

Calidad de las aguas subterráneas en Andalucía

La composición química natural del agua subterránea es producto de la interacción entre el agua que se infiltra y los materiales por los que circula, a partir de los cuales adquiere diversas sustancias que pasan, generalmente en forma iónica, a la disolución.

Cuanto más solubles son los minerales de la litología encajante y mayor es el tiempo de contacto, más mineralizada será el agua que los atraviesa. Así, en terrenos calcáreos fisurados, karstificados o en ambos, donde la velocidad del flujo es rápida y el tiempo de contacto con la roca es breve, las aguas tienden a mantener bajas salinidades; mientras que en terrenos detríticos el agua circula más lentamente, siendo mayor el tiempo de residencia en el acuífero, por lo que se disuelve más cantidad de especies solubles. Además, las modificaciones que pueden ocurrir en el transcurso de la infiltración: procesos de oxidación-reducción, cambio de bases, mezclas de aguas de distinta composición, alteran la calidad natural, incluso en un mismo acuífero y dan lugar a situaciones de zonación con propiedades físico-químicas diferentes.

CLASIFICACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA

TIPO	mg/l CaCO ₃
MUY BLANDA	0 – 40
BLANDA	40 – 120
MEDIA	120 – 350
DURA	350 – 650
MUY DURA	> 650

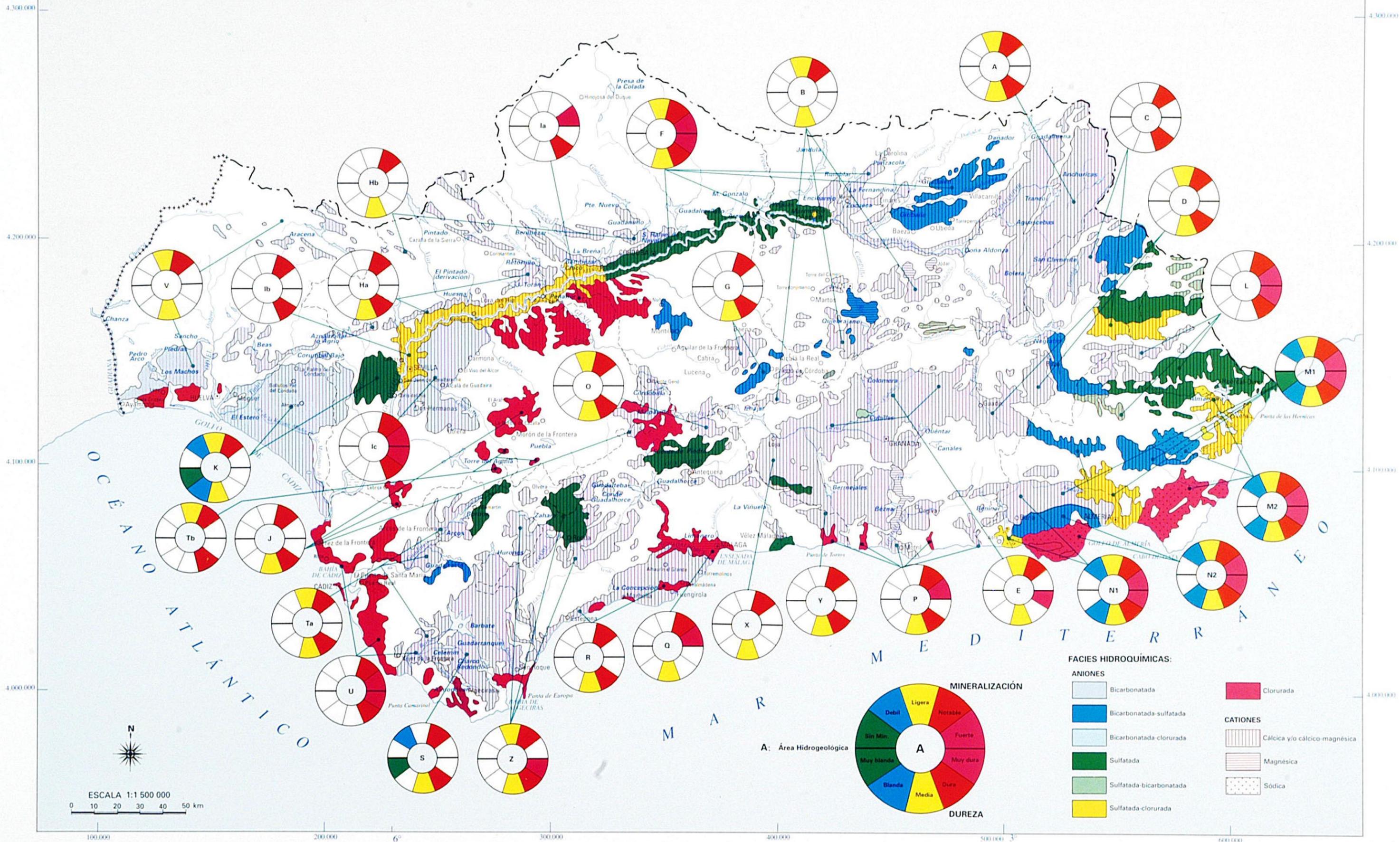
CLASIFICACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN DEL AGUA

