

**HIDROGEOLOGIA DEL PARTIDO DE SALLIQUELO,
PROVINCIA DE BUENOS AIRES,
REPUBLICA ARGENTINA**

Miguel P. Auge¹
Raul Mendez Escobar²
Maúa I. Nagy³

1. Professor Titular de Hidrogeología (Universidad de Buenos Aires) Director del Instituto de Hidrología de Uamuras. Investigador de CONICETY de INGEA.
2. Profesional del Instituto de Hidrología de Uanuras y de la CIC.
3. Becario de la Universidad de Buenos Aires.

RESUMEN

Se mencionan las características y el comportamiento hidrológico subterráneo, del Partido de Salliqueló y vecinos, en un área de unos 900 km².

Morfológicamente, es una llanura medanosa, suavemente ondulada, carente de cursos de agua superficial (arreica). Está constituida por sedimentos arenosos del Postpampeanos (Holoceno), a los que subyacen limos loessoides del Pampeano (Pleistoceno), menos permeables que los anteriores.

Se describen las unidades geológicas y se establece la aptitud de las mismas para admitir y transmitir agua.

El acuífero libre constituye el recurso hídrico más importante de la región. La morfología topográfica controla la forma de la superficie freática. El flujo subterráneo se orienta en dirección N y E con un gradiente hidráulico medio de 5×10^{-4} . Las lomadas medanosas coinciden con ámbitos de dispersión del agua subterránea (zona de recarga) y las depresiones, con ámbitos de concentración (zona de descarga). En el aspecto hidroquímico, se aprecia una marcada zonación vertical con aumento de la salinidad en profundidad. También se destaca una zonalidad lateral, debido a controles de tipo morfológico y geológico.

La magnitud de la descarga artificial en Salliqueló es similar a la de la recarga natural. Esto se evidencia por la forma no distorsionada de las curvas equipotenciales al atravesar la ciudad, que es el sitio donde se concentra la explotación.

1. INTRODUCCION

La finalidad del trabajo consistió en establecer la aptitud del recurso hídrico subterráneo en el Partido de Salliqueló. Para ello, se estudiaron las características y el comportamiento de las tres fases que integran el ciclo hidrológico (atmosférica, superficial y subterránea). El término "aptitud" se refiere a la utilidad del agua para diferentes usos (humanos, ganadero, riego e industrial) y por ello comprende tanto a su calidad (física, química y biológica) como a su disponibilidad (reservas y productividad).

2. CLIMA

Se caracteriza por un déficit hídrico en el balance si se consideran valores medios de precipitación (P) y evapotranspiración potencial (E_{vtp}) para lapsos extensos. La precipitación media (1910/86) es de 712 mm/año y la E_{vtp} media anual (1941/50) de 804 mm. Ello origina un clima de tipo semiárido. El mes de máxima precipitación es marzo con 91 mm y el de mínima, agosto con 22 mm, fig. 2. En lo referente a distribución estacional el verano (dic, ene y feb), que concentra el 33% resulta la estación más lluviosa. La de menor precipitación es el invierno (jun, jul y ago) 10%. A la primavera le corresponde el 30%, y el otoño el 27% del total medio anual.

La temperatura media anual (1941/50) es de 15,5°C (templado)*. La máxima media mensual se produce en enero (23,9°C) y la mínima media mensual en julio (7,6°C).

La humedad relativa media anual es del 68%.

Los vientos predominantes son del sector NE con una velocidad media anual de 11 km/h, siendo setiembre y diciembre los meses más ventosos del año.

Retomando la variable precipitación, es importante señalar que se registra un incremento del 18% a partir de 1971. Así, en el lapso 1971/86 el valor medio anual asciende a 844 mm, con un pico de 1187 mm en 1985 (fig. 3). Esta situación, de carácter generalizado en el NO de la Provincia de Buenos Aires, incluso con diferencias aún más acentuadas, dió lugar a extensos anegamientos que se iniciaron alrededor de 1975 y persisten actualmente.

3. BALANCE HIDRICO

Dado la ausencia de ríos y arroyos (la región es de tipo arreico), los componentes elementales del ciclo hidrológico se reducen a: precipitación, evapotranspiración e infiltración. Para el desarrollo del balance hídrico a nivel del suelo, se uti-

* Valor medio de tres estaciones vecinas a la zona estudiada.

lizó la metodología ideada por Thornthwaite (1948) y perfeccionada posteriormente por Thornthwaite y Mather (1955). En la tabla 1, se reproduce el desarrollo del balance para un lapso mensual y en la fig. 4 se lo representa gráficamente. Los registros de lluvia corresponden a la Estación Salliqueló (1910/86), mientras que la temperatura se obtuvo extrapolando los registros de tres estaciones cercanas (1941/50). De acuerdo al tipo de suelo (arenoso fino) y a la vegetación prevalente con raíces de moderadas a profundas, se tomó un índice de retención (capacidad de campo) de 100 mm.

