

en muchos casos procesos prácticamente irreversibles, tales como la contaminación por intrusión marina.

Acuíferos costeros de Marbella-Estepona

Se trata de diferentes acuíferos detríticos que constituyen un complejo Pliocuaternario. Los niveles permeables del Plioceno, formado por una alternancia de arenas, conglomerados y arcillas, y los depósitos aluviales del Cuaternario, constituido por conglomerados y arenas de origen aluvial, están conectados entre sí, produciéndose un flujo entre ellos en uno u otro sentido en función de la época del año y de las circunstancias concretas de cada sector (ITGE, 1998). El modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico de este conjunto de acuíferos, indica que gran parte de la recarga es por infiltración directa del agua de lluvia, si bien puede verse incrementada en algunos tramos por infiltración de los ríos, aunque en el área situada al norte de Marbella, pueden recibir alimentación subterránea a través de los horizontes permeables del Complejo Alpujárride. La descarga se realiza directamente al mar o a través de los aluviales y niveles detríticos del plioceno, además de los caudales bombeados en las captaciones (RODRÍGUEZ, R, et al., 1995), comprendidos entre 10 y 15 l/s, alcanzando excepcionalmente máximos de 50 l/s.

Los límites del conjunto lo conforman materiales impermeables paleozoicos (Complejos Maláguide y Alpujárride), dando lugar a un límite cerrado en la zona norte, mientras que hacia el sur el límite es el mar Mediterráneo.

La principal característica de este conjunto de acuíferos es la dificultad de recarga, que puede verse acrecentada por la construcción de embalses (LINARES, L., 1997). Así, en algunas zonas próximas a la costa (desembocaduras de los ríos Verde, Guadaliza y Guadalmina), las extracciones están concentradas, pudiendo dar lugar a sobreexplotaciones puntuales que, junto con la ausencia de cursos fluviales importantes que favorezcan la recarga estacional de los acuíferos, producen el descenso, local y temporal, de los niveles piezométricos por debajo de la cota del nivel del mar y como consecuencia, se originan fenómenos estacionales de intrusión marina. Estas variaciones de nivel pueden llegar a superar el metro en el sector costero.

Acuíferos costeros de Fuengirola

Se trata de un complejo conjunto detrítico, con varios cambios laterales de facies, formado por niveles pliocenos y un cuaternario fundamentalmente aluvial y de mayor permeabilidad que el Plioceno infrayacente. Estos niveles acuíferos están comunicados entre sí y con el río Fuengirola con el que mantienen una estrecha relación, de forma que en la parte alta y media del acuífero el río es perdedor y por el contrario drena al acuífero en su parte baja. Las cotas de la superficie piezométrica son más altas en el acuífero plioceno que en el cuaternario, poniendo de manifiesto un fuerte gradiente y una alimentación vertical hacia el aluvial.

Los depósitos pliocenos están formados por una alternancia de conglomerados, arenas y arcillas margosas y afloran en el sector norte de la depresión, con una extensión de unos 8 km². El cuaternario está constituido fundamentalmente por el aluvial del río Fuengirola y localmente por depósitos coluviales, terrazas y playas.

El conjunto Pliocuaternario está rodeado por materiales paleozoicos de los Complejos Alpujárride y Maláguide sobre los que se apoya y que constituyen un límite impermeable de litología predominantemente esquistosa.

En algunas zonas aparecen rocas semipermeables (peridotitas) que podrían suponer ciertos aportes laterales.

Lo más destacable de este acuífero es el descenso piezométrico que se produce durante los estiajes en sectores localizados próximos al mar, donde la cota de la superficie piezométrica llega a ser negativa, originándose intrusión marina, no obstante, se trata de un fenómeno estacional (LINARES, L., 1997). Por otra parte en todo el acuífero aluvial se observan oscilaciones estacionales, cuya magnitud varía de unas zonas a otras: entre 5 y 10 m en la zona alta del acuífero; entre 2 y 4 m en la zona media y menos de 1 m en la zona costera (ITGE, 1998). Los niveles piezométricos oscilan entre los 25 m s.n.m. en la cabecera y entre 1 y -1 en las proximidades de la línea de costa.

Acuíferos costeros de Vélez-Málaga

Los acuíferos principales de este conjunto corresponden a depósitos detríticos aluviales y deltaicos del Cuaternario (arcillas, limos, arenas y gravas), cuyas transmisividades superan en general los 1000 m²/día, pudiendo alcanzar 10000 m²/día. Además, en los sectores este y noreste de la depresión de Vélez afloran, con una extensión de 10 km², materiales arcillo-arenosos del Plioceno, a los que se le atribuye un carácter semipermeable. Este acuífero Plioceno está en conexión hidráulica con los niveles cuaternarios. El substrato sobre el que se apoya el conjunto está formado por materiales paleozoicos impermeables (filitas, micaesquistos y cuarcitas) que constituyen los límites cerrados de la unidad.

