

Documentos extraídos de la documentación realizada por la empresa CGS sobre un análisis del acuífero Alborón - Ancín en 1997

El análisis incluyó:

- Análisis de la geología y geofísica de la zona
- Análisis de la climatología y la hidrología de la zona
- Análisis piezométricos de los pozos de Valdega
- Toma de aforos
- Realización de sondeos
- Ensayos de bombeo (realizados en octubre de 1997)
- Modelización matemática y simulación de bombeos

Los documentos extraídos son:

Plano de situación de los puntos de bombeo, y piezómetros y aforos de control. Página 169 de la Memoria = Página 45 del documento "MEMORIA TOMO II.pdf".

Efecto de los ensayos de bombeo en los piezómetros. Páginas 189 y 190 de la Memoria = Páginas 65 y 66 del documento "MEMORIA TOMO II.pdf".

Efecto de los ensayos de bombeo en el río Ega. Páginas 198 y 201 de la Memoria = Páginas 74 a 77 del documento "MEMORIA TOMO II.pdf".

Conclusiones de los ensayos de bombeo. Páginas 204 y 205 de la Memoria = Páginas 80 y 81 del documento "MEMORIA TOMO II.pdf".

Conclusiones de la modelización matemática de la simulación del impacto de los bombeos. Páginas 218 a 220 de la Memoria = Páginas 94 a 96 del documento "MEMORIA TOMO II.pdf".

Conclusión de las relaciones entre el acuífero Alborón - Ancín y el río Ega. Páginas 245 y 246 de la Memoria = Páginas 121 y 122 del documento "MEMORIA TOMO II.pdf".

Recomendaciones de explotación del estudio. Páginas 261 y 262 de la Memoria = Páginas 136 y 137 del documento "MEMORIA TOMO II.pdf".

Conclusiones del estudio. Páginas 263 a 268 de la Memoria = Páginas 138 a 143 del documento "MEMORIA TOMO II.pdf".

Plano de situación de los puntos de bombeo, y piezómetros y aforos de control

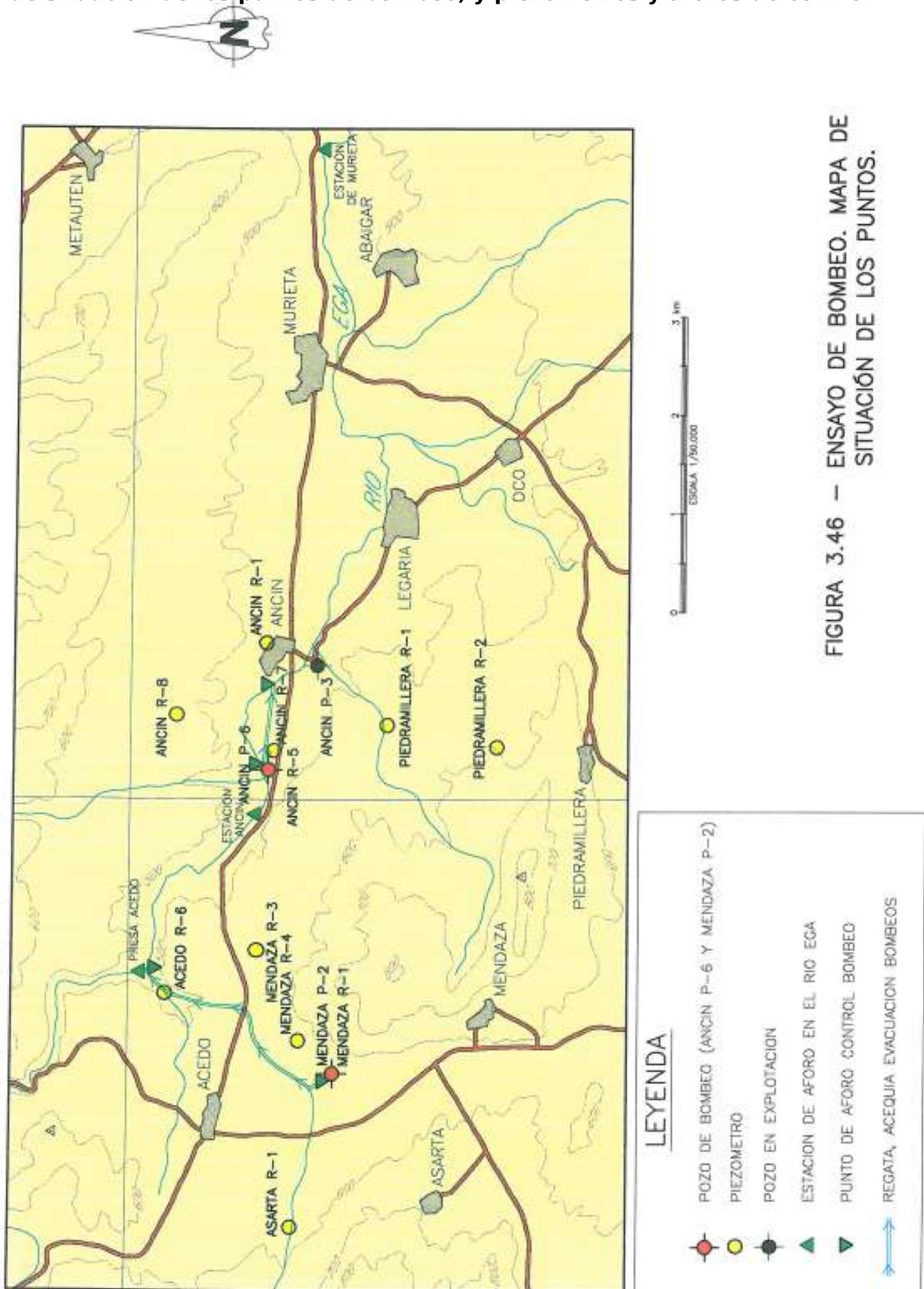


FIGURA 3.46 – ENSAYO DE BOMBEO. MAPA DE SITUACION DE LOS PUNTOS.

