

Comportamiento geohidrológico del Sistema de Pozos Cerritos

Jaime A. Tinajero González
Comisión del Plan Nacional Hidráulico, SARH

Luis Velázquez Aguirre
Dirección General de Administración y Control
de Sistemas Hidrológicos, SARH

El campo de pozos Cerritos se localiza en el estado de Nuevo León y se caracteriza por ser una zona semidesértica con una precipitación media anual de 630 mm. Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área son las formaciones Cupido, La Peña, Aurora, Cuesta del Cura y la Eagle Ford, todas cubiertas en las partes bajas por sedimentos aluviales. De éstas las que tienen mejores posibilidades de constituir acuíferos en la región son las calizas de Cupido y Aurora del Cretácico Inferior en las cuales, de 1978 a 1981, se perforaron 12 pozos de exploración-explotación. Sin embargo, solamente 6 pozos resultaron positivos. A fin de establecer los pronósticos de extracción para los pozos se realizaron estudios que llevaron a conclusiones correctas y vigentes.

El Sistema de Pozos Cerritos se localiza en el estado de Nuevo León, 45 km al noreste de la ciudad de Monterrey y 53 km al norte de Cadereyta (véase ilustración 1). A principios de la presente década, el agua proveniente de los pozos productores de este sistema constituía la principal fuente de suministro con que contaba la refinería de Petróleos Mexicanos (PEMEX) ubicada en Cadereyta, N. L.

El sistema está situado en una zona semidesértica, con una precipitación media anual de 630 mm; de esa cantidad, más del 60% ocurre en el periodo junio-septiembre. En el aspecto geomorfológico, la región es cerril, con pequeñas sierras alargadas y angostas de poca elevación, de flancos asimétricos y separados por extensos valles poco ondulados.

Las formaciones geológicas con posibilidades de constituir acuíferos en la región son las calizas de las formaciones de Cupido y Aurora, que datan del Cretácico Inferior. La perforación de los primeros pozos empezó en el segundo semestre de 1978, y no fue sino hasta fines de 1979 cuando se inició el abastecimiento de agua a la refinería. En junio de 1980, con la perforación del último

pozo productor, se logró un suministro de 250 l/s; sin embargo, en el transcurso de los siguientes 13 meses los niveles de los pozos descendieron un promedio de 20 m y la producción disminuyó por debajo de su capacidad nominal, además de que dos de los principales pozos productores comenzaron a mostrar arrastres de arcilla.

Debido a esta situación, la superintendencia de la refinería de Cadereyta solicitó asesoría a la Comisión del Plan Nacional Hidráulico (CPNH), para definir alguna estrategia que permitiera asegurar el suministro requerido por las instalaciones de PEMEX.

A continuación se presenta el resultado del análisis del comportamiento geohidrológico del acuífero ubicado en el Sistema de Pozos Cerritos.

Hidrogeología

Para definir sistemas hidrogeológicos en áreas donde las rocas sedimentarias de tipo calcáreo (calizas) constituyen el elemento litológico predominante, es necesario relacionar las características estructurales y estratigráficas de la zona en

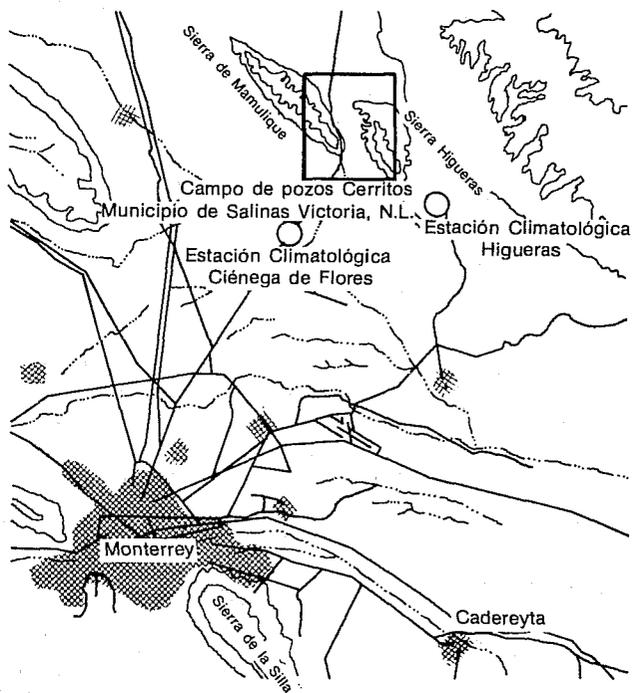
cuestión con las propiedades geoquímicas y el contenido isotópico del agua que contengan las rocas. Esto es, un sistema quedará definido por sus características geológicas (véase ilustración 2) y se diferenciará por sus relaciones hidrogeoquímicas e isotópicas.

Es bien conocido que las características hidráulicas de las calizas están supeditadas a procesos geológicos que ocurren en forma posterior al depósito del sedimento y que provocan, entre otros fenómenos, fracturas y aberturas de disolución por donde el agua circula. De esta manera, la concentración iónica del agua de un acuífero en formaciones calizas es directamente proporcional la longitud de la trayectoria de flujo.

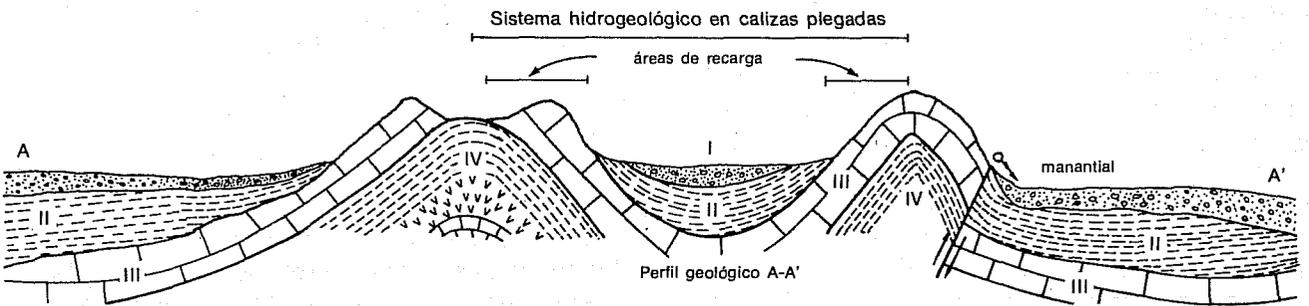
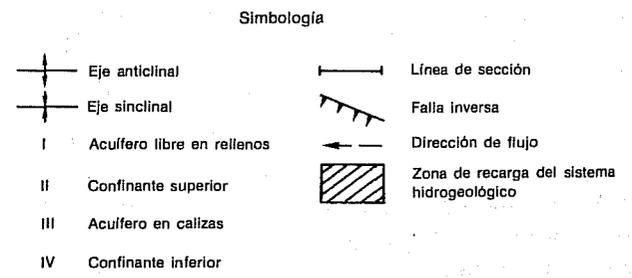
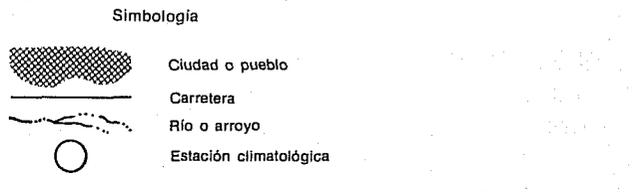
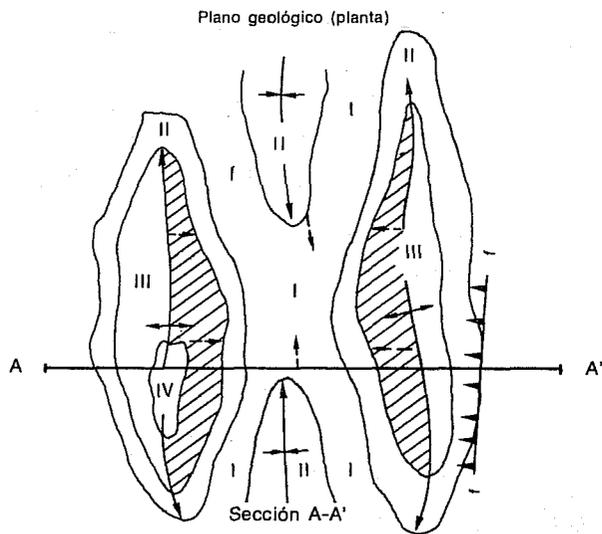
Los sistemas hidrogeológicos con grandes trayectorias de flujo están asociados con altas concentraciones iónicas, debido a que el agua dispone de suficiente tiempo de resistencia en el medio. Si lo anterior se correlaciona con el contenido isotópico, en este caso tritio (^3H)*, podrá establecerse que la cantidad de este compuesto en el agua subterránea es inversamente proporcional

