

## ESTUDIO EXPEDITIVO PARA LA OBTENCION DE UNA NUEVA ZONA DE BOMBEO PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA A LA CIUDAD DE PIGÜE (PROVINCIA DE BUENOS AIRES)

WEINZETTEL, Pablo<sup>1</sup>; MENDEZ ESCOBAR, Raúl<sup>1</sup> y USUNOFF, Eduardo<sup>1</sup>

### RESUMEN

Este trabajo presenta de forma sintética las diversas tareas cumplidas orientadas hacia la delimitación de una zona de bombeo que pudiese contar con agua de buena calidad y en cantidad suficiente como para complementar el actual suministro de la ciudad de Pigüé, en la Provincia de Buenos Aires. Con bases en un censo de niveles de agua en 36 perforaciones y obtención de muestras de agua en 46 puntos, se elaboraron mapas de isopiezas y de isotenores de las especies químicas de interés. Esta información orientó la localización de seis sondeos eléctricos verticales, que definieron la posición de basamento (entre 130 y 230 m de profundidad) y los niveles que, dentro del acuífero, podrían resultar económicamente más explotables. La síntesis de estas labores fue la perforación y ensayo exitoso de un pozo piloto en un sector con características hidrogeológicas adecuadas y con bajos tenores de nitrato, que fue la variable química limitante.

Finalmente, se construyó y ensayó el pozo de bombeo definitivo. Los datos recogidos revelan la presencia de un fenómeno que, tentativamente, ha sido interpretado como drenaje diferido. La simulación de este modelo hidráulico sugiere que el efecto es todavía distinguible a tres días de iniciado el bombeo a caudales medios.

### ABSTRACT

This paper summarizes the various tasks carried out in defining a pumping area with waters of quality and quantity good enough to be able to complement the current water supply of Pigüé City, Buenos Aires Province. Based on a water-level survey of 36 wells and water sampling at 46 locations, a water-level contour map and isocontent maps of the relevant chemical species were drawn. Such information was used to locate six vertical electrical sounding logs, which defined the basement depth (between 130 and 230 m) and the water-carrying levels able to be economically exploited. As the results of the work done up to this point, an exploration well was drilled and tested on a place deemed to have adequate hydrogeological characteristics and with low nitrate concentrations, which turned out to be the limiting chemical variable.

Finally, a pumping well was drilled and tested. Data from those tests revealed the presence of an alleged delayed yield effect. A simulation of such a hydraulic model suggested that the effect is still in effect after three days of pumping at a moderate discharge rate.

### INTRODUCCION

El propósito de las actividades que se comentarán en este trabajo fue el de identificar una nueva zona de captación de aguas subterráneas que ofreciera las mejores posibilidades para la obtención de agua de buena calidad y en caudales suficientes para complementar el abastecimiento de la ciudad de Pigüé, cuya población es de 15000 habitantes.

La zona de estudio se ubica al SO de la Provincia de Buenos Aires y al norte de las sierras del Sistema de Ventana, abarcando un área de 40 km<sup>2</sup> (Fig.1). La localidad se encuentra prácticamente al pie de los afloramientos paleozoicos, en un ambiente de piedemonte, dominado por la presencia de amplias lomadas alargadas, con pendientes que van desde el 4 % al 1 %. A unos 5 km al sur de la ciudad tiene sus nacientes

<sup>1</sup> Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA), Intendente Giraut s/n, 7300 Azul, Provincia de Buenos Aires  
TE 0281-22903; FAX 0281-22000

el arroyo Pigüé, que, luego de bordearla, se une con su afluente, el arroyo Curamalal Chico. Ambos cursos de agua drenan la vertiente noroccidental de las sierras.

A la fecha la ciudad dispone de seis perforaciones que bombean en total 350 m<sup>3</sup>/h. Las captaciones se encuentran en las cercanías del arroyo Pigüé y han sufrido en los últimos años un fuerte incremento en la concentración de nitrato, llegando en algunos casos a tenores de 200 ppm. A este problema se sumó la necesidad de aumentar la oferta de agua de consumo. Los pozos tienen una profundidad promedio de 60 metros y atraviesan en casi todos los casos una litología compuesta por limolitas y limos arenosos y finalizan al comenzar un nivel de gravas.