Del examen de los gráficos se deducen algunas consideraciones de interés:

- El piezómetro Mendaza R-3 presenta un descenso progresivo, que se inicia al cabo de unas horas del comienzo del bombeo de Ancín P-6, se incrementa con el comienzo del Mendaza P-2, permaneciendo hasta el cese del bombeo de Ancín P-6 (minuto 10305), en que se estabiliza durante un tiempo para posteriormente volver a descender. Acusa rápidamente el final del bombeo en Mendaza P-2, recuperando a un buen ritmo durante más de 6 h, tiempo a partir del cual permanece más o menos estable hasta el final del periodo de control, más de 44 h más tarde en que quedaba un descenso sin recuperar de unos 68 cm
- El piezómetro Mendaza R-4 muestra también un descenso progresivo, aunque refleja una cierta estabilización - cambio de pendiente que coincide aproximadamente con el cese del bombeo en Ancín P-6. Posteriormente continúa el descenso y una vez terminado el bombeo comienza la recuperación, que no es completa, aunque no se percibe una clara estabilización como en el caso anterior.
- El piezómetro Asarta R-1 muestra un comportamiento muy similar al de Mendaza R-4, aunque la posible influencia de Ancín P-6 no es manifiesta.
- El piezómetro Acedo R-6 presenta un comportamiento anómalo, consecuencia de la infiltración del agua que circulaba por la regata cercana procedente del bombeo del pozo Mendaza P-2 en su recorrido hasta el río Ega. La regata discurre a una distancia mínima de 20 m del sondeo. Los efectos del retorno se empiezan a notar al cabo de más de 6 horas después de iniciado el bombeo en el pozo, entre ésta medida y la siguiente (medida última del 4/10/97 y la primera del 5/10/97). Posteriormente, a partir del día 7/10/97 el nivel comienza a descender de nuevo, con una cierta pendiente que se incrementa al parar el bombeo del pozo y por tanto al dejar de circular agua por la regata. La recuperación, en este caso descensos, se mantiene hasta el final del periodo de control más de 54 horas, alcanzando un nivel de 10 cm por debajo del inicial.
- El sondeo Ancín R-1 tiene una tendencia descendente prácticamente durante todo el periodo de control, con ligeras recuperaciones intermedias. El descenso máximo observado en este punto fue de tan sólo 16 cm.
- El piezómetro Ancín R-8, con un mayor rango de descenso que el R-1 (descenso máximo de 67 cm) parece afectado solamente por el bombeo de Ancín P-6, con un

descenso progresivo. La recuperación comienza al detenerse el bombeo en Ancín P-6 y dejó un descenso sin recuperar de casi 60 cm.

- El piezómetro Ancín R-7 tiene un comportamiento muy similar al de Ancín P-6, del que dista sólo 200 m. Sin embargo, el control continuo realizado en este punto ha puesto de manifiesto la existencia de unas oscilaciones periódicas (como la que se observa junto antes de la recuperación) de carácter diario (sobre las 12 h de cada día), que podrían deberse a variaciones de la presión atmosférica.
- Los sondeos de Piedramillera (R-1 y R-2) presentan evoluciones muy similares entre sí, y con rangos de descenso máximo muy parecidos (63 cm en R-1 y 69 en R-2). En ambos casos los descensos se inician aunque suavemente antes del comienzo del bombeo de Mendaza P-2, aunque parece que están más afectados por éste que por el de Ancín P-6. El descenso máximo se produjo más de un día después de terminado el bombeo en Mendaza P-2, lo que indica una cierta inercia del acuífero.

Como resumen, se pueden hacer las siguientes observaciones:

- En casi todos los sondeos controlados se perciben afecciones como consecuencia del bombeo de Ancín P-6 antes del comienzo del bombeo en Mendaza P-2 (casos de Mendaza R-3, Acedo R-6, Ancín R-1, R-7 y R-8 y Piedramillera R-1 y R-2).
- También, el comienzo del bombeo en Mendaza P-2 se traduce en algunos piezómetros en un incremento de la pendiente de la curva de descensos. Del mismo modo, al pararse el bombeo en Ancín P-6 se produce en algunos piezómetros una atenuación del ritmo de descensos (Mendaza R-3 y R-4).
- En todos los pozos y piezómetros controlados parece observarse la existencia de descensos sin recuperar una vez finalizado el periodo de mediciones.
- Por otra parte, el sondeo Ancín P-3, empleado para abastecimiento, y controlado mediante equipos automáticos por la Mancomunidad de Aguas de Montejurra, no acusó en ningún momento los efectos de los bombeos realizados. Este sondeo se encuentra a una distancia de 1160 m de Ancín P-6 y 4150 de Mendaza P-2.

Posteriormente, se han representado las evoluciones de descensos en los pozos de bombeo y en los piezómetros de control a fin de evaluar cualitativamente la respuesta obtenida en todos ellos.

El paso siguiente ha sido el análisis de los datos de descenso mediante el empleo de aplicaciones informáticas. En este caso se ha empleado el programa ISOAQX para la interpretación de las curvas de descensos. Este programa calcula los parámetros hidrodinámicos del acuífero mediante un procedimiento de regresión que ajusta los datos de campo a las soluciones teóricas.

El programa permite el análisis de datos en acuíferos libres, confinados y semiconfinados y la consideración de tantos escalones de bombeo como se hayan producido en la realidad. Además, permite tener en cuenta bombeos que se produzcan en distintos puntos del acuífero siempre que se conozcan los caudales y las distancias entre los puntos.

Por último, una vez obtenidos los parámetros hidráulicos tras el análisis de cada punto, se han analizado junto con los datos de los limnigramas de las estaciones de aforo a fin de obtener una visión global del funcionamiento hidráulico del sistema.

3.9.5.3 Resultados

En lo que respecta a la interpretación de los datos de niveles, se ha considerado en todos los casos la posibilidad de que la evolución registrada se debiera al bombeo en el sondeo más cercano (tablas nº 28 o nº 30), o bien al bombeo conjunto de los dos pozos (aplicando en este caso la tabla de escalones nº 31).

En la tabla siguiente (nº 36) se presentan los resultados de la interpretación individual de los datos de niveles en los piezómetros de control.

