

## **2. HIDROGEOLOGIA DE LA RESERVA**

### **2.1. Formaciones acuíferas**

2.1.1. *Trías*

2.1.2. *Jurásico*

2.1.3. *Mioceno-Cuaternario*

### **2.2. Funcionamiento y balance hídrico**

### **2.3. Características de la piezometría y de las captaciones de agua**



## 2.- HIDROGEOLOGÍA DE LA RESERVA

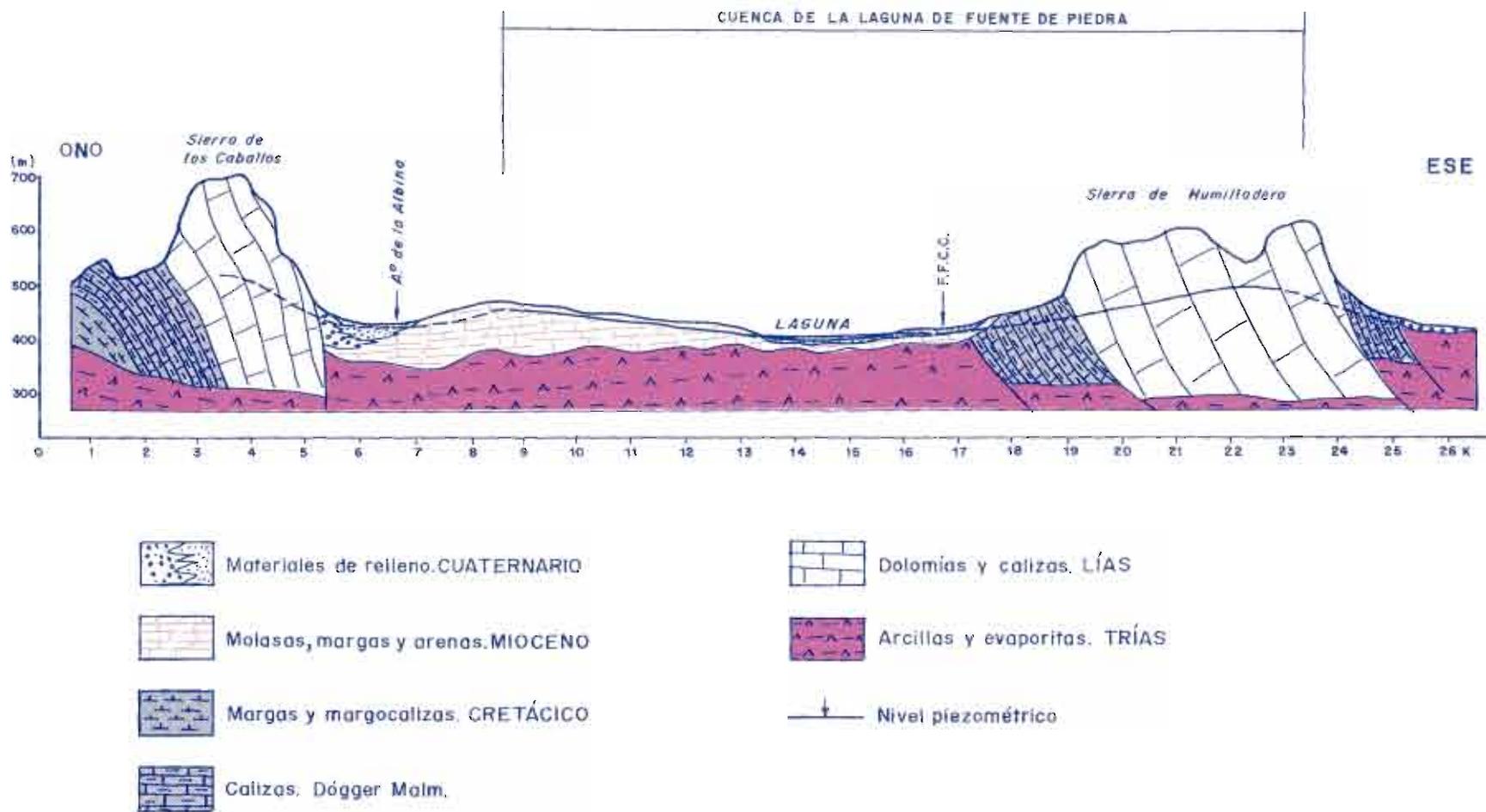
### 2.1.- FORMACIONES ACUÍFERAS

**E**l plano hidrogeológico adjunto a esta memoria refleja los principales afloramientos de las formaciones geológicas que constituyen la Cuenca de Fuente de Piedra.

*El Trías se ha considerado, tradicionalmente, como el sustrato impermeable sobre el cual se apoyan las formaciones acuíferas que existen en la región. Sin embargo, aunque esta afirmación puede ser válida desde un punto de vista regional, el Trías puede comportarse localmente como permeable a causa de los procesos kársticos que han modificado su carácter primitivo.*

De los materiales que descansan sobre el Trías, *son permeables y constituyen acuíferos las formaciones calizo-dolomíticas de la base del Jurásico que aflora en las sierras de Molina, Humilladero y Los Caballos, y las calcarenitas miocenas.* También los derrubios y rellenos cuaternarios son formaciones acuíferas, aunque de menor entidad que los anteriores; su importancia está siempre ligada a la relación hidrogeológica que mantienen con los anteriores.

El resto de las formaciones del Jurásico medio y superior, del Cretácico y del Paleógeno, en conjunto, pueden considerarse como impermeables, aunque ocasionalmente incluyen niveles que pueden ser acuíferos de interés estrictamente local.



Modificado de IGME (1984-C)

Figura 6.- Corte hidrogeológico esquemático de la cuenta de Fuente de Piedra.

### **2.1.1.- Trías**

Los niveles evaporíticos, singularmente yesos y sal, que incluyen las formaciones triásicas son materiales cuya elevada solubilidad ha dado lugar en algunos sectores de la región de Antequera, a diversos fenómenos típicos de una morfología kárstica: dolinas, sumideros, simas, conductos subterráneos entre otros. (MOLINA MUÑOZ, 1982; PEZZI, 1977).

La propia cuenca endorréica de Fuente de Piedra podría incluso corresponder a una depresión originada por procesos kársticos desarrollados en el Trías que subyace a todos los materiales de la zona (LHENAFF, 1981).

Por otra parte la existencia de manantiales salinos de relativa importancia coincidiendo con el ámbito de estos materiales triásicos, confirma que hay una circulación subterránea en dichos materiales cuya disolución condiciona las elevadas concentraciones salinas de las aguas.