En el período considerado la evapotranspiración potencial (Evtp) fue de 804 mm/año y la precipitación (P) de 712 mm/año lo que brinda un déficit de 92 mm/año**. Los meses que acumulan el déficit son los de verano (nov, dic, ene. y feb) pese a que en ellos se concentra el 45% de la precipitación. Ello es consecuencia del marcado incremento en la evapotranspiración debido al aumento de temperatura y de insolación y a la disminución de la humedad ambiente.

El exceso hídrico, en función de la relación P - Evtp, se produce de marzo a octubre, pero tomando en consideración el agua almacenada en el suelo, no existe exceso pues en ningún mes se alcanza la capacidad de campo.

El desarrollo empírico, sin embargo, no coincide con el comportamiento hidrodinámico del agua freática. Ello pues, como se aprecia en el mapa 1, hay ámbitos de recarga y de descarga enlazados por otros de conducción. No caben dudas de que existe recarga o infiltración efectiva, pues de lo contrario se produciría un agotamiento progresivo de la reserva por descarga subterránea. Ello, traería aparejado una profundización continuada de la superficie freática, situación que no se ha observado en los últimos 40 años. Por el contrario, en los últimos 15, se ha verificado un ascenso de uno 0,8 m/año.

4. GEOLOGIA Y COMPORTAMIENTO HIDROGEOLOGICO

Se describen los caracteres geológicos regionales y locales de las unidades de superficie y de subsuelo, precisándose para las mismas el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico.

En el marco geológico argentino, la región estudiada se ubica en el denominado "país epirogénico" (Baracchini, 1972), que caracteriza a la gran Llanura Chaco-pampeana (alrededor de 1.000.000 de km² y que tiene su continuación en los llanos del Chaco-boliviano y Argentino-paraguayo. En ella, predominan notoriamente los movimientos epirogénicos sobre los orogénicos con una marcada tendencia subsidente que se inicia en el Paleozoico y continúa hasta el presente. Este comportamiento geotectónico es el responsable de la presencia de dilatadas llanuras con sedimentos cuaternarios en superficie, de extensión areal considerable, que cubre a unidades más antiguas impidiendo su afloramiento.

La descripción que sigue, se inicia con la unidad geológica más moderna.

** Todas las magnitudes citadas, corresponden a valores medios.

POSTPAMPEANO

Está constituido por arenas finas, sueltas, de tonalidad pardo rojiza y origen eólico (médanos), que cubren casi totalmente al ámbito estudiado, emplazándose por debajo de la cubierta superficial edafizada. También se lo ha denominado Médano Invasor (Tapia, 1935). En las lomadas supera los 20 m de espesor, disminuyendo a menos de 5 m en los bajos topográficos. Cronológicamente, corresponde al Holoceno. Es una de las unidades de mayor interés hidrogeológico por su elevada permeabilidad y por contener agua de baja salinidad.

Es predominantemente acuífero y de buena productividad. Ello se debe a su conformación granométrica y textural (arenas finas, bien seleccionadas, sueltas). A partir de ensayos de bombeo se obtuvo una permeabilidad media de 15 m/día y una porosidad efectiva del 15%. Además, su elevada permeabilidad vertical favorece la infiltración y por ende la recarga. En lo referente a salinidad, el agua subterránea presenta variaciones significativas tanto en sentido areal como vertical. En esta unidad, sin embargo, se presentan los menores tenores salinos registrados (270 ppm), en coincidencia con lomadas medanosas.

PAMPEANO

Está formado por limos arenosos finos, algo arcillosos, castaño rojizos, con concreciones calcáreas, también de origen eólico pero en forma de loess. Corresponde al Pleistoceno, subyace al Postpampeano y registra un espesor medio de 60 m.

Actúa como acuífero de mediana productividad. Su granometría y empaquetamiento lo hacen menos permeable que el Postpampeano arenoso. La intercalación de algunos niveles arcillosos (acuitardos) de poco espesor, le otorgan un confinamiento parcial (semiconfinamiento) que se incrementa en profundidad. La salinidad, al igual que el Postpampeano, manifiesta una acentuada zonación lateral y vertical. La primera debido al flujo y a la variación litológica de los sedimentos portadores y la restante por diferencia en la densidad del agua y por cambios litológicos. Por ello, la sección superior es la que posee menor contenido salino (entre 1 y 3 g/l).

ARAUCANO

Está integrado por areniscas arcillosas, pardo claras, con cemento calcáreo y abundante yeso. Presenta intercalaciones de arcillas de tonalidades rojizas. El espesor registrado en regiones vecinas varía entre 65 y 110 m. De origen lagunar, pertenece al Plioceno.

