

Relaciones estratigráficas e hidroquímicas de los acuíferos Pampeano y Puelches en el noreste de la provincia de Buenos Aires

Sergio Daniel AMATO ¹ & Adrián SILVA BUSO ²

¹ Profesional CIC. Comisión de Investigaciones Científicas Prov. de Buenos Aires. Lugar de Trabajo: INA. Autopista Ezeiza Cañuelas, Empalme J. Newbery km 1.620, Ezeiza, Bs. As.; e-mail: pntsas@ina.gov.ar.

² DSH-Instituto Nacional del Agua. Autopista Ezeiza Cañuelas, Empalme J. Newbery Km 1.620, Ezeiza, Bs. As.; e-mail: pntsas@ina.gov.ar

Abstract: Relationship between Stratigraphy and Hydrochemistry of the Pampeano and Puelches Aquifers in the Northeastern Region of Buenos Aires Province. Stratigraphic relationships at the top and base of the Puelches Formation in the Northeast of Buenos Aires Province are analyzed. Structural maps using the new data obtained from wells in the Paraná Delta and adjacent rivers of the studied area are presented. Three different contact areas may be defined between geologic units: Puelches/Pampeano, Puelches/Pampeano/Post-Pampeano and Puelches/Post-Pampeano. In this region, a hydrogeologic correlation between the stratigraphy and the groundwater hydrochemistry may be established. A similar hydrochemistry for the Pampeano and Puelches Aquifers is proposed as related with stratigraphy and sea level change during the last 6000 years.

Key words: Hydrogeochemistry, Stratigraphy, Puelches Aquifer

La región estudiada se encuentra ubicada en la región noreste de la Provincia de Buenos Aires y la región del Delta del Río Paraná. La región abarca un área aproximada 12000 km² (Fig. 1) y presenta un clima húmedo, con una precipitación media de 1020 mm/año, una temperatura media anual de 16 °C y una evapotranspiración potencial de 795 mm/año. El tipo de relieve predominante es la llanura, con variantes al NE. donde se puede observar la llanura ondulada con cotas que van desde los 0 m s.n.m. hasta los 50 m s.n.m., las pendientes locales llegan al 2% y las regionales son del orden del 0,08% al 0,0083%. Los procesos morfogenéticos predominantes en la zona son la erosión hídrica, alteración, erosión eólica y sedimentación, cárcavamiento, se observan suelos decapitados, suelos desarrollados, cubetas de deflación, planicies, lomadas, barrancas. La geomorfología del área de estudio está enmascarada y en parte modificada por la gran urbanización y las obras civiles, incluyendo también la red de drenaje que ha sido alterada con la canalización y/o entubado de los cursos de agua (Gatti, 2003).

El paisaje de la región del Conurbano Bonaerense es complejo y actualmente se encuentra urbanizado en una amplia superficie. La morfología que presenta la zona estudiada es consecuen-

cia de la combinación de procesos endógenos, estuáricos (marinos) y fluviales; con menor magnitud y subordinados a los anteriores actúan los fenómenos eólicos y de remoción en masa. Los ascensos y descensos relativos del nivel del mar y/o de los bloques tectónicos en que se halla dividida el área fueron acompañados por fenómenos de erosión y acreción en el estuario, es decir, por progradación y retroceso de la línea de costa. Bajo estas condiciones, el proceso marino (estuárico) generó paleoacantilados, paleolíneas de costa, cordones litorales y planicie de mareas, entre otras (Herrera, 1993). La hidrología del área de estudio está atravesada por las cuencas inferiores de los ríos Matanza Riachuelo, Reconquista y por pequeñas subcuencas afluentes de vertiente estuárica que comprenden las regiones 36 y 47 del Mapa de Cuencas Hídricas (INCyTH, 1990). En esta zona se ubica la cuenca media inferior del Río Luján, Río Matanza, Reconquista, algunos afluentes del margen norte del Río Samborombón y subcuencas de vertiente al Río de la Plata.

La estratigrafía del norte y centro sudeste de la provincia de Buenos Aires ha sido objeto de estudio por parte de muchos autores, entre los que podemos mencionar a Ameghino (1909), Rovereto (1914), Roth (1920), Frenguelli (1950);

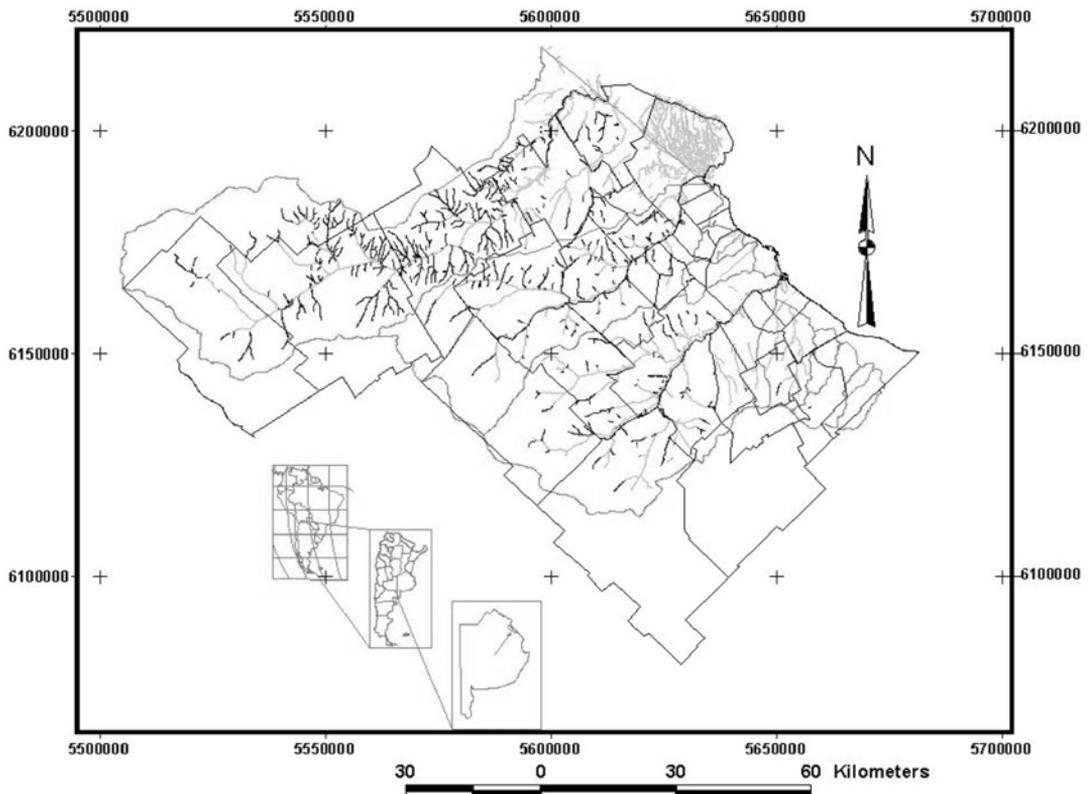


Fig. 1. Mapa de Ubicación del área de estudio

1957), Bordas (1957), Pascual *et al.* (1965), Cortezzi & Lerman (1971), Fidalgo *et al.* (1972), Tricart (1973) y Parker *et al.* (1990).

Cada uno de ellos ha realizado aportes generales o de carácter más o menos localizado en el conocimiento de depósitos sedimentarios sub-superficiales de la región. Desde el punto de vista sedimentológico e hidrogeológico son importantes los estudios realizados por Santa Cruz, (1972); Sala *et al.*, (1972); González Bonorino, (1965), Auge & Hernández, (1983). De acuerdo con dichos autores y a pesar de las posibilidades acotadas por el hecho que gran parte de la información estratigráfica proviene de escasas perforaciones de subsuelo, hemos realizado la tabla 1 que resume las características hidroestratigráficas. La región se encuentra en la denominada Subregión hidrogeológica Río Paraná (Santa Cruz & Silva Busso, 1999) y se extiende desde la Cuenca del Río Salado al sur y sudoeste, hacia el norte hasta al menos el meridiano 33°30' o los bajos submeridionales, al este hasta el Río Paraná y al oeste hasta aproximadamente el paralelo 62°30'. La estratigrafía e hidroestratigrafía, también

reflejada en la tabla 1, presenta los principales acuíferos de esta región.