En la cuenca de Fuente de Piedra parece que al menos la zona más superficial del Trías podría estar afectada actualmente por estos procesos y producirse, a través de ella, circulación subterránea. Sin embargo, la zona más profunda, por debajo del nivel de la laguna, actuaría como nivel de baja permeabilidad donde, o no existe karstificación o los conductos kársticos se han rellenado con residuos arcillosos insolubles permitiendo el estancamiento de las aguas por encima de un determinado nivel. Según esta teoría, que coincide con las tesis expuestas por LHENAFF (1981), es difícil que a través del Trías tenga lugar un flujo subterráneo hacia sectores ajenos al sistema hidrogeológico que coincide con la cuenca de Fuente de Piedra.

### **2.1.2.- Jurásico**

*Las sierras jurásicas de Mollina, Humilladero y Los Caballos constituyen pequeñas estructuras aisladas que flotan sobre el Trías incluyendo acuíferos carbonatados intensamente karstificados.* En la sierra de Mollina son conoci-

das numerosas manifestaciones kársticas superficiales y subterráneas (MENGÍBAR Y QUIRÓS, 1976; MOLINA et al., 1982) y en la de Humilladero, el sondeo realizado por el ITGE para abastecimiento de la población puso de manifiesto igualmente la presencia de cavidades subterráneas (IGME, 1981a).

Los principales acuíferos jurásicos que se diferencian en la cuenca de la laguna de Fuente de Piedra son los siguientes:

### ***Sierra de Molina***

Lo conforma una estructura de unos 12 km<sup>2</sup> de superficie que se alimenta exclusivamente por la recarga de lluvia, mientras que su descarga se produce fundamentalmente a través de los manantiales que se sitúan en su extremo meridional (Santillán) y en el sector de Alameda; también, de forma no visible, por la alimentación lateral subterránea que tiene lugar hacia los acuíferos terciarios y cuaternarios que lo bordean, sobre todo, en el sector meridional de Fuente de Piedra.

Los materiales carbonatados no están enraizados en el Trías, por lo que sus reservas de agua son muy limitadas (LINARES, 1990).

### ***Sierra de Humilladero***

Las formaciones dolomíticas y calizas basales del Jurásico constituyen un acuífero, que totaliza unos 6 km<sup>2</sup> de superficie, sin que exista ninguna surgencia con relación directa.

Su alimentación procede exclusivamente de la recarga de la lluvia y el nivel piezométrico se sitúa a una cota aproximada de 450 m s.n.m., siendo difícil establecer con detalle el sentido del flujo en el interior de la sierra al no existir suficientes puntos de control. La descarga del sistema parece producirse de modo no visible hacia los acuíferos mioceno-cuaternarios que rodean la estructura y se apoyan sobre ella.

Es evidente que por el norte y oeste, hacia la laguna de Fuente de Piedra, se produce flujo subterráneo, hecho que se pone de manifiesto por la continuidad que existe entre las cotas del nivel piezométrico en la estructura de la sierra de Humilladero y en el Mioceno de Fuente de Piedra.

### ***Sierra de los Caballos***

La estructura carbonatada de la sierra de los Caballos, de unos 18 km<sup>2</sup> de superficie, no puede considerarse hidrogeológicamente aislada de los depósitos de pie de monte que la limitan en su borde suroriental, puesto que este conglomerado cementado, que incluso se puede observar karstificado, tiene continuidad hidrogeológica con la formación calizo-dolomítica de la base del Jurásico sobre la cual se apoya y que constituye el acuífero principal del sistema.

El acuífero está bien definido por el borde occidental, donde los materiales impermeables infrayacentes al mismo y que afloran a cotas elevadas impiden la descarga de la estructura por dicho borde. En consecuencia el drenaje tiene lugar, en su mayor parte, por el borde suroriental de la sierra hacia los depósitos aluviales que ocupan el sector topográficamente deprimido del arroyo de la Albina.

La cota del nivel piezométrico del acuífero se sitúa ligeramente por encima de los 400 m s.n.m. En el área en que se hallan concentradas las explotaciones, se observó un descenso generalizado de niveles, cuya magnitud se pudo establecer en 11 m para la mayor parte de las captaciones, comparando las medidas realizadas en diciembre de 1973 y en julio de 1983. Este descenso se produjo de modo progresivo puesto que en noviembre de 1976 ya se puso de manifiesto un descenso general cifrado entonces en una media de 4 m.

Entre 1984 y 1989 se constataron descensos de 12 m en el sondeo de abastecimiento a La Roda (nº 1641/5/7); si bien entre 1996 y 1997 el nivel ascendió unos 8 m con respecto al registrado en 1989.

Es evidente que esta estructura jurásica y los acuíferos neógeno-cuaternarios con ella relacionados están desconectados del sistema hidrogeológico de Fuente de Piedra.

### **2.1.3.- Mioceno-Cuaternario**

*El acuífero que ocupa mayor extensión en la zona es el que está constituido conjuntamente por las calcarenitas del Mioceno y los materiales de relleno cuaternarios.*



Foto 13.- Panorámica de la laguna y del acuífero mioceno.

Se trata de una formación permeable por porosidad intergranular que rellena las áreas topográficamente más deprimidas de la cuenca y que en la mayor parte de su extensión descansa sobre el Trías.

Los cambios de facies existentes, tanto en sentido horizontal como vertical, condicionan importantes variaciones de permeabilidad y, en consecuencia, irregularidades en los rendimientos de las captaciones. Las columnas de los sondeos parecen indicar que el área *donde existe una mayor proporción de*

*niveles detríticos groseros y, por tanto, una mayor permeabilidad es la que se sitúa en los alrededores de Fuente de Piedra y al norte de Humilladero. Este hecho podría relacionarse con la proximidad de los relieves de las sierras de Humilladero y Molina, probablemente emergidas durante el depósito del Mioceno, que aportarían elementos detríticos más gruesos. Aquí la mayor parte de los espesores controlados oscilan alrededor de los 30-40 m, alcanzando excepcionalmente potencias superiores.*

Al oeste de la laguna los espesores son mayores, pero los niveles detríticos gruesos incluidos en la serie miocena son proporcionalmente mucho más escasos y por tanto aquí el acuífero es de peor productividad.

*Las formaciones cuaternarias que presentan mayor interés desde el punto de vista hidrogeológico son el aluvial relacionado con el cauce del arroyo de Santillán y en menor medida la vertiente norte de la Sierra de Humilladero. En ambos casos, los acuíferos cuaternarios no tendrían el interés que presentan si no se encontrasen en relación hidrogeológica con los acuíferos subyacentes del Mioceno y del Jurásico (LINARES, 1990).*

## **2.2.- FUNCIONAMIENTO Y BALANCE HÍDRICO**

Los acuíferos descritos, a excepción del de la Sierra de Los Caballos, se localizan en la cuenca de Fuente de Piedra, hidráulicamente conectados y formando un único conjunto que puede considerarse como un sistema hidrogeológico aislado de los que existen en la región.

