Natural	Laguna de Las Canteras y El Tejón	Cádiz	1	1989	Ley 2/89 (BOJA 27/7/89)	9,75	200			Sí	Sí
Reserva Natural	Laguna de Medina	Cádiz	1	1987	Ley 2/87 (BOJA 8/4/87)	121,33	254		Sí	Sí	Sí
Parque periurbano	Dunas de San Antón	Cádiz	1	1996	Orden 29/1/96 (BOJA nº 25)	70,44					
Parque periurbano	La Barrosa	Cádiz	1	1999	Orden de 17/06/99 (BOJA 78 de 8/07/99)	125,69					
Reserva Natural Concertada	Laguna de la Paja	Cádiz	1	1995	Acuerdo 20/12/94 (BOJA 31/1/95);	39,73					
Monumento Natural	Corrales de Rota	Cádiz	1	2001	Decreto 226/2001, de 2 de octubre (BOJA 135, 22/11/2001)	110					
Monumento Natural	Duna de Bolonia	Cádiz	1	2001	Decreto 226/2001, de 2 de octubre (BOJA 135, 22/11/2001)	13,16					
Monumento Natural	Punta del Boquerón	Cádiz	1	2003	Decreto 250/2003 de 9 de septiembre, por el que se declaran determinados Monumentos Naturales de Andalucía	74,53					
Monumento Natural	Tómbolo de Trafalgar	Cádiz	1	2001	Decreto 226/2001, de 2 de octubre (BOJA 135, 22/11/2001)	24,18					
Parque Natural	Doñana	Cádiz - Huelva - Sevilla	10	1989	Ley 2/89 (BOJA 27/7/89) / Ampliación: D 2/1997	53709		Sí		Sí	Sí
Parque Natural	Los Alcornocales	Cádiz - Málaga	17	1989	Ley 2/89 (BOJA 27/7/89)	170025				Sí	Sí
Parque Natural	Sierra de Grazalema	Cádiz - Málaga	14	1984	D 316/84 (BOJA 12/2/85) / Ampliación: Ley 4/89	51695		Sí		Sí	Sí
Reserva Natural	Peñón de Zaframagón	Cádiz - Sevilla	2	1989	Ley 2/89 (BOJA 27/7/89)	128	320				Sí
					302724,27						

(1) MAB: Inclusión como Reserva de la Biosfera (2) RAMSAR: Inclusión en el Convenio Es RAMSAR (3) LIC/ZEC: Inclusión como LIC/ZEC (4) ZEPA: Inclusión como ZEPA

Fuente: Consejería de Medio Ambiente

Parques Naturales

Los *Parques Naturales* son áreas naturales, poco transformadas por la explotación u ocupación humana que en razón de la belleza de sus paisajes, la representatividad de sus ecosistemas o la singularidad de su flora, de su fauna o de sus formaciones geomorfológicas, poseen unos valores ecológicos, estéticos, educativos y científicos cuya conservación merece una atención preferente.

Parques Periurbanos

Los *Parques Periurbanos* son espacios naturales situados en las proximidades de un núcleo urbano, hayan sido o no creados por el hombre, que atienden a las necesidades recreativas de la población.

Parajes Naturales

Los *Parajes Naturales* son espacios con excepcionales exigencias cualificadoras de sus singulares valores que se declaran como tales con la finalidad de atender la conservación de su flora, fauna, constitución geomorfológica, especial belleza u otros componentes de muy destacado rango natural.

El "Monumento Natural" como figura de protección

Se considera a los *Monumentos Naturales* como categoría de espacios naturales protegidos y los define como: "espacios o elementos de la naturaleza constituidos básicamente por formaciones de notoria singularidad, rareza o belleza, que merecen ser objeto de una protección especial, así como las formaciones geológicas, los yacimientos paleontológicos y demás elementos de la gea que reúnan un interés especial por la singularidad o importancia de sus valores científicos, ecoculturales o paisajísticos".

Reservas Naturales

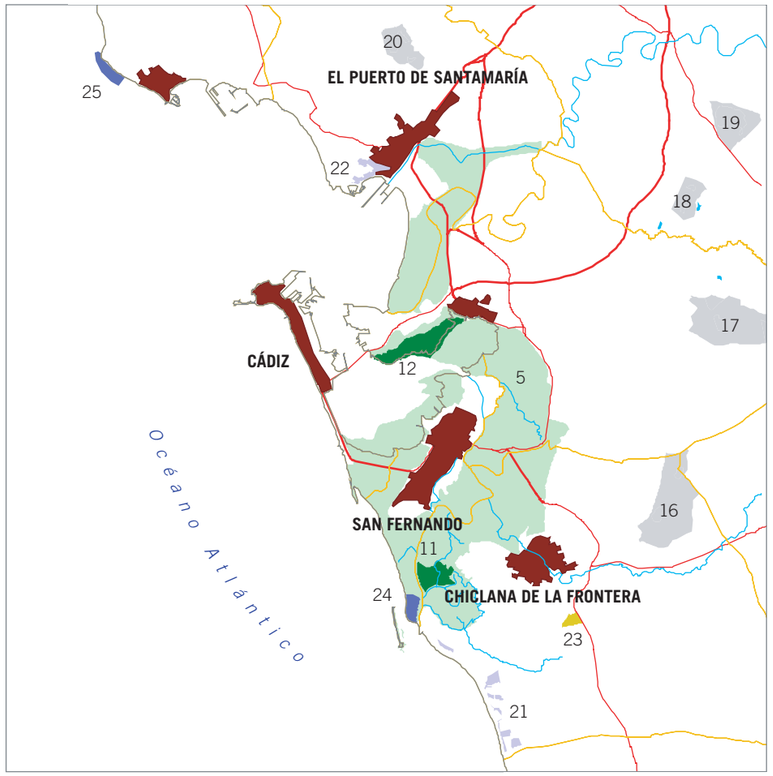
Las *Reservas Naturales* son espacios naturales, cuya creación tiene como finalidad la protección de ecosistemas, comunidades o elementos biológicos que, por su rareza, fragilidad, importancia o singularidad, merecen una valoración especial.

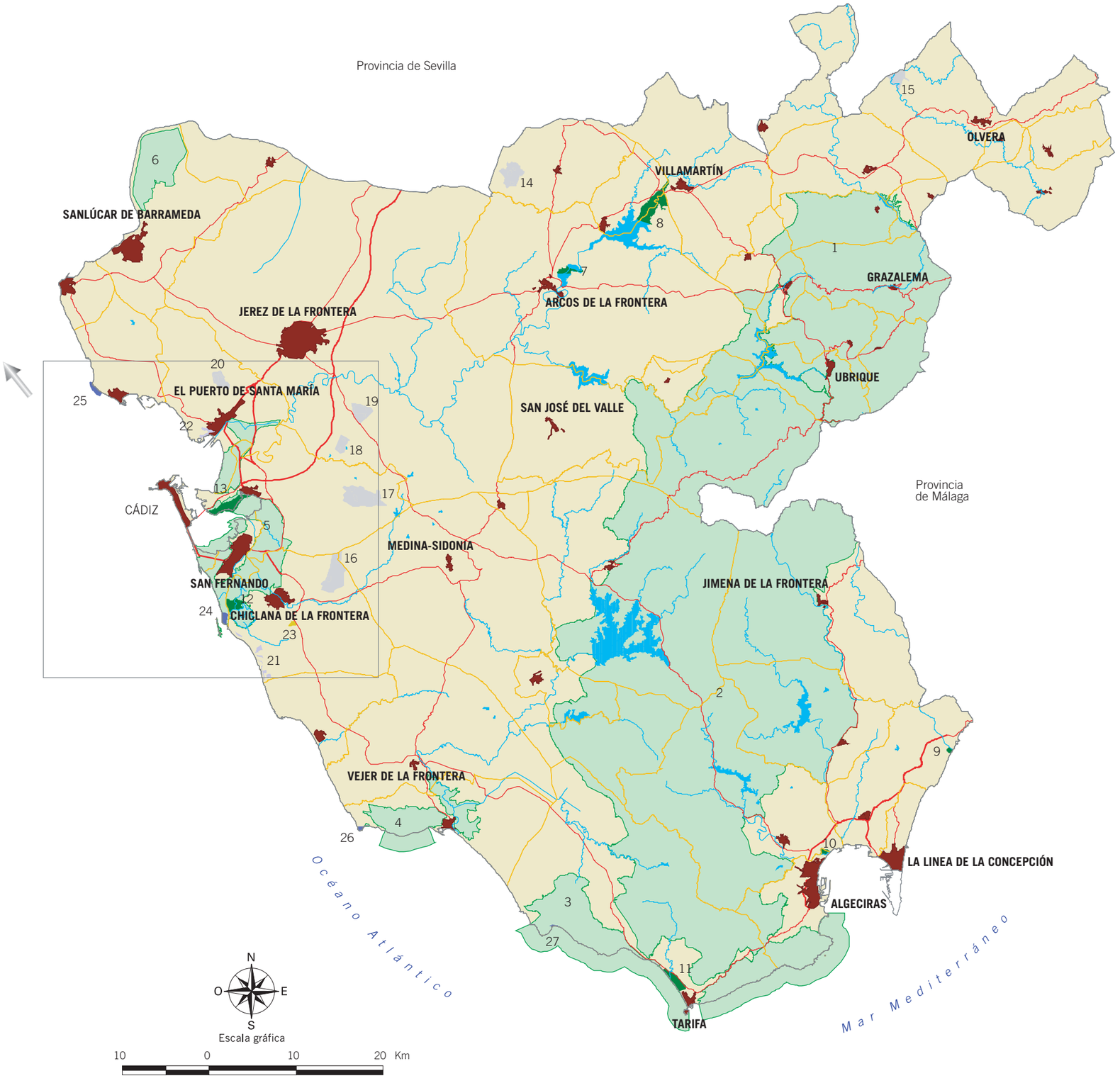
Reservas Naturales Concertadas

Las *Reservas Naturales Concertadas* son predios que sin reunir los requisitos objetivos que caracterizan las demás figuras legales de protección de ámbito estatal o autonómico, merezcan una singular protección y sus propietarios soliciten de la Consejería de Medio Ambiente la aplicación en los mismos de un régimen de protección concertado.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA · Instituto Geológico y Minero de España · Diputación de Cádiz

Espacios naturales protegidos de la provincia de Cádiz





Parque Natural

1. Sierra de Grazalema
2. Los Alcornocales
3. Estrecho
4. La Breña y Marismas del Barbate
5. Bahía de Cádiz
6. Doñana

Paraje Natural

8. Cola del Embalse de Bornos
9. Estuario del Río Guadiaro
10. Marismas del Río Palmones
11. Playa de Los Lances
12. Marismas de Sancti Petri
13. Isla del Trocadero

Reserva Natural

14. Complejo Endorreico de Espera
15. Peñon de Zaframagón
16. Complejo Endorreico de Chiclana
17. Complejo Endorreico de Puerto Real
18. Laguna de las Canteras y El Tejón
19. Laguna de Medina
20. Complejo Endorreico de El Puerto de Santa María

Parque Periurbano

21. La Barrosa
22. Dunas de San Antón

Reserva natural concertada

23. Laguna de la Paja

Monumento natural

24. Punta del Boquerón
25. Corrales de Rota
26. Tómbolo de Trafalgar
27. Dunas de Bolonia





Foto superior: Marismas del río Barbate (6)
Foto inferior: Marismas de la Algaida (Parque Natural de Doñana) (6)

15.2.2 Parque Natural de los Alcornocales

Es el más extenso de los espacios naturales protegidos gaditanos, con algo más de 170.000 ha, compartidas entre 17 municipios, todos ellos de la provincia de Cádiz salvo uno, el malagueño Cortes de la Frontera.

Litológicamente, los Alcornocales está constituido por areniscas y arcillas de los Flysch del Campo de Gibraltar. Son materiales de escasa importancia hidrogeológica, pero que por sus peculiaridades geomorfológicas ofrecen enclaves de gran interés hidrológico: son los canutos, valles fluviales encajados, con gran humedad ambiental, donde se desarrollan comunidades vegetales prácticamente únicas, con joyas botánicas como el helecho *Psilotum nudum.*

15.2.3 Parque Natural de la Breña y Marismas de Barbate

Este parque natural, de menor tamaño que los anteriores (4.863 hectáreas, que afectan a sólo dos municipios), es una ampliación del anteriormente denominado Acantilado y Pinar de Barbate, al que se añadió más recientemente el espacio correspondiente a las marismas del río Barbate.

Desde el punto de vista hidrogeológico, existe en este parque un enclave de interés: en los acantilados de los Caños de Meca puede observarse aún el papel hidrogeológico del contacto de las calcarenitas del tránsito entre el Mioceno y el Plioceno y las margas del sustrato. La diferencia de permeabilidad entre ambas litologías genera las surgencias conocidas como “caños”, que vierten el agua subterránea directamente sobre la playa.

Antiguamente, una canalización recorría el contacto, recogiendo el agua surgente y llevándola hasta Barbate (Gracia, 1999).

15.2.4 Parque Natural del Estrecho

De reciente creación, es un espacio con notable valores faunísticos y paisajísticos. El papel del agua en este parque se limita, fundamentalmente, a la presencia del Estrecho de Gibraltar, auténtico corredor acuático marino que une y separa los continentes de Africa y Europa.

15.2.5 Parque Natural de Doñana

Compartido entre las provincias de Huelva, Sevilla y Cádiz es un cinturón que rodea el Parque Nacional de Doñana. Las numerosas investigaciones hidrogeológicas llevadas a cabo en dicho Parque Nacional y su entorno lo convierten, posiblemente, en uno de los espacios protegidos mejor estudiados y conocidos (Martín Machuca, 2001). Las relaciones entre aguas fluviales, subterráneas y marinas son de gran interés y pueden ser investigadas en este marco con gran detalle.

15.2.6 Los complejos endorreicos y lagunares

El sector centrooccidental de la provincia de Cádiz es rico en fenómenos de endorreismo, tanto litoral como de interior. La mayor parte de las lagunas existentes están ligadas a la presencia de materiales evaporíticos triásicos, en superficie o en profundidad. Casi todas las lagunas tienen una alimentación doble, procedente del agua de lluvia o de escorrentía superficial, y del drenaje subterráneo del entorno más o menos próximo. La laguna de mayores dimensiones (la de Medina) se describe en el apartado siguiente, correspondiente a los humedales de importancia internacional.

15.2.7 Otros espacios naturales protegidos

El resto de los espacios protegidos gaditanos corresponden a estuarios y marismas costeros (Río Guadiaro, Río Palmones y Sancti Petri) y playas y elementos geomofológicos litorales (Corrales de Rota, Dunas de San Antón, Isla del Trocadero, La Barrosa, Duna de Bolonia, Playa de los Lances, Punta del Boquerón, Tómbolo de Trafalgar), con el añadido de un monumento natural localizado en el extremo nororiental de la provincia: el Peñón de Zaframagón. En el primer grupo, las interferencias entre el agua dulce y el agua salada ofrecen ecosistemas muy ricos y variados. En el segundo, el agua marina es la única existente. Por último, el Peñón de Zaframagón es un mogote calcáreo, con intensa karstificación, de origen, morfología y funcionamiento hidrogeológico similar a los numerosos existentes en la Cordillera Bética.

15.3. Zonas húmedas de importancia internacional

Entre los espacios naturales protegidos gaditanos destacan dos zonas húmedas de importancia internacional (Bernúes, 1998), incluidas en el Convenio de Ramsar, o Convenio relativo a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitats de Aves Acuáticas, firmado en la ciudad iraní de Ramsar en el año 1971.

15.3.1 Laguna de Medina y Laguna Salada

Fueron incluidos en la lista del Convenio de Ramsar por acuerdo de Consejo de Ministros de 28 de julio de 1989 (BOE de 8 de mayo de 1990).

La Laguna de Medina forma parte del Complejo Endorreico del Puerto de Santa María y se ubica sobre margas del Cretácico superior-Oligoceno, superpuestas a sedimentos triásicos yesíferos-salinos.

La Laguna Salada se sitúa sobre margas blancas silíceas (moronitas ó albarizas), de edad Mioceno medio.

La primera constituye la laguna gaditana de mayor volumen, de carácter permanente y aguas salinas; está alimentada en parte por aguas procedentes del Arroyo de Fuente Bermeja y en parte por aguas subterráneas.

La segunda es de origen estructural y de carácter temporal, debido a su alimentación casi estrictamente pluvial.