OBJETIVOS Y METODOLOGIA

El presente trabajo tiene como objetivo establecer las relaciones e implicancias que las variaciones estratigráficas tienen sobre la hidroquímica de las unidades Acuíferas Post-Pampeano, Pampeano y Puelches en la región noreste de la Prov. de Buenos Aires. No se tiene como finalidad establecer una discusión estratigráfica, ni realizar un análisis comparativo entre las unidades establecidas por los distintos autores, sino que se pretende correlacionar las facies litológicas de las diferentes unidades con las facies hidroquímicas.

Si bien se toma en consideración el marco estratigráfico, se revisan aspectos de las distintas relaciones estratigráficas que en particular tiene la Formación Puelches. Se ha recurrido a la confección de mapas temáticos estructurales, que representan la base y techo de las unidades, y mapas hidroquímicos que representan las va-

Tabla 1. Estratigrafía e hidroestratigrafía de los acuíferos más importantes de la subregión Hidrogeológica I Río Paraná.

Estratigrafía	Hidroestratigrafía	Implicancia Paleambiental	Edad	Acuíferos Principales
Sedimentos Post-Pampeanos	Epiparaneano	Marino, Estuárico y Costero, Eólico Fluvial Lagunar	Holoceno	Acuitaros y Acuíferos
Sedimentos Pampeanos	Epiparaneano	Eólico Fluvial Lagunar	Pleistoceno	Acuífero Pampeano
Formación Puelches	Epiparaneano	Fluvial	Plioceno-Pleistoceno	Acuífero Puelches
Formación Paraná	Paraneano	Marino-Costero	Mioceno Medio-Sup.	Acuífero Paraná
Formaciones Olivos y/o Mariano Boedo	Hipoparaneano	Continental	Eoceno-Mioceno Inf.	Acuitardo
Basamento Cristalino	Basamento. Hidrogeológico	Ígneo/Metamórfico	Precamb-Paleoz. Inf.	Acuífugo

riaciones salinas para establecer relaciones con las distintas unidades mencionadas en el NE de la provincia de Buenos Aires. Se presenta también un conjunto de mapas temáticos que involucran a los distintos escenarios estratigráficos y sus respectivas respuestas hidroquímicas a nivel de Acuíferos y/o de Secciones Hidroestratigráficas contenidas. Debido a la variedad de información y de los criterios utilizados en las distintas fuentes consultadas, la misma fue analizada y ponderada con la finalidad de tratar de adecuarla a criterios propios de interpretación y clasificación. Para la ubicación de los diferentes perfiles en coordenadas Gauss-Kruger, en los casos en que las coordenadas fueron obtenidas, se optó por ubicarlos en Faja 5. Se han reinterpretado alrededor de 4000 perfiles geológicos de perforaciones y 750 análisis químicos de captaciones que representan aproximadamente 320 puntos de muestreo: esto se debe a que existen varios análisis para un mismo pozo de muestreo. Debido a las limitaciones en la cartografía hidroquímica y la falta de información, se asignó valores topes a las concentraciones de cloruros, bicarbonatos y sólidos totales disueltos en las áreas de descarga hidrogeológica (por debajo de la cota 5 m.s.n.m).

RESULTADOS

Contactos de la Formación Puelches con Unidades Estratigráficas Infrayacentes

La Formación Puelches suprayace ampliamente en la Provincia de Buenos Aires en contacto neto y generalmente erosivo a las arcillas verde-azuladas de la Formación Paraná de origen marino. En general dicha superficie se pre-

senta accidentada lo que es propio de la acción de procesos fluviales de relativa alta energía que se desarrollaron sobre un material arcilloso escasa-mente consolidado en un amplio sector del nores-te provincial.

En concordancia con lo expuesto y en el área litoral de Campana-Zarate, Santa Cruz (1993) establece la existencia de un pasaje directo entre la Formación Olivos y la Formación Puelches, sin la presencia de la Formación Paraná en algunos sondeos acuíferos exploratorios, probablemente debido al desarrollo de importantes canales de transporte de sedimentos que dieron origen a la Formación Puelches y que habrían erosionado por completo a los depósitos marinos de la Formación Paraná. La existencia de este contacto discordante Olivos/Puelches fue comprobado también en la ciudad de San Nicolás y en la estación Conesa del partido de San Nicolás, así como en áreas rurales del partido de Lincoln, en distintas perforaciones de la Dirección de Minería de la provincia de Buenos Aires. Asimismo, en Villa Paranacito según un sondeo exploratorio, se comprobaría la existencia de basamento cristalino en contacto directo con la Formación Puelches a menos de 50 m de profundidad (Amato & Silva Busso, 2005).

Este valor señalado para el área de Villa Paranacito determina que para la zona del delta inferior del río Paraná el Complejo Ígneo- Metamórfico descrito oportunamente por Dalla Salda (1981) en Martín García, yace muy cerca de la superficie, al parecer integrando partes elevadas del Alto del Río de la Plata. Estas inferencias son consistentes con la presencia de los mencionados asomos del basamento en la isla a 25 m s.n.m. y su aparición a -143 m en el Pozo Baradero del

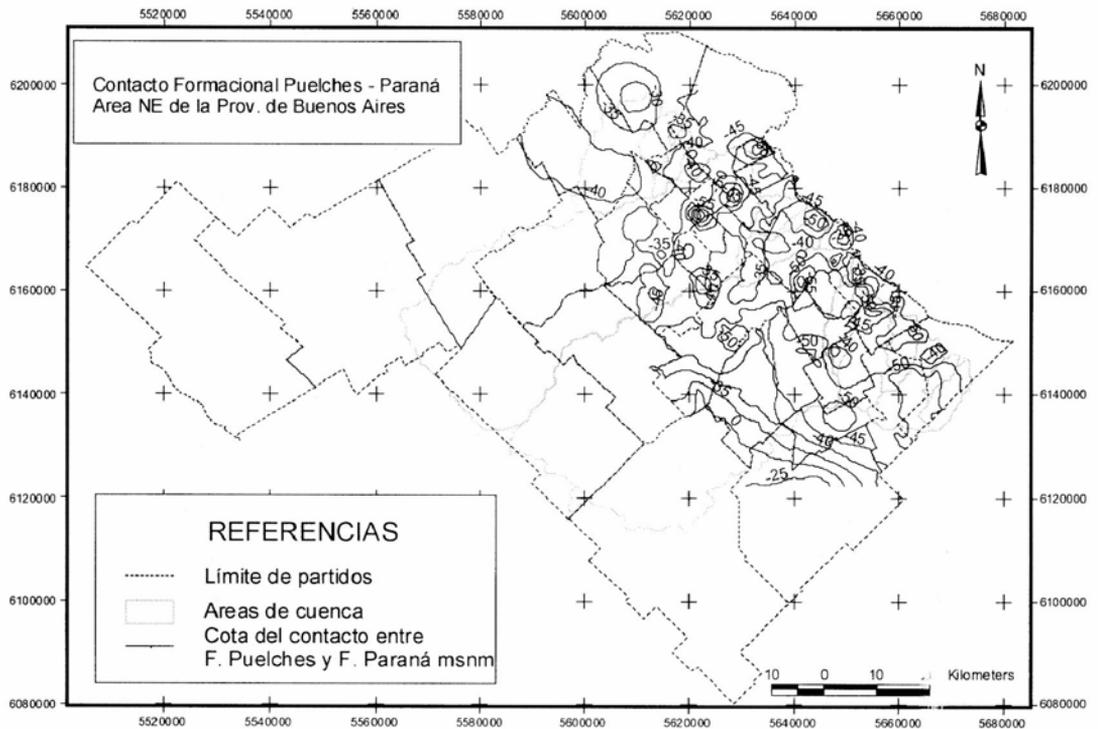


Fig. 2. Cotas del contacto de la F. Puelches con la F. Paraná

Ministerio de Obras Públicas de la provincia de Buenos Aires, lo que señalaría un callamiento y ascenso estructural evidente del zócalo cristalino entre ambos puntos. Por su parte la existencia de dichos fallamientos localizados entre el litoral bonaerense y la isla Marín García contribuiría a la magnitud de éste y otros desniveles similares que se ampliarían hacia la cuenca del Salado, según Fernández Garrasino (1988).