Se comporta como acuífero de baja productividad, en partes como acuitardo debido a su granometría predominantemente fina. El rendimiento varía entre 0,05 y

0,9 m³/h.m. El incremento salino en profundidad (zonación vertical), su constitución arcillosa y la presencia de abundante yeso hace que el agua contenida en esta unidad sea de tipo sulfatado y con una salinidad que oscila entre 5 y 10 g/l. Es el principal responsable de la salinización que, por ascenso vertical, se verifica en algunas zonas sobreexplotadas cercanas a la de estudio.

FORMACIÓN MACACHÍN

Es de origen marino, caracterizada por su tonalidad verdosa. Por ello y por su ubicación cronológica, también se la conoce como Mioceno Verde. Está integrada por areniscas y arcilitas gris verdosas con abundante calcáreo (tosca y yeso) y frecuentes intercalaciones de material volcánico tobáceo. Registra un espesor medio de 200 m.

Las areniscas alternan con las arcillas en estratos de espesor equivalente (20 m). Las primeras actúan como acuíferos de baja productividad (0,2 m³/h.m) y las arcillas como acuícludos. Esta disposición y su ubicación vertical (150 a 350 m) le otorgan un confinamiento parcial, que aumenta con la profundidad. El contenido salino es elevado, superando normalmente 20 g/l.

FORMACIÓN ABRAMO

Posee origen continental y está formada en su sección inferior por limolitas arenosas de grano fino, rojo parduzcas. En la sección superior dominan areniscas arcillosas hasta conglomerádicas, pardo rojizas claras, calcáreas y yesíferas. Cronológicamente, abarcaría desde el Cretácico superior al Terciario inferior. Espesor aproximado 200 m.

La sección superior es acuífera, debido al dominio de areniscas, pero con rendimientos bajos (0,04 a 0,1 m³/h.m). La sección inferior actúa como acuitardo (limolitas arenosas). Las capas productivas presentan niveles piezométricos bastante más profundos que los de las unidades superpuestas, con diferencias de 10 a 20 m. La salinidad del agua contenida en la Formación Abramo supera 50 g/l.

FORMACIÓN ARATA

Su presencia es dudosa en la zona estudiada. La perforación más cercana que la detectó (Metileo) se ubica 135 km al NO de Salliqueló. Allí, está constituida por areniscas finas a medianas gris rojizas y violáceas y arcilitas gris oscuras (Salso, 1966). Se la asigna al Cretácico inferior.

De existir, se comportaría como acuífero de bajo rendimiento a acuitardo (similar a Abramo). Además, es previsible un elevado tenor salino debido al incremento que se produce en profundidad.

BASAMENTO

En la cuenca de Macachín se han identificado rocas graníticas y gnéisicas pertenecientes al Precámbrico y cuarcitas del Paleozoico inferior. Su yacencia se estima a 650 m de profundidad.

La constitución litológica (rocas cristalinas), apunta a un comportamiento de tipo acuífugo. Constituye la base impermeable del sistema hidrológico subterráneo.

En la fig. 5, se reproduce en forma esquemática la constitución geológica y el comportamiento hidrogeológico mencionados previamente.

ESTRUCTURA

La región estudiada se ubica en el borde oriental de la cuenca sedimentaria de Macachín. Justamente dicho borde coincide con una falla transcurrente de rumbo meridiano. Esta cuenca táfrica de tipo intracratónico, es sincrónica en su desarrollo tectónico-sedimentario con las ubicadas en las costas atlánticas de Sudamérica y África.

5. MORFOLOGIA

Regionalmente, pertenece a la dilatada Llanura Chacopampeana, que en el ámbito estudiado se caracteriza por suaves lomadas (medanos) separadas por depresiones intermedanas. La pendiente topográfica regional es hacia el NE con un gradiente de $3,2 \times 10^{-4}$, entre cotas 130 y 120 m *.

La ausencia de red de drenaje y las condiciones climáticas hacen que el viento resulte el principal modelador del paisaje. Sin embargo, como ya se mencionara, la persistencia de un clima húmedo que se inició en la década del 70 dió lugar a un sostenido ascenso de la superficie freática y al anegamiento de extensas zonas bajas por afloramiento del agua subterránea. Esta modificación en la posición del nivel de base y el incremento en la cobertura vegetal han restringido apreciablemente la magnitud de la erosión eólica, que se constituye en verdadero flagelo durante períodos secos. Localmente, se presentan tres rasgos morfológicos distintivos (zona elevada, deprimida e intermedia).

ZONA ELEVADA

Se desarrolla en el extremo S y SO del área estudiada, como continuación del anillo medanoso Peripampásico que penetra desde el oeste (Frenquelli, 1950). Los cuerpos medanosos se orientan SO-NE. Predominan ampliamente las formas

* Todas las cotas están referidas al cero del Instituto Geográfico Militar de la República Argentina.

desbastadas por erosión eólica o acción antrópica y aquellas semifijas por cultivos o pasturas naturales, sobre formas medanosas reactivadas. Las depresiones intermedanasas, están ocupadas por depósitos de granometría más fina y son las que presentan anegamientos prolongados por afloramiento del agua freática.