Los trabajos se llevaron a cabo entre febrero y septiembre de 1993 (IHLLA, 1993a, 1993b y 1993c). Se comenzó con un censo de 44 perforaciones de tipo domiciliarias, industriales, y molinos. En cada pozo se extrajo una muestra a la que se le realizó un análisis físico-químico completo, para volcar luego los resultados a los correspondientes mapas de isotenores de las especies químicas más relevantes. En 36 pozos se midió el nivel estático y se niveló para obtener el mapa de isopiezas y la dirección del flujo subterráneo. Por último se ubicaron seis sondeos eléctricos verticales (SEV) que definieron la profundidad del basamento hidrogeológico y el espesor acuífero disponible.

Luego de la evaluación de toda la información obtenida se decidió la ubicación de un pozo de ensayo, que arrojó muy buenos resultados y alentó para la perforación de un pozo de explotación en el sitio.

## PIEZOMETRIA

A partir de las medición y nivelación de 36 pozos se confeccionó el mapa piezométrico que se muestra en la Fig.1, donde se han dibujado las líneas isopiezas con una equidistancia de 2 metros. Ambos arroyos son efluentes, observándose que entre ellos el flujo es radial divergente con perfil hiperbólico, y con un gradiente promedio del 0.5 %. En el sector céntrico las curvas están distorsionadas por la influencia del bombeo permanente de los pozos de explotación. Esta situación produce que los filetes del flujo converjan hacia dichos pozos con el consiguiente transporte de aguas de baja calidad que predominan en la zona céntrica. Al oeste del arroyo Pigüé las curvas están más espaciadas que en el sector anterior, y se presenta nuevamente una distorsión debida al bombeo intenso de tres pozos de una planta fabril. La piezometría de esta zona ha sido determinada a partir de menos puntos de control con respecto al sector este del arroyo, por lo que el diseño presentado es aproximado.

## HIDROQUIMICA

Se analizaron 44 muestras de aguas subterráneas y una de cada arroyo, con determinación del pH, la conductividad eléctrica, la temperatura, la dureza total, la alcalinidad y las concentraciones de cloruro, sulfato, nitrato, fluoruro, calcio, sodio y potasio (todos ellos por técnicas estándar). Las concentraciones de magnesio fueron obtenidas por diferencia entre la dureza total y el contenido de calcio. La integridad de los análisis fue corroborada con el programa ANAQUIM (Usunoff y Morano, en prensa). A manera de resumen, en la Tabla 1 se muestran las medias y las desviaciones estándar de las mediciones efectuadas.

Para clasificar el agua subterránea según su composición química, se utilizó el diagrama de Piper que se muestra en la Fig.2. La distribución de los análisis representados en el diagrama muestra que el agua es en general bicarbonatada sódica, salvo las muestras correspondientes a los pozos ubicados en el sector urbano que son del tipo cloruradas cálcicas.

Las muestras del casco urbano (zona centro) presentan tenores muy elevados de nitrato, cloruro y dureza (como ejemplo, una de las muestras posee 910 ppm de nitrato, 202 ppm de cloruros y una dureza de más de 1000 ppm de carbonato de calcio). Esto demuestra el grado de contaminación en los primeros 30 metros acuíferos en la zona urbana. Esta situación se debe seguramente a un número importante de pozos ciegos que no han sido desactivados, pese a que la ciudad desde hace 20 años cuenta con servicio de cloacas. A esto se suma el nitrato remanente de cuando la población no tenía servicios cloacales, ya que según lo informado por Obras Sanitarias la contaminación de los primeros niveles acuíferos en aquel momento era muy severa. Otro punto importante a tener en cuenta ha sido el ascenso continuo del nivel freático en los últimos años, según lo expresado por los perforistas de la zona.

En el mapa de isotenores de nitrato (Fig.3) se ve claramente las altas concentraciones que alcanza esta ión en la parte central de la ciudad. Cabe aclarar que los pozos censados en este sector son relativamente nuevos, de una profundidad promedio de 30 metros y construídos con dudosa aislación. También pueden observarse dos zonas con tenores de menos de 15 ppm, a las que se les prestó suma atención al momento de ubicar un pozo de ensayo.

El flúor tiene una distribución errática en toda la zona de estudio con valores que oscilan entre 3.2 y 0.6 ppm. El agua es en general moderadamente dura, con valores promedio de 140 ppm de  $\text{CaCO}_3$ , salvo en algunos sectores cercanos a los afloramientos y en la parte SE donde los valores promedian 80 ppm de  $\text{CaCO}_3$ .