a la concentración iónica y, por ende, a la longitud de la trayectoria de flujo. Con lo anterior se está en condiciones de diferenciar los sistemas

1. Localización del sistema de pozos Cerritos



2. Sistema hidrogeológico en calizas plegadas



hidrogeológicos (véase ilustración 3).

Maxey y Mifflin (1966) aplicaron este principio y clasificaron los sistemas hidrogeológicos en *regionales, locales y muy locales*. En la ilustración 4 se presenta el criterio hidrogeoquímico para diferenciar sistemas hidrogeológicos en rocas calcáreas, además de la clasificación de los sistemas del estado de Nuevo León; como puede observarse, el acuífero que explotan los pozos del área de *Cerritos* se considera como un sistema hidrogeológico local (CPNH, 1980). Un sistema de este tipo se caracteriza por tener trayectorias de flujo cortas, áreas de recarga cercanas a la zona de explotación, bajo contenido de sales disueltas, temperatura del agua similar a la ambiental y cantidades importantes de tritio.

Planear la explotación de este tipo de acuíferos para el largo plazo representa un riesgo considerable, pues aunque su producción resulte atractiva en principio, es muy probable que en poco tiempo disminuya drásticamente. Ello debido a que la capacidad de almacenamiento de estos sistemas es pequeña, en comparación con los acuíferos regionales; además, en el noreste del país

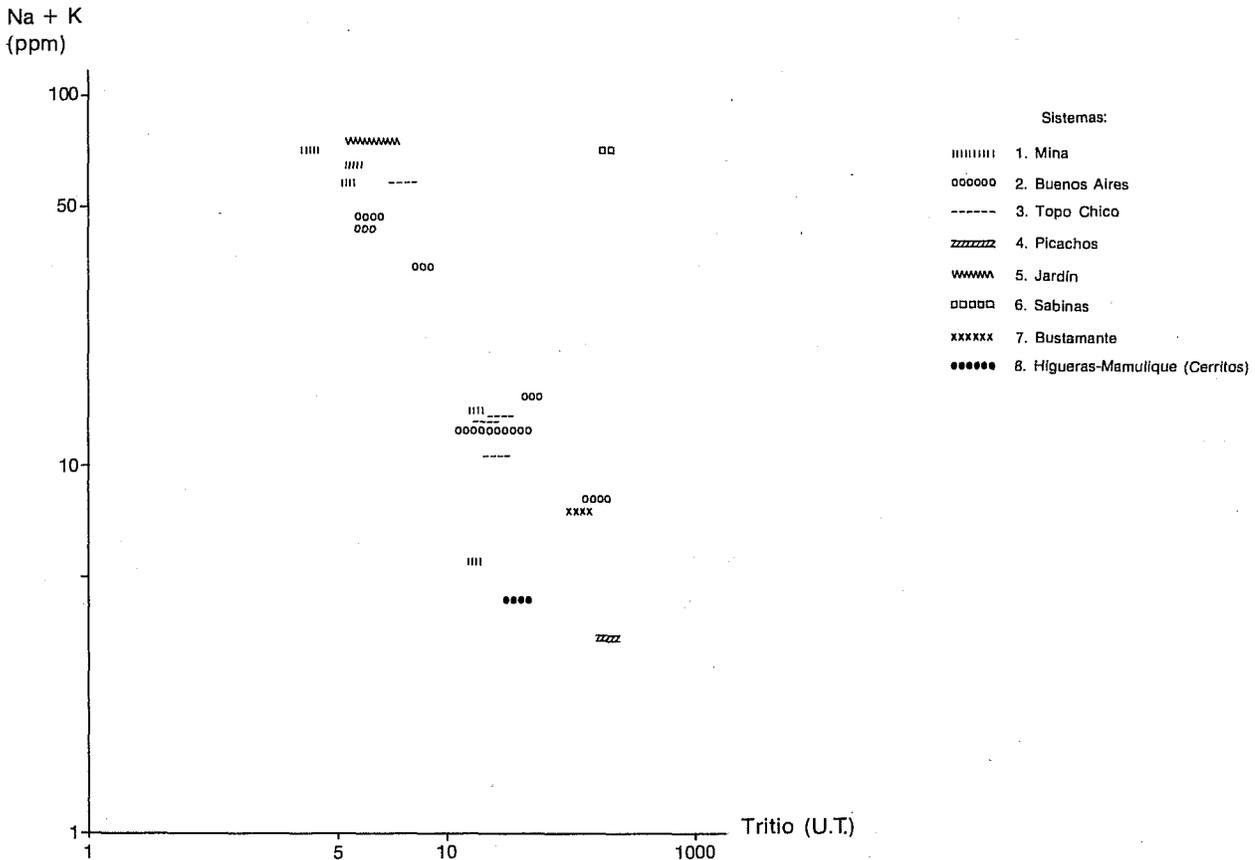
las calizas cretácicas productoras se encuentran confinadas, por lo que el coeficiente de almacenamiento de los acuíferos es pequeño, con valores que fluctúan de 10^{-3} a 10^{-5} .

Modelo conceptual hidrogeológico

El hecho de clasificar al *Sistema de Pozos Cerritos* como un sistema hidrogeológico calcáreo local implica, necesariamente, que la longitud de su trayectoria de flujo es corta; por ello, su área de recarga se ubicó en las zonas cercanas —específicamente, en los afloramientos de la formación Cuesta del Cura, en el flanco oriental de la Sierra de Mamulique. Por otra parte, el flujo de los sistemas hidrogeológicos calcáreos pegados, como el de *Cerritos*, sigue una trayectoria transversal a la estructura en los flancos del anticlinal, conforme a la inclinación de las capas, y es longitudinal en las porciones inferiores del sinclinal, siguiendo el buzamiento regional de la estructura.

