

AMBIENTES HIDROGEOLÓGICOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. REPÚBLICA ARGENTINA

Dr. Geól. Miguel P. Auge

Academia Argentina de Ciencias del Ambiente

Av. Santa Fe 1145, CP 1059 ABF, Buenos Aires

miguelauge66@gmail.com

RESUMEN

Se mencionan las características hidrogeológicas de 9 ambientes identificados en la Provincia de Buenos Aires, sobre la base de los factores que ejercen mayor influencia primaria en el comportamiento hidrológico subterráneo.

Como ambiente hidrogeológico o región hidrogeológica, se define a todo ámbito que presente características o comportamientos distintivos en relación a sus aguas subterráneas. El término distintivo implica la manifestación reiterada y/o fácilmente detectable de alguna característica peculiar y por lo tanto, no siempre involucra un comportamiento homogéneo.

Los factores que ejercen mayor influencia primaria en el comportamiento hidrológico subterráneo son el geológico, el geomorfológico, el climático y el biológico. Por ello, el carácter hidrogeológico distintivo es consecuencia de la señal o rúbrica impresa por alguno/s de los factores mencionados.

Los ambientes hidrogeológicos identificados y descriptos son: Noreste, Deprimido, Noroeste, Serrano, Interserrano y Pedemontano, Costero, Norpatagónico, Bahía Blanca y Delta.

Palabras clave: agua subterránea, ambientes hidrogeológicos, regiones hidrogeológicas, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

ABSTRACT

The hydrogeological characteristics of 9 environments identified in the Buenos Aires Province are mentioned, on the basis of those factors that exert greater primary influence on underground hydrological behavior.

Hydrogeological environment or hydrogeological region, is defined to any scope that presents distinctive characteristics or behaviors in relation to its groundwater. The distinctive term implies the repeated and / or easily detectable manifestation of some peculiar characteristic and therefore does not always involve homogeneous behavior.

The factors that exerts greater primary influence on underground hydrological behavior are geological, geomorphological, climate and biological. Therefore, the distinctive hydrogeological character is a consequence of the signal or rubric printed by some of the aforementioned factors.

The hydrogeological environments described are: Northeast, Depressed, Northwest, Hilly, Interhilly and Piedmont, Coastal, Norpatagonic Bahía Blanca and Delta.

Keywords: groundwater, hydrogeological environments, hydrogeological regions, Buenos Aires Province, Argentina.

INTRODUCCIÓN

La Provincia de Buenos Aires se ubica en el sector centro-oriental del territorio continental argentino (Figura 1); es la más extensa de las 24 que lo componen con 307.571 km², la más poblada con 17,5 millones de habitantes (40% del total de país) y en la que se produce la mayor riqueza, con un PBI que alcanza al 67% del total de la República Argentina.

Como ambiente hidrogeológico o región hidrogeológica, se define a todo ámbito que presente características o comportamientos distintivos en relación a sus aguas subterráneas. El término distintivo implica la manifestación reiterada y/o fácilmente detectable de alguna característica peculiar y por lo tanto, no siempre involucra un comportamiento homogéneo.

Los factores que ejercen mayor influencia primaria en el comportamiento hidrológico subterráneo son: el geológico, el geomorfológico, el climático y el biológico. Por ello, el carácter distintivo es consecuencia de la señal o rúbrica impresa por alguno/s de los factores mencionados.

El componente geológico incide notablemente en el aspecto hidroquímico y en el hidrodinámico.

El tipo mineralógico, tanto de la zona saturada como de la subsaturada o no saturada, constituye el elemento principal del que toma su composición química inicial el agua subterránea. El grado de litificación, la textura y la estructura, también condicionan los comportamientos químicos y dinámicos. En las rocas, que conforman medios netamente discontinuos, el agua tiene poco espacio para almacenarse, se transmite a través de fisuras, o superficies de debilidad (diaclasas, fallas, estratificación, esquistosidad), con mayor velocidad y menor superficie de contacto que en los sedimentos. El resultado general es escasa reserva, flujo rápido de tipo turbulento y baja salinidad.

La textura de los sedimentos controla la porosidad, la permeabilidad y la composición química. Bajo condiciones de porosidad intergranular el medio es continuo, la capacidad de almacenamiento y la superficie de contacto aumentan y la velocidad de flujo disminuye en relación a los ambientes rocosos. El tamaño de los poros, que en general es función del tamaño de los granos, es uno de los principales condicionantes del comportamiento hidráulico, hidrodinámico e hidroquímico.

La granometría fina (pelita), se caracteriza por presentar alta porosidad total y baja permeabilidad y porosidad efectiva. El volumen total de agua almacenada es elevado, pero el extraíble es escaso. Las velocidades de flujo son muy bajas y la tendencia salina es hacia altas concentraciones.

Las granometrías medianas (arenas) y las gruesas (gravas), manifiestan un comportamiento opuesto al citado para las pelitas; poseen menor porosidad total, pero mayor porosidad efectiva y permeabilidad, lo que les otorga mayor productividad. Sin embargo la tendencia, especialmente en lo referente a la hidroquímica, puede variar sustancialmente bajo la influencia del clima. Así, en regiones con marcado exceso en el balance hídrico (húmedas), es común encontrar aguas de baja salinidad aún en sedimentos arcillosos, mientras que en zonas deficitarias predominan salinidades elevadas, incluso en materiales arenosos.

La geomorfología de las zonas montañosas, con fuertes pendientes topográficas, origina acentuados gradientes hidráulicos y por ende da lugar a ámbitos donde predomina el flujo lateral. En los piedemontes, las pendientes topográfica e hidráulica adoptan valores intermedios y la condición de la primera, junto con la presencia de sedimentos con permeabilidades relativas altas, favorece el incremento de la recarga. La morfología de estos ámbitos y de las llanuras vecinas, es la principal responsable de la existencia de zonas de surgencia con altas presiones y caudales.

En las llanuras, la escasa expresión morfológica, con pendientes topográficas muy escasas a prácticamente nulas, controla la energía hidráulica superficial, limitando la extensión de la red de drenaje y también la

subterránea, cuyo principal vector se orienta verticalmente. Por ello, pese a que en las mismas predominan granometrías finas, son sitios de recarga y descarga preferencial mediante flujo vertical. Otra característica que tipifica a las llanuras es el confinamiento parcial o semiconfinamiento, que permite la recarga de unidades hidrogeológicas profundas a partir de otras sobrepuestas, incluso desde la capa freática, por el proceso de filtración vertical descendente, como sucede con el Acuífero Puelche en el NE de la Provincia de Buenos Aires.

El clima es otro de los factores que inciden en las características y el comportamiento hidrológico subterráneo.

En condiciones de aridez la recarga es escasa o prácticamente nula, la superficie freática se emplaza a profundidades considerables y la salinidad es elevada, debido a la concentración por evapotranspiración y a la falta de dilución. En regiones húmedas sucede lo contrario y el excedente en el balance suele manifestarse mediante una abundante red hidrográfica, la recarga es importante, el agua subterránea se ubica a poca profundidad y es de baja salinidad. En algunos casos, como ya se mencionó en el punto anterior, la morfología limita la importancia de la red de drenaje

El componente biológico natural tiende a mantenerse en equilibrio con el ambiente y el resto de los recursos naturales (agua, aire y suelo), pero el instalado artificialmente (cultivos, plantaciones) y las prácticas y actividades desarrolladas por el hombre (arado, riego, drenaje, fertilización, fumigación, construcciones urbanas, viales e hidráulicas, basurales, industrias, efluentes, etc.), son las que generan las mayores alteraciones en el comportamiento del recurso hídrico subterráneo. En este sentido, los parámetros más afectados son la reserva, la productividad y la calidad.

La diferenciación de ambientes hidrogeológicos en la Provincia de Buenos Aires, se realizó sobre la base de dos de los factores que mayor incidencia ejercen en el agua subterránea (geología y geomorfología), pues los dos restantes (clima y biota) poseen menor influencia.

En efecto, si bien existe disminución en la precipitación y la temperatura hacia el SO y S respectivamente, en ambos casos el descenso es gradual. Respecto al componente biológico, el vegetal y animal naturales fueron severamente alterados por las prácticas agrícolas, que además constituyen un factor de elevado riesgo frente a la aptitud de los recursos biota, agua y suelo, especialmente por el uso de plaguicidas y la extracción de agua subterránea para riego, cuya práctica ha crecido notablemente en los últimos tiempos.

En el desarrollo del tema se puso énfasis en la identificación y descripción de las unidades geológicas de superficie y de subsuelo y en la incidencia que estas ejercen sobre el comportamiento hidrogeológico, especialmente en los aspectos hidráulicos, hidrodinámicos e hidroquímicos y en el uso del agua subterránea, sintetizándose los mismos mediante cuadros individuales para cada ambiente reconocido, cuya ubicación geográfica se indica en la Figura 2. Al finalizar con la descripción hidrogeológica por regiones, se realiza un análisis sobre el comportamiento y la distribución de uno de los contaminantes naturales más comunes que afectan al agua subterránea (Arsénico), en todo el territorio provincial. También se desarrolla un capítulo donde se postulan políticas y estrategias para un manejo adecuado del recurso hídrico subterráneo.

Las descripciones se inician por las unidades más modernas, dado que son las que mantienen un contacto más directo con las fases atmosférica y superficial del ciclo hidrológico.

Investigaciones similares sobre el tema fueron realizadas por Auge (2004) y González (2005).

AMBIENTE NORESTE (NE)

Comprende la región ubicada en el sector NE de la Provincia de Buenos Aires, ocupa 31.907 km², con límites: al NO la Provincia de Santa Fe; al NE y SE el Delta del Paraná y el Río de la Plata, respectivamente y al SO la divisoria entre las cuencas hidrográficas del Plata y del Salado. Es el ambiente más propicio de la provincia, pues a la abundancia de agua superficial dulce (ríos Paraná y de la Plata), se agregan la calidad y la disponibilidad de agua subterránea, la aptitud de los suelos y el clima y la favorable condición geomorfológica, que facilita el drenaje superficial y por ende limita los anegamientos al Delta del Paraná y a las planicies de inundación de ríos importantes como Luján, Reconquista, Matanza, Paraná y de la Plata.

Como se aprecia en la Figura 2, existe un notorio predominio del escurrimiento superficial hacia el NE (Cuenca del Plata) en relación al SO (Cuenca del Río Salado).

El clima es bastante uniforme debido a que se trata de una llanura de escasas dimensiones (350 km de largo y 100 de ancho). A partir de los registros climatológicos de la Estación Mercedes, ubicada aproximadamente en el centro de la región considerada, se tiene que: la precipitación media anual oscila en 950 mm, con muy pocas variaciones longitudinales y transversales. Entre diciembre y marzo, se concentra el 40% de la lluvia, mientras que el invierno (junio – agosto) registra sólo el 16%. La temperatura media anual es 16,5°C, la máxima media se da en enero (24,5°C) y la mínima en julio (9,2°C). Considerando los valores de precipitación y temperatura, el clima es templado–húmedo, de acuerdo a la clasificación de Köppen.

La evapotranspiración real media anual es de alrededor del 70% de la lluvia (Auge, 1997) o sea 665 mm, la infiltración se estima en un 20% (190 mm/a) y la escorrentía en un 10% (95 mm/a). El exceso de la lluvia frente a la evapotranspiración (285 mm/a), indica que la región es húmeda.

Las condiciones geomorfológicas, con pendientes bajas (del orden de 10⁻³) y las características edafológicas y geológicas, favorecen el proceso de infiltración y por ende la recarga.

Postpampeano. Constituye la sección estratigráfica más moderna de la región (Holoceno) y está formado por sedimentos de origen fluvial, marino y lacustre, en los que predomina la granometría fina (limo, arcilla y arena fina).

Los fluviales (Formación Luján), se emplazan en las planicies de inundación de los ríos y arroyos, destacándose por su extensión lateral y espesor, los que ocupan la costa del Río de la Plata y el Delta del Paraná. Los marinos (Formación Querandí), alcanzan hasta cota 10 m, disponiéndose por debajo de los fluviales, con un marcado desarrollo en los sitios mencionados y en las cuencas inferiores de los ríos Luján, Reconquista y Matanza.

La granometría pelítica y el origen marino, hacen que el agua subterránea asociada al Postpampeano sea de elevada salinidad (3 a 10 g/l) y con frecuencia sulfatada, debido a la oxidación de los sulfuros metálicos formados en los ambientes reductores donde se acumuló.

También se caracteriza el Postpampeano por su baja productividad lo que, junto con la elevada salinidad, hacen que el agua prácticamente no sea utilizada. Una excepción al comportamiento señalado, son los cordones de conchilla que, paralelos y a menos de 5 km de la costa del Río de la Plata, se extienden al SE de la ciudad de La Plata. La elevada permeabilidad de la conchilla, relicto de la regresión del Mar Querandino, favorece la infiltración de la lluvia y de las crecidas del Río de la Plata, constituyendo la única fuente de provisión segura de agua para los pobladores rurales, con salinidades menores a 2 g/l.

Dado que los cordones prácticamente afloran, los acuíferos libres asociados son muy vulnerables a la contaminación.

Pampeano. El Loess Pampeano (Frenguelli, 1955), está formado por limos arenosos y arcillosos, castaños y pardos de origen eólico, con intercalaciones de tosca, que subyacen a la cubierta superficial edafizada en la mayor parte del ámbito considerado y a los Sedimentos Postpampeanos, donde estos se presentan.

Los Sedimentos Pampeanos contienen al Acuífero Pampeano, que es uno de los más utilizados en la Llanura Chacopampeana para consumo humano, ganadero, industrial y para riego. En la sección superior del Pampeano se emplaza la capa freática, mientras que con el aumento de la profundidad, es frecuente la presencia de capas semiconfinadas normalmente por debajo de los 50 m. El espesor del Pampeano varía entre 120 m en Colón (extremo NO del ámbito estudiado) y 0 m en las cuencas inferiores de los ríos Luján, Reconquista y Matanza, debido a que fue eliminado por erosión fluvial.

La Figura 3 es una compilación de los mapas correspondientes al informe DYMAS (1974) y en ella se representa la salinidad del acuífero libre en la Provincia de Buenos Aires. En la región NE, dentro del Pampeano, predominan concentraciones menores de 1 g/l; algunos sectores más reducidos presentan tenores entre 1 y 2 g/l, mientras que los que registran más de 2 g/l, se restringen a la costa del Río de la Plata.

La Figura 4 (compilación DYMAS, 1974) es el mapa de curvas isofreáticas y del mismo se desprende el carácter efluente de los ríos y arroyos principales, especialmente en los tramos medios y bajos de sus cuencas, por lo que se constituyen en sitios de descarga del agua subterránea. Este comportamiento resulta trascendente respecto a la trayectoria de un eventual contaminante, que bajo las condiciones de flujo señaladas, debería hacerlo hacia los cauces. Por ello, de no existir alteración antrópica (explotación), el agua subterránea está protegida de la contaminación proveniente de la superficial.

En este ambiente se emplea al Acuífero Pampeano para consumo doméstico rural, para el ganado y para consumo doméstico periurbano, en aquellos sitios que no cuentan con servicio de agua potable.

En lo referente al riego, en las regiones donde se lo practica en forma complementaria (centro y NO), suele captarse al Pampeano mediante pozos de hasta 20" de diámetro, sin entubar (debido a la estabilidad del loess), con caudales de hasta 120 m³/h (San Antonio de Areco, Arrecifes, Pergamino). El agua en general es más dura que la del Acuífero Puelche subyacente. En los últimos años se han instalado numerosos equipos de riego por aspersión, para mejorar los cultivos de maíz, trigo, soja y girasol, en virtud de los precios de dichos cereales en el mercado internacional.

En la región donde se practica agricultura intensiva (hortalizas, flores y frutales) generalmente se lo capta junto con el Puelche, mediante pozos sin encamisar, que penetran pocos metros (menos de 10) en las Arenas Puelches subyacentes. En estas comarcas (San Pedro; Baradero, Escobar, conurbanos de Buenos Aires y La Plata), normalmente se riega de octubre a marzo con extracciones significativas, como sucede en el cinturón verde que rodea a La Plata, donde para regar 20.000 ha de hortalizas y flores, se emplean alrededor de 20 hm³/año de agua exclusivamente subterránea, proveniente en un 30% del Pampeano y en un 70% del Puelche.

Para abastecimiento humano, sólo se emplea el Acuífero Pampeano en las zonas suburbana y rural, que no poseen servicio de agua potable, con un insumo de unos 2,6 hm³/a.

En el Conurbano de Buenos Aires se utilizan unos 355 hm³/a de agua subterránea para abastecimiento humano, con una participación de alrededor del 30% del Acuífero Pampeano y el 70% del Puelche, y unos 35 hm³/a para riego, con un porcentaje similar.

El Acuífero Pampeano se recarga por la infiltración de la lluvia y constituye la vía para la transferencia hidráulica hacia el Puelche subyacente.