La pluviometría media para el área ocupada por los materiales cuaternarios y pliocenos del río Vélez, se sitúa entorno a los 15-20 hm³/año, teniendo lugar el estiaje entre los meses de mayo y septiembre (IGME, 1983).

En el Cuaternario se diferencian dos acuíferos: uno superior y libre y otro inferior, confinado, formado por arenas, arcillas, limos y gravas. El acuífero superficial se corresponde con los depósitos detríticos del aluvial del río y parte del delta, con una potencia comprendida entre 30 y 65 metros y un volumen permeable de 280 hm³. La recarga de este acuífero se produce por infiltración del río Vélez, infiltración de otros cauces superficiales y, en menor medida, por infiltración directa del agua de lluvia. El acuífero profundo funciona como confinado y se desarrolla en la zona central del valle y parte del delta (desde el estrechamiento del aluvial al sur de Vélez-Málaga hasta la costa). En los meses de estiaje, los niveles piezométricos del acuífero superficial descienden considerablemente, siendo el retorno por excedentes de regadío la única fuente de alimentación. La piezometría de este acuífero muestra fuertes oscilaciones estacionales con máximos y mínimos (entre 0 y 40 m s.n.m.), que dependen de los aportes de cada año. El principal problema de estas oscilaciones es el descenso zonal de la superficie piezométrica por debajo de la cota del nivel del mar, ocasionando fenómenos de intrusión marina que se maximizan al finalizar el estiaje. Sin embargo, el acuífero profundo no presenta salinización por intrusión marina estacional.

4. EXPLOTACIÓN Y BALANCE

En los esquemas adjuntos se representa el balance hídrico global, para el conjunto de los acuíferos costeros de Málaga y el de cada uno de los sistemas tratados de forma individual. En el primer caso, se observa que las entradas totales al conjunto están comprendidas en el intervalo

84-98 hm³/año, mientras que las salidas se han cifrado entre 88-108 hm³/año; de forma que el balance hídrico global indica una tendencia a la sobreexplotación de algunos de estos sistemas costeros, produciéndose el consumo de reservas de agua de los acuíferos, con la consiguiente entrada de agua de mar.

Acuíferos de Marbella-Estepona

Los recursos totales de estos acuíferos están estimados, para el año 1984, en 33-45 hm³/año, correspondiendo el 60% a los aluviales y el resto al acuífero Plioceno. La alimentación del complejo se produce por la recarga de aguas superficiales, calculada entre 21-26 hm³/año, infiltración en el terreno procedente de la precipitación, que viene a ser de unos 8-14 hm³/año, del retorno de las aguas de riego, comprendida entre 4 y 5 hm³/año y, por una cierta alimentación lateral procedente de los materiales carbonatados de Sierra Blanca. En lo que respecta a las descargas, los bombeos representan unos 23 hm³/año y las salidas al mar unos 10-22 hm³/año.

Acuíferos costeros de Fuengirola

La explotación de este complejo se centra en el acuífero cuaternario aluvial, cuyos recursos se han cifrado entre 16 y 23 hm³/año. Como entradas se considera un volumen comprendido entre 1,5 y 3 hm³/año procedente de la recarga directa del agua de lluvia; 1 hm³/año de los retornos de riego y entre 14-19 hm³/año proceden de la infiltración de la escorrentía de los cauces superficiales. En cuanto a las salidas, 6,5 hm³/año se producen por bombeos y entre 10-17 hm³/año por descargas subterráneas al mar.

