

ACTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO DEL ACUÍFERO SEMICONFINADO PUELCHE EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA.

Miguel P. Auge^(*), Mario A. Hernández^(**) y Lisandro Hernández^(***)

^(*) Cátedra de Hidrogeología. Universidad de Buenos Aires – CONICET auge@way.com.ar

^(**) Cátedra de Hidrogeología. Universidad Nacional de La Plata – CONICET mario_h@sinectis.com.ar

^(***) Cátedra de Fundamentos de Geología. Universidad Nacional de La Plata lisandro_h@sinectis.com.ar

Resumen. El Acuífero semiconfinado *Puelche* es el más importante de Argentina por sus reservas, calidad, explotación actual y diversidad de usos. Su extensión es del orden de 240.000 km² en las provincias de Santa Fe, Entre Ríos, Córdoba y Buenos Aires; en esta última ocupa unos 92.000 km². Auge y Hernández (1984) realizaron el primer estudio regional del mismo en la Llanura Bonaerense, determinando sus características físicas, geohidrológicas, hidráulicas y químicas. A casi veinte años, nueva información, producto de exploración y explotación con propósitos diversos, permite actualizar su conocimiento, la relación con otras unidades y los efectos de más de un siglo de aprovechamiento. El espesor del Puelche varía entre 20 y 90 m, aumentando ligeramente hacia los ríos Paraná - de la Plata y marcadamente hacia la cuenca del Salado y el Cabo San Antonio. Está limitado superiormente por un acuitardo ($T \sim 5 \cdot 10^{-4} \text{ día}^{-1}$) e inferiormente, por un acuicludo que lo separa del Acuífero *Paraná*. Sus parámetros hidráulicos medios son: T 500 m²/d; K 30 m/d; S $3 \cdot 10^{-3}$; $\theta 2 \cdot 10^{-1}$. La recarga es autóctona indirecta a partir del Acuífero *Pampeano*, donde éste posee carga hidráulica positiva. La descarga regional ocurre hacia las cuencas Paraná-de la Plata y Salado. Los gradientes hídricos medios son del orden de $5 \cdot 10^{-4}$ y la velocidad efectiva varía desde $8 \cdot 10^{-2}$ a más de 300 m/d, en los conos regionales de depresión. En la mayor parte del área posee aguas de baja salinidad (bicarbonatadas sódicas), desmejorando hacia la zona de descarga con más de 20.000 ppm (cloruradas sódicas).

Abstract. The semiconfined *Puelche* Aquifer is the most important in Argentina on account of its reserves, quality, exploitation and diversity of uses. It covers 240,000 km² extending over the provinces of Santa Fe, Entre Ríos, Córdoba and Buenos Aires (92,000 km²). Auge & Hernández (1984) conducted the first regional study of this aquifer in the plains of Buenos Aires province, determining its physical, geohydrological, hydraulic and hydrochemical properties. New information, gathered over a period of nearly twenty years through exploration and exploitation activities, has allowed the authors to update this knowledge, as well as the relation with other units and the effects of over 100 years of exploitation. The thickness ranges from 20 to 90 m, increasing slightly towards the Paraná and de la Plata rivers, and markedly towards the Salado river and the San Antonio cape. It is limited at the top by an aquitard ($T \sim 5 \cdot 10^{-4} \text{ day}^{-1}$) and at the bottom by an aquicludo, which separates it from the *Paraná* Aquifer. Its mean hydraulic parameters are: T 500 m²/d; K 30 m/d; S $3 \cdot 10^{-3}$; $\theta 2 \cdot 10^{-1}$. The recharge is indirect autochthonous through the *Pampeano* Aquifer, in the sites with positive hydraulic head. The regional discharge is towards the basins of Paraná - de la Plata and Salado rivers. The mean hydraulic gradients are of the order of $5 \cdot 10^{-4}$ and the effective velocity ranges from $8 \cdot 10^{-2}$ to more than 300 m/day in regional drawdown cones. Most of the area has low salinity (sodium bicarbonate waters); the salinity increase towards the discharge areas with over 20,000 ppm (sodium chloride waters).

Keywords: Geohidrología regional, acuífero Puelche, grandes llanuras, Pcia. de Buenos Aires, Argentina (Regional geohydrology, *Puelche* Aquifer, Large flatlands, Buenos Aires Province, Argentina)

INTRODUCCIÓN

En el año 1984, a propósito de la realización del Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras, Auge y Hernández presentaron una contribución al conocimiento del Acuífero Puelche en el ámbito de la Provincia de Buenos Aires. Este acuífero semiconfinado es actualmente el más explotado del país, con una distribución areal de aproximadamente 240.000 km² en parte del

sector austral de la Llanura Chacopampeana, de los cuales unos 92.000 km² corresponden a la mencionada provincia.

A casi 20 años de aquella publicación, la incorporación de 120 nuevos perfiles de perforación, a los 150 empleados en 1984, la ejecución reciente de ensayos hidráulicos y de velocidad de flujo, como la interpretación de cartografía hidrodinámica, motivaron esta presentación, con la intención de

actualizar el conocimiento de una unidad acuífera de significativa importancia en Argentina.

El destino actual de los caudales explotados es diverso, incluyendo entre los usos principales el abastecimiento humano, industrial, ganadero, riego y recreativo. La captación desde fines del siglo XIX ha originado una serie de efectos indeseados, como intrusión salina, depresión excesiva, acceso de contaminantes y recuperación de niveles luego de la desactivación de muchos pozos. Se espera que un mejor conocimiento contribuya a planificar su uso racional, para evitar o atenuar las consecuencias de más de un siglo de explotación desordenada.

Como características generales del área puede mencionarse un clima sub-húmedo húmedo, con tasas de precipitación media anual entre 800 y 1.100 mm y excesos que pueden superar los 150 mm/año.