A partir de balances hídricos edáficos seriados, para un lapso de 84 años consecutivos en La Plata, Auge (1997), concluye que la evapotranspiración potencial es prácticamente igual a la real, lo que indica que no hay defi-

ciencia de agua. Considerando el mismo lapso y con un balance global estima que la evapotranspiración es del 71%, la infiltración del 24% y la escorrentía del 5%, todas respecto a la lluvia.

Arenas Puelches. También conocidas como Formación Puelches, subyacen al Pampeano en todo el NE de la Provincia de Buenos Aires, donde ocupan 83.000 km² (Auge, 1986), ingresando por el N en las vecinas de Santa Fe y Entre Ríos. Están formadas por "arenas cuarzosas, francas, sueltas, medianas y finas, de color amarillento a blanquecino, algo micáceas, tornándose arcillosas hacia la Cuenca del Salado y la Bahía Samborombón" (-Auge y Hernández, 1984). Contienen al acuífero más explotado del país pues de él se abastecen gran parte del Conurbano y otras ciudades importantes como La Plata, Zárate, Campana, Baradero, San Nicolás, Arrecifes, Pergamino, Luján, etc.

Las Arenas Puelches se extienden al SO del Río Salado, para engranar lateralmente con arcilitas arenosas y yesíferas del Araucano, que contiene agua con elevada salinidad, siguiendo una línea que pasa entre Junín y Lincoln, 9 de Julio y Bragado, Saladillo y Gral. Alvear, Las Flores y Gral. Alvear, y entre Dolores y Rauch (Figura 5). Dentro de la Provincia de Buenos Aires, las Arenas Puelches tienen un volumen de 2,8.10⁶ hm³, de los que alrededor de 560.000 hm³ son de agua recuperable (Auge y Hernández, 1984). En la Figura 6 se representa la variación areal en la salinidad del Acuífero Puelche, que presenta tenores menores a 2 g/l en la mayor parte del ambiente considerado, salvo en las cercanías de los ríos Paraná y de la Plata, donde supera 2 y aún 20 g/l.

Ya se mencionó al tratar el Pampeano, que el Acuífero Puelche es ampliamente empleado para riego, consumo humano, ganadero e industrial. En la zona flori-hortícola de La Plata se extraen unos 20 hm³ para regar durante 6 meses al año. Para el abastecimiento de agua potable a la ciudad y localidades vecinas que integran el Gran La Plata, como Tolosa, Ringuelet, Gonnet, City Bell, Villa Elisa, Los Hornos, Melchor Romero, Villa Elvira, Aeropuerto, etc., se utilizan 112 hm³/a, provenientes de 255 pozos con un rendimiento promedio de 50 m³/h c/u (información verbal de ABSA). Dicho volumen representa alrededor del 60% del total empleado (180 hm³/a), pues el resto es de agua proveniente del Río de la Plata. No se incluyen en el volumen citado las ciudades de Berisso y Ensenada que se abastecen exclusivamente con agua superficial. Del volumen total mencionado, se estima que entre un 30 a un 40% se pierde por fugas que no llegan a los usuarios, debido a la obsolescencia en las cañerías de conducción. La industria emplea sólo 1,5 hm³/a de agua subterránea.

En el Conurbano de Buenos Aires, con unos 12 millones de habitantes, de los que alrededor de 8,5 millones disponen de agua de red, se extraen alrededor de 375 hm³/a para consumo humano provistos por AYSA mediante 700 perforaciones, con un rendimiento medio de 60 m³/h c/u, el resto (1.241 hm³/a) para cubrir la demanda total, se obtiene de 3 plantas potabilizadoras de agua del Río de la Plata. La industria emplea otros 300 hm³/a y 25 hm³/a se usan para riego. Una fuga similar a la mencionada para La Plata, o sea del orden del 30 al 40% del total que circula por las cañerías para abastecimiento humano, se estima que se pierde debido al mal estado en que encuentran las mismas.

El Puelche se recarga a partir del Pampeano mediante filtración vertical descendente a través de capas de baja permeabilidad (acuitardos), en los sitios donde este último tiene mayor potencial hidráulico y, se descarga en el Pampeano, donde se invierten los potenciales hidráulicos (Auge, 1986).

La productividad más frecuente del Acuífero Puelche varía entre 30 y 150 m³/h y la profundidad de su techo entre 15 y 120 m en San Pedro y Colón respectivamente, mientras que el espesor oscila entre menos de 10 m (Zárate) y más de 80 m (Gral. Belgrano) con un promedio de 34 m (Figura 5).

Las unidades hidrogeológicas que subyacen a las Arenas Puelches (formaciones Paraná y Olivos) poseen aguas con elevados tenores salinos, generalmente superiores a 5 g/l, por lo que a la sección superior arcillosa de la Formación Paraná, se la considera el sustrato de aquellas aprovechables para los usos corrientes.

La Cuenca Inferior del Río Matanza constituye una excepción al comportamiento hidroquímico general, pues allí una capa productiva contenida en la Formación Paraná tiene unos 3 g/l de salinidad total, frente a los 20 g/l que registra el Puelche sobrepuesto.

Basamento hidrogeológico. Se agrupa bajo esta denominación a toda roca carente, de porosidad y permeabilidad intergranulares, por lo que constituye el zócalo impermeable donde se asienta la secuencia hidrogeológica. Sin embargo, el basamento puede ser productivo cuando presenta fuerte fracturación y/o meteorización. En La Plata se lo ubicó a 486 m de profundidad, compuesto por rocas gnéisicas similares a las que forman las Sierras de Tandil; en Buenos Aires se emplaza a profundidades algo menores (334 m en el Puente Pueyrredón, 291 en el Jardín Zoológico) y a 247 m en Olivos, mientras que se manifiesta aflorando en la Isla Martín García. Hacia la Cuenca del Salado el basamento se profundiza marcadamente, debido al desplazamiento producido por fallas escalonadas. Por ello en Cañuelas, no fue alcanzado por una perforación de 717 m de profundidad.

El Cuadro 1 sintetiza los caracteres, el comportamiento y el uso del agua subterránea descriptos previamente.

AMBIENTE DEPRIMIDO (DP)

Se incluyen en este ambiente a los sectores deprimidos de la Cuenca del Salado, como la propia del Río Salado, la del Arroyo Vallimanca y lagunas asociadas y la región anegadiza vecina a la Bahía Samborombón, con 73.407 km² (Figura 2). Su característica distintiva es la escasísima pendiente topográfica (10^{-4} a 10^{-5}), que deriva en un notorio impedimento para la evacuación de los derrames superficiales y por ende en un ámbito fácilmente inundable. Los suelos son pesados y arcillosos y el agua subterránea generalmente presenta contenidos salinos elevados.

El clima es similar al descripto para el Ambiente Noreste, tanto en la Cuenca del Salado como en la zona anegadiza vecina a la Bahía Samborombón, por lo que resultan excedentes hídricos semejantes. Sin embargo, en el Deprimido estos excedentes están mucho más limitados para infiltrarse, debido a la baja permeabilidad de los sedimentos superficiales, entre los que predominan los finos (limos y arcillas) y además por la escasa profundidad a que se emplaza la superficie freática, que con frecuencia aflora.

En la Cuenca del Vallimanca, la precipitación disminuye hacia el SO desde unos 950 mm en Monte a 700 mm en Carhué. Rigen para este sector del ambiente, las mismas consideraciones respecto a la infiltración que las citadas para el anterior, con el agravante de la disminución de los excedentes e incluso con la manifestación de déficit hídrico en el extremo occidental.

Postpampeano. Es la unidad estratigráfica más moderna que subyace a la cobertura edáfica. Pertenece al Holoceno y está representada por sedimentos de origen eólico, fluvial, lacustre y marino, correspondientes a las formaciones La Plata, Luján y Querandí (Platense, Lujanense y Querandinense) (Ameghino, 1886).

Las unidades más interesantes en relación al aprovechamiento directo de agua subterránea, o como medios de transferencia hacia otros acuíferos más profundos, son los médanos (Formación Junín). Se reconocen tres ciclos de formación de médanos (Frenguelli, 1950). Los más modernos, se originaron por el ingreso de arenas desde el Oeste, pertenecientes al anillo medanoso peripampásico y a la acumulación en las cercanías de grandes cubetas de deflación (lagunas importantes). Aunque los médanos vivos son los que tienen mayor permeabilidad y porosidad efectiva, el conjunto, incluyendo los más antiguos, constituye un ámbito de infiltración preferencial o de recarga para el sistema subterráneo. En general, poseen agua con un tenor salino de moderado a bajo, pero en algunos casos, este supera ampliamente la norma de potabilidad (2 g/l), como sucede en la Ea. Los Cerrillos, Partido de Gral. Belgrano.

La recarga deriva de la infiltración de la lluvia y, en función de la capacidad de absorción, es más alta en los médanos vivos que en los semifijos y fijos.

El agua contenida en esta unidad suele emplearse para el abastecimiento doméstico y del ganado, mediante equipos de captación de bajo caudal (molinos, bombas manuales, bombeadores y pozos de balde); menos frecuente es el abastecimiento a pequeñas localidades y/o parajes. Debido a su elevada permeabilidad vertical y cercanía con la superficie, es muy vulnerable y suele contaminarse con facilidad a partir de excretas humanas y del ganado y de los plaguicidas y fertilizantes utilizados en las prácticas agrícolas.

Otras unidades que también poseen singular interés hidrogeológico son los cordones de conchilla remanentes de la regresión del Mar Querandino, incluidos en la Formación La Plata o Platense. Sobre ellos, se emplaza la mayor parte del trazado de la Ruta 11, entre Punta Indio y Esquina de Crotto.

Los cordones presentan elevada porosidad efectiva y permeabilidad, lo que favorece la infiltración de la lluvia y la acumulación de agua de tenor salino moderado a bajo, constituyendo la fuente principal de provisión rural para consumo humano y ganadero. La captación normalmente se realiza con molinos a viento ubicados a la vera de la Ruta 11, que vierten en recipientes cerrados en los que, el aumento de la presión ejercida por el aire sobre el agua, permite el transporte de la misma por tuberías, hasta los cascos de las estancias, ubicados generalmente a varios kilómetros. Los cordones se extienden a lo largo de centenas de km en el sentido de su eje mayor, pero el ancho rara vez supera 500 m. Las formaciones Luján y Querandí, carecen de interés hidrogeológico, pues la primera se restringe a los cauces menores de los valles y al fondo de las lagunas importantes de la región (Río Salado, A° Vallimanca, A° Saladillo; lagunas: Chascomús, del Monte, Chís Chís, Lobos, Epecuén, Alsina); posee baja permeabilidad y espesor y por ende escasa productividad, lo que hace que prácticamente no se la utilice como fuente de provisión. Lo mismo sucede con el Querandino, de origen marino, con agua de elevada salinidad, que se emplaza en zonas deprimidas, normalmente por debajo de cota 10 m, en coincidencia con los terrenos anegadizos que circundan la Bahía Samborombón. Presenta muy baja productividad y agua con alta salinidad (mayor de 10 g/l), lo que limita severamente su empleo

Pampeano. Compone en forma ininterrumpida, el sustrato de todo el ambiente considerado. En algunos casos, sólo está cubierto por la franja edáfica, en otros por los Sedimentos Postpampeanos (eólicos, marinos o fluviales). Constituye el típico Loess Pampeano, formado por limos arenosos y arcillosos, castaños, de origen eólico, con intercalaciones de tosca.

Hidrogeológicamente, se caracteriza por contener a la capa freática, aunque en profundidad puede presentar niveles semiconfinados, debido a la intercalación de horizontes arcillosos. En lo referente al contenido salino, se aprecia un notorio incremento hacia el ámbito de descarga regional (cauce del Río Salado y llanura inundable de la Bahía Samborombón - Figura 3).

La recarga, también deriva de la lluvia, debido a que en la zona existe exceso en el balance hídrico (precipitación - evapotranspiración) y por ello los ríos y lagunas son efluentes; esto es: no aportan agua al subsuelo sino que actúan como drenes naturales, recibiendo una parte significativa de la descarga del acuífero libre o freático (Figura 4). En los casos donde el Pampeano está cubierto directamente por el suelo, la recarga está condicionada por la capacidad de infiltración del mismo. En aquellos sitios donde subyace al Postpampeano, especialmente a las unidades medanosas, recibe el aporte de las mismas, presentando agua con bajos tenores salinos. La escasa pendiente topográfica, que en general no supera 10^{-4} (dm/km) y con frecuencia es del orden de 10^{-5} (cm/km), dificulta notoriamente la escorrentía superficial y concomitantemente favorece la infiltración.

Al Pampeano se lo utiliza ampliamente para el abastecimiento rural y urbano de la mayoría de las localidades ubicadas en el ámbito descripto (Carhué, Bolívar, Bragado, Gral. Belgrano, Lobos, Las Flores, Monte, Junín, Chascomús). El espesor saturado, que en algunos casos supera los 100 (Junín) y su permeabilidad, que normalmente se ubica entre 1 y 10 m/día, hacen que su productividad sea de media a alta, permitiendo la captación

mediante bombas centrífugas mecánicas. En forma limitada también se lo utiliza para riego complementario. La calidad del agua contenida en el Pampeano mejora notoriamente cuando está cubierto por médanos que favorecen la infiltración y la transferencia vertical descendente. La presencia de minerales de origen volcánico, da lugar, en algunos sitios, a tenores altos de Flúor y de Arsénico.

Arenas Puelches. En este ámbito, la secuencia arenosa que subyace al Pampeano, se hace arcillosa y hacia la costa adopta un carácter marino; su comportamiento sigue siendo acuífero, pero la presencia de matriz pelítica, indica una permeabilidad menor que en el Ambiente Noreste. La salinidad se incrementa, en algunos casos a más de 10 g/l (Gral. Belgrano, Monte). El espesor, en el sector donde las arenas se presentan varía entre 30 m (Lobos) y 80 m (Gral. Belgrano - Figura 5). En la mayor parte del DP correspondiente a la Cuenca del Vallimanca y Lagunas Encadenadas del Oeste, las Arenas Puelches faltan debido a que fueron remplazadas por las pelitas del Araucano.

El Acuífero Puelche es el más utilizado del país, pues de él se abastece gran parte del Conurbano de Buenos Aires y ciudades importantes como La Plata, San Nicolás, Luján, Pergamino, Zárate y Campana, emplazadas en el Ambiente Noreste. En el Deprimido, debido al incremento de la salinidad (Figura 6), es poco empleado para los usos corrientes, sin embargo en algunos sitios presenta agua con bajo tenor en sales, lo que permite su aprovechamiento para abastecimiento humano y para riego complementario (Saladillo, Bragado).

Las unidades hidrogeológicas que subyacen a las Arenas Puelches y que en orden de profundidad creciente coinciden con las formaciones Paraná y Olivos del Terciario superior y las correspondientes al Terciario inferior y al Cretácico (Las Chilcas, Río Salado y Gral. Belgrano), poseen aguas con elevadas salinidades, normalmente superiores a 5 g/l y en algunos casos (Río Salado y Gral. Belgrano) mayores a 100 g/l, lo que limita el aprovechamiento para los usos corrientes. Esto, junto con la profundidad a que se emplazan (mayor a 100 m – Paraná y a 1.000 m – Las Chilcas y más antiguas), hacen que a la sección superior arcillosa de la Formación Paraná, se la considere como el sustrato de aquellas unidades utilizables para el abastecimiento de agua potable (Postpampeano, Pampeano y Puelche). Los altos tenores salinos derivan del origen marino dominante y de su aislamiento con la faz atmosférica del ciclo hidrológico, lo que dificulta notoriamente la reposición por infiltración.

Los únicos sitios donde se citan salinidades relativamente bajas (del orden de 2 g/l) son Maipú y Gral. Guido, aunque existen dudas de que el agua captada provenga efectivamente de la Formación Olivos.

En los últimos 10 años se realizaron varias perforaciones profundas, del orden de 1.200 m, terminadas en el Terciario inferior, para aprovechar la temperatura del agua y desarrollar emprendimientos termales. Entre ellas se puede mencionar a la de Mundo Marino en San Clemente del Tuyú, a la de Las Termas del Salado en Gral. Belgrano y a la que se está perforando actualmente en Dolores. La temperatura del agua, que se manifiesta surgente, suele alcanzar los 50°C, debido al gradiente geotérmico producto de la profundidad. Los mayores inconvenientes sufridos por las perforaciones son la elevada salinidad que obliga a emplear cañerías de encausado y bombas de acero inoxidable, para evitar la rápida corrosión y también, el elevado contenido en hierro ferroso del agua, que al oxidarse en los baños de los hoteles o en las piletas de uso comunitario, producen un precipitado gelatinoso de hierro férrico, de fuerte color amarillento, que tizna la ropa y los reservorios.