Acuíferos costeros de Vélez-Málaga

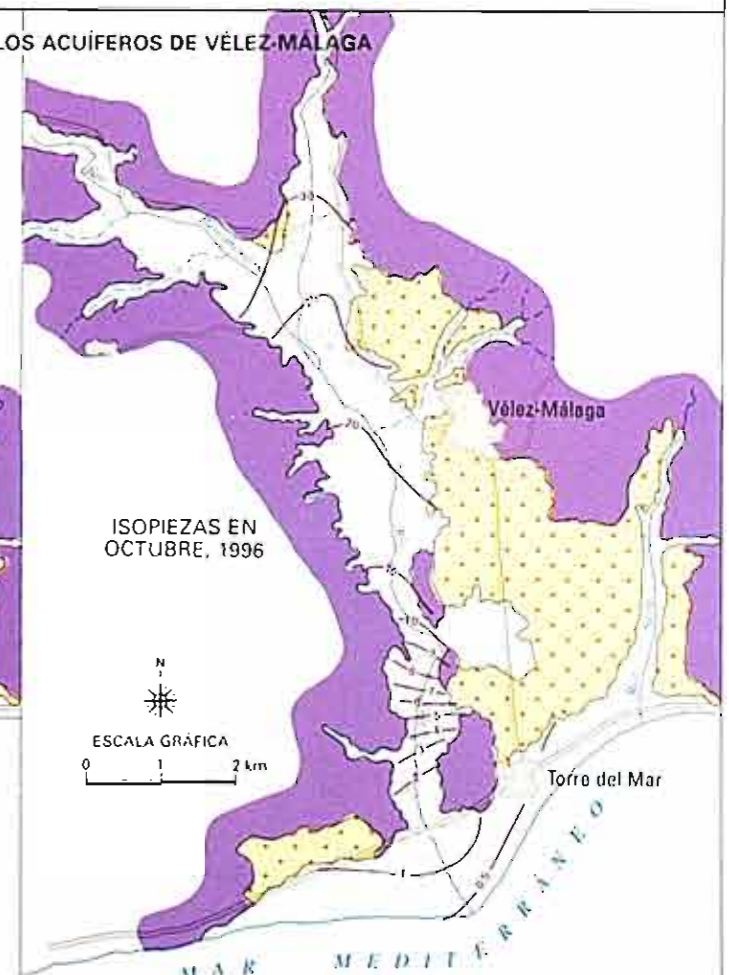
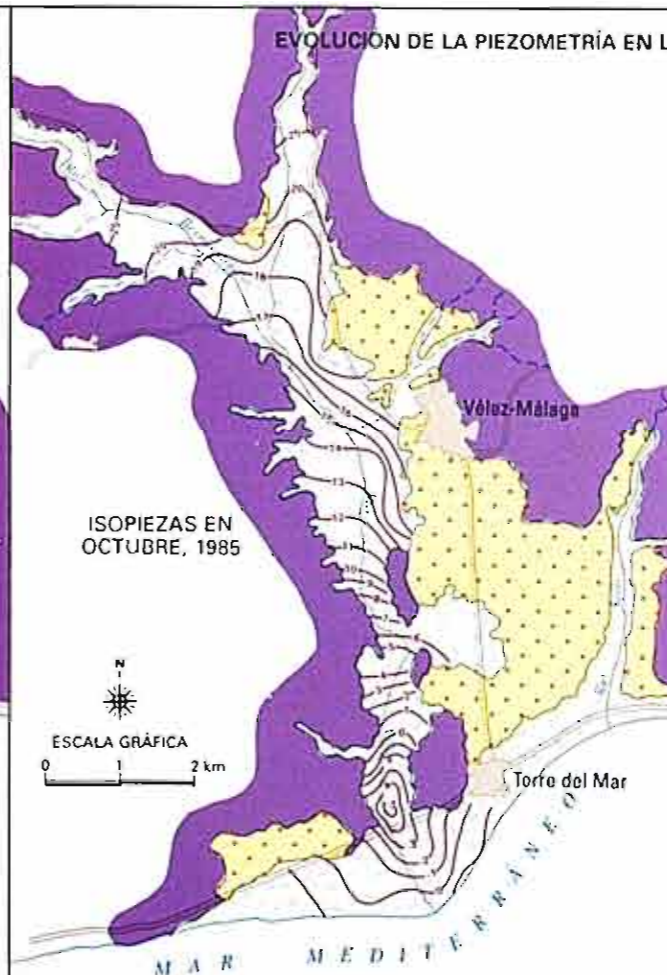
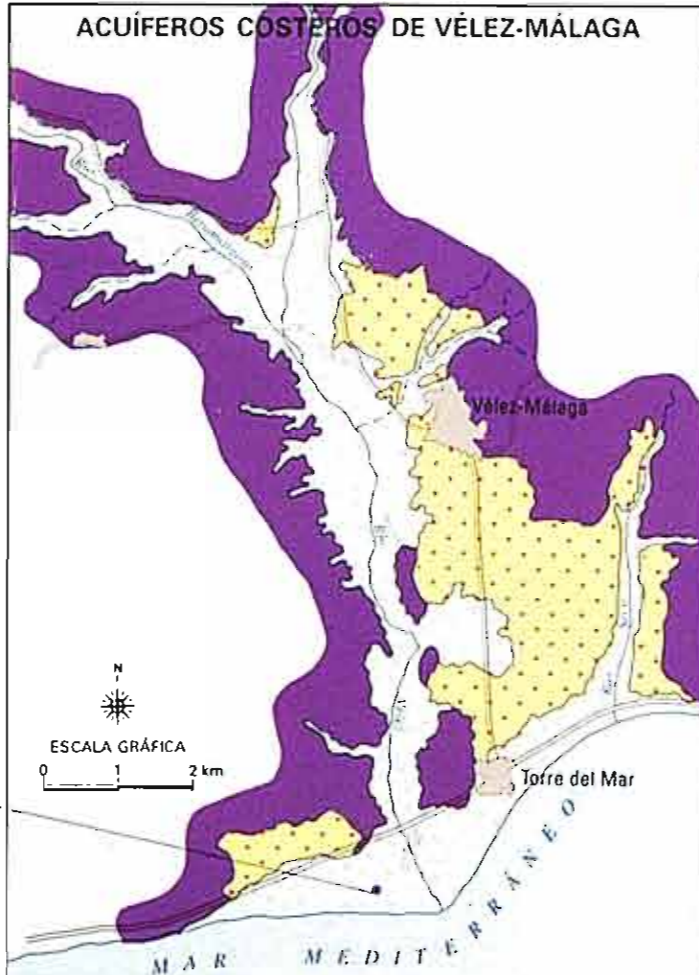
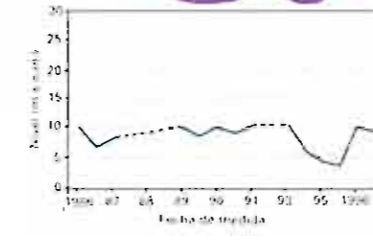
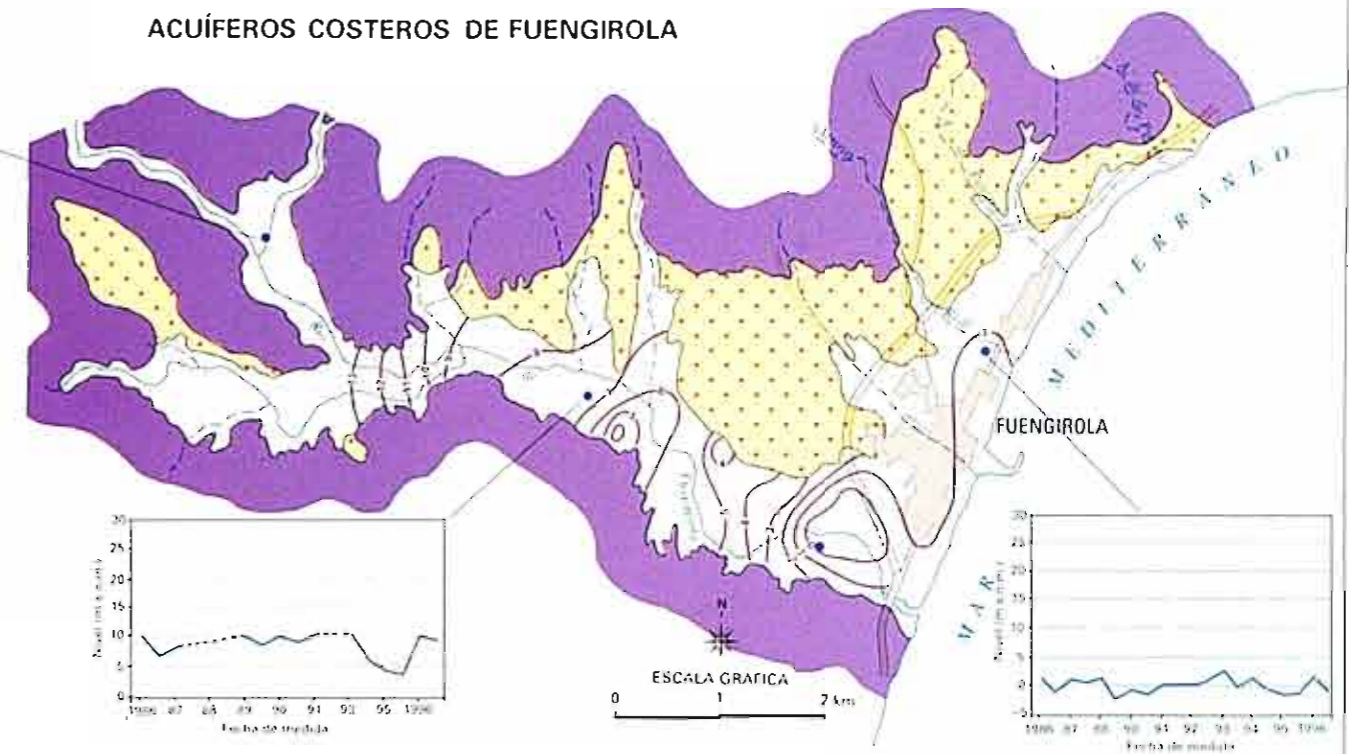