Se trata de una llanura de muy baja pendiente, que incluye un paisaje suavemente ondulado en el sector tributario de los ríos Paraná y de la Plata, una comarca arreica en el sector SO y en el resto, una región deprimida (Cuenca del Salado), con valores de pendiente que llegan a ser $<0,1$ m/km. Geológicamente, por debajo de la cobertura edáfica, se disponen depósitos del Pleistoceno (Pampeano) y Holoceno (Pospampeano); limos loesoides en el primer caso y limos, limos arcillosos, arcillas, arenas finas eólicas y conchillas en el segundo, predominando ampliamente el Pampeano en la dimensión areal.

Desde el punto de vista socioeconómico, alberga a la mayor concentración demográfica de Argentina (alrededor de 15 millones de habitantes), el 65% de la producción industrial del país y una fuerte actividad agrícola-ganadera, que incluye prácticas de riego extensivo (cereales y oleaginosas) e intensivo (flori-hortícola).

MATERIALES Y MÉTODOS

La elaboración que sigue está basada en la revisión de perfiles de perforación históricos (150), interpretación de los recientemente incorporados (120) y análisis de los últimos aportes bibliográficos. También acuden la interpretación de cartografía piezométrica y freaticométrica, nuevos ensayos hidráulicos (de bombeo y de velocidad) y determinaciones hidroquímicas.

Sobre una base cartográfica a escala 1:750.000 fueron situados los sondeos de referencia, labor que

incluyó la atribución de representatividad en sectores urbanos o periurbanos, donde la densidad de perforaciones era muy alta. También se utilizaron como apoyo, mapas catastrales y urbanos a escala de mayor detalle.

Teniendo en cuenta los rasgos geológicos de subsuelo que sirven de marco a la yacencia de la unidad, se elaboraron mapas, eligiéndose con un criterio eminentemente práctico los de isobatas del techo e isopáquico, para definir las características geométricas. Más dificultoso fue elaborar una reconstrucción hidrodinámica, dada la dispar data de las mediciones piezométricas, dificultad obviada mediante un bosquejo equipotencial con equidistancia amplia (20 m) y curvas auxiliares (10 m) en sectores de gran extracción, para cubrir el rango de variación temporal. Por idénticas razones resultó muy difícil brindar una caracterización hidroquímica gráfica, optándose en este caso por una descripción general.

GEOLOGÍA Y COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

En este capítulo se refieren los caracteres de las unidades geológicas y su comportamiento hidrogeológico, iniciando la descripción por las más modernas, por ser las que tienen comunicación directa con las fases atmosférica y superficial del ciclo hidrológico. Las correspondientes al Acuífero Puelche, se detallan en el siguiente ítem.

Pospampeano. Se denomina de esta manera genérica a depósitos de diferente origen (fluvial, eólico, marino, lacustre), más modernos que los "Sedimentos Pampeanos" (Fidalgo et al, 1975), que ocupan el lapso Pleistoceno superior-Holoceno. Son limos, arcillas, arenas, conchillas y conglomerados calcáreos, pertenecientes a las formaciones *Luján*, *Querandí* y *La Plata* (según su acepción original). Los de granometría fina (limo-arcilla), de origen fluvio-lacustre y marino, suelen asociarse a aguas de elevada salinidad y a comportamiento hidráulico del tipo acuitardo. Los de tamaño mediano a fino (eólicos) forman médanos interiores (*Fm. Junín*) o las dunas costeras atlánticas que se desarrollan al S de Punta Rasa. Estas arenas eólicas poseen alta capacidad de infiltración y por ende configuran hidroformas donde se concentra la recarga. Se comportan como acuíferos, de media a elevada productividad, con agua dulce, conformando la única fuente de abastecimiento de agua potable para las localidades balnearias desde San Clemente del Tuyú a Mar de Ajó, dentro del ámbito estudiado.

Los médanos que se desarrollan al S del Río Salado (*Fm. Junín* u homólogas), son también fuentes de abastecimiento de agua potable, como los cordones de conchilla (*Fm. La Plata* o *Fm. Las Escobas*).

Pampeano. Bajo esta denominación se agrupa a las formaciones *Ensenada* y *Buenos Aires*, de litología muy similar, por lo que resulta difícil diferenciarlas aún en perfiles directamente observables. Se consideró por ello conveniente reunir las y tratar al conjunto como Pampeano.

Son limos arenosos y arcillosos, denominados genéricamente loess o “Loess Pampeano”, de tonalidades castañas, amarillentas y rojizas con frecuentes intercalaciones calcáreas (tosca). Se caracterizan por la ausencia de estratificación y por mantenerse estables en paredes verticales. Los Sedimentos Pampeanos sobreyacen a las Arenas Puelches, siendo frecuente la existencia de un estrato limo-arcilloso intercalado entre ambos, de comportamiento acuitado (*Ensenadense* basal) y que otorga al Acuífero Puelche carácter semiconfinado. El Pampeano aflorante, cubierto solamente por suelo, domina ampliamente en la región estudiada, con espesores variables entre 15 y 120 m, en coincidencia con la profundidad del techo de las Arenas Puelches (Auge y Hernández, 1984). Hidrogeológicamente se comporta como acuífero de baja a media productividad, libre en la sección superior y semilibre en la inferior, por debajo de 30-50 m de profundidad. Además de constituir una fuente para abastecimiento en el ámbito rural y suburbano, su importancia radica en ser la vía para la recarga y la descarga del Acuífero Puelche. Los caudales obtenibles son normalmente bastante inferiores a los de éste, mientras que las variaciones de salinidad, en general, coinciden arealmente con las que presenta el Acuífero Puelche.

Arenas Puelches. Secuencia de arenas cuarzosas sueltas, medianas y finas, blanquecinas y amarillentas, con estratificación gradada. Se superponen en discordancia erosiva a las arcillas de la *Fm. Paraná* y conforman el acuífero principal de la región por su calidad y productividad (Acuífero Puelche). Son de origen fluvial y edad Pliopleistocena, ocupando en forma continua unos 92.000 km² en el subsuelo del NE de la Provincia de Buenos Aires; anteriormente Auge y Hernández (1984) estimaban 83.000 km². Se extienden hacia el N en las de Entre Ríos y Corrientes donde se las conoce como *Fm. Ituzaingó*, y hacia el NO en Santa Fe y Córdoba (Auge, 1978). Una descripción más completa se da en el siguiente capítulo.