Basamento Hidrogeológico. En Huetel (Partido de 25 de Mayo) se alcanzó una roca cuarcítica a 215 m de profundidad, que indica un alto estructural en el subsuelo. En el resto del ambiente, la posición del basamento, sólo pudo detectarse mediante técnicas geofísicas. Hacia los bordes, existen rocas cristalinas precámbricas, aflorantes en las Sierras de Tandil y a 486 m de profundidad en la ciudad de La Plata. Hacia la Cuenca del Salado, el basamento se hunde debido a fracturas escalonadas de rumbo NO-SE, hasta más de 6 km de profundidad en el Cabo San Antonio (Zambrano, 1974).

Geológicamente, gran parte del ambiente considerado se ubica dentro de la Cuenca Sedimentaria del Salado, que es un ámbito donde domina un marcado hundimiento. El resto, se corresponde con otra zona subsidente, pero de menor expresión, denominada depresión radial (Frenguelli, 1950). En esta última, las fallas principales tienen rumbo OSO-ENE.

En el Cuadro 2 se sintetizan las características y el comportamiento hidrogeológico mencionados.

AMBIENTE NOROESTE (NO)

Comprende el ámbito limitado por el Río Salado al NE y por las cuencas del Arroyo Vallimanca y las Lagunas Encadenadas al Sur y SE; ocupa 60.193 km² y se caracteriza por ser una región arreica (sin ríos) salvo los citados. Otra característica distintiva es la presencia de médanos en el 75% de su superficie, que actúan en forma disímil. Como factor positivo constituyen ámbitos de infiltración preferencial de la lluvia y en ellos y en la sección superior de la unidad subyacente (Pampeano), se forman las lentes de agua dulce que son las únicas fuentes de provisión de agua potable. El aspecto negativo es la disposición de los médanos longitudinales (transversales a la pendiente topográfica regional), que dificulta notoriamente en algunos casos, e impide en otros, el escurrimiento superficial limitado ya por la baja inclinación topográfica.

Postpampeano. También conocido como Sedimentos Postpampeanos, incluye a una serie de unidades geológicas de diferente extensión, origen y características, que se desarrollan a partir del Holoceno.

En la zona estudiada, la unidad que presenta mayor continuidad areal, es el Médano Invasor (Tapia, 1937) o Formación Junín (De Salvo et al. 1969), o Platense eólico (Frenguelli, 1950), formada por arenas finas y limos arenosos de tonalidad castaña y origen eólico. Tiene escasa manifestación vertical, con el mayor espesor registrado hasta el presente en Salliqueló (20 m). Esta unidad es la de mayor interés hidrogeológico, pues a los médanos se asocian las lentes de agua dulce, única fuente de abastecimiento de las ciudades más importantes de la región. También al Postpampeano corresponden los limos-arcillosos del fondo de las depresiones (cubetas de deflación) especialmente de las lagunas permanentes.

Los sedimentos arenosos que forman los médanos, cubren el 87% de la superficie total del ambiente NO, por lo que también se lo denomina Pampa Arenosa, disponiéndose como médanos longitudinales en el sector Norte y como médanos parabólicos en el sector Sur (Casas et al. 1987). El espesor disminuye de O a E entre 20 m (Salliqueló -Trenque Lauquen) y 5 m (Bragado - 25 de Mayo). Hacia el E los médanos también pierden continuidad, desarrollándose en forma saltuaria.

La unidad medanosa ejerce un notorio control en el comportamiento hidrológico, tanto superficial como subterráneo, de la región. En efecto, la disposición de los médanos longitudinales en el sector Norte, con una orientación NNE-SSO, que resulta transversal a la pendiente topográfica regional (O-E), impide el flujo del agua superficial y da lugar a la formación de extensos anegamientos, durante períodos de intensas precipitaciones, especialmente en las depresiones intermedanosas. Hidrográficamente la región es arreica, pues sólo en sus bordes se emplazan el Río Salado y el Arroyo Vallimanca.

En relación al agua subterránea, la elevada permeabilidad de los médanos favorece la infiltración y por ende la recarga (Auge et al. 1988), lo que deriva en lentes de agua freática de baja salinidad, vinculadas a cuerpos medanosos (Mari Lauquen, Henderson, Moctezuma, 9 de Julio, Salliqueló, Cnel. Granada, Pasteur). Estas lentes de agua dulce, que no sólo se emplazan en los médanos sino también en la sección superior de la formación subyacente (Pampeano), constituyen la única fuente segura para la provisión de agua potable a la mayoría de las localidades y ciudades del NO de la Provincia de Buenos Aires (Salliqueló, Trenque Lauquen, 9 de Julio, Gral. Villegas, Lincoln, Rivadavia). Otras como Pehuajó y Carlos Casares también se abastecen del agua de las lentes, a través de un acueducto que la transporta desde 9 de Julio.

En la Figura 3 puede apreciarse la variación en el contenido salino que presenta el acuífero freático emplazado en los médanos y en la sección superior del Pampeano cuando estos faltan.

El notorio incremento en las prácticas de riego para cultivos extensivos (maíz, trigo, girasol, soja) desarrolladas en los últimos años, ha generado un grave conflicto de uso por la competencia con el abastecimiento humano. Esta situación puede tornarse sumamente complicada si no se legisla otorgando prioridad al empleo del agua para consumo humano y estableciendo que la propiedad del recurso hídrico subterráneo es del Estado y no del dueño de la tierra. Lo antedicho tiene por finalidad preservar la aptitud de un recurso sumamente frágil y por ende fácilmente degradable si se emplean prácticas de explotación que no contemplen el necesario equilibrio entre los ingresos (recarga por infiltración de la lluvia) y los egresos debidos a la extracción.

Pampeano. Subyace al Postpampeano en el sector occidental pero en el oriental, donde éste pierde continuidad, está cubierto directamente por el suelo.

En el presente trabajo, se distinguen dos unidades dentro de los Sedimentos Pampeanos, en virtud de sus diferencias litológicas que influyen en la salinidad del agua subterránea. La más moderna (Pampeano), constituida por limos arenosos con CO_3Ca en forma de tosca y la más antigua (Araucano), formada por areniscas arcillosas y arcillas yesíferas.

El 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 y subyace al Postpampeano" (Auge et al. 1988). El Pampeano presenta continuidad en toda el área estudiada, con variaciones de espesor poco significativas. Las mayores potencias se registran en Gral. Pinto (155 m) y Lincoln (165 m). También se observan espesores importantes en Junín (130 m) y Saladillo (110 m). En el Oeste (Villa Sauze) y el Este de la región (Micheo), como así también en el centro (Moctezuma), el espesor disminuye a unos 80 m.

Hidrogeológicamente, el Pampeano actúa como acuífero de media productividad siendo, por su granometría y empaquetamiento, 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 debida 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, fundamentalmente cuando está cubierta por médanos, debido a la recarga proveniente de los mismos y en estos casos se lo aprovecha para consumo humano en ciudades como 9 de Julio o Trenque Lauquen, en esta última junto con la unidad superior (Formación Junín).

La composición mineralógica del Pampeano, con algunos horizontes donde abunda el vidrio volcánico, particularmente asociado a sedimentos tobáceos, hace que el agua subterránea pueda presentar altos tenores de Flúor y de Arsénico (Lincoln, Gral. Villegas, Trenque Lauquen, Salliqueló, Carlos Casares, Pehuajó, 9 de Julio).

Araucano y Arenas Puelches. Son dos unidades geológicas sincrónicas, pero de características sedimentológicas y comportamiento hidrogeológico diferentes.

El Araucano se ubica en el subsuelo de la mayor parte del área estudiada, al Oeste de una línea que pasa entre Junín y Lincoln, Bragado y 9 de Julio, 25 de Mayo y Huetel, Saladillo y Micheo (Figura 7). Las Arenas Puelches o Formación Puelches, se emplazan al Este de dicha línea, cuya orientación es subparalela al cauce del Río Salado (Figura 5).

El Araucano "está integrado por areniscas arcillosas, castaño claras, con cemento calcáreo y abundante yeso, con intercalaciones de arcillas de tonalidades rojizas. De origen lagunar, pertenece al Plioceno" (Auge et al. 1988). Se ubica entre el Pampeano y la Formación Paraná, conformando, tanto su piso como su techo, sendas superficies de discordancias erosivas.

Hidrogeológicamente, se comporta como acuífero de baja productividad, en partes como acuitardo, debido a su granometría predominantemente fina. El rendimiento varía entre 0,05 y 0,1 m³/h.m. El incremento salino en profundidad, su constitución arcillosa y la presencia de abundante yeso, hacen que el agua contenida en esta unidad tenga elevada salinidad (mayor de 5 g/l) y sea del tipo sulfatada. Esto limita su aprovechamiento a la provisión para el ganado.

El espesor del Araucano aumenta hacia el SO, desde la línea donde engrana con las Arenas Puelches. En Timote, Gral. Villegas y Villa Sauze registra 90 m, en Moctezuma y en Maza 100 m y en Rivera 140 m.

Las Arenas Puelches: "Son arenas cuarzosas francas, sueltas, medianas y finas de color amarillento y blanquecino, algo micáceas, tornándose arcillosas hacia la Cuenca del Salado y la Bahía Samborombón. Lateralmente, engranan con sedimentos limo-arenosos conocidos como Araucano" (Auge y Hernández, 1984). Aunque no existe consenso total, la mayoría de los investigadores les asignan una edad Pliopleistocena y un origen fluvial. Su techo limita con el Pampeano y su base con la Formación Paraná, mediante superficies de discordancias erosivas.

Hidrogeológicamente, componen una unidad francamente acuífera de carácter semiconfinado que por: su extensión areal, el fácil acceso mediante perforaciones, los caudales que brinda a los pozos y por la calidad química de sus aguas, es el recurso subterráneo más explotado del país; principalmente para consumo humano en el Conurbano Bonaerense (Región Noreste).

En el sector de la zona estudiada donde se emplazan las Arenas Puelches, el tenor salino del agua subterránea asociada, es bastante más elevado que en la región ubicada al N del Río Salado (Figura 6). En el ambiente NO, son frecuentes valores superiores a 2 g/l y aún a 10 g/l; esto limita su aprovechamiento a sectores reducidos vecinos al cauce del Río Salado (Bragado). Las Arenas Puelches que, como sucede con las unidades descriptas previamente no han sido afectadas por dislocaciones tectónicas apreciables, observan un aumento de espesor hacia el Río Salado, con extremos de 0 m entre Junín y Gral. Pinto y 40 m en Bragado (Figura 5).

Ya se mencionó que las unidades subyacentes a las Arenas Puelches (formaciones Paraná, Olivos, Las Chilcas y Abramo), las tres primeras del Terciario y Abramo del Cretácico, son portadoras de agua de alta salinidad. Esto, junto con la profundidad a que se ubican, hace que a la sección arcillosa cuspidal de la Formación Paraná, se la considere como el sustrato donde se apoya la secuencia hidrogeológica con agua que puede resultar apta para los usos corrientes.

En el diagrama en paneles (Figura 7), se aprecia la distribución subterránea de las unidades aprovechables y de las más antiguas. En el diagrama se ve la continuidad que caracteriza a la Formación Paraná, con la probable ausencia en las perforaciones de El Parche y Micheo. En Huetel su espesor se reduce a 10 m debido al ascenso del Basamento Paleozoico por fracturación. En el resto de la zona estudiada, registra potencias variables entre 100 m (Larramendy) y 40 m (Pehuajó). El piso de la Formación Olivos está afectado por fracturación, de acuerdo a la posición que observa en las perforaciones Huetel y Guanaco (Figura 7), con espesores extremos de 80 m (Va. Sauze y Huetel) y más de 230 m (Maza).

Si bien la tendencia general de los potenciales hídricos es a disminuir en profundidad, las características litológicas de los componentes del subsuelo, así como sus caracteres y propiedades hidráulicas, como su bajo coeficiente de almacenamiento, señalan un impedimento cierto al flujo vertical descendente del agua superficial o freática, para alcanzar a las unidades profundas (Paraná, Olivos, Las Chicas y más antiguas).

En efecto, la litología que surge de las descripciones de los pozos, no señala presencias importantes de paquetes calcáreos o basálticos, que son las únicas rocas con posibilidades de presentar cavernas y oquedades de gran tamaño, capaces de transmitir volúmenes significativos de agua a través de secciones pequeñas. En la zona, sólo fueron identificadas rocas calcáreas, pero sin evidencias cavernosas, en Villa Sauze. Respecto al comportamiento hidráulico, las potentes capas arcillosas que forman el Araucano y las secciones superiores

de las formaciones Paraná y Olivos, además de disminuir notablemente la permeabilidad en sentido vertical, les otorgan un alto grado de confinamiento a los acuíferos profundos, Esto último, limita apreciablemente la capacidad de admisión de agua en estos acuíferos.

Lo expuesto es un indicio claro de que el exceso de agua acumulada durante las épocas muy lluviosas, que originan grandes anegamientos, sólo podría disiparse mediante el empleo de altas presiones de inyección en los acuíferos profundos, lo que resultaría en costos muy elevados.

Al Terciario inferior y al Cretácico, pertenecen las formaciones Las Chilcas y Abramo respectivamente. Sólo tres perforaciones atraviesan a la primera registrando los siguientes espesores: Va. Sauze 150 m, Guanaco 160 m y Larramendy 290 m.

En el diagrama en paneles regional de la Figura 8 (Yrigoyen, 1975) se aprecia la fracturación que afecta tanto al piso como al techo de la Fm. Las Chilcas. Esta característica es típica de la geología del subsuelo de la Provincia de Buenos Aires, donde el tectonismo se va disipando gradualmente hacia las unidades más modernas hasta hacerse imperceptible a partir del Terciario superior.

La Formación Abramo sólo fue atravesada por las perforaciones Guanaco y Larramendy, con 130 y 345 m de espesor respectivamente (Figura 7). En ambos casos, se apoya directamente sobre basamento de composición granítica.

Basamento Hidrogeológico. Tomando en consideración su comportamiento hidráulico se incluye bajo esta denominación a las unidades del Paleozoico y Precámbrico.

Básicamente se trata de rocas acuífugas que sólo pueden transmitir agua a través de superficies de debilidad estructural (equistosidad, fracturas, diaclasas) de discontinuidad estratigráfica (discordancias, estratificación, contactos) y oquedades debidas a disolución o de tipo vesicular como en basaltos.

Componen el basamento hidrogeológico los granitos, probablemente precámbricos, alcanzados en Guanaco a 644 m y en Larramendy a 1.022 m de profundidad, las cuarcitas paleozoicas de Huetel a 214 m y las calizas paleozoicas de Villa Sauze a 497 m de profundidad.

Debido a su antigüedad, es la unidad más afectada por los procesos tectónicos, especialmente por el fallamiento.

Su rasgo más destacable es que constituye la base impermeable del sistema hidrológico subterráneo.

En el cuadro 3 se sintetizan los caracteres y el comportamiento hidrogeológico descriptos.

AMBIENTE SERRANO (SE)

En este ambiente se incluyen a las unidades orográficas de Tandilia (11.157 km²) y Ventania (5.900 km²) (Figura 2), que constituyen los únicos sistemas montañosos de la Provincia de Buenos Aires y ocupan sólo el 5% de su superficie.

Postpampeano y Reciente. Esta unidad se caracteriza por su discontinuidad areal y está integrada por limos arenosos de origen eólico que se adosan a los faldeos serranos de Tandilia y de Ventania. En las depresiones (valles) predominan depósitos aluviales y coluviales, derivados de la acción fluvial y gravitacional respectivamente.

Los sedimentos eólicos, que pertenecen a la Formación Junín (Platense eólico), normalmente no superan 5 m de espesor y suelen presentar niveles calcáreos (tosca). Los depósitos aluviales y coluviales (limos arenosos, arenas, gravas y bloques), tienen una expresión areal y vertical más reducida.

El conjunto se comporta como pobremente acuífero, contiene a la capa freática y presenta salinidad de moderada a baja (3,5 a 0,5 g/l); su empleo se restringe al ámbito rural.

Pampeano. En algunos lugares serranos (Chillar) sobrepuesto al basamento cristalino, existe una secuencia de sedimentos arcillo-limosos de baja permeabilidad, asignables al Pampeano, pero en este caso para el lapso Pliopleistoceno. Ello pues, la sección inferior o aún toda la secuencia, podría correlacionarse con el Araucano.

Por su granometría predominantemente pelítica, se comporta como acuicludo a acuitardo y por lo tanto, es de muy baja productividad. Por ello suele ser captado mediante pozos cavados para consumo domiciliario. La salinidad varía de moderada a alta (2 a 7 g/l).

El Pampeano típico (limos-arenosos calcáreos y loess) ocupa las depresiones interserranas, conformando el sustrato de los Sedimentos Postpampeanos. El espesor del Pampeano en el Ambiente Serrano varía entre 0 y 30 m, se comporta como acuífero de moderado rendimiento, contiene a la capa freática y normalmente agua con menor salinidad que la del Postpampeano (0,5 - 2,5 g/l), aunque suele presentar tenores en Flúor relativamente altos (Puán, Tornquist, Olavarría, María Ignacia, Barker). Se lo utiliza para la provisión de algunas localidades de pocos habitantes y en la zona rural, para el abastecimiento doméstico y ganadero.