ZONA DEPRIMIDA

Domina en el extremo norte del área estudiada con bajos que constituyen sitios de descarga preferencial del agua subterránea. Las cubetas están ocupadas por cuerpos lagunares de escasa profundidad y variada extensión, separados por formas medanosas relicticas, elongadas en sentido SO-NE.

ZONA INTERMEDIA

Conforma la zona de pasaje entre el sector elevado y el deprimido. Abarca la posición centro y SE del área de estudio, constituyendo un ámbito de conducción del agua superficial y subterránea. Alteran la monotonía del manto arenoso, esporádicas depresiones elongadas, pequeños bañados y reducidos médanos semifijos.

6. AGUA SUPERFICIAL

La característica distintiva es la ausencia de red de drenaje (zona arreica). El agua se almacena en cuerpos lagunares y bañados de forma subcircular en parte alargados en sentido NE. Las depresiones deben su origen a la acción eólica (cubetas de deflación). En ellas, el agua está sometida a la evaporación directa favorecida por los vientos que son frecuentes. Los cuerpos lagunares son de carácter temporario y constituyen áreas de descarga localizadas. Sin embargo, la laguna vecina a Ing. Thompson, que recibe los aportes de gran parte de Salliqueló, se mantiene en forma permanente desde 1973. Las lagunas vinculadas a pequeñas depresiones rodeadas por una orla medanosa, poseen agua de buena calidad con conductividad eléctrica menor a 600 $\mu\text{mho/cm}$. Ello pues derivan directamente de la lluvia.

7. AGUA SUBTERRANEA

Es el recurso hidráulico de "mayor potencial" y "mejor aptitud" debido a su calidad y disponibilidad. El superficial prácticamente no existe y el meteórico (llu-

via) posee una distribución irregular en el tiempo. Pese a ello, los cultivos no se riegan y en ámbitos rurales, donde el agua subterránea tiene elevada concentración salina, se aprovecha la de lluvia para consumo humano.

El agua freática contenida en los sedimentos postpampeanos y pampeanos superiores, es sin lugar a dudas la de mejor calidad y la que se emplea para consumo humano. Neveles semiconfinados contenidos en el Pampeano inferior brindan agua apta para el ganado. Los acuíferos más profundos, correspondientes al Araucano y a las formaciones Macachín y Abramo, presentan salinidades muy elevadas, lo que limita su aprovechamiento.

HIDRODINÁMICA

Las características y el comportamiento hidrodinámico subterráneos pueden apreciarse mediante el análisis y la interpretación del mapa 1. Este representa, con curvas equipotenciales, la morfología de la superficie freática que es de tipo radial (convergente en los ámbitos de descarga y divergente en los de recarga). En lo referente a orientación del flujo, se observan dos sectores. En la mitad NO tiene una dirección dominante hacia el norte con un gradiente hidráulico medio de $5,2 \times 10^{-4}$. El espaciamiento entre curvas presenta una distribución irregular pues en el tramo alto, entre 130 y 120 m, siguiendo la divisoria de agua subterránea, la forma es de tipo parabólico. En el tramo bajo, como contraparte, entre 127,5 y 117,5 m, la forma es hiperbólica. Esta modificación en el gradiente hidráulico se debe a una disminución de la transmisividad en el tramo medio, o zona de conducción, entre curvas equipotenciales de 127,5 y 122,5 m.

En el sector NO, se aprecia una línea de descarga principal, con flujo hacia el norte coincidente con la pendiente topográfica local, flanqueada por dos de recarga con la misma orientación.

En la mitad SE, el flujo se orienta hacia el este con un gradiente hidráulico medio de $5,0 \times 10^{-4}$. Se observa una sola divisoria bien definida y dos líneas de descarga ubicadas al sur de la primera. También se distingue una zona de recarga preferencial, delineada por la equipotencial de 127,5 m, 2 km al oeste de Salliqueló. Además, se presentan cuatro ámbitos de descarga areal, coincidentes con bajos topográficos (cubetas de deflación). Allí, la pérdida se produce por evapotranspiración, debido a la escasa profundidad de la superficie freática (menos de 1 m).

De acuerdo a los valores medios de permeabilidad (15 m/día) y de porosidad efectiva (15 %), determinados por ensayos de bombeo, la velocidad efectiva del flujo subterráneo regional es de unos 5 cm/día. La misma surge de aplicar la ley de Darcy para un gradiente hidráulico medio de 5×10^{-4} . Localmente, dado el aumento del gradiente en coincidencia con los cuerpos medanosos (9×10^{-3}) la velocidad efectiva puede crecer hasta 0,9 m/día. Esta situación no se aprecia en el mapa 1, debido a la equidistancia con que fue elaborado (2,5 m).