Sondeo	Bombeo en Ancín P-6		Bombeo conjunto		Bombeo en Mendaza P-2	
	T (m ³ /día)	S	T (m ³ /día)	S	T (m ³ /día)	S
<i>Mendaza R-3</i>	2183	4.6x10 ⁻³	18258	7.7x10 ⁻³	6562	4.8x10 ⁻³
<i>Mendaza R-4</i>	1888	2.2x10 ⁻³	16664	2.0x10 ⁻²	6304	6.8x10 ⁻³
<i>Asarta R-1</i>	1490	8.7x10 ⁻⁴	12390	5.1x10 ⁻³	4587	9.8x10 ⁻³
<i>Ancín R-1</i>	7066	6.9x10 ⁻²	21213	1.2x10 ⁻¹	21313	7.0x10 ⁻²
<i>Ancín R-7</i>	4236	2.1x10 ⁻³	9213	2.6x10 ⁻³		
<i>Ancín R-8</i>	2724	1.6x10 ⁻²	10334	1.9x10 ⁻²	8603	6.4x10 ⁻³

Sondeo	Bombeo en Ancín P-6		Bombeo conjunto		Bombeo en Mendaza P-2	
	T (m ³ /día)	S	T (m ³ /día)	S	T (m ³ /día)	S
<i>Piedr. R-1</i>	1380	1.6x10 ⁻²	4354	2.8x10 ⁻²	4126	1.6x10 ⁻²
<i>Piedr. R-2</i>	1248	4.4x10 ⁻³	6097	9.1x10 ⁻³	3716	1.5x10 ⁻²

Tabla n^o 36.- Resultados de la interpretación

En base a los resultados obtenidos y a la respuesta de los distintos piezómetros frente a los bombeos aplicados, se puede concluir que los piezómetros Ancín R-1, R-7 y R-8 están fundamentalmente afectados por la extracción de Ancín P-6, y los parámetros hidráulicos de esta zona serían una transmisividad de entre 2700 y 7000 m²/día, y un coeficiente de almacenamiento de entre 6x10⁻³ y 7x10⁻². En el análisis realizado con los datos del piezómetro Ancín R-7 antes de la puesta en marcha del sondeo de Mendaza (y, por tanto, sólo hay afección posible de Ancín P-6), se ha obtenido un resultado de transmisividad de 3300 m²/día, que debe considerarse como representativa del entorno del pozo de bombeo.

Por otra parte, los sondeos de Asarta R-1 y Mendaza R-4 se considera que están afectados casi exclusivamente por el bombeo en Mendaza P-2. En esta zona, la transmisividad es del orden de 4500-6000 m²/día y el coeficiente de almacenamiento se encuentra entre 6 y 9x10⁻³.

El resto de los piezómetros (Mendaza R-3; Piedramillera R-1 y R-2) parecen estar afectados por ambos bombeos. Con transmisividades variables, de hasta 18000 m²/día para Mendaza R-3 y entre 4000 y 6000 para los piezómetros de Piedramillera.

Otro dato relevante de los ensayos de bombeo efectuados es la constatación de que los sondeos ensayados se encuentran en buen estado de conservación, dado que pese a los elevados caudales bombeados el agua extraída fue siempre clara tras los primeros minutos de bombeo, y que su entubación no ha sufrido daños ni pérdida de capacidad de transmisión de agua pese a los años transcurridos desde su instalación. En este sentido, no parece necesario realizar sobre ellos las acciones de limpieza o desarrollo que se sugirieron tras la inspección con cámara de vídeo realizada en Diciembre de 1996 en el marco del presente proyecto.

En lo que respecta a la interpretación de las evoluciones de niveles registradas en los propios pozos de bombeo, en el caso de Mendaza P-2, como ya ocurriera con el ensayo realizado en 1987, no se ha obtenido un cálculo aceptable para el tramo de descensos, por lo

que sólo ha resultado interpretable la curva de recuperación. El resultado obtenido ha sido de casi 72.000 m²/día, también similar al obtenido entonces. Este valor no se puede considerar representativo más que del entorno cercano del sondeo, y no del acuífero en general.

El sondeo Ancín P-6, por su parte, ha arrojado un valor de transmisividad con los datos de descenso de unos 1.500 m²/día, y con el tramo final de la serie de recuperación, de unos 2.200 m²/día, valores éstos que son algo mayores que los obtenidos en el ensayo de 1987.

Como complemento a la interpretación, se han trazado las curvas de isodescensos producidos por los bombeos. Se han seleccionado dos fechas significativas: en primer lugar, se han trazado las curvas para el día 4/10/97, cuando el bombeo de Ancín P-6 llevaba casi dos días de actividad pero el bombeo de Mendaza P-2 aún no había comenzado, y también para el día 9/10/97, cuando ambos bombeos estaban en marcha y el de Ancín P-6 iba a ser terminado.

En el primero de ellos (figura 3.69), se observa un cono de descenso relativamente profundo en el pozo de bombeo (con un descenso ya superior a 11 m), pero de escasa amplitud espacial, de tal modo que el piezómetro Ancín R-1 tenía un descenso de sólo 2 cm y los de Piedramillera, de 3 cm.

El cono tiene un desarrollo principal en dirección aproximadamente ENE-OSO. Sobre esta representación se ha realizado un planimetrado de las distintas curvas de isodescenso a fin de estimar el coeficiente de almacenamiento suponiendo el vaciado del acuífero. El resultado obtenido ha sido de un volumen de acuífero vaciado de unos 1.8 hm³, que para un volumen de agua extraída hasta ese momento de casi 40.000 m³ arroja un coeficiente de almacenamiento del orden del 2.2 %.

Por otra parte, el día 9/10/97 (figura 3.70), se observa que el cono ya abarca claramente ambos sondeos, y el descenso global es mucho más acusado, con una zona muy amplia con descenso superior a 0.75 m. El cono de depresión mantiene la misma dirección que el día 4, aunque ello también está condicionado porque los dos sondeos bombeados están alineados en esa dirección.

Aplicando la misma metodología que en el caso anterior para la estimación del coeficiente de almacenamiento, se obtiene un volumen de acuífero vaciado de unos 27.3 hm³, que para un volumen de agua extraída de casi 294.000 m³ supone un coeficiente de almacenamiento del orden del 1.1 %. Asumiendo el valor del orden del 2 % para el entorno

del pozo Ancín P-6, el valor de coeficiente de almacenamiento en el entorno de Mendaza P-2 debe ser inferior al 1 %, quizás en el orden de 5×10^{-3} .

En lo que respecta al impacto de las extracciones realizadas en el caudal del río Ega, no se ha observado una mejor calidad de ajuste para los sondeos Ancín P-6 y R-7 considerando la existencia de una fuente de recarga. No obstante, en Ancín P-6 se puede considerar que el nivel estaba prácticamente estabilizado al cabo del tercer día de bombeo, por lo que puede asumirse que un cierto porcentaje del agua extraída procede del río, que tendría un cierto grado de conexión hidráulica con el acuífero.