Las fronteras del *Sistema Cerritos* (véase ilustración 5) son límites geológicos (estructurales y

3. Relación entre la concentración de sodio (Na) más potasio (k) y la concentración de tritio (U.T.)



estratigráficos). Estructuralmente, el sistema queda limitado en la superficie por la conjunción de la parte alta de las sierras con la posición del eje del anticlinal, y en el subsuelo, por la profundidad en el eje del anticlinal correspondiente a la cima estructural de la unidad impermeable que integra el basamento del acuífero (formación La Peña), lo cual constituye un límite estratigráfico.

Otro límite a la continuidad transversal de la estructura está representado por una falla inferida, cuya dirección es prácticamente norte-sur, que corta en forma oblicua el eje del sinclinal y separa el flanco occidental de la Sierra de Higueras del sistema propuesto. Sin embargo, en virtud de que la Sierra de Higueras no corresponde al simétrico estructural de la Sierra de Mamulique —debido a que la primera está desfasada estructuralmente hacia el sureste—, de no existir la falla inferida el aporte de agua de esta sierra en su flanco occidental sería mínimo. Esto obedece a que en la conjunción de los ejes de las estructuras adyacentes (anticlinal y sinclinal) se forma un alto estructural que impide el paso del agua subterránea recargada en este flanco de la Sierra de

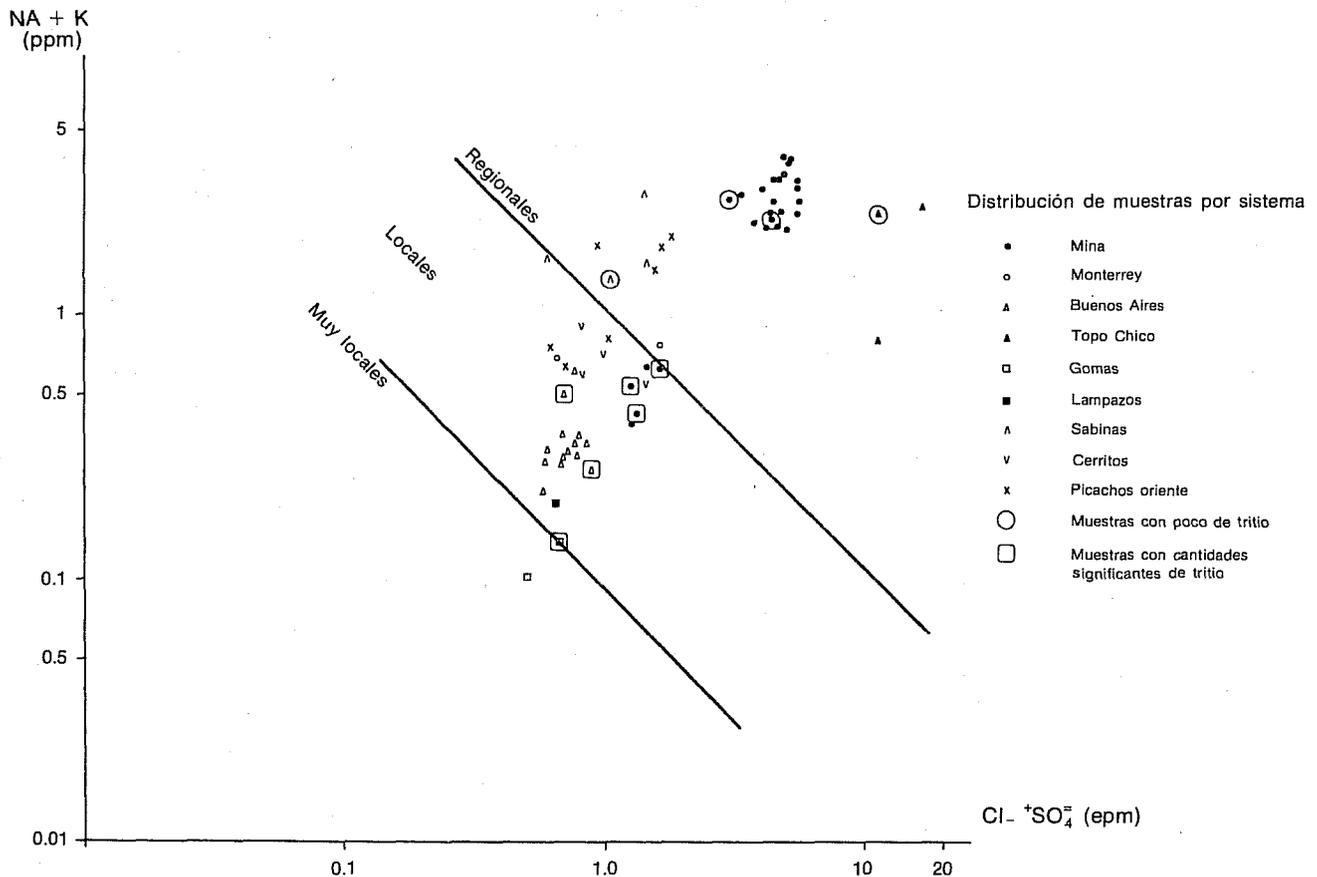
Higueras.

A lo anterior se aúna el hecho de que en las porciones norte y noreste del área de estudio, sobre el flanco occidental de la Sierra de Picachos, existen rocas ígneas intrusivas con gran cantidad de diques asociados. Uno de estos diques se localiza en la porción noroeste de la Sierra de Higueras, lo que posiblemente influye en el corte de la continuidad estructural del sistema.

Análisis hidrogeológico

De los 12 pozos perforados en el área, seis resultaron negativos (los pozos 2, 3, 6, 7, 8 y 10); uno por mala calidad del agua (pozo 3), cuatro debido a que se situaban fuera del sistema hidrogeológico de *Cerritos* —es decir, no corresponden a la misma estructura— y otro (pozo 6) por localizarse en el flanco occidental de la Sierra de Higueras, ya que, al parecer, no existe conexión hidráulica entre éste y el oriental de la Sierra de Mamulique, donde se encuentran emplazados los pozos productores del sistema hidrogeológico de *Cerritos* (véase ilustración 6).

4. Criterio hidrogeoquímico para clasificar sistemas hidrogeológicos en rocas calcáreas



En la ilustración 7 aparece una sección geológica de dicho sistema; en ella se señala la ubicación de los pozos productores, su profundidad y la de sus cámaras de bombeo. Del estudio de esa sección, se desprende que los pozos 9 y 5 tienen cámaras de bombeo poco profundas, además de que se encuentran emplazadas en la formación Cuesta del Cura, en términos generales muy fracturada y con pliegues de arrastre, por lo cual resulta muy inestable estructuralmente; a esto se debe que ambos pozos se hayan reportado como azolvados. Por su parte, el pozo 1 cuenta con una cámara de bombeo en la misma formación, aunque mucho más profunda; no obstante, a fines de 1981 presentaba pequeños arrastres de arcilla, lo

que motivó que la bomba de extracción se cambiara por una de menor capacidad.