Los límites de este sistema hidrogeológico coinciden sensiblemente con los de la cuenca superficial y en su mayor parte están constituidos por divisorias subterráneas que dan lugar a umbrales hidráulicos.

Estas divisorias subterráneas están especialmente bien definidas en el ámbito del acuífero mioceno y con menos precisión, cuando se sitúan sobre los acuíferos liásicos de las sierras de Molina y Humilladero, donde el número de puntos de control piezométrico es menor.

El Trías, cuyo ambiguo papel hidrogeológico ya se ha comentado, sin duda actúa en algunos sectores como impermeable, conformando una barrera física para el sistema. En esta situación podrían considerarse los extensos afloramientos que se localizan inmediatamente al sur de la laguna, que coinciden con la divisoria superficial, y en el extremo oriental de la cuenca, entre Molina y la sierra del mismo nombre.

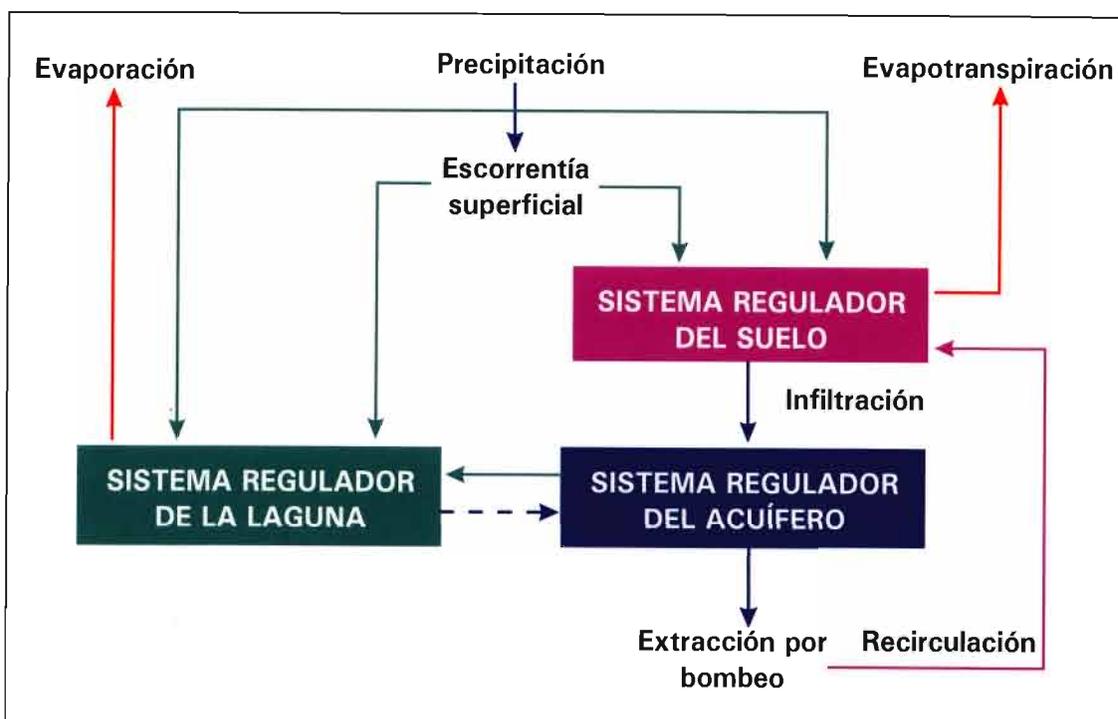


Figura 7.- Esquema de circulación hídrica en la cuenca de Fuente de Piedra.

Por el contrario, los afloramientos que se sitúan en las proximidades del arroyo de Santillán y el núcleo de Los Carvajales no parecen interrumpir la conexión hidráulica de los acuíferos que se hallan en contacto, posiblemente debido a la existencia de formaciones superficiales de escasa entidad y al desarrollo de una capa de alteración que facilita la conexión.

La circulación subterránea en este conjunto de acuíferos, tiene lugar desde los límites del sistema hacia el centro de la cuenca, donde la laguna constituye el nivel de base 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 la misma.

*La circulación del agua en la cuenca de la laguna de Fuente de Piedra se caracteriza por la presencia de tres sistemas de almacenamiento y regulación de agua (el suelo, el acuífero y la propia laguna), intercomunicados entre sí en la forma que muestra el esquema de la figura 7. Los elementos de la recarga de estos sistemas son las precipitaciones, bien directamente o a través de la escorrentía superficial y los elementos de la descarga, son la extracción por bombeo en el acuífero, la evapotranspiración en la cuenca vertiente a la laguna y la evaporación directa desde la laguna.*

El balance hídrico realizado por el ITGE (1984) fue calculado considerando el período 1962-1982; posteriormente LINARES (1990) amplió los cálculos para el período 1962-1987, por lo que los datos reflejados a continuación corresponden a este último período.

### **Balance hídrico del acuífero en condiciones medias**

#### **Entradas**

Como elementos de recarga del acuífero debe considerarse la recarga procedente de la infiltración de las precipitaciones y la reinfiltración del agua bombeada.

#### *Recarga de las precipitaciones*

Se consideran incluidas la infiltración directa de la lluvia útil y la percolación de la escorrentía superficial generada en el ámbito del acuífero, equivalente en superficie a la cuenca vertiente a la laguna (140 km<sup>2</sup>). Ambos parámetros representan un coeficiente comprendido entre el 18% y el 21%.

Se utiliza como representativa de la cuenca una precipitación de 455 mm/año, media de las estaciones de Humilladero, La Herriza y La Roda de Andalucía para el período 1962-1987.

En base a estos datos el valor de la infiltración se encuentra comprendido entre 11,5-13,5 hm<sup>3</sup>/año.

### *Reinfiltración*

Se estima comprendido entre el 5% y el 15% del agua extraída por bombeo, lo que supone entre 0,1 y 0,4 hm<sup>3</sup>/año.

### **Salidas**

Como salidas se contabilizan las extracciones por bombeo y la descarga subterránea hacia la laguna. Por otra parte se supone que, en condiciones medias, no existe variación de reservas en el acuífero.

### *Extracción por bombeo*

Se estima que, para un período medio, la extracción por bombeo será equivalente a los 3 hm<sup>3</sup>/a determinados en 1983. De acuerdo con los datos disponibles, en el período 1962-1987, la cifra media de bombeo debe ser superior a la aquí considerada; se dispone de información histórica indicando que en 1973 se extraían 7 hm<sup>3</sup>/año. No obstante se utiliza la cifra de 3 hm<sup>3</sup>/año suponiendo que la tendencia es a mantener (o incluso a disminuir) los bombeos contabilizados en 1983.