De cualquier manera, la velocidad de circulación dominante es extremadamente baja, característica típica de ambientes llanos. Ello hace que tengan mayor trascendencia hidrodinámica los desplazamientos verticales (infiltración, ascenso capilar, evapotranspiración) que los horizontales (flujo subterráneo lateral).

HIDROQUÍMICA

El tipo y concentración, así como la prevalencia iónica en el agua subterránea depende de una serie de factores. Un grupo de ellos, está vinculado a las características físicas del medio donde se aloja el agua (Composición mineralógica, permeabilidad, porosidad efectiva, isotropía, homogeneidad, etc.). Otro depende de las particularidades hidrodinámicas del sistema (zona de recarga, conducción y descarga, extensión del recorrido subterráneo) que en gran medida están condicionadas por los rasgos morfológicos y geológicos superficiales y de subsuelo. Finalmente, la condición climática de la región, especialmente la relación entre precipitación y evapotranspiración (exceso o déficit en el balance hídrico) es otra de las variables que posee significativa trascendencia en el contenido salino del agua subterránea.

En la región estudiada, los rasgos geológicos y geomorfológicos son los que tienen mayor incidencia en los caracteres hidroquímicos subterráneos. Así, en los cuerpos medanosos principales se almacena agua de bajo tenor salino, en general menor de 1.000 ppm, debido a que constituyen ámbitos de recarga, con permeabilidad y porosidad efectiva relativamente elevadas. La salinidad aumenta en la zona de conducción (zona intermedia) a magnitudes entre 1.000 y 2.000 ppm debido a la incorporación durante el recorrido. Finalmente en las zonas de descarga (zona deprimida), particularmente en las cubetas de deflación principales, el agua subterránea presenta concentraciones salinas elevadas (mayores de 3.000 ppm, con un valor extremo de 13.240 ppm).

En el mapa 1, puede apreciarse el comportamiento general mencionado a través de los diagramas de Stiff (1 meq/l equivale aproximadamente a 33 ppm). Las desviaciones al esquema señalado, son producto de las variaciones litológicas de subsuelo, cuyas características y distribución no se conocen con precisión.

De la región estudiada, el sector SE es el que presenta agua de menor salinidad. Sin embargo, en la totalidad de la misma, predominan tenores inferiores al límite de potabilidad (2.800 ppm). En la fig. 6 se reproducen las normas de potabilidad vigentes en la República Argentina y en el listado que sigue, se tabulan las concentraciones extremas y la media en ppm de las 130 muestras analizadas químicamente.

	sol. dis.	alcal. tot. (CO ₃ Ca)	dureza tot. (CO ₃ Ca)	cloruros
máx.	13.240	2.810	3.750	4.230
mín.	270	115	40	25
media	2.135	610	445	395

	sulfatos	nitratos	flúor	arsénico
máx.	1.560	150	>2,8	0,13
mín.	10	0	<0,2	<0,01
média	240	45		

Considerando los valores medios, salvo la dureza, el resto de las sales está por debajo del límite considerado "tolerable". Sin embargo, la marcada variabilidad hidroquímica tanto lateral como vertical, hace que existan zonas con tenores mucho mayores y otras con concentraciones muy inferiores a las tolerables. Esta variabilidad, como se observa en algunos sectores del mapa 1 puede producirse en cortas distancias (menos de 1 km).

En lo referente a su composición iónica, predomina notoriamente el tipo bicarbonatado sódico con el 80% del total. Le siguen los tipos clorurado sódico y bicarbonatado cálcico con el 7% cada uno. El tipo clorurado cálcico es poco mayor al 2% y el sulfatado sódico no alcanza al 2%. Finalmente, el sulfatado cálcico, no llega al 1%.

El marcado predominio del tipo CO₃HNa sobre el CO₃H₂Ca, aún para bajas concentraciones salinas o en ámbitos de recarga, se debe principalmente al proceso de intercambio de bases. Este, que se produce con frecuencia en sedimentos loessoides, consiste en la fijación del Ca⁺⁺ disuelto, en la estructura cristalina de las arcillas. A su vez, el Na⁺ se incorpora al agua al ser desplazado por el Ca⁺⁺.

De los oligoelementos analizados, los fluoruros y los nitratos son los que más inciden en la potabilidad del agua. Por encima del límite "tolerable" para NO₃⁻ se identificaron 10 muestras (8 %). Respecto al flúor, de las 130 analizadas, 24 (18%) registraron más de 2,8 ppm.

Los nitratos en áreas urbanas se originan por contaminación biológica. En el ámbito rural, pueden tener el mismo origen o derivar de los fertilizantes que se aplican a los suelos para mejorar su productividad. Los fluoruros, derivan del componente volcánico que caracteriza al loess (vidrio, feldespatoides, feldespatos). En general, se presentan tenores elevados en flúor, coincidentes con aguas de baja dureza.