Formación Paraná o “El Verde”. Constituida por arcillas y arenas acumuladas durante la ingesión del “Mar Paraniense” (Frenguelli, 1950), se dispone por debajo de las Arenas Puelches, mediando entre ambas una discordancia erosiva. La mayoría de los autores la asigna al Mioceno Sup. dominando en la sección cuspidal arcillas plásticas de tonalidad verdosa y azulada y en la inferior, arenas medianas blanquecinas, ambas con fósiles marinos. Su espesor aumenta hacia la cuenca del Salado y Bahía Samborombón, pues en La Plata registra 234 m, en Gral. Belgrano 500 m y en Mar de Ajó 900 m (Hernández et al, 1979). La sección superior suele ser acuícluda y la inferior acuífera. En La Plata (Jockey Club), la sección arenosa brindó agua clorurada sódica con 7,5 g/l de residuo salino (Auge, 1997), mientras que en la cuenca del Río Matanza (Riachuelo) existe una capa de arena que brinda agua con 3 a 4 g/l de salinidad total, ubicada entre 80 y 90 m de profundidad y alta productividad, de 70 a 180 m³/h por pozo (Auge, 2001).

Formación Olivos o “El Rojo”. Subyace a la anterior mediante un contacto discordante erosivo. Si bien no se han identificado fósiles provenientes de perforaciones, en general se la asigna al Mioceno inferior hasta el Oligoceno. Como sucede con la *Fm. Paraná*, está integrada por una sección superior predominantemente arcillosa y otra inferior, arenosa. Las arcillas son de tonalidades rojizas por lo que también se la denominaba “El Rojo” (Groeber, 1945) y se comportan como un acuícludo, mientras que las arenas componen un acuífero de media a baja productividad, con rendimientos específicos < a 5 m³/h.m. De origen continental, con participación eólica, lagunar y fluvial, presenta frecuentes intercalaciones de yeso y anhidrita, que otorgan al agua un alto tenor en sulfatos y elevada salinidad total (6 a 60 g/l - Auge y Hernández, 1984). El espesor también aumenta hacia el eje de la cuenca del Salado, ya que de 233 m en Puente de la Noria (Buenos Aires) pasa a 400 m en Gral. Belgrano (Hernández et al, 1979), mientras que hacia la Bahía Samborombón se incrementa la participación de componentes marinos (Yrigoyen, 1975). La *Fm. Olivos* se apoya directamente sobre el basamento cristalino (*Fm. Martín García*) en la margen NE de la Sineclisa del Salado (Delta, Buenos Aires, La Plata y Magdalena), pero es subyacente por unidades del Terciario inferior, Cretácico y probablemente Paleozoico, hacia el eje de la Cuenca sedimentaria del Salado (Bracaccini, 1972). Este traslapamiento, es indicativo de la expansión lateral de la cuenca citada a partir del Cretácico.

Unidades subyacentes a la *Fm. Olivos*. Son poco conocidas, dado que por su ubicación y profundidad, sólo han sido alcanzadas por perforaciones de exploración petrolífera. Al Terciario inferior pertenece la *Fm. Las Chilcas*, “compuesta por limolitas gris verdosas, rojizas y castañas de origen marino, con areniscas de grano fino subordinadas. En el pozo YPF Gral. Belgrano Ex 1, registró algo más de 1.000 m de espesor” (Auge y Hernández, 1984). No se conoce el comportamiento hidrogeológico, aunque puede preverse la existencia de agua con elevada salinidad. Del Cretácico son las formaciones *Serra Geral*, *Río Salado* y *Gral. Belgrano*. Los Basaltos *Serra Geral*, que poseen una distribución discontinua, fueron identificados a 777 m de profundidad en la cercanía de San Nicolás y a 1.500 m en la vecindad de la Bahía Samborombón. Son correlacionables con las rocas basálticas de amplia difusión en Misiones y el Sur de Brasil. Estos basaltos pueden almacenar y producir agua a través de diaclasas, alvéolos y/o brechas entre coladas, aunque en los sitios donde se los capta (Mesopotamia), brindan caudales bajos (generalmente menores a 10 m³/h). En la región estudiada es previsible que contengan agua salada, debido a la cobertura de sedimentos marinos (*Fm. Las Chilcas*) o continentales con agua salada (*Fm. Olivos*). Las formaciones *Río Salado* y *Gral. Belgrano*, más modernas que *Serra Geral*, están compuestas por areniscas dominantes y limolitas y arcilitas subordinadas, de tonalidades verdosas y rojizas, que se emplazan a profundidades considerables (más de 2.000 m) hacia el eje de la Cuenca del Salado. Se desconoce su comportamiento hidrogeológico, aunque como en los casos anteriores, es previsible la existencia de agua con elevada salinidad.

Basamento cristalino o Formación Martín García (Dalla Salda, 1981). Está conformado por gneises y granitos precámbricos, que se ubican a unos 350 m de profundidad en Buenos Aires y afloran en la Isla Martín García y la costa uruguaya. La unidad se profundiza hacia la Cuenca del Salado, debido a una tectónica de fallas directas y escalonadas, para aflorar nuevamente en su borde SO (Sierras de Tandil). Compone el sustrato hidrogeológico de la región, con características acuífugas.

