

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO
DE LA CUENCA DE FUENTE DE PIEDRA

RESUMEN, CONCLUSIONES
Y RECOMENDACIONES GENERALES

Empresa colaboradora: EMPRESA NACIONAL ADARÓ DE
INVESTIGACIONES MINERAS S.A.

Málaga, Noviembre de 1.984

1.- INTRODUCCION

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) con la colaboración de la Empresa Nacional ADARO de Investigaciones Mineras S.A. ha realizado el estudio hidrogeológico de la cuenca de Fuente de Piedra en relación con el problema ecológico planteado en su laguna, la cual durante los últimos años ha sufrido desecaciones que ponen en peligro la colonia de aves existente en ella.

El estudio se inició en 1983 dentro del marco de colaboración existente entre el IGME y el ICONA, habiéndose continuado posteriormente en el ámbito del convenio de asistencia técnica suscrito por el IGME y la Junta de Andalucía que se llevó a cabo en 1984, durante la realización de este estudio.

El interés de la investigación radica en la estrecha relación que existe entre la laguna de Fuente de Piedra y los acuíferos que ocupan la cuenca endorreica de este mismo nombre y por ser dicha laguna una de las zonas húmedas más importan-

tes de España desde el punto de vista biológico, ya que constituye el hábitat de una importante colonia de flamencos que inverna y se reproduce en ella regularmente, si la existencia de agua lo permite.

La ley 1/1984 aprobada por el Parlamento Andaluz el 9 de enero de este año, declaró la laguna de Fuente de Piedra como reserva integral, estableciéndose la necesidad de conocer los aspectos relacionados con la cantidad o calidad de las aguas subterráneas o superficiales aportadas a dicha reserva integral. Este estudio trata de establecer -al menos de modo preliminar- dichos aspectos, mediante los objetivos propuestos en él, que se pueden sintetizar en los siguientes puntos:

- Definición de los acuíferos presentes en la zona, estableciendo su geometría, funcionamiento hidrogeológico y características hidráulicas y piezométricas.
- Estudio climatológico e hidrológico detallado de la zona.
- Inventario de captaciones y de las explotaciones de aguas subterráneas existentes.
- Determinación de la calidad de las aguas subterráneas y sus variaciones.
- Establecimiento del balance hídrico de la cuenca y la laguna.
- Proposición y análisis de alternativas para incrementar los recursos hídricos con destino a la laguna.

2.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LA CUENCA

La laguna de Fuente de Piedra se sitúa al norte de la provincia de Málaga. Sus aguas tienen carácter salino y pre-

senta una extensión de 13 Km², constituyendo el nivel de base y el desagüe natural de una cuenca endorreica de 153,5 Km², localizada en la divisoria atlántico-mediterránea.

La pluviometría anual media de la zona, para el periodo 1948-1982, es de unos 453 mm siendo diciembre y febrero los meses más lluviosos; en ellos la precipitación oscila entre 60 y 70 mm; por el contrario el mes más seco es julio con valores medios siempre inferiores a 5 mm, seguido de agosto con 5-6 mm.

La temperatura media anual, para el periodo 1951-1982, es de 16,6°C, con valores anuales que oscilan entre 12,7°C y 18,9°C. El mes más frío es enero con 9°C, seguido de diciembre (9,3°C) y febrero (10,1°C); el más caluroso es agosto con 26,1°C seguido de julio (25,7°C) y septiembre (22,6°C).

El valor anual medio de la Evapotranspiración potencial (según Thornthwaite) es de 820 mm. Los meses de julio y agosto son los que presentan mayor índice de ETP seguidos del de junio; los valores acumulados de estos tres meses representan prácticamente el 50% del total anual.

Los valores medios de Evapotranspiración real, calculados por el método del mismo autor, están comprendidos entre un mínimo de 263 mm (para una reserva útil de 25 mm) y un máximo de 332 mm (para una reserva útil de 100 mm). La ETR representa en general entre un 30 y un 40% de la ETP a causa de la falta de disponibilidad de agua en los meses de estiaje.