La Fig. 2 muestra la cota del contacto Formacional Puelches-Paraná en la zona de estudio y la distribución de las isolíneas de profundidad del mismo. Se observan en la misma la distribución de los depocentros de la Formación Puelches y su irregular distribución en la región.

Contactos de la Formación Puelches con Unidades Estratigráficas Suprayacentes

El techo presenta un aspecto más regular y poco accidentado lo que podría estar indicando un pasaje transicional o gradual de la Formación Puelches a los Sedimentos Pampeanos. Es de resaltar la profundización gradual que sufre la unidad hacia el SO, con profundidades para el contacto Puelches/Pampeano superior a los 90 m en Saladillo o Las Flores, (cota - 60 m) siendo en

Avellaneda su media inferior a 25 m (cota -15 m). En el área de estudio la conformación de la columna estratigráfica se halla íntimamente ligada a las condiciones de depositación y evolución en el tiempo de cada una de las unidades involucradas, afectadas por factores intracuencales y externos al sistema, pudiendo presentarse las siguientes situaciones:

Contacto Puelches - Pampeano: En áreas de terrazas altas o de divisoria de aguas e intermedias de cuencas o subcuencas hidrográficas. La ausencia de superficies erosivas marcadas en el límite Puelches/Pampeano y la descripción en muchos casos de pasajes transicionales con límites difíciles de establecer, así como pasajes interdigitados, plantean la idea de un sincronismo entre ambas unidades y una migración en el tiempo del ambiente fluvial puelchense hacia el litoral de los ríos Paraná-de la Plata.

Una interpretación ajustada de la relación entre la Formación Puelches y los Sedimentos Pampeanos puede lograrse si se contempla la posibilidad de desarrollo, concomitante en parte, de ambos ambientes depositacionales, lo que

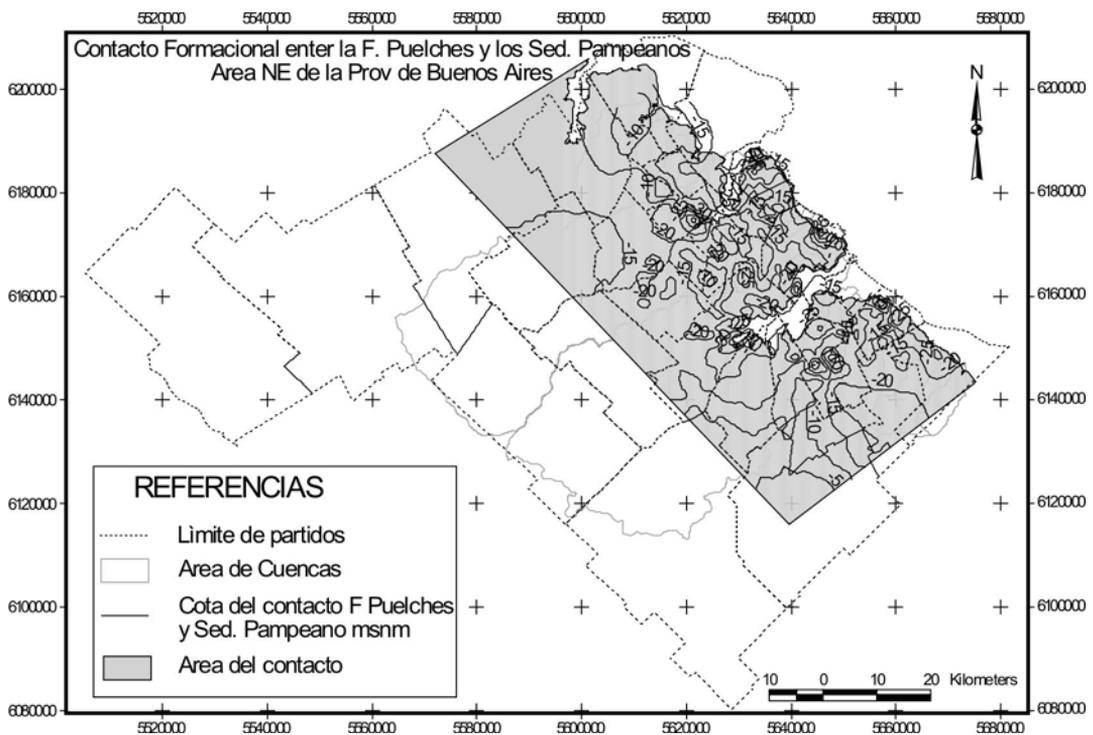


Fig. 3. Cotas del contacto de la F. Puelches con los Sedimentos Pampeanos

implicaría la existencia de un «ambiente pampeano» de depositación que avanza desde el oes-te-sudoeste y engrana lateralmente hacia el no-reste con el «ambiente puelchense» para luego sepultarlo.

De esta manera los Sedimentos Pampeanos comenzarían a depositarse aún cuando el ambiente de depositación de las Arenas Puelches se encontraba activo. Este contacto lateral entre ambas unidades se habría estado desplazando desde el interior de la provincia hacia el litoral y por lo tanto no se correspondería con una sola línea tiempo, produciéndose el efecto de una «cuña» pampeana avanzando hacia el NE a medida que el ambiente fluvial de las Arenas Puelches quedaba desactivado. En concordancia podría explicarse también la disminución de espesores que sufre la sedimentación pampeana hacia el litoral bonaerense.

La Fig. 3 muestra la cota del contacto formacional Puelches – Sedimentos Pampeanos en la zona de estudio, y la distribución de las isolíneas de profundidad del mismo. Se observan en la misma la distribución más regular del contacto entre estas unidades y cierta tendencia a elevar la cota del contacto hacia las zonas costeras de la región.

El proceso y la dirección de soterramiento quedarían evidenciados incluso por la dirección principal de los ríos y arroyos (oeste – este) que aún en la actualidad, circulan en el NE de la Provincia de Buenos Aires. Esta situación explicaría también la existencia de depósitos considerados Post-Pampeanos directamente apoyados sobre la Formación Puelches (ver Fig. 4) en el área deltáica y en el área litoral del río Paraná y de la Plata que pasamos a describir.

Contacto Puelches - Post-Pampeano: Área deltáica del río Paraná, zona costera del litoral del Plata, área de desembocadura de ríos en el litoral (Luján, Reconquista, Ria-chuelo-Matanza). Observamos en este caso la ausencia de Sedimentos Pampeanos, los que no fueron hallados ni siquiera como relicto, en ninguna de las doce perforaciones realizadas en el Delta del Paraná (Amato & Silva Busso, 2005), lo que inclinaría a suponer que los mismos nunca alcanzaron a depositarse masivamente en el área, debido a la permanencia de un sistema activo remanente de depositación de la Formación Puelches en el litoral, que solo ante las ingresiones holocenas se logra desactivar en la región. (ver Fig. 4).