Una sucinta caracterización estructural permite señalar el predominio de fracturas tensionales de orientación NO-SE, que afectan en forma escalonada al basamento y a las unidades cretácicas, disminuyendo en intensidad en el Terciario y haciéndose imperceptible en las Arenas Puelches,

que no presentan signos de fallamiento. El desplazamiento del basamento cristalino debido a la fracturación, hace que se emplace a más de 6 km de profundidad en la vecindad del Cabo San Antonio (Zambrano, 1974). La ausencia de tectonismo a partir de la acumulación de la *Fm. Paraná*, indica la no incidencia del mismo en el comportamiento de las unidades hidrogeológicas más importantes por su productividad y la calidad de sus aguas (Arenas Puelches, Pampeano y Pospampeano).

COMPORTAMIENTO DEL ACUÍFERO PUELCHES

Como se anticipara, este acuífero semiconfinado es la unidad hidrogeológica más conocida, debido a la intensa explotación a que ha sido sometido, que produjo valiosa información acerca de sus características geológicas, hidrogeológicas, hidráulicas y químicas.

Un primer elemento de análisis es el mapa isopáquico reproducido en la Figura 1, en el que están representadas las variaciones de espesor de las Arenas Puelches en el ámbito de estudio. En esta cartografía se aprecian valores dominantes entre 20 y 30 m, en la ribera del Río de la Plata (Buenos Aires, La Plata, Magdalena, Monte Veloz) y entre 30 y 40 m en el vértice NO del ámbito estudiado (sector de San Nicolás).

Las mayores potencias se registran al S del Río Salado, con más de 60 m (Gral. Belgrano, Saladillo y Mosconi) y hacia la Bahía Samborombón (Puesto del Bote, La Bagatella, Mar de Ajó). El incremento de espesor condiciona el aumento en la transmisividad hacia el SO, con valores extremos de 200 y 2.700 m²/d en la ribera del Río de la Plata y Cuenca del Río Salado respectivamente, para una permeabilidad media de 30 m/d (Auge et al, 1973).

El límite SO de las Arenas Puelches se dispone en forma subparalela al Río Salado, ubicándose a unos 30 km del mismo en el extremo NO (Vedia) y a 100 km en su desembocadura (Puesto del Bote). Dicho límite, que trunca a las isopacas, constituye el reemplazo hacia el SO de las Arenas Puelches por las Arcillas Pardas o *Fm. Araucano*, constituida por areniscas arcillosas pardas, con abundante yeso y agua inapta por el alto tenor salino y en sulfatos. No se tiene certeza sobre si el contacto lateral de las Arenas Puelches con las Arcillas Pardas es estratigráfico o tectónico, aunque parece más probable que represente la margen SO del protodelta que dio origen a las arenas.

La secuencia sedimentaria es en general granodereciente, con extremos de gravilla en el sector inferior y arena muy fina a limosa en el pasaje a la arcilla que le sirve de techo (acuitardo). No obstante, existen algunos pocos perfiles donde la secuencia es granocreciente. Sobre el valle del Río Paraná, suelen pasar sin solución de continuidad a la sección samítica de la *Fm. Paraná*, con ausencia de las arcillas verdes de su sección superior.

A partir del mapa de espesores (Fig. 1), se calculó el volumen de las Arenas Puelches en la Provincia de Buenos Aires, sobre una superficie de 92.000 km², lo que brindó aproximadamente 3,1.10⁶ hm³. Dicho volumen en relación al área, resulta en una potencia media de 34 m. Utilizando una porosidad efectiva media del 20%, obtenida por la medición de velocidades de flujo con trazadores, el volumen de agua gravitacional almacenada ascendería a unos 620.000 hm³, de los cuales aproximadamente el 45% contiene un TDS (total de sólidos disueltos) inferior a 2 g/l y por lo tanto, resulta apta para consumo humano según dicho indicador.

La superficie abarcada por este acuífero en la Provincia de Buenos Aires se incrementa en un 11% (92.000 km²) respecto a la estimada en 1984 (83.000 km²), debido a la interpretación de 120 nuevos perfiles de perforación.

Otra componente característica que se analiza es la batimetría del techo de la unidad, por su mayor valor práctico, respecto a la cartografía paleomorfológica empleada en 1984. En la Figura 2 se representa la variación espacial de la profundidad del techo de las Arenas Puelches. Se puede observar que desde valores de profundidad de 20 a 30 m el sector NE (riberas de los ríos Paraná y de la Plata), se produce una progresiva profundización hacia el SO, que culmina en proximidades de Junín con 123 m. En este comportamiento incide, además de las variaciones topográficas, el buzamiento del techo de las Arenas Puelches en sentido SO, que alcanza un valor medio de 0,4 m/km, pasando desde -20 m en la proximidad de los ríos precitados a -80 m en Las Flores.