La lluvia útil oscila entre mínimos alrededor de los 125 mm (para reserva útil de 100 mm) y máximos del orden de 200 mm (para reserva útil de 25 mm). Estas cifras representan por término medio entre el 28 y el 43% respectivamente de la precipitación total.

La tasa media de evaporación del periodo 1962-1982 es de 1310 mm/año oscilando entre un mínimo de 1166 mm y un máximo de 1620 mm. La variación a lo largo del año es importante,

oscilando entre unos 40 mm en los meses de diciembre y enero y algo más de 200 mm en los de julio y agosto. Sin embargo estos valores, obtenidos por aplicación de la fórmula de Penman, al establecer los balances hídricos mensuales de la laguna, han debido ser incrementados de forma sistemática en un 25% para que dichos balances ajusten.

Los cursos de agua existentes en la cuenca son de régimen irregular. La ausencia de estaciones de aforo en ellos impide conocer con exactitud los parámetros característicos de la hidrología de superficie; para poder disponer de estos datos en el futuro, se han programado y construido dos estaciones en los arroyos de Santillán y Humilladero y otra fuera de la cuenca, en el Arroyo de Las Tinajas, tributario del Guadalhorce, tras haber estudiado las características de estas cuencas vertientes.

3.- MARCO GEOLOGICO E HIDROGEOLOGICO

Desde el punto de vista geológico la cuenca de Fuente de Piedra se asienta sobre la zona Subbética. El substrato de la misma lo constituye el Trías, de carácter arcilloso-evaporítico. Una serie de relieves aislados (sierras de Humilladero, La Camorra y Los Caballos), constituidos por materiales fundamentalmente carbonatados de edad jurásica son los restos que quedan de la cobertera mesozoica que ha desaparecido en su mayor parte. Tectónicamente, tanto el Trías como el resto de la cobertera mesozoica, corresponden a mantos de corrimiento que han sufrido un importante desplazamiento desde regiones más meridionales, lo que ha condicionado la caótica disposición actual de sus materiales.

La mayor parte de la cuenca está ocupada por formaciones postorogénicas de edad Mioceno-Cuaternario que reposan discordantes y horizontalmente sobre el substrato mesozoico. Se trata en su mayoría de materiales detríticos, fundamentalmente molasas, que pueden alcanzar un espesor cercano al centenar de metros.

El carácter geomorfológico mas significativo de esta zona es su endorreísmo, fenómeno posiblemente relacionado con procesos karsticos que tienen lugar en el substrato triásico al disolverse los materiales evaporíticos -sal y yeso- que contiene.

Las formaciones carbonatadas jurásicas, las molasas -miocenas y los rellenos cuaternarios son materiales permeables que constituyen acuíferos y se hallan hidráulicamente conectados, formando un único conjunto que puede considerarse como un sistema hidrogeológico, aislado del resto de los que existen en la región y cuyos límites coinciden con bastante aproximación con los límites de la cuenca endorreica de Fuente de Piedra. El Trías, a nivel regional constituye el substrato impermeable del sistema, aunque localmente y a causa de los procesos karsticos antes mencionados, puede comportarse como permeable.

4.- PIEZOMETRIA

Los planos de isopiezas correspondientes a 1973, junio de 1983 -época de explotaciones intensas tras una prolongada sequía- y a mayo de 1984 -época de máxima recarga, después de 8 ó 9 meses sin explotaciones- muestran una serie de rasgos generales y comunes que permiten establecer la morfología de la superficie piezométrica y el funcionamiento del sistema. A partir de ellos se pone de manifiesto que la circulación subterránea en este conjunto de acuíferos, tiene lugar desde los límites del sistema -es decir las áreas de las divisorias- hacia el centro de la cuenca, donde la laguna constituye el nivel de base del sistema, produciéndose en ella la descarga de los acuíferos. La intensa evaporación que tiene lugar en la laguna durante la mayor parte del año favorece un continuo flujo subterráneo hacia ella.