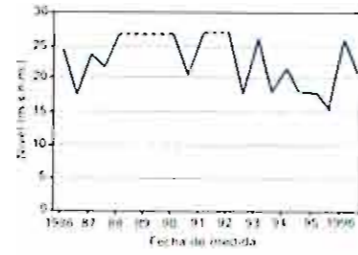
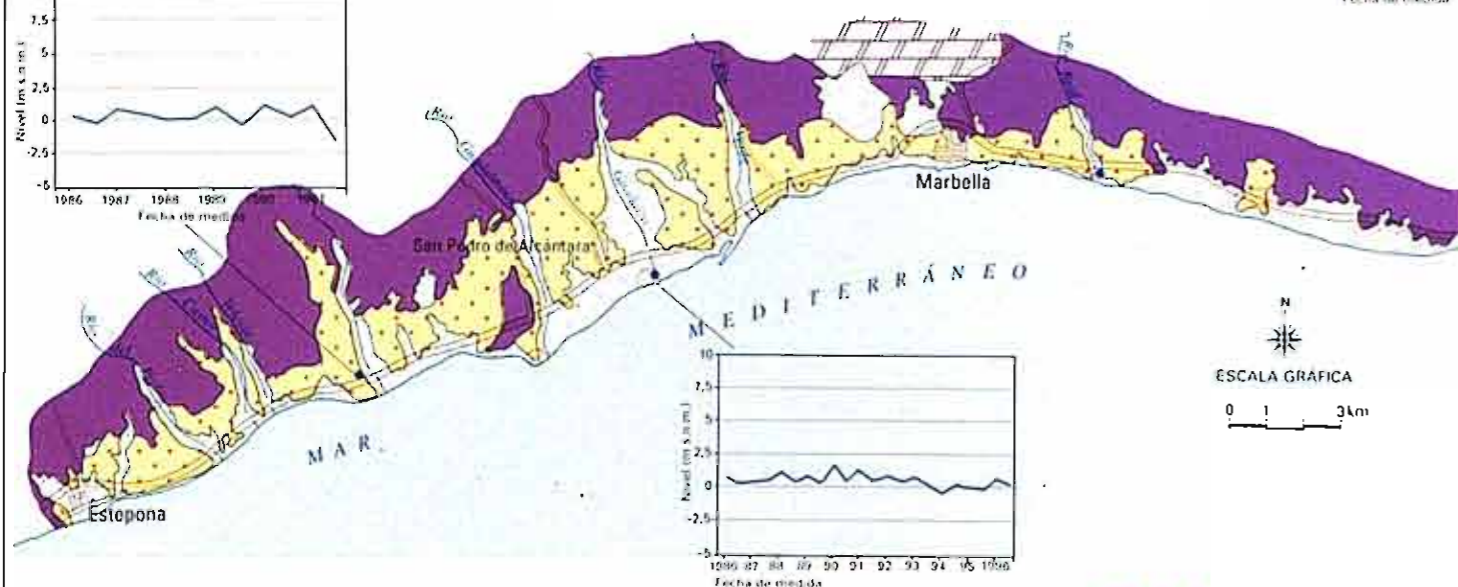
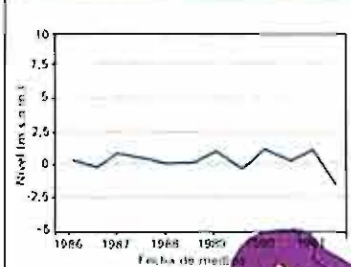
Las reservas del acuífero superficial son del orden de 80 hm³ (ITGE, 1998) mientras que las del acuífero profundo llegan a los 20 hm³.