3.9.6. Conclusiones

La ejecución e interpretación de los ensayos de bombeo en los sondeos Ancín P-6 y Mendaza P-2 han permitido obtener las siguientes conclusiones:

ENTORNO DEL SONDEO MENDAZA P-2

- En el entorno del sondeo Mendaza P-2 la transmisividad es del orden de 4.500-6000 m²/día, y el coeficiente de almacenamiento es del orden de 6-9x10⁻³, que se considera adecuado para un acuífero confinado. El valor de transmisividad puede ser localmente, en la zona del pozo, mucho mayor.
- El sondeo parece encontrarse en buenas condiciones en lo que respecta a la capacidad de paso de agua a través de sus filtros y al estado de los mismos.

ENTORNO DEL SONDEO ANCÍN P-6

- La transmisividad de esta zona se encuentra entre 2700 y 7000 m²/día, con un coeficiente de almacenamiento de entre 6x10⁻³ y 7x10⁻², más propio de un acuífero libre.
- El sondeo parece encontrarse en buenas condiciones en lo que respecta a la capacidad de paso de agua a través de sus filtros y al estado de los mismos, por lo que no parece haber sufrido un deterioro aparente desde su construcción en 1987.

IMPACTO DE LOS BOMBEOS REALIZADOS

- Los ensayos de bombeo realizados han supuesto la extracción de aproximadamente 0.35 hm³ de agua en un periodo en el que no se produjo recarga en el acuífero.
- El análisis de las evoluciones piezométricas de los puntos controlados no ponen de manifiesto la existencia de límites impermeables ni de recarga apreciables, por lo que el agua extraída procede del almacenamiento del acuífero, que ha sufrido un vaciado. En este sentido, la posible "falla de Alborón" no parece constituir un límite en el dominio de flujo.
- Los conos de depresión generados por los bombeos en ambos pozos llegan a unirse cuando ambos pozos están en marcha, y se desarrollan principalmente en una dirección ENE-OSO. La afección de los bombeos se manifestó en un área estimada en casi 30 km², con un descenso medio inferior a 1 m. En la zona de los sondeos de abastecimiento de la

Mancomunidad de Montejurra (sondeo Ancín P-3) no se llegó a apreciar ningún descenso.

- No se ha observado un impacto claro de los bombeos realizados en el caudal del río Ega. Un cierto porcentaje de las aguas extraídas se infiltra en los depósitos cuaternarios del valle del Ega antes de llegar al río. Se considera posible, no obstante, que haya existido un impacto, aunque se supone pequeño, de la extracción por el sondeo Ancín P-6 en el río Ega en el punto más cercano de éste al sondeo (distante tan sólo 100 m), pero la imposibilidad de instalar un control de aforo en este punto no permite su evaluación.

3.9.7. Recomendaciones

A fin de controlar a largo plazo el impacto de las posibles explotaciones de estos dos pozos en el acuífero y los caudales del río Ega, y a la vista de los resultados obtenidos de los ensayos realizados, se proponen las siguientes actuaciones:

A fin de conocer la extensión y magnitud de los descensos, se recomienda la ejecución de un mínimo de dos piezómetros: Uno en los afloramientos calizos al este de la localidad de Mendaza, entre el sondeo Mendaza P-2 y los piezómetros de Piedramillera; un segundo punto en el entorno de Legaria.

Además, y a más corto plazo, se recomienda la instrumentación con sensor de presión del piezómetro Piedramillera R-1, a fin de evaluar el alcance de los bombeos diarios que realiza la Mancomunidad de Montejurra en el sondeo Ancín P-3.

Por otra parte, y a fin de evaluar el impacto a largo plazo de las extracciones en los caudales del río Ega, se recomienda la instalación de un limnógrafo en el río en el punto más cercano del mismo al sondeo Ancín P-6 y el registro continuo, mediante limnógrafos o sensores de presión, de los caudales de los manantiales de Ancín.

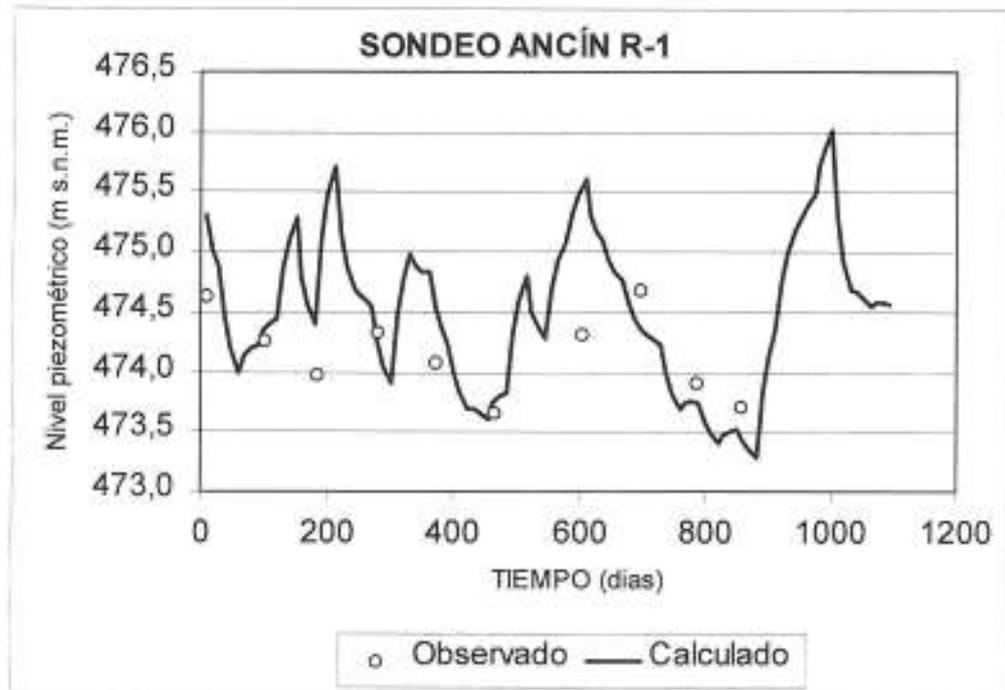


Figura 3.76.- Niveles observados y calculados. Sondeo Ancín R-1

El resultado de esta simulación es que las descargas al río Ega varían entre 38 y 45 $\text{hm}^3/\text{año}$, dependiendo de la precipitación de los distintos años. La entrada de agua al sistema procedente de la infiltración del río Ega donde éste es perdedor también sufre variaciones. Así, llega a ser de casi 20 $\text{hm}^3/\text{año}$ en los años de menor precipitación, dado que los niveles piezométricos se encuentran más bajos y, en consecuencia, se produce un mayor gradiente entre el nivel del río y el del acuífero. En este caso la longitud de río en que se produce la pérdida de agua es mayor, llegando (según el modelo) hasta el punto de surgencia de los manantiales de Ancín y, aguas arriba, hasta cerca del manantial de Alborón.