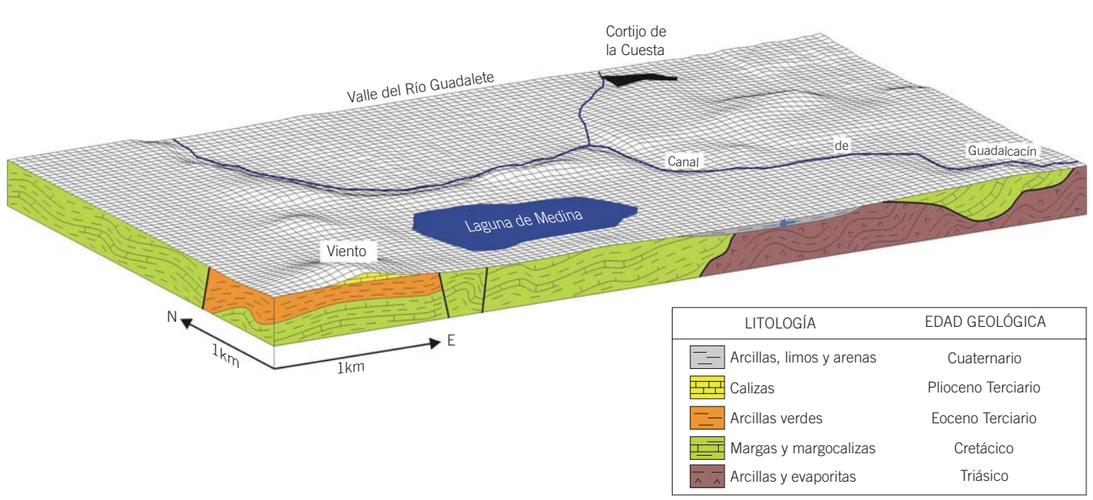


Laguna de Medina (3)

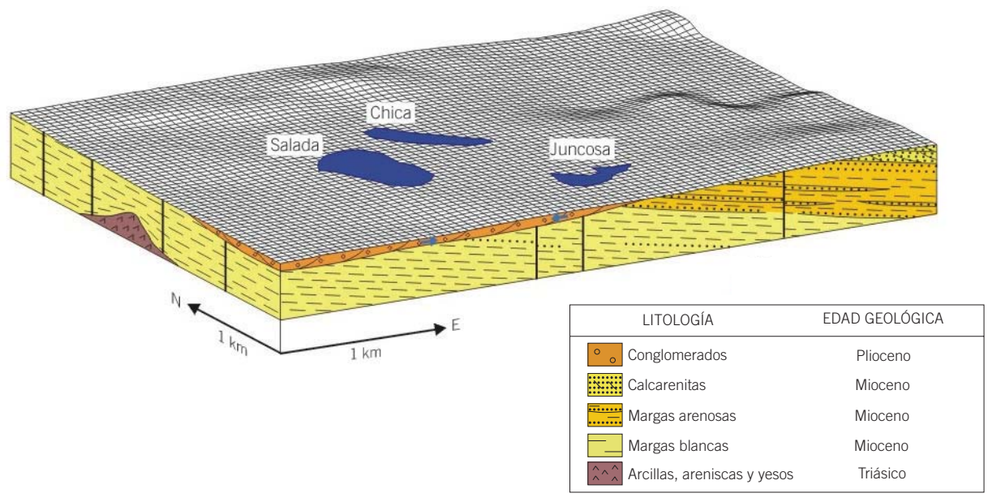


Laguna Salada (3)

Modelo geológico tridimensional de la Laguna de Medina



Modelo geológico tridimensional de las lagunas Salada, Chica y Juncosa



15.3.2 Bahía de Cádiz

Incluida en la lista del Convenio de Ramsar por acuerdo de Consejo de Ministros de 27 de Septiembre de 2002 (BOE de 20 de noviembre de 2002).

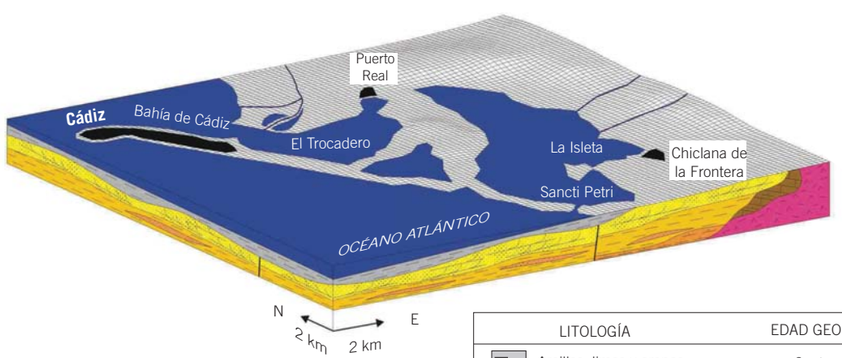
La Bahía de Cádiz es un espacio costero, localizado sobre la desembocadura del Río Guadalete; origina un estuario barrera, sin comunicación franca con el mar, y de rango mesotidal (amplitud de marea intermedia).

Los procesos mareales y los aportes fluviales originan procesos de mezcla e intercambio de masas de agua de distinta salinidad en los bordes del estuario, dando ecosistemas de gran interés.



Marismas de la Bahía de Cádiz (3)

Modelo geológico tridimensional de la Bahía de Cádiz



LITOLOGÍA	EDAD GEOLÓGICA
Arcillas, limos y arenas	Cuaternario
Calcarenitas y conglomerados	Plioceno
Margas azules y biocalcarenitas	Mioceno
Margas silíceas blancas	Mioceno
Calizas y margas blancas	Eoceno - Oligoceno
Arcillas, yesos y areniscas	Triásico



Manantial de Benamahoma (2)

15.4. Manantiales singulares

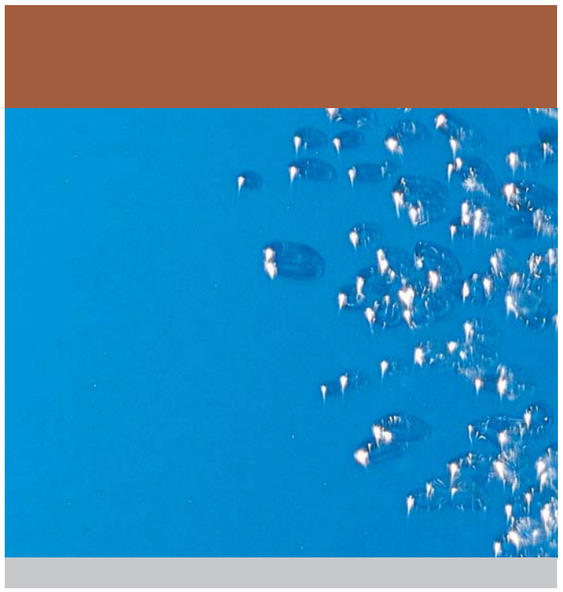
A lo largo y ancho de la provincia de Cádiz existen algunos manantiales singulares, que destacan del resto bien por las características fisíco-químicas de sus aguas (las aguas termales, o las declaradas minerales, o de manantial, que serán tratadas en un capítulo aparte), o bien por que constituyen entornos singulares en relación al medio circundante.

La mayoría de estos manantiales son de naturaleza kárstica, pues son éstos los de mayores caudales, produciendo un mayor impacto ambiental positivo en su entorno. Sobresalen dos, situados ambos en materiales calcáreos subbéticos: el Manantial de El Tempul y el Manantial de Benamahoma.

El manantial de El Tempul se encuentra en el borde norte de la Sierra de Las Cabras, un singular macizo del Subbético Medio, con una estructura en forma de media luna abierta hacia el sur. Su caudal medio es de 283 L/s.

Además de constituir un entorno natural singular, las aguas de El Tempul juegan un papel trascendental en el abastecimiento urbano de San José del Valle y Jerez de la Frontera. En 1991 fueron declaradas aguas minerales y en 1997 se concede a la sociedad municipal “Aguas de Jerez Empresa Municipal S.A.” (AJEMSA) la autorización para explotar las aguas sobrantes (no utilizadas en el abastecimiento urbano) para su uso como agua embotellada con la denominación de mineral natural, debiendo respetar el rebosadero existente o sustituirlo por una fuente de uso público (Resolución de 19 de mayo de 1997, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Junta de Andalucía), actuación que hasta la fecha no ha sido llevada a cabo.

El manantial de Benamahoma se sitúa en la población homónima, y sus aguas mantienen una piscifactoría truchera de gran calidad. Un viejo molino restaurado alberga en sus inmediaciones el Museo del Agua. Su caudal medio es de unos 400 L/s.



“Iba tocando mi flauta”

Iba tocando mi flauta
a lo largo de la orilla;
y la orilla era un reguero
de amarillas margaritas.

El campo cristaleaba
tras el temblor de la brisa;
para escucharme mejor
el agua se detenía.

Notas van y notas vienen,
la tarde fragante y lírica
iba, a compás de mi música,
dorando sus fantasías

y a mi alrededor volaba,
en el agua y en la brisa,
un enjambre doble de
mariposas amarillas.

La ladera era de miel,
de oro encendido la viña,
de oro vago el raso leve
del jaral de flores níveas;

allá donde el claro arroyo
da en el río, se entreabría
un ocaso de esplendores
sobre el agua vespertina...

Mi flauta con sol lloraba
a lo largo de la orilla;
atrás quedaba un reguero
de amarillas margaritas...

Juán Ramón Jiménez

16 Uso conjunto y recarga artificial

Uso conjunto y recarga artificial

16

16.1. Introducción

La satisfacción de una determinada demanda hídrica a partir del uso planeado y coordinado de la componente superficial y subterránea del ciclo hidrológico se denomina gestión conjunta.

La cantidad en la que participa el agua de una u otra procedencia depende del estado inicial en que se encuentra cada elemento del sistema de recursos hídricos; de la cuantía, garantía y distribución temporal de la demanda que es preciso atender; y de la calidad final del agua que se quiere obtener.

El estado que presenta cada uno de los elementos del sistema al cabo de cierto período de tiempo, así como su respuesta a las solicitaciones a las que se le somete, se determina a través de modelos numéricos muy sofisticados.

Previamente a la realización de esa etapa se definen los elementos esenciales que configuran el sistema: acuíferos y ríos, demandas de agua, e infraestructuras de almacenamiento y transporte. Así como los vínculos y relaciones que existen entre los distintos elementos implicados en el sistema hídrico. A este conjunto de componentes reales o abstractos relacionados entre sí y con el exterior se le da el nombre de esquema topológico.

El uso conjunto trata un problema de optimización de la gestión del recurso hídrico que normalmente sólo contempla aspectos de cantidad ligados a consideraciones de carácter económico y a la faceta legal que lo hace viable. Este supuesto no implica que, en determinados casos, se consideren hipótesis de gestión fundamentadas en la mejora de la calidad del recurso hídrico o en la conservación del medioambiente. A este respecto es preciso indicar que los aspectos cualitativos del uso conjunto se encuentran todavía insuficientemente desarrollados.

El uso conjunto, como filosofía de gestión hídrica, se puede caracterizar mediante tres ideas claves:

- Complementariedad de actuación entre las distintas componentes de un único recurso hídrico.

- Posibilidad de incrementar o mantener la disponibilidad de los recursos hídricos y/o de la garantía de suministro con una menor vulnerabilidad frente a las incertidumbres hidrológicas (por ejemplo una sequía).

- Capacidad de obtener mejores resultados técnicos y económicos ante la presencia de una nueva situación hidrológica continuada (por ejemplo un aumento de la demanda en un lugar concreto del sistema de recursos hídricos).



Sondeo de explotación realizado en el arroyo de la Zorra (pozo III) del acuífero de la Sierra de las Cabras. Fue incorporado al sistema de abastecimiento de la Bahía de Cádiz durante la sequía, en agosto de 1995, aportando un caudal de 100 L/s. (1)

La recarga artificial se concibe como una herramienta de la gestión hídrica planificada en la que aguas superficiales ocasionales, sobrantes o especialmente destinadas a este fin se almacenan en los acuíferos para incrementar los recursos hídricos y para mantener o constituir una reserva disponible para situaciones de escasez estacional o para sequías.

La recarga artificial es, pues, un elemento del sistema de recursos hídricos al igual que lo son los embalses, los acuíferos, los canales, las acequias, los transvases, la reutilización, la desalación, las demandas o las aportaciones. Evidentemente, su uso no tiene carácter universal, por lo que sólo interviene en aquellos sistemas de aprovechamiento de los recursos hídricos en que se precisa de su aplicación. Este hecho no es ajeno a otros elementos del sistema de recursos hídricos como pueden ser los transvases, la reutilización, la desalación o incluso, aunque aparentemente no lo parezca, los embalses superficiales.

La recarga artificial es una técnica que, aunque interviene en algunos esquemas de uso conjunto, también tiene otra serie de aplicaciones no vinculadas con esta filosofía. A este respecto se pueden citar las actuaciones para corregir problemas de subsidencia, el aprovechamiento de las propiedades del suelo y de la zona no saturada como elemento de filtración o tratamiento tanto para aguas potables como residuales, o la dilución del excesivo contenido en nitratos, cloruros u otros constituyentes químicos de las aguas de determinados acuíferos.



Las infraestructuras de almacenamiento y transporte constituyen también elementos del sistema hídrico.
Conducción de agua en tubería sobre el Guadalete (6)



Depósito de regulación de agua en Villaluenga del Rosario (1).

16.2. Uso conjunto

En la provincia de Cádiz, al igual que en el resto de España, el uso conjunto responde a una casuística generada desde abajo, es decir, por iniciativa de los usuarios que, a nivel individual u organizados en comunidades, perciben, en su momento, la necesidad de crear o de mantener una explotación conjunta de aguas superficiales y subterráneas.

Esta aptitud es manifiesta en determinados acuíferos de la provincia, donde son numerosos los regantes que, en épocas de sequía, hacen uso de sus pozos para complementar los caudales servidos desde los embalses.

La actuación más importante que se ha realizado en la provincia coincide con la sequía que tuvo lugar entre 1992 y 1995 y que consistió, fundamentalmente, en la utilización de los acuíferos de Los Sotillos, Arcos-Bornos-Espera, la Sierra de las Cabras y la Sierra de San Cristobal para atender la demanda planteada por la "Bahía de Cádiz" mediante la realización de sondeos que vertían sus aguas a las conducciones que venían desde los embalses según el esquema de aprovechamiento que se esquematiza en la figura adjunta.

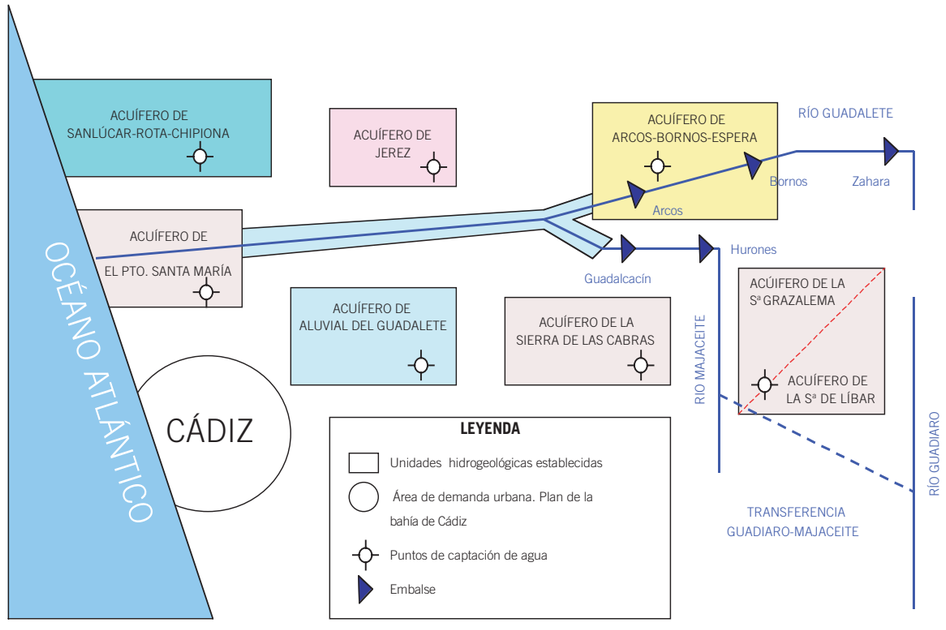
En 1995 la aportación media de aguas subterráneas al sistema de abastecimiento fue del 32%, llegando a ser del 100% a finales del verano del citado año, momento éste en que la disponibilidad de agua embalsada era nula. En total se movilizaron un volumen de 23 millones de metros cúbicos durante el periodo de sequía de los cuales del orden de 6 se extrajeron a través de 7 sondeos situados en el acuífero de la Sierra de Las Cabras, cuya evolución de niveles experimentó un descenso que posteriormente, tras un periodo de precipitaciones normal, recuperó hasta alcanzar su estado inicial, lo que pone de manifiesto la aptitud de este acuífero para suministrar volúmenes de agua por encima de sus recursos renovables durante períodos de tiempo cortos para satisfacer demandas puntuales y recuperar con relativa rapidez la situación de equilibrio normal.

En el acuífero de Arcos-Bornos-Espera se realizaron 5 sondeos de explotación, de los cuales 4 fueron equipados bombeando caudales de 100 L/s cada uno. Del mismo modo, el sondeo ejecutado en la Sierra de San Cristobal, situada en el acuífero de El Puerto de Santa María, se explotó con 100 L/s.

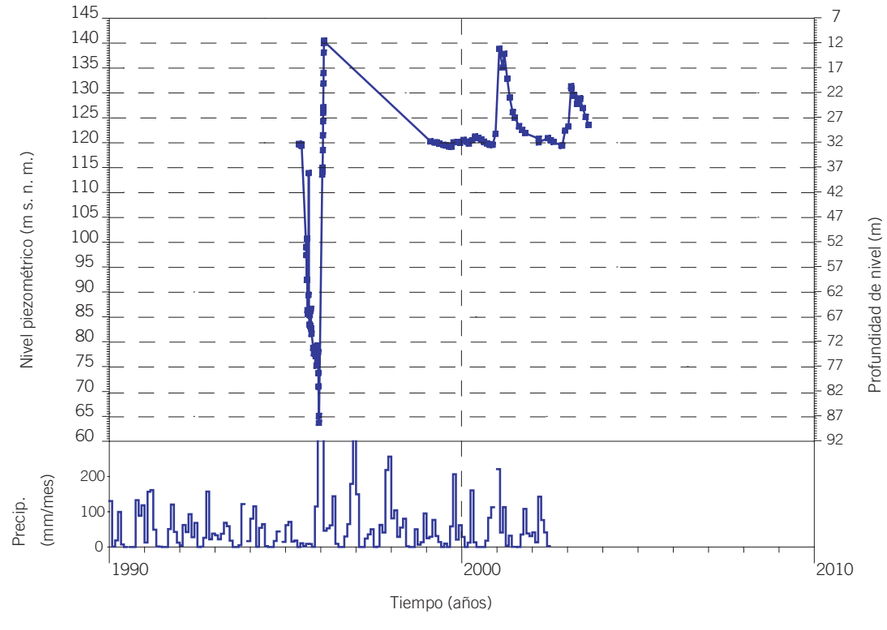
Paralelamente a esta actuación la comunidad de regantes del acuífero de los Sotillos, concesionaria de los derechos de utilización del agua subterránea del mismo, llegó a un acuerdo con la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir mediante el cual cedía sus derechos (caudales de hasta 500 L/s) para apoyar los abastecimientos urbanos a la zona de la bahía de Cádiz a cambio de una serie de actuaciones posteriores que serían financiadas por dicha Confederación, entre las cuales se incluían varias experiencias piloto de recarga artificial en el acuífero.