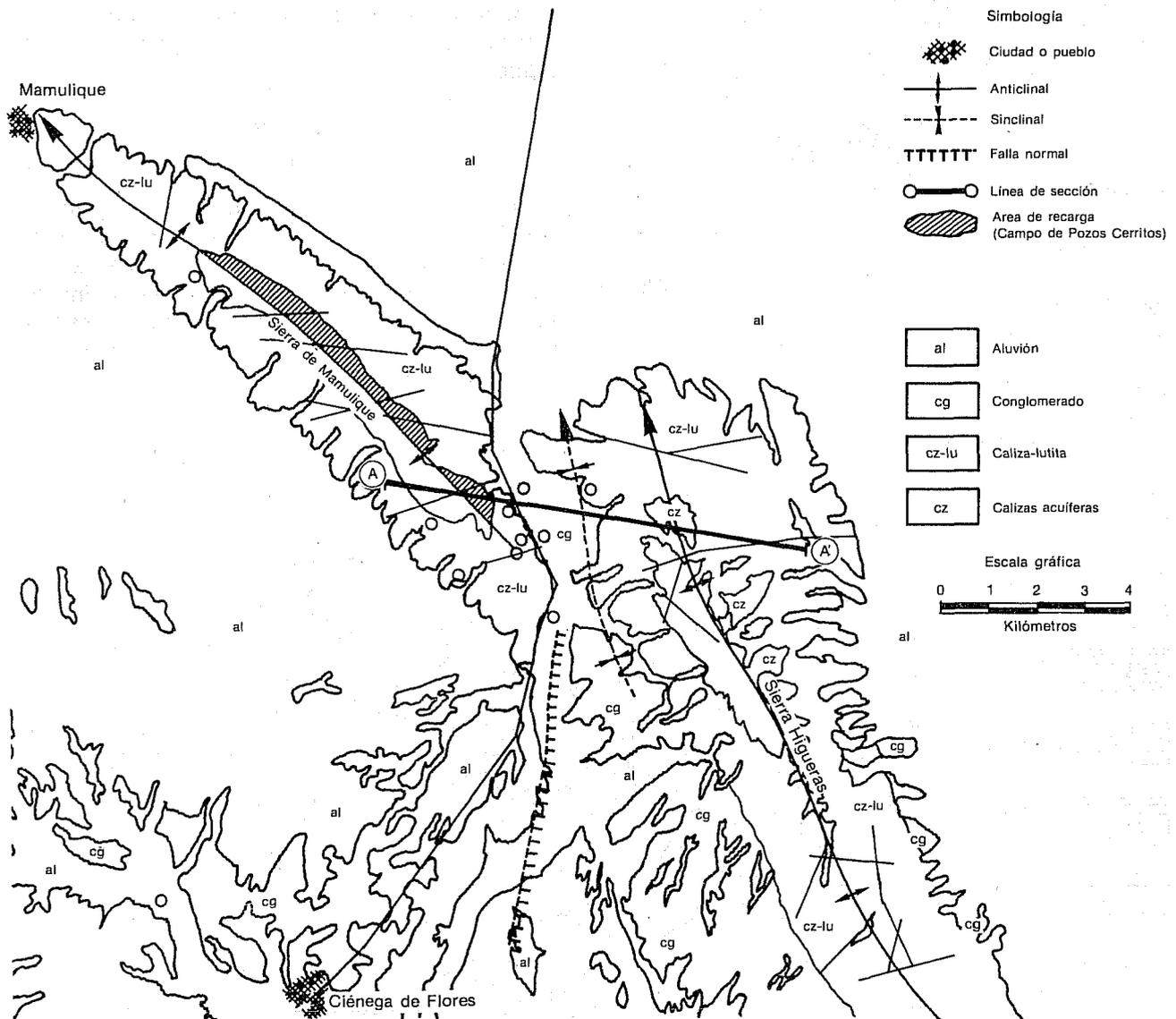
Cabe destacar que éste es el único pozo productor que penetra totalmente las formaciones acuíferas; de los restantes, la mayoría se clasifica como parcialmente penetrante, con excepción de los pozos 11 y 12, que tienen cámaras de bombeo más profundas y penetran el acuífero en un 85%.

Aspectos geohidrológicos

Estimación del volumen de recarga

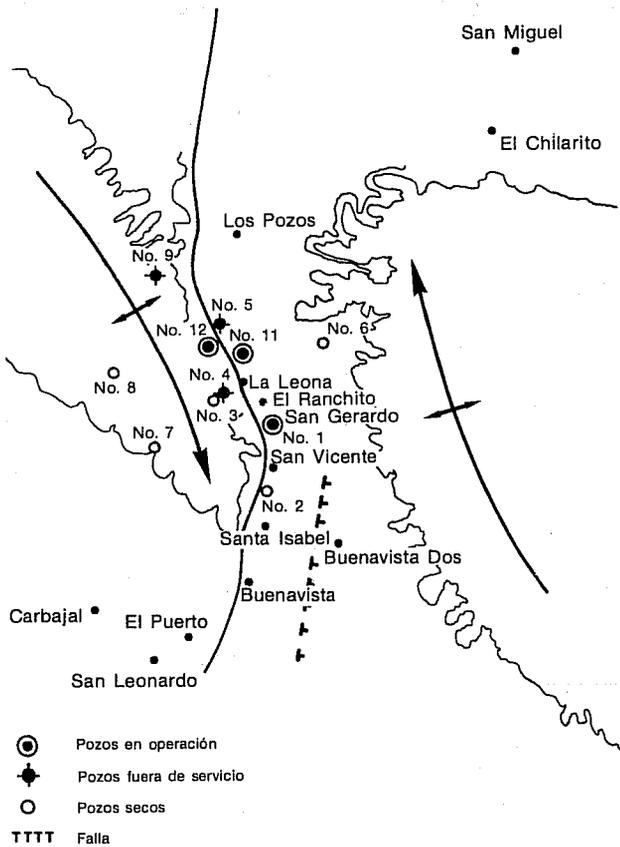
Con la información relativa a la precipitación registrada en las estaciones climatológicas corres-

5. Límites geológicos del sistema Cerritos



pendientes a Higueras y Ciénega de Flores, N. L., se realizó un análisis del periodo comprendido entre 1938 y 1981. Se calculó la precipitación

6. Localización de los pozos Cerritos



mensual del periodo de ambas estaciones y se estimaron dos tipos de años estadísticos: uno lluvioso y otro seco. En el primer caso se calculó la precipitación media mensual de todas las precipitaciones mayores que la media mensual histórica, mientras que el cálculo del año seco se basó en los valores inferiores a la media histórica.