## RELEVAMIENTO GEOELECTRICO

Los sondeos eléctricos verticales (SEV) efectuados, referenciados en la Fig.1, se ubicaron teniendo en cuenta la información obtenida de los mapas de isopiezas y de nitrato. De los seis SEV realizados, uno se descartó por presentar valores de resistividad claramente anómalos. Los SEV muestran el basamento hidrogeológico a profundidades de 130 metros (SEV 3) y de 230 metros (SEV 1), observándose un hundimiento hacia el NO en coincidencia con los registros sísmicos realizadas por el C.I.A.S. en esta zona (Arigós, 1969).

La columna obtenida a partir de la información geoelectrónica comienza con una capa altamente resistiva (110 a 340  $\Omega\text{m}$ ) a una profundidad de 1 a 2 metros y con espesores de 0.5 a 5 metros, correspondiente a niveles de tosca. Continúan niveles de 30 a 70 metros de espesor con resistividad promedio de 20  $\Omega\text{m}$  que son asignadas a limolitas y limos arenosos. En profundidad se registran resistividades del orden de 8 a 10  $\Omega\text{m}$  correspondientes a gravas y arenas mal seleccionadas y con intercalaciones de niveles arcillosos, según se pudo constatar en la perforación piloto realizada en la ubicación del SEV 2, que encontró dicho nivel de gravas a la profundidad de 88 metros. Los perfiles de los pozos de Obras Sanitarias ubicados en las proximidades del arroyo Pigüé y el de un sondeo realizado también por esta empresa hace varios años en el sector del SEV 5, muestran un nivel de gravas gruesas a partir de los 54 metros de profundidad, por lo que podría asumirse cierta continuidad de dicho nivel en el área.

## POZO DE ENSAYO Y POZO DE EXPLOTACION

La perforación de ensayo se ubicó en el sector correspondiente al SEV 2, ya que la información obtenida mostraba a la zona como la más favorable. La perforación se realizó con perforadora rotativa, con obtención de detritos metro a metro, y muestras de agua cada 20 metros mediante cuchareo para observar las posibles variaciones químicas en profundidad, fundamentalmente de los tenores de flúor y nitrato. Se realizó un ensayo de producción a pozo desnudo, con obtención de agua de muy buena calidad química. Ante lo auspicioso de los ensayos se decidió la perforación en el lugar de un pozo de explotación de 77 m de profundidad. Culminada esta tarea, el pozo definitivo fue ensayado a caudal constante y variable con mediciones en la propia captación y en un pozo de observación situado a 19 m.

**Ensayo a caudal constante:** la bomba se operó a un caudal de 79  $\text{m}^3/\text{h}$  y los descensos se midieron hasta no advertir mayores diferencias entre los últimos valores adecuadamente espaciados en escala logarítmica de tiempos (11 horas). Es importante consignar que, a pesar de la aparente estabilización, el análisis posterior reveló que los pares de datos de descenso-tiempo se situaban por debajo de la curva patrón de Theis. Ante esta evidencia, se apeló a la teoría del drenaje diferido en acuíferos libres. Utilizando curvas patrón (Prickett, 1965) se logró un buen ajuste para un  $r/D$  de 0.6, con transmisividades aproximadamente coincidentes para las curvas A y B del gráfico patrón ( $T_A = 332 \text{ m}^2/\text{día}$ ,  $T_B = 328 \text{ m}^2/\text{día}$ ). Sin embargo, la diferencia porcentual entre los valores del coeficiente de almacenamiento ( $S = 0.00531$ ) y del rendimiento específico ( $S_y = 0.107$ ) indica que el bombeo no tuvo la duración suficiente para que cesara el hipotético drenaje diferido (Custodio y Llamas, 1976). Con los valores consignados se realizó una simulación con el programa GW (Clarke Computer Services, 1990), que hace uso de la teoría de drenaje diferido de Neuman (1975), y se obtuvo un excelente ajuste con respecto a los descensos medidos durante el bombeo en el pozo de observación. Este ejercicio demostró que, de resultar aproximadamente correctas las hipótesis efectuadas, el drenaje diferido

es aún perceptible a tres días de iniciado el bombeo. Cabe señalar que las mediciones de recuperación de los niveles luego de finalizado el bombeo indican, nuevamente, que el acuífero recobra su nivel original a un ritmo mayor que el que se registraría de no existir el drenaje diferido.