Desde el área deltaica y en dirección sudeste el contacto Puelches/Post-Pampeano se continúa

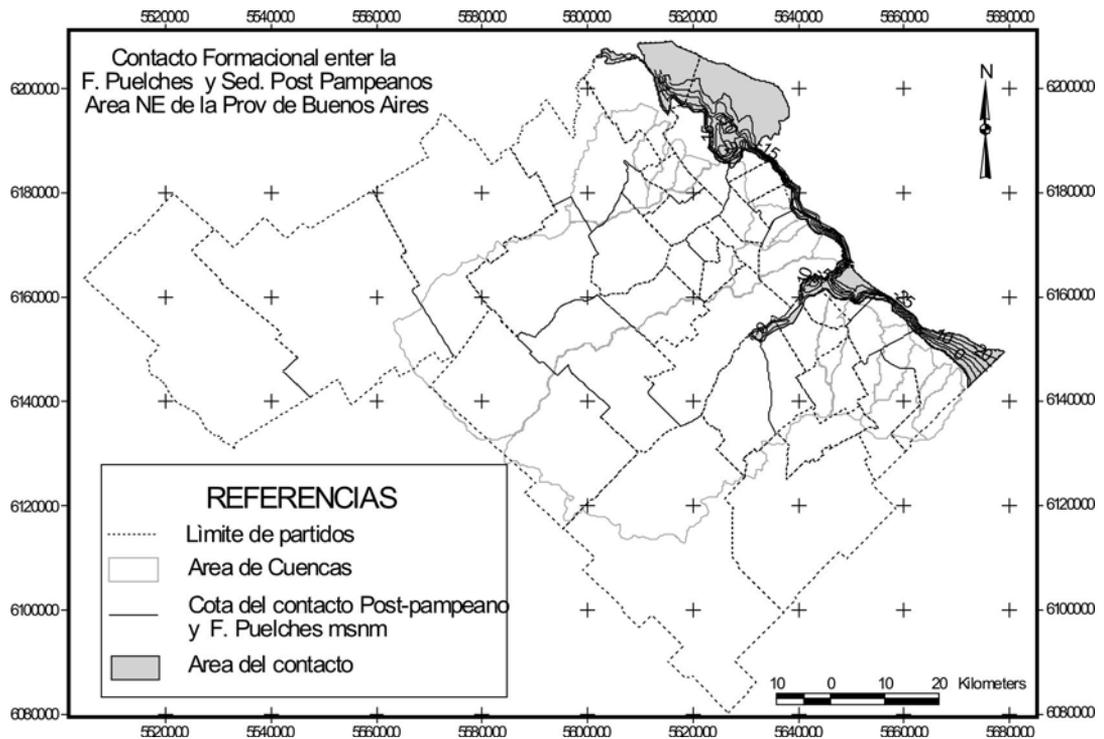


Fig. 4. Cotas del contacto de la F. Puelches con los Sedimentos Postpampeanos

en una angosta franja costera litoral del río de la Plata, que involucra áreas de desembocadura de cursos como el Riachuelo-Matanza, el Luján o el Reconquista, y que se extiende según registros bibliográficos en el sub-lecho del mismo río hasta el área de plataforma bonaerense (conformando el antiguo paleovalle del río de la Plata), según Cavallotto *et al.* (1999).

Contacto Puelches - Pampeano - Post-Pampeano: Áreas de terrazas bajas, áreas de descarga, planicies de inundación de ríos y arroyos. En el caso de las áreas que involucran la secuencia completa Puelches-Pampeano-Post-Pampeano debemos remitirnos en gran medida a las zonas de planicie de inundación de antiguos ríos y arroyos que, con dirección predominante SO-NE, recorrían el noreste provincial sin alcanzar a erosionar completamente el sustrato pampeano. Es evidente que en estos casos las fluctuaciones relativas del nivel del mar han intervenido en el desarrollo de dichos cursos, y que previo a las ingresiones holocenas habrían alcanzado un grado de amplitud y desarrollo importante en lo que hoy se observa como planicies de inundación relativamente grandes, asociadas a cursos actuales de escaso volumen.

En estos ambientes acotados se evidenciaron los cambios relativos del nivel del mar que pro-

dujeron las ingresiones del Holoceno, relleno con depósitos estuáricos y/o mareales las áreas de desembocadura y ahogando a los sistemas fluvia-les hasta una nueva declinación relativa. Es en estas zonas donde podemos observar la columna estratigráfica con las tres unidades mencionadas, de las cuales la más moderna puede presentar características de sedimentos marinos-costeros de tipo estuáricos o mareales, o tipo lagunar-fluvial con retransporte del sustrato pampeano (ver Fig. 5).

Caracterización Hidroquímica del Agua Subterránea según Tipo de Relación Estratigráfica Presente

El análisis de las características hidroquímicas regionales de los acuíferos Pampeano y Puelches se ha realizado sobre la base de dos aspectos, uno presentando la clasificación hidroquímica de ambos acuíferos separadamente, y el segundo relacionando la estratigrafía con la concentración salina total (TDS en mg/l). Se han realizado los gráficos de Piper (1953) para la clasificación hidroquímica y los diagramas Ternarios de Aniones y Cationes que permiten una mejor interpretación de la evolución salina, dado que existen numerosos análisis que no incluyen los Na^+ y K^+ indispensables en el método de Piper (1953).

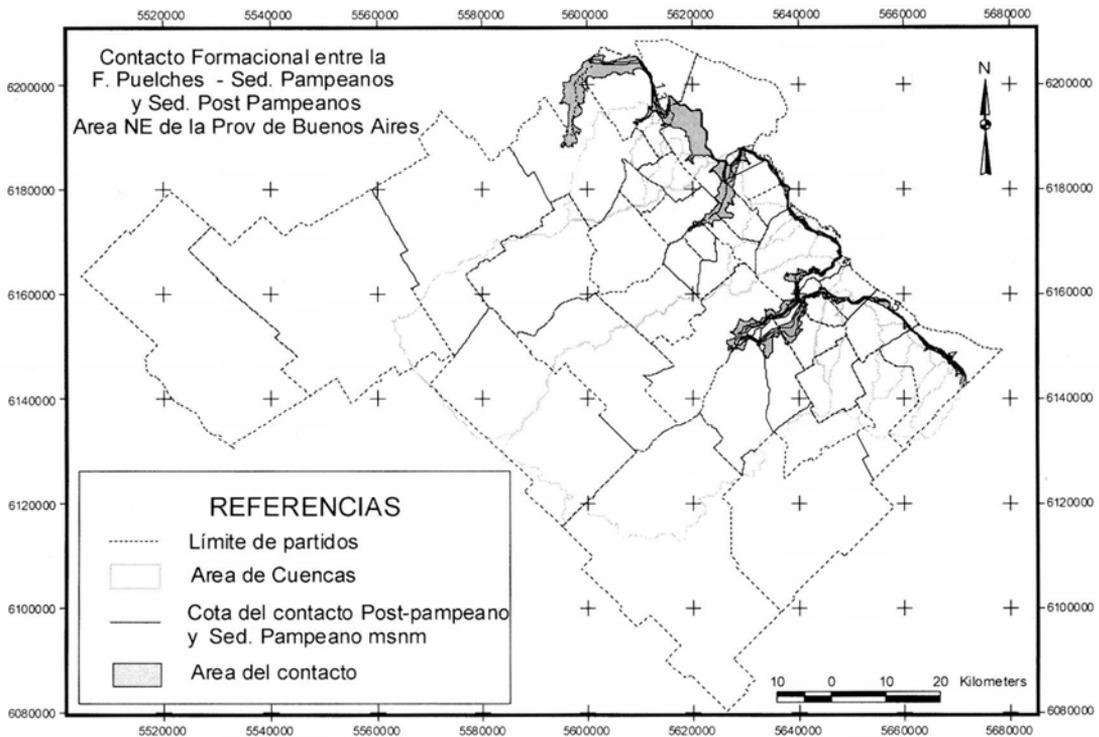


Fig. 5. Cotas del contacto de los Sedimentos Pampeanos y Postpampeanos

Las Figs. 6 y 7 respectivamente muestran una regularidad en la composición química de las aguas durante el periodo 1995-2002 (único período con cantidad de datos suficientemente representativos). Las aguas analizadas corresponden a los acuíferos Pampeano y Puelches y son mayormente de tipo bicarbonatadas sódicas, mientras que en menor proporción se encuentran aguas de tipo cloruro sulfatadas sódicas. La falta de un muestreo significativo en las áreas de niveles acuíferos más salinos, pone de manifiesto el desconocimiento de la zona de descarga hidrogeológica y la asimetría de la información que dificulta un análisis más detallado. Esto último ha complicado la división y análisis de las muestras de acuerdo al arreglo estratigráfico que se ha propuesto en este estudio, dado que la representatividad areal de información hidroquímica es menor que en las zonas de aguas con menor salinidad. Las concertaciones de sales totales de los acuíferos pampeanos y puelches han sido correlacionadas con los diferentes tipos de contacto y estratigrafía de la región. El intervalo comprendido contiene valores entre 500 mg/dm^3 y 10000 mg/dm^3 para el acuífero Puelches y entre 500 mg/dm^3 y 5000 mg/dm^3 para el acuífero