El análisis estimativo de la recarga se realizó con base en las ecuaciones y metodología de Knisel (1972), quien propone a la lámina de recarga como una función de la precipitación; esta función es del tipo que se muestra en la ilustración 8. La ecuación de la curva hipotetizada es la siguiente:

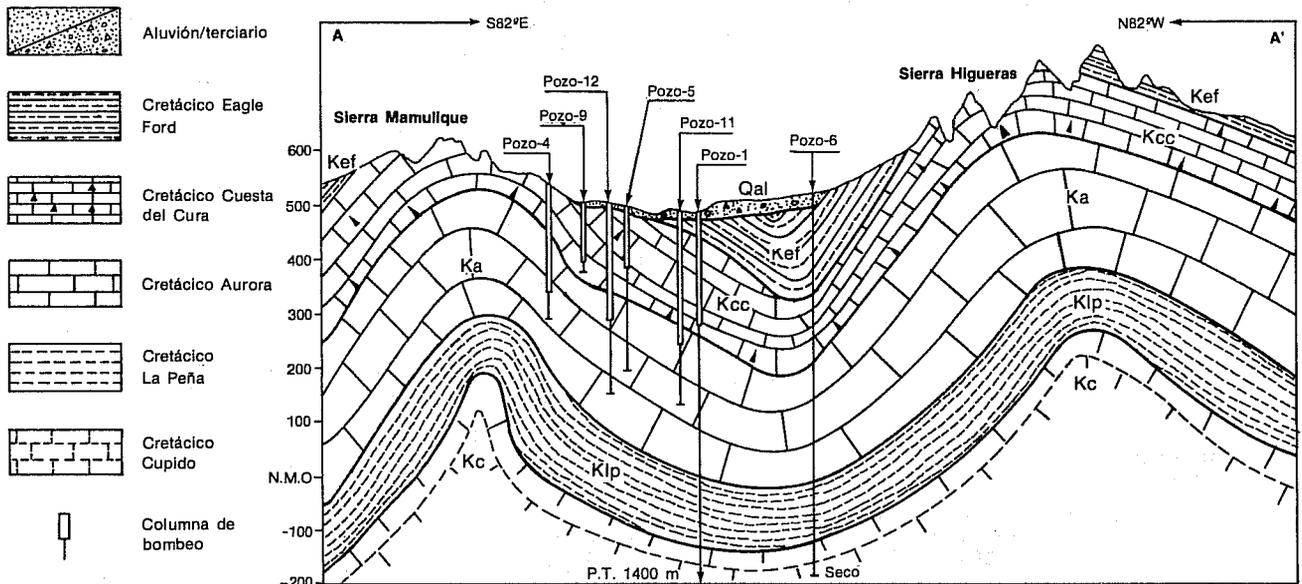
$$y = \frac{abx}{a^2 + x^2} \quad (1)$$

Si se sustituye y por la recarga r y x por la precipitación p , la ecuación puede expresarse como sigue:

$$r = \frac{abp}{a^2 + p^2} \quad (2)$$

La evaluación de a y b depende únicamente de la forma de operar; para el presente caso, los resultados fueron de 76.44 para a y de 1.604 para b , y representan la altura media a la cual se inicia el escurrimiento y su desviación estándar, respectivamente. Tomando en cuenta lo anterior, la ecuación para r sería:

7. Sección geológica transversal al sistema hidrogeológico Cerritos y ubicación de los pozos



$$r = \frac{122.61 p}{5843 + p^2} \quad (3)$$

donde r es un porcentaje de la precipitación p

Para obtener la lámina total de recarga, se multiplican ambos miembros de la ecuación por la precipitación p , por lo que:

$$R = \frac{122.61 p^2}{5843 + p^2} \quad (4)$$

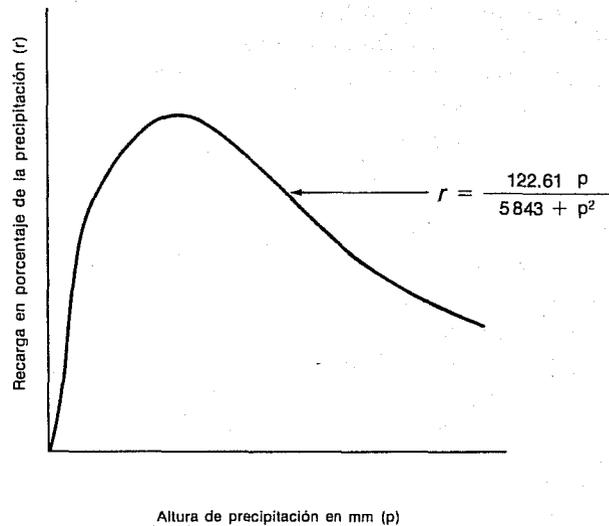
Partiendo de esta ecuación y tomando para p los valores de las precipitaciones mensuales máxima, media y mínima correlacionadas de las dos estaciones en cuestión, se elaboró el cuadro 1, que muestra los valores correspondientes a la lámina de recarga estimada para un año lluvioso, uno medio y uno seco.

Los volúmenes de recarga mensual máxima, media y mínima (cuadro 2) se obtuvieron al multiplicar los valores de la lámina de recarga por el área de recarga de la zona, que se calculó en 2.15 km². Así, los volúmenes anuales para los tres tipos de año considerados en el pronóstico fueron los siguientes: año lluvioso, con una recarga máxima de 1.7×10^6 m³; año medio, con una recarga de 1.0×10^6 m³, y año seco, con una recarga mínima de 0.4×10^6 m³.

Pronóstico del comportamiento hidrodinámico

El comportamiento de la curva de abatimientos medios del sistema presenta diversos cambios de pendiente, producidos por las variaciones en la extracción y por la influencia de la recarga como función de la precipitación (véase ilustración 9). Los ascensos de la pendiente están relacionados con el incremento de la extracción y la escasa

8. Recarga como una función de la precipitación



precipitación; por su parte, los descensos están vinculados con la presencia de precipitación en la zona, ya que la extracción se mantuvo constante. Sin embargo, los mayores incrementos en el abatimiento corresponden directamente al aumento de la extracción (por ejemplo, en los meses de julio de 1980 y agosto de 1981).

Con objeto de determinar el abatimiento medio en el régimen de explotación entre marzo de 1980 y septiembre de 1981, por medio de una gráfica se relacionaron los porcentajes de los incrementos mensuales en el volumen de extracción y de los abatimientos medios. La secuencia de puntos obtenida se ajustó a una curva de tipo exponencial, con un coeficiente de correlación de 0.83, y simula el comportamiento del régimen de explotación constante. (Véase ilustración 10).

1. Lámina de recarga en mm

Tipo de Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Lluvioso	36.7	30.9	25.4	70.9	75.3	95.5	81.6	109.4	110.8	78.3	36.4	30.1
Medio	11.17	8.83	9.4	26.5	48.1	64.0	43.6	80.1	95.0	48.2	13.6	10.2
Seco	2.186	1.903	1.676	4.663	15.425	24.910	16.174	27.494	62.460	18.769	2.901	1.942

2. Volumen de recarga en el sistema Cerritos (estimado) en m³

Tipo de Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Máximo	78 895	66 435	54 610	152 435	161 895	205 325	175 440	235 210	236 220	168 345	78 260	64 715	1,689 788
Medio	24 015	18 984	19 995	56 975	103 415	137 600	93 740	172 215	204 250	103 630	29 240	21 930	985 989
Mínimo	4 700	4 091	3 603	10 025	33 164	53 556	34 774	59 112	134 289	40 353	6 237	4 175	381 842

La recarga fue tomada implícitamente al agrupar las variaciones de los niveles correspondientes a los meses con poco abatimiento en un intervalo mayor (2 a 3 meses) que mostraba un abatimiento neto. De la gráfica respectiva se desprende que el incremento mensual del abatimiento es de 11.52%, con una extracción sostenida.