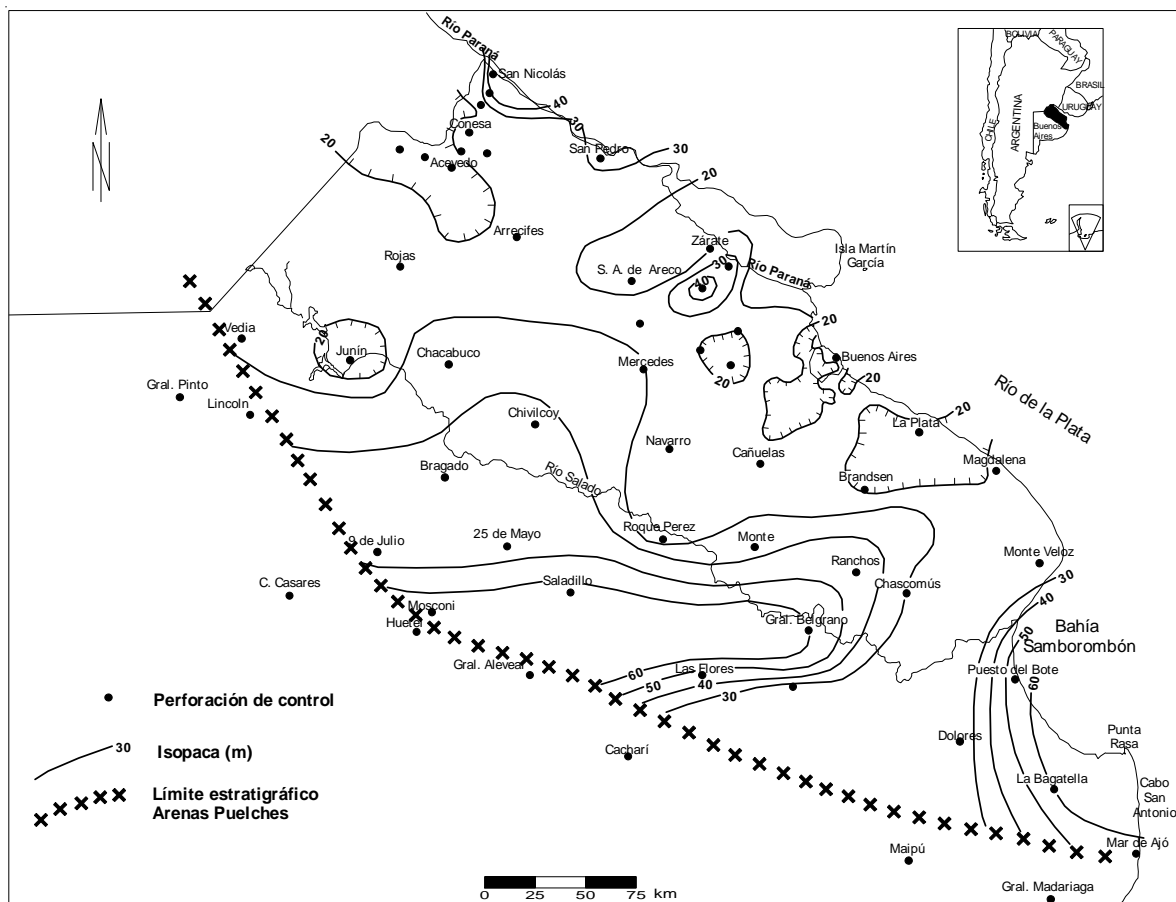


Figura 1: Espesor Arenas Puelches

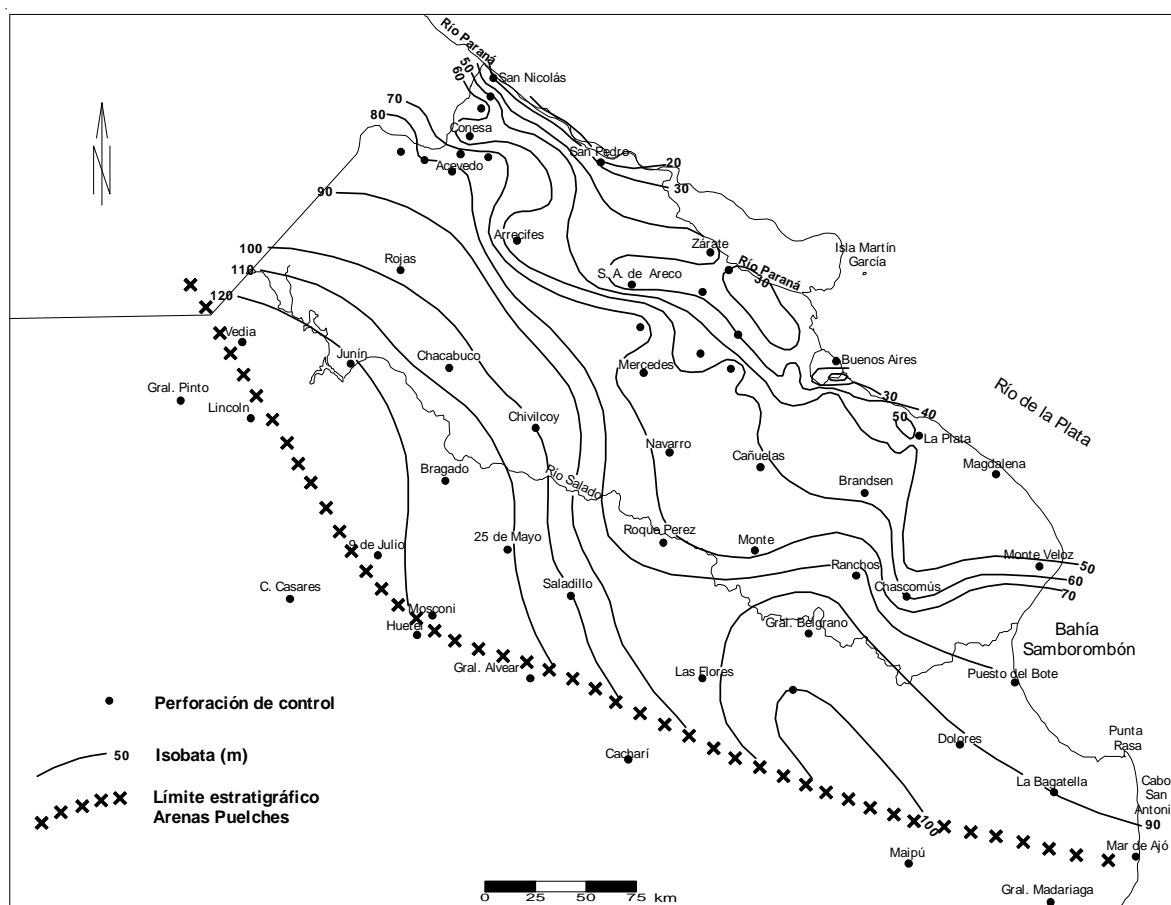


Figura 2: Profundidad techo Arenas Puelches

Acerca de la hidrodinámica regional, en la Figura 3 se exhibe un bosquejo equipotencial para el acuífero que permite observar las principales zonas de recarga, circulación y descarga.