A nivel nacional el Ministerio de Medio Ambiente y el Instituto Tecnológico y Geominero de España, elaboraron, en el año 1994, un programa de actuación titulado "Integración de los acuíferos en los sistemas de explotación de aguas superficiales. Programa estatal de estudios para la definición de la utilización coordinada de recursos superficiales y subterráneos" que proponía la realización de un estudio de uso conjunto en la provincia de Cádiz, que afectaba al sistema de explotación Vejer-Barbate, e implicaba el uso coordinado de recursos superficiales y subterráneos entre la unidad hidrogeológica de Vejer-Barbate y los embalses de Barbate, Celemín y Almodóvar al objeto de apoyar y mejorar la garantía de suministro al abasecimiento mancomunado de Barbate-Celemín-Almodóvar.

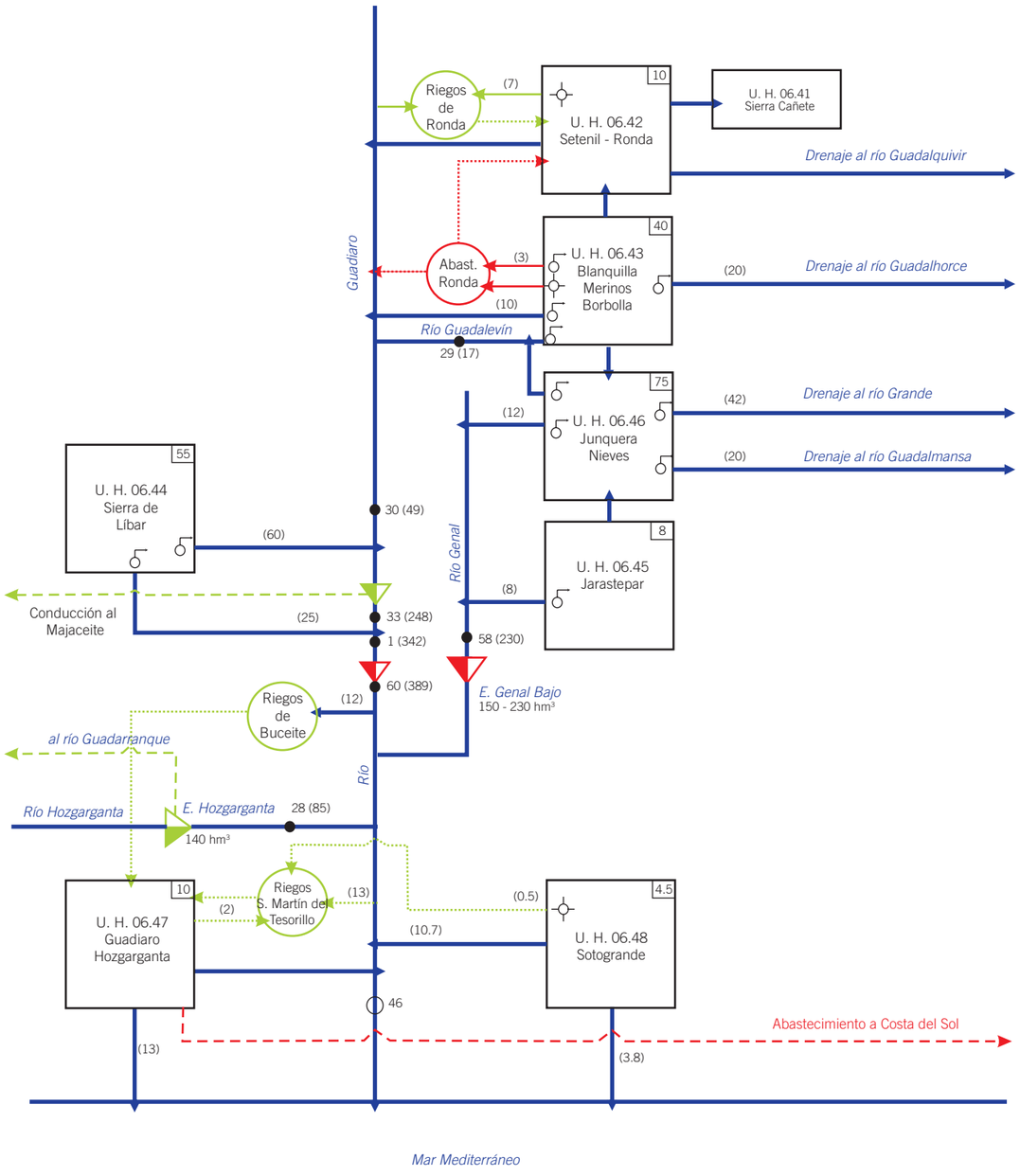
Esquema de aprovechamiento conjunto para atender la demanda de la "Bahía de Cádiz" (1992-1995)



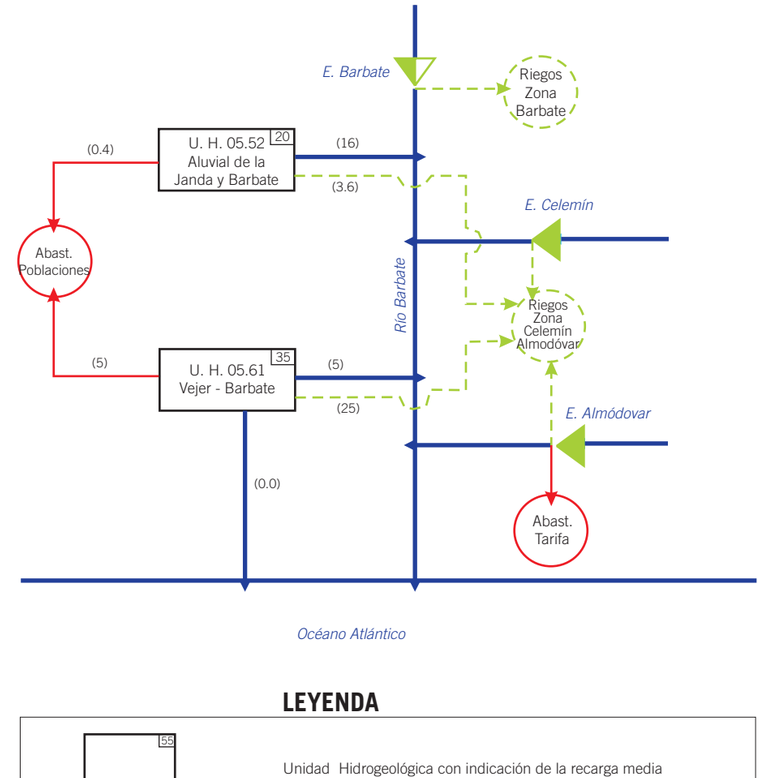
Evolución del nivel piezométrico en el acuífero de la Sierra de las Cabras.



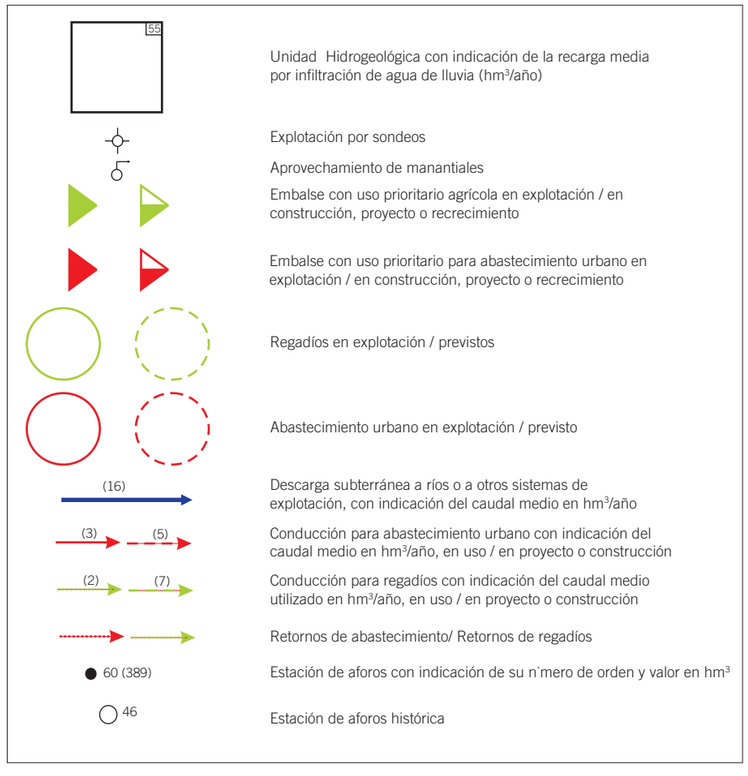
Esquema topológico del Sistema de Explotación Guadiaro



Esquema topológico del Sistema de Explotación Barbate



LEYENDA



Hoy en día, con el abaratamiento de los costes de desalación y la mejora en las técnicas de depuración de aguas residuales, se abren nuevas perspectivas en la gestión integral de los recursos hídricos que, en la provincia de Cádiz, podrían contribuir a un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos, tanto bajo una óptica socioeconómica como medioambiental, de los sectores costeros noroccidental y sur. En los estudios de uso conjunto que cabe plantear, intervendrían, junto a los recursos no convencionales anteriormente citados, las unidades hidrogeológicas de "Rota-Sanlúcar-Chipiona", "El Puerto de Santa María" y "Puerto Real-Conil" para el sector noroccidental y "Guadarranque-Palmones", "Sotogrande", "La Línea" y "Guadiaro-Hozgarganta" para el sector sur. En algunos casos se buscaría liberar recursos subterráneos al objeto de corregir problemas de sobreexplotación o intrusión marina, mientras que en otros se intentaría intensificar la explotación en ciertos acuíferos, que presentan una alta disponibilidad hídrica, con el fin de salvaguardar recursos superficiales comprometidos con áreas o espacios naturales de alto interés ecológico y paisajístico. Dentro de estos estudios tendría cabida analizar y paliar el efecto de ciertas actuaciones, como la conducción al Majaceite, que en general no son bien aceptadas por amplios sectores de la sociedad.

16.3. Recarga artificial

En el año 2000 el Ministerio de Medio Ambiente y el IGME (entonces denominado Instituto Tecnológico Geominero de España) elaboraron un documento donde se identificaban los acuíferos de las cuencas intercomunitarias para los que había que analizar la viabilidad de emprender actuaciones de recarga artificial.

En dicho documento se admitía que la recarga artificial de acuíferos apenas tenía implantación en España debido a varias causas, la principal de las cuales era la escasa disponibilidad de agua para su aplicación, ya que el almacenamiento y la consiguiente regulación de los recursos de agua superficial eran muy altos, de modo que en las zonas donde existían demandas de agua insatisfechas eran muy escasos los recursos naturales excedentes que podían ser almacenados. Aún así se identificaban un buen número de actuaciones que, por sí mismas o integradas en sistemas de aprovechamiento conjunto, podían contribuir a solucionar los problemas de sobreexplotación o salinización de determinados acuíferos.

Concretamente en la provincia de Cádiz se proponía estudiar la viabilidad de realizar acciones de recarga artificial en unidades hidrogeológicas que se corresponden con los siguientes acuíferos:

16.3.1 Acuífero de Arcos-Bornos-Espera (U.H. 05.54)

Los recursos de este acuífero se cuantifican en 7 hm^3/a y su explotación (riego y abastecimiento) entre 6 y 8 hm^3/a dependiendo de la variación de la demanda anual, por lo que presenta un alto riesgo de sobreexplotación.

El valor estratégico de este acuífero es muy alto especialmente como fuente de abastecimiento a las poblaciones de Arcos, Bornos, Espera y, en circunstancias especiales, a la Bahía de Cádiz.

La aplicación de la técnica de la recarga artificial de acuíferos permitirá no sólo disminuir el riesgo de sobreexplotación, sino también garantizar los actuales usos para abastecimiento, así como mantener una valiosa reserva de agua para solventar los problemas derivados de eventuales secuencias climáticas secas.

El agua de recarga procedería del embalse de Bornos. La recarga artificial se realizaría sobre los afloramientos calcareníticos mediante la construcción de instalaciones específicas para este fin. No obstante, hay que admitir que la recarga también se produce en la situación actual a través de los flancos del embalse que se encuentran en parte integrados en el acuífero calcarenítico. El volumen o caudal del agua potencialmente recargable se cuantifica en 5 hm^3/a.

16.3.2 Acuífero de Vejer-Barbate (U.H. 05.61)

Este acuífero tiene una enorme importancia en la satisfacción de demandas para consumo urbano, regadíos de alto rendimiento y mantenimiento hídrico de parajes naturales, por lo que el estudio realizado por la DGOHCA y el ITGE consideraba muy interesante analizar la posibilidad de plantear un esquema de recarga artificial que aprovechase excedentes invernales del embalse de Barbate, concebido y construido como embalse de laminación. El volumen o caudal de agua potencialmente recargable se cifraba en 5 hm^3/a.

16.3.3 Acuífero de los Llanos del Sotillo (U.H. 05.55)

La unidad hidrogeológica 05.55 (Aluvial de Guadalete), está constituida por dos acuíferos que se denominan de "Los Llanos del Sotillo" y "del aluvial". La experiencia de recarga artificial que propone el documento anteriormente citado se proyecta para el primero de los acuíferos que se ubica en la margen izquierda del río Guadalete, entre el río Majaceite y el arroyo Salado de Paterna.

La operación de recarga pretende regular, mediante el empleo del embalse subterráneo, los excedentes hídricos del arroyo de La Molineta y del resto de arroyos que atraviesan la unidad 05.55 "Aluvial del Guadalete", para garantizar los actuales usos y apoyar en épocas de sequía a los abastecimientos públicos, tanto de las poblaciones de esta unidad como de las localidades próximas a la misma, a través de la red general de abastecimiento a la zona gaditana.

16.3.4 Plan de trabajo

El Plan de trabajo que propone el documento redactado por la DGOHCA y el ITGE contempla dos fases. La primera, ya en ejecución, comprende los estudios de viabilidad técnica y económica y la segunda la redacción de los proyectos de obra.

Primera fase: análisis de viabilidad técnica y económica

El objetivo de esta fase es disponer de los conocimientos necesarios sobre el estado de aprovechamiento de los recursos hídricos y sobre las circunstancias hidrogeológicas condicionantes del diseño de las instalaciones para seleccionar las acciones de recarga a implantar. Comprende un estudio de viabilidad técnica y otro de viabilidad económica.

El estudio de viabilidad técnica tiene por finalidad identificar y dimensionar el problema existente y definir los objetivos concretos y beneficios esperables de la recarga. Por ello contempla realizar estudios de excedentes, de origen del agua de recarga, de régimen temporal, en cuanto a caudales y volúmenes, y su calidad físico-química y bacteriológica. También contempla un estudio hidrogeológico de detalle, el análisis de alternativas, la selección de zonas favorables, los procedimientos y dispositivos para efectuar la recarga y las previsiones sobre los fenómenos de colmatación.

El estudio de viabilidad económica tiene por objetivo examinar tanto los aspectos estrictamente económicos como los aspectos legales que la operación de recarga pudiera suscitar.

El estudio de los condicionantes legales se centra en los factores jurídicos y en las medidas legales requeridas para la implantación del sistema de recarga y su repercusión en la gestión de los recursos hídricos, como por ejemplo la conveniencia de creación de comunidades de usuarios, la disponibilidad de terrenos o la preservación de derechos privados o públicos.

El objetivo del estudio económico es el análisis de los costes de implantación y operación del sistema de recarga propuesto en relación con el beneficio medioambiental y socioeconómico que se pudiera derivar de la misma. Para ello se pretende evaluar la inversión inicial o costes de ejecución de las infraestructuras requeridas para la instalación del sistema, los costes de explotación, los costes de mantenimiento, el período de amortización de las infraestructuras y el coste del m3 puesto a disposición. En la evaluación económica se integrarán los precios de los terrenos necesarios para las infraestructuras de nueva creación.

Segunda fase: redacción de proyectos de obra

El objetivo de esta fase es disponer de los proyectos de las obras requeridas para la implantación de las actuaciones de recarga artificial de acuíferos que se tengan que realizar así como de los correspondientes estudios de impacto ambiental.

Los proyectos incluirán la totalidad de las obras del sistema de recarga diseñado: las obras de captación, regulación y conducción de excedentes y las infraestructuras de recarga artificial y control del sistema.