Posteriormente, se decidió atacar el problema en forma más adecuada, en virtud de que el análisis anterior carecía de un parámetro que considerara explícitamente la posible recarga del acuífero. Este punto queda como alternativa para predecir el funcionamiento hidrodinámico del sistema de pozos, debido a que se observó cierta similitud entre los pronósticos obtenidos mediante la primera técnica y los que se efectuaron con base en la metodología que en seguida se detallará.

Para llegar a una simulación más apegada al comportamiento del sistema acuífero, se calculó la recarga mensual estimada mediante el método de Knisel, descrito anteriormente. Así, se planteó una ecuación del comportamiento, tomando como base la relación causa-efecto; la ecuación básica es la siguiente:

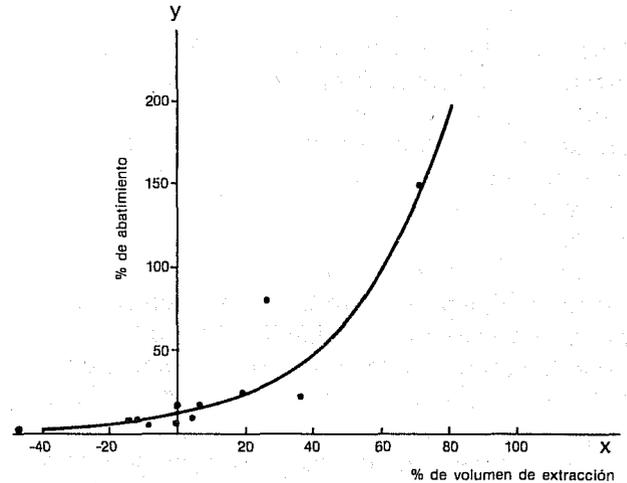
$$\Delta V = SA(y)\Delta Y \quad (5)$$

En esta ecuación, ΔV corresponde a la variación en el volumen del sistema y es igual a la recarga menos la extracción ($R-E$); S es el coeficiente de almacenamiento; $A(y)$ es el área drenada (en

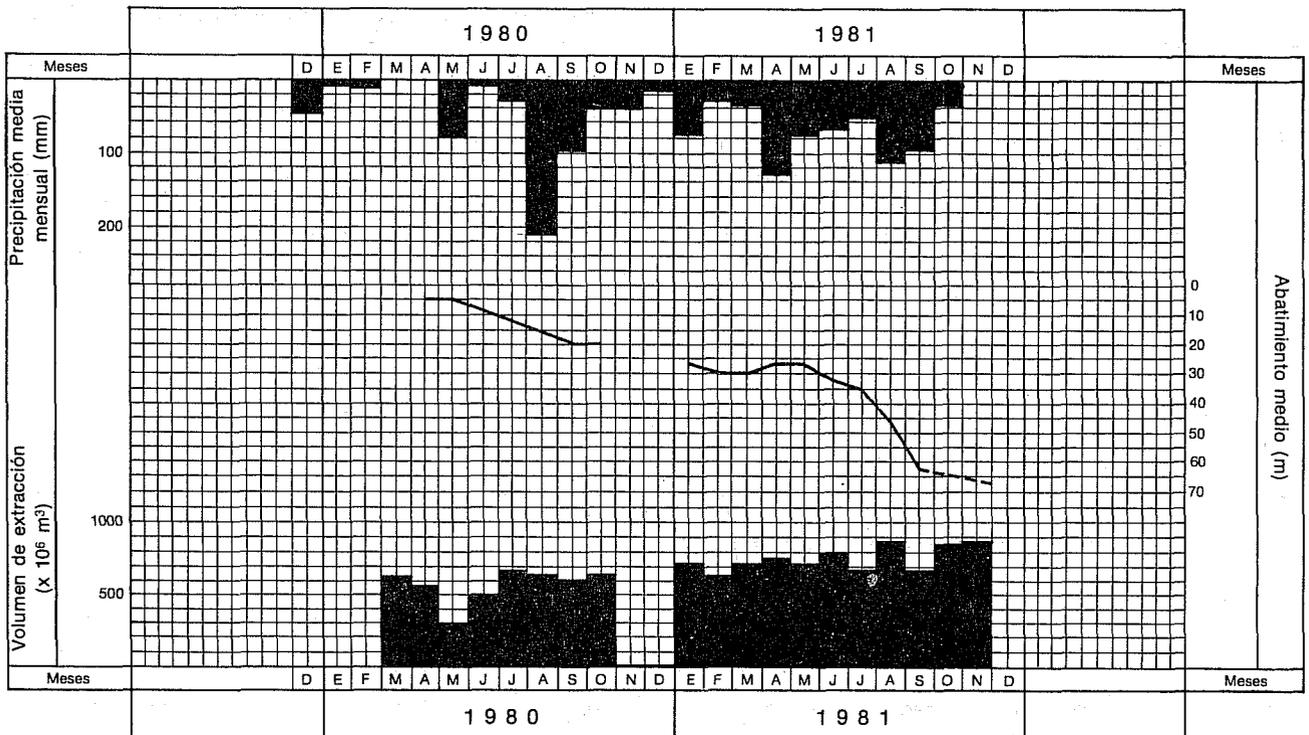
10. Abatimiento-volumen de extracción

$$y = 11.52 e^{0.04x}$$

$$r^2 = 0.83$$



9. Volumen de extracción, abatimiento medio y precipitación media mensual



planta), la cual es función de la profundidad (y), siendo ΔY la variación en la profundidad de los niveles del agua, es decir, el incremento del abatimiento, despejando a ΔY :

$$\Delta Y = \frac{\Delta V}{SA(y)}; \quad (6)$$

de donde
$$\Delta Y = \frac{(R-E) \times}{SA(y)} \quad (7)$$

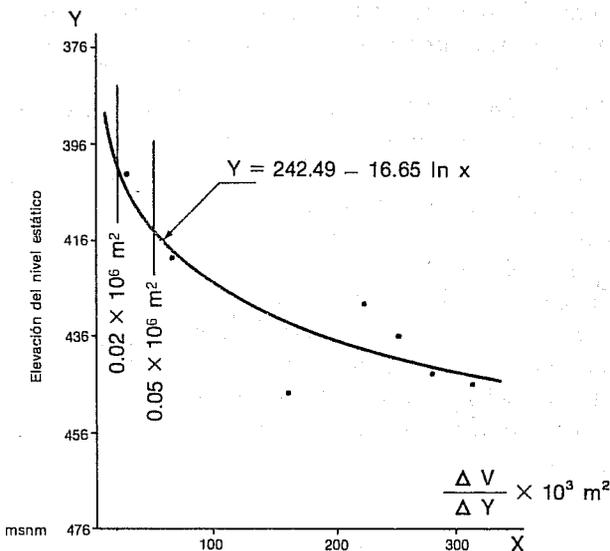
A causa de que el factor de área $SA(y)$ era desconocido, se trató de determinarlo, relacionando los incrementos de volumen y abatimiento (como un cociente) con la variación de la profundidad (cuadro 3). En la ilustración 11 se observa que el comportamiento del factor de área es exponencial y tiene dos valores: uno "optimista", de $0.05 \times 10^6 \text{ m}^2$, y otro "pesimista", de $0.02 \times 10^6 \text{ m}^2$. Ambos valores se sitúan hacia la porción asintótica de la curva entre los dos últimos datos reales conocidos.