Por otra parte la comparación de estos planos de diferentes épocas ponen de manifiesto, especialmente, la existen-

cia de dos áreas que presentan diferencias estacionales desde el punto de vista de la piezometría; son las que se sitúan al norte de Fuente de Piedra y al norte de Humilladero respectivamente, coincidiendo con las zonas de concentración de explotaciones.

En la zona de Fuente de Piedra, el nivel del acuífero llega a situarse por debajo del de la laguna al final de la época de estiaje y de intensa explotación, existiendo un evidente peligro de salinización del acuífero en este momento; sin embargo, tras un periodo de lluvias y al interrumpirse las extracciones, el acuífero, que se halla muy bien alimentado en esta zona por tratarse del área piezométricamente más baja, tiende a recuperar su estado natural.

En la zona de Humilladero, las variaciones estacionales no son muy importantes y no parece existir por el momento el peligro de salinización que amenaza estacionalmente al sector norte de Fuente de Piedra. Por el contrario, se está produciendo un descenso lento pero progresivo que, en el futuro puede poner en peligro de inutilización numerosos pozos de la zona en los que el nivel podría descender hasta dejarlos secos.

Las medidas de nivel que viene realizando el IGME con regularidad desde 1979, complementadas con otras de los años 1974 y 1975, permiten observar la evolución piezométrica del sistema en los últimos años y muestran que, en el área del acuífero donde se concentran las explotaciones, existe una tendencia al descenso general en los diez últimos años; sin embargo, se pueden diferenciar dos zonas de acuerdo con la evolución piezométrica que presentan:

Por una parte, en la zona situada al norte de Fuente de Piedra, tras periodos húmedos el acuífero manifiesta una rápida respuesta con tendencia a la recuperación que sólo deja de producirse en la proximidad inmediata de las fuertes y continuas explotaciones. Por el contrario la zona situada al norte de Humilladero responde con mucha mayor dificultad a -

esos mismos periodos de precipitaciones más intensas que - prácticamente sólo suponen una ligera interrupción de un - generalizado proceso de descenso; también la magnitud de los descensos acumulados desde 1974 es mucho más importante en - la zona de Humilladero.

5.- EXPLOTACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

El inventario de puntos de agua y explotaciones reali- zado en 1983 permite establecer que el número total de capta- ciones existentes en la cuenca de Fuente de Piedra es de 408, distribuidas, por términos municipales, del siguiente modo:

Fuente de Piedra.....	265 puntos
Humilladero.....	84 puntos
Mollina.....	42 puntos
Sierra de Yeguas.....	17 puntos

La mayor parte de las captaciones que actualmente son utilizadas se concentran en un área de 28 Km² situada al NE - de la laguna.

El volumen total de extracciones en 1983 fue de 3 Hm³, habiendo disminuido desde 1974 que se estimó en unos 7 Hm³.

A lo largo de los últimos nueve años la superficie re- gada en la cuenca ha experimentado un incremento del 5% aunque la naturaleza de los cultivos ha cambiado substancialmente, - pasando a otros que precisan una menor dotación de agua o que incluso pueden prescindir de ella aunque el rendimiento de la cosecha disminuya.

Las dotaciones medias de riego, calculadas a partir de las cifras de explotación y superficies regadas obtenidas en nuestras encuestas eran de unos 7100 m³/ha en 1974 habiendo - pasado a 2865 m³/ha en 1983.

6.- CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS ACUIFEROS

Los bombeos de ensayo han puesto de manifiesto valores de trasmisividad excepcionalmente altos en los acuíferos carbonatados de las sierras de La Camorra y Humilladero confirmando su carácter kárstico. En el Mioceno las trasmisividades están comprendidas entre 2 y 80 m²/h habiéndose considerado entre 5 y 35 m²/h, los valores medios representativos del área próxima a la laguna.

El único coeficiente de almacenamiento calculado con garantías muestra un valor de $1,3 \times 10^{-2}$. La porosidad eficaz, calculada a partir de la desaturación producida entre 1973 y 1984, muestra valores entre 3,8 y 5,1%.