Los recursos del conjunto ascienden a 33 hm³/año, de los que la mayor parte (28 hm³/año) corresponde a la infiltración del río Vélez. El resto de las entradas se reparten entre las infiltraciones procedentes del agua de lluvia (2 hm³/año), retornos de regadío y aporte de manantiales situados aguas arriba (3 hm³/año); no obstante estos datos se han visto recientemente alterados con la construcción del embalse de la Viñuela que regula el río Vélez aguas arriba. En cuanto a las salidas, se producen únicamente por bombeos, extrayendo entre 27-43 hm³/año y con tendencia al aumento. Estas cifras suponen, en ocasiones, el consumo de reservas de agua del acuífero y, por tanto, la entrada de agua de mar.

5. HIDROQUÍMICA, CALIDAD Y CONTAMINACIÓN

Respecto a los focos potenciales de contaminación de estas aguas subterráneas, hay que destacar: en lo que se refiere a actividades urbanas, los residuos sólidos y líquidos generados por las poblaciones que se asientan sobre la superficie de los acuíferos; en las actividades de tipo agrícola, el uso de fertilizantes que aportan una importante carga de nitrógeno; en la actividad ganadera, los aportes de nitrógeno; por último, hay que tener en cuenta las instalaciones industriales con posibilidad de contaminar que, en el sector de Vélez-Málaga superan las 200 unidades, alcanzan las 120 para el acuífero de Fuengirola y las 375 en el sector Marbella-Estepona.

