

**ITINERARIO
HIDROGEOLÓGICO
POR EL LITORAL
MEDITERRÁNEO
ANDALUZ**

**LUIS SÁNCHEZ DÍAZ
ANTONIO CASTILLO MARTÍN (eds)**

CAPÍTULO PRIMERO ACUÍFEROS DE MARBELLA-ESTEPOÑA

L.SÁNCHEZ-DÍAZ¹ y A.CASTILLO²

¹Universidad de Granada; ²CSIC y Universidad de Granada



*Figura 11. Mapa de situación del itinerario propuesto.
La foto superior muestra la llanura litoral acuifera que se extiende al
suroeste de Marbella, en dirección a Estepona
(foto cedida por Distribuidora Editorial Costa del Sol, S.A.)*

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

Los acuíferos que aquí se tratan se asientan en la franja litoral, de 40 km de longitud, comprendida entre las localidades de Estepona, al oeste, y Punta Ladrones, al este, en el extremo occidental de la Costa del Sol de Málaga. Dicha franja limita al noroeste con relieves de Sierra Bermeja, al noreste con los de Sierra Blanca y al sur con el mar Mediterráneo.

Los cauces que, desde dichos relieves, atraviesan perpendicularmente el sector son numerosos y de régimen fuertemente irregular; entre ellos destacan, de oeste a este, los ríos Padrón, Castor, Valerín, Guadalmanza, Guadalmina, Guadaiza, Verde y Real.

El sector está atravesado longitudinalmente por la A-7 (CN-340), y en él destacan las poblaciones de Estepona, San Pedro de Alcántara y Marbella (Fig. 11).

INTERÉS HIDROGEOLÓGICO Y SITUACIÓN ACTUAL

Los acuíferos objeto de estudio se localizan en un área de fortísima demanda urbana, en pleno corazón de la Costa del Sol Occidental, donde la población actualmente censada es de 500.000 habitantes, mientras que las puntas estacionales superan 1.400.000 habitantes; además del consumo urbano, el sector se caracteriza por una extraordinaria abundancia de campos de golf, y de zonas residenciales con jardines y piscinas, todo ello de altos consumos de agua. Por ese motivo, las demandas estivales están al límite de los recursos actualmente disponibles, generando problemas puntuales de sobreexplotación, con procesos de intrusión marina. Afortunadamente, la recarga de los acuíferos ante las aportaciones invernales es muy favorable, produciéndose rápidas extrusiones (JAÉN PERAL et al, 2003). La existencia de una desaladora (Marbella), con capacidad para aportar hasta 20 hm³/año, aliviará, a medio plazo, la situación en periodos de escasez de recursos. La reutilización de aguas residuales depuradas en el riego de campos de golf y jardines es otra de las actuaciones que se llevan a cabo en la zona, en la que se emplean actualmente del orden de 3 hm³/año.

El abastecimiento del área, y especialmente de las localidades de Marbella y Estepona, procedía antiguamente de recursos subterráneos, tanto de pozos y sondeos, como de manantiales próximos. No obstante, el incremento de la demanda estival hizo necesaria la regulación de las aguas superficiales, a través de la construcción del embalse de La Concepción, que entró en funcionamiento en el año 1972.

Actualmente, las aguas subterráneas representan entre la cuarta y la quinta parte de la demanda urbana servida, límite para mantener la explotación de los acuíferos de forma sostenible.

SÍNTESIS HIDROGEOLÓGICA

Los materiales acuíferos están integrados por formaciones detríticas pliocuaternarias, las cuales se extienden por la franja litoral entre Marbella y Estepona, ocupando una extensión de 80 km². El Plioceno está integrado por una alternancia de conglomerados, arcillas y arenas; el tramo más productivo es el basal, compuesto por conglomerados, los cuales se encuentran generalmente confinados, entre los 60 y 120 m de profundidad, por niveles arcillosos. El Cuaternario lo integran arenas de playa, conglomerados de pie de monte, así como arenas y gravas aluviales del relleno de los cauces de los ríos Padrón, Castor, Valerín, Guadalmanza, Guadalmina, Guadaiza, Verde y Real (Fig.12).