La calidad de la definición de las obras recogida en la memoria, planos y anejos del proyecto, así como los presupuestos incluidos, tendrán la precisión y detalle requeridos para proyectos definitivos y válidos para su correspondiente tramitación, aprobación y ejecución.

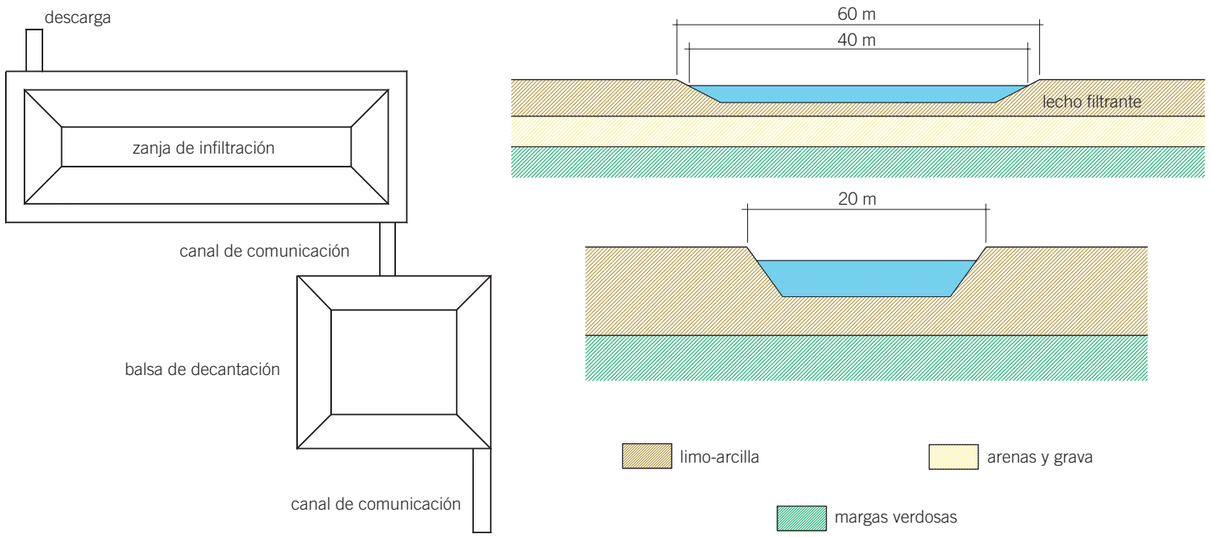
16.4. La instalación piloto de recarga artificial de Los Sotillos

El proyecto se concibió desde el principio como una experiencia piloto, planteándose el diseño de una planta de experimentación para en el futuro proyectar y construir una obra de mayor calibre.

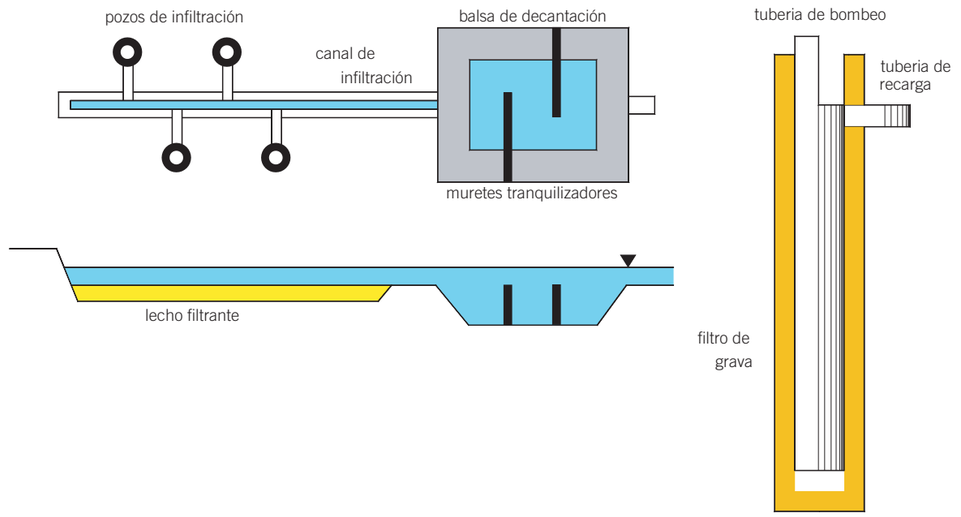
El dispositivo de infiltración que se concibe sufre diversas modificaciones a lo largo del proceso de diseño. La ubicación de la planta se localiza en el paraje denominado “Posada de Los Chupones”, en el margen derecho de un meandro natural del arroyo de la Molineta en su curso medio.

Inicialmente se diseña una planta de infiltración constituida por una balsa de decantación y una zanja de infiltración con filtro de grava en su lecho y taludes impermeables. La planta se completaba con una serie de elementos adicionales como el canal de alimentación, el canal de unión entre la balsa y la zanja, y una azud de derivación en el cauce del arroyo para introducir el agua en la instalación. A su vez, se proyecta la construcción de 6 piezómetros de 25 m de profundidad en las inmediaciones de la planta.

Diseño inicial de la planta piloto de recarga artificial en “Los Sotillos”



Segundo diseño de la planta piloto de recarga artificial en “Los Sotillos”. Planta y esquema de un pozo



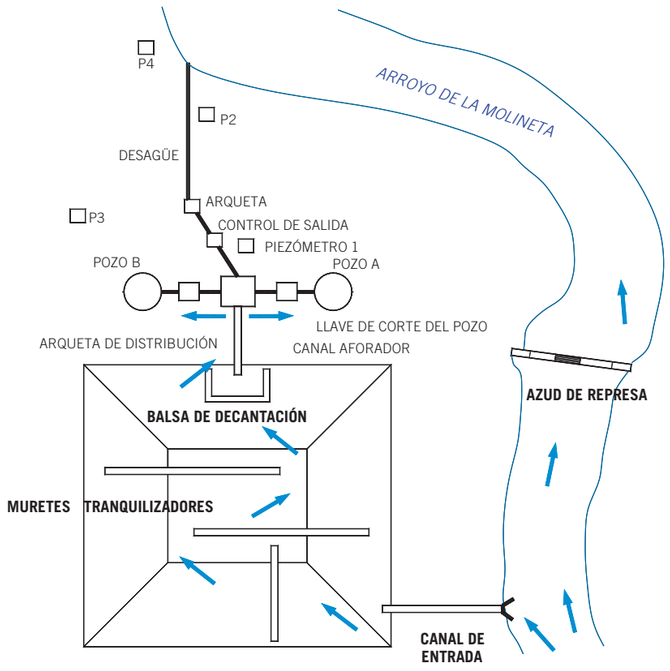


Azud en el cauce del arroyo de La Molineta. La compuerta regula la entrada de agua en la planta piloto de recarga artificial situada en el acuífero de Los Sotillos (4)



Planta piloto de recarga artificial en el acuífero de Los Sotillos donde se observa la balsa de decantación, con los muretes tranquilizadores de ladrillo, y el canal de entrada de agua a los dos pozos de infiltración (4)

Esquema definitivo de la planta piloto de recarga artificial de "Los Sotillos"



En este primer diseño se plantea la necesidad de llevar a cabo una serie de calicatas en la zona con el fin de definir la profundidad del techo de la unidad acuífera ya que, esta zona, se encuentra recubierta por depósitos impermeables. Estas calicatas muestran que el acuífero se encuentra bajo un depósito arcilloso de 10 m de potencia, lo que hace inviable el diseño concebido inicialmente debido al elevado volumen de material que sería necesario remover para su construcción.

Se opta pues por un segundo diseño que consiste en una serie de pozos de infiltración que quedaban colgados y no penetraban en la zona saturada. La balsa de decantación se mantiene y se añade un canal filtrante relleno de grava que transportaría el agua hasta cuatro pozos. Estos tendrían 25 m de profundidad, tubería - filtro puentecillo y empaque de gravas.

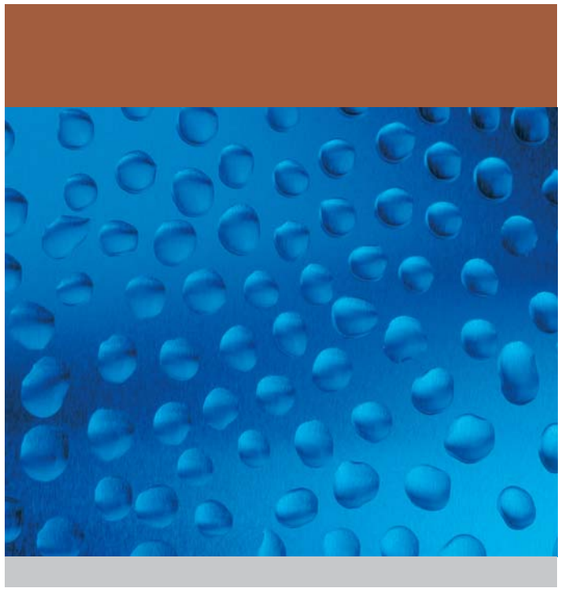
El diseño definitivo que se ha construido está constituido por dos pozos gemelos de infiltración de 2 m de diámetro y profundidad de 20 m, rellenos de cantos rodados y grava (uno de naturaleza silícea y otro carbonatada), con un filtro de arena silícea calibrada (entre 1 y 7 mm de tamaño) con un espesor de 0,5 m en la parte superior. Los pozos presentan en sus 10 primeros metros anillos de hormigón de 1 m cada uno y están en contacto directo con el acuífero a lo largo de la zona no saturada en los 10 metros restantes.

El agua que se infiltra en esta instalación proviene del arroyo "La Molineta". Entre el arroyo y los pozos se ha constituido una balsa de decantación con el fin de reducir los sólidos en suspensión del agua del arroyo. Esta balsa presenta paredes de hormigón, y, en su interior, unos muretes de ladrillo con el fin de reducir la velocidad del agua.

La entrada de agua se produce por un canal dotado de una compuerta de regulación. El agua alcanza la base de este canal gracias a un azud construido en el cauce del arroyo, dotado también de otra compuerta para regular las crecidas del arroyo.

Entre la balsa y los pozos se instala un canal aforador con el fin de conocer el caudal de entrada al sistema de recarga. La instalación se completa con un sistema de desagüe que desemboca aguas abajo del azud de retención.

La planta piloto ha funcionado durante ocho periodos, que se han denominado "etapas de recarga" entre el 3 de diciembre de 2002 y el 13 de mayo de 2003. El volumen total que se ha recargado en dicho periodo ha sido de 113.727 m^3. El máximo caudal puntual de recarga ha sido de 50,34 L/s y el caudal medio de 18,86 L/s.



“Viento, agua, piedra”

El agua horada la piedra,
el viento dispersa el agua,
la piedra detiene al viento.
Agua, viento, piedra.

El viento esculpe la piedra,
la piedra es copa del agua,
el agua escapa y es viento.
Piedra, viento, agua.

El viento en sus giros canta,
el agua al andar murmura,
la piedra inmóvil se calla.
Viento, agua, piedra.

Uno es otro y es ninguno:
entre sus nombres vacíos
pasan y se desvanecen
agua, piedra, viento.

Octavio Paz

17 Aguas minerales y termales

Aguas minerales y termales

17

17.1. Consideraciones generales y aspectos legales

Las aguas minerales han sido objeto de numerosas clasificaciones, atendiendo a su origen, características físicas, composición química, aplicaciones terapéuticas y tipo de aprovechamiento. La legislación española no define de forma genérica qué es un agua mineral, pero sí los distintos tipos contemplados en la normativa vigente. No obstante, se podrían definir como aquellas aguas subterráneas con unas características físicas o químicas que las diferencian del resto, tratándose en ocasiones de aguas de circulación profunda y con un prolongado tiempo de residencia en el acuífero. El tiempo de residencia en el acuífero, la profundidad de donde proceden y el gradiente geotérmico dan lugar a que se mineralicen y, en algunos casos, a que sean termales.

La Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, en su artículo 1.2 declara de dominio público hidráulico todas las aguas integradas en el ciclo hidrológico, si bien la misma en el artículo 1.4 excluye de su ámbito de aplicación a las aguas minerales y termales al señalar que éstas han de regularse por su legislación específica.

Los textos legales en esta materia son: la Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas y el Reglamento que la desarrolla; Real Decreto Ley de 1928 para explotación de manantiales de aguas minero-medicinales; y el Real Decreto 1074/2002 de 18 de octubre y su modificación de 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.

La normativa fundamental que rige las aguas minerales es la Ley de Minas, que regula la declaración, explotación y protección del recurso entre otros aspectos, y que ha sido desarrollada por el Reglamento General para el Régimen de la Minería, aprobado por el R.D. 2857/1978, de 25 de agosto. Conviene destacar que es una ley de bases y en consecuencia de aplicación estatal, es decir, aunque las autonomías tienen transferidas las competencias en esta materia, no pueden legislar en contraposición con la misma.

Las aguas minerales se clasifican según la Ley de Minas en:

- *Minero-medicinales*, las alumbradas natural o artificialmente que por sus características y cualidades sean declaradas de utilidad pública.

- *Minero-industriales*, las que permiten el aprovechamiento racional de las sustancias que contengan, entendiéndose incluidas en este grupo las aguas tomadas del mar a esos efectos.

Las aguas termales las define como aquellas cuya temperatura de surgencia sea superior en cuatro grados centígrados a la media anual del lugar donde alumbren, siempre que, en caso de destinarse a usos industriales, la producción calorífica máxima sea inferior a quinientas termias por hora. El Reglamento General para el Régimen de la Minería establece que las aguas termales que sean destinadas a usos terapéuticos o industriales se consideran como aguas minerales a todos los efectos, debiendo tramitarse sus expedientes como aguas minero-medicinales o minero-industriales según proceda.

El Estatuto de la Explotación de Manantiales de Aguas Mineromedicinales, aprobado por Real Decreto Ley de 25 de abril de 1928, sigue vigente en algunos aspectos relativos a las aguas minero-medicinales como la asistencia médica en los balnearios, sanciones y Asociación Nacional de la Propiedad Balnearia, en cuanto no se oponga a lo legislado por una Comunidad Autónoma dentro de su territorio, así como en lo que sea considerado bases y coordinación general de la sanidad, de competencia estatal exclusiva según el artículo 149.1.16 de la Constitución Española.

El Real Decreto 1074/2002 de 18 de octubre y su modificación de R.D. 1744/2003 de 19 de diciembre, regula el proceso para la elaboración, circulación y comercio de aguas de bebida envasadas. Estos refunden en un único texto el R.D. 1164/1991 de 22 de julio, su modificación R.D. 781/1998 de 30 de abril, y supone una incorporación parcial a nuestro ordenamiento jurídico de la Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. Las aguas de bebida envasadas deberán cumplir todas las especificaciones que marca dicha normativa para cada tipo de agua y se clasifican en:

- *Aguas minerales naturales:* 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. 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.

- *Aguas de manantial:* son aguas potables de origen subterráneo que emergen espontáneamente en la superficie de la tierra o se captan mediante labores practicadas al efecto, con una serie de características naturales de pureza que permiten su consumo.

- *Aguas preparadas:* son las sometidas a los tratamientos autorizados físico-químicos necesarios para que reúnan las características establecidas en dicho R.D. A efectos de su denominación deberán diferenciarse los siguientes tipos:

  - *Potables preparadas:* cuando procedan de manantial o captación y hayan sido sometidas a tratamiento para que sean potables.

  - *De abastecimiento público preparadas:* en el supuesto de tener dicha procedencia.

- *Aguas de consumo público envasadas:* aguas potables de consumo público, envasadas coyunturalmente para distribución domiciliaria, con el único objeto de suplir ausencias o insuficiencias accidentales de las aguas de consumo público distribuidas por la red general.

De los diferentes tipos de aguas contempladas en esta normativa, las aguas preparadas y las de consumo público, no pueden considerarse como aguas minerales debido bien a su origen, ya que estas tienen que ser subterráneas, o al tipo de tratamiento al que son sometidas.

17.2. Aguas minero-medicinales

En este apartado se incluyen las aguas con propiedades terapéuticas, de uso tópico e hidropínico.

En la provincia de Cádiz, existe en la actualidad un único manantial en explotación como balneario, el de Fuente Amarga, en Chiclana de la Frontera.

Las aguas captadas en el manantial del balneario de Fuente Amarga son de mineralización fuerte, con más de 29 g/L de sales en disolución. Aunque la facies dominante es fuertemente clorurada sódica, el elevado contenido en calcio y magnesio llevan la dureza hasta 2.860,8 mg/L de $CaCO_3$, considerándose por tanto como extremadamente duras. El pH de las aguas es neutro y la temperatura en el punto en el punto de surgencia se sitúa en el límite de lo que se consideran como aguas frías. No contienen nitratos ni amonio, pero sí pequeñas cantidades de flúor y litio.

El manantial de Fuente Amarga se descubrió en 1780 y sus aguas se comenzaron a explotar de forma regular en 1803, procediéndose seguidamente a la construcción del primitivo balneario. Fue declarado manantial minero-medicinal en 1869. El hotel anexo al recinto de los baños se construyó en 1969, reformándose asimismo el edificio del balneario. Sus aguas, terapéuticamente, están indicadas para afecciones de la piel, reumatismos, vías respiratorias, alergia y estrés.