7.- CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Las aguas subterráneas de la cuenca se hallan en general bastante mineralizadas. Se observa que las mayores concentraciones de todos los iones significativos se localizan en la zona de la laguna y su prolongación nororiental, coincidiendo a grandes rasgos con los afloramientos triásicos más extensos de la cuenca. Las concentraciones más bajas, por el contrario, se presentan al este de Fuente de Piedra, en la depresión existente entre las sierras de La Camorra y Humilladero, ocupada por un extenso afloramiento de materiales miocenos. Otros sectores con concentraciones iónicas bajas, coinciden también en general con los sectores marginales de la cuenca, en las proximidades de su divisoria.

Parece ser que existe una cierta relación entre las altas concentraciones iónicas y la profundidad de las captaciones, habiéndose observado en algunas de ellas un incremento de la salinidad al ser profundizadas, por lo que no parece recomendable la realización de perforaciones de excesiva profundidad.

Este hecho podría ser debido a la diferenciación dentro del mismo acuífero de dos zonas: una profunda, localizada en la inmediata proximidad del substrato triásico en contacto con el cual el agua circula y se va cargando en sales progresivamente, y otra superficial más influida por el agua de infiltración de las precipitaciones. La separación se mantendría (favorecida por la diferencia de densidad) por un fenómeno similar al que ocurre en los acuíferos costeros.

No debe descartarse sin embargo la hipótesis de una circulación profunda localizada íntegramente en el Triás a través de una red karstica excavada en sus materiales evaporíticos. El pozo de la laguna, cuya agua presenta concentraciones iónicas muy superiores a las del resto, podría alcanzar alguno de estos conductos.

Al parecer, durante el último periodo se está produciendo un progresivo deterioro de la calidad de las aguas subterráneas de la zona por lo que es recomendable continuar el control sistemático y periódico que ahora se ha iniciado.

8.- BALANCES HIDRICOS DE LA CUENCA Y DE LA LAGUNA

Los recursos hídricos totales de la cuenca de Fuente de Piedra para un periodo medio (1962-1982) se han evaluado comprendidos entre 18 y 22 Hm^3/a . De esta cifra, aproximadamente dos tercios se infiltran en los acuíferos, estimándose por tanto, en unos 13 Hm^3/a los recursos subterráneos de la cuenca; el tercio restante correspondería a escorrentía superficial (unos 6 Hm^3/a). A estas cifras hay que añadir otros 6 Hm^3/a de precipitaciones directas sobre la laguna.

Debe insistirse en que estos valores corresponden a un año medio obtenido de un periodo de 20 años (1962-1982) que se considera representativo y que en años reales se presentan variaciones muy substanciales.

Frente a estas cifras, cabe recordar que las extracciones por bombeo, durante el año 1983, fueron de 3 Hm^3 .

La capacidad de almacenamiento del acuífero es notable (con unas reservas totales de agua comprendidas entre 100 y 160 Hm^3) respondiendo a la infiltración de lluvias y a los bombeos con importantes variaciones piezométricas. Por el contrario la difusividad del acuífero es baja, de forma que el flujo subterráneo de salida hacia la laguna varía entre unos límites más estrechos, con una gran inercia. De manera orientativa, para condiciones medias, y con extracciones de 3 Hm^3 por año, el flujo subterráneo se ha estimado en unos 10 Hm^3 por año.

En definitiva, la laguna, salida natural del sistema, se recarga por la precipitación directa sobre la misma, por la aportación de la escorrentía superficial de la cuenca vertiente a ella y por el flujo subterráneo procedente del acuífero, siendo su única descarga la evaporación. En general, las aportaciones superan la evaporación potencial entre los meses de noviembre y marzo; por el contrario prevalece la evaporación potencial ($1,1$ a $3,8 \text{ Hm}^3/\text{mes}$) sobre las aportaciones (frecuentemente solo flujo subterráneo) entre los meses de abril y octubre. La posibilidad de tener agua en la laguna durante el estiaje depende, por tanto, de la existencia de excedentes en la estación húmeda.