Los materiales pliocuaternarios recubren a un substrato Paleozoico, perteneciente a los complejos Maláguide y Alpujárride, e integrados, mayoritariamente, por esquistos y filitas de baja permeabilidad. En sectores más aislados, el substrato lo constituyen series flyschoides del Campo de Gibraltar, tales como areniscas, calizas tableadas, conglomerados y arcillas. De forma excepcional, el substrato también está compuesto por rocas ultrabásicas (peridotitas) de permeabilidad muy baja.

Los materiales acuíferos pliocenos y cuaternarios están conectados hidráulicamente entre sí, produciéndose intercambio de flujo en uno u otro sentido dependiendo de la época y de las circunstancias concretas de cada sector (DIPUTACIÓN DE MÁLAGA, 1988). La excesiva longitud de la franja pliocuaternaria (40 km) en relación con la anchura promedio de la misma (2 km) y con su moderado espesor saturado, produce fenómenos de compartimentación hidráulica a efectos de explotación y gestión, razón por la cual se alude a varios sectores acuíferos. Entre ellos habría que mencionar, de oeste a este, el aluvial del Padrón, San Pedro, aluvial del Guadalmina, Aloha-Puerto Banús, aluvial del río Verde, Señorío, y el acuífero de Marbella núcleo y sector oriental.

La alimentación de estos acuíferos se realiza, sobre todo, a partir de la infiltración desde cauces de superficie, lo que supone una aportación comprendida entre 21 y 26 hm³/año; la infiltración de la precipitación supone una partida de 8 a 14 hm³/año; por último, el retorno de regadío es del orden de 4 a 5 hm³/año. Las entradas ocultas se consideran prácticamente despreciables, salvo, quizás, en el borde norte de la población de Marbella, a partir del acuífero carbonatado de Sierra Blanca. Así pues, los recursos estimados son del orden de 33 a 45 hm³/año (DIPUTACIÓN DE MÁLAGA, 1988).

La descarga se realiza fundamentalmente a través de bombeos para satisfacer la demanda urbana (también de zonas verdes y campos de golf), en una cuantía próxima, en la actualidad, a 30 hm³/año, de los que el 60 % procederían de niveles cuaternarios y el resto de materiales pliocenos. El

resto serían salidas ocultas al mar, concentradas en épocas especialmente húmedas. Los materiales acuíferos aluviales son los que presentan mejores rendimientos, debido a su mayor transmisividad y a la disponibilidad de aportes procedentes de la infiltración desde los cauces que los atraviesan.

Así pues, aunque, a nivel de balance, el acuífero presenta cierto equilibrio, incluso con una moderada descarga hacia el mar, la proliferación de captaciones está causando descensos de niveles piezométricos, especialmente preocupantes en explotaciones concentradas junto a la línea de costa, sobre todo si se trata de sectores con escasa recarga (Guadalmina, Guadaiza, Verde y sector oriental de Marbella).

Los piezómetros no influidos por explotaciones presentan oscilaciones estacionales debidas al régimen pluviométrico normal, comprendidas entre 6 y 8 m en los sectores más alejados del mar, e inferiores a 1 m en la franja costera (DIPUTACIÓN DE MÁLAGA, 1988).

La facies hidroquímica predominante es bicarbonatada cálcica o magnésica, en relación directa con la alimentación dominante a través de la infiltración de aguas superficiales procedentes de macizos carbonatados situados al norte. En algunos puntos de la desembocadura de los ríos Verde, Guadaiza y Guadalmina se detectan aguas cloruradas sódicas, en concordancia con los procesos de salinización comentados anteriormente.