Pampeano, y la equiconcentración es variable con el fin de visualizar las zonas claramente, sin saturar excesivamente el mapa. Las aguas del acuífero Puelches son mayormente de bajo contenido salino con TDS promedio de 828 ppm.

Se clasifican según la proporción relativa de sus componentes iónicos mayoritarios, de acuerdo al diagrama de Piper, como bicarbonatadas sódico cálcicas (Fig. 7). En menor proporción se encuentran aguas de tipo clorurado sódicas, localizadas mayormente en las zonas de las planicies de inundación de los principales ríos (Matanza, Reconquista y Luján).

Facies Hidroquímicas de Recarga y Contacto Puelches-Pampeano. Estas facies hidroquímicas serían del tipo Bicarbonatadas sódico cálcicas, con valores de TDS menores a 2000 mg/dm^3 . Se encontrarían en las áreas de terrazas altas o de divisoria de aguas e intermedias de cuencas o subcuencas hidrográficas. Esta puede considerarse como la facies hidroquímica que tipifica la recarga actual en dichas zonas. Geomorfológicamente corresponde a las unidades I y II, planicie ondulada y planicie de escurrimiento respectivamente (Gatti, 2003), y constituye las áreas de recarga regional de ambos acuíferos.

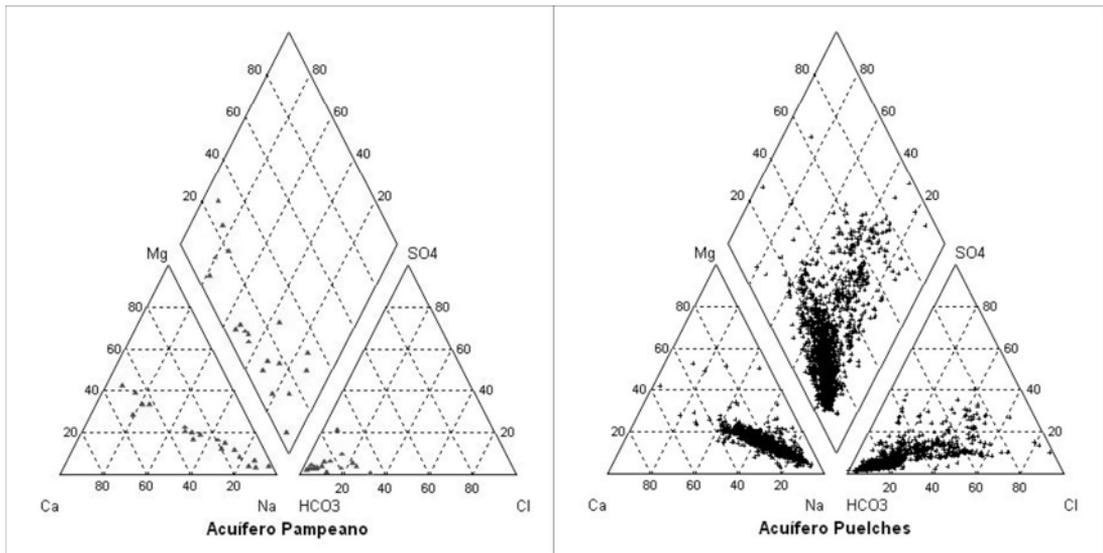


Fig. 6 (Ac.Pampeano) y Fig. 7 (Ac. Puelches) Clasificación Hidroquímica

La Unidad I se extiende en la mayor parte de la región entre las cotas de 30 m s.n.m. a 25 m s.n.m. En su superficie se han identificado signos de escurrimiento encauzado. Las cotas que oscilan entre los 27,5 y 30,0 m s.n.m., y corresponden a lomadas cuya pendiente media es del 2% al 1%; se trata de una superficie alta ondulada con algunos sectores planos. Sobre esta superficie las precipitaciones se movilizan en parte por infiltración y escorrentía laminar, encauzada a lo largo de varios arroyos y ríos que forman parte de las principales cuencas del Luján, Reconquista, Matanza y las cuencas menores. La acción eólica subordinada genera geoformas de erosión. Se han observado algunas manchas circulares, blancas o grises, claramente delimitadas, rasgos que se han interpretado como cubetas eólicas o de deflación, generadas por acción turbulenta de los vientos (Tricart, 1973), que levanta el material dejando una depresión leve que posteriormente almacena agua pluvial. En las partes más altas el agua se infiltra o se evapora rápidamente, sobre todo si el tamaño de la depresión es reducido. La Unidad II es el límite entre la Planicie Ondulada y los valles aluviales; es de carácter transicional, y hacia el Este disminuyen las cubetas mientras que los cauces conforman la principal geoforma de erosión. Los bañados de forma redondeada de la planicie ondulada pasan a bañados alargados con incipientes cañadas en la planicie de escurrimiento, y el agua que se infiltra desde la parte más alta de la llanura ondulada aflora en los sectores de mayor desnivel. Este proceso genera erosión pues el agua llevó en su carga limos y loess que se redepo-

sitaron aguas abajo. Actualmente este fenómeno de erosión retrogradante prácticamente no existe si la vegetación permanece sin modificaciones, o bien si la urbanización canaliza o entuba los cauces. Entre las lomadas y las cañadas se extiende una superficie cuya pendiente es, a veces, del 1.5% al 2%. Esta pendiente se orienta hacia los arroyos y al mismo tiempo presenta pendiente lateral. Esta parte es la de mayor riesgo de erosión. El drenaje de esta unidad es bueno en la zona de lomadas, principalmente si está encauzado. No obstante, existen superficies anegadizas que podrían considerarse superficies de captación hídrica, a partir de las cuales se forman bañados y posteriormente un cauce que lleva aguas a un arroyo más importante. Estos bajos interlomadas son depresiones muy leves o suaves, las que cuentan con la cobertura vegetal natural son permanentes. Esta unidad se encuentra entre los 25 hasta unos 15 m s.n.m. y en algunos casos hasta los 10 m s.n.m. En las zonas costeras se presentan acantilados inactivos o paleoacantilados, remanentes de los ambientes marinos retrabajado por los procesos de remoción en masa. Constituyen las denominadas barrancas que separan la «Terraza Alta» (Frenguelli, 1950) de la Terraza baja que llega hasta el Río de la Plata, desde aproximadamente Rosario hasta las cercanías de La Plata.