Las muestras obtenidas durante el bombeo señalan que el agua es de excelente calidad química, con concentraciones siempre por debajo de los valores medios mostrados en la Tabla 1 (por ejemplo, el contenido de nitrato fue de 8.3 ppm).

**Ensayo a caudal variable:** los escalones de bombeo fueron de 33, 60 y 90 m<sup>3</sup>/h, a los que le correspondieron respectivamente descensos de 5.58, 10.86 y 17.80 m en el pozo de bombeo (descensos cuasi-estabilizados). La ecuación no lineal que mejor vincula a estos datos, ajustada mediante el uso del código de Metzler y Weiner (1985), es la siguiente:  $s = 0.160931 * Q + 4.3 \times 10^{-5} * Q^{2.5}$  (coeficiente de correlación cercano a 1). Se concluye que el diseño de la captación y su ejecución efectiva han resultado muy aceptables en virtud del peso relativo del primer término de la ecuación (pérdidas de carga por causas naturales) con respecto al segundo (pérdidas de carga por efectos de un mal diseño, perforación y acabado del pozo).

## CONCLUSIONES

El carácter expeditivo del estudio no fue obstáculo para el logro de los objetivos de partida, es decir la identificación fehaciente de un área muy promisoriosa para la provisión de aguas destinadas al consumo humano en la ciudad de Pigüé. Sin embargo, el dilucidar si el sector ofrece posibilidades concretas de convertirse en un campo de pozos dependerá de ensayos hidrodinámicos de larga duración que garanticen la obtención de parámetros hidráulicos genuinos, que, a la luz de algunos datos de este estudio, deben reflejar el tipo y características del efecto de recarga detectado.

## AGRADECIMIENTOS

A las autoridades de la Municipalidad de Saavedra que financiaron los estudios mencionados y que, generosamente, permitieron la divulgación de los resultados con clara conciencia del significado que ello tiene para los profesionales participantes.

## BIBLIOGRAFIA

ARIGOS, L., 1969. El agua subterránea en el oeste de la Provincia de Buenos Aires. pp. 51-78 en Relatorio de la Reunión Sobre la Geología del Agua Subterránea de la Provincia de Buenos Aires, La Plata, 30 y 31 Octubre 1969, C.I.C.

CLARKE COMPUTER SERVICES, 1990. GW: Groundwater hydraulics analysis. Clarke Computer Services Public., Sidney, Australia, 50 p.

CUSTODIO, E. y R. LLAMAS, 1976. Hidrología subterránea. Vol. I. Ediciones Omega, Barcelona, 1157 p.

IHLLA, 1993a. Hidroquímica del sector urbano y suburbano de la ciudad de Pigüé (Partido de Saavedra) y resultado de sondeos eléctricos verticales en locaciones seleccionadas. Informe IHLLA, 12 p.

IHLLA, 1993b. Perforación piloto y diseño de un pozo de explotación de aguas subterráneas en la ciudad de Pigüé (Partido de Saavedra) Informe IHLLA, 14 p.

IHLLA, 1993c. Perforación, acabado y ensayo de un pozo de explotación de aguas subterráneas en la ciudad de Pigüé (Partido de Saavedra). Informe IHLLA, 15 p.

METZLER, C. y D. WEINER, 1985. PCNONLIN: User's guide, version 1.A. Statistical Consultants, Lexington, 121 p.

NEUMAN, S., 1975. Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed gravity response. *Water Resources Research*, Vol. II, N° 2, pp. 329-342.

PRICKETT, T., 1965. Type-curve solution to aquifer tests under water table conditions. *Ground Water*, Vol. 3, N° 3, pp. 1-5.

USUNOFF, E. y M. MORANO. Control de calidad y procesamiento primario de datos químicos en Hidrología. En prensa, C.I.C.

Tabla 1.- Media ( $\mu$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ) de las mediciones (valores en ppm, salvo C.E. en  $\mu\text{mhos/cm}$  a 25 °C).