Figura 12. Esquema hidrogeológico de los acuíferos de Marbella - Estepona (DIPUTACIÓN DE MÁLAGA, 1988)

PARADA 1. SONDEO DE ABASTECIMIENTO A ESTEPONA

La parada se localiza en la margen derecha del río Padrón, en el pozo denominado Padrón Alto. Para llegar hasta él, hay que tomar la salida de la autovía que hay pasado el puente sobre el río Padrón, en dirección a la "escuela de arte ecuestre". Transcurridos unos 3 km, se toma un carril a mano izquierda que cruza el río, y que a 300 m termina junto al pozo en cuestión.

Según el Servicio Municipal de Aguas de Estepona, del orden del 80-85% de las aguas de abastecimiento proceden del embalse de La Concepción (parada 5), mientras que el resto son aguas subterráneas procedentes

Itinerario propuesto:

- ❖ **Parada 1.** Sondeo de abastecimiento a Estepona de Sierra Bermeja y de captaciones localizadas en los aluviales de los ríos Padrón, Monterroso y Morales
- ❖ **Parada 2.** Desembocadura del río Verde
- ❖ **Parada 3.** Planta desaladora de la Costa del Sol Occidental (Marbella)
- ❖ **Parada 4.** Recarga ptuición que el acuífero de Marbella localizada en el aluvial del río Padrón, y es una de las más importantes en el abastecimiento a Estepona. Consta de un pozo colector situado en la margen derecha del río, conectado con una galería trans-

Otras paradas:

- ❖ **Parada 5.** Embalse de La Concepción longitud de 38,5 m, y, esta a su vez, con dos galerías longitudinales, de 25 m cada una. En los meses de verano funciona de forma intermitente, en función del menor caudal circulante por el aluvial, mientras que el resto del año lo hace de forma continua.

PARADA 2. DESEMBOCADURA DEL RÍO VERDE

La parada se sitúa en la margen derecha del río Verde de Marbella, en su desembocadura, junto al Hotel Meliá Marbella.

En dicha zona se ha formado un pequeño estuario, debido a que en condiciones normales el nivel piezométrico llega a alcanzar la superficie topográfica a unos 500 m de la línea de costa. Se trata de una zona de mezcla de agua de mar y dulce que se produce durante las mareas y se acentúa con los temporales. El agua de este estuario presenta conductividades comprendidas entre 10.000 y 30.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En la proximidad de esta parada se encuentra el edificio de bombeo de agua de mar de la desaladora de Marbella (parada 3), así como los primitivos sondeos con los que se intentó dotar de caudal a la planta, hoy abandonados.

Tradicionalmente, el aluvial del río Verde se ha venido explotando de forma sistemática en función de la demanda. Durante la sequía acaecida entre 1992-95, la escasez de agua en el embalse de La Concepción obligó a mantener los bombeos a fin de garantizar el suministro de agua para la población, lo que originó graves procesos de intrusión marina.

A partir del año 1997, la empresa concesionaria del Servicio Municipal de Aguas de Marbella (AQUAGEST SUR, S.A.) adoptó un modelo de explotación más racional, basado en criterios hidrogeológicos, gracias a los cuales se ha conseguido incrementar el volumen de recursos extraídos sin inducir procesos de salinización.

La modulación constante de los caudales de bombeo en función de las posibilidades del acuífero (a través de controles de nivel y de conductividad) ha resultado ser un método eficaz contra la intrusión marina, garantizando la sostenibilidad de la explotación. En el momento que se produce un aumento significativo de la conductividad eléctrica y/o los niveles caen hasta 1 m por encima del nivel del mar, se procede a la reducción del volumen de extracción hasta la incorporación de nuevos aportes al acuífero.

La respuesta del acuífero a este sistema de explotación ha sido muy favorable. Como ejemplo, baste señalar que la explotación en el año 2002 ha llegado a superar en un 50% los volúmenes captados en 1998, aún cuando la pluviometría fue inferior en un 45%. La conductividad del agua bombeada se mantuvo entre 600 y 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig 13).