3.10.8. Simulación del impacto de bombeos

A fin de evaluar el impacto de unas posibles explotaciones en continuo en los sondeos Mendaza P-2 y Ancín P-6, se ha aplicado el modelo de simulación suponiendo unos caudales de bombeo de 300 y 200 l/s, respectivamente.

En primer lugar, se ha considerado sólo el impacto del bombeo en Mendaza P-2, y posteriormente se ha incorporado Ancín P-6.

Con el objetivo de considerar unas hipótesis realistas de la extracción, se ha supuesto que el bombeo no se realiza de forma continua, sino más aproximadas a las que lleva a cabo la Mancomunidad de Aguas de Montejurra. Actualmente, este organismo bombea con horario nocturno, permitiendo la recuperación del nivel del pozo durante el día, lo que supone un tercio del total del tiempo.

En el modelo planteado, sólo se ha podido considerar la extracción durante días completos, por lo que se ha supuesto la extracción durante un día y la recuperación del nivel durante los dos días siguientes. El tiempo total de bombeo se ha extendido durante tres meses de verano, suponiendo que el agua extraída se emplea para complementar el sistema de abastecimiento actual en periodos secos.

El impacto de un bombeo en Mendaza P-2 se manifiesta en el sistema al cabo del primer mes de la simulación, aunque con descensos de nivel poco significativos. Para los tres años de simulación evaluados, del volumen total extraído del pozo (unos 0,8 hm³ anuales), el 45 %, aproximadamente, procede del aumento de la cantidad de agua del río Ega que se infiltra en el acuífero, del orden del 30 % proviene del almacenamiento en el acuífero, y el resto procede de una ligera disminución del caudal de los manantiales y de la reducción del caudal subterráneo drenado al río.

A nivel mensual estos porcentajes varían de manera importante, pero no así los conceptos del balance implicados, de tal manera que el volumen extraído de los pozos proveniente de la detracción de agua del río puede ser tan sólo del 40 %, y por el contrario se afectaría más a los manantiales y a la salida de agua del acuífero al río.

Si además del bombeo en Mendaza P-2 se incluye una extracción de 200 l/s en el sondeo Ancín P-6, con el mismo régimen de bombeo que el planteado anteriormente, el volumen total extraído del acuífero sería de unos 1,3 hm³ anuales.

En este caso, el impacto sobre el río Ega es más importante, al producirse descensos en el entorno del sondeo Ancín P-6 del orden de 4 m. En este caso, el volumen de agua bombeado procedería mayoritariamente del río (un 65 %), un 23 % del almacenamiento, y de la reducción del caudal de los manantiales y de la disminución del agua drenada por el acuífero al río (el 12 % restante).

En ambos casos, considerando uno o los dos sondeos en explotación, el aporte de agua del río se debe a la generación de conos de bombeo que aumentan el gradiente hidráulico y llegan a "descolgar" el río en tramos que normalmente son ganadores, como es

el entorno del sondeo Ancín P-6. Los descensos piezométricos dados por el modelo, aunque varían estacionalmente, son del orden de un metro en el río Ega en la zona entre el sondeo Acedo R-6 y los manantiales de Ancín.

En cualquier caso, y debido fundamentalmente al régimen de bombeo establecido, el impacto de las extracciones en el sistema no parece (en función de los resultados del modelo y de las observaciones efectuadas tanto de niveles piezométricos como de caudales del río Ega durante los ensayos de bombeo de larga duración efectuados) ser importante, dado que se permite la recuperación de niveles tras periodos de bombeo relativamente cortos. Este régimen hace que entren en juego las propiedades elásticas de los materiales acuíferos (almacenamiento), suavizando el efecto sobre los niveles piezométricos a nivel regional.

3.11. TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS QUÍMICOS

En este apartado se describen las características hidrogeoquímicas observadas, tanto para aguas superficiales como subterráneas, atendiendo a sus características generales.

En todo el proceso de caracterización y análisis se han tomado como referencia los resultados obtenidos en la investigación de 1987

Para la caracterización hidroquímica del sistema acuífero se ha considerado el muestreo de 17 puntos de agua subterránea y 5 de agua superficial, en dos campañas correspondientes a junio y octubre de 1997.

En campo se controlaron temperatura, pH, conductividad, alcalinidad y oxígeno disuelto, mientras que en laboratorio, además de pH, conductividad y dureza, se han analizado componentes iónicos mayoritarios, especies nitrogenadas (amonio, nitritos y nitratos), fosfatos y sílice.

Los resultados obtenidos en cada campaña se resumen en las tablas siguientes (n^os 38 y 39), donde también aparecen algunos estadísticos básicos: valores máximo, mínimo, media y desviación estándar de cada una de ellas.

Las determinaciones analíticas se han realizado en el Negociado de Análisis Instrumental del Gobierno de Navarra, y en dos de los puntos se ha efectuado un control de calidad externo en el Centro de Análisis de Murcia. La concordancia entre ambos laboratorios es alta, por lo que los resultados pueden considerarse bastante fiables.

4.4. RELACIONES AGUAS SUPERFICIALES - AGUAS SUBTERRÁNEAS

El río Ega constituye un elemento importante del Sistema Hidrológico de la zona sur de la Unidad, y presenta una muy importante relación con los acuíferos de Alborón-Ancín, así como con el aluvial y sus caudales son los resultantes de la integración de los del tramo anterior y la escorrentía superficial y subterránea en la propia Unidad.

Los acuíferos carbonatados de Alborón-Ancín se recargan principalmente a través de la infiltración de las aguas de lluvia y son drenados por el río Ega directamente o a través del aluvial. En algún tramo reciben también aportaciones de este pero en conjunto el río es efluente.