### *Descarga subterránea hacia la laguna*

Este término del balance se determina por diferencia con los restantes, estimándose, comprendido entre 8,6 y 10,8 hm<sup>3</sup>/año.

---

En resumen, el balance del acuífero en condiciones medias, se esquematiza a continuación:

<i>Entradas</i>	
- Infiltración de precipitaciones y escorrentía superficial	11,5-13,4 hm <sup>3</sup> /año.
- Reinfiltración de agua bombeada	0,1-0,4 hm <sup>3</sup> /año.
<b>TOTAL</b>	<b>11,6-13,8 hm<sup>3</sup>/año.</b>
<i>Salidas</i>	
- Extracción por bombeo	3,0 hm <sup>3</sup> /año.
- Descarga subterránea hacia la laguna	8,6-10,8 hm <sup>3</sup> /año.
<b>TOTAL</b>	<b>11,6-13,8 hm<sup>3</sup>/año.</b>

### **Balance hídrico de la Laguna**

El balance en condiciones medias permite establecer que los tres elementos que constituyen la recarga de la laguna: precipitación, escorrentía superficial y descarga subterránea, aportan a esta globalmente un caudal parecido. Sin embargo a nivel mensual el comportamiento es diferente observándose variaciones sustanciales en el caso de la precipitación y la escorrentía superficial.

*La precipitación* sobre la laguna, cuyo valor medio representa aproximadamente 0,5 hm<sup>3</sup>/mes, puede alcanzar valores de hasta 2,5 hm<sup>3</sup>/mes, siendo muy frecuentes los que superan los 1,5 hm<sup>3</sup>/mes.

Se considera como representativa una precipitación de 443 mm/año que corresponde a 5,8 hm<sup>3</sup>/año.

*La escorrentía superficial* sobre la cuenca, también ocurre de forma inmediata a las lluvias y llega a la laguna sin ningún tipo de regulación; sobre una aportación mensual media de 0,5 hm<sup>3</sup>, se pueden alcanzar aportaciones mensuales superiores a los 10 hm<sup>3</sup> y con frecuencia se superan los 5 hm<sup>3</sup>; por el contrario son frecuentes los años en que no existe o adquiere un valor despreciable. Se aplica un coeficiente de escorrentía entre el 8,8% y el 11% lo que supone 5,6-7 hm<sup>3</sup>/año.

*El flujo subterráneo* llega a la laguna regulado por el acuífero, por lo que sus variaciones son pequeñas. Se calcula por diferencia en el balance del acuífero, y su valor está comprendido entre 8,6 y 10,8 hm<sup>3</sup>/año.

*La evaporación real desde la laguna*, también presenta variaciones a lo largo del año relacionadas, no sólo con las oscilaciones estacionales del índice de evaporación, sino también con la existencia de más o menos volumen de agua almacenada en la laguna. Frente a una media mensual aproximada de 1,5 hm<sup>3</sup>, se han estimado valores desde prácticamente cero a más de 4 hm<sup>3</sup>/mes, superándose con frecuencia los 3 hm<sup>3</sup>/mes. El valor medio calculado es de 21,4 hm<sup>3</sup>/año.

*El almacenamiento de agua en la laguna* se ha estimado para el período 1962-1987, en término medio, en 7,6 hm<sup>3</sup>. Sin embargo, se diferencian netamente dos períodos: entre 1962 y 1971, el almacenamiento medio estimado es de 17,8 hm<sup>3</sup>, prácticamente sin secarse la laguna en los estiajes; durante el período 1972-1987, por el contrario, el almacenamiento medio es de 1,8 hm<sup>3</sup>, secándose la laguna frecuentemente en estiaje entre los meses de julio y octubre.

La causa del distinto comportamiento de la laguna en ambos períodos se debe a las distintas aportaciones recibidas procedentes de las precipitaciones y de la escorrentía superficial, ya que el flujo subterráneo, regulado por el acuífero, presenta pequeñas variaciones. Es particularmente significativa la disminución de la escorrentía superficial, aunque esta consideración hay que tomarla con reservas por tratarse de una magnitud estimada y no medida; puede asumirse, sin embargo, que al disminuir las lluvias durante el período 1972-1987, ha disminuido también la intensidad de los chubascos, y con ella la escorrentía superficial.

---

En la figura nº 8 se presenta un balance hídrico de la laguna en condiciones de pluviometría media.

### Balance hídrico de la cuenca en condiciones medias

El balance hídrico global de la cuenca de Fuente de Piedra, establecido para unas condiciones medias de pluviometría, se presenta esquemáticamente en la figura 8.

Se supone que el período de 25 años (1962-1987), al que se refieren las observaciones climatológicas, es representativo de una situación pluviométrica media y que las extracciones por bombeo son similares a las del año 1983. También se parte de la hipótesis de que no existen variaciones en las reservas de agua en el acuífero y que el volumen anual medio de agua almacenada en la laguna no varía. Por este motivo este balance debe considerarse como orientativo, ya que sólo ocasionalmente se presentarán las condiciones indicadas.