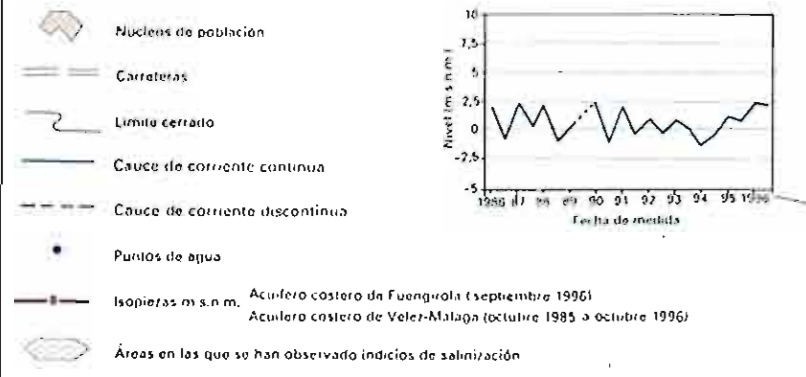
ACUÍFEROS COSTEROS DE MÁLAGA

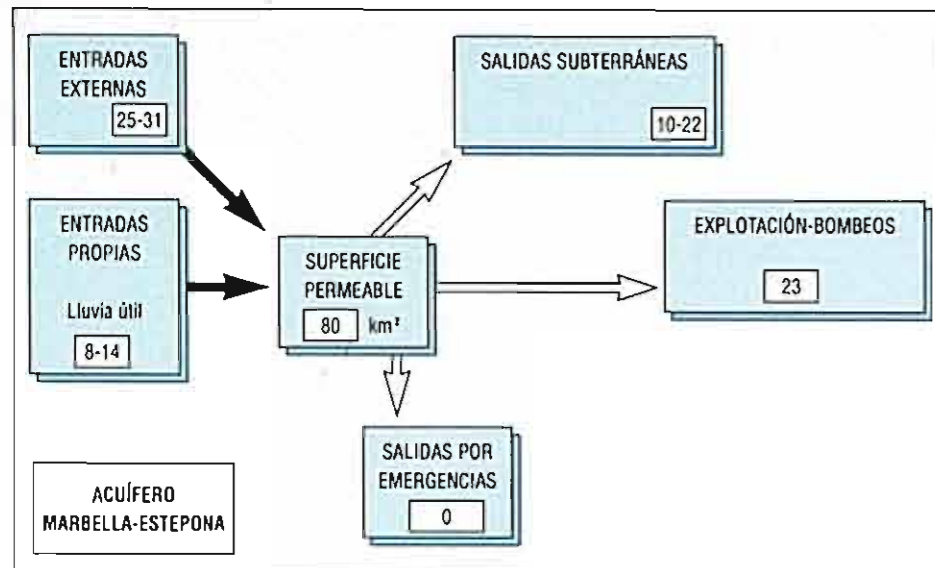
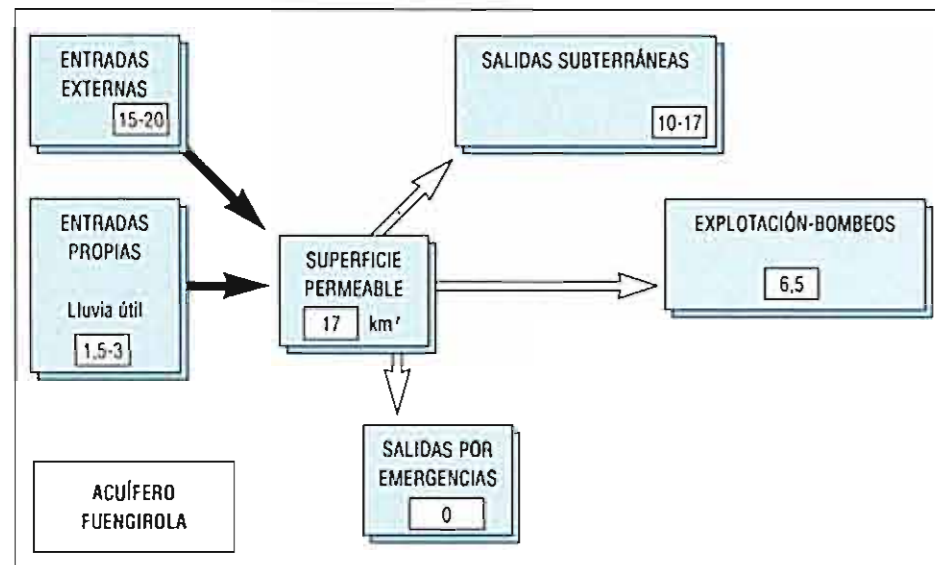
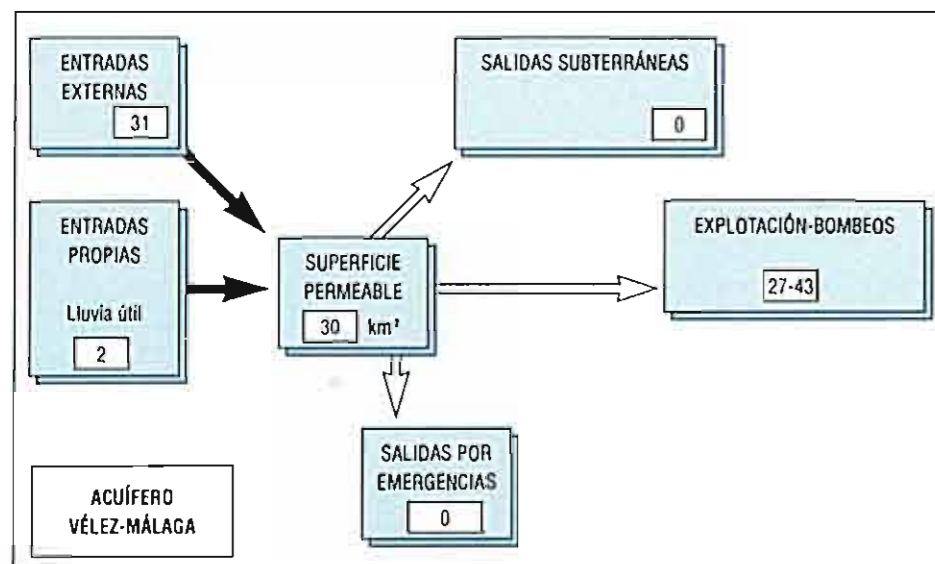