El acuífero aluvial recibe aportaciones de aguas subterráneas de los acuíferos carbonatados y las transmite al río Ega. Normalmente, respecto a este acuífero el río es también efluente.

La evaluación de la escorrentía subterránea, o aportación de los acuíferos al caudal del río Ega, se ha obtenido mediante la descomposición de los hidrogramas anuales correspondientes al año seco y año medio en las estaciones de aforo de Ancín y Murieta. El hidrograma de escorrentía subterránea se ha formado empíricamente introduciendo funciones exponenciales ajustadas al hidrograma total medido y los volúmenes de la parte de la cuenca procedentes de aguas arriba de los afloramientos, se han determinado a partir de los aforos directos realizados

La aportación de los acuíferos del valle del Ega al hidrograma anual está comprendida entre 16 y 33 hm³/año, volúmenes que representan entre el 53% y el 58% de la aportación anual registrada.

Considerando únicamente el tramo comprendido entre Ancín y Murieta el volumen de aportación proveniente del drenaje de los acuíferos aumenta, confirmando la fuerte infiltración entre Santa Cruz de Campezo y Ancín, hasta alcanzar valores comprendidos entre 29 y 37 hm³/año representando aproximadamente un 65% de la aportación anual.

Las relaciones del río Ega con los acuíferos en su conjunto, de acuerdo con el análisis hidrológico y las campañas de aforos directos llevadas a cabo, son como siguen:

- En conjunto, el río en todos los casos incrementa sensiblemente su caudal. Es decir, drena un caudal significativo a su paso por el acuífero.
- En el acuífero, el río a la entrada del sistema por la zona de Santa Cruz de Campezo, recibe el drenaje de los acuíferos hasta aguas abajo de los manantiales de Alborón.
- Desde estos manantiales hasta casi la estación de Ancín, el río es fundamentalmente perdedor aunque en función de la época del año y por tanto, del estado piezométrico de los acuíferos, el río puede ser ganador en las partes primera y última del tramo. Este comportamiento está directamente relacionado con el hecho que el eje de drenaje de esta sector del acuífero no coincide con el río Ega, sino que se localiza más al sur y está condicionado por la alta transmisividad de los materiales en el sector Mendaza- Piedramillera – Ancín y posiblemente por la estructura de los mismos.
- Aguas abajo de la Estación de Ancín y hasta la estación de Murieta, el río Ega es ganador gracias a los aportes subterráneos procedentes de los acuíferos, tanto del norte como del sur del río y de los manantiales de Ancín.

En cualquier caso, las ganancias del río como consecuencia del drenaje del acuífero son relativamente importantes. De acuerdo con las campañas realizadas en 1997, estas ganancias eran para unos caudales a la salida del acuífero de 5,5 m³/s, correspondientes a aguas altas aunque no en situación de avenida, del orden de algo más del 50 %; para 2,2 m³/s, correspondientes al inicio del agotamiento, de algo menos del 50 % y para 1,4 m³/s, al final del agotamiento, pocos días antes de iniciarse el periodo de lluvias, del orden del 60 %.

5.2. RECOMENDACIONES PARA LA EXPLOTACIÓN ÓPTIMA

Las recomendaciones para la explotación más racional de los recursos subterráneos del acuífero se desprenden de las conclusiones obtenidas tras los ensayos de bombeo de larga duración llevados a cabo, así como del funcionamiento hidrogeológico de la Unidad.

En el caso de la puesta en explotación de los sondeos Mendaza P-2 y Ancín P-6, el régimen de bombeo puede establecerse de manera similar a cómo lo lleva a cabo actualmente la Mancomunidad de Aguas de Montejurra, esto es, con bombeo nocturno, a fin de permitir la recuperación durante el día y así limitar las afecciones al río.

Si por las necesidades de abastecimiento fuera necesario modificar este régimen incrementando las horas de bombeo, debe esperarse una mayor afección a los caudales de aguas superficiales y a los manantiales de Ancín, sobre todo en la margen derecha del río.

Por otra parte, para controlar de manera más precisa las variaciones de los recursos en los acuíferos del valle del Ega y evaluar de forma adecuada el impacto en los niveles piezométricos y en los caudales de agua superficial circulantes en el río Ega, se sugieren otras recomendaciones adicionales, que no obstante deben estar complementadas con la continuación de las mediciones regulares que el Gobierno de Navarra lleva a cabo.

En primer lugar, en lo que respecta al caudal de agua circulante por el río Ega, deben precisarse más las curvas de gastos de las estaciones de Ancín y Murieta para caudales bajos, estableciendo una relación precisa entre las alturas de regleta y las registradas por los limnígrafos instalados. Esta tarea se llevó a cabo en este estudio durante la ejecución de los ensayos de bombeo de larga duración, pero ha de continuarse en futuros periodos secos para garantizar la calidad de la misma.

Además, deben establecerse registros continuos de caudal en otros puntos del río Ega, como puede ser en el entorno de la represa de Acedo y, si fuera posible, en el entorno del sondeo Ancín P-6. Estos controles pueden hacerse mediante la instalación de sensores de presión que registren la altura de agua y los correspondientes aforos directos que permitan obtener una curva de gastos representativa.

Por otra parte, se considera que el control piezométrico debe ampliarse mediante la ejecución de piezómetros adicionales en las siguientes zonas:

- Área entre Mendaza y Piedramillera. Esta zona es el área de tránsito de un gran volumen de agua subterránea dirigida hacia el río Ega.
- Afloramientos de materiales terciarios en la zona de Legaria-Oco, a fin de precisar las relaciones de flujo entre estos materiales y el acuífero principal, así como sus propiedades hidráulicas.
- Zona al NO de los manantiales de Alborón. En esta zona se carece de datos actualmente.
- Zona de recarga al norte de Ancín. Esta zona, junto con la anteriormente indicada, tiene la dificultad de una topografía más elevada y, por tanto, requiere de profundidades considerables para los piezómetros.

Conclusiones del estudio

6. CONCLUSIONES

La **Unidad Hidrogeológica de Lóquiz** se divide en varias zonas de comportamiento hidrogeológico diferenciado, de las cuales la más importante, la **Sierra de Santiago de Lóquiz** propiamente dicha, se divide a su vez en las dos partes, separadas por la "antiforma" de Gastiaín Valle de la Lana, siguientes:

- La zona septentrional, que forma el **acuífero de Itxako**, drenado por el manantial que le da nombre y en mucha menor medida por el tramo bajo de río Biarra
- El **Valle del Ega**, en la zona sur, en la que el sistema hidrológico está formado por tres elementos perfectamente relacionados: el río Ega, los acuíferos de Alborón - Ancín intimamente relacionados con el río y un acuífero aluvial bien desarrollado en la parte oriental del valle, conectado directamente al acuífero carbonatado y evidentemente, al río.