El almacenamiento de agua en la laguna en el periodo 1962-1982 se ha estimado en una media de 9 Hm^3 , distinguiéndose el periodo 1962-1971 con un volumen medio de 18 Hm^3 , sin secarse la laguna en los estiajes, y el periodo 1972-1982 con un almacenamiento medio de 2 Hm^3 y frecuentes agotamientos de la laguna en los estiajes. En el periodo de 20 años entre 1962 y 1982, (bastante representativo en cuanto a precipitaciones) se estima que la laguna se secó el 21% de los meses.

Se puede establecer, en definitiva, que la desecación

de la laguna en los estiajes del periodo 1972-1982 se debió - principalmente a causas climáticas y se trata por tanto de un fenómeno que se presenta cíclicamente.

En lo que se refiere a la incidencia de las extracciones por bombeo sobre los aportes hídricos a la laguna, a título orientativo puede indicarse que una disminución o aumento de $2,4 \text{ Hm}^3$ en los bombeos de cada uno de los años del periodo 1962-1982. habría dado lugar a que, de un número de meses sin agua en la laguna del 21%, se pasase alternativamente a cifras del 11% o del 29% respectivamente.

Finalmente y en relación con los balances hídricos de la cuenca y la laguna, cabe indicar que se ha alcanzado un buen conocimiento cualitativo del comportamiento de la cuenca de Fuente de Piedra; por el contrario las estimaciones cuantitativas hay que tomarlas de forma más orientativa, debido a la inexistencia de datos de medida directa disponibles, periodos de observación insuficientes o escasa densidad de datos (evaporación, extracción por bombeo, control piezométrico, parámetros hidráulicos del acuífero), por lo que ha sido preciso realizar asunciones o extrapolaciones. Sin embargo, en favor de la bondad de las estimaciones, hay que señalar que los balances mensuales de la laguna realizados para el periodo 1962-1982 se ajustan bastante bien a los datos históricos que ha sido posible obtener en relación con la presencia o ausencia de la colonia de aves en ella, a excepción de los últimos años en que, a pesar de existir meses con balance negativo, la colonia ha permanecido en la laguna gracias a la actuación del ICONA que introdujo eficaces medidas correctoras.

9.- ALTERNATIVAS PARA EVITAR O PALIAR LA DESECACION DE LA LAGUNA

Tras el análisis detallado de las diversas alternativas que se presentan para solucionar o paliar la eventual desecación de la laguna, no parece conveniente recomendar el -

aporte continuo de agua a la misma tanto si ésta procede de una cuenca ajena a la de Fuente de Piedra como si lo es de la propia cuenca. El aumento de la superficie inundada incrementaría la evaporación y, en definitiva, provocaría una pérdida de recursos adicional a la que se produce actualmente.

En cualquier caso debe evitarse el aporte continuo de aguas de elevada salinidad que puede perjudicar a la calidad del acuífero relacionado con la laguna, al provocar una inversión del flujo subterráneo hacia el acuífero durante los estiajes.

Las medidas que parecen más recomendables son aquellas que permiten aportar, con un costo no demasiado elevado, pequeños caudales que pueden paliar las emergencias que se producen ocasionalmente como consecuencia de sequías prolongadas. De acuerdo con este punto de vista sería recomendable el acondicionamiento e instalación de los pozos existentes en el interior de la laguna y la construcción de otros (o la adquisición de alguno de los ya perforados) en los sectores cercanos a la misma, procurando evitar que se sitúen en las áreas de concentración de explotaciones.

No es recomendable captar agua de los acuíferos carbonatados de las sierras de Molina y Humilladero para ser vertida en la laguna, ya que estos acuíferos proporcionan el agua de mejor calidad de la cuenca, que debe reservarse para satisfacer las demandas urbanas actuales y futuras de la zona.