Basamento Hidrogeológico. Ya se mencionaron las características hidrogeológicas de las rocas que se incluyen en esta unidad, pero un caso particular, es el comportamiento que le cabe a la cobertura meteorizada (weathering) que suele tener un desarrollo importante en rocas de tipo granítico. En este caso, la alteración de los minerales feldespáticos puede originar una porosidad similar a la intergranular o primaria. Por lo tanto en la cobertura meteorizada, el almacenamiento y el flujo pueden ser los que caracterizan a un medio continuo (porosidad y permeabilidad primarias), a uno discontinuo (porosidad y permeabilidad secundarias), o a ambos. Ello, dependerá de la importancia relativa de la alteración frente a la fracturación de la roca.

Los caracteres hidrogeológicos de los dos cordones serranos son muy similares. En el de Tandil, predominan cuarcitas, lutitas, arcilitas, dolomitas y areniscas, dentro de las rocas sedimentarias de edad Paleozoica y esquistos, gneises, mármoles y milonitas, dentro de las metamórficas de edad Precámbrica (basamento cristalino). Este basamento domina, como constituyente del cuerpo de las sierras, en el sector central de las mismas (Tandil).

En el cordón de Ventana, sólo existen afloramientos de mínima expresión areal de rocas del basamento cristalino, predominando en forma excluyente: cuarcitas del Paleozoico inferior y conglomerados, pizarras, lutitas y areniscas del Paleozoico superior. La fuerte deformación tectónica que afecta a las rocas de estas sierras y que se manifiesta en pliegues de diferente orden y magnitud, dio origen a un intenso diaclasamiento subvertical, que permite la infiltración aún en cuarcitas, de permeabilidad y porosidad primarias prácticamente nulas.

El diaclasamiento, también es evidente en las sedimentitas y metamorfitas de las Sierras de Tandil, pero en este caso en una proporción bastante menor.

Los sistemas de diaclasas y la esquistosidad, facilitan el flujo en un sentido dominante subvertical, mientras que las superficies de estratificación, lo hacen en uno subhorizontal. Sin embargo, debido al comportamiento marcadamente anisótropo y heterogéneo del basamento, las zonas preferenciales de flujo, poseen mayor importancia a nivel regional (como fuentes de recarga de unidades más modernas) que a nivel local (fuentes de agua a los pozos).

La productividad, varía de nula a muy baja y la salinidad del agua contenida en rocas del basamento, es en general baja (menor de 1 g/l). En algunos casos, sin embargo, la salinidad crece a moderada o alta (2 a 5 g/l), como sucede en Chillar.

Las zonas de flujo preferencial, tienden a desaparecer en profundidad por el cerramiento de las superficies de debilidad, derivado de la elevada carga litostática. Es a partir de allí, que el basamento se transforma en base impermeable del sistema hidrológico subterráneo, conformando el verdadero basamento hidrogeológico.

En el aspecto estructural, las fallas que afectan al sistema de Tandilia no llegan al Pleistoceno. En Ventania, donde domina notoriamente el plegamiento, éste es anterior al Mioceno. Como ya fuera expresado, la tectónica es la principal responsable de la fisuración que, en forma de diaclasas, permite el flujo vertical.

Resulta sumamente complicado ubicar zonas aptas para la captación de agua subterránea en el Ambiente Serrano. En general la limitación está referida a la productividad que en este ámbito depende de dos factores (concentración del flujo y permeabilidad adecuada). El flujo se concentra en las depresiones (valles, cañadas y lagunas) pero es en estos sitios, especialmente en los dos primeros, donde la roca aflora o se emplaza a poca profundidad. Por ello normalmente el éxito se basa en ubicar roca meteorizada o cubierta por sedimentos con más de 10 m de espesor. La baja productividad limita el empleo de agua subterránea al abrevamiento de ganado y al abastecimiento doméstico rural. Algunas ciudades pequeñas sin embargo, se abastecen parcialmente con perforaciones de escaso caudal (Villa Ventana) y otras (Chillar) han requerido la construcción de acueductos, por ubicarse las fuentes aptas fuera del ejido urbano.

En el cuadro 4, se esquematizan las características estratigráficas y el comportamiento hidrogeológico descritos previamente.

AMBIENTE INTERSERRANO y PEDEMONTANO (IP)

Se incluye en este ambiente, que ocupa 89.359 km², al sector que, en forma de silla topográfica, se extiende entre los sistemas serranos de Tandilia y de Ventania, a los piedemontes de ambos y a las bajadas desde las sierras e intersierras, hacia el Ambiente Deprimido en dirección NE y NO y hacia la costa atlántica en dirección Sur (Figura 2).

Postpampeano. Está representado por depósitos discontinuos de origen aluvial, eólico y lagunar, de edad Holocena.

Los primeros se corresponden con la Formación Luján y están constituidos por limos arenosos grises y castaños, visibles en las barrancas que limitan los cauces menores de los arroyos que bajan por los faldeos NE y SO de ambas sierras. Hacia las cabeceras son frecuentes las intercalaciones de niveles arenosos y conglomerádicos.

Los depósitos eólicos se manifiestan como relictos pequeños, dispuestos en forma saltuaria, generalmente en sitios protegidos del viento. Presentan una constitución litológica similar a la del Pampeano, del que se distinguen fundamentalmente por su menor agregación. Son limos arenosos castaños, en partes blanquecinos por la presencia de CO₃Ca pulverulento. En la cuenca del A° del Azul (Tandilia), los mayores espesores registrados "rondan 2 m, en ámbitos de piedemonte, para acuñarse hacia el sector serrano y la llanura circundante, donde es reemplazado por los horizontes edáficos" (Auge y Strelczenia, 1990). Los depósitos lagunares son predominantemente pelíticos y se ubican en el fondo de numerosos cuerpos ácueos hacia los que fueron transportados por vía fluvial y eólica. La mayoría de las lagunas existentes en el ámbito interserrano deben su origen a la acción eólica que, mediante el proceso de deflación, en períodos áridos (glaciales), formó cubetas subcirculares poco profundas, que fueron ocupadas por el agua en épocas posteriores más húmedas.

La discontinuidad de los Sedimentos Postpampeanos, el reducido espesor (normalmente menor de 5 m) y su posición superficial los hacen intrascendentes como reservorios para el agua subterránea. Sin embargo, constituyen el primer horizonte geológico por debajo del edáfico que atraviesa el agua al infiltrarse, por lo que su presencia incide en la composición química del agua subterránea. Los extremos de salinidad reconocidos son 0,5 y 5 g/l.

Pampeano. Constituye la unidad de mayor interés hidrogeológico del ámbito considerado, pues contiene al acuífero más productivo y de buena calidad, por lo que es el más utilizado tanto en las zonas rurales como en las ciudades.

Los Sedimentos Pampeanos son de tipo loessoide (limo-arenoso), abarcan el lapso Pliopleistoceno, tienen tonalidades castañas y son de origen eólico y fluvial. La ejecución de pozos y perforaciones, es sumamente dificultosa, debido a la existencia en el techo de la unidad de potentes y tenaces bancos de tosca de hasta 5 m de espesor.

La sección superior del Pampeano contiene a la capa freática, mientras que en los niveles inferiores aumenta el grado de confinamiento, hasta generar acuíferos semiconfinados cuando el espesor supera 40 o 50 m.

En la región interserrana, en Laprida, se registró un espesor de 170 m de Sedimentos Pampeanos sobrepuestos al Paleozoico, mientras que en el piedemonte de Tandilia, en la ciudad de Azul, el espesor del Pampeano oscila en 150 m pero aquí sobrepuesto al Precámbrico.

En este ámbito, los Sedimentos Pampeanos se apoyan directamente sobre el basamento hidrogeológico formado por rocas paleozoicas o precámbricas, sin que se intercalen unidades terciarias (Fm Paraná o Fm Olivos) lo que indica que los sectores serranos e interserranos se mantuvieron sobreelevados durante la sedimentación del Terciario medio y superior.

La productividad del Pampeano resulta significativamente alta en algunas regiones como Balcarce y alrededores, donde se lo emplea para el riego de papa, mientras que prácticamente la totalidad de la provisión de agua para consumo humano se obtiene de esta unidad, tanto en el ámbito rural como en las ciudades (Azul, Olavarría, Laprida, Gral. Lamadrid, Cnel. Suárez, Juárez, Tres Arroyos, etc.).

La salinidad del Pampeano oscila entre 0,5 y 2 g/l (Figura 3) y, como sucede en la mayoría de los centros urbanos, el agua subterránea presenta elevados tenores en NO₃ (Azul, Olavarría). En otros casos la contaminación puede ser natural por altas concentraciones de Flúor (Cnel. Dorrego, Cnel. Pringles, Tres Arroyos, Juárez, Gral. Lamadrid, Cnel. Suárez) y de Arsénico (González Chávez, Tres arroyos, Cnel. Dorrego).

Basamento Hidrogeológico. Está constituido por rocas que presentan las mismas características litológicas que las que forman los cuerpos serranos (granitoides, cuarcitas, calizas, dolomitas y arcilitas). Conforman un medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo con agua en fisuras y productividad de nula a muy baja. Compone el zócalo impermeable sobre el que se asientan las unidades hidrogeológicas con porosidad primaria.

En Azul (Piedemonte de Tandilia) se lo ubicó a 150 m de profundidad conformado por roca granítica y en Laprida (Ambiente Interserrano) a 170 m compuesto por areniscas arcillosas paleozoicas.

En el cuadro 5 sintetizan los caracteres descriptos.

AMBIENTE COSTERO (CO)

Comprende el ámbito de la Costa Atlántica Bonaerense que, casi sin solución de continuidad, se extiende desde Punta Rasa (Cabo San Antonio) hasta Punta Alta (vecina a Bahía Blanca), a lo largo de 640 km y con una superficie de 6.213 km². En el mismo se emplaza una faja de dunas que poseen gran importancia hidrogeológica, pues constituyen la única fuente de abastecimiento de agua potable con que cuenta la mayoría de las

ciudades balnearias (San Clemente del Tuyú, Santa Teresita, San Bernardo, Mar de Ajó, Pinamar, Villa Gesell, Claromecó y Monte Hermoso, entre otras).

Las dunas son el relicto arenoso generado por la acción del mar sobre los Sedimentos Pampeanos y sometidas posteriormente a la acción del viento. Tienen una altura máxima de alrededor de 15 m s.n.m en Punta Médanos, pero más común es que oscilen entre 5 y 10 m. El ancho más frecuente de los cordones es de unos 3 km y rara vez superan los 5 km desde la costa.

Las dunas y unidades arenosas asociadas, poseen elevada permeabilidad y porosidad efectiva, debido a la arena suelta y bien seleccionada que las componen; esto les otorga gran capacidad de absorción frente a la lluvia, aún en aquellos sitios donde han sido fijadas con vegetación artificial (San Bernardo, Pinamar, Villa Gesell, Monte Hermoso).

Existe un solo sector donde se interrumpe el cordón medanoso y es entre Mar de Cobo y Chapadmalal (50 km), debido a la existencia de altas barrancas formadas en los Sedimentos Pampeanos y al ingreso del extremo SE de la Sierra de Tandil en el mar, en la ciudad de Mar del Plata.

La elevada permeabilidad vertical que presentan las dunas y que constituye un factor altamente favorable para la recarga, actúa en sentido inverso respecto a la vulnerabilidad del agua subterránea. En efecto, la cobertura arenosa tiene muy baja capacidad de retención respecto a la mayoría de los contaminantes que pueden ingresar por la infiltración de la lluvia, o por las aguas servidas (pozos ciegos, vertidos domésticos, industriales y/o agropecuarios). La rapidez con que el agua atraviesa la zona subsaturada y el escaso o nulo contenido en materia orgánica de la misma, son las variables de mayor trascendencia que limitan la capacidad de fijación y degradación de los contaminantes en la zona subsaturada de las dunas. A modo de ejemplo puede citarse que la mayoría de las bacterias asociadas a la materia fecal humana, mueren antes de los 100 días de abandonar dicho hábitat. Por lo tanto, si el recorrido por la zona subsaturada insume más de 100 días, prácticamente no existen posibilidades de contaminación bacteriológica del agua subterránea, pero si el tiempo es menor el riesgo aumenta.

En el Ambiente Costero, la permeabilidad vertical (K_v) puede estimarse en por lo menos 1 m/día, pese a que la K_v depende, además de las propiedades físicas del medio, del grado de saturación existente en la zona de aireación y esta puede variar significativamente en función del régimen pluviométrico y de evaporación. De cualquier manera, asumiendo una porosidad efectiva (P_e) de 0,2 y una profundidad del nivel freático (L) de 10 m, el tiempo de tránsito (t) desde la superficie del suelo es: $t = L / K_v.P_e = 10 \text{ m} / 1 \text{ m/d} / 0,2 = 50$ días.

Por lo tanto la llegada del agua con sus contaminantes, eventualmente bacterias, se produce en términos de pocos días pero no de meses. La polución bacteriana y con nitratos es uno de los problemas más graves con que se enfrenta la provisión de agua potable a los centros urbanos de la Costa Bonaerense, debido a que muchas localidades carecen total o parcialmente de desagües cloacales y por ende sus habitantes deben recurrir a pozos ciegos.

Otro factor que puede romper el equilibrio hidrodinámico y favorecer la salinización por intrusión de agua de origen marino, es la excesiva explotación a que está sometido el acuífero durante el verano, en aquellos balnearios donde vacacionan gran cantidad de turistas. Al Norte de Mar del Plata, se estima en 2 millones la población veraniega de las ciudades balnearias citadas previamente, lo que implica una extracción de unos 35 hm³ en los 90 días de turismo intensivo entre diciembre y marzo. Felizmente la población estable durante el invierno, no supera los 100.000 habitantes, con la consiguiente disminución en el requerimiento de agua, lo que permite la reposición de la reserva y el mantenimiento hasta el presente del delicado equilibrio entre los ingresos naturales (recarga) y los egresos artificiales (explotación).

En el cuadro 6 se sintetizan los caracteres y comportamientos descriptos.

AMBIENTE NORPATAGÓNICO (NP)

Es el ambiente que se ubica al Sur de la depresión Chasicó - Bahía Blanca, originada por un fuerte tectonismo que afectó hasta las unidades del Terciario Superior (formaciones Ombucta y Barranca Final) con fallas escalonadas de hasta 1.000 m de rechazo.

Se caracteriza por la presencia del clásico relieve mesetiforme de la Patagonia, que se manifiesta al Sur del Río Colorado por: la existencia de depresiones cerradas ocupadas por lagunas, salinas y salitrales (Chasicó, El Salitral, Salitral de la Vidriera, Salitral de la Gotera, Salitral Grande, Salitral del Algarrobo, Salina de Piedra, Salina del Inglés); los relieves elaborados por los ríos Colorado y Negro; la presencia de cadenas medanosas O-E y por la existencia de fuertes barrancas en la costa atlántica.

Al N limita con el Ambiente Bahía Blanca, al O con las provincias de La Pampa y Río Negro, al S con esta última y al E con la costa atlántica, ocupando 20.019 km² (Figura 2).

En lo referente al clima, la lluvia es escasa, disminuyendo de N a S desde 545 mm/año en Chasicó, a 340 mm/a en Carmen de Patagones, mientras que la temperatura media anual también desciende hacia el Sur (15°C en Bahía Blanca, 14°C en Carmen de Patagones). La relación entre precipitación (P) y evapotranspiración potencial (E_{vtp}), indica déficit en el balance hídrico edáfico, considerando un paso anual. Así para valores medios, la E_{vtp} ronda los 770 mm/a en Bahía Blanca frente a una P de 538 mm/a, mientras que en Carmen de Patagones la relación es: E_{vtp} = 756 mm/a P = 340 mm/a; bajo estas condiciones el clima es árido a semiárido con escasas posibilidades para la recarga.

Postpampeano. Está formado por unidades con características hidrogeológicas muy diferentes entre sí.

Arenas finas que componen los médanos fijos, semifijos y desnudos (Médano Invasor), conforman un medio geológico favorable para la infiltración y la recarga subterránea, dando lugar a la formación de lentes de agua dulce de escaso volumen, que son aprovechadas por los pobladores rurales y el ganado.

Arenas medianas, gravas y limos, constituyen las terrazas aluviales del Río Colorado. En este ambiente el agua subterránea es de baja salinidad y el acuífero libre posee buena productividad; sin embargo es poco utilizado pues el abasto para riego se realiza con agua superficial. Rodados cementados o Rodados Patagónicos, se disponen en forma de manto, en las partes altas del relieve, con potencias de 2 a 5 m y cementados por carbonato de calcio, lo que les otorga alta tenacidad y escasa capacidad de infiltración.

Limos, arcillas y depósitos salinos, que se emplazan en los sitios bajos o deprimidos en coincidencia con las lagunas, salinas y salitrales mencionados previamente, cuyo origen se debe a la concentración salina por evaporación de las aguas superficiales y subterráneas que descargan en dichas depresiones.