RESERVAS

Para estimar la reserva de agua subterránea, se tuvo en cuenta la porosidad efectiva (obtenida por ensayos de bombeo), la geometría del acuífero (reconocida por perforaciones) y los caracteres químicos. El análisis está referido al ambiente vecino a Salliqueló, en virtud de ser donde se concentra la explotación y existe mayor información de subsuelo (perforaciones).

La porosidad efectiva media determinada mediante 4 ensayos de bombeo fue del 15 %, que condice con la granometría arenosa y el tipo de acuífero (libre). Los pozos ensayados fueron los del servicio centralizado de provisión de agua a Salliqueló. El servicio para 4.000 usuarios, se cubre con 11 pozos de alrededor de 30 m de profundidad cada uno. Los caudales extremos de producción son 2,9 y 15 m³/h y el rendimiento específico varía entre 0,7 y 12,5 m³/h.m con una media de 4,2. El espesor reconocido con agua apta es mayor de 40 m en la ciudad pero disminuye hacia la periferia a menos de 5 m. Por lo tanto, se asume una potencia media saturada apta de 20 m en una superficie de 2.500 hectáreas de lo que deriva una reserva total de 75 hm³. De ese volumen, se estima que técnicamente se puede aprovechar un 50 % (37) hm³, que constituye la reserva explotable.

BALANCE SUBTERRÁNEO

Se desarrolla a continuación un balance hídrico a fin de establecer la relación entre el flujo subterráneo y la explotación.

Tomando la equipotencial de 125 m que atraviesa la ciudad y dos filetes como borde del sistema, se tiene que por A-A' pasa: $Q = T \cdot i \cdot L$ $Q = 500 \text{ m}^3/\text{d.m} \times 8,3 \times 10^{-4} \times 3,200 \text{ m}$ $Q = 1.330 \text{ m}^3/\text{día}$.

La extracción total de Salliqueló asciende a 1800 m³/día de los cuales 1500 corresponden al servicio y 300 m³/día a captaciones domiciliarias. La diferencia entre la explotación y el flujo subterráneo (470 m³/día o 0,17 hm³/año) debe ser cubierta con infiltración. Esto surge al analizar la forma de las curvas equipotenciales, que no sufren distorsión en el ámbito bajo explotación. Por lo tanto, la extracción debe estar equilibrada por el flujo natural más la recarga. Si se considera la superficie en que están distribuidos los pozos (aproximadamente 500 ha), el excedente necesario para equilibrar la extracción asciende a 34 mm/año.

El análisis hidrodinámico descripto, demuestra el error cometido en el desarrollo del balance hídrico aplicando la metodología de Thornthwaite que, para valores históricos de precipitación, da un déficit medio anual de 92 mm. Además, como ya se mencionara, la tendencia ascendente de la superficie freática en los últimos 15 años, a razón de 0,8 m/año, indica que la desviación entre el resultado empírico y el derivado del análisis hidrodinámico, es mayor el señalado.

CONCLUSIONES

La región estudiada conforma una llanura medanosa arenosa, con una pendiente topográfica hacia el NE de $3,2 \times 10^{-4}$, dentro del marco de la gran Llanura Chaco-pampeana. En superficie predominan arenas finas de médanos (Holoceno) subyacentes por limos arenosos (loess) del Pleistoceno. En dichas unidades se emplaza el acuífero de mejor aptitud que presenta características de libre. La recarga se produce en las zonas morfológicamente elevadas y la descarga en las deprimidas. La velocidad natural de circulación subterránea es baja (5 cm/día) por lo que asumen preponderancia los desplazamientos en sentido vertical. La morfología y la constitución geológica también poseen gran influencia en los caracteres químicos del agua subterránea. Así, se presenta una marcada zonalidad vertical con un notorio incremento salino en profundidad, pero también se observa zonalidad lateral. Esta última en el sentido del flujo subterráneo, especialmente en coincidencia con depresiones topográficas que actúan como ámbitos de descarga por evapotranspiración. Domina ampliamente el tipo bicarbonatado sódico (80 % de las muestras analizadas), sobre clorurado sódico (7%) y bicarbonatado cálcico (7%). La potabilidad del agua subterránea, que es el único recurso seguro de la región, está ampliamente influenciada por la variabilidad en el contenido iónico. Al respecto, cloruros y sulfatos son los principales limitantes entre los comunes y fluoruros y nitratos, entre los oligoelementos. Del balance hídrico aplicando la metodología de Thornthwaite, surge un déficit medio anual de 92 mm. Sin embargo, analizando el comportamiento hidrodinámico de la zona bajo explotación, se desprende que el excedente o recarga deber ser por lo menos de unos 34 mm/año. Existe un equilibrio aceptable entre la extracción y los ingresos por flujo subterráneo e infiltración efectiva. Ello evita el agotamiento de la reserva, el descenso de la superficie freática y la salinización por ascenso de aguas más profundas.