En el mapa de isoconcentración de sólidos totales disueltos (TDS) de las Figs. 8 y 9 se presentan las isocurvas que han sido interpoladas y corregidas en base a la información hidroquímica disponible, en la zona estratigráfica del contacto Puelches – Pampeano, para ambos acuíferos por

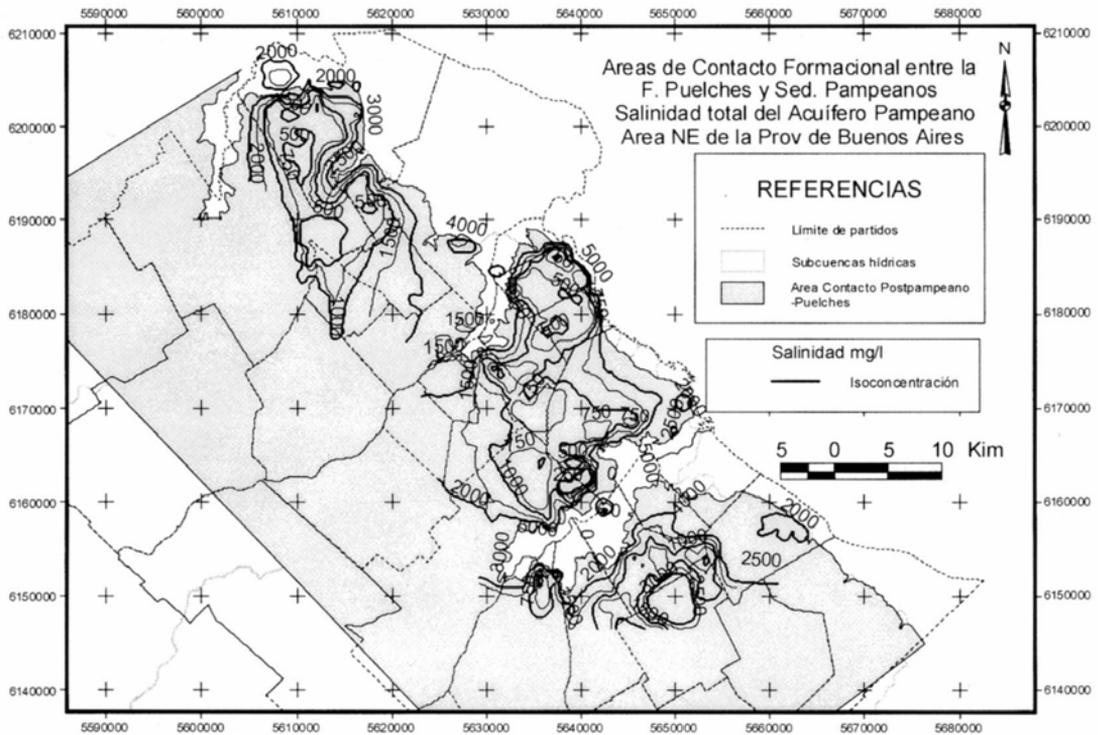


Fig. 8. Distribución del TDS en mg/l en el Acuífero Pampeano del área contacto Puelches–Pampeano

separado. El Acuífero Pampeano (ver Fig. 8) presenta concentraciones inferiores a 1000 mg/dm^3 que se localizan al norte de la región, en la zona que comprende el noreste de La Matanza, norte de Capital Federal, Morón, sur de Tres de Febrero y San Martín, y centro de Vicente López y San Isidro. Existen áreas más puntuales que se localizan en el partido de Malvinas Argentinas y oeste de Escobar.

Concentraciones entre 1000 y 2000 mg/dm^3 que se localizan en la zona que comprende el noreste de La Matanza, norte de Capital Federal, Morón, Ituzaingó, sur de Tres de Febrero y San Martín, centro de Vicente López y San Isidro (coincidente con el acuífero Puelches), y en las proximidades de los partidos de José C. Paz, Pilar y Escobar.

El Acuífero Puelches en la zona de estudio (Fig. 9) presenta concentraciones inferiores a 1000 mg/dm^3 que se localizan en dos zonas. Una primera zona al sur que incluye el sector austral de Lomas de Zamora, oeste de Quilmes y el norte de Almirante Brown. Una segunda zona al norte que comprende el noreste de La Matanza, norte de Capital Federal, Morón, sur de Tres de Febrero, San Martín, y centro de Vicente López y San Isidro.

Las áreas con concentraciones entre 1000 y 2000 mg/dm^3 se localizan en la zona que comprende el este de La Matanza, norte de Capital Federal, Morón, Ituzaingó, sur de Tres de Febrero y San Martín, y centro de Vicente López y San Isidro (coincidente con el acuífero Pampeano), y en las proximidades de los partidos de José C. Paz, Pilar y Escobar.

Facies Hidroquímicas Salinas y Contacto Puelches - Post-Pampeano. Estas facies hidroquímicas serían del tipo Cloruradas sódicas, con valores de TDS mayores a 5000 mg/dm^3 . Se encontrarían en el delta del río Paraná, en la zona costera del litoral del Plata, y áreas de desembocadura de ríos (Luján, Reconquista, Riachuelo-Matanza). Esta puede considerarse y definirse como la facies hidroquímica que tipifica las áreas afectadas por la última ingresión marina sin descartar que en dichas zonas exista recarga local actual. Geomorfológicamente corresponde a las unidades V y VI, planicie de mareas y ambiente deltaico, respectivamente (Gatti, 2003), y que se han interpretado como las áreas de descarga regional de los Acuíferos Pampeano y Puelches, aunque se comprende que las variaciones litológicas y su influencia en la recarga local pueden

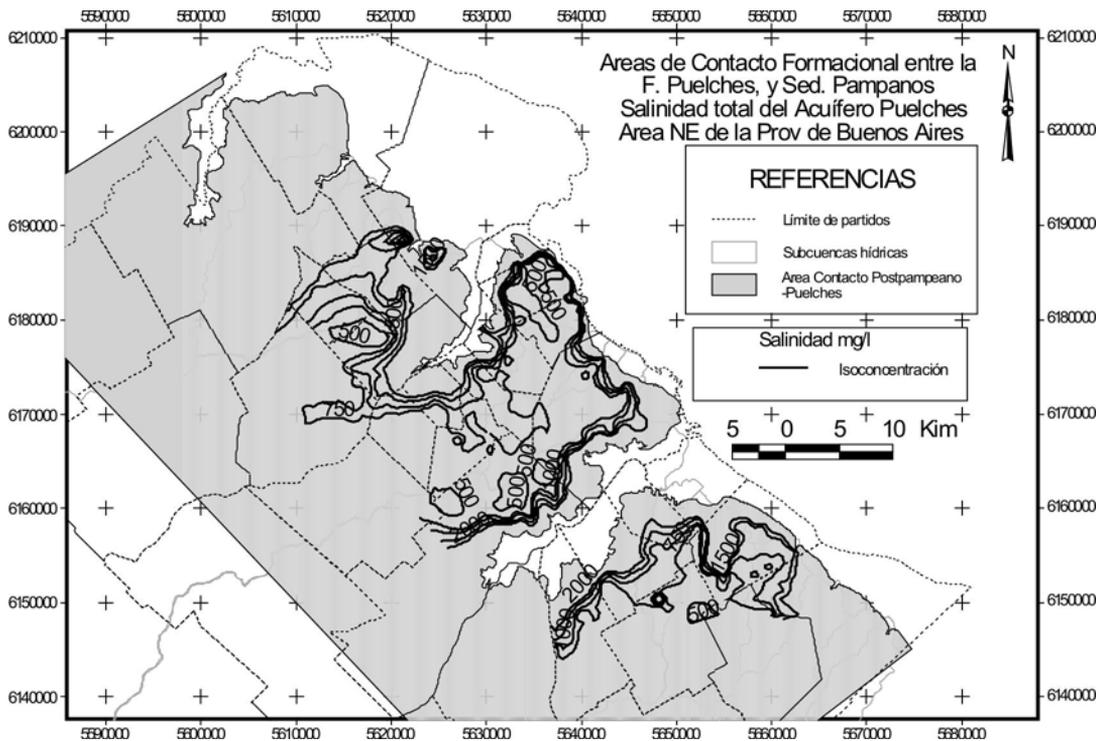


Fig. 9. Distribución del TDS en mg/l en el Acuífero Puelches del área contacto Puelches – Pampeano

ser muy significativas sobre la calidad química de las aguas.