LEYENDA

ACUÍFEROS COSTEROS	LITOLÓGÍAS	EDAD GEOLÓGICA	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
Vélez-Málaga	Gravas, arenas y arcillas	CUATERNARIO	Alta permeabilidad
Fuengirola	Conglomerados, arcilla y gravas		
Marbella-Estepona	Aluviales, playas y piedemontes	PLIOCENO	Permeabilidad media Localmente alta permeabilidad
Vélez-Málaga	Arenas y arcillas		
Fuengirola	Arenas, margas y conglomerados	TRIÁSICO	Alta permeabilidad
Marbella-Estepona	Arenas, margas y conglomerados		
Marbella-Estepona	Mármotes	PALEOZOICO	Baja permeabilidad
Vélez-Málaga	Filitas, micaesquistos y cuarcitas		
Fuengirola	Materiales del substrato		
Marbella-Estepona	Alpujárride y Málagaide		

SIMBOLOGÍA



BALANCE HÍDRICO GLOBAL (hm³/año)**BALANCE HÍDRICO GLOBAL (hm³/año)****BALANCE HÍDRICO GLOBAL (hm³/año)**

Las características hidroquímicas de las aguas contenidas en cada uno de los acuíferos de la costa malagueña son:

Acuíferos de Marbella-Estepona

La facies hidroquímica predominante es la bicarbonatada cálcica o magnésica, debido a la aportación que reciben de la infiltración de los macizos carbonatados del norte; pero en algunos puntos ubicados en las zonas de desembocadura de los ríos Verde, Guadaliza y Guadalmina, y como consecuencia de la salinización por intrusión marina, las aguas presentan una facies química clorurada sódica.

En general, son aguas aptas para riego y se caracterizan por presentar una dureza alta, con un valor medio de CO₃Ca de unos 330 mg/l, y una mineralización media, siendo el valor medio de conductividad eléctrica: 585 μS/cm; respecto al contenido en nitratos, presentan un valor medio de 4 mg/l y un máximo de 13 mg/l (ITGE, 1998).

Acuíferos costeros de Fuengirola

Las aguas del aluvial son, en su mayoría, bicarbonatadas cálcico-magnésicas, aunque en las zonas próximas a la costa presentan una facies clorurada magnésica. Esto es debido a que existe intrusión marina de tipo puntual y carácter estacional, ya que las concentraciones de cloruros y la conductividad se recuperan al producirse nuevas recargas estacionales. No obstante, existe una tendencia al empeoramiento de la calidad del agua subterránea en la zona próxima a la desembocadura del río Fuengirola

Son, en general, aguas de dureza alta, con una concentración de CO₃Ca comprendida en el intervalo 279-625 mg/l y mineralización elevada, ya que el valor medio de la conductividad eléctrica se aproxima a los 1485 μS/cm. El contenido medio en ión nitrato es de 16 mg/l, llegando en algunos casos a alcanzar el valor máximo admisible en aguas potables. El acuífero Plioceno contiene aguas de peor calidad, con concentraciones de sulfato y sodio más elevadas.