La **recarga** ocurre en coincidencia con las áreas interfluviales, especialmente en aquellas mayores, que separan el drenaje hacia la cuenca del Salado, de los tributarios al sistema Paraná - de la Plata. También se localiza sobre el flanco austral del ámbito de yacencia del acuífero, donde pasa lateralmente a la *Fm. Araucano*. El tipo de recarga es autóctono e indirecto, a través del acuífero freático y semilibre contenido en los Sedimentos Pampeanos, cuando la carga hidráulica de este último es positiva respecto a la del Puelche, circunstancia que se da precisamente en los sectores interfluviales. El espesor del acuitardo interpuesto varía entre 3 y 4 m (vecindades del Río Paraná) y más de 15 m (Cuenca del Salado). A la transmisividad vertical se le asigna $5.10^{-4} d^{-1}$ (un orden de magnitud inferior al utilizado por Auge y Hernández, 1984), en virtud de la interpretación comparativa entre la cartografía piezométrica y

freatimétrica de la Cuenca del Río Matanza (Auge, 1986).

La **circulación** se produce según un diseño morfológico de tipo cilíndrico en el sector NO, con fuerte tendencia a radial convergente en el área metropolitana de Buenos Aires, donde existen conos regionales de depresión. Los gradientes hídricos van desde 6.10^{-5} en la zona inferior de la Cuenca del Salado, hasta 1.10^{-3} en la comarca tributaria del Paraná, con valores de 10^{-2} y aún de 10^{-1} , donde se emplazan los conos de depresión. Las velocidades efectivas naturales de flujo oscilan entre $1,4.10^{-2}$ y 2.10^{-1} m/día, llegando a 2 m/día en el área metropolitana y a varios cientos de m/d en la vecindad de las captaciones (cono de La Plata).

La **descarga** regional ocurre hacia los sistemas fluviales Paraná - de la Plata y Salado, directamente, o por medio del caudal básico de los principales ríos y arroyos, al cual aporta el acuífero, a través del Pampeano que actúa como unidad de tránsito. La descarga artificial, si bien importante en gran parte de la región, se manifiesta especialmente en el área

metropolitana de Buenos Aires y La Plata, por la presencia de extensos conos de depresión regionales, producto de la coalescencia de hidroformas individuales de las baterías de captación para servicio público. También por el agrupamiento de perforaciones en sectores industriales. En el lapso que media entre la contribución de Auge y Hernández (1984) y este trabajo, se ha notado una importante recuperación de los niveles piezométricos, con la consecuente atenuación en la profundidad y expansión de los conos. Este fenómeno ha originado a su vez efectos de repercusión socioeconómica y ambiental comentados en el siguiente ítem.

En cuanto a las características hidroquímicas del Puelche, en la zona comprendida entre la divisoria de los ríos Paraná y de la Plata con el Salado y la ribera de aquellos, prevalecen aguas de baja salinidad (< 2 g/l TSD), excepto sobre la planicie aluvial del Río de la Plata y sectores urbanos aledaños, afectados por intrusión salina. El tipo iónico allí dominante es bicarbonatado sódico, dentro de una zonalidad vertical directa en general.

Es notable el desmejoramiento hacia las zonas de descarga principales, donde se ingresa en el ámbito de las aguas con salinidad mayor, hasta más de 20 g/l y características cloruradas sódicas, frecuentemente con una zonalidad química vertical invertida. El sector con aguas de mayor salinidad incluye una amplia faja de la zona de circulación (Figura 3) en torno al eje de la cuenca del Salado, a expensas de la muy lenta velocidad efectiva de flujo, la incidencia de las intrusiones holocenas y la mayor oportunidad de adquisición de sales.

SECUELAS DE UN SIGLO DE EXPLOTACIÓN

La extracción intensiva del Acuífero Puelche, concentrada especialmente en el área metropolitana de Buenos Aires y La Plata, ha sido responsable de la generación de amplios y profundos conos de depresión, abarcando en su máxima expansión una superficie aproximada de 750 km² y alcanzando en su ápice el techo del acuífero (Hernández y González, 1997). Este fenómeno tuvo su mayor desarrollo entre los años 1920 y 1980, trayendo