La planicie de mareas (Unidad V) puede considerarse una unidad de acreción, que se ubica sobre la costa entre la zona de acumulación estuárica actual y las unidades deltaicas cuya influencia puede llegar hasta la cota 2,5 m s.n.m. Su superficie presenta poco relieve relativo con pendiente disectada por abundantes paleocanales de mareas y canalizaciones actuales. Se ubica en la ribera de dicha paleocosta, y quedó inactiva a consecuencia del descenso eustático reciente. En el norte del área de estudio el avance del Delta del Paraná interrumpió la fase estuárica e impuso la fase fluvial actual. Dominan esta región los «cordones litorales o crestas de playa» que se ubican lindantes y de forma paralela o subparalela a la paleocosta más antigua. En la costa estuárica actual esta unidad presenta un contorno curvilíneo, con extensa amplitud areal, su longitud máxima aproximada es de 13 km, aunque muchos de ellos se encuentran truncados por edafización y/o acción antrópica posterior. La altura de los mismos es de 2,50 m aproximadamente y la longitud de onda promedio es de 200 m.

La Planicie de Mareas en el área central del estuario relicto del Río Luján se caracteriza por un conjunto de lineaciones con forma de arco de

circunferencia, con centro hacia el noreste, que se acuñan o recuestan sobre los acantilados. Las formas de erosión en esta unidad están representadas por paleocanales de mareas. Están labrados en la planicie de mareas, actualmente modificados por acción fluvial y muchos de ellos integrados a la red de drenaje. Son cursos cortos y sinuosos, más anchos hacia el cauce principal. Su diseño es dendrítico. El ascenso y descenso de la marea en la zona de ribera se produjo a través de estos canales, los cuales eran abandonados a medida que la rápida dinámica deltaica avanzaba dentro del estuario del Río de la Plata.

La Unidad VI involucra a la porción deltaica del área de estudio que representa un importante porcentaje de su superficie. Los materiales transportados por el Río Paraná han formado bancos e islas sobre la desembocadura de dicho río y del Río Uruguay aguas arriba del Estuario del Plata. Se observa una abundante cantidad de materia orgánica vegetal en descomposición, los procesos de depositación y erosión mantienen a esta unidad en permanente cambio. El límite entre el delta y los depósitos litorales está marcado por el cambio de rumbo de 90° hacia el suroeste del Río Luján.

En el mapa de isoconcentración de sólidos totales disueltos (TDS) de las Figs. 10 y 11 pre-

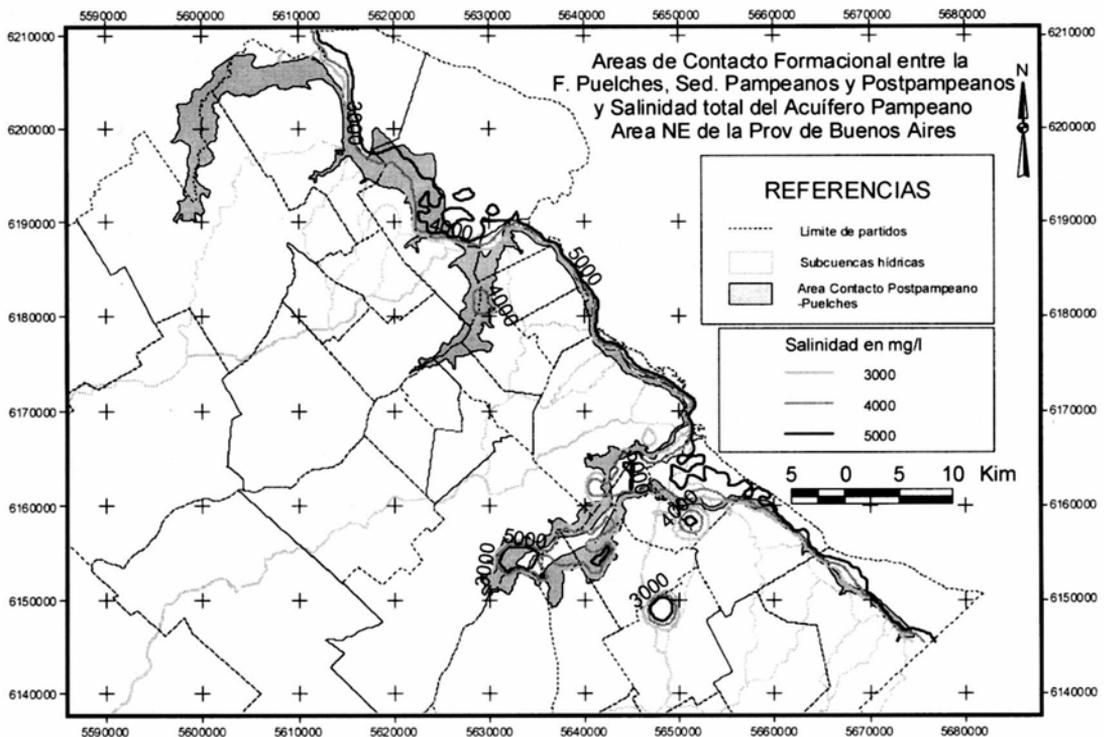


Fig. 10. Distribución del TDS en mg/l en el acuífero libre (Post-Pampeano?) del área contacto Puelches – Post Pampeano

sentan las isocurvas que han sido interpoladas y corregidas en base a la información hidroquímica disponible, en la zona estratigráfica del contacto Puelches – Post Pampeano para ambos acuíferos por separado. Las posibilidades acuíferas de los niveles Postpampeanos están aún poco estudiadas aunque se lo considera continente del Acuífero Libre (Santa Cruz & Silva Busso, 2002). La intensa urbanización con la extracción de los niveles postpampeanos, imposibilita el análisis hidrogeológico exento de las modificaciones antrópicas tales como la conexión acuífero y cursos fluviales o la continuidad del acuífero en las planicies de inundación y de mareas. Al menos a cotas inferiores a 2,5 msnm los valores de salinidad esperables en la zona de los valles de los ríos en el acuífero libre se encuentran entre 4000 – 5000 mg/l. En la región deltaica se verifica la interconexión de niveles clásticos psamíticos recientes con los cursos fluviales (Amato & Silva Busso, 2005) que poseen valores de TDS menores a 100 mg/l pero muy limitados a los albardones y zonas periféricas al cauce, situación que se entiende válida también para la cuenca inferior del Río Lujan.

En la zona costera (probablemente a cotas inferiores a 2,5 msnm) el Acuífero Puelches posee las mayores concentraciones salinas y se localizan en las proximidades de la línea de costa (con valores que al menos alcanzan los 10000 mg/dm³), y en las inmediaciones de los cursos de los Ríos Matanza - Riachuelo (con valores que al menos alcanzan los 10000 mg/dm³) y Reconquista (con valores de al menos 10000 mg/dm³). En el sector costero de los partidos de Quilmes y Avellaneda, la curva de isoconcentración de 10000 mg/dm³ se desplaza considerablemente hacia el oeste. En las regiones del delta inferior y prodelta se ha verificado la presencia del Acuífero Puelches con elevados valores de concentración salina (Amato & Silva Busso, 2005).

En zonas más elevadas del delta, en el área de depositación estuárica y a cotas de más de 2,5 m s.n.m. (Villa Paranacito e Ibicuy) se registran aguas de baja salinidad aunque muy restringidas (Amato & Silva Busso, 2005).