Acuíferos costeros de Vélez-Málaga

La facies hidroquímica predominante en el acuífero superficial, es la bicarbonatada cálcico-magnésica en la zona de confluencia de los ríos Benamargosa y Vélez. Aguas abajo, la calidad se va deteriorando, aumentando la mineralización y el contenido en sulfatos, nitratos y nitritos, apareciendo también facies cloruradas cálcicas. Hay que destacar los elevados contenidos de los compuestos nitrogenados, relacionados con unas tasas de abono excesivas en los cultivos existentes sobre este acuífero; este hecho da lugar a que, en determinadas zonas, la calidad del agua sea deficiente para consumo humano (LINARES, L., 1997). En el acuífero profundo, la salinidad es sensiblemente superior a la del superficial, presentando facies cloruradas sódicas y conductividades comprendidas entre 5000 y 13000 μS/cm

La dureza del agua contenida en los niveles cuaternarios es media-alta, con valores que oscilan entre 250 y 360 mg/l de CO₃Ca. Se caracterizan por presentar una mineralización elevada, con un valor medio de conductividad comprendido entre 1000 y 1500 μS/cm y máximos de 3500 μS/cm, de forma que, en cuanto a su uso para riego, presentan riesgos de salinización (ITGE, 1998).

El acuífero Plioceno presenta elevados valores de salinidad, debidos a la existencia de aguas fósiles, sin mezcla de aguas recientes, que han ido

adquiriendo la mineralización al transcurrir por facies evaporíticas. Por el contrario, en los niveles cuaternarios, se ha detectado salinización por intrusión marina como consecuencia de que, en épocas de estiaje, el río no puede ceder agua al acuífero; este hecho sumado a una sobreexplotación de las aguas subterráneas, ocasiona un descenso en el nivel piezométrico llegando a alcanzar cotas inferiores a las del nivel del mar, produciéndose intrusión marina de tipo zonal. No obstante, en la actualidad existe una mejoría de la calidad química de las aguas subterráneas debido al uso de medidas que han contrarrestado, en cierta manera, los efectos de la explotación. En efecto, el aporte de aguas superficiales procedentes del embalse de la Viñuela, ha favorecido la recarga, así como el abandono de pozos de abastecimiento que se explotaban históricamente; a esto hay que añadir la construcción de diques transversales en el cauce del río Vélez para recargar el acuífero superficial.

6. PROBLEMÁTICA EXISTENTE

Los principales problemas están ligados a la falta de una adecuada planificación de las extracciones y al efecto no controlado de las actividades antrópicas. El primero de ellos da lugar al descenso de los niveles piezométricos, llegando a alcanzar, durante el estiaje, cotas por debajo del nivel del mar, provocando fenómenos de intrusión del agua de mar en estos acuíferos.

Por otro lado hay que destacar los elevados contenidos, en algunos niveles acuíferos, de compuestos nitrogenados altamente contaminantes, relacionados con una incorrecta utilización de fertilizantes, de forma que dichas aguas presentan una calidad química deficiente para su consumo humano e incluso para su uso agrícola en ciertos casos.

7. OPTIMIZACIÓN Y GESTIÓN

Una alternativa para evitar el avance de la intrusión marina en los acuíferos costeros de Marbella-Estepona y Fuengirola, consistiría en la utilización conjunta de las aguas subterráneas con los excedentes superficiales que periódicamente puedan existir, además de la reutilización de las aguas residuales asignadas a la Mancomunidad de la Costa Suroccidental; de forma que dichas aguas puedan aplicarse, bien mediante riego directo bien mediante recarga artificial de los sobrantes en puntas estivales. Lógicamente un sistema de estas características requiere la realización de estudios previos a su ejecución, en los que, mediante modelización, pueda preverse el comportamiento de los acuíferos como respuesta a la recarga inducida.

Respecto a los acuíferos de Vélez-Málaga, ya se está realizando una gestión racional de sus recursos mediante el aporte de aguas superficiales procedentes del embalse de la Viñuela. Este hecho, sumado al abandono de pozos de abastecimiento que se venían explotando históricamente y a la construcción de una serie de diques transversales existentes en el cauce del río Vélez, han favorecido la recarga de los aluviales. Con estas medidas, se ha contrarrestado, en cierta manera, los efectos de la explotación, produciéndose el ascenso de los niveles piezométricos. No obstante, tanto el embalse de la Viñuela como los ríos Vélez y Benamargosa presentan excedentes de agua no regulada que podrían aprovecharse mediante recarga artificial a este conjunto de acuíferos, mejorando la calidad del agua subterránea.