Los dos valores del factor de área fueron aplicados en la ecuación anterior, con objeto de conocer el incremento de abatimiento como función del aumento en el volumen ΔV ; para ello se consideró un volumen de extracción mensual constante. El paso siguiente consistió en pronosticar los niveles del agua para el año de 1982. A fin de realizar esta estimación, se calculó la relación mensual entre el cambio de almacenamiento y el factor de área. El cambio de almacenamiento es la diferencia entre la recarga mensual estimada y la extracción mensual.

3. Cálculo del factor de área $SA(y)$

MES	(1) Precipitación mensual ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	(2) Lámina de recarga mensual ($\times 10^{-3} \text{ m}$)	(3) Recarga (m^3)	(4) Extracción mensual (m^3)	(5) ΔV_i (3)-(4) (m^3)	(6) ΔY_i Abatimiento (m)	(7) $\frac{\Delta V_i}{\Delta Y_i}$ (5)/(6) $SA(y) \times 10^6$ (m^2)	(8) Y_i Abatimiento (m)
1980								
MAY	80.4	64.9	138 438.5	299 550	-161 111.5	0	0	14.14
JUN	3.5	0.25	537.5	514 460	-513 922.5	- 5.03	+0.102 171 5	19.17
JUL	30.2	16.55	35 582.5	649 490	-613 907.5	- 6.89	+0.089 101 2	26.06
AGO	211.1	108.40	233 060.4	645 160	-412 099.5	- 2.25	+0.161 607 6	28.61
SEP	94.8	74.30	159 745.0	585 708	-425 963.0	- 1.35	+0.315 528 1	29.96
OCT	39.1	25.43	54 674.5	611 219	-556 544.5	- 1.98	+0.281 083 1	31.94
1981								
FEB	24.1	11.09	23 843.5	617 343	-593 409.5	- 2.35	+0.252 533 0	39.52
MAR	32.0	18.28	39 302.0	729 779	-690 477.0	0	0	39.51
ABR	136.1	93.21	200 401.5	750 003	-540 601.5	+ 2.94	-0.186 939 3	36.57
MAY	74.5	59.72	128 398.0	739 212	-610 814.0	- 1.86	+0.328 394 6	18.43
JUN	65.9	52.28	112 402.0	785 292	-688 800.0	- 4.96	+0.134 856 9	43.30
JUL	47.0	33.64	72 326.0	661 495	-589 169.0	- 2.62	+0.224 873 7	46.01
AGO	107.9	81.64	175 526.0	899 735	-742 209.0	-10.76	+0.067 305 7	56.77
SEP	87.7	69.67	149 790.5	637 794	-488 009.5	-15.63	+0.011 124 6	72.45

11. Criterio para determinar el factor de área



Análisis de los pronósticos por pozo

Al realizar el pronóstico de los niveles del agua para el caso del valor "pesimista" ($SA(y) = 0.02 \times 10^6 \text{ m}^2$), el resultado concordó con el funcionamiento último del sistema. Para efectuar este pronóstico se partió de dos hipótesis básicas, que son las siguientes:

- Una extracción constante de $830\,000 \text{ m}^3$ por mes.
- La distribución equitativa de este volumen entre los tres pozos productivos en la fecha del pronóstico (pozos 1, 11 y 12).

Cabe aclarar que cualquier cambio en una de las dos hipótesis, o en ambas, modificaría el pronóstico, ya que el sistema estaría sometido a condiciones de explotación-evolución de niveles que

no fueron consideradas en el presente estudio (véase ilustración 11). Los resultados para los pozos productores hasta 1982 son los siguientes:

Pozo número 12. El último registro para este pozo data de noviembre de 1981, por lo que el abatimiento de diciembre de ese año se consideró igual al pronosticado para el mes de diciembre de 1982.

De acuerdo con la ilustración 12, relativa al pronóstico de abatimiento, el pozo debería dejar de ser productivo a finales de enero de 1982, en el caso de un año seco, o a principios de febrero del mismo año, en el caso de un año lluvioso. Este pronóstico fue acertado, debido a que el pozo dejó de producir en los últimos días de enero de 1982.

Pozo número 11. En el caso de este pozo, los datos disponibles con respecto a los niveles abarcaron hasta diciembre de 1981, mes en que se inició la predicción para 1982. (Véase ilustración 13). El pronóstico basado en el valor "pesimista" reveló que el pozo debería terminar su operación en abril de 1982, independientemente del tipo de

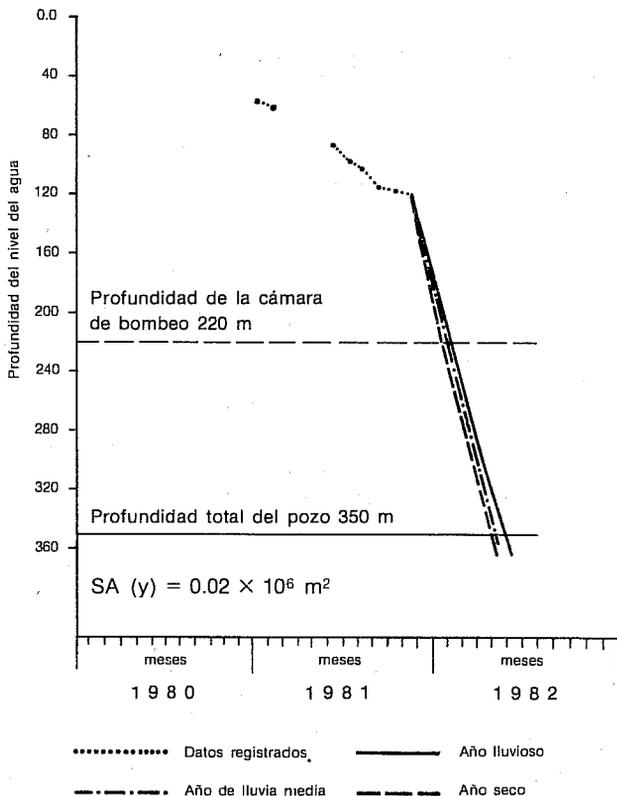
año que fuese.

Pozo número 1. El último dato disponible con relación a este pozo se refiere a noviembre de 1981, mes en el cual se realizó el pronóstico. El primer abatimiento obtenido correspondió a diciembre de 1981; debido a que se carecía de una mejor aproximación, se utilizó la misma técnica que en el caso del pozo número 12. Tomando como base el valor "pesimista", se pronosticó que el pozo dejaría de producir en febrero de 1982, pues el abatimiento llegaría a la profundidad misma de la cámara de bombeo (véase ilustración 14).