TIPO	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)
SIN MINERALIZACIÓN	< 65
DÉBIL	65-200
LIGERA	200-500
NOTABLE	500-2000
FUERTE	> 2000

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ANDALUCÍA

	ÁREAS HIDROGEOLÓGICAS	FACIES HIDROQUÍMICAS	MINERALIZACIÓN	DUREZA
A	Acuíferos del Alto Guadalquivir	Bicarbonatada cálcica	Ligera-Notable	Media-Dura
B	Acuíferos de la Sierra Sur de Jaén	Bicarbonatada cálcica	Ligera-Notable	Media
C	Acuíferos de la cabecera del Guadiana Menor	Bicarbonatada cálcica y/o cálcico-magnésica	Notable	Dura
D	Acuíferos de Guadix, S. ^a Baza y Detrítico Baza-Caniles	Bicarbonatada cálcica y/o cálcico-magnésica	Ligera-Notable	Media-Dura
E	Acuíferos de la Depresión de Granada, de su borde norte y de la Sierra de la Peza	Bicarbonatada cálcica y/o cálcico-magnésica	Ligera-Notable	Media-Muy dura
F	Acuíferos del borde de la Meseta y de la campiña de Córdoba y Jaén	Bicarbonatada cálcica y/o cálcico-magnésica Sulfatada cálcica	Ligera-Fuerte	Media-Muy dura
G	Acuíferos de las sierras subbéticas de Córdoba	Bicarbonatada cálcico-magnésica Bicarb.-sulfatada cálcico-magnésica	Notable	Media-Dura
Ha	Acuíferos Mioceno transgresivo de Base en Córdoba y Sevilla	Bicarbonatada cálcica. Sulfatada-clorurada cálcico-magnésica	Notable	Media-Dura
Hb	Acuíferos carbonatados de S. ^a Morena	Bicarbonatada cálcica	Notable	Media
Ia	Acuíferos en Altiplanos de Écija	Clorurada-bicarbonatada y clorurada-sulfatada cálcico-sódica	Fuerte	Dura
Ib	Acuíferos en Aluvial del Guadalquivir	Sulfatada-clorurada cálcico-sódica	Notable	Dura
Ic	Acuífero de Sevilla-Carmona	Sulfatada-clorurada cálcico-sódica. Clorurada sódico-cálcica Bicarbonatada-clorurada cálcico-sódica	Notable-Fuerte	Dura-Muy dura
J	Acuíferos detríticos del sur de Sevilla y de la Sierra de Estepa	Bicarbonatada cálcica Clorurada-bicarbonatada sódico-cálcica	Notable	Media-Dura
K	Acuíferos de Almonte-Marismas y suroeste de la provincia de Sevilla	Bicarbonatada cálcico-magnésica Bicarbonatada-clorurada cálcico-sódica. Sulfatada cálcica	Débil-Notable	Muy blanda-Media
L	Acuíferos de la Cuenca del Almanzora	Bicarbonatada cálcico-magnésica Sulfatada-clorurada cálcico-sódica	Notable-Fuerte	Dura-Muy dura
M1	Noreste de sierra de Gádor y Acuíferos marginales (Cuenca del Andarax)	Bicarbonatada cálcico-magnésica Bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica Sulfatada-clorurada sódico-cálcica	Débil-Fuerte	Muy blanda-Muy dura
M2	Acuíferos cuencas de Níjar-Carboneras, Aguas y Antas	Bicarbonatada cálcico-magnésica Sulfatada-clorurada sódico-cálcica Clorurada sódico-magnésica	Débil-Fuerte	Blanda-Muy dura