En la costa también se presentan sedimentos pelíticos pero de origen marino (Ingresión Querandina), especialmente en la Bahía San Blas.

El agua subterránea asociada con los depósitos pelíticos y salinos posee elevada salinidad.

Pampeano. Está restringido al extremo N de la región y por ende posee poca significación hidrogeológica.

Formación Río Negro o Arenas Ríonegenses, ocupan el subsuelo de gran parte del ambiente considerado, al S del Bajo de Chasicó, subyaciendo a los Rodados Patagónicos, a los médanos y a las pelitas del Postpampeano. Cuando están cubiertas por médanos, que actúan como vías de recarga preferencial, pueden almacenar agua de baja salinidad (menor de 1 g/l). De cualquier manera, los rendimientos son bajos y por ende no aptos para el riego.

En la Figura 3 se indican las variaciones de salinidad de la capa freática, apreciándose dos fajas subparalelas con tenores menores de 1 g/l. Una coincide con la cadena medanosa que, con rumbo O - E, se desarrolla desde la cercanía del límite con La Pampa hasta la vecindad de la costa atlántica, pasando por Mayor Buratovich.

La otra se sitúa en la vecindad del Río Colorado y deriva de la infiltración en los depósitos que componen las terrazas aluviales.

Las salinidades más elevadas (mayores de 2 g/l), coinciden con los ámbitos deprimidos donde se emplazan las salinas y los salitrales.

La Figura 4 (Sala, 1975) reproduce, mediante líneas de igual potencial hidráulico, la red de flujo del acuífero libre. En ella se visualiza una zona importante de recarga que coincide con las menores salinidades, ubicada en las márgenes del Río Colorado y al Oeste de Mayor Buratovich. A partir de allí, el flujo se orienta hacia las depresiones cerradas existentes en el Ambiente Bahía Blanca, que constituyen ámbitos de descarga subterránea preferencial (lagunas Chasicó y El Salitral, Salina Chica), en algunos casos con cotas hidráulicas menores de -20 m.

Por debajo de la Formación Río Negro o Arenas Ríonegenses, se dispone una secuencia continental (Formación Chasicó) y otra marina (Formación Barranca Final), correlacionable con la Formación Paraná del resto de la provincia, integrada por arcillas con intercalaciones de arenas y abundante yeso y anhidrita. Las acuíferas contenidas en ambas formaciones son de tipo semiconfinado y con elevados tenores salinos, lo que limita severamente su utilización.

La Formación Ombucta del Terciario inferior a medio, que es portadora de un acuífero termal con fuerte surgencia, baja salinidad y elevados caudales en la Cuenca Hidrogeológica de Bahía Blanca, hacia el Sur, en el Ambiente Norpatagónico, es reemplazada por otra marina (Formación Elvira) por lo que el agua asociada adquiere elevada salinidad (termas de Pedro Luro y Villalonga).

En el cuadro 7 se sintetizan los conceptos vertidos para este ambiente.

AMBIENTE CUENCA BAHÍA BLANCA (BB)

Si bien la Cuenca Hidrogeológica de Bahía Blanca se ubica dentro del ámbito de la Llanura Chacopampeana árida, sus particularidades piezométricas, termométricas y de productividad, hacen conveniente que se la considere como una unidad independiente.

Bonorino, lo denomina Sistema Hidrotermal Profundo de Bahía Blanca: "El acuífero está intercalado en una serie normal que constituye la cobertura, de edad cretácica-cenozoica, de un basamento fracturado en bloques que forman fosas y pilares tectónicos" (Bonorino, 1988).

Al N limita con el Ambiente Interserrano-Pedemontano, al S con el Norpatagónico, al E con Océano Atlántico y al O con la Provincia de La Pampa, ocupando 5.797 km² (Figura 2).

El descubrimiento del acuífero termal profundo se realizó en el pozo Argerich 1, construido en 1912 por la ex Dirección General de Minas y Geología, que alcanzó 711 m de profundidad y alumbró 3 capas; la más profunda a partir de 710 m, con 70 m de surgencia, un caudal espontáneo de 348 m³/h y una salinidad total de 1 g/l.

Desde ese momento hasta el presente es mucho lo que se ha hecho en favor y en contra de este importante reservorio de agua subterránea, cuyas peculiaridades más significativas son: los espectaculares caudales y alturas de surgencia, con máximos de 1.000 m³/h y 200 m respectivamente; las temperaturas del agua (50 a 75°C), en general bastante mayores que las correspondientes al gradiente geotérmico normal; la baja salinidad, fundamentalmente en virtud de que subyace a unidades hidrogeológicas con tenores salinos entre 8 y 100 g/l.

La recarga del acuífero termal profundo proviene de la infiltración en el ambiente serrano (vertiente SO de Sierra de la Ventana) y la circulación se realizaría por vías preferenciales (paleocauces o superficies de fallamiento).

El termalismo se debería al adelgazamiento de la corteza producto del rifting que causó la apertura del Atlántico.

Actualmente no se utiliza agua subterránea para el abastecimiento a la ciudad, que era la única fuente en el pasado, debido a que se construyó el Embalse Paso de las Piedras en Sierra de la Ventana. Los pozos están abandonados y muchos de ellos en surgencia por sus bocas o espacios anulares, vuelcan caudales significativos, lo que genera un daño importante en la reserva del acuífero. El uso se restringe a algunas industrias y a la Base General Belgrano, pero el volumen aprovechado es insignificante respecto a su potencialidad.

En el cuadro 8 se sintetizan los conceptos vertidos para este ambiente.

AMBIENTE DELTA (DL)

El Delta del Río Paraná en su conjunto o Delta del Paraná, se extiende desde la localidad de Diamante al Norte (Entre Ríos), hasta su desembocadura en el Río de la Plata, al Sur, a lo largo de 320 km, ocupando unos 17.000 km², distribuidos en partes de las provincias de Entre Ríos, Santa Fe y Buenos Aires. En la de Buenos Aires abarca 2.462 km², a lo largo de 120 km, entre la Villa Depietri, vecina a San Pedro, por el Noroeste, hasta la desembocadura del Paraná en el Río de la Plata al Sudeste, limitando al Sudoeste con la alta barranca labrada en los Sedimentos Pampeanos, que constituye el borde del ambiente NE; al Noreste con la Provincia de Entre Ríos y al Sudeste con el Río de la Plata (Figura 2).

Está formado por una serie de islas anegadizas que se elevan muy poco sobre el nivel de las aguas medias del Río Paraná, alrededor de 1 m, por lo que son fácilmente inundables durante sus crecidas. La cota promedio de las islas es de unos 2 m s.n.m; en general sus bordes están constituidos por albardones, que también se manifiestan en el interior de las mismas, limitando formas deprimidas ocupadas por bañados y lagunas, relictos de antiguos meandros labrados por el Río Paraná y sus afluentes.

Geológicamente predominan en superficie sedimentos arcillosos, limosos y arenosos finos, correspondientes al Postpampeano entre los que suelen dominar los acumulados por la ingresión del Mar Querandino, compuestos por un "fango areno-arcilloso gris a gris oscuro a gris verdoso o gris azulado, rico en sustancias orgánicas, sapropélicas, descompuestas bajo la ausencia de oxígeno en sedimento embebido en agua" (Groeber, 1961). Este sedimento es el generador del gas metano (González, 2005) o gas de los pantanos muy frecuente en las perforaciones del Delta y que suele ser utilizado por los lugareños para alumbrar y para cocinar. Los depósitos aluviales acumulados por el Río Paraná son arenosos y dominan en los albardones. El Pampeano, que subyace al Postpampeano, falta en gran parte del Delta, debido a que fue erosionado por el Río Paraná, pero en el Mercado de Frutas del Tigre registra un espesor de 15 m. Infrapuesta, sigue una sucesión dominante de arenas, con escasas y delgadas intercalaciones arcillosas, que se caracteriza por la falta o el reducido espesor de las Arcillas Verdes que constituyen el techo de Formación Paraná. Esta secuencia, en la que participan las Arenas Puelches y las arenas de la Fm Paraná, registró espesores de entre 70 y 40 m en la Sección Islas del Río Carapachay y del Arroyo La Espera, respectivamente (Artaza, 1940). Por debajo de la anterior se desarrolla la Formación Olivos (Yrigoyen, 1975), denominada originalmente como El Rojo o Mioceno Rojo (Groeber, 1945). En la región estudiada está formada por una secuencia dominante de arcillas pardo-rojizas, con delgadas intercalaciones de arenas, que en el perfil del pozo Olivos, Partido Vicente López, costa del Río de la Plata, Artaza (1940), describe como arcilla y loess-arcilloso, entre 79 y 247,5 m de profundidad y la asigna a la "formación guaraníca". En dicha perforación, cuya boca se ubica a 2,50 m por encima del cero del Riachuelo, se encontró una roca clasificada como gneiss a 247,5 m de profundidad, similar a la aflorante en la Isla Martín García.

Son muy escasas las investigaciones sobre la calidad del agua en el Delta del Paraná; al respecto, Díaz et al., (2013) realizaron determinaciones de conductividad eléctrica (CE) tanto en las aguas superficiales como en las subterráneas del Delta, que se sintetizan, con algunos arreglos de forma, en el cuadro siguiente.

Conductividad eléctrica de las aguas subterráneas y superficiales del Sistema Delta

Ambiente Hidrogeológico	Procedencia de la muestra	Profundidad (m)	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	Número de muestras
Agua superficial	Río Paraná	Superficial	100 a 180	4
Agua superficial	Arroyos interiores del Delta	Superficial	320 a 870	4
Agua subterránea somera	Albardón zona de conducción	Subterránea 0,3 a 2,7 m de profundidad	700 a 3.700	9
Agua subterránea poco profunda	Descarga local	Subterránea > 2,7 m de profundidad	9.800 a 19.000	3
Agua subterránea profunda	Flujo regional profundo	Subterránea 2 a 40 m de profundidad	13.000 a 17.500	2

- Las aguas superficiales del Río Paraná y las de los arroyos interiores poseen CE muy bajas a bajas (100 a 870 $\mu\text{S/cm}$).
- El agua subterránea somera contenida en los albardones a menos de unos 3 m de profundidad, registra CE bajas a intermedias (700 a 3.700 $\mu\text{S/cm}$). De esta geoforma extraen los lugareños, mediante perforaciones o pozos cavados de poca profundidad, la mayor parte del agua que emplean para el abastecimiento doméstico, pese a constituir un acuífero muy vulnerable a la contaminación.
- El agua subterránea de descarga por flujo local somero, principalmente en los bañados y lagunas interiores, tiene CE altas a muy altas (9.800 a 19.000 $\mu\text{S/cm}$).
- El agua subterránea de descarga por flujo regional profundo ascendente, también registra CE eléctricas altas a muy altas (13.000 a 17.500 $\mu\text{S/cm}$).

Domina en las aguas subterráneas del Delta el tipo clorurado-sulfatado-sódico, con elevadas salinidades que aumentan en profundidad, lo que las hace inapropiadas para el consumo humano y con frecuencia también, para el abastecimiento ganadero.

Groeber, (1961) considera que la alta salinidad deriva de la incidencia de los sedimentos marinos correspondientes a la Fm Querandí, mientras que Díaz et al., (2013) se la atribuyen al flujo ascendente de la descarga regional profunda.

Codignotto y Medina, (2005), analizan la penetración del Delta en el Estuario del Río de la Plata, entre los años 1750 y 2000, concluyendo que su superficie se incrementó en 650 km², con un valor de avance lineal promedio aproximado de 15 km. Sin embargo dicha acreción fue disminuyendo en el tiempo, pues de 230 km² entre 1750 y 1800, pasó a sólo 58 km², entre 1950 y 2000.

En el cuadro 9 se sintetizan los caracteres señalados para este ambiente.

ARSÉNICO

El Arsénico es uno de los elementos que por su elevada toxicidad, ejerce una significativa limitación sobre la potabilidad y es uno de los contaminantes de origen natural más comunes en el agua subterránea.

La ingestión prolongada de agua con tenores elevados de As, produce severos daños en el organismo humano, dando lugar a una enfermedad conocida como Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE). Los trastornos característicos que resultan de la exposición crónica son: engrosamiento de palmas y plantas (queratodermia), aumento de la pigmentación de la piel y aparición de cáncer cutáneo. Además, es bastante frecuente el cáncer de pulmón, de riñón, de próstata y de hígado.

La intoxicación con As fue mencionada por primera vez en 1913 por el Dr. Mario Goyenechea en Rosario, al precisar el origen arsenical por ingestión de agua en 2 enfermos provenientes de Bell Ville, Provincia de Córdoba.

La mayor parte del Arsénico contenido en el agua subterránea de la Argentina, y en la mayor parte del mundo, tiene origen natural, producto de la disolución de minerales arsenicosos vinculados a las erupciones volcánicas y a la actividad hidrotermal, principalmente en la Cordillera de los Andes, en los últimos 5 millones de años y que se mantiene actualmente, aunque en forma más atenuada. El principal agente de transporte desde la Cordillera hacia el Este, hasta alcanzar a la Llanura Chaco-Pampeana fue el viento, que produjo la acumulación del Loess Pampeano.

En lo referente a normas de potabilidad, la Provincia de Buenos Aires le fija un único límite tolerable de 0,05 mg/L (50 µg/L) de acuerdo a lo establecido por la Ley 11.820/1996. El Código Alimentario Argentino (CAA), en su versión actualizada a Enero/2021, le fija un límite al As total para el agua potable de 0,01 mg/L, pero aclara: "En aquellas regiones del país con suelos de alto contenido de arsénico, la autoridad sanitaria competente podrá admitir valores mayores a 0,01 mg/L con un límite máximo de 0,05 mg/L cuando la composición normal del agua de la zona y la imposibilidad de aplicar tecnologías de corrección lo hicieran necesario; ello hasta contar con los resultados del estudio "Hidroarsenicismo y Saneamiento Básico en la República Argentina".

Existen diferencias significativas sobre las normas de potabilidad en la mayoría de las provincias, hecho que se da incluso en aquellas limítrofes. Así, frente a los 0,05 mg/L de la Provincia de Buenos Aires, La Pampa todavía emplea 0,15 a 0,18 mg/L, Santa Fe 0,1 Córdoba y Río Negro 0,05 mg/L y Entre Ríos 0,01 mg/L. Sin embargo, en ninguno de los casos existen estudios toxicológicos basados en una cantidad representativa de habitantes y a lo largo de un lapso que también resulte representativo, para establecer con mayor certeza el límite de potabilidad respecto al As.

La movilidad del As depende esencialmente de las condiciones redox y del pH del agua. En medio oxidante, que es el que prevalece en las aguas subterráneas someras, el Arsénico está disuelto en forma de As^{+5} , condición que también favorece la disolución de F, B, V, Mo, Se y U. En medio reductor, el Arsénico se presenta predominantemente como As^{+3} , que es su forma más tóxica.

La Figura 9 es el mapa con el contenido de As total en el agua subterránea de la Provincia de Buenos Aires (Auge, 2021), elaborado sobre la base de los análisis de muestras tomadas en 159 puntos de muestreo, cuya ubicación se indica en el mapa. Dado que muchos puntos fueron muestreados y analizados más de una vez, para la elaboración cartográfica se eligieron los valores de As más altos. La mayoría de las muestras provino del acuífero predominantemente libre contenido en los Sedimentos Pampeanos, que ocupan la mayor parte del territorio provincial, también por aquellas correspondientes al Acuífero Puelche, en el ámbito donde éste se presenta (Figura 5), y las tomadas en la Pampa Arenosa (Ambiente NO), en la región costera (Ambiente CO) y en el Ambiente Norpatagónico (NP) (Figura 2).

Los límites del contenido de As para la delimitación de las áreas fueron: 0,01, 0,05 y 0,10 mg/L y en función de ello, en la Figura 9 se aprecia un notorio predominio de concentraciones que superan el límite tolerable vigente

en la Provincia de Buenos Aires, dado que el 87% de su territorio (267.000 km²) tiene valores superiores a 0,05 mg/L y sólo el 13% (40.000 km²) presenta contenidos menores.

De las regiones con más de 0,05 mg/L de As disuelto, se destaca por su tamaño la que presenta contenidos entre 0,05 y 0,1 mg/L; ocupa unos 178.000 km² (58% de la superficie total), pero alberga sólo a 470.000 habitantes (3% del total), que se abastecen fundamentalmente del Acuífero Pampeano, con un promedio de 0,075 mg/L de As.

Las que superan 0,1 mg/L, se dispersan en forma de parches en: la vecindad de la Bahía Samborombón (5.600 km²), el NO (44.200 km²), el S (Tres Arroyos - 7.600 km²) y en el bastón al S de Bahía Blanca (Villarino, C. de Patagones - 31.600 km²); en conjunto abarcan unos 89.000 km² y albergan a 880.000 habitantes (6% del total de la Provincia).