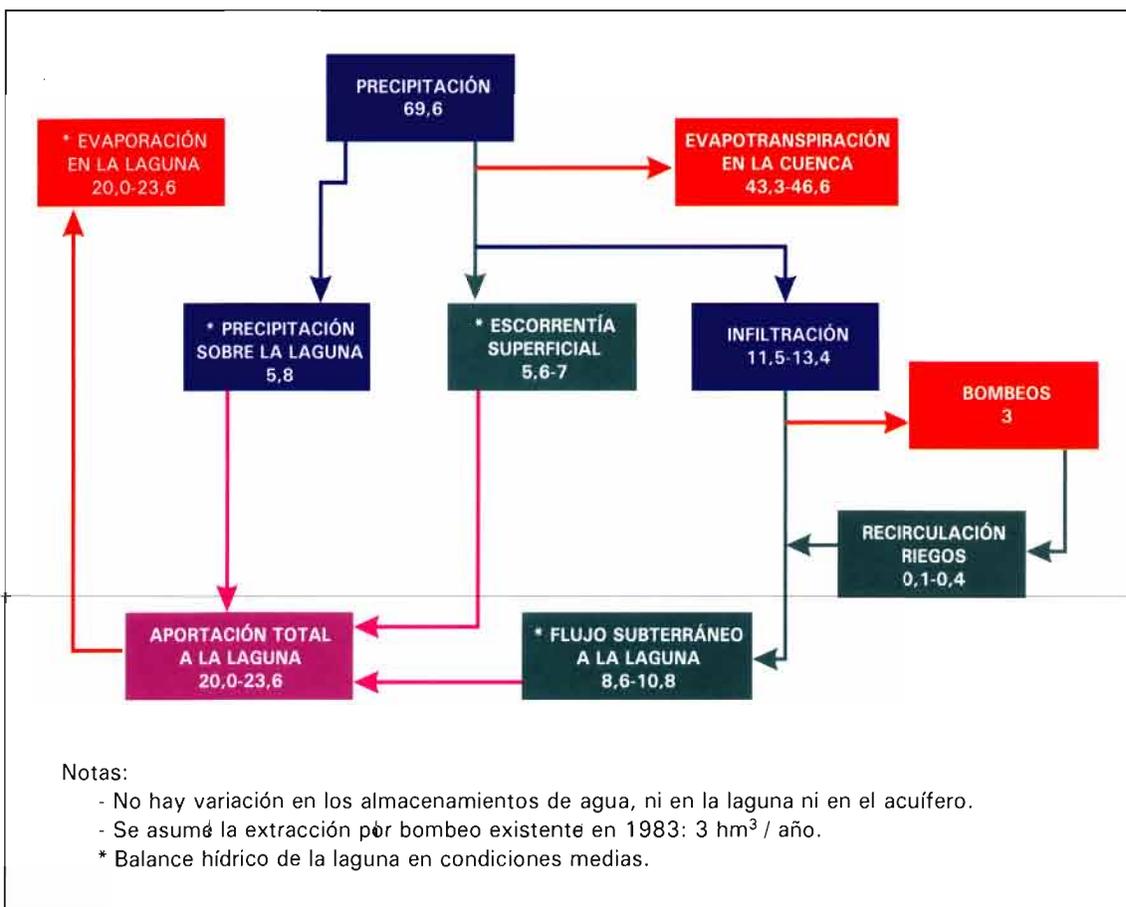


Figura 8.- Balance hídrico de la cuenca de Fuente de Piedra en condiciones de pluviometría media (hm³/año). Fuente: Linares (1990).

Los años reales presentarán variaciones importantes en los elementos del balance ligados a las precipitaciones, lo cual modificará a su vez incluso el régimen de bombeo del acuífero, dando lugar a variaciones sustanciales en la situación de los almacenamientos de agua en el acuífero y en la laguna.



Foto 14.- La supervivencia de las aves nacidas en la laguna depende algunos años del aporte artificial de agua.

### **Aportaciones extraordinarias de agua a la laguna procedente de captaciones**

Durante los estiajes, en que la laguna queda seca, es necesario aportar agua artificialmente para garantizar la supervivencia de las aves nacidas en la primavera hasta alcanzar la madurez necesaria para poder volar o hasta que lleguen las lluvias de final de verano.

El principal punto de suministro de agua es un pozo salinizado adquirido por la Consejería de Medio Ambiente (nº 1642.2.97), situado a unos 300 m del extremo norte de la laguna, con un caudal instantáneo que oscila entre 12 y

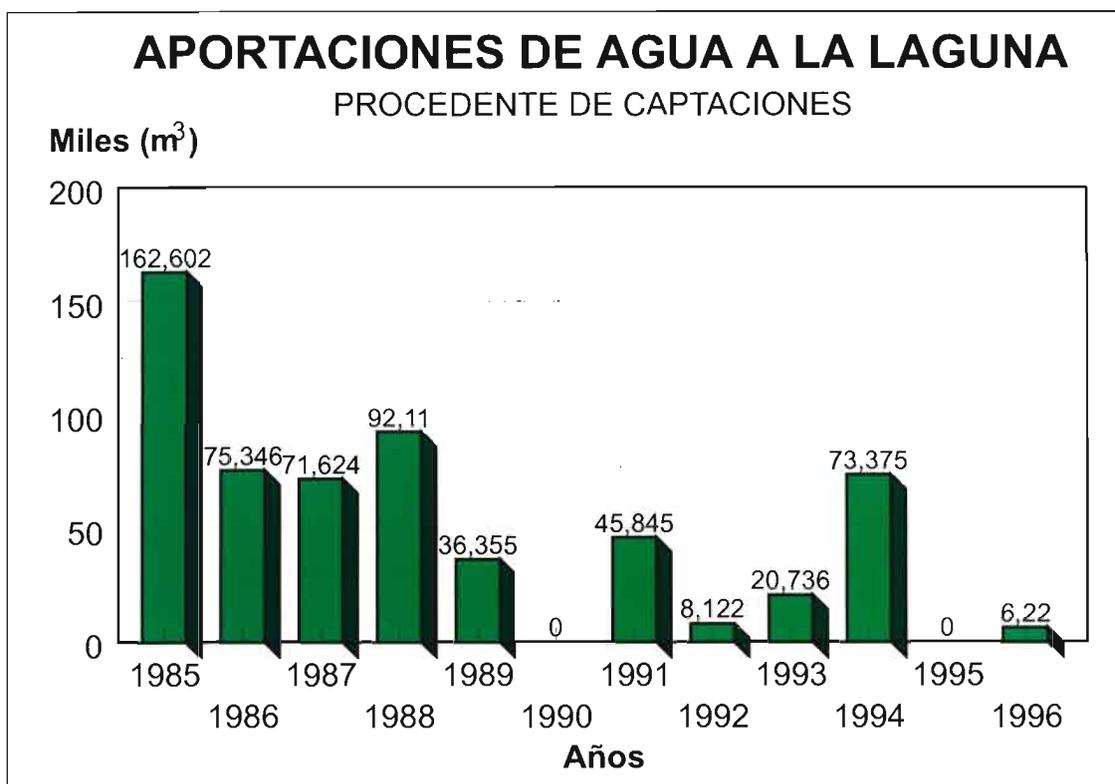


Figura 9.- Aportaciones a la laguna procedente de captaciones.

15 l/s. En el año 1985 también se hizo uso de otros dos pozos privados que fueron cedidos por sus propietarios para este fin: pozos "Ariza" (nº 1642.2.273) y "Molino de Viento" (nº 1642.2.23) con caudales instantáneos de 11 l/s y 3 l/s respectivamente.

El período de tiempo durante el que es necesario aportar agua a la laguna y el volumen que cada estiaje ha sido preciso bombear varía en función no sólo de la climatología sino también del número de individuos nacidos en la colonia.

Desde 1985 se controla sistemáticamente el volumen de agua bombeada a partir de las horas de funcionamiento de los equipos extractores. El primer año del período de control (1985) se bombeó un total de 162602 m<sup>3</sup>, a lo largo de cinco meses y medio. El 83% del volumen aportado procedió del pozo de la Consejería de Medio Ambiente y el resto de los pozos "Ariza" y "Molino de Viento".