N1	Oeste de Sierra de Gádor y Acuíferos marginales (Cuenca del Adra)	Bicarbonatada cálcico-magnésica Bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica Sulfatada-clorurada cálcico-magnésica Clorurada sódica	Débil-Fuerte	Blanda-Muy dura
N2	Sur de Sierra de Gádor-Campo de Dalías	Bicarbonatada cálcico-magnésica Bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica Clorurada sódica	Débil-Fuerte	Blanda-Muy dura
O	Acuíferos del Alto Guadalhorce	Bicarbonatada cálcica. Sulfatada cálcica y sódica	Ligera-Notable	Media-Dura
P	Acuíferos de la costa granadina	Bicarbonatada cálcica Clorurada sódica	Notable-Fuerte	Media-Dura
Q	Acuíferos del Bajo Guadalhorce y de las sierras Blanca y Mijas	Bicarbonatada cálcica. Clorurada sódica	Notable-Fuerte	Media
R	Acuíferos costeros de Málaga	Bicarbonatada cálcica y magnésica. Clorurada sódica	Notable	Media-Dura
S	Acuíferos del Campo de Gibraltar	Bicarbonatada y sulfatada cálcica. Clorurada sódica	Débil, Notable	Muy blanda. Media-Dura
Ta	Acuíferos de la Cuenca Media del río Guadalete	Bicarbonatada y sulfatada cálcica y magnésica. Clorurada sódica y cálcica	Ligera-Notable	Media-Dura
Tb	Acuíferos aislados de la Sierra Sur sevillana	Bicarbonatada cálcica y cálcico-magnésica	Ligera-Notable	Dura
U	Acuíferos costeros Cádiz (costa atlántica)	Bicarbonatada cálcica. Clorurada sódico-cálcica	Notable-Fuerte	Dura-Muy dura
V	Acuíferos Ayamonte-Huelva y carbonatados S. ^a Huelva	Bicarbonatada cálcica. Clorurada sódico-cálcica	Ligera-Notable	Media
X	Acuíferos S. ^a Gorda y Polje de Zafarraya	Bicarbonatada cálcico-magnésica. Sulfatada magnésico-cálcica	Notable	Media
Y	Acuíferos de las S. ^a Almirajara-Padul-Lújar	Bicarbonatada cálcica y magnésica. Sulfatada cálcica	Notable	Media-Dura
Z	Acuíferos serranías de Ronda y Grazalema	Bicarbonatada cálcica. Sulfatada cálcico-magnésica	Ligera-Notable	Medida-Muy dura

MAPA DE CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ANDALUCÍA



Las facies hidroquímicas son una característica definitoria del tipo y predominio de las especies iónicas en la solución, y depende lógicamente de la naturaleza litológica de los materiales acuíferos. Las formaciones geológicas constituidas por rocas carbonatadas (calizas, dolomías, calcarenitas...) dan lugar a aguas bicarbonatadas cálcicas, magnésicas o ambas, mientras que en los acuíferos detríticos las variaciones en las facies pueden ser tantas como materiales sedimentarios (carbonatados, silíceos, yesíferos...). Las rocas ígneas, en las que habitualmente se desarrollan pequeños acuíferos de interés local, producen aguas bicarbonatadas sódicas o cálcico-sódicas, generalmente de baja mineralización y escasa dureza.