Por lo tanto, si bien la superficie ocupada por aguas subterráneas que superan la norma de potabilidad (0,05 mg/L) alcanza al 87% del territorio provincial, esta limitación, afortunadamente no se repite cuando se analiza la cantidad de habitantes potencialmente afectados, porque los sitios de mayor concentración poblacional están ubicados dentro de ámbitos con tenores menores a 0,05 mg/L. Esto se verifica para el 91% de la población total de la provincia y por ende, sólo el 9% restante, habita en regiones con más de 0,05 mg/L de As total disuelto en el agua subterránea (Auge, 2021).

“Existen numerosos procesos para bajar el contenido de As en el agua, pero cualquiera que se emplee termina en un efluente líquido, sólido o semisólido, de alto riesgo para la salud y el ambiente, por lo que resulta indispensable prever su disposición final en condiciones de máxima seguridad. Este requisito constituye el inconveniente principal con que se enfrentan las plantas reductoras de As. Otro de los inconvenientes es que el agua tratada, particularmente por ósmosis inversa, tiene un pH muy ácido y muy bajo contenido en sales disueltas, por lo que debe ser mejorada para que resulte apta para consumo humano”. (Auge, 2021).

TECTÓNICA

La Provincia de Buenos Aires, así como el resto de la gran Llanura Chacopampeana, está directamente vinculada a la evolución de regiones subsidentes o de hundimiento de la sección superior de la corteza terrestre.

En efecto los ámbitos de hundimiento geológico, conocidos como cuencas sedimentarias, derivan de movimientos epirogénicos que contrastan con los orogénicos o formadores de montañas.

Debido a la baja energía morfogenética que deriva del escaso relieve generado por los movimientos epirogénicos, las llanuras se caracterizan por: “Monotonía geológica superficial, debido a la escasez de afloramientos; escasa deformación tectónica, situación que se acentúa en las entidades más modernas y se traduce en una posición estratigráfica dominante de tipo subhorizontal; predominancia de sedimentos finos y medianos sobre gruesos; los limos y las arcillas predominan sobre las arenas y estas sobre las gravas y rodados; continuidad y extensión areal considerable de las entidades geológicas” (Auge y Hernández, 1984).

En la mayor parte de la Provincia de Buenos Aires, la fracturación afecta hasta el piso del Mioceno superior, o sea base de la Fm Paraná, para luego disiparse hasta desaparecer, a partir del techo de la formación citada, por lo que, en las Arenas Puelches y el Pampeano, no se registran efectos de fallamiento que pudiesen alterar la dinámica y/o la calidad del agua subterránea en dichas unidades, que son las más empleadas para los usos corrientes (abastecimiento humano, ganadero, riego e industrial).

POLÍTICA Y ESTRATEGIA PARA EL MANEJO

Se recomiendan aquellas acciones que, en el entendimiento del suscrito, son necesarias para lograr un adecuado manejo del agua subterránea en la Provincia.

Resulta imprescindible crear una base de datos hidrogeológicos con la información disponible, que lamentablemente se encuentra dispersa en diferentes reparticiones públicas como: Autoridad del Agua, Dirección Provincial de Hidráulica, SPAR, INA, SEGEMAR, cátedras de Hidrogeología de la UNLP y de la UNS, Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, CFI, SPAR, etc. Para concretar esta acción es necesario revisar, seleccionar y centralizar la información hidrogeológica, tarea que deben desarrollar y supervisar especialistas en agua subterránea (hidrogeólogos), con la colaboración de técnicos o estudiantes avanzados de geología.

Esta acción fue iniciada en 1985 por la ex Dirección Provincial de Geología, Minería y Aguas Subterráneas, hoy disuelta, que tenía por misión efectuar los estudios hidrogeológicos necesarios para lograr un manejo adecuado del recurso hídrico subterráneo y elaborar el mapa hidrogeológico provincial.

La tarea sugerida resultará ardua y demandará al menos 3 años para lograr una base de datos sólida, que lógicamente deberá actualizarse en forma permanente.

La información más importante, cuya incorporación a la base de datos se considera imprescindible se refiere a:

- datos climáticos (lluvia, temperatura, evaporación, radiación, humedad, dirección y velocidad del viento, heliofanía, etc.).
- balances hídricos a nivel edáfico y general.
- geología superficial y subterránea.
- geomorfología (origen, distribución y características de las geoformas).
- hidrología superficial (caudales de ríos y arroyos y niveles de lagos y lagunas).
- perfiles hidrogeológicos de pozos.
- distribución y características hidráulicas de los acuíferos.
- volúmenes extraídos para diferentes usos (humano, riego, industrial, ganadero)
- estado del agua subterránea frente a la contaminación (urbana, industrial, agropecuaria).
- legislación, regulación y reglamentación vigentes, respecto a la propiedad, el uso, el manejo y la disposición de los efluentes de origen subterráneo y superficial.
- identificación de regiones con problemas para el abastecimiento de agua potable por: elevada salinidad; contaminación natural (F y As) y artificial (NO_3 , metales, hidrocarburos, agroquímicos, etc.); escasa disponibilidad o baja productividad.
- normas de potabilidad de la Provincia de Buenos Aires y provincias vecinas, del Código Alimentario Argentino y de otros países que fuesen de utilidad.

Es necesario realizar estudios para establecer el estado del agua subterránea en zonas densamente pobladas como el Conurbano de Buenos Aires. En esta región (12 millones de habitantes), donde se emplaza alrededor del 27% de la población del país, muchos de sus habitantes emplean pozos domiciliarios para abastecerse de agua, dado que carecen del servicio de agua potable y de cloacas. Si bien no se han efectuado investigaciones hidrogeológicas sobre todo el Conurbano, respecto a la calidad del agua captada en forma domiciliaria, es altamente probable que la misma presente un elevado grado de contaminación bacteriológica y con NO_3 .

También debe propenderse a la ejecución de estudios hidrogeológicos en zonas con escasa disponibilidad de agua como las regiones Deprimida; Noroeste y Norpatagónica, a fin de detectar nuevas fuentes y de lograr un manejo destinado a preservar la calidad y la reserva de agua subterránea. Un claro ejemplo en este sentido son las lentes de agua dulce del NO, que se están explotando para riego con el consiguiente conflicto que crea este uso, respecto al abastecimiento humano, dado que constituyen la única fuente segura de agua potable.

Resulta evidente que es necesario crear un organismo dentro de la estructura provincial, que se aboque a realizar los trabajos mencionados previamente, pues la Dirección de Obras Sanitarias, hoy ABSA, atiende la extracción y la distribución de agua potable.

También se considera necesario habilitar un registro de perforadores de pozos para agua, con el objeto de: identificar a las empresas y a los individuos que se dedican a ello; impartir enseñanza respecto a la forma más conveniente de construir perforaciones para distintas finalidades y en distintos ambientes hidrogeológicos destinadas a preservar la aptitud del agua subterránea; requerir el permiso para perforar y presentar un plano preliminar del pozo a ejecutar, a fin de lograr la autorización para su construcción.

Establecer redes para el monitoreo hidrogeológico, consistente en la medición de niveles para verificar los cambios en el volumen almacenado y el análisis de muestras de agua para verificar la evolución en la aptitud de la misma, tanto en el aspecto químico como biológico.

Delimitar áreas de protección en las regiones explotadas o por explotar, a fin de preservar la calidad y disponibilidad del agua subterránea.

BIBLIOGRAFÍA

- AMEGHINO, F., 1886. Las secas y las inundaciones de la Provincia de Buenos Aires. F. Lajouane: 1-102.
- ARTAZA, E., 1940. Saneamiento urbano de la República Argentina. Provisión de agua y desagües urbanos. Facultad de Ciencias Físicomatemáticas, Cuaderno 5, # 134. UNLP. La Plata.
- AUGE, M. P. y HERNÁNDEZ, M. A., 1984. Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense. Coloquio Intern. Hidrol. de Grandes Llanuras. UNESCO. Actas: Vol. III: 1019-1043. Buenos Aires - París.
- AUGE, M. P., 1986. Hydrodynamic behavior of the Puelche Aquifer in Matanza River Basin. Ground Water # 24 (5): 636-642 Dublin, Ohio.
- AUGE, M. P., MÉNDEZ ESCOBAR, R. y NAGY, M. I., 1988. Hidrogeología del Partido de Salliqueló, Provincia de Buenos Aires, República Argentina. Rev. Asoc. Bras. Aguas Subterráneas (ABAS). Vol. 12: 75-90. Sao Paulo.
- AUGE, M. P. y STRELZENIA, V. B., 1990. Características hidrogeológicas de Azul, Provincia de Buenos Aires, República Argentina. VI Congr. Bras. de Aguas Subterráneas. Anales: 72-81. Porto Alegre.
- AUGE, M. P., 1997. Investigación hidrogeológica de La Plata y alrededores. Tesis doctoral. FCEN. UBA. 2T: 1-171, 58 mapas, 36 cuadros, 86 Figuras. Inéd. Buenos Aires.
- AUGE, M. P., 2004. Regiones hidrogeológicas. Provincia de Buenos Aires. E-Book. Hidrored: 23-57.
- tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/indexm.htm
- AUGE, M. P., 2021. Arsénico en el agua subterránea de la Provincia de Buenos Aires. Conferencia Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP. <https://www.youtube.com/watch?v=HN343lMAOuI>
- BONORINO, A. G. 1988. Geohidrología del sistema hidrotermal profundo de la región de Bahía Blanca. Tesis doctoral. UNS. 1-268. Inéd. Bahía Blanca.
- CASAS, A., 1987. El agua y el suelo en el Noroeste Bonaerense. MAA: 1-31. La Plata. M. Auge redactó los capítulos Clima, Geología y Aguas.
- CODIGNOTTO, J. O. y MEDINA, R. A., 2005. Morfodinámica del Delta del Río Paraná y su vinculación con el Cambio Climático. Actas XVI Congreso Geológico Argentino: 651-656. La Plata.
- De SALVO, O., CECI, J. H. y DILLON, A., 1969. Características geológicas de los depósitos eólicos del Pleistoceno superior de Junín, Provincia de Buenos Aires. IV Jornadas Geol. Arg. Actas: 269-278. Buenos Aires.
- DÍAZ, E. L., BOSCHETTI, N. G., QUINTERO, C. E. y DUARTE, O., 2013. El impacto ambiental de las aguas subterráneas en el Delta del Río Paraná. Argentina. XXIV Congreso Nacional del Agua. San Juan.
- DYMAS, 1974. Contribución al mapa geohidrológico de la Provincia de Buenos Aires. Inéd. CFI. La Plata.
- FRENGUELLI, J., 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la Provincia de Buenos Aires. LEMIT. Ser. II, # 33: 1-72. La Plata.

- FRENGUELLI, J., 1955. Loess y Limos Pampeanos. UNLP. Ser. Técn. y Didáct. # 7: 1-88. La Plata.
- GONZÁLEZ, N., 2005. Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. Cap. XXII: 359-374. La Plata.
- GROEBER, P., 1945. Las aguas surgentes y semisurgentes del Norte de la Provincia de Buenos Aires. Rev. La Ingeniería. Año XLIX, # 6. Buenos Aires.
- GROEBER, P., 1961. Contribuciones al conocimiento geológico del Delta del Paraná y alrededores. Anales de la Comisión de la Comisión Científica de la Provincia de Buenos Aires. Vol. II. La Plata.
- SALA, J. M., 1975. Recursos hídricos (especial mención de las aguas subterráneas). VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 169-193. Buenos Aires.
- TAPIA, A., 1937. Datos geológicos de la Provincia de Buenos Aires. Aguas Minerales. Com. Nac. Climat. y Aguas Min. T II: 23-90. Buenos Aires.
- YRIGOYEN, M. R., 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental. VI Congr. Geol. Arg. Relatorio: 140-168. Buenos Aires.
- ZAMBRANO, J. J., 1974. Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la Provincia de Buenos Aires. RAGA. T XXIX, # 4: 443-469. Buenos Aires.

Cuadro 1. Ambiente Noreste (NE). Superficie 31.907 km²

Formación o Unidad	Espesor (m)	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
La Plata	0-10	Holocena	Conchillas formando cordones	Acuífero libre discontinuo Salinidad (1-5 g/l)	Rural y ganadero
Querandí	0-25	Holocena	Arcillas y arenas muy finas, marinas	Acuitardo a pobremente acuífero Salinidad (5-10 g/l)	
Luján	0-5	Holocena	Limos arcillo-arenosos, fluviales	Acuitardo a pobremente acuífero Salin. (2-10 g/l)	
Pampeano	15-120	Pleistocena	Limos arenosos y arcillosos c/ tosca, eolo-fluviales	Acuíf libre; en prof. pasa a semiconf. Moderada prod. (5-30m ³ /h). Salin. (0,5-2 g/l)	Urbano, rural, riego complem. ganadero e industrial
Arenas Puelches	10-50	Plio-Pleistocena	Arenas sueltas, finas y medianas, fluviales	Acuíf. semiconfinado de media a alta prod. (30-150 m ³ /h). Salin. (1-3 g/l)	Urbano, rural e industrial, riego intensivo complem. y ganadero
Paraná	50-200	Miocena superior	Arcillas y arenas c/fósiles marinos	Acuícludo en la secc sup. Acuífero de alta prod. en la secc. inf. Salin. > 5 g/l. Excepcional 3 g/l	Industrial restringido
Olivos	100-300	Miocena inferior	Areniscas y arcilitas c/ yeso y anhidrita, eolo-fluviales	Acuíf. confinado de baja productividad. Salin. > 10 g/l	
Basamento Hidrogeológico		Precámbrica	Genises, milonitas, granitos	Acuífugo, medio discont. Base imperm. sección hidrogeológica	

Cuadro 2. Ambiente Deprimido (DP). Superficie 73.407 km²

Formación o Unidad	Espesor (m)	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
Junín	0-10	Holocena	Arenas finas (médanos)	Acuífero libre discont. Salin. 1-3 g/l	Rural y ganadero
La Plata	0-10	Holocena	Conchillas (cordones)	Acuífero libre discont. Salin. 1-5 g/l	Rural y ganadero
Querandí	0-25	Holocena	Arcillas limosas marinas	Acuitardo a pobrem. acuífero. Salin. >10 g/l	
Luján	0-5	Holocena	Limos arcillo-arenosos fluviales	Acuitardo a pobrem. acuífero. Salin. 2-10 g/l	
Pampeano	10-120	Pleistocena	Limos arenosos y arcillosos (loess) con intercalac. de tosca eolo-fluviales	Acuífero libre continuo. En los niveles inferiores puede pasar a semiconfinado. Moderada productividad. Salin. 0,5-20 g/l	Urbano, industrial, rural ganadero, riego complementario
Arenas Puelches	0-80	Plio Pleistocena	Arenas finas y medianas, arcillosas, fluviales y marinas	Acuífero semiconfinado de moderada a alta productividad. Salin. 2-10 g/l	Urbano y riego complementario, restringidos
Paraná	100-900	Miocena superior	Arcillas, arenas arcillosas y arenas con fósiles marinos	Acuícludo en la sección sup. Acuitardo a acuífero de baja productiv. en la secc. inf. Salin. 10-30 g/l	
Olivos	90-400	Miocena inferior	Areniscas y arcillas c/ yeso y anhidrita	Acuífero confinado de baja productividad a acuícludo. Salin. 2-60 g/l	
Las Chilcas	1.000 máx	Terciaria inferior	Limolitas gris verdosas, marinas	Acuífero. Salinidad muy alta	Aguas termales
Río Salado Gral. Belgrano	3.000 máx	Cretácica	Areniscas c/limolitas y arcilitas subordinadas	Acuífero de baja productividad. Salinidad muy alta	
Basamento Hidrogeológico		Paleozoica Precámbrica	Cuarcitas, gneises y granitos	Acuífugo, medio discontinuo. Base impermeable de la sección hidrogeológica	

Cuadro 3. Ambiente Noroeste (NO). Superficie 60.193km²

Formación o Unidad	Espesor (m)	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
Médano invasor o Junín	0-20	Holocena	Arenas finas a limosas, eólicas	Acuífero libre descont. de buena productividad. Salin. 0,5-2 g/l	Urbano, rural, riego complem. Industrial
Pampeano	80-165	Pleistocena	Limos arenosos y arcillosos (loess)	Acuífero libre de media productividad, en prof. pasa a semiconf. Salin. 1-30 g/l	Rural, ganadero, industrial y urbano restringido
Araucano	0-140	Plio-Pleistocena	Areniscas arcillosas, calcáreas y yesíferas continentales	Acuícludo con tendencia a acuitardo o pobremente acuífero. Salin. (> 5 g/l)	
Arenas Puelches	0-40	Plio-Pleistocena	Arenas finas a medianas con matriz arcillosa	Acuífero semiconfinado de moderada a alta productividad. Salin. 2-10 g/l	Urbano e industrial restringidos
Paraná	10-100	Miocena superior	Arcillas, arenas arcillosas y arenas con niveles calcáreos y fósiles marinos	Acuícludo en la sección sup. Acuífero de baja productiv. en la secc. inf. Salin. 10-30 g/l	
Olivos	80-230	Miocena inferior	Areniscas y arcillas c/yeso y anhidrita	Acuícludo en la sección sup. Acuífero confinado de baja productiv. en la secc. inf. de alta salinidad Salin. 6-60 g/l	
Las Chilcas	150-290	Paleocena	Limolitas y arcilitas marinas	Acuícludo con agua de alta salinidad	
Abramo	130-345	Cretácica	Areniscas bien consolidadas y limolitas arenosas, continentales	Acuífero confinado de baja productividad a acuícludo y alta salin.	
Basamento Hidrogeológico		Paleozoica Precámbrica	Cuarcitas, calizas, gneises y granitos	Acuífugo, medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo. Base impermeable de la sección hidrogeológica	