En los años sucesivos el volumen necesario ha sido sensiblemente más bajo y suficiente con los aportes del pozo de la Consejería de Medio Ambiente. En el gráfico de la figura 9 se adjuntan los volúmenes bombeados anualmente.

### 2.3.- CARACTERÍSTICAS DE LA PIEZOMETRÍA Y DE LAS CAPTACIONES DE AGUA

La *piezometría* de la zona ha sido definida a partir de los datos obtenidos en diferentes puntos de agua (pozos o sondeos) que fueron nivelados con teodolito (52) o con altímetro de precisión (77), cuya situación se expresa en la figura 10. Entre estos 129 puntos y atendiendo a diversos criterios se procedió a realizar diversas campañas de medidas que han permitido dibujar las isopiezas representativas del acuífero (figura 11) para:

- El mes de *Junio de 1983*, a partir de 85 puntos seleccionados en una época de extracciones.
  - *Mayo de 1984*, a partir de 65 puntos que representan el estado del acuífero después de un largo período sin explotaciones (8 ó 9 meses) y de un invierno algo más húmedo que los anteriores.
  - *Octubre de 1995*, a partir de 38 puntos que reflejan el final de un intenso período de sequía.
  - *Abril de 1996*, a partir de 40 puntos en un período de recuperación del acuífero tras la intensa sequía sufrida.
-

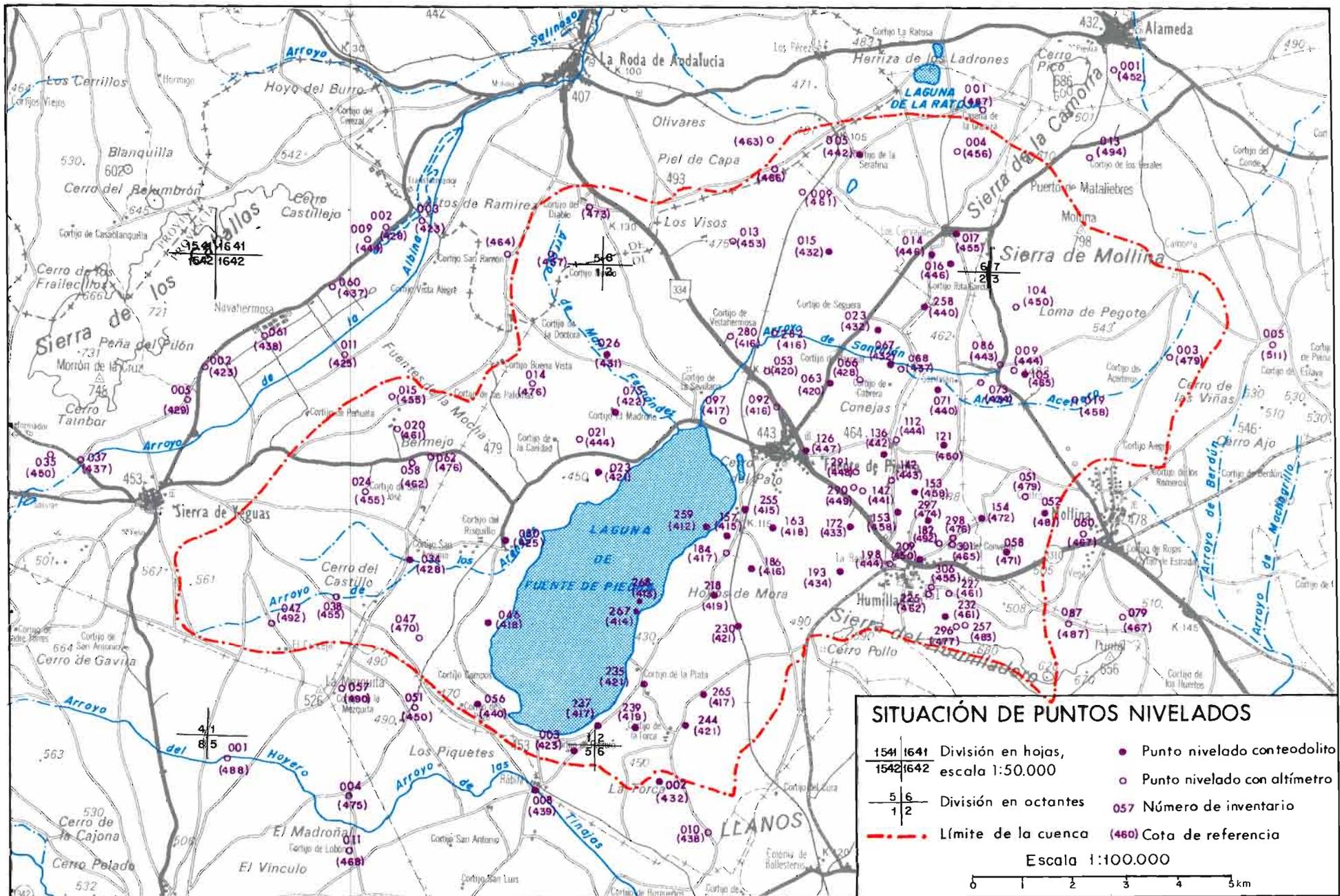


Figura 10.- Situación de los puntos nivelados.



*En la mayor parte del acuífero se dispone de medidas periódicas de nivel desde 1984. En el área situada entre Fuente de Piedra y Humilladero, donde se concentra la mayor parte de la explotación, se han efectuado medidas piezométricas desde antes de 1980. No obstante muchos de los puntos que empezó a medir el ITGE en 1974, han tenido que ser abandonados por diversos motivos, y en la red actual sólo hay una docena de estos piezómetros históricos.*

Durante el año 1984-85 las medidas de campo de piezometría se completaron mediante la instalación de dos limnigrafos de registro continuo y en marzo de 1985, se inició un control más estricto con medidas mensuales en 60 puntos que fueron nivelados, lo que supuso disponer por término medio de un piezómetro por cada 2,5-3 km<sup>2</sup>.

Durante el año 1987-88, se incorporan a la red de control 10 nuevos puntos situados al norte de la laguna, y en el año 1990-91, cuatro sondeos piezométricos perforados por el ITGE, dos en los acuíferos carbonatados de las sierras de Mollina y Humilladero y otros dos en las zonas del Neógeno-Cuaternario de La Albina y La Coneja. Los piezómetros de La Coneja y Sierra de Mollina se dotaron de dispositivos de registro continuo a partir del año 1993-94.

Los planos de isopiezas realizados en diversas épocas muestran una serie de rasgos generales y comunes que permiten establecer la morfología de la superficie piezométrica y el funcionamiento del acuífero.