En lo que respecta al posible aporte de aguas superficiales de cuencas cercanas a Fuente de Piedra, la solución más recomendable es la construcción de un dispositivo que permita trasvasar aguas procedentes del arroyo de las Tinajas situado a menos de un kilómetro de la laguna. Previamente deberá estudiarse detalladamente el régimen hidrológico y

las aportaciones del mismo a partir de los datos que proporcione la estación de aforos construida. Si resulta posible - el acondicionamiento del túnel existente, ésta sería una solución sin duda eficaz y barata. Otras alternativas de traspase desde lugares más alejados de la cuenca del Guadalhorce deben estudiarse previamente con más detalle dado su coste elevado.

Las soluciones expuestas como más recomendables para aportar agua subterránea a la laguna, es evidente que no se excluyen entre sí; por el contrario sería conveniente abordarlas de modo simultáneo lo que evitaría la concentración espacial de las extracciones, sin duda perjudicial para el acuífero.

Estas medidas son también compatibles y, si es posible, deben simultanearse con excavaciones periódicas en el vaso de la laguna para mantener las irregularidades del fondo de la misma, que progresivamente se va homogeneizando.

Finalmente hay que señalar que cualquier alternativa que se aborde debe ir acompañada de la elaboración de un marco legal en el que se contemple la totalidad de la cuenca, dada la relación hidrogeológica existente entre ésta y la laguna y que la normativa que se establezca tenga en cuenta no sólo la conservación de la propia laguna sino también la de los acuíferos con ella relacionados.

10.- PROPOSICION DE ACCIONES FUTURAS Y TRABAJOS COMPLEMENTARIOS

Como epílogo a este resumen es preciso indicar la conveniencia de continuar los estudios hidrogeológicos de la cuenca de Fuente de Piedra con un mayor detalle, con vistas a definir el techo de la extracción por bombeo, tratando de hacer compatibles los actuales usos del agua, con el mantenimiento del agua en la laguna y reduciendo en lo posible las pérdidas por evaporación. Se plantea un estudio de la viabilidad de regular, mediante bombeos, el flujo de agua -

. subterránea a la laguna con dos posibles esquemas:

- 1) Definir unos emplazamientos y esquema de bombeo, de forma que la afección en el flujo subterráneo a la laguna tenga la menor incidencia sobre el almacenamiento de agua en la misma.
- 2) Definir un esquema de bombeo reduciendo el flujo subterráneo a la laguna, de forma que en épocas lluviosas el nivel de la laguna se mantenga sólo con las aportaciones de lluvias y aguas superficiales, y en periodos o estaciones más secas, se complemente con bombeos de aguas subterráneas.

Para desarrollar este planteamiento y en cualquier caso para avanzar en el conocimiento del entorno hidrogeológico de la laguna, se recomienda la realización de las operaciones siguientes:

- Control diario de la evaporación de la laguna.
- Control diario de la escorrentía superficial a la laguna.
- Control diario del nivel de la laguna.
- Control mensual de los volúmenes de extracción por bombeo en el acuífero.
- Ampliación de la red de control piezométrico, y realización de medidas mensuales, particularmente en las áreas que circundan la laguna, en las zonas de explotación, y en las de recarga del acuífero.
- Registro continuo de variaciones de piezometría en algunos puntos significativos.
- Mejora del conocimiento hidrogeológico del acuífero, en particular de sus parámetros hidráulicos: transmisividad y su distribución, así como porosidad eficaz.
- Control estacional de las calidades del agua bombeada, particularmente en los pozos cercanos a la laguna, y en los pozos con la base cercana a la formación triásica.
- confección de un modelo matemático de la cuenca, que simule los distintos elementos hidrológicos de la misma y sus relaciones internas. Ajuste del modelo, simulación de alternativas y estudio de viabilidad.

Conviene que los controles hidrogeológicos sean -
realizados durante varios años ya que la calidad del ajus
te del modelo está en estrecha relación con la duración
del periodo de observación.

Finalmente hay que insistir en la necesidad de po-
der disponer de un marco legal adecuado que permita el con
trol y gestión de los recursos de toda la cuenca para tra-
tar de corregir cualquier abuso que se presente.