Cuadro 4. Ambiente Serrano (SE). Superficie 17.057 km²

Formación o Unidad	Espesor (m)	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
Junín, aluvios y coluvios	0-5	Holocena y Reciente	Limos arenosos y arcillosos, arenas, gravas y bloques	Pobremente acuífero y discontinuo. Salinidad 0,5-3,5 g/l	Rural y ganadero, restringidos
Pampeano	0-30	Pleistocena y Pliocena	Limos arenosos y arcillosos (loess), con intercalaciones de tosca	Acuífero libre de moderada productividad y discontinuo. Salinidad 0,5-7 g/l	Urbano, rural y ganadero, restringidos
Basamento Hidrogeológico		Paleozoica Precámbrica	Cuarcitas, lutitas, arcilitas, dolomitas y calizas, paleozoicas. Esquistos, gneises, mármol y milonitas, precámbricas.	Acuífugo. Medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo; agua en fisuras. Productividad nula a baja. Salinidad 1-5 g/l	Urbano y rural, restringidos

Cuadro 5. Ambiente Interserrano y Pedemontano (IP). Superficie 89.359 km²

Formación o Unidad	Espesor (m)	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
Luján, La Plata y Junín	0-5	Holocena	Arenas finas a limosas con intercalaciones arcillosas, eolo-fluvial.	Acuífero libre discontinuo de baja productividad. Salinidad 0,5-5 g/L	Rural y ganadero
Pampeano	10-170	Holocena	Limos areno-arcillosos (loess)	Acuífero libre continuo de moderada productiv. Salin. 0,5-2 g/L	Urbano, riego complementario, rural, ganadero e industrial
Basamento Hidrogeológico		Paleozoica Precámbrica	Cuarcitas, calizas y arcilitas paleozoicas Esquistos y gneises precámbricos	Acuífugo. Medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo. Agua en fisuras. Productividad nula a baja	

Cuadro 6. Ambiente Costero (CO). Superficie 6.213 km²

Formación o Unidad	Espesor (m)	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
Punta Médanos	5-30	Holocena Reciente	Arenas finas bien seleccionadas. Dunas costeras	Acuífero de buena productividad. Salin. 0,5-2 g/l, muy vulnerable	Urbano (ciudades balnearias), rural, ganadero, industrial restringido
Querandí	0-50	Holocena	Arcillas arenosas marinas	Acuitardo. Salin. 5-20 g/l	
Pampeano	5-30	Pleistocena	Limos arenosos y arcillosos	Acuífero de baja productividad. Salin. 2-10 g/l	Urbano, rural, ganadero
Arenas Puelches	0-40	Plio Pleistocena	Arenas arcillosas marinas	Acuíf. de media a baja productividad. Salin. 10-30 g/l	
Paraná y Olivos	> 500	Miocena superior e inferior	Arcillas y arenas marinas	Acuíf. de baja productividad. Salin. 15-60 g/l	
Río Salado y Las Chilcas	0 - 3.500	Cretácica, Terciaria inferior	Areniscas, arcilitas, limolitas	Salinidad muy alta	
Basamento Hidrogeológico		Paleozoica Precámbrica	Cuarcitas y gneises	Medio discontinuo. Base impermeable de la sección hidrogeológica	

Cuadro 7. Ambiente Norpatagónico (NP). Superficie 20.019 km²

Formación o Unidad	Espesor (m)	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
Médano Invasor	0-20	Holocena	Arenas finas bien seleccionadas	Acuífero de moderada productividad	Rural, ganadero
Aluvio Río Colorado	0-30	Holocena	Arenas medianas, gravas y limos	Acuífero de media a alta productividad. Salinidad baja	Rural, ganadero
Rodados Patagónicos	2-5	Holocena	Rodados cementados	Acuífero libre discont; la infiltración está condicionada por el grado de cementación	
Querandí	0-20	Holocena	Limos y arcillas marinas; depósitos salinos	Elevada salinidad	
Pampeano	0-40	Pleistocena	Limos arenosos y arcillosos, calcáreos	Acuífero de moderada productividad. Salinidad 2-20 g/l	Rural, ganadero
Río Negro	60-90	Plio-Pleistocena	Arenas medianas con estratificación entrecruzada	Acuífero de moderada productividad. Salinidad 1-15 g/l	Rural, ganadero
Chasicó	100-200	Pliocena	Areniscas arcillosas, continentales	Acuífero surgente Salin. 3-20 g/l	
Barranca Final	100-500	Miocena superior	Arcillas y arenas yesíferas marinas	Salinidad 8-100 g/l	
Elvira	200-400	Terciaria inferior a media	Areniscas medias y gruesas con intercalaciones arcillosas	Acuífero profundo surgente Salinidad 40-70 g/l. Temp. 75°C	Baños termales

Cuadro 8. Ambiente Bahía Blanca (BB). Superficie 5.797 km²

Formación o Unidad	Espesor (m)	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
Médano Invasor	0-20	Holocena	Arenas finas bien seleccionadas	Acuífero de moderada productividad	Rural y ganadero
Rodados Patagónicos	2-5	Holocena	Rodados cementados	Acuífero libre descont. Salin. 1-5 g/l	
Querandí	0-20	Holocena	Limos y arcillas marinas, depósitos salinos	Acuícludo-acuitardo Elevada salinidad	
Pampeano	5-40	Pleistocena	Limos arenosos y arcillosos calcáreos	Acuífero de moderada productividad Salinidad 2-20 g/l	Rural y ganadero
Río Negro	50-100	Pliocena Pleistocena	Arenas fluviales medianas	Acuífero de moderada productividad Salinidad 1-15 g/l	Rural y ganadero
Chasicó	150-200	Pliocena	Areniscas arcillosas yesíferas	Acuífero surgente. Salinidad 3-20 g/l	
Barranca Final	200-300	Miocena	Arcillas y arenas marinas	Salinidad 8-100 g/l	
Ombucta	250-520	Terciaria inferior	Areniscas medianas y gruesas	Acuífero profundo con elevados caudales en surgencia Salinidad 1-2 g/l	Fue la única fuente de aprovisionamiento a Bahía Blanca. Hoy lo emplea la industria en forma restringida
Pedro Luro	80-120	Cretácica superior	Lutitas y arcilitas	Acuícludo	
Colorado	600-700	Cretácica media	Areniscas gruesas	Acuífero profundo surgente Salinidad 1-3 g/l	Provisión a Puerto Belgrano

Cuadro 9. Ambiente Delta (DL). Superficie 2.462 km²

Formación o Unidad	Espesor (m)	Edad	Litología	Comportamiento Hidrogeológico	Usos
Albardones y Fm Querandí	2-5	Holocena-Reciente	Arenas finas en albardones y fango areno arcilloso en Fm Querandí	Acuífero de baja prod. en albardones; acuícludo a acuitardo en Fm Querandí. Salinidad 0,5-3 g/L	Limitado para consumo humano en albardones
Pampeano	0-15	Pleistoceno	Limos arenosos, calcáreos (Loess)	Acuífero de baja productividad. Salinidad 7-10 g/L	
Arenas Puelches y Fm Paraná	Medio 50	Plioceno Mioceno sup.	Arenas con escasas y delgadas intercalaciones arcillosas	Acuífero de media a alta productividad. Salinidad 10-13 g/L	
Fm Olivos	170 aprox.	Mioceno inf.	Arcillas pardo rojizas con delgadas intercalac. arenosas	Acuitardo-acuícludo de muy alta salinidad	
Basamento cristalino		Precámbrico Paleozoico inf	Gneiss	Acuífugo	Base del sistema hidrológico subterráneo



Figura 1. Ubicación geográfica.

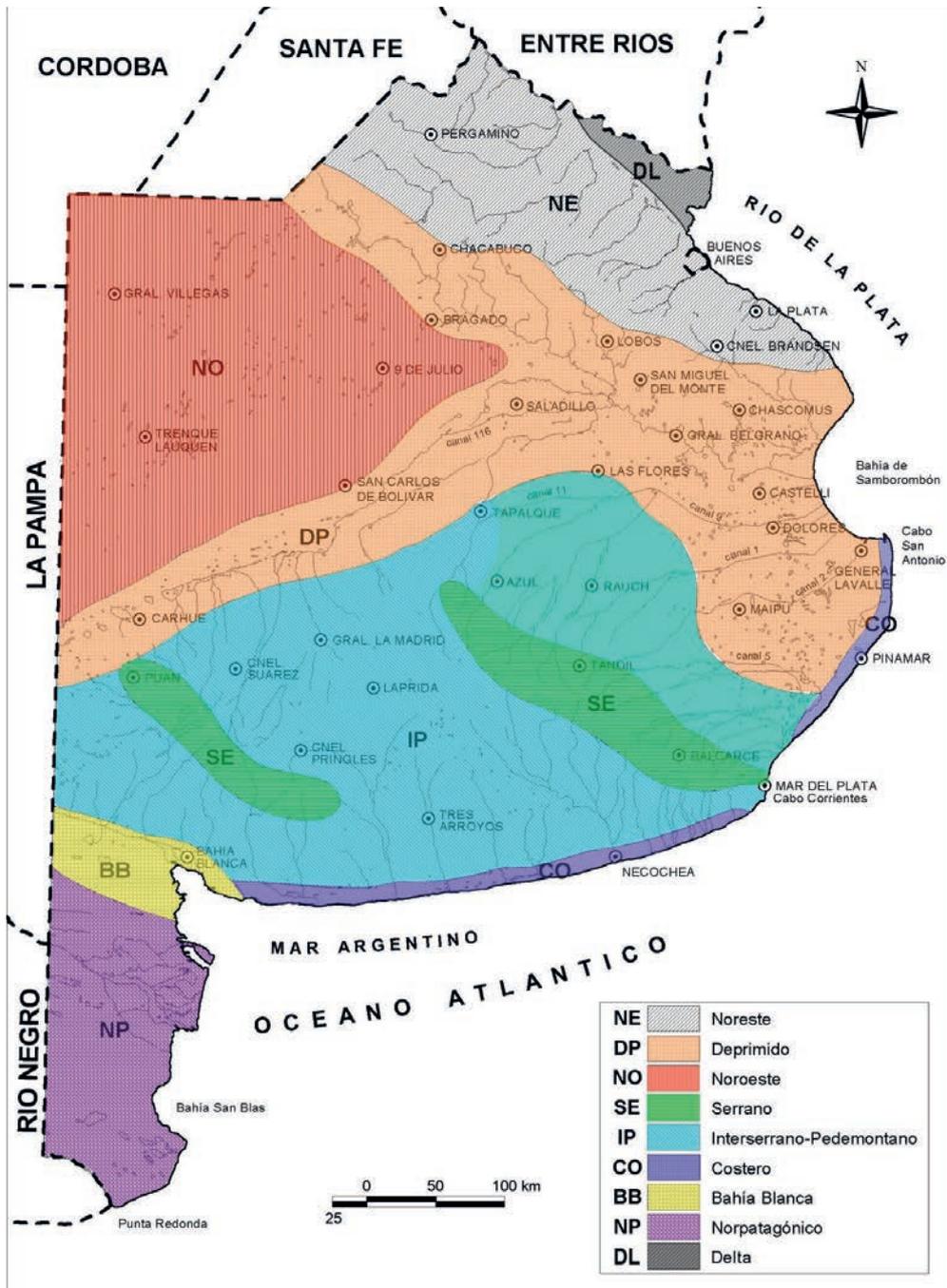


Figura 2. Ambientes hidrogeológicos.

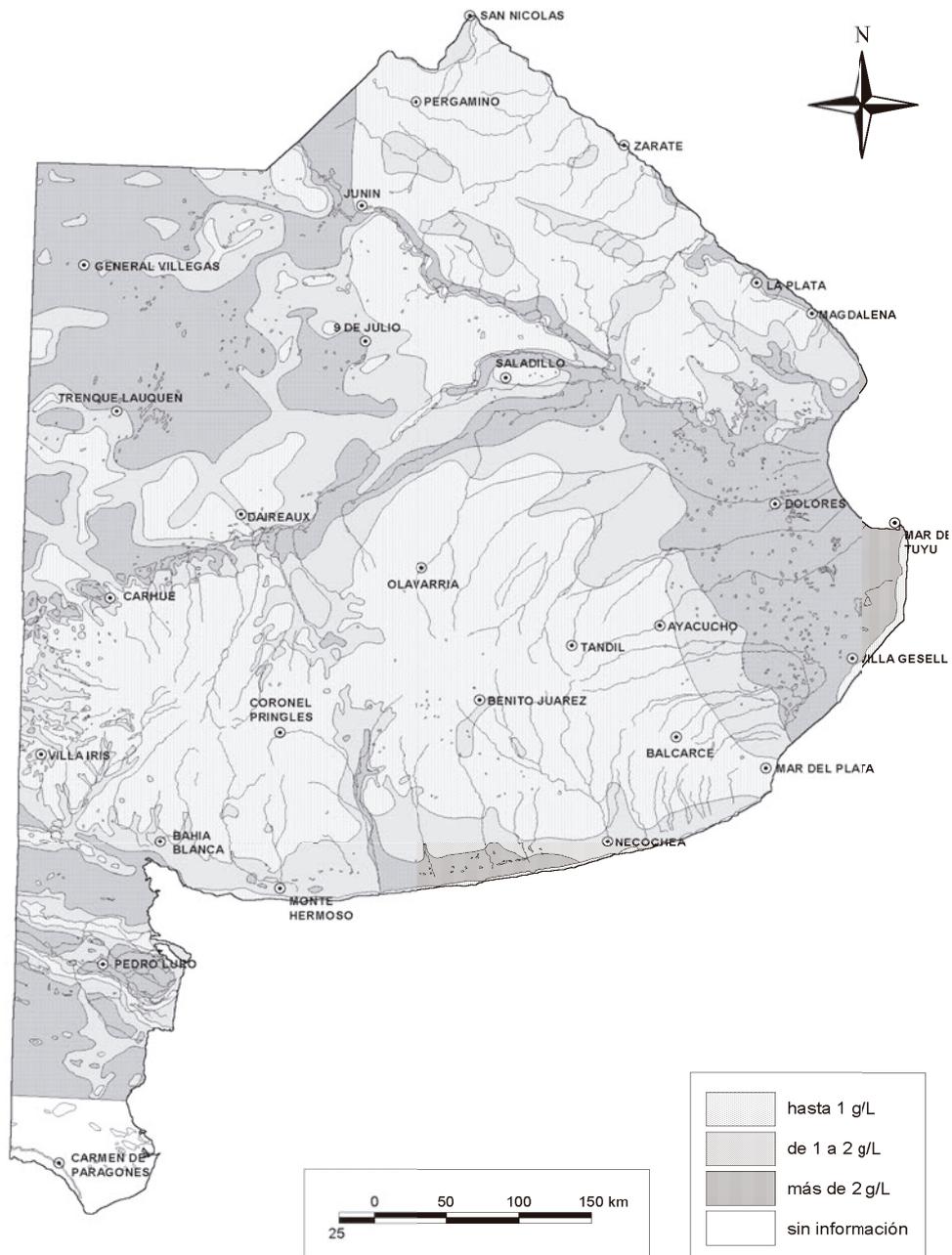


Figura 3. Salinidad del acuífero freático.