*En ellos se pone de manifiesto que existe un flujo general hacia el centro de la cuenca observándose claramente que la laguna constituye el nivel de base del acuífero que descarga en ella de modo natural.*

*La divisoria superficial de la cuenca endorreica de Fuente de Piedra se corresponde sensiblemente con umbrales hidrogeológicos, permitiendo establecer, a grandes rasgos, la coincidencia de las divisorias superficial y subterránea. Sólo localmente en algunos puntos existen pequeñas diferencias.*



Foto 15.- Piezómetro del ITGE situado en la Sierra del Humilladero.

*Se observa también una continuidad entre la piezometría de los macizos carbonatados jurásicos de las sierras de Molina y Humilladero y del Mioceno cercano a los mismos, confirmando la conexión hidrogeológica existente entre ambos, por lo que pueden considerarse integrados en un único sistema hidrogeológico con un flujo que tiene lugar desde los macizos jurásicos hacia el Mioceno.*

*Por el contrario, el macizo jurásico de la sierra de Los Caballos queda desconectado hidrogeológicamente de la cuenca de Fuente de Piedra y separado de ella por el umbral hidrogeológico coincidente con la divisoria que delimita la cuenca por el noroeste. Este macizo está conectado hidráulicamente con la depresión de Navahermosa, y presenta un flujo subterráneo hacia los acuíferos detríticos que la rellenan, con un drenaje hacia el norte siguiendo el curso del arroyo de la Albina en la cuenca del Guadalquivir.*

*Los gradientes hidráulicos más fuertes son los del sector situado al oeste de la laguna, donde oscilan alrededor del 1,3%; los más débiles coinciden con el borde oriental de la laguna donde oscilan entre el 8 y 9‰. Como valor medio representativo del gradiente del conjunto del acuífero se puede considerar el 1,1‰.*

Cuatrocientos ocho captaciones fueron catalogadas en la cuenca de Fuente de Piedra en 1984 por el ITGE (IGME, 1984), que según su naturaleza, se distribuían en: 280 pozos; 80 sondeos; 26 pozos con galería horizontal; 19 pozos con sondeo vertical; 2 galerías; y 1 manantial. La profundidad media de los pozos fue estimada en 10 metros y la de los sondeos en 64 metros, siendo la media conjunta de 21 metros.

La profundidad del nivel piezométrico medio registrado en 308 puntos que pudieron medirse fue de 9,80 metros, por lo que no resulta extraño que 52 pozos de poca profundidad se hayan secado y 32 hayan sido anulados (enterrados) entre 1973 y 1983.

Entre los 408 puntos catalogados en la cuenca, sólo 207 poseían equipo de extracción. El accionado se realizaba mediante motor de explosión en 137 puntos, 60 tienen motor eléctrico y en 10 puntos la extracción se realizaba manualmente.



Foto 16.- Pozo artesano situado entre los núcleos de Humilladero y Fuente de Piedra.

El caudal de explotación coincidía generalmente con el caudal óptimo de la captación, aunque hay puntos que se explotaban hasta el agotamiento: 69 captaciones tenían un caudal inferior a 5 l/s, 67 un caudal comprendido entre 5 y 10 l/s, 33 entre 10 y 20 l/s, 9 entre 20 y 30 l/s, 2 entre 30 y 50 l/s, 4 entre 50 y 100 l/s y 2 entre 100 y 120 l/s.

La figura 12 recoge la evolución del nivel en una serie de piezómetros representativos, que corresponden con los puntos nº 1641.6.13, 1641.6.15, 1642.1.30, 1642.2.92, 1642.2.227, 1642.2.236 y 1642.2.71. En ellos se observan oscilaciones estacionales que pueden alcanzar los cuatro metros en los sectores de la divisoria y que suelen ser menores de un metro en las proximidades de la laguna.

El estudio de las variaciones temporales de la piezometría en el sistema hidrogeológico de Fuente de Piedra, permite diferenciar dentro de la cuenca varias zonas de acuerdo con las peculiaridades que presenta la evolución de la superficie piezométrica en cada una de ellas.



Foto 17.- Uno de los numerosos pozos situados en la cuenca de Fuente de Piedra que es utilizado actualmente como piezómetro.