El Valle del Ega, por sus características y ubicación en una zona en la que pueden desarrollarse demandas de agua, se considera el eje central de la Unidad y ha sido objeto de la investigación más detallada.

Desde el punto de vista de la **geología** los materiales de la Sierra de Lóquiz, se engloban todos en la misma unidad estructural: el complejo cabalgante de vergencia sur de la Sierra de Cantabria. La edad de los materiales abarca el Triásico (Keuper), Albiense a Campaniense, Terciario continental y Cuaternario.

Aproximadamente, el 70% de los afloramientos corresponden al Coniaciense-Campaniense y Terciario continental. Estos últimos ocupan las cubetas sintectónicas originadas.

La **pluviometría**, sobre la cuenca vertiente alcanza un valor de 900 mm/año con un valor de ETP de 670 mm/año. *35 345 mm/año (ETReal)*

El **balance hídrico** de los acuíferos del valle del Ega se ha estimado a partir del estudio hidrológico y, para unas condiciones medias, es el siguiente:

- Recarga por infiltración: unos 27 hm³/año *45 hm³/año*
- Entradas desde ríos: 17 hm³/año *17 hm³/año*
- Salidas a manantiales y ríos: 43 hm³/año *57 hm³/año*
- *Reservorios* *5 hm³/año*

- Bombeos: 1,5 hm³/año

En este contexto, las explotaciones de aguas subterráneas actualmente son relativamente pequeñas. Las más relevantes son las efectuadas por la Mancomunidad de Aguas de Montejurra, que tiene instalados equipos de bombeo en los pozos Ancín P-3 y P-4, entre 1,2 y 2,6 hm³/año, en la zona del valle del Ega, así como en el manantial de Itxako, entre 1,7 y 2,9 hm³/año.

Las captaciones de aguas superficiales en el río Ega se producen fundamentalmente para regadío, pero son en general de escasa magnitud (del orden de 2 hm³/año) respecto al volumen total de agua superficial y subterránea circulantes.

La caracterización de la **piezometría** de la Unidad, la ampliación de las series de piezometría respecto a anteriores trabajos, la generación de mapas de isopiezas y el análisis estadístico realizado, han puesto de manifiesto los siguientes aspectos:

- Las evoluciones piezométricas están relacionadas con las precipitaciones, mostrando un retardo de 2-3 meses respecto a éstas.
- Las series piezométricas muestran una considerable similitud entre sí, aunque con rangos de oscilación variables y en general menores en la zona de descarga de la Unidad (zona de Ancín-Mendilibarri).
- Los gradientes hidráulicos están relacionadas con las propiedades hidráulicas de los materiales acuíferos y su localización en el esquema general de recarga-descarga. Así, los mayores gradientes se encuentran en la zona oeste del acuífero, así como al norte del río Ega, que serían las zonas de recarga. La zona de transferencia lateral y descarga, que se encuentra en una alineación oeste → este desde Asarta hasta Ancín-Murieta, presenta gradientes muy bajos.
- El eje de descarga del acuífero no está relacionado con el río Ega en todo su recorrido, sino sólo en el tramo final y puntualmente en el entorno de los manantiales de Alborón. En el resto del acuífero, el flujo de aguas subterráneas se dirige de norte a sur y de oeste a este hasta converger en un "pasillo" de alta transmisividad que drena finalmente en el río a partir de la estación de Ancín y en los manantiales del mismo nombre. Este aspecto se corrobora por el hecho de que los sondeos Acedo R-6 y Ancín P-6, siempre para el primero y en época seca para el segundo, tienen niveles piezométricos más altos que el sondeo Mendaza P-2,

cuando a priori podría suponerse un drenaje desde la zona de Mendaza (topográficamente más elevada) directamente hacia el río Ega.

- Existe otra zona de descarga local, relacionada con los manantiales de Alborón, que drenan el sector noroeste del acuífero.

El río Ega constituye un elemento importante del Sistema Hidrológico de la Unidad, y presenta una muy importante relación con los acuíferos de Alborón-Ancín, así como con el aluvial. Sus caudales integran a todo el Sistema, al tramo anterior del propio río y la escorrentía superficial y subterránea de la propia Unidad.

Los **acuíferos carbonatados** de Alborón-Ancín se recargan principalmente a través de la infiltración de las aguas de lluvia y son drenados por el río Ega directamente, por manantiales o a través del aluvial. En algún tramo reciben también aportaciones de este pero en conjunto el río es efluente.

En cuanto a la recarga, los de isótopos estables (O -18 y deuterio) no permiten distinguir poblaciones muy diversas según su origen. En cuanto al cálculo de los tiempos de residencia del agua en el acuífero a partir de los datos de tritio se han confirmado los valores obtenidos en anteriores estudios. El manantial de Genevilla es el que descarga aguas más antiguas, mientras que el de Itxako las aguas proceden de una recarga mucho más reciente. El resto de puntos presentan características intermedias. Así el manantial de Alborón drena aguas con tiempos de permanencia inferiores a 5 años, y en Ancín esta cifra es superior, entre 4 y 10 años.

Por otra parte, se confirma que el modelo de mezcla total es el que más se adecua al funcionamiento del acuífero kárstico.

El acuífero aluvial y los materiales terciarios de brechas y conglomerados reciben aportaciones de aguas subterráneas de los acuíferos carbonatados y las transmiten al río Ega.

La aportación de los acuíferos al hidrograma anual está comprendida entre 16 y 33 hm³/año; si se considera únicamente el tramo Ancín Murieta el volumen de aportación procedente de los acuíferos está entre 29 y 37 hm³/año.