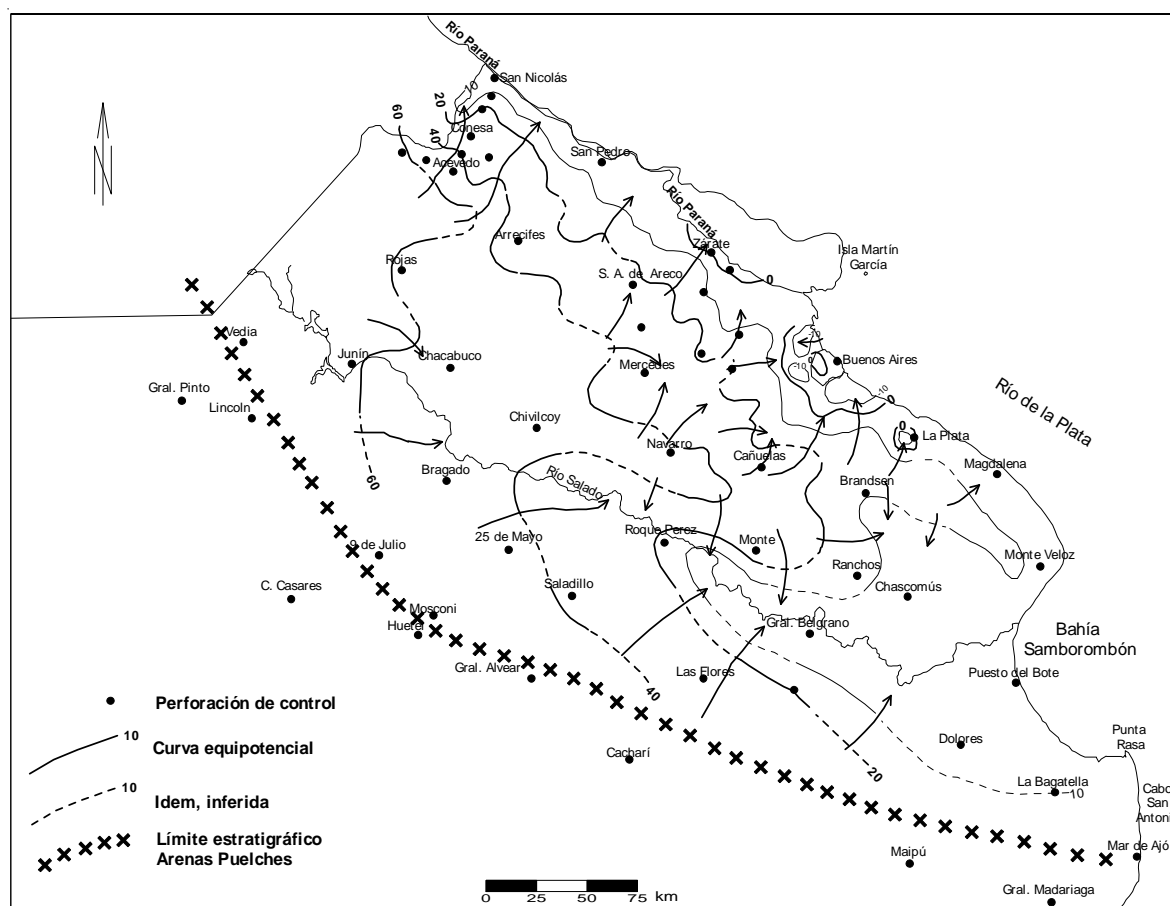


Figura 3 Red de flujo Acuífero Puelche

como secuela un aceleramiento en la transmisión vertical de aguas contaminadas desde el acuífero freático (nitratos, metales pesados, hidrocarburos).

Sobre el sector costero del Río de la Plata, la disminución de la carga hidráulica del acuífero originó otro efecto negativo, cual es la intrusión de aguas salinas continentales que yacen bajo la planicie aluvial del río, como producto de las intrusiones marinas del Holoceno (Auge, 1997). Esta intrusión alcanzó su máxima penetración en La Plata, extendiéndose geográficamente además desde el S de la ciudad de Buenos Aires hasta Berazategui, incluso en la planicie de inundación del curso inferior de tributarios del Plata (Reconquista, Matanza-Riachuelo, Jiménez, San Francisco, etc.).

Como consecuencia de esta perturbación, salieron de servicio numerosas perforaciones, forzando la sustitución de la fuente subterránea por aguas tratadas, captadas del Río de la Plata (Hernández y González, 2000). Este abandono de perforaciones tuvo además otras causas, como el incremento progresivo en la concentración de nitratos y la propia política de la empresa administradora del servicio en el área metropolitana. (Hernández y González, 1997).

Surge entonces la secuela más reciente y problemática. La recuperación de los niveles piezométricos ocasionó la paulatina disminución en la transferencia vertical descendente desde el acuífero freático y el consecuente ascenso de sus niveles. Esta tendencia comenzó a crear problemas en las construcciones de sub-superficie realizadas entre 1920 y 1980, al acceder el agua a subsuelos, aparcamientos subterráneos, cámaras eléctricas y de teléfonos, etc. y a originar anegamientos crecientes y persistentes (Hernández y González, 1997). También la urbanización formal o irregular en la planicie aluvial de los cursos de agua en dicho lapso, creó problemas sociales y ambientales importantes, al comenzar a influir el fenómeno de recarga rechazada en las posiciones más bajas del relieve, verdaderas zonas de riesgo hídrico.

La crisis económica de Argentina y la recesión industrial que involucra, particularmente a partir de 1990, contribuyó a la menor extracción desde el Acuífero Puelche, favoreciendo la recuperación piezométrica y el ascenso de la superficie freática.

En el resto del ámbito de yacencia del Puelche, la explotación no alcanzó a generar efectos negativos de significación, excepto en las ciudades

medianas con actividad industrial y suburbios carentes de saneamiento básico, donde la manifestación más importante es el acceso de agua freática con exceso de nitratos.

La práctica del riego extensivo pudo ser un factor de conflicto con los otros usos, pero un ciclo de mayores precipitaciones y la crisis económica actuaron como paliativos involuntarios.

CONCLUSIONES

El análisis de 120 nuevos perfiles de perforaciones, la interpretación comparativa de cartas piezométricas y freáticas, la realización de nuevos ensayos de bombeo y la determinación de velocidades mediante trazadores, permitió mejorar el conocimiento sobre las características y el comportamiento del Acuífero Puelche en la Provincia de Buenos Aires de acuerdo al siguiente detalle:

- El área ocupada por dicho acuífero se incrementó en un 11% respecto a la estimada en 1984, pasando de 83.000 a 92.000 km².
- Es más apropiado adoptar una transmisividad vertical regional de $5.10^{-4} d^{-1}$ para el acuitardo que actúa como techo del acuífero, que $5.10^{-3} d^{-1}$ como se asumió en 1984. Este valor se obtuvo mediante el análisis hidrodinámico derivado de la comparación de la carta freática con la piezométrica del Acuífero Puelche, en la Cuenca del Río Matanza (Auge, 1986) y la realización de nuevos ensayos de bombeo (Auge, 1997).
- Es más representativo adoptar una porosidad efectiva de 0,2, obtenida mediante ensayos de velocidad de flujo con trazador, que la propuesta en 1984 (0,1). Dicha modificación incide significativamente en la reserva efectiva pues de 280.000 hm³, estimados en 1984, pasó a 620.000 hm³.

El Acuífero semiconfinado Puelche, difundido en el ámbito centro-Sur de la Llanura Chacopampena de Argentina, se extiende en la provincia de Buenos Aires hasta su engranaje lateral con la *Formación Araucano* ("Arcillas Pardas") entre 30 y 100 km al S del Río Salado.