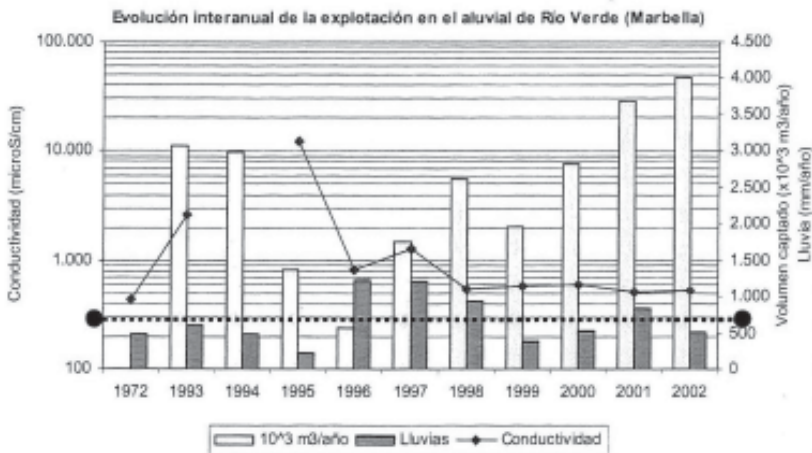


Figura 13. Evolución interanual de la explotación y de la conductividad en el aluvial del río Verde, junto al régimen de lluvias



Captación de abastecimiento a Estepona (pozo Padrán Alto). En el cauce del río puede observarse parte de la galería transversal de captación y la escollera de retención de aguas (parada 1)



Desembocadura del río Verde de Marbella (parada 2)

PARADA 3. PLANTA DESALADORA DE LA COSTA DEL SOL OCCIDENTAL (MARBELLA)



Vista general del interior de la planta desaladora

Para acceder a la planta desaladora es necesario tomar el desvío de la A-7 (CN-340) indicado como "Istán y Nagüeles". La planta se encuentra en la margen izquierda del río Verde, muy cerca del citado cruce. Para visitarla se deberá contactar previamente con la empresa responsable (ACOSOL, S.A).

La planta desaladora tiene como área de influencia la Costa del Sol Occidental, desde las poblaciones de Torremolinos hasta Manilva. Se trata de una de las mayores plantas construidas para abastecimiento urbano en Europa. Al respecto, nuestro país ocupa el quinto lugar del mundo en cuanto a número de plantas en funcionamiento y el octavo por volumen de producción de agua desalada.

La desaladora se construyó para garantizar el suministro urbano en época de sequía, tras las restricciones sufridas entre los años 1992-95. No obstante, el rápido aumento de la población es muy probable que, a falta de nuevos recursos, sitúe a esta planta como un elemento rutinario más de la red de distribución de recursos del sistema del embalse de La Concepción, sobre todo en los meses estivales.

El agua que se utiliza para la desalación se toma directamente del mar a través de una torreta de captación sumergida a 10 m de profundidad y situada a 500 m de la línea de costa. En un principio, se planificó una batería de sondeos en el aluvial del río Verde, junto a la desembocadura; con ello se pretendía captar agua sin turbidez, de mejor calidad para la



Figura 14. Proceso de desalación seguido en la planta de Marbella (parada 3), (esquema cedido por ACOSOL, S.A.). (A) Sala de bombeo de agua de mar. (4 bombas con capacidad para impulsar 500 l/s cada una). (B) Filtros de arena. (C) Bastidores de membranas y (D) Tanque de agua desalada, lista para su envío a la ETAP

desalación, pero los caudales bombeados fueron insuficientes, posiblemente por un mal diseño y/o ejecución de la citada batería de sondeos.

El agua de mar llega por gravedad al edificio y sala de bombeo (Fig.14A), junto a la desembocadura del río Verde, en donde se eleva a la desaladora,

situada a 2,5 km de distancia; allí se efectúa una filtración en tanques de arena (Fig.14B) y se bombea a alta presión (70 kg/cm^2) para efectuar una nueva y definitiva filtración por ósmosis inversa, a través de una serie de elementos separadores, denominados "membranas orgánicas semipermeables" (Fig. 14C).