Las relaciones del río Ega con los acuíferos, son como siguen:

- En conjunto, el río en todos los casos incrementa sensiblemente su caudal. Es decir, drena un caudal significativo a su paso por el acuífero.
- En el acuífero, el río a la entrada del sistema por la zona de Santa Cruz de Campezo, recibe el drenaje de los acuíferos hasta aguas abajo de los manantiales de Alborón.
- Desde estos manantiales hasta casi la estación de Ancín, el río es fundamentalmente perdedor aunque en función de la época del año y por tanto, del estado piezométrico de los acuíferos, el río puede ser ganador en las partes primera y última del tramo. Este comportamiento está directamente relacionado con el hecho que el eje de drenaje de esta sector del acuífero no coincide con el río Ega, sino que se localiza más al sur y está condicionado por la alta transmisividad de los materiales en el sector Mendaza- Piedramillera – Ancín y posiblemente por la estructura de los mismos.
- Aguas abajo de la Estación de Ancín y hasta la estación de Murieta, el río Ega es ganador gracias a los aportes subterráneos procedentes de los acuíferos, tanto del norte como del sur del río y de los manantiales de Ancín.

En cualquier caso, las ganancias del río como consecuencia del drenaje del acuífero son relativamente importantes. De acuerdo con las campañas realizadas en 1997, estas ganancias eran para unos caudales a la salida del acuífero de 5,5 m³/s, correspondientes a aguas altas aunque no en situación de avenida, del orden de algo más del 50 %; para 2,2 m³/s, correspondientes al inicio del agotamiento, de algo menos del 50 % y para 1,4 m³/s, al final del agotamiento, pocos días antes de iniciarse el periodo de lluvias, del orden del 60 %.

Las pruebas de **permeabilidad** realizadas en los sondeos y los valores obtenidos en los bombeos en los pozos ponen de manifiesto la existencia de áreas con permeabilidades elevadas. De las zonas investigadas, a veces limitadas por cuestiones topográficas, destacan como interesantes en el acuífero de Itxako, la desembocadura del río Biarra, y en el Valle del Ega las zonas de Alborón, Acedo, Ancín, Mendaza y el aluvial.

De entre todos los pozos de investigación realizados por sus características, elevada transmisividad y caudales específicos destacaron los de Mendaza P-2 y Ancín P-6, los cuales deben ser básicos en una futura explotación de la zona.

La realización del ensayo de bombeo una semana de duración en ambos pozos en Octubre de 1997, con una extracción total de $0,35 \text{ hm}^3$, en ausencia de recarga, ha puesto de manifiesto lo siguiente:

- La muy buena conexión existente en una zona muy amplia de acuífero.
- Las elevadas transmisividades en el entorno de ambos pozos de bombeo, $4.500\text{-}6000 \text{ m}^2/\text{día}$ en el entorno del pozo de Mendaza y entre 2.700 y $7.000 \text{ m}^2/\text{día}$ en el de Ancín. La existencia de valores de almacenamiento propio de un acuífero confinado y de otro libre respectivamente.
- La no observancia de límites impermeables, ni de barreras de recarga apreciables por lo que el agua extraída procede directamente del almacenamiento del acuífero.
- La afección de los bombeos se manifestó en un área estimada en casi 30 km^2 , con un descenso medio inferior a 1 m . En la zona de los sondeos de abastecimiento de la Mancomunidad de Montejurra (sondeo Ancín P-3) no se llegó a apreciar ningún descenso.
- El análisis de los datos de caudal del río en distintos puntos ha permitido concluir, teniendo en cuenta los incrementos de caudales consecuencia de los aportes de los bombeos, el paralelismo entre los hidrogramas reales y los modificados y la disminución de los caudales al finalizar los bombeos que la extracción del acuífero en el tiempo de bombeo no ha representado una afección al río en el sentido que éste haya proporcionado partes significativas de los caudales extraídos.

En cuanto al **impacto de las explotaciones**, teniendo en cuenta que:

- la **descarga** del acuífero se realiza en estos momentos a través de manantiales, en las zonas de Alborón y Ancín, y al río, directamente por surgencias en el mismo o indirectamente a través del acuífero aluvial y que las aguas de los manantiales, en todos los casos, van a parar también al río
- las estrechas relaciones río - acuífero.

La extracción de agua del acuífero, en un plazo más o menos largo, afectará a su descarga y por tanto, el río, a su paso por el acuífero, dejará de recibir un determinado volumen de agua.

Sin embargo, estos efectos no serán inmediatos. Hasta que los efectos de la explotación alcancen las surgencias y en consecuencia al río, transcurrirá un tiempo en que el agua obtenida del acuífero provendrá en su totalidad de las reservas del acuífero. Por otra parte, cuando la afección alcance a las surgencias se producirá una disminución del caudal de las mismas que en ningún caso será igual al que se este bombeando, sino solamente una parte del mismo; el resto seguirá proviniendo del almacenamiento. En un primer momento el caudal detráido del drenaje será pequeño, pero irá aumentando con el tiempo, mientras que el caudal proporcionado por el almacenamiento irá disminuyendo.

La puesta en explotación de los sondeos Mendaza P-2 y Ancín P-6 produciría la generación de conos de bombeo que llegan a descolgar el río, en tramos que normalmente son ganadores. La simulación del bombeo de estos pozos con un régimen de bombeo – recuperación durante tres meses al año pone de manifiesto que el agua procedería del almacenamiento del propio acuífero y de la detracción de caudales que actualmente son drenados al río Ega, afectando incluso al caudal de los manantiales de Ancín, principalmente los de la margen derecha.

Cuando se paren los bombeos se iniciará la recuperación, el sistema buscará el equilibrio que tenía antes de iniciar la extracción, pero este no se alcanzará en su totalidad hasta que no se produzca una recarga del acuífero procedente del exterior del sistema. Sin embargo, si se vuelve a bombear se partirá de una situación atenuada en relación a la anterior, es decir, los bombeos intermitentes producirán los mismos efectos antedichos pero de manera más retardada.

Las características hidroquímicas registradas indican un buen estado en la calidad de los recursos hídricos, salvo excepciones puntuales, relacionadas con explotaciones ganaderas intensivas.

La contaminación en esta zona es, fundamentalmente, de carácter orgánico (actividades ganaderas, agrarias y población). En concreto, una de las cargas más fuertes que recibe el medio es de especies nitrogenadas. Según el cálculo de las cargas contaminantes por actividades, ni la agricultura que es el sector que aporta mayor cantidad de nitrógeno al medio, ni la escasa población existente representan un problema de calidad química para las aguas, que si pueden verse afectadas por actividades ganaderas intensivas que pueden provocar problemas puntuales agudos, tanto en nitrógeno como fósforo o DBO₅.