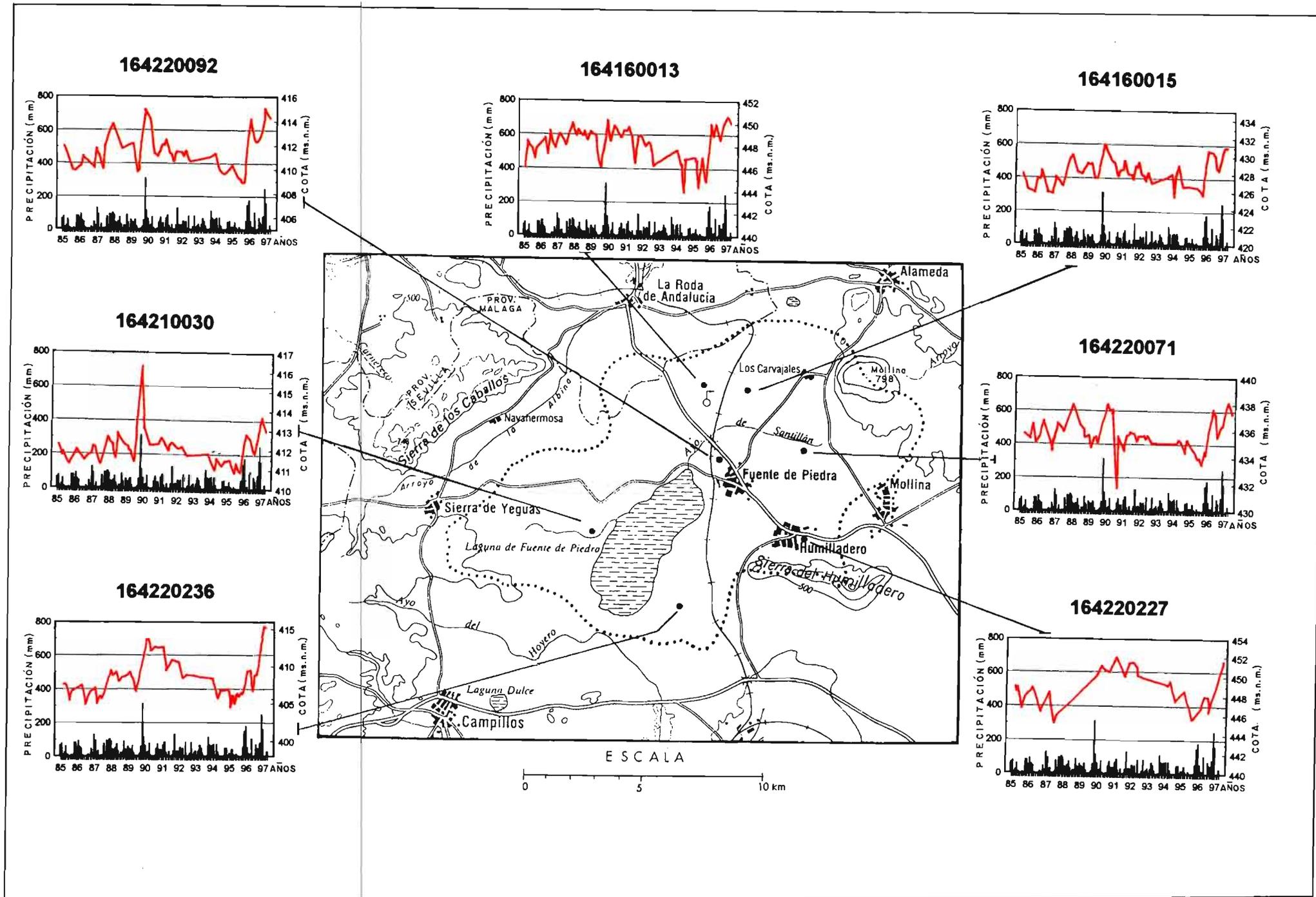


Figura 12.- Evolución del nivel piezométrico en diferentes sectores de la cuenca de Fuente de Piedra. E 1:100.000.

### *Zonas alejadas de las áreas de bombeo*

*Los sectores donde no existen bombeos o estos son cuantitativamente poco importantes representan la mayor parte de la superficie de la cuenca. En ellos la superficie piezométrica no está sometida a ningún tipo de perturbación y, en consecuencia, los piezómetros reflejan la dinámica natural del acuífero.*

La mayor parte de estos piezómetros muestran a lo largo del período 1984-1990 una notable tendencia al ascenso, sólo interrumpido en 1989. A partir de 1990 se observa una clara tendencia al descenso, con registros mínimos en el estiaje de 1995; posteriormente y como respuesta a las intensas lluvias de 1996-97 se constata un importante ascenso en el nivel (piezómetro nº 1642.1.30).

### *Zona de Fuente de Piedra*

En la zona situada en las proximidades del extremo norte de la laguna, donde *se concentra el mayor volumen de extracciones de la cuenca*, se observó una tendencia descendente hasta 1983, seguida de una ligera recuperación en los años posteriores y un nuevo descenso entre 1985 y 1987.

El año 1988 supuso una notable recuperación que fue seguida de un nuevo descenso en 1989, para registrar en 1990, la recuperación más importante del período de control, que permitió alcanzar los máximos históricos. En los años siguientes se ha registrado una tendencia al descenso que alcanzó su máximo en los estiajes de 1994 y 1995, seguido de un importante ascenso durante 1996, situándose en 1997 los niveles a las cotas alcanzadas en los máximos históricos (piezómetro nº 1642.2.92).

Es importante resaltar el hecho de que en la zona de Fuente de Piedra, se observa un comportamiento diferente al de la zona de Humilladero. A pesar de que en Fuente de Piedra los bombeos sean cuantitativamente más importantes, *la respuesta a una situación climatológica más favorable es más rápi-*

*da y efectiva que en Humilladero*, fenómeno atribuible a su localización en el sector central de la cuenca, donde el flujo subterráneo que tiene lugar hacia él favorece la recuperación. También la recarga que supone la infiltración del arroyo de Santillán, debe jugar un papel importante en la rápida recuperación piezométrica.

### *Zona de Humilladero*

En la zona de Humilladero, donde también *se concentran gran número de captaciones*, se había venido registrando una generalizada tendencia al descenso. En los piezómetros controlados desde la década de 1970 se observó, después de 1983, una interrupción en el proceso de descenso, y después de las fuertes lluvias de 1989-90, una notable recuperación en la que se alcanzaron niveles similares a los máximos históricos de la década de 1970.

A partir de 1990 se inicia, al igual que en el resto de la cuenca, un descenso progresivo. Durante 1996, al contrario de lo que ocurre en la mayoría de los piezómetros de la cuenca, no se observa una clara respuesta a la elevada pluviometría registrada ese año, aunque en 1997 los ascensos observados alcanzan, en algún punto, los máximos históricos (piezómetro nº 1642.2.227). Como consecuencia de los sondeos de abastecimiento a Humilladero y Fuente de Piedra se observan, en general, mayores dificultades en la recuperación de niveles, al igual que ocurre en la Sierra de Molina, donde se sitúan los sondeos de abastecimiento a Molina.

### *Zona entre Fuente de Piedra y Humilladero*

En la zona situada entre los dos grandes sectores de concentración de explotaciones, Fuente de Piedra y Humilladero, existe un conjunto de piezómetros con medidas desde 1974, en los que se observó un largo período de descenso, que terminó alrededor de 1983, seguido de una estabilización y, a partir de 1985, una tendencia a la recuperación sólo interrumpida ocasionalmente en

algún corto período. Este período de ascenso culmina en 1990, año en el que algunos piezómetros superan sus máximos históricos desde 1974.

A partir de 1990 se inicia un nuevo proceso de descenso que alcanza su máximo en el estiaje de 1995; durante los dos años siguientes se observa una notable recuperación que culmina en 1997 con los máximos históricos registrados.

## 2.4.- CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS Y RESERVAS ESTIMADAS

A fin de determinar las características hidráulicas de las formaciones acuíferas del Mioceno, en 1983 se llevaron a cabo cinco pruebas de bombeo en diferentes captaciones.

De los acuíferos jurásicos, se disponía de información previa en base a los bombeos de ensayo en el sondeo de abastecimiento a Humilladero y en un sondeo del cortijo de Santillán.

La selección de los puntos se condicionó a una distribución espacial homogénea con objeto de conocer, una aproximación a las variaciones espaciales de transmisividad. En la figura 13 se indica la localización e identificación de las captaciones en las que se realizaron los ensayos, y en la figura 14 los resultados que aportan los bombeos de ensayo, tanto en los acuíferos detríticos Mioceno-Cuaternarios, como en los carbonatados del Jurásico.

Las características hidráulicas de los acuíferos jurásicos son muy variables debido a las heterogeneidades que presentan, como consecuencia del desarrollo de procesos kársticos; siendo frecuentes y conocidos en las sierras carbonatadas jurásicas de la zona, sobre todo en la de Molina-La Camorra.

En el **acuífero Mioceno**, sin embargo, las transmisividades son más homogéneas. Si se desprecian los valores anómalos, se obtienen transmisividades comprendidas entre 2 y 80 m<sup>2</sup>/hora.