	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	C.E.
$\mu$	55.6	13.8	104.1	5.69	45.4	73.6	30.2	10.8	316.8	1.5	826
$\sigma$	60.3	12.2	32.0	1.47	33.6	144.8	16.0	4.9	66.8	0.7	362

Figura 1.- Ubicación del área, de los pozos censados, de los sondeos eléctricos verticales y mapa isofreático.

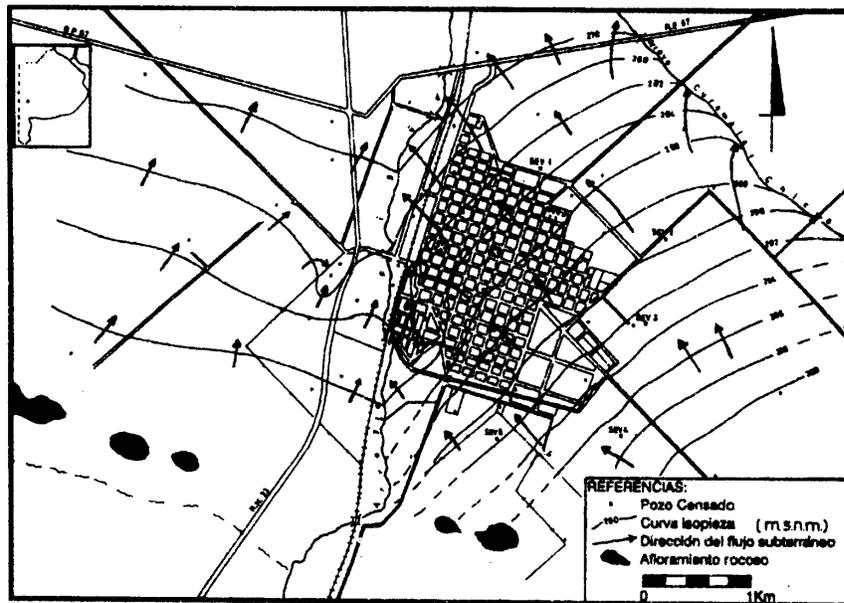


Figura 2.- Diagrama de Piper.

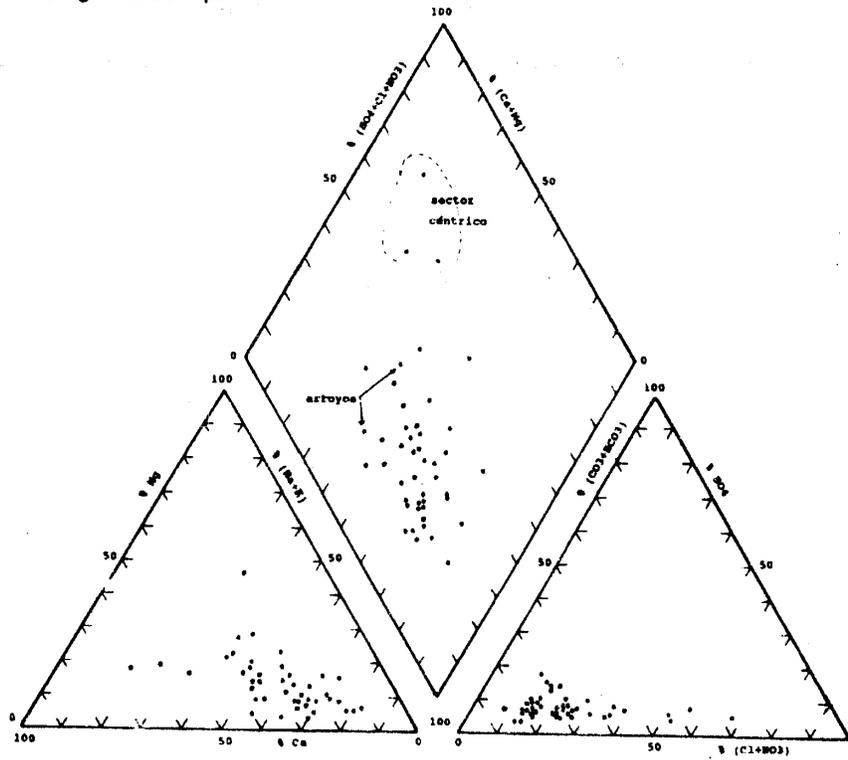


Figura 3.- Distribución areal del ión nitrato (ppm).