BIBLIOGRAFIA

- BRACACCINI, O. 1972. **Cuenca del Salado**, en Geología Regional Argentina. Acad. Nac. Cienc. Córdoba.
- FRENGUELLI, J. 1950. **Rasgos generales de la morfología y la geología de la Provincia de Buenos Aires**. Rev. LEMIT, serie II, n° 33. La Plata.
- SALSO, J. 1966. **La cuenca de Macachín, Provincia de La Pampa**. Rev. Asoc. Geol. Arg. Tomo XXI, n° 2. Buenos Aires.
- TAPIA, A. 1935. **Causas geológicas y consecuencias políticas de los cambios del cauce del Pilcomayo, en Formosa**. An. Soc. Arg. Est. Geogr. T. IV, 2. Buenos Aires.
- THORNTHWAITE, C.W. 1948. **An approach toward a rational classification of climate**. Rep. from The Geographical Review, T. XXXVIII.
- THORNTHWAITE, C.W. y J.R. MATHER 1955. **Instructions and tables for computing the potential evapotranspiration and the water balance**. Climate Drexel Inst. of Technology. V. 10, n° 3.

BALANCE HIDRICO

TABLA 1

mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	año
T	23,9	22,5	18,5	15,1	11,2	8,1	7,6	9,1	12,2	15,8	19,6	23,0	15,5
I	10,68	9,75	7,25	5,33	3,39	2,05	1,89	2,48	3,86	5,71	7,91	10,08	70,41
Evt p a	3,9	3,4	2,5	1,8	1,1	0,6	0,6	0,8	1,3	2,0	2,7	3,6	
Evt p	146	107	80	51	29	14	15	22	39	68	96	137	804
P	74	82	91	65	36	24	23	22	47	84	83	81	712
P-Evt p	-72	-25	11	14	7	10	8	0	8	16	-13	-5,6	-92
P p a a	-141	-166									-13	-69	
A	22	17	26	42	49	59	67	67	75	91	80	45	
VA	-23	-5	11	14	7	10	8	0	6	16	-11	-35	
Evt r	97	67	60	51	29	14	15	22	39	68	94	116	712
D	49	20	0	0	0	0	0	0	0	0	2	21	92
Ex	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