La composición natural del agua puede ser alterada por las actividades humanas –urbanas, agrícolas e industriales– que afectan, generalmente de forma negativa y determinante, a la calidad, provocando en ocasiones su inhabilidad para el uso al que se destinen.

La incidencia de las prácticas agrícolas se traduce habitualmente en un incremento del contenido en especies nitrogenadas, especialmente nitratos, procedentes de los fertilizantes aplicados. Es también factible encontrar productos fitosanitarios, aunque debido a sus particulares propiedades (poder de retención y adsorción del suelo y materia orgánica, autodegradación...), su aparición en el agua subterránea ocurre a bajos niveles de concentración, o incluso puede ser enmascarada por otras sustancias orgánicas naturales del suelo y cultivos.

Los vertidos urbanos deficientemente tratados pueden dar lugar a situaciones de contaminación muy variadas, según la composición de las aguas residuales. Además de la posible contaminación bacteriológica, las especies mayoritarias detectables son las nitrogenadas (amoníaco, nitritos, nitratos), además de cloruros, sodio, detergentes y materia orgánica. A éstos pueden sumarse otras sustancias tóxicas, provenientes de instalaciones industriales que viertan sus residuos a través de las redes de alcantarillado.

Por último, los vertidos industriales presentan una composición química muy variada, desde sales minerales, a toda una amplia gama de compuestos orgánicos, dependiendo del tipo de industria. No obstante, la aparición de metales pesados y sustancias orgánicas deben tomarse como indicio de una potencial contaminación de origen industrial.

La compleja geología de Andalucía da lugar a la existencia de una notable variabilidad en la tipología de sus aguas subterráneas, a la que hay que sumar las alteraciones introducidas por el hombre en diversas regiones, que van desde la contaminación extensiva de los acuíferos por las importantes explotaciones agrícolas de esta región hasta la intrusión marina en los acuíferos costeros.

A grandes rasgos, las unidades carbonatadas de la geografía andaluza contienen las aguas de mejor calidad química natural, al ser éstas las menos salinas. Las facies en estos casos son bicarbonatadas cálcicas, magnésicas o ambas; presentan mineralizaciones ligeras a notables, con conductividades medias de 300-900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y predominan las aguas de dureza media (200-300 $\text{mg}/\text{l CaCO}_3$), aunque en algunos casos pueden ser duras. Esta tipología general de aguas corresponde a las de las áreas hidrogeológicas denominadas abreviadamente A, B, C, D, E, G, Hb, T, Y, Z.

Localmente y como consecuencia de la influencia del substrato impermeable constituido por materiales triásicos (margas, yesos), las aguas de algunos terrenos calcáreos incrementan su mineralización y dureza, cambiando incluso su facies, que adquiere un carácter sulfatado e incluso clorurado. Así, en algunos casos llegan a superar conductividades de

2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y alcanzan durezas muy altas, 800-1000 $\text{mg}/\text{l CaCO}_3$. Este es el caso de los acuíferos de San Cristóbal, Alta Coloma, Sierra Mágina (B); Rute-Horconera (G); Sierra de Estepa (J); Cuenca de Fuente de Piedra, Aluvial de la Vega de Antequera (O); Llanos de Villamartín (T); Sierra de Grazalema (Z).

Las aguas subterráneas de las formaciones detríticas tienen características muy variables, aunque como calificación general puede señalarse su mayor mineralización frente a las procedentes de litologías calcáreas. Las facies varían de bicarbonatadas cálcico-magnésica, propias de las zonas interiores, a cloruradas sódicas en las zonas costeras, con una amplia gama de tipos intermedios y mixtos. Es frecuente encontrar en áreas interiores facies primarias sulfatadas (Aluvial del Guadalquivir, Aljarafe, acuífero de Sevilla-Carmona, Mioceno transgresivo de Base, acuíferos de las cuencas de los ríos Almanzora, Andarax y Aguas, Delta del Adra, Polje de Zafarraya) y cloruradas (Altiplanos de Écija, Sevilla-Carmona, acuíferos de Arahál-Coronil y Lebrija, Campo de Dalías), además de otras mixtas, bicarbonatadas-sulfatadas, bicarbonatadas-cloruradas, cálcico-magnésicas y cálcico-sódicas, resultado de la diversidad de materiales que constituyen los sedimentos (calcarenitas, conglomerados, arenas, gravas, limos, arcillas). La mineralización es notable, con conductividades del orden de 600-900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y durezas medias a duras, 300-400 $\text{mg}/\text{l CaCO}_3$, en los casos de aguas bicarbonatadas; estas propiedades se intensifican en las facies sulfatadas y cloruradas, dando lugar a aguas de fuerte mineralización, con conductividades superiores a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y duras a muy duras, 500-700 $\text{mg}/\text{l CaCO}_3$.