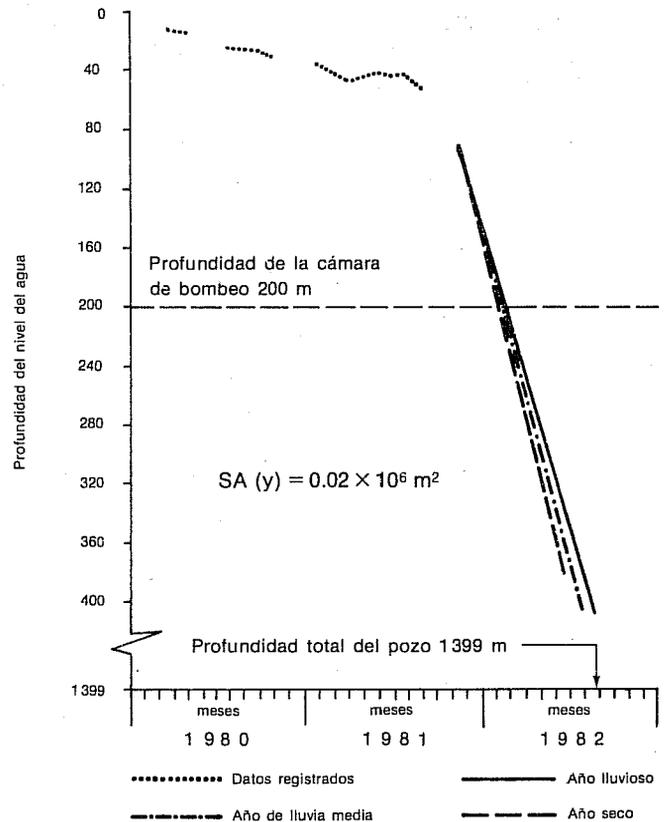
Conclusiones

- El acuífero explotado por el conjunto de pozos de la zona de Cerritos corresponde a un sistema hidrogeológico calcáreo de carácter local, con capacidad de almacenamiento pequeña.
- Del total de pozos perforados, los pozos 2, 3, 6, 7, 8 y 10 resultaron negativos, porque se ubicaban fuera del sistema hidrogeológico de Cerritos, y se localizaban en una zona donde no existe continuidad hidráulica.

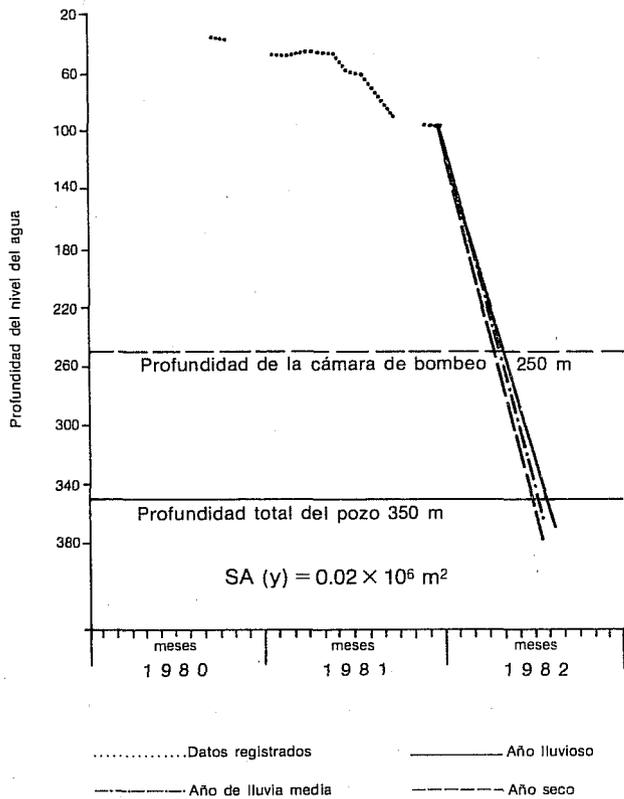
12. Hidrógrafo y pronósticos del pozo 12



13. Hidrógrafo y pronósticos del pozo 1



14. Hidrógrafo y pronósticos del pozo 11



- La falta de una política de explotación adecuada, el carácter local del acuífero y su baja capacidad de recarga dieron por resultado el continuo abatimiento de los niveles de agua en los pozos.
- De los cinco pozos productores perforados inicialmente (1, 4, 5, 9 y 11), los pozos 4, 5 y 9 fueron saliendo de operación, debido a que sus cámaras de bombeo son poco profundas y se ubican en una formación geológica inestable.
- El hecho de mantener el suministro de agua a la refinería mediante el incremento del caudal alternado de los pozos en operación —con un volumen de extracción promedio de 830 000 m³/mes—, ocasionó que los pozos en los cuales se rebasaba la profundidad de la cámara de bombeo fuesen quedando fuera de servicio.
- Al relacionar los porcentajes de incremento del volumen de extracción con los de abatimientos medios, se encontró que cuando el caudal de extracción se mantuvo constante, el incremento mensual de abatimiento medio fue de 11.52%.
- Los resultados del pronóstico para los pozos productores hasta 1982 son los siguientes:

Considerando el valor "pesimista" del factor de área, el pozo 12 dejaría de producir a finales de enero de 1982, si se tratase de un año seco, o a principios del mes siguiente, en el caso de un año lluvioso.

Con respecto al pozo 11, se pronosticó que, con el mismo esquema de extracción (830 000 m³/mes), cerraría sus operaciones en abril de 1982, independientemente de las condiciones de precipitación prevalecientes. En las mismas condiciones, el pozo 1 dejaría de ser productivo en febrero de 1982.

- Desgraciadamente, el pronóstico para el pozo 12 se cumplió y, al romperse el esquema de extracción, se procedió a un nuevo análisis.

Recomendaciones

- Es necesario rehabilitar los pozos 4, 5 y 9, los cuales se reportaron como azolvados, labor que debe incluir su profundización, ya que actualmente sólo atraviesan la formación Cuesta del Cura, estructuralmente inestable y con capacidades acuíferas reducidas.
- La profundidad recomendable para estos pozos estaría determinada por el contacto entre las formaciones Aurora y La Peña, ya que la segunda es el basamento del acuífero.
- En el futuro, para la identificación de alguna zona de explotación acuífera, deberá realizarse un estudio geohidrológico completo y detallado.
- De acuerdo con los resultados del estudio geohidrológico de referencia, y considerando el comportamiento del acuífero del Sistema de Pozos Cerritos, el abastecimiento de la refinería de Cadereyta deberá prever fuentes alternativas que aseguren el suministro de agua necesario para realizar sus procesos.
- Debe tomarse en cuenta que no es recomendable planear para el largo plazo la explotación de sistemas hidrogeológicos calcáreos plegados de carácter local, como los ubicados al norte de Monterrey.
- Antes de ubicar un área productiva de una gran magnitud (como una refinería) deberán realizarse estudios que consideren tanto el volumen de agua requerido como el disponible en la zona.

* El tritio es un compuesto escaso en aguas infiltradas antes de la década de los cincuenta (CPNH, 1980) y, por el contrario, abundante en aguas cuya infiltración es relativamente reciente.

Comisión del Plan Nacional Hidráulico. *Determinación del funcionamiento geohidrológico de los acuíferos de la zona de Monterrey, N.L.*, Dirección de Inventarios de Agua y Suelo, México, 1980.

Custodio, E. y Llamas, M.R. *Hidrología subterránea*, Barcelona, Ed. Omega, 1979.

Ingenieros Consultores y Proyectistas, CIEPS. *Estudio*

geohidrológico de acuíferos regionales en calizas; zona Monterrey, SRH, CAPM, México, 1968.

Knisel G., Walter. *Response of Karst Aquifers to Recharge Hydrology Papers*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, núm. 60, 1972.

Moxey, D.G., y Mifflin, D.N., Occurrence and movement of groundwater in carbonated rocks of Nevada, National Speleol. Soc., Bull, Vol. 28, No. 3.