Análisis físico-químicos del agua del balneario de Fuente Amarga (Chiclana de la Frontera)

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)			
1990	19,5	7,0	32.800	29.740	2.860,8				
CO_3H^-	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SiO_2	F^-	CO_2	SH_2
305	0	1.990	11.500	0	0	30,4	0,8		
Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Fe total	Mn total	Li^+	Sr^{2+}	NH_3^+	P_2O_5
7.260	30	831	188	0,25	0,07	0,2		1,46	0,07
Relaciones iónicas (meq/L)									
Mg/Ca	K/Na	Na/Ca	Na/(Ca+Mg)	Cl/HCO_3	SO_4/Cl	Ca/Cl	Mg/Cl	(Ca+Mg)/Cl	(Na+K)/Cl
0,37	0,002	7,62	5,55	64,90	0,13	0,13	0,05	0,18	0,98

Fuente: IGME, 2001

De estos baños se proporciona ya una descripción pormenorizada en 1853 (en el libro Tratado completo de las fuentes minerales de España, de Pedro María Rubio). Se cita, además, otro manantial en sus proximidades, el Pozo de Braque, que también habría sido utilizado para toma de baños, y cuyas aguas considera el autor de la misma génesis que las de Fuente Amarga. Menciona otros dos manantiales cercanos, los de la Naveta y Chaparral, de los que no aporta ninguna referencia adicional por su escasa utilización.

El mapa de manantiales minero-medicinales de España, a escala 1:1.500.000, editado por el IGME en 1947, recoge 15 manantiales en la provincia de Cádiz, además del ya citado de Chiclana, clasificándolos según la composición química de sus aguas. Los manantiales minero-medicinales, todos ellos descritos – excepto el de Conil- en la citada obra de Pedro María Rubio de 1853, son:

- Alcalá de los Gazules (aguas cloruradas-sódicas). La fuente era conocida como Hedionda.

- Algodonales (aguas sulfurosas). Además de dos manantiales de aguas sulfurosas, uno en la dehesa de Serrillar y otro en la de Nava, se conocían varios manantiales de aguas ferruginosas.

- Arcos de la Frontera (aguas ferruginosas). Las fuentes ferruginosas se conocían como la Alcornocosa, Fuente de Cordones y la del Boyero.

- Bornos (aguas sulfurosas). El manantial era conocido como fuente de la Sarna.

- Conil (aguas sulfurosas).



Balneario de Fuente Amarga (Chiclana de la Frontera) (1)

Diagramas hidroquímicos. Balneario de Fuente Amarga (Chiclana de la Frontera)

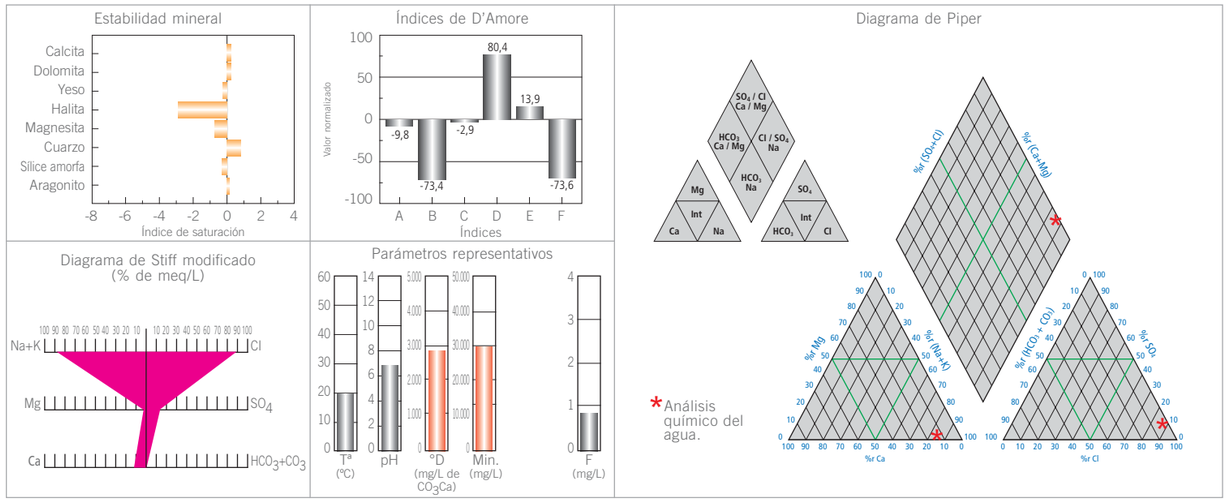






Foto superior: Surgencia sulfurosa, en los antiguos baños de Gigonza (5)
Foto inferior: Aprovechamiento actual como piscina de las aguas de Pozo Amargo, en Puerto Serrano (5)

- Cuervo, en el término municipal de Medina-Sidonia (aguas ferruginosas). Las aguas del manantial, situado junto al convento de San José del Cuervo, se bebían y eran especialmente indicadas para distintas enfermedades (reumáticas, afecciones de la piel, cardiológicas, etc.). La fama curativa de sus aguas se conoce desde finales del siglo XVIII.

- Chiclana (aguas sulfurosas). Los dos manantiales existentes son el de Fuente Amarga, en actividad como balneario, y el también mencionado anteriormente Pozo de Braque.

- Espera (aguas sulfatadas). Varios manantiales.

- El Gastor (aguas ferruginosas). Se conocía una fuente de agua ferruginosa dentro del núcleo de población.

- Gigonza, en el término municipal de San José del Valle (aguas cloruradas sódicas). Aún permanecen las ruinas de lo que fueron los antiguos baños y, aunque el manantial es conocido desde la época romana, no comenzó a utilizarse con fines terapéuticos hasta 1770.

- Medina-Sidonia (aguas ferruginosas). Las tres fuentes existentes eran conocidas como Boca de la Pila, los Arenalejos y la Saucedilla.

- Olvera (aguas sulfurosas). Era conocido como Baño de la Sarna.

- Pasada Blanca, en el término municipal de Jerez de la Frontera (aguas sulfurosas). En el siglo XIX se tomaban baños y su agua también se bebía.

- Paterna de Rivera (aguas sulfurosas). Sus aguas se utilizaban en baños, más raramente bebidas, para combatir afecciones de la piel. Se comenzaron a utilizar con fines medicinales en el último tercio del siglo XVIII y alcanzaron su apogeo durante el siglo XIX.

- Ubrique (aguas sulfurosas). Se conocían, además de dos manantiales de aguas de sulfurosas, uno de aguas ferruginosas.

- Pozo Amargo, en el término municipal de Puerto Serrano (aguas sulfurosas). Las instalaciones para el baño fueron mejoradas a principio del siglo XX, convirtiéndolo en un lugar muy frecuentado hasta la Guerra Civil, en que dejó de funcionar. A sus aguas se les atribuían propiedades terapéuticas similares a las del balneario de Carratraca (Málaga). Se mantienen actualmente parte de las instalaciones de lo que fueron los baños, fuera de uso, y las aguas se aprovechaban recientemente para una piscina particular.

17.3. Aguas de bebida envasadas

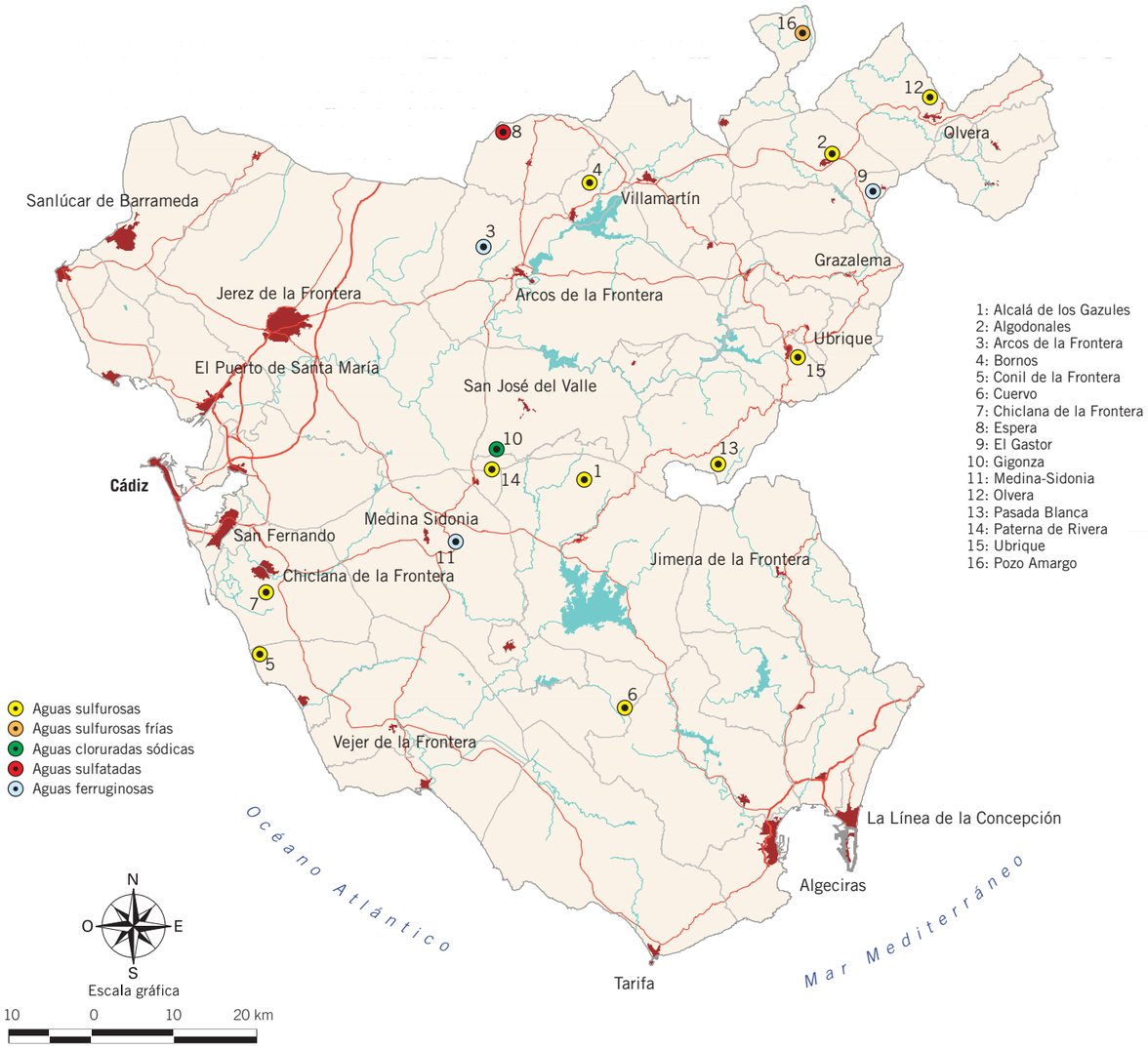
Actualmente no existe en la provincia de Cádiz ninguna planta envasadora de agua mineral, si bien está previsto, desde hace algunos años, la puesta en funcionamiento de una planta, Aguas de Grazalema, en la localidad de Benamahoma. Ya en 1971 estas aguas, procedentes del manantial conocido como El Nacimiento, punto de drenaje de la Unidad Hidrogeológica del Bosque, fueron declaradas minero-medicinales y, en 1994, se autorizó su explotación para uso como aguas de bebida envasadas. Recientemente, en el año 2001, la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Junta de Andalucía autorizó la sustitución del manantial previsto para su aprovechamiento por el denominado sondeo Grazalema, sondeo realizado para evitar la modificación del entorno natural del manantial.

Por otra parte, en 1997, se autorizó la explotación como aguas minerales de las procedentes del manantial de El Tempul, en la vertiente septentrional de la Sierra de las Cabras y en el término municipal de Jerez de la Frontera. La autorización, a favor de la sociedad municipal Aguas de Jerez Empresa Municipal (AJEMSA), concede el derecho para su uso como agua embotellada, con la denominación de mineral natural, aunque aún no se ha procedido a su envasado y comercialización.



Manantial El Nacimiento, en Benamahoma (1)

Manantiales minero-medicinales de la provincia de Cádiz



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IGME, 1947

Captaciones inactivas de aguas minerales en la provincia de Cádiz, con fecha de declaración y composición química

Tipo de captación	Municipio	Denominación	Tipo de declaración	Año	Facies/ otras características	Perímetro de protección
manantial	Arcos de la Frontera	La Mina	mineromedicinal	1892	Sulf/-	No
manantial	El Gastor	El Jaral	mineromedicinal	1892	BNa/Fe	No
manantial	Espera	La Hedionda	mineromedicinal	1892	Sulf/Ca	No
manantial	Grazalema	El Nacimiento	mineromedicinal	1971	BCa/-	No
manantial	Jerez de la Frontera	Baños de Gigonza	mineromedicinal	1892	SCa/-	-
manantial	Jerez de la Frontera	Posada Blanca	mineromedicinal	1892	SCa/-	No
manantial	Jerez de la Frontera	El Torero Curro Pérez	mineromedicinal	1971	BNa/-	No
manantial	Medina-Sidonia	Fuente de Medina Sidonia	mineromedicinal	1892	-/Fe	No
manantial	Medina-Sidonia	Hedionda	mineromedicinal	1892	Sulf/Ca	No
manantial	Medina-Sidonia	Paterna y Gigonza	mineromedicinal	1869	Sulf/-	No
manantial	Medina-Sidonia	El Cuervo	mineromedicinal/mineronatural	1892	BNa/-	No
manantial	Olvera	Baños de la Sarna	mineromedicinal	1892	SCa/-	No
manantial	Olvera	Salinilla de los Remedios	mineromedicinal	1892	ClNa/-	No
manantial	Paterna de Rivera	Los Baños	mineromedicinal	1892	ClNa/-	No
pozo	Puerto Serrano	Baños de Pozo Amargo	mineromedicinal	1896	ClNa/-	No
manantial	Sanlúcar de Barrameda	Las Piletas	mineromedicinal	1903	-/Fe	No
manantial	Ubrique	Casa Hedionda	mineromedicinal	1892	Sulf/-	No

Fuente: IGME, 2001

Captaciones inactivas de aguas minerales, escasamente documentadas, en la provincia de Cádiz

Tipo de captación	Municipio	Denominación	Tipo de declaración	Año	Facies/ otras características
manantial	Alcalá de los Gazules	Las Presillas	mineronatural	-	BCa/-
pozo	Alcalá de los Gazules	Pozo de Enmedio	mineromedicinal	-	BNa/-
manantial	Algodonales	Arroyo de los Baños	mineromedicinal	-	SulfCa/-
pozo	Arcos de la Frontera	El Madroñal	mineromedicinal	-	BCa/-
manantial	Los Barrios	El Buho y Canuto del Lobo	mineromedicinal	-	ClNa
manantial	Bornos	Fuente de la Sarna	mineromedicinal	-	S/-
manantial	Conil de la Frontera	Jinogera	mineromedicinal/ mineronatural	-	ClNa/-
manantial	Jerez de la Frontera	El Tempul	mineromedicinal	1899	BCa/-
-	Jerez de la Frontera	San Telmo	mineromedicinal	-	-/-
manantial	Medina-Sidonia	Fuente del Visillo	mineromedicinal	-	SCa/-
manantial	Olvera	Los Pedernales	mineromedicinal	-	SCa/-
manantial	Paterna de Rivera	Fuente Santa	mineromedicinal	-	ClNa/-
sondeo	Setenil	Dehesa del Pilar	mineronatural	-	BCa/-
manantial	Ubrique	Galera	mineromedicinal	-	BCa/-
manantial	Ubrique	Sierra de Ubrique	mineromedicinal	-	BNa/-
manantial	Ubrique	Lecho del Medio	mineromedicinal	-	BCa/-
manantial	Ubrique	Mulera	mineromedicinal	-	BCa/-
manantial	Villamartín	Los Conejos	mineromedicinal	-	ClNa/-

Fuente: IGME, 2001

17.4. Aguas minero-industriales

En las marismas de la Bahía de Cádiz, las salinas marinas han tenido una enorme importancia y desarrollo, aunque hoy en día la gran mayoría de ellas han sido reconvertidas en explotaciones dedicadas a la acuicultura. Las de mayor producción en la actualidad son las salinas de La Tapa, en El Puerto de Santa María.

Además de las salinas marinas, se han producido aprovechamientos de sal común en distintas captaciones, actualmente todas ellas inactivas, de la provincia: La Joya y Salina de Toscano (Alcalá de los Gazules), Hortales (El Bosque), Las Maldonadas y San Pablo (Espera), Ventas Nuevas (El Gastor), Las Colmenillas y Las Salinillas (Olvera), Becerra, La Salinilla y Raimundo (Prado del Rey), Río San Pedro (Puerto de Santa María), Salinas Nuestra Señora del Pilar (Puerto Real), La Salina (Puerto Serrano) y Las Rosas (Villamartín).



Salinas en Sanlúcar de Barrameda (1)

Documentación consultada

Aguas de Cádiz, S.A. (2002): El agua en Cádiz. 75 años de servicios municipalizados. *Ayuntamiento de Cádiz*, 109 p. Cádiz.

Alonso Rodríguez, J. (1952): Geología de la provincia de Cádiz. *Bol. R. Sociedad Esp. Hist. Nat.*, L, 221-261.

Baeza, J., López Geta, J.A. y Ramírez, A. (Eds.) (2001): Las aguas minerales en España. *Inst. Geológ. y Min. de España*, 454 p. Madrid.

Barragán, J.M. (1993a): Aguas de Jerez. Evolución del abastecimiento urbano. *Aguas de Jerez Empresa Municipal, S.A.*, 204 p. Jerez de la Frontera.

Barragán, J.M. (1993b): Aguas de Jerez. El saneamiento: desde la higiene al medio ambiente. *Aguas de Jerez Empresa Municipal, S.A.*, 151 p. Jerez de la Frontera.