La presencia de sulfatos es especialmente notoria en algunos sectores de la Cuenca Sur, donde de forma habitual se superan los 400 mg/l . Es el caso del Cuaternario del río Vélez, Detrítico de Málaga, Cuenca detrítica de Antequera, Detrítico de Almería-Campo de Níjar, Detrítico de Cuevas de Almanzora-Vera y algunos puntos del Campo de Dalías.

El proceso de intrusión marina en los acuíferos costeros altera la calidad natural de sus aguas y provoca importantes aumentos de la salinidad, dando lugar a aguas muy duras y conductividades del orden de 3000-4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que llegan a alcanzar 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Andarax-Almería, Campo de Dalías, Carchuna-Castell de Ferro, Río Verde). En estos sectores del litoral, si bien alternan los caracteres intermedios entre bicarbonatados y clorurados, predomina la facies clorurada sódica. La intensidad de la intrusión salina en función del grado de afección de los acuíferos puede definirse como local, zonal y generalizada. En el primer grupo se engloban los acuíferos de Almonte-Marismas, Rota, Puerto Real-Conil, Vejer-Barbate, Marbella-Estepona, Fuengirola, Nerja, y Albuñol. La intrusión es zonal en Ayamonte-Huelva, Vélez, Carchuna-Castell de Ferro y Campo de Dalías. De forma generalizada se encuentran afectados los sectores de Sanlúcar-Chipiona y Almuñécar.

Otro de los principales problemas que afectan a la calidad de las aguas subterráneas en Andalucía es la contaminación por nitratos. El origen de su frecuente y extendida presencia en las aguas es principalmente la aplicación de fertilizantes en el sector agrícola; además influyen también los efluentes urbanos y ganaderos, cuya deficiente eliminación y fugas en las redes de saneamiento puede ser origen de contaminación de carácter puntual o localizado, como ocurrió en el acuífero de Frailes (Sierra Sur de Jaén), Vega de Granada, Altiplanos de Écija, Depósitos aluviales de Guadiaro-Hozgarganta, Polje de Zafarraya, entre otros. Las áreas afectadas por la presencia de nitratos son numerosas y se localizan en las formaciones detríticas, donde alcanzan un gran desarrollo las prácticas agrícolas: Sevilla-Carmona, aluviales del Guadalquivir y Guadalete, vega del río

Genil, Almonte-Marismas, Aljarafe, Motril-Salobreña, Fuente de Piedra, aluviales del Guadalhorce y Guadalete, Albuñol, Vélez-Málaga, Llanos de Antequera, Bajo Adra y Campo de Dalías. En todas ellas es frecuente la presencia de nitratos en contenidos elevados, superiores en numerosos casos a 100 mg/l , e incluso a 250 mg/l .

Casos de contaminación de origen industrial se han detectado en Fuensanta de Martos (Sierra Sur de Jaén), provocado por el vertido temporal de alpechines. Excepcionalmente se ha encontrado plomo en el acuífero de Sevilla-Carmona, y también metales pesados en la zona baja del acuífero del Bajo Guadalhorce.



La cascada de Chorrogil, en la Sierra de Cazorla, situada en la cola del embalse de Aguascebas, aporta aguas de excelente calidad química utilizadas para el abastecimiento a los núcleos de la Loma de Ubeda. (11)