Está limitado verticalmente por un acuitardo (términos basales de los Sedimentos Pampeanos) en su techo y un potente espesor arcilloso generalmente

acuicludo en la base (sección superior de la Formación Paraná).

Su recarga es autóctona indirecta a partir del acuífero freático y semilibre, contenido en el Pampeano, a través del acuitardo. La descarga regional es hacia los ríos Paraná - de la Plata y Salado, directamente, o por medio del caudal básico de los cursos.

Los gradientes hídricos van desde $6 \cdot 10^{-5}$ a más de $1 \cdot 10^{-3}$ y la velocidad efectiva natural de flujo se sitúa entre $1,4 \cdot 10^{-2}$ y $2 \cdot 10^{-1}$ m/día. En la zona metropolitana de Buenos Aires y La Plata, afectada por conos regionales de depresión, puede incrementarse a 2 m/d y en la vecindad de las captaciones, la velocidad puede trepar hasta cientos de metros por día.

Sus parámetros hidráulicos medios son: coeficiente de transmisividad $500 \text{ m}^2/\text{día}$; de permeabilidad $30 \text{ m}/\text{día}$, de almacenamiento $3 \cdot 10^{-3}$ y de porosidad efectiva $2 \cdot 10^{-1}$.

El volumen de agua gravitacional almacenada asciende a unos 620.000 hm^3 , del cual aproximadamente el 45% está compuesto por aguas con un TSD inferior a 2 g/l.

En el sector N y NE de la región, donde prevalecen las aguas con TSD $< 2 \text{ g/l}$, el tipo iónico dominante es bicarbonatado sódico con una zonalidad química vertical directa. Hacia las zonas de descarga la salinidad aumenta hasta más de 20 g/l, con agua del tipo clorurado sódico y zonalidad inversa.

Se reconocen entre los efectos negativos más importantes, durante más de un siglo de explotación:

- La formación de amplios conos de depresión.
- El aceleramiento de la transferencia vertical de aguas contaminadas procedentes del acuífero freático.
- La intrusión de aguas salinas
- La recuperación reciente de niveles por desactivación de pozos en amplios sectores de la región metropolitana de Buenos Aires, lo que ha derivado en anegamientos de suma importancia, debido al ascenso de la superficie freática.

REFERENCIAS

Auge M, Ceci JH, Filí M, y Hernández MA. 1973. Transmisividades regionales del Subacuífero Puelche en la Provincia de Buenos Aires (Regional transmissivities of the Puelche Subaquifer in the Province of Buenos Aires). *VI Congr. Nac. del Agua. Actas* (I), 469-485. Santiago del Estero.

Auge M. 1978. Un método sencillo para determinar el coeficiente de filtración vertical de capas filtrantes. (A simple method for calculate the leakage coefficient of aquitards) *Rev. La Ingeniería* 102, 95-101. La Plata.

Auge M, y Hernández MA. 1984. Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense (Geohydrologic behavior of the Puelche semiconfined Aquifer in the Bonaerense Flatland). *Coloquio Intern. Hidrol. de Grandes Llanuras. UNESCO* (III), 1019-1043. París - Buenos Aires.

Auge M. 1986. Hydrodynamic Behavior of the Puelche Aquifer in Matanza River Basin. *Ground Water* 24 (5), 636-642. Dublin, Ohio.

Auge M. 1997. Investigación hidrogeológica de La Plata y alrededores (Hydrogeologic research of La Plata and its surroundings) *Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires*. 2T, 1-171. Buenos Aires.

Auge M. 2001. Investigación hidrogeológica de la ciudad de Buenos Aires (Hydrogeologic research of the city of Buenos Aires) *UBA Informe final*, 1-32. Inéd. Buenos Aires.

Braccacini O. 1972. Cuenca del Salado (Salado Basin). En *Geología Regional Argentina. Acad. Nac. Ciencias Actas*, 407-417. Córdoba.

Dalla Salda L. 1981. El basamento de la Isla Martín García, Río de la Plata (The basement of Martín García Island, de la Plata River). *Rev. Asoc. Geol. Arg.* T XXXVI (1), 29-43. Buenos Aires.

Fidalgo F, De Francesco F. y Pascual R. 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense (Outcrop geology of Buenos Aires Flatland). En *Geología de la Provincia de Buenos Aires. VI Congr. Geol. Arg. Relatorio*, 103-138. Buenos Aires.

Frenguelli J. 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la Provincia de Buenos Aires (General characteristics of the morphology and the geology of Buenos Aires Province). *LEMIT*. Ser. II (33), 1-72. La Plata.

Groeber P. 1945. Las aguas surgentes y semisurgentes del norte de la Provincia de Buenos Aires (Flowing and ascendent waters in the north of Buenos Aires Province). *Rev. La Ingeniería*. XLIX (6), 371-387. Buenos Aires.

Hernández MA, Filí M, Auge M, y Ceci JH. 1979. Geohidrología de los acuíferos profundos de la Provincia de Buenos Aires (Deep aquifer geohydrology in the Buenos Aires Province). *VI Congr. Geol. Arg.* (II), 479-500. Buenos Aires.

Hernández MA, y González N. 1997. Impact of rising piezometric levels on Greater Buenos Aires due to partial changing of water services infrastructure. *Grownwater in the Urban Environment*. J.Chilton et al Ed. Balkema (I), 237-242. Rotterdam.

Hernández MA, y González N. 2000. Hydrogeological disarrays in Buenos Aires and its surroundings, Argentina. *International Conference The Fragile Territor. Proceedings*, 373-378. Rome.

Yrigoyen M. 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental (Underground geology and continental platform). En *Geología de la Provincia de Buenos Aires*. *VI Congr. Geol. Arg. Relatorio*, 140-168. Buenos Aires.

Zambrano J. 1974. Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la Provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes (Sedimentary basins in the subsoil of the Buenos Aires Province and its surroundings). *Rev. Asoc. Geol. Arg.* XXIX (4), 443-469. Buenos Aires.