La planta desaladora está diseñada para producir $56.400 \text{ m}^3/\text{día}$ de agua dulce, lo que supone la aportación de unos recursos del orden de $20 \text{ hm}^3/\text{año}$, con un contenido en sales inferior a $0,4 \text{ g/l}$. El agua se incorpora a la ETAP para su tratamiento y distribución en red a los municipios de la mancomunidad de la Costa del Sol Occidental. El coste estimado del agua producida es de $0,40$ a $0,60 \text{ i/m}^3$ (según información facilitada por ACOSOL, S.A.).

PARADA 4. RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO DE MARBELLA

En el acuífero del Señorío (Marbella), se realizan, desde el año 2000, actuaciones de recarga artificial por parte de la empresa AQUAGEST SUR, S.A; para ello, se aprovechan los excedentes invernales del manantial de Camoján, un aliviadero natural de Sierra Blanca situado a mayor cota (tipo trop plein) que el manantial principal, el de Nagüeles (ANDREO, 1997). El objeto de esta actuación es aumentar la regulación del sistema, incrementando así los recursos disponibles.

El acceso al azud de Camoján, donde se realiza la toma de agua que se inyecta en el acuífero, es relativamente compleja, por lo que es conveniente seguir el siguiente itinerario; situados en la avenida de Ricardo Soriano en sentido San Pedro de Alcántara, llegaremos a la plaza Monseñor Rodrigo Bocanegra, al final de la cual giraremos a la derecha tomando la calle Don Jaime del Moral y Aragón, cruzando la autovía y siguiendo en dirección a Sierra Blanca. Transcurrido un kilómetro desde el cruce con la autovía alcanzaremos la urbanización Cascada de Camoján, para girar a la derecha tomando la avenida de la Cascada hasta el cruce con la calle 3 a unos 300 metros; de nuevo giramos a la derecha y recorriendo dicha calle llegaremos al arroyo Camoján. Desde este punto, bajaremos por la margen izquierda, encontrando el azud a unos 280 m de distancia.

Desde antiguo se ha intentado regular el borde meridional del acuífero kárstico de Sierra Blanca para el abastecimiento de Marbella y su zona de influencia. Sin embargo, el manantial de Nagüeles, su principal punto de drenaje en ese borde, muestra un comportamiento propio de sistemas con escaso poder de regulación, indicativo de una karstificación funcional alta (ANDREO, 1997), con puntas de caudal de hasta 1.100 l/s y fuertes y rápidas decrecidas estivales; lo mismo le ocurre al manantial de Camoján (de 0 a 300 l/s). Este comportamiento, y el escaso rendimiento obtenido en

sondeos situados en dicho borde, influyó en la decisión de recargar los excedentes, como mejor medio de regulación de los recursos drenados por ese borde de Sierra Blanca.

Aguas abajo del manantial, en el arroyo del mismo nombre, se encuentran las obras de captación y conducción del agua hasta los sondeos de inyección (primitivamente de bombeo), siguiendo el itinerario antes comentado. Se trata de una pequeña toma en el propio cauce, que permite la laminación de la corriente, con toma de fondo y válvula para regular caudales. Desde ahí, el agua discurre por gravedad a través de una tubería de 4 km de longitud hasta conectar con los sondeos de inyección. En estos se han mantenido las bombas para facilitar su limpieza; junto a la columna de impulsión se instalaron sendas tuberías de inyección de 90 - 100 mm de diámetro, con extremo en la zona saturada. En superficie se instaló un sistema de válvulas para permitir la inyección de agua y el vertido a un arroyo próximo de las aguas de limpieza. El equipamiento del sistema se completó con contadores y tubos piezométricos en los pozos de inyección, más dos piezómetros de seguimiento situados en las proximidades. Las instalaciones están diseñadas para admitir caudales punta de hasta 100 l/s, aunque en principio, los caudales de inyección no superan los 80 l/s. En la figura 15 se expone un corte hidrogeológico esquemático del sector y de la recarga artificial comentada.