Barragán, J.M. (1993c): Aguas de Jerez. Tempul: entre el medio natural y la técnica hidráulica. *Aguas de Jerez Empresa Municipal, S.A.*, 44 p. Jerez de la Frontera.

Batlle Gargallo, A., Mantecón Gómez, R. y Martín Machuca, M. (1986): Hidrogeología de la Unidad Montejaque.- Cortes. *Simposio sobre el agua en Andalucía*, Vol. II, 179-189. Granada.

Benkhelil, J. (1976): Etude néotectonique de la terminaison occidentale des Cordilléres Bétiques (Espagne). *These 3ème cycle Univ. Nice*, 180 p. Niza.

Berníses, M. (1998): Humedales españoles inscritos en la lista del Convenio de Ramsar. *Ministerio de Medio Ambiente*, 386 p. Madrid.

Blanco, R., Clavero, J., Cuello, A., Marañón, T. y Seisdedos, J.A. (1991): Sierras del Aljibe y del Campo de Gibraltar. En: *Guías Naturalistas de la provincia de Cádiz*, vol. III. Diputación Prov. de Cádiz, 315 p. Cádiz.

Bourgois, J. (1978): La transversale de Ronda. Cordilléres Bétiques, Espagne. Données geologiques pour un modéle dévolution de l´Árc de Gibraltar. *Ann. Sc. Univ. Besançon*, 30, 445 p.

CAP (1999): Inventario y caracterización de los regadíos de Andalucía. *Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía*. CD-ROM. Sevilla.

CAP (2000): Mapa de Cultivos y Aprovechamientos. Provincia de Cádiz. *Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía*. CD-ROM. Sevilla.

CAP (2002): Inventario y caracterización de los regadíos de Andalucía. CD-ROM. Sevilla.

Carrasco, F., Jiménez, P., Andreo, B., López Chicamo, M., Martín, A., Liñán, C. y Vadillo, I. (2001). Estudio comparativo preliminar del funcionamiento hidrogeológico de varios acuíferos carbonatados de la Cordillera Bética. *Hidrogeología y Recursos Hídricos*, 23, 381-391.

Carreras, A. 1996. Investigación y explotación del acuífero de la Sierra de las Cabras (San José del Valle, Cádiz). *Jornadas sobre Recursos Hídricos en Regiones Kársticas*, 9-21. Vitoria.

CEPSA-INTERQUISA (1984): Seguimiento del plan de explotación y control sobre la evolución química y dinámica del agua subterránea en la cuenca baja del Río Guadarranque-Campo de Gibraltar. *Primer Informe*, 52 p. Sevilla.

Chauve, P. (1962) : Structure Géologique de la Région Centrale de la Province de Cadix (Espagne). *Memories hors de sèrie de la Societé Géologique de France*, 1, 257-264.

Chauve, P. (1968): Etude géologique du Nord de la province de Cadix (Espagne meridionale). *Mem. Inst. Geológ. y Min. de España*, 69, 227 p.

CHG (1994): Normas de Explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.55 Aluvial del Guadalete. *Confederación Hidrográfica del Guadalquivir*. Sevilla.

CHG (1994): Normas de Explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.56 Jerez de la Frontera. *Confederación Hidrográfica del Guadalquivir*. Sevilla.

CHG (1994): Normas de Explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.57 Rota-Sanlúcar-Chipiona. *Confederación Hidrográfica del Guadalquivir*. Sevilla.

CHG (1994): Normas de Explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.63 Setenil-Ronda. *Confederación Hidrográfica del Guadalquivir*. Sevilla.

CHG (1995): Plan hidrológico del Guadalquivir. *Confederación Hidrográfica del Guadalquivir*. Sevilla.

CHG (2004): Memoria 2002-2003. *Confederación Hidrográfica del Guadalquivir*, 127 p. Sevilla.

CHG-IGME (2001): Revisión y actualización de las normas de explotación de las unidades hidrogeológicas. Cuencas del Guadalquivir y Guadalete-Barbate. Propuesta de normativa y definición de nuevas unidades hidrogeológicas. Norma de explotación de la unidad hidrogeológica 05.63 (Setenil-Ronda). *Confederación Hidrográfica del Guadalquivir e Inst. Geológ. y Min. de España*. Sevilla.

CHG-IGME (2001): Revisión y actualización de las normas de explotación de las unidades hidrogeológicas. Cuencas del Guadalquivir y Guadalete-Barbate. Propuesta de normativa y definición de nuevas unidades hidrogeológicas. Norma de explotación de la unidad hidrogeológica 05.53 (Llanos de Villamartín). *Confederación Hidrográfica del Guadalquivir e Inst. Geológ. y Min. de España*. Sevilla.

CHG-IGME (2001): Revisión y actualización de las normas de explotación de las unidades hidrogeológicas. Cuencas del Guadalquivir y Guadalete-Barbate. Propuesta de normativa y definición de nuevas unidades hidrogeológicas. Normas de explotación de la unidad hidrogeológica 05.55 (Aluvial del Guadalete). *Confederación Hidrográfica del Guadalquivir e Inst. Geológ. y Min. de España*. Sevilla.

CHG-ITGE (1993): Propuesta de Normas de Explotación de las restantes unidades hidrogeológicas, no afectadas por el Decreto 735/1971 ni afección a embalses. Tomo VI: Unidad Hidrogeológica 00.07 (05.63) Setenil-Ronda. *Confederación Hidrográfica del Guadalquivir e Inst. Geológ. y Min. de España*. Sevilla.

CHG-ITGE (1993): Propuesta de Normas de Explotación de las unidades hidrogeológicas afectadas por el Decreto 735/1971. Tomo II: Bajo Guadalquivir y Guadalete-Barbate. *Confederación Hidrográfica del Guadalquivir e Inst. Geológ. y Min. de España*. Sevilla.

CHG-ITGE (1993): Propuesta de Normas de Explotación de las unidades hidrogeológicas afectadas por el Decreto 735/1971. Tomo II: Bajo Guadalquivir y Guadalete-Barbate. *Confederación Hidrográfica del Guadalquivir*. Sevilla.

Cruz Sanjulián, J. (1974): Estudio geológico del sector Cañete La Real - Teba - Osuna (coordillera Bética, región occidental). *Tesis Doctorales de la Univ de Granada, nº 71, Secretariado de Pub. Univ. Granada*, XII, 431 p. Granada.

Dávila, M. (1897): Guía de los establecimientos balnearios de España. Madrid, 387 pp.

Delannoy, J.J. (1998): Contribución al conocimiento de los macizos kársticos de las serranías de Grazalema y de Ronda. En: *Karst en Andalucía* (JJ. Durán y J. López, Eds.), 93-129. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.

DGOH (1994). Normas de Explotación de la Unidad hidrogeológica 05.61 Vejer - Barbate y 05.62 Aluvial del Barbate. *Dirección General de Obras Hidráulicas*. Informe no publicado. Madrid.

DGOH (1997): Catálogo de acuíferos con problemas de sobreexplotación o salinización. Predefinición del programa de actuación. *Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, Ministerio de Medio Ambiente*. Informe no publicado. Madrid.

DGOH (1998): Las unidades hidrogeológicas de las Sierras de Líbar 00.06 y Grazalema 05.64. *Dirección General de Obras Hidráulicas*. Informe no publicado. Madrid.

DGOH-ITGE (1993): Propuesta de Normas de Explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.58 El Puerto de Santa María. *Dirección General de Obras Hidráulicas*. Informe no publicado. Madrid.

DGOH-ITGE (1993): Propuesta de normas de explotación de las restantes unidades hidrogeológicas, no afectadas por el decreto 735/1971 ni afección a embalses. Unidad 05.61 Vejer - Barbate. *Dirección General de Obras Hidráulicas*. Informe no publicado. Madrid.

DGOH-ITGE (1993): Propuesta de normas de explotación de las unidades hidrogeológicas no afectadas por el decreto 735/1971 ni afección a embalses. Unidad 05.62 Aluvial del Barbate. *Dirección General de Obras Hidráulicas*. Informe no publicado. Madrid.

DGOH-ITGE (1993): Propuesta de normas de explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.59 Puerto Real-Conil. *Dirección General de Obras Hidráulicas*. Informe no publicado. Madrid.

DGOH-ITGE (1996): Integración de los acuíferos en los sistemas de explotación de recursos hídricos. Cuenca del Guadalquivir. *Dirección General de Obras Hidráulicas*. Informe no publicado. Madrid.

Didon, J. (1969): Étude géologique du Campo de Gibraltar (Espagne meridionale). *These Univ. París*, 539 p. París.

Donaire, M. y Almarza, J. (2000): Las aguas minerales en Andalucía. En: *Panorama actual de las aguas minerales y minero-medicinales en España* (J.A. López Geta, y J.I. Pinuaga, Eds.), 271-282. Instituto Tecnológico y Geominero de España. Madrid.

Durán, J.J., Amaya, C., Díez, P.F., García, M.D. y Gil, J.M. (1998): Historia de los usos del agua en Andalucía. En: *Atlas Hidrogeológico de Andalucía* (J.A. López Geta, Coord.), 13-14. Junta de Andalucía-ITGE. Madrid.

Durán, J.J. y Murillo, J.M. (1998): El agua y los espacios naturales protegidos en Andalucía. En: *Atlas Hidrogeológico de Andalucía* (J.A. López Geta, Coord.), 47-54. Junta de Andalucía-ITGE. Madrid.

Euroestudios (1981): Estudio hidrogeológico de la Sierra de Líjar. *Ayuntamiento de Olvera*. Informe no publicado. Cádiz.

Euroestudios (1990): Estudio hidrogeológico de los recursos en aguas subterráneas en los alrededores de Villamartín. *Diputación Provincial de Cádiz*. Informe no publicado. Cádiz.

FAO-IGME (1969): El manto acuífero de Jerez de la Frontera (Cádiz). *Informe técnico 9/1969*. Informe no publicado. Sevilla.

Fernández Alonso, F. (1986): Investigación hidrogeológica del acuífero de Los Sotillos: Jerez de la Frontera y Arcos de la Frontera (Cádiz). *Comunidad de Usuarios "Los Sotillos"*. Informe no publicado.

Fernández Alonso, F. (1990). Nueve ensayos de bombeo realizados entre 1980 y 1990. *Comunidad de Usuarios "Los Sotillos"*. Informe no publicado.

Fernández Casado, C. (1972): Acueductos romanos en España. *Instituto Eduardo Torroja*, CSIC. Madrid.

Fernández Ruiz, L. y López Geta, J.A. (1992): Mapas de vulnerabilidad y contaminación de las aguas subterráneas. *Revista MAPFRE*, 21-29.

Fernández Ruiz, L. (1995): La protección de la calidad de las aguas subterráneas frente a fuentes contaminantes difusas y puntuales: evolución y actuaciones. Implicaciones en la ordenación del territorio. Jornadas *"Las aguas subterráneas en la Ley de Aguas española: un decenio de experiencia"*. IGME-AIH (GE). Murcia.

Fernández Ruiz, L. (1999): La contaminación de las aguas subterráneas por vertederos y depósitos enterrados en España. En: *Jornadas "La contaminación de las aguas subterráneas un problema pendiente"* (J.Samper, A.Sahuquillo, J.E.Capilla, J.J. Gómez Hernández, Eds.), 283-293. IGME-AIH(GE). Valencia.

Fitzpatrick, E.A. (1980): Suelos. *Ed. Continental*. México.

Foster, S.S.D.(1987): Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. *Proc Intl Conf "Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants"*. Noordwijk, The Netherlands.

Foster, S.S.D., Hirata,R. y Aoki, R.C. (1991): Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas : una metodología basada en datos existentes. *OPS-CEPIS*, 81p.

Foster, S.S.D. y Skinner A.C. (1995): Groundwater protection: the science and practice of land surface zoning. *IAHS Publication* 225, 471-482.

García de Domingo, A. y Hernaiz, P.P. (1994): Mapa Geológico de España 1:200.000, Cádiz (nº 86). *Instituto Tecnológico Geominero de España*. Memoria (46 p.) y Hoja. Madrid.

García de Domingo, A., Hernaiz Huerta, P.P. (1994): Mapa Geológico de España 1:200.000, Algeciras (nº 87). *Instituto Tecnológico Geominero de España*. Memoria (116 p.) y Hoja. Madrid.

Gollonet, J., Martín, C., García, J.L., del Val, J. y Osorio, M. (2005): Ensayo de bombeo y modelización matemática en el acuífero pliocuaternario de Arcos de la Frontera. En: *Agua, Minería y Medio Ambiente, Libro homenaje al Profesor Rafael Fernández Rubio* (J.A. López Geta, A. Pulido y J.C. Baquero, Coords.), 355-367. Inst. Geológ. y Min. de España. Madrid.

González-Donoso, J.M., Linares, D., Martín-Algarra, A. y Serrano, F. (1987): El Complejo Tectosedimentario del Campo de Gibraltar. Datos sobre su edad y significado geológico. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 82.

Gracia Prieto, F.J. (1999): El litoral gaditano. En: *Patrimonio Geológico de Andalucía* (J.J. Durán y R. Nuche, Eds.), 88-95. ENRESA. Asturias.

Gutiérrez Más, J.M., Martín-Algarra, A. y Navarrete, A. (1982): Itinerarios geológicos de la provincia de Cádiz. *Univ. de Cádiz, Servicio de Publicaciones*, 202 p. Cádiz.

Gutiérrez, J.M., Martín-Algarra, A., Domínguez, S. y Moral, J.P. (1991): Introducción a la geología de la provincia de Cádiz. *Univ. de Cádiz, Servicio de Publicaciones*, 315 p. Cádiz.

IEA (Instituto de Estadística de Andalucía): Datos básicos Cádiz 2003, *Consej. de Economía y Hacienda de la Junta de Andalucía*, España, 27/10/2003, http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadistica/dtbas

IGME (1947): Mapa de los manantiales minero-medicinales de España. *Instituto Geológico y Minero de España*, mapa a escala 1:1.500.000. Madrid.

IGME (1970): Informe sobre la prueba de bombeo realizada en el sondeo de Alcalá del Valle II. Informe técnico 12/1970, *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

IGME (1975): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Palacio de Doñana (1.033). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1977): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Lebrija (1.034). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1981): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Cádiz (1.061). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1982): Estudio de los recursos hídricos subterráneos de la comarca del Campo de Gibraltar. Tomo III. Geología e Hidrogeología. *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Madrid.

IGME (1982): Informe de abastecimiento a Grazalema (Cádiz). Informe técnico 34/1982, *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

IGME (1982): Proyecto de investigación hidrogeológica de Vejer - Barbate (Sistema 33). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

IGME (1983): Estudio hidrogeológico para complementar el abastecimiento de agua a Algeciras (Cádiz). *Informe técnico del sondeo* "Algeciras I". *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

IGME (1983): Estudio hidrogeológico para complementar el abastecimiento de agua a Algeciras (Cádiz). Informe técnico del sondeo "Algeciras II". *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

IGME (1984): Estudio de investigación hidrogeológica para la regulación de recursos hídricos subterráneos en la divisoria Guadalete - Guadiaro (Cádiz - Málaga). *Informe técnico 64/1984, Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

IGME (1986): Algunas consideraciones técnicas sobre la situación actual del acuífero Rota-Sanlúcar-Chipiona (Cádiz). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

IGME (1987): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Paterna de Rivera (1.062). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1987): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Cortes de la Frontera (1.064). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1987): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, San Fernando (1.068). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1988): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Montellano (1.035). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1988): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Sanlúcar de Barrameda (1.047). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1988): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Jerez de la Frontera (1.048). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1989): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Arcos de la Frontera (1.049). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1990): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Algar (1.063). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1990): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Chiclana de la Frontera (1.069). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1990): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Alcalá de los Gazules (1.070). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1990): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Vejer de la Frontera/Los Pajares (1.073/1.076). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1990): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Tahivilla (1.074). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1990): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Tarifa (1.077). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1991): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Olvera (1.036). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1991): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Teba (1.037). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1992): Mapa geológico 1:50.000, serie MAGNA, Ubrique (1.050). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Memoria y Hoja. Madrid.

IGME (1993): Proyecto de apoyo a la gestión integral de los recursos hídricos de los acuíferos carbonatados de la Sierra de Grazalema. *Informe técnico 11/1993, Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

IGME (2003): Estudios metodológicos par la estimación de la recarga en diferentes acuíferos carbonatados. Aplicación a la Cordillera Bética. Inst. Geológ. y Min. de España. Informe no publicado. Madrid.

IGME (2003): Informe técnico sobre la situación del abastecimiento urbano en la población de Puerto Serrano (Cádiz). Propuesta de Actuaciones 2003. *Inst. Geológ. y Min. de España*, 32 p. Informe no publicado. Sevilla

IGME-CHG (2002): Norma de explotación de la Unidad Hidrogeológica 05.64 (Sierra de Grazalema). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Granada.

IGME-GHUMA (2003): Estudios metodológicos para la estimación de la recarga en diferentes tipos de acuíferos carbonáticos: aplicación a la Cordillera Bética (3 tomos). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

INE (Instituto Nacional de Estadística): Nomenclátor 2003. Relación de unidades poblacionales. *Inst. Nac. de Estadística*, España, 26/02/04, http://www.ine.es. e-mail: www.ine.es/infoine.

ITGE (1991): Apoyo a la gestión de los recursos hidráulicos en Vejer - Barbate. Memoria y Anexo (2 Tomos). Informe técnico nº 85/1991, *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

ITGE (1993): Nota Técnica: Alternativas de utilización de aguas subterráneas en la Cuenca Media del río Guadalete (Abastecimiento a Jerez de la Frontera). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Madrid.