T: temperatura °C

I: índice calórico

Evt p a: evaporación potencial

Evt p: evaporación sin ajustar

P: precipitación

P p a a: pérdida potencial de agua acumulada

A: agua almacenada

VA: variación de agua almacenada

Evt r: evaporación real

D: déficit

Ex: exceso

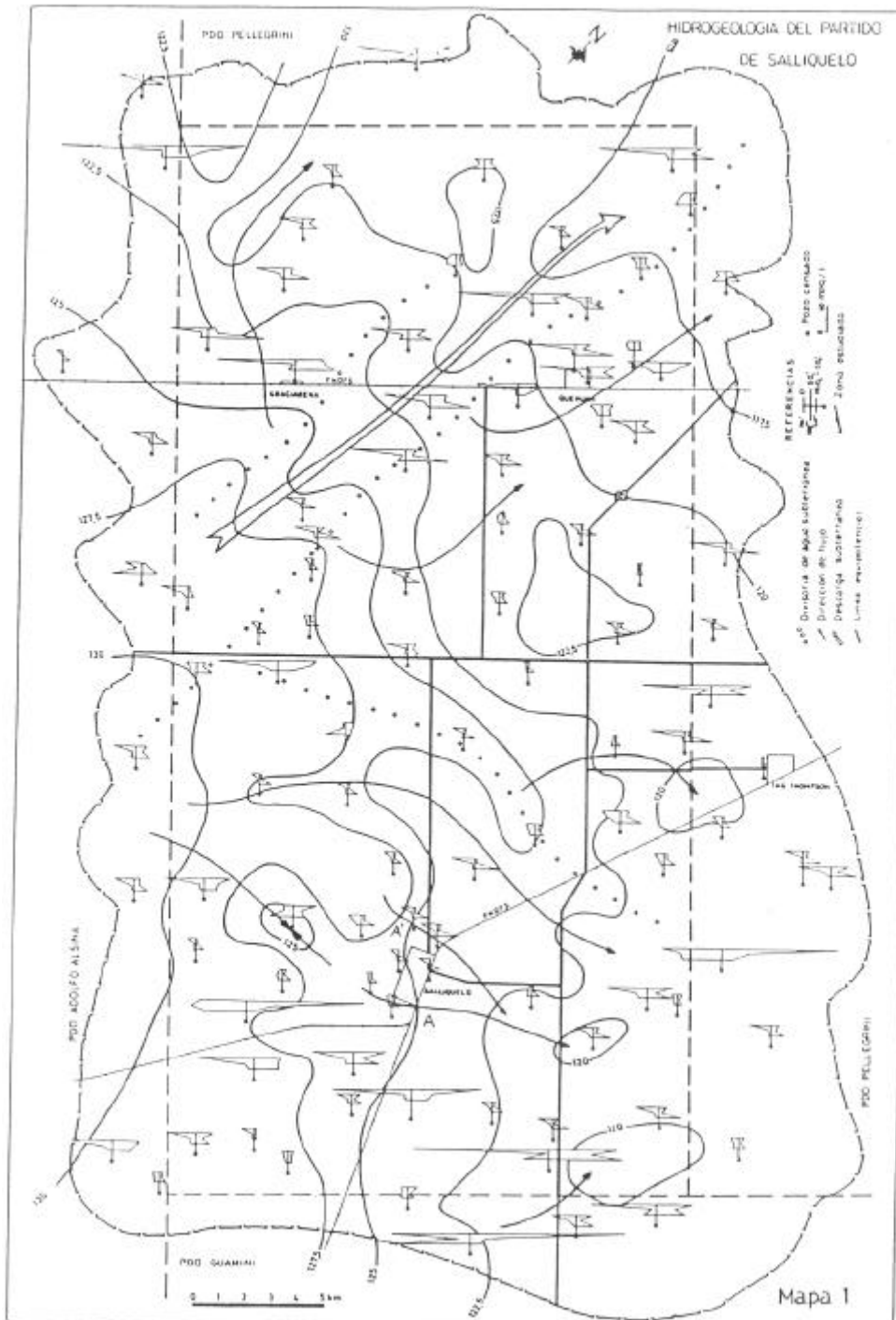




Fig. 1. Ubicación geográfica

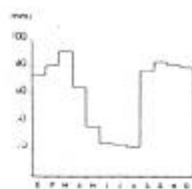


Fig. 2. Precipitación mensual

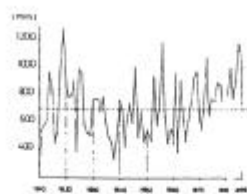


Fig. 3. Pluviograma anual

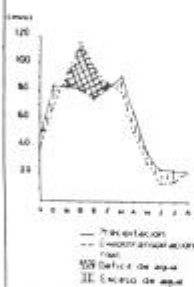


Fig. 4. Balance hídrico

(m)	FORMAC. litológica	EDAD	LITOLÓGIA	COMPORTAMIENTO HIDRÓLOGICO
0-30	Pat. A	Pleistoceno	Limos arenosos calcáreos (loesa)	Acuífero libre de buena productividad. Agua de baja salinidad (0,5 - 1,5 g/l)
30-80	Ar. I	Plioceno	Areniscas arcillosas calcáreas y yesosas	Acuífero libre y semiconfinado con productividad media en partes acuíferas. Salinidad moderada (1 - 3 g/l)
80-150	Macácho	Mioceno	Areniscas y arcillas marinas	Acuífero confinado a semiconfinado y arcilloso. Salinidad alta (1,80 g/l)
150-300	Abramo	Terciario inferior	Limolitas y areniscas arcillosas calcáreas y yesíferas	Acuífero confinado de baja productividad en sección superior y acuífero en la inferior. Salinidad muy alta (150 g/l)
300-600	Arata I	Méico inferior	Areniscas y arcillas	De existir sería similar a Abramo
600-1000	Basamento	Arqueozoico inferior	Cuarzitas, granitos y gneises	Acuífero Base impermeable del sistema hidrogeológico subterráneo

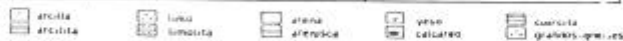


Fig. 5. Perfil geológico o hidrogeológico de subsuelo

Caracteres químicos (en ppm)	U. S. ?	Límite aceptable	Límite tolerante
pH	6,5	pH ₅ > 0,2	pH ₅ < 8,5
Sólidos sueltos totales	50 - 150	1000	2000
Alcalinidad total (CO ₃ Ca)	30 - 50	400	800
Dureza total (CO ₃ Ca)	30 - 50	200	400
Cloruros (Cl ⁻)	< 200	250	300
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	< 300	200	400
Hierro total (Fe ⁺⁺⁺)	< 0,05	0,10	0,20
Manganeso (Mn ⁺⁺⁺)	< 0,05	0,05 *	0,10 *
Amonio (NH ₄ ⁺)	< 0,05	0,20	1,0
Nitritos (NO ₂ ⁻)	-	< 0,1 *	0,1 *
Nitratos (NO ₃ ⁻)	< 45 *	45 *	90
Fluor (F ⁻)	-	0,7 - 1,2 *	2,0 *
Arsénico (As)	0	0,01 *	0,05 *
Plomo (Pb)	0	0,01 *	0,05 *
Cadmio (Cd)	-	-	0,01 *

Fig. 6. Normas de calidad de agua para consumo humano

*propiedad