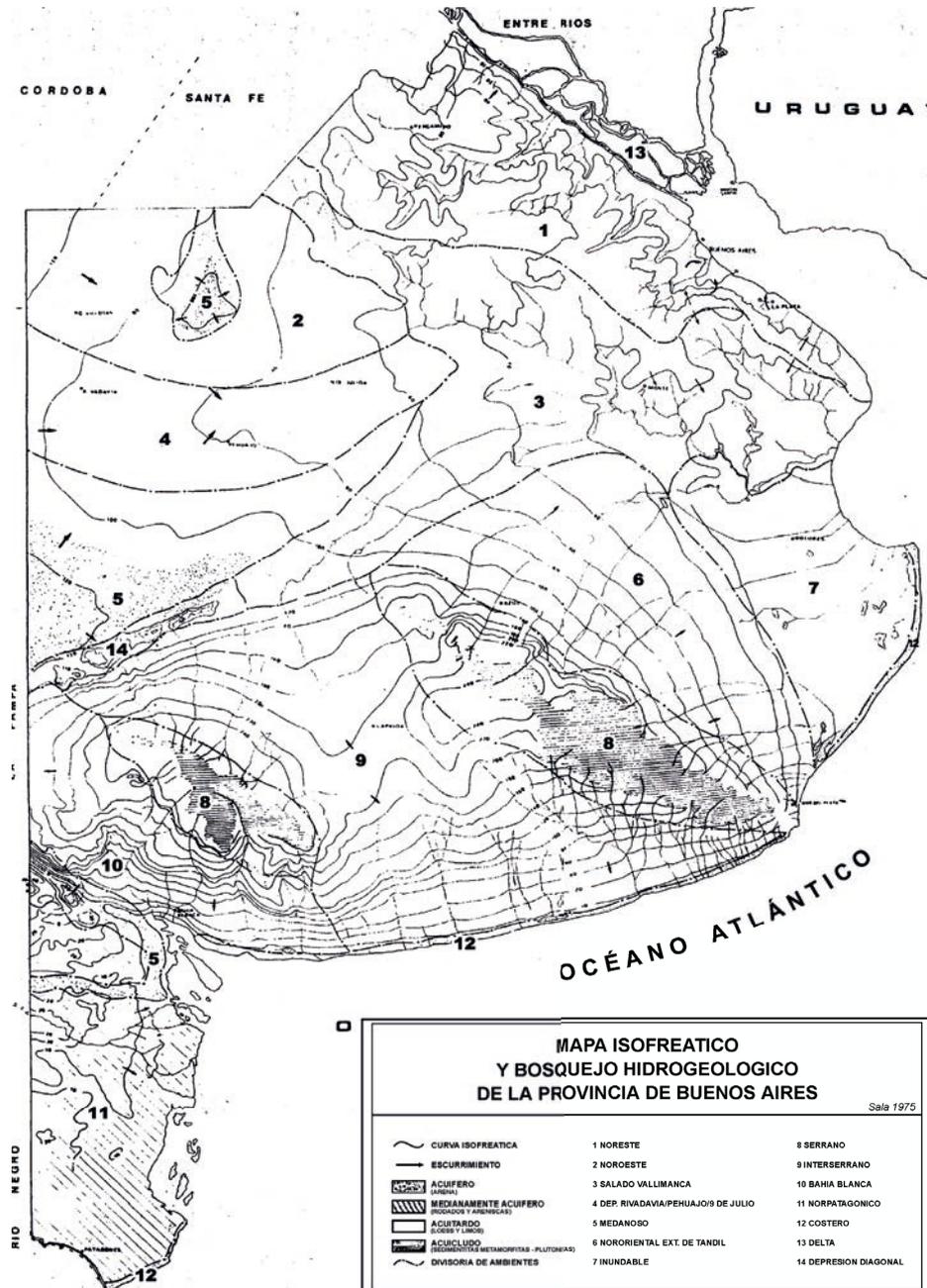


Figura 4. Mapa isofreático.

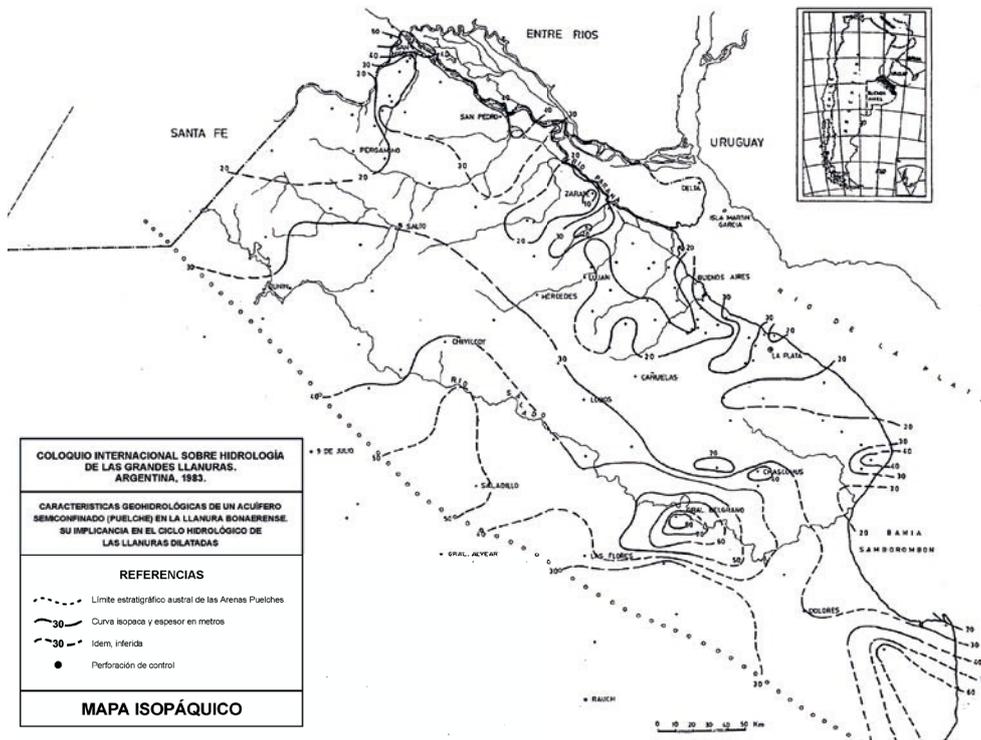


Figura 5. Mapa isopáquico del Acuífero Puelche.

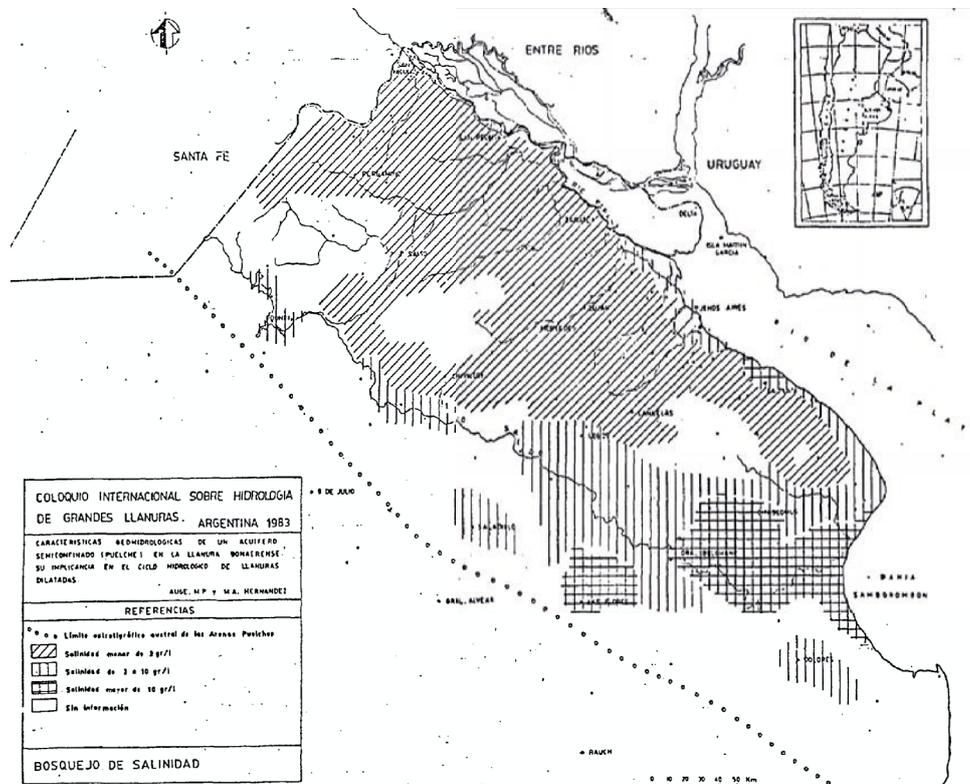


Figura 6. Mapa de salinidad del Acuífero Puelche.

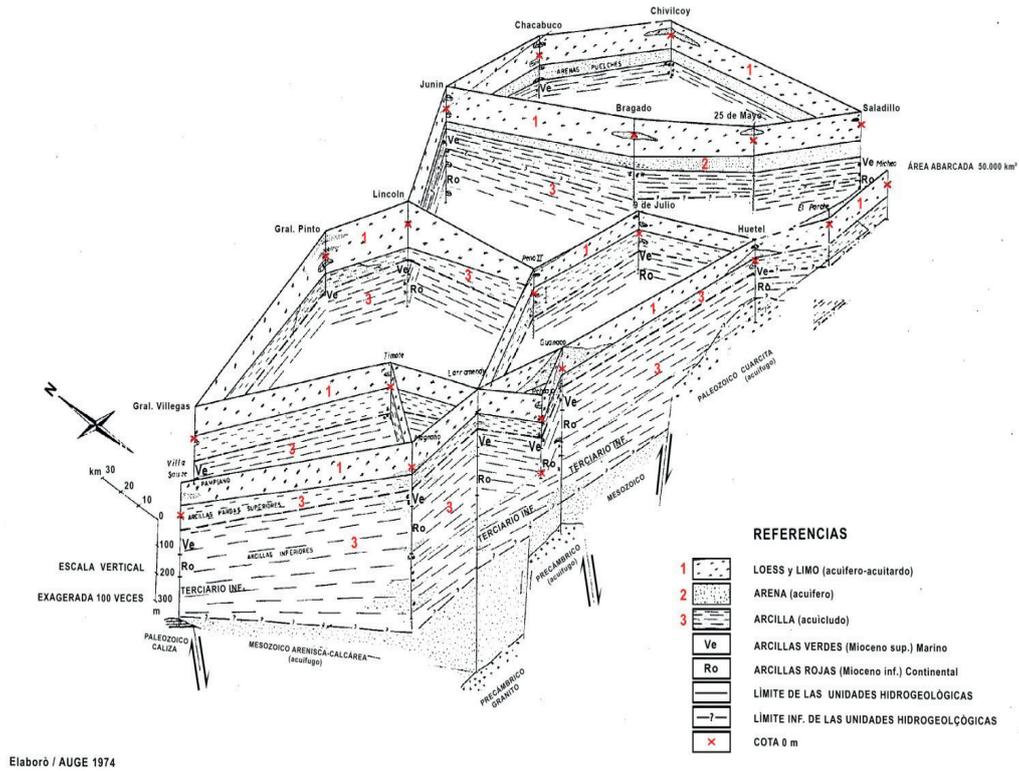


Figura 7. Diagrama en paneles del NO de la Provincia de Buenos Aires.

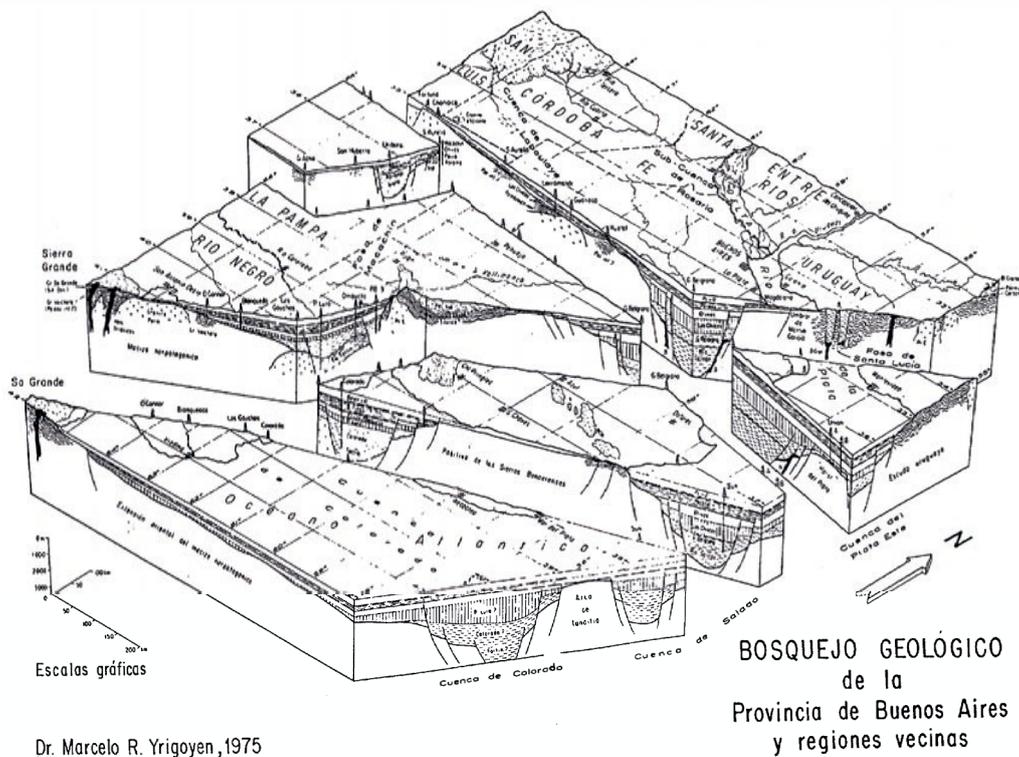


Figura 8. Geología del subsuelo de la Provincia de Buenos Aires.

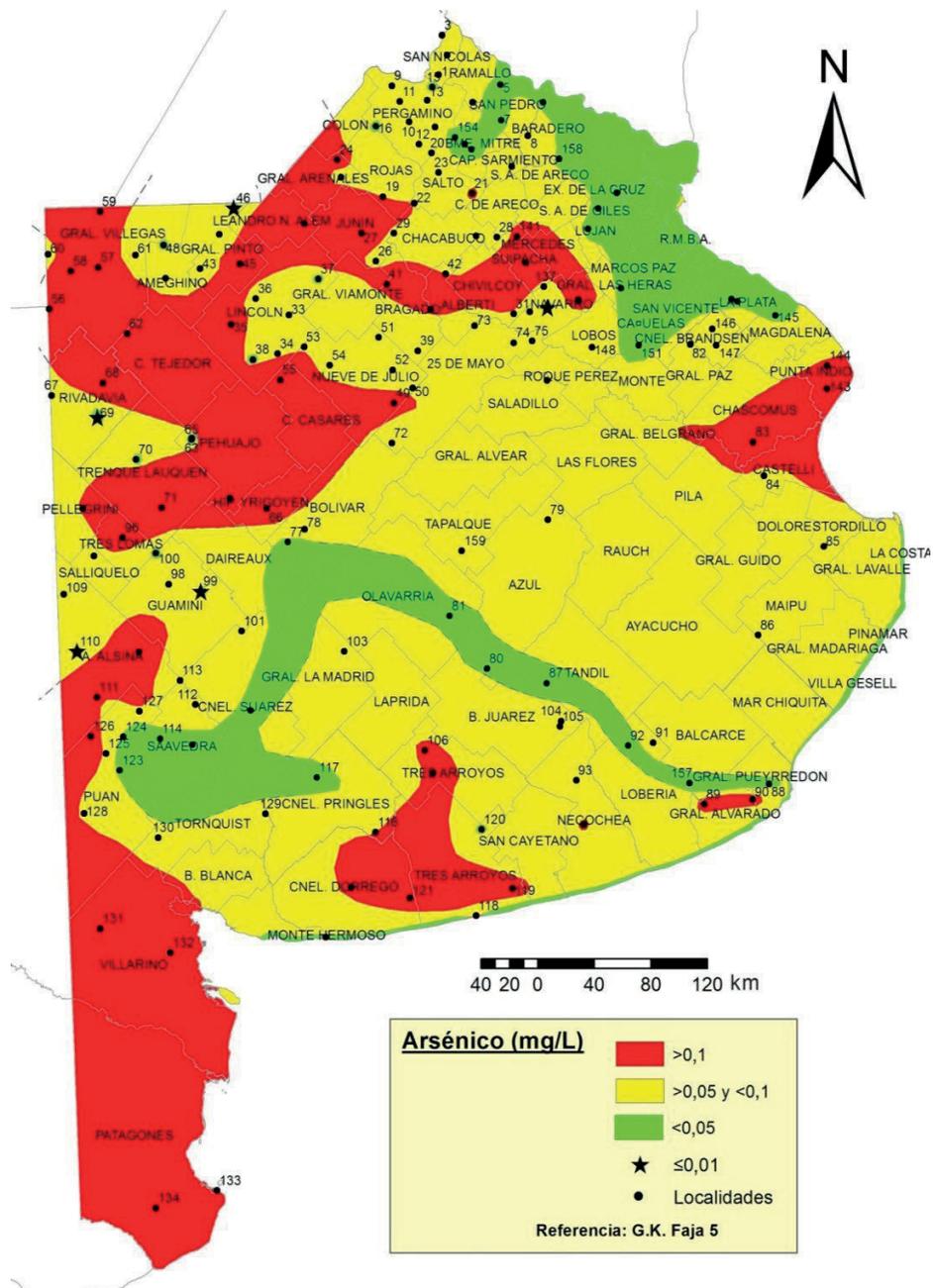


Figura 9. Distribución del As en el agua subterránea de la Provincia de Buenos Aires.