ITGE (1994): Campaña de Campo. Unidad Hidrogeológica 05.56 (Jerez de la Frontera). *Informe técnico 667/1994, Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

ITGE (1995): Nota Técnica para el diseño de una instalación piloto de recarga artificial en el acuífero de "Los Sotillos". Programación de operaciones y seguimiento de la experiencia de infiltración. *Informe técnico 119/1995, Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

ITGE (1995): U.H. 05.56 (Jerez de la Frontera). Recopilación de información 1995. *Informe técnico 159/1995, Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

ITGE (1998). Calidad química y contaminación de las aguas subterráneas de España, período 1982-1993. Cuenca del Guadalquivir. *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

ITGE (1998). Calidad química y contaminación de las aguas subterráneas de España, período 1982-1993. Cuenca del Guadalquivir. *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

ITGE (1998). Calidad química y contaminación de las aguas subterráneas de España, período 1982-1993. Cuenca del Guadalquivir. *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

ITGE (1998). Calidad química y contaminación de las aguas subterráneas de España, período 1982-1993. Cuenca del Guadalquivir. *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

ITGE (1998): Informe de la calidad del agua subterránea años 1996-1997. Bajo Guadalquivir, Bajo Guadiana y Cuenca Sur (UH 06.47, 06.50 y 06.99). Memoria, Tomo II. *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

ITGE (1999): Mapa de contenido en nitratos de las aguas subterráneas en España. *Servicio Publicaciones del Inst. Geológ. y Min. de España*. Madrid.

ITGE-GHUMA (2000): Análisis del funcionamiento hidrogeológico y optimización del aprovechamiento de las aguas del manantial de El Tempul (acuífero de la Sierra de las Cabras, provincia de Cádiz). *Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

ITGE-Junta de Andalucía (1998): Atlas hidrogeológico de Andalucía. *Instituto Tecnológico Geominero de España y Consejerías de Obras de Obras Públicas y Transportes y de Trabajo e Industria de la Junta de Andalucía*, 216 p. Madrid.

Jiménez, P., Andreo, B., Durán, J.J., Carrasco, F., López-Geta, J.A., Vadillo, I. y Vázquez, M. (2001): Estudio hidrodinámico del manantial de El Tempul (Sierra de las Cabras, Cádiz, Sur de España). *Boletín Geológico y Minero*, 2, 85-102.

López Geta, J.A., Fornés, J.M., Ramos, G. y Villarroya, F. (2001): Las aguas subterráneas. Un recurso natural del subsuelo. *Inst. Geológ. y Min. de España y Fundación Marcelino Botín*, 94 p. Madrid.

Llamas, M.R., Fornés, J.M., Hernández-Mora, N. y Martínez Cortina, L. (2001): Aguas Subterráneas: retos y oportunidades. *Fundación Marcelino Botín y Ediciones Mundi-Prensa*, 529 p. Madrid.

Martín Algarra, A. (1987): Evolución geológica alpina del contacto entre las Zonas Internas y las Zonas Externas de la Cordillera Bética (Sector Occidental). *Tesis Doctoral, Universidad de Granada*, 1.171 p. Granada.

Martín Machuca, M. (2001): Doñana: filigrana de agua en la marisma. En: Aguas subterráneas, paisaje y vida. Acuíferos de España (Del Pozo, M. et al., Eds.), 252-271. *Inst. Geológ. y Min. de España*, Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, nº 2. Madrid.

MIMAM (2000): Libro Blanco del Agua en España. Secretaría de Estado de Aguas y Costas. *Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, Ministerio de Medio Ambiente*, 637 p. Madrid.

MIMAM (2001): Caracterización de las fuentes agrarias de contaminación de las aguas por nitratos. *Servicio de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente*, 150 p., CD y planos. Madrid.

MIMAM-CHG (2001): Estudio de reutilización de aguas residuales depuradas en las cuencas del Guadalete-Barbate. Tomo II. Unidad Hidrogeológica 05.59 Puerto Real-Conil. *Ministerio de Medio Ambiente*. Informe no publicado. Madrid.

MIMAM-CGH (2001): Estudio de reutilización de aguas residuales depuradas en las cuencas del Guadalete-Barbate. Tomo II. Unidad Hidrogeológica 05.58. El Puerto de Santa María. *Ministerio de Medio Ambiente*. Informe no publicado. Madrid.

MOPTMA-CHG (1994): Estudio 0/94. Normas de explotación de las Unidades Hidrogeológicas en la Cuenca del Guadalquivir. U.H. 05.61-62 Vejer - Barbate / Aluvial del Barbate. *Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente*. Informe no publicado. Madrid.

MOPTMA-CHG (1994). Estudio 0/94. Normas de explotación de las Unidades Hidrogeológicas en la Cuenca del Guadalquivir. U.H. 05.61-62 Vejer - Barbate / Aluvial del Barbate. *Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente*. Informe no publicado. Madrid.

MOPU-IGME (1988): Estudio 07/88. Delimitación de las Unidades Hidrogeológicas del territorio Peninsular e islas Baleares y síntesis de sus características. Cuenca del Guadalquivir. *Ministerio de Obras Públicas y Transportes*. Informe no publicado. Madrid.

Moreira, J.M. (1991): Capacidad de Uso y Erosión de Suelos. *Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía*. Sevilla.

Moreno Serrano, F., García de Domingo, A., González Lastra, J., Hernáiz, P.P. y Ruiz-Reig, P. (1988): Modelo de evolución tectónica del arco de Gibraltar (provincia de Cádiz). *Bol. Geol. Min.*, 99, 315-339.

Murillo, J.M. y de la Orden, J.A: (1996): Programación de operaciones y seguimiento de una experiencia piloto de recarga artificial en la U.H. 05.55, Aluvial del Guadalete. En: *II Congreso Nacional del Agua y el Medio Ambiente*, 127-136. Zaragoza.

Navarro Alvargonzález, A., Fernández Uría, A. y Doblas Domínguez, J.G. (1989): Las aguas subterráneas en España. Estudio de síntesis. Tomo I: Memoria. *Instituto Tecnológico Geominero de España*, 591 p. Madrid.

Ortega, F., Molero, J. y García, E. (1987): La vegetación de Andalucía. En: *Geografía de Andalucía* (G. Cano, Ed.), vol. II, 187-226. Edic. Tartessos. Madrid.

Pacheco, T. (2002): Balnearios con encanto. *El País-Aguilar (Santillana Ediciones Generales)*, 282 p. Madrid.

Pachón, D., Martín Machuca, M. (2002): Los Sotillos: estudio hidrológico y modelo matemático. *Informe interno 96/2003, Inst. Geológ. y Min. de España*. Informe no publicado. Sevilla.

Pardo, L. (1998): Catálogo de los lagos de España. *Ministerio de Agricultura*, 522 p. Madrid

Pendón, J.G. (1978): Sedimentación turbidítica en las unidades del Campo de Gibraltar. *Tesis Doctorales de la Univ. de Granada, Secretariado de Pub. Univ. Granada*. Granada.

Rodríguez Vidal, J. (1999): Sierra de Grazalema. En: *Patrimonio Geológico de Andalucía* (J.J. Durán y R. Nuche, Eds.), ENRESA, 114-119. Asturias.

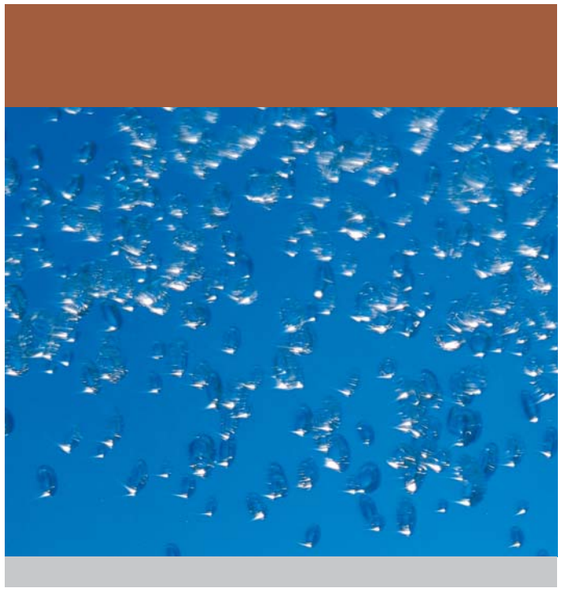
Rubio, P.M. 1853. *Tratado completo de las fuentes minerales de España.* Madrid, 719 pp.

Sánchez Ferré, J. (1992): Guía de establecimientos balnearios de España. *Ministerio de Obras Públicas y Transportes*, 357 p. Madrid.

Serrano, F. (1979): Los foraminíferos planctónicos del Mioceno superior de la cuenca de Ronda y su comparación con las de otras áreas de las Cordilleras Béticas. *Tesis doctoral Universidad de Málaga*, 272 p. Málaga.

Vrba, J. (1999): Vulnerabilidad, protección y gestión de la calidad de las aguas subterráneas. En: *Jornadas "La contaminación de las aguas subterráneas, un problema pendiente* (J. Samper, A. Sahuquillo, J.E. Capilla y J.J. Gómez Hernández, Eds).", 489-493.IGME-AIH(GE).Valencia.

Zazo, C. (1980): El Cuaternario marino-continental y el límite Plioceno-Pleistoceno en el litoral de Cádiz. Tesis Doctoral Univ. Complutense, 560 p. Madrid.



“Jaguar de agua”

Huracán de febrero,
aguador entre aguas,
arrásame con tu lengua de fuego y de miel,
déjame acompañarte entre las nubes,
déjame escucharte en mi respiración,
déjame reposar mis ojos en los tuyos.

Jaguar de agua entre las aguas,
viento de la noche que se asoma en mi alma,
hombre que existe sólo en las mañanas naranja.

Hombre detrás de los muros
déjame soñarte y esperarte,
déjame ser contigo nube y mandarina.

Huracán de febrero,
déjame acariciarte el cabello,
ser viento trenzado en tus sienes,
galopar en tus soles,
nacer de tu tormenta y de tu lumbre.

Jaguar de agua
arrásame hasta ti.
Déjame ser respiración y pulso,
enredadera y viento.
Llegar a ti.

Mía Gallegos

Glosario de términos

ACUICLUDO: Roca o sedimento que puede contener agua, pero en la que la captación de un caudal apreciable no es posible en condiciones económicas aceptables, ya que, debido a la baja permeabilidad, el agua subterránea no circula significativamente en condiciones normales (bajo la acción de la gravedad), sino que es retenida en los poros.

ACUÍFERO: Compartimento de las rocas o sedimentos cuyos poros pueden ser ocupados por el agua y en los que ésta puede circular libremente, en cantidades apreciables, bajo la acción de la gravedad. El término se utiliza también para denominar un cuerpo de rocas o sedimentos en los que existe una zona saturada, en la que todos los poros están ocupados por agua, que puede circular bajo la acción de la gravedad en cantidades significativas hacia los manantiales o captaciones (pozos, galerías, ...).

ACUÍFERO CONFINADO: Acuífero limitado en su parte superior por una capa de permeabilidad muy baja, a través de la cual el flujo es prácticamente inapreciable. El material acuífero está enteramente saturado, de modo que en las perforaciones que alcanzan el límite superior impermeable, el agua asciende por encima del mismo, eventualmente hasta la superficie (captaciones surgentes o artesianas).

ACUÍFERO LIBRE: Acuífero en el que no existe capa confinante de baja permeabilidad; en el caso más simple el material permeable se extiende hasta la superficie, de modo que sólo en una parte del mismo todos los poros están ocupados por agua. Por encima del límite superior de esta zona saturada (superficie o nivel freático) los poros, al menos en parte, están ocupados por aire, de modo que constituyen una zona no saturada.

ACUÍFUGO: Roca o sedimento que no dispone de poros susceptibles de ser ocupados por el agua y, consecuentemente, tampoco puede transmitirla.

ACUITARDO: Roca o sedimento cuyos poros pueden contener agua, de modo que ésta puede ser transmitida muy lentamente. En consecuencia, aunque estos materiales no son aptos para la ubicación de captaciones, pueden jugar un importante papel, en determinadas condiciones, en la recarga vertical de otros acuíferos.

AFORO: Medida del caudal (de un río, manantial,...).

AGOTAMIENTO: Disminución del caudal de un manantial en régimen no influenciado, es decir, ligado al descenso de niveles y a la disminución de reservas que se produce en el período en el que el acuífero no recibe alimentación.

ALIMENTACIÓN (de un acuífero): Aportes de agua externos, de cualquier origen, que recibe un acuífero. Componente del balance hídrico de un acuífero que representa la suma de todas las cantidades de agua que el acuífero recibe, ya sea de forma natural o introducidas artificialmente, durante un período de referencia.

ANISOTROPÍA: Cualidad de los materiales en los que el comportamiento varía según la dirección considerada. En el caso de las aguas subterráneas, es especialmente importante la anisotropía que consiste en la existencia de valores significativamente diferentes de permeabilidad horizontal y vertical.

ÁREA DE ALIMENTACIÓN O RECARGA: Ver alimentación.

ARTESIANISMO: Comportamiento de un acuífero que consiste en que el agua asciende espontáneamente a la superficie en los pozos que captan el acuífero, debido a que la cota del nivel piezométrico es superior a la de la superficie topográfica. Es usual en acuíferos confinados, aunque en ciertas condiciones puede ocurrir también en acuíferos libres.

BALANCE HÍDRICO (de un acuífero): Cuantificación de las cantidades de agua recibidas o aportadas en un período determinado por un acuífero, expresada en forma de ecuación, de tal modo que la diferencia entre las entradas y las salidas deben ser igual a la variación de las reservas (del agua almacenada) en el período considerado. Se denominan componentes del balance a cada una de las variables que intervienen en el mismo; entre las entradas, merecen ser citadas las que proceden de la infiltración de una parte de la precipitación, el retorno de riegos, es decir la llegada al acuífero del excedente de agua de riego, las aportaciones laterales de otros acuíferos, etc; entre las salidas las más importantes son las salidas concentradas en forma de manantiales, las salidas difusas a los cursos de agua, la descarga hacia otros acuíferos, las salidas al mar, las extracciones por bombeo, etc.

CARBONATADOS (materiales, acuíferos, ...): Rocas o acuíferos ligados a las mismas, constituidas esencialmente por minerales del grupo de los carbonatos, Las rocas sedimentarias más importantes de este grupo son las calizas y dolomías, en las que predomina el carbonato de calcio y magnesio; las margocalizas y margas tienen una proporción de minerales arcillosos entre el 35-50% y el 50-65%, respectivamente; los mármoles son rocas carbonatadas que han sufrido metamorfismo.

CAUDAL DE BASE: Caudal correspondiente a las aportaciones (de un manantial o río) en período de agotamiento, es decir, cuando la descarga de los acuíferos se realiza en régimen no influenciado (por haber cesado la recarga del sistema).

CAUDAL ESPECÍFICO: Caudal extraído en un pozo o sondeo por unidad de descenso producido (también puede referirse a caudal por unidad de superficie).

COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO: Constante propia de un acuífero. Su valor caracteriza la ley de decrecimiento exponencial, en régimen no influenciado, del caudal del manantial que representa la descarga del sistema, como consecuencia de la disminución de reservas que sigue a la interrupción de la alimentación.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO: Relación entre el volumen de agua liberado por una columna de acuífero de superficie unidad, cuando el nivel piezométrico desciende una unidad, y un volumen unitario de acuífero. En los acuíferos confinados este valor depende muy directamente de la compresibilidad y la expansibilidad del agua y del medio acuífero y del espesor de éste. En los acuíferos libres, el coeficiente de almacenamiento equivale en la práctica a la porosidad eficaz.

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA: Es el cociente, expresado en tanto por ciento, de las aportaciones totales de una cuenca respecto a la precipitación.

COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN: Es el cociente, expresado en tanto por ciento, de la infiltración respecto a la precipitación.

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (o conductividad hidráulica): Parámetro que expresa cuantitativamente la permeabilidad de un material frente a la circulación de un fluido de densidad y viscosidad determinadas. Puede definirse como el volumen de dicho fluido que atraviesa, por unidad de tiempo y bajo el efecto de un gradiente hidráulico unitario, una unidad de superficie perpendicular a la dirección del flujo, en condiciones tales que sea aplicable la ley de Darcy.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (de las aguas): Facultad de transmitir la corriente eléctrica por efectos electrolíticos ligados a las sales disueltas (presencia de iones). Es indicativa, por tanto, del contenido salino total de un agua, con el que mantiene una relación directa. Se mide en µS/cm y se suele referir a una temperatura estándar de 25º C.

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA: Ver coeficiente de permeabilidad.

CONO DE DEPRESIÓN: También llamado cono de bombeo. El término alude a la forma que adopta el nivel piezométrico alrededor de una captación sometida a extracción, de modo que los descensos provocados por el bombeo son mayores cuanto menor es la distancia al pozo.

CONTAMINACIÓN DEL AGUA: Acción y efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

DARCY (ley de): Ley que establece la proporcionalidad existente entre el caudal que circula a través de un medio poroso por unidad de superficie y el gradiente hidráulico responsable del flujo. La constante de proporcionalidad está representada por el coeficiente de permeabilidad del material frente al fluido circulante (en unas condiciones dadas).

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno. Medida de la cantidad de oxígeno necesaria para eliminar la materia orgánica contenida en el agua mediante procesos biológicos aerobios, de modo que constituye un índice de contaminación. Usualmente se refiere a cinco días, lo que se representa con las siglas DBO^5 (se expresa en mg/L de oxígeno).