Como se ha comentado, el manantial de Camoján responde muy rápidamente a los impulsos pluviométricos, con decrecidas igualmente veloces. Por esta razón, la recarga se activa sólo en los periodos de crecidas (dos o tres al año), y una vez transcurridos 2 ó 3 días, para aminorar los arrastres arenosos que podrían provocar colmataciones. El caudal de entrada se regula a las condiciones de funcionamiento (nivel a boca de sondeo y presión de 7 a 8 kg/cm²), y suele oscilar entre 15 y 40 l/s. Una vez concluida la recarga, se procede a la limpieza de los sondeos de inyección, bombeando desde ellos hasta que el agua sale sin turbidez.

A pesar de que la recarga tiene efectos muy localizados en el sector de actuación, los resultados obtenidos han permitido la recuperación de niveles hasta cotas históricas, manteniendo controlada la interfase marina en el sector costero y permitiendo el bombeo de los caudales inyectados (Fig. 13).

Los bombeos se realizan desde una batería de sondeos situados aguas arriba de la recarga (realizados en el año 1995, en plena sequía). Los resultados obtenidos desde el año 2000 pueden considerarse muy satisfactorios; el caudal medio inyectado ha sido de 0,17 a 0,25 hm³/año (JAÉN PERAL et al, 2003), lo que corresponde aproximadamente a un 10 % de los recursos del acuífero del Señorío. El sobrecoste que suponen las labores de mantenimiento del sistema ascienden a 0,03 €/m³, cantidad muy moderada al haberse aprovechado instalaciones de bombeo preexistentes (reacondicionadas en parte para la inyección).

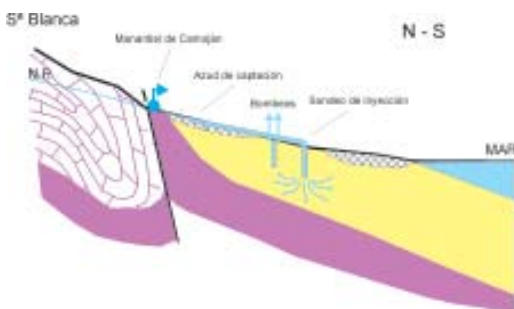


Figura 15. En la parte superior, toma de agua en el arroyo de Camoján para recarga artificial del acuífero del Señorío (Marbella) (parada 4); en la inferior, manantial de Camoján en crecida (foto cortesía de Bartolomé Andreo Navarro) y corte hidrogeológico esquemático del sector acuífero del Señorío (Marbella) y de la recarga artificial comentada (litologías en Fig.12).

PARADA 5. EMBALSE DE LA CONCEPCIÓN

El embalse de La Concepción, en el río Verde, se encuentra unos 4 km al norte de Marbella, por la carretera que va a la localidad de Istán. Para visitar la zona de presa, desde este acceso, es necesario autorización del Organismo de Cuenca, ya que esta se encuentra cerrada al público.

El embalse regula las aguas del río Verde y, mediante azudes y derivaciones, parte de los ríos Guadalmina, Guadaiza y Almanza, situados al oeste (Fig.16). La capacidad de regulación del embalse es de 57 hm³/año; volumen que en años normales es suficiente para garantizar el suministro urbano de su zona de influencia. Concretamente, el embalse surte aproximadamente el 80 % de la demanda de la mancomunidad de municipios de la Costa del Sol Occidental, compuesta por: Benahavís, Benalmádena, Casares, Estepona, Fuengirola, Istán, Manilva, Marbella, Mijas, Ojén y Torremolinos.

Desde la presa se transporta el agua a la estación de tratamiento de agua potable de la mancomunidad (ETAP), de la que parten dos ramales de tubería a lo largo de la costa, uno por el este, hasta Torremolinos, y el otro por el oeste hasta el límite del término municipal de Manilva (Fig. 16).



Figura.16. En la parte superior, embalse de La Concepción (parada 5) y en la inferior, estado actual de la infraestructura de abastecimiento de la Costa del Sol Occidental (facilitada por ACOSOL S.A.)