DETRÍTICOS (materiales, acuíferos,...): Rocas constituidas por la acumulación de fragmentos de diversa naturaleza y tamaño; las partículas constituyentes reciben distintos nombres según su tamaño que, de menor a mayor diámetro, son: arcilla, limo, arena y grava, denominaciones válidas también para los sedimentos correspondientes. El comportamiento frente a la circulación hídrica puede variar en las rocas constituidas por los mayores tamaños de grano, que son las que por su permeabilidad presentan interés hidrogeológico, según que los granos estén o no trabados entre sí con la presencia de una matriz (constituida por granos de menor tamaño) o cemento (de precipitación química).

DOMO O CONO DE ASCENSO (salino): En acuíferos costeros, ascenso local de la interfase agua dulce-agua salada en el entorno de una captación, debido a haberse rebasado un cierto nivel en la magnitud del caudal bombeado. Como consecuencia, en el área afectada pueden llegar a alumbrarse aguas con evidencia de mezcla, más o menos intensa, con el agua de mar.

DUREZA: Alude, normalmente, al contenido total de iones de calcio y magnesio presentes en un agua. Es indicativa del poder incrustante. Hay varios tipos de dureza; la más usada, la dureza total, se expresa en grados franceses (1º F = 10 mg/L de $CaCO_3$ equivalente).

EMBALSE SUBTERRÁNEO: Término equivalente al de unidad o sistema acuífero, pero que hace especial referencia a la existencia de un volumen de agua almacenado (reservas) y de unos recursos renovables, cuya regulación (e incluso su cuantía) puede ser además incrementada mediante determinadas actuaciones (ver recarga artificial, regulación de manantiales, ...)

ENSAYO DE BOMBEO: Prueba que consiste en bombear agua de una captación durante un cierto período de tiempo y observar la variación que se produce en los niveles piezométricos del acuífero. Puede usarse tanto para conocer la capacidad o el rendimiento de una captación, como para determinar las características hidráulicas del acuífero.

EVAPOTRANSPIRACIÓN: Se incluyen bajo esta denominación todos los procesos por los que una parte del agua de precipitación es devuelta en forma de vapor desde la superficie continental a la atmósfera. Las dos componentes significativas, englobadas en esta variable, son la evaporación desde la superficie del suelo o desde las superficies de agua libre y la transpiración vegetal. Es necesario distinguir entre evapotranspiración potencial y evapotranspiración real. Evapotranspiración potencial es la evapotranspiración que tendría lugar, en unas condiciones climáticas dadas, si no hubiese limitación en la cantidad de humedad disponible en el suelo, de modo que ésta pudiera satisfacer completamente la demanda atmosférica. La evapotranspiración real es la que realmente se produce bajo unas condiciones dadas por el clima y de contenido de humedad del suelo, de modo que la demanda atmosférica no puede ser satisfecha si el suelo no dispone del agua suficiente.

FORONÓMICO: Relativo a los aforos.

FACIES QUÍMICA DEL AGUA: Composición característica de un agua, referida a los iones mayoritarios, que la enmarca dentro de una categoría definida.

GEOTERMÓMETRO: Es un término aplicado a diferentes técnicas para determinar las temperaturas a que se han producido varios tipos de procesos geológicos. En concreto, se aplican en hidrogeología para determinar la "temperatura de base" en relación con manifestaciones hidrotermales.

GRADIENTE HIDRÁULICO: Es la variación, con la distancia, de la altura del nivel piezométrico de un acuífero en una dirección dada. Esta dirección suele ser la máxima pendiente de la superficie piezométrica (que coincidiría con las de las líneas de corriente).

HIDROGRAMA: Gráfica que representa la variación en el tiempo de alguna característica relativa a la circulación hídrica; muy en particular, se utiliza este término para referirse a las gráficas que representan la variación en el tiempo del caudal de un manantial (o de un río) o del nivel piezométrico en un pozo o sondeo.

INFILTRACIÓN (infiltración eficaz): Infiltración es el flujo descendente del agua desde la superficie del terreno hacia los niveles más superficiales del suelo o hasta la zona saturada. Se denomina "infiltración eficaz" a la fracción, expresada como porcentaje de la precipitación, que alcanza la zona saturada y contribuye, por tanto, a la recarga de los acuíferos (equivalente a coeficiente de infiltración).

INTERFASE: Superficie ideal que separa fluidos inmiscibles en un mismo acuífero, ya sea en equilibrio hidrostático o en condiciones dinámicas. En acuíferos costeros se emplea el término interfase “agua dulce-agua salada”, aunque se trata de dos fluidos miscibles; sirve entonces para simplificar el hecho real de una "zona de dispersión" que, con mayor o menor desarrollo, existe como consecuencia de la mezcla entre ambos tipos de aguas.

INTRUSIÓN MARINA: Penetración tierra adentro de la interfase agua dulce-agua salada en los acuíferos costeros, por el efecto antrópico de reducción significativa en el flujo subterráneo de agua dulce que originalmente descargaba al mar.

ISOHIDROHIPSA (línea): Línea que une los puntos de la superficie piezométrica situados a una misma cota. El conjunto de líneas isohidrohipsas correspondientes a una serie de cotas regularmente espaciadas, proyectadas sobre un plano, constituye el mapa piezométrico del acuífero, es decir el mapa de "curvas de nivel" de la superficie piezométrica correspondiente.

ISOPIEZA O LÍNEA ISOPIEZOMÉTRICA: Este término se utiliza a menudo como equivalente a curva de nivel de la superficie piezométrica. Sin embargo, tal utilización es incorrecta, pues el término isopieza significa literalmente "igual presión", carácter que realmente es propio de cualquier línea situada sobre la superficie piezométrica, dado que todos los puntos de ésta se encuentran a presión atmosférica. Por esta razón, las curvas de nivel de la superficie piezométrica deben ser denominadas más propiamente isohidrohipsas.

ISOTROPÍA: Cualidad de los materiales en los que el comportamiento es el mismo sea cual sea la dirección considerada.

ISOYETA (O ISOHIETA): Línea que une, en un mapa, puntos que reciben igual cantidad de precipitación.

KÁRSTICO: Se denomina kárstico a un paisaje que muestra aspectos morfológicos peculiares en relación con la disolución de rocas, similares a los que existen en la región denominada Karst, al norte de la antigua Yugoslavia. Desde el punto de vista hidrogeológico, se caracteriza por un marcado predominio de la circulación subterránea sobre la superficial. Dicha circulación suele realizarse a favor de huecos o conductos que, en algunos casos, adquieren grandes dimensiones, por lo que el flujo subterráneo se realiza a velocidad alta. Por otra parte, el fuerte condicionamiento estructural en la orientación de tales huecos o conductos motiva una gran anisotropía en los valores de la permeabilidad.

LEY DE DARCY: Ver Darcy.

LIMNÍGRAFO: Aparato que permite obtener un registro gráfico (limnigrama) de la evolución en el tiempo de la altura de la lámina de agua. Utilizado especialmente para controlar la variación de nivel piezométrico en una captación o el caudal de un manantial o río en una estación de observación adecuada.

LÍNEA DE CORRIENTE: Es la línea que representa la trayectoria teórica, desde el punto de vista macroscópico, de una partícula de agua en movimiento; es tangente en todos los puntos al vector velocidad. En régimen permanente y en acuíferos isótropos, es ortogonal en todos los puntos a las superficies equipotenciales (o, en proyección en un plano, a las líneas equipotenciales).

LÍNEA EQUIPOTENCIAL: Línea que une puntos con igual potencial o carga hidráulica, en un medio acuífero con flujo bidimensional (considerado en un plano vertical u horizontal). En tres dimensiones se puede definir, de igual manera, una superficie equipotencial.

LLUVIA ÚTIL: Fracción de la precipitación no evapotranspirada y que, por tanto, representa los recursos hídricos totales de una cuenca; de este modo, la lluvia útil se convierte en escorrentía superficial, infiltración o ambas.

MAPA PIEZOMÉTRICO: Representación cartográfica de la superficie piezométrica de un acuífero (ver isopieza e isohidrohipsa), construida por interpolación de medidas puntuales de la carga hidráulica en diferentes puntos.

MODELO: Representación teórica simplificada de un sistema acuífero; la elaboración de un modelo exige definir la estructura del sistema (límites, características geométricas, etc.) y formular las leyes que relacionan las entradas del sistema y sus respuestas (salidas), de acuerdo con los parámetros que intervienen en dichas relaciones. Los modelos pueden ser de varios tipos: reducidos, analógicos, matemáticos,...

MODELO MATEMÁTICO: El término se refiere generalmente a un modelo consistente en la formulación matemática de las relaciones entre las impulsiones y las respuestas del sistema (entradas-salidas), teniendo en cuenta los parámetros físicos del acuífero. Un modelo de este tipo consigue simular, con auxilio del tratamiento de datos de ordenador, el comportamiento del acuífero frente a diferentes actuaciones sobre el mismo.

PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS: Características de los acuíferos que rigen su comportamiento frente a la circulación hídrica y a influencias externas (alimentación, extracciones, etc.). Parámetros fundamentales son la porosidad, el coeficiente de almacenamiento y la permeabilidad o conductividad hidráulica. Otros derivan de los anteriores; así, la transmisividad es el producto de la permeabilidad por el espesor saturado.

PERCOLACIÓN: Proceso de infiltración en el terreno, por debajo de la zona de influencia radicular, de aguas utilizadas para el regadío. Es frecuente que dichas aguas arrastren en disolución componentes químicos utilizados en agricultura (abonos, pesticidas, etc.).

PERMEABILIDAD: Cualidad de un material que consiste en permitir que el agua (u otro fluido) circule a través de sus poros. Se expresa cuantitativamente por medio del coeficiente de permeabilidad.

PIEZÓMETRO: Pozo o sondeo utilizado para medir la altura piezométrica en un punto dado de un acuífero.

POLJE: Depresión amplia en una región kárstica con vertientes generalmente escarpadas y fondo llano.

POROSIDAD: Relación entre el volumen de huecos, interconectados o no, contenidos en una roca o sedimento y el volumen total de la roca o del sedimento. La porosidad así definida se denomina "total", aunque en hidrogeología es de empleo más común la porosidad "eficaz".

POROSIDAD EFICAZ: Relación entre el volumen de agua gravífica (agua que una roca o sedimento puede liberar por efecto exclusivamente de la gravedad) y el volumen total de la roca o sedimento.

POROSIDAD (PRIMARIA Y SECUNDARIA): Estos términos hacen alusión al origen de los huecos que determinan la porosidad de una roca o sedimento. Cuando los huecos corresponden a los espacios que existen entre los granos que integran una roca o sedimento, la porosidad se denomina "primaria" o intergranular, mientras que si son efecto de procesos de fracturación, de disolución o ambas, de la roca, la porosidad se denomina "secundaria". No se trata de términos excluyentes y, de hecho, en una misma roca pueden coexistir ambos tipos de porosidad.

RECARGA ARTIFICIAL: Procedimiento por el que se inyecta o añade en un acuífero agua desde la superficie. Puede realizarse por distintos métodos, ya sea favoreciendo la infiltración en superficie (método sólo aplicable en acuíferos libres) o procediendo a inyectar en una perforación (en acuíferos confinados es la única solución viable). Esta técnica contribuye a una mejor regulación de los recursos mediante el almacenamiento subterráneo de excedentes superficiales estacionales; de hecho, constituye un buen ejemplo de uso conjunto de recursos superficiales y subterráneos.

RECURSOS: Es una cifra equivalente al total de la recarga o alimentación de un acuífero. Sus unidades son las de un caudal (L^3/T). A veces se distingue entre recursos "propios", como es el caso, por ejemplo, de la infiltración por precipitación sobre los afloramientos del acuífero, y recursos "externos", cuando la recarga procede de alimentación lateral de otro acuífero o de percolación de aguas superficiales.

REGULACIÓN DE MANANTIALES: Explotación o bombeo que provoca el agotamiento o la disminución de caudal, por lo menos temporal, de uno o más manantiales (o la descarga a un río), con objeto de adecuar su funcionamiento a las exigencias y distribución en el tiempo de la demanda, de modo que se consigue un mejor aprovechamiento de los recursos.

RESERVAS: Término que alude al volumen de agua almacenada en un embalse subterráneo. Este término puede matizarse con diferentes calificativos que hacen referencia a otras tantas circunstancias hidrogeológicas.

RESIDUO SECO: Peso de las sales precipitadas al evaporar un volumen conocido de agua, en laboratorio, a una temperatura de referencia (105-100ºC o 180ºC). El residuo seco constituye una medida a la salinidad del agua.

RETORNO DE RIEGOS: Agua que llega a la zona saturada procedente de la infiltración del agua de riegos. Se expresa, usualmente, como porcentaje de la cantidad de agua aplicada; el retorno de riegos depende de muchos factores (tipo de riego, dotación, permeabilidad, etc.). Puede ser responsable de un enriquecimiento progresivo en sustancias disueltas de las aguas subterráneas, sobre todo en climas áridos.

SALINIDAD (de un agua): Término indicativo del contenido total en sales disueltas; suele expresarse también por el residuo seco (contenido en sales precipitadas al evaporar un litro de agua) o, indirectamente, por la conductividad eléctrica.

SALINIZACIÓN (de las aguas): Proceso de enriquecimiento progresivo, en el espacio y/o en el tiempo, de la concentración de sales disueltas. Este proceso puede ser de origen natural (disolución de minerales y rocas) o antrópico (intrusión marina, sobreexplotación de acuíferos, ...).

SAR (índice): Índice muy utilizado para clasificar aguas destinadas al riego en agricultura, que tiene en cuenta la concentración total de sales solubles (expresada mediante la conductividad) y la concentración relativa del sodio con respecto al calcio y al magnesio. El primer aspecto clasifica las aguas en cuatro tipos: C-1 (de baja salinidad), C-2 (de salinidad media), C-3 (altamente salina) y C-4 (muy altamente salina). El segundo parámetro representa el peligro de alcalinización del suelo y establece, igualmente, cuatro categorías: S-1 (agua baja en sodio), S-2 (agua media en sodio), S-3 (agua alta en sodio) y S-4 (agua muy alta en sodio).

SUPERFICIE FREÁTICA: Límite superior de la zona saturada en un acuífero libre.

SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA: Superficie definida por todos los puntos en los que la presión del agua, de un acuífero libre o confinado, es igual a la presión atmosférica. Su geometría puede establecerse a partir de las observaciones del nivel piezométrico en un número suficiente de pozos que penetren sólo ligeramente en la zona saturada. El límite superior de la zona saturada de un acuífero libre constituye un caso particular de superficie piezométrica (superficie freática).

TRANSMISIVIDAD: Parámetro hidrogeológico que representa el producto del coeficiente de permeabilidad por el espesor saturado de acuífero (en un medio isótropo). Puede ser interpretado como el caudal del agua que atraviesa una franja de acuífero, orientada perpendicularmente al flujo, de anchura unidad y bajo un gradiente hidráulico unitario.

U.F.: Unidad de Fertilizantes; se emplea para expresar el contenido en elementos nutritivos (en kg por 100 kg de producto).
1 UFN = 1 kg neto de nitrógeno (N).
1 UFP = 1 kg neto de anhídrico fosfórico (P_2O_5).
1 UFK = 1 kg neto de óxido de potasio (K_20).

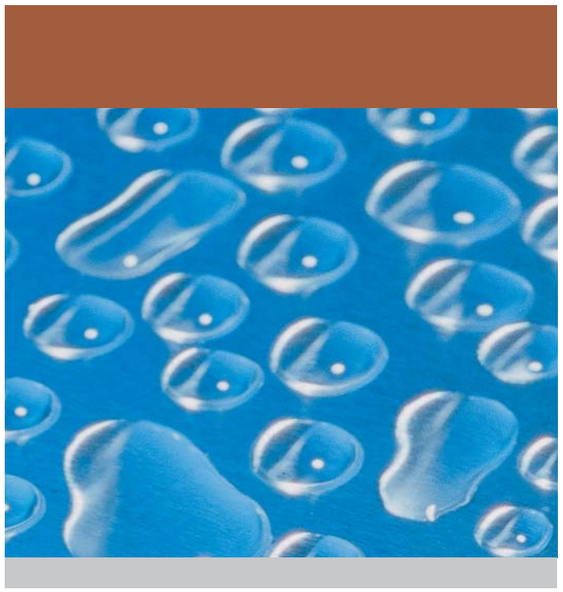
UNIDAD HIDROGEOLÓGICA: Superficie englobada dentro de una poligonal definida con criterio y fines administrativos y de gestión del agua subterránea, dentro de la cual hay uno o más acuíferos.

USO CONJUNTO: Gestión de los recursos que contempla el aprovechamiento racional de aguas superficiales y subterráneas, de acuerdo con las características globales de la cuenca y la distribución de la demanda.

VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE UN ACUÍFERO: Propiedad intrínseca a un acuífero determinado que depende de la capacidad del medio para resistir a la contaminación por actividades antrópicas o fenómenos naturales, con independencia de la naturaleza del contaminante o contaminantes involucrados.

ZONA NO SATURADA: Es la zona comprendida entre la superficie del terreno y el nivel piezométrico, en la que los poros que existen en la roca o en el suelo contienen agua, a presión inferior a la atmosférica, además de aire y otros gases.

ZONA SATURADA: Zona de un acuífero en la que los poros están ocupados en su totalidad por agua.



De “Nuevas canciones y primer cancionero apócrifo”

Ya es sólo brocal el pozo;
púlpito será mañana;
pasado mañana trono.

Antonio Machado