Si se comparan ambos mapas se observa desfases entre las concentraciones de ambos acuíferos, es decir que en un perfil hidroquímico vertical, el Pampeano presenta valores de con-

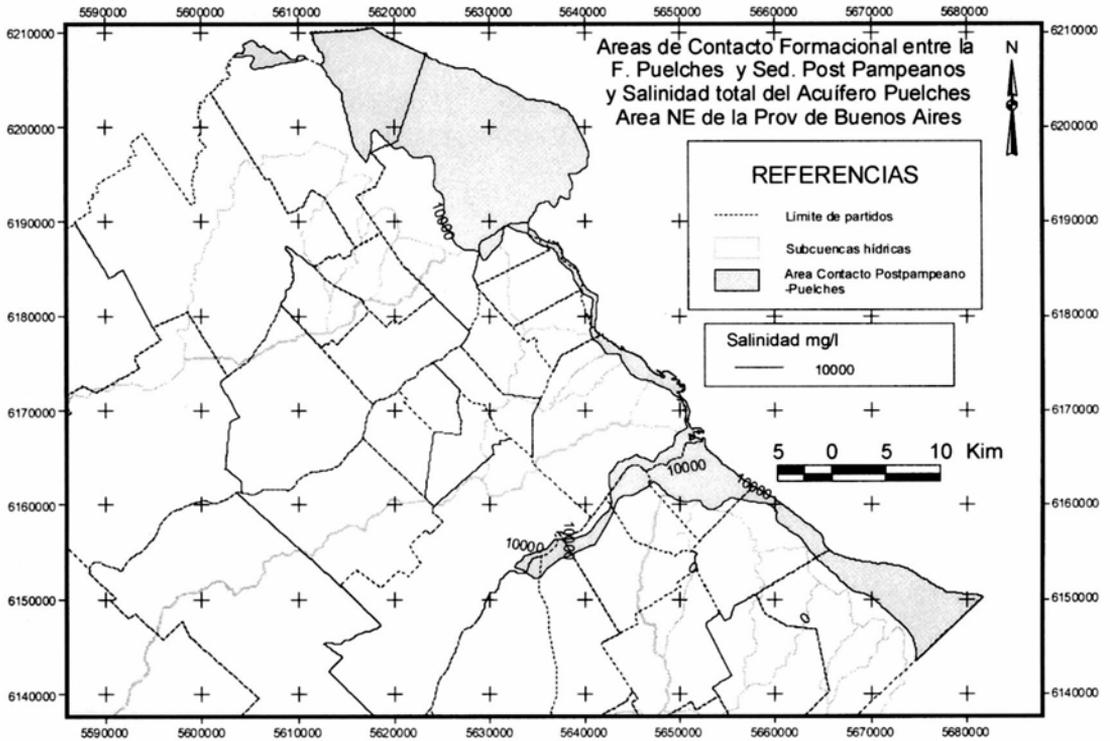


Fig. 11. Distribución del TDS en mg/l en el Acuífero Puelches del área contacto Puelches–Post Pampeano

centración de TDS significativamente menores que el Acuífero Puelches.

Facies Hidroquímicas de Interfase Re-carga - Salina y Contacto Puelches - Pam-peano - Post-Pampeano. Estas facies hidro-químicas son del tipo Bicarbonatada sódica a Clo-ruro sulfatadas sódicas, con valores de TDS en-tre 2000 a 5000 mg/dm³. Se encuentran en las áreas de terrazas bajas, áreas de descarga y pla-nicies de inundación de ríos y arroyos. Geomo-fológicamente corresponde a las unidades III y IV planicie de aluvial y de inundación respecti-vamente (Gatti, 2003) y se han interpretado como las áreas representativas de la descarga regio-nal de los Acuíferos Pampeano y Puelches. Esta puede considerarse como la facies hidroquímica que tipifica las áreas circulación de flujos regio-nales de los acuíferos, eventualmente de descar-ga regional, y aguas de interfase o de mezcla con las definidas en las facies salinas.

La Unidad III o Planicie Aluvial se ha identi-ficado en las cañadas como digitaciones a lo lar-go de las cuales escurre el agua encauzada, en el terreno se puede apreciar esta geoforma de acu-mulación como una superficie plana y anegadiza.

En el caso de cursos de importancia como el río Luján, alcanzan una mayor complejidad que hace necesario un estudio específico. Limitando con la Planicie Palustre se encuentran las facies de albardón de los ríos Luján, Reconquista y Ma-tanza esta geoforma de acumulación que se dis-pone similarmente a la anterior con un ancho menor de 4 km. a 2 km., las características de ésta son totalmente distintas a las de la Planicie Palustre. Las cotas que alcanzan un mínimo de 1,25 a 2,5 m s.n.m., se consideran el albardón del Río Luján que en algunos sitios presenta una superficie plana más alta. Debido a su existencia los arroyos no desembocan fácilmente en el Río Luján, y en muy pocos casos el albardón fue su-perado naturalmente (disectado) por un arroyo importante o un río. La Unidad IV o Planicie de Inundación aparece como una faja con orienta-ción NO-SE. Al sur del Río Matanza Riachuelo se la identifica en forma creciente de su ancho hacia la Ciudad de la Plata. El límite Este está claramente definido por un escalón o barranca. El aspecto de esta unidad es el de una superficie plana con depresiones algunas de las cuales es-tán ocupados por pequeños cuerpos de agua. Las

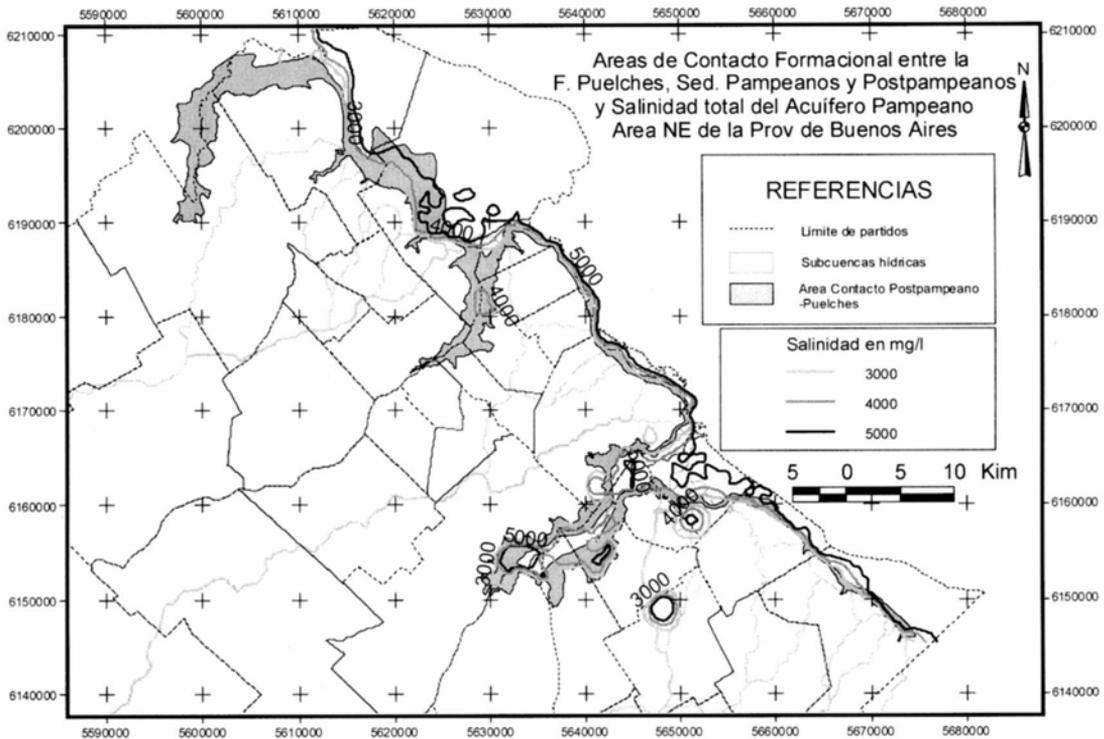


Fig. 12. Distribución del TDS en mg/l en el Acuífero Pampeano del área contacto Puelches – Pampeano - Post Pampeano

cotas oscilan entre los 5,50 y 2,25 m s.n.m., llegando, en algunas regiones, a un mínimo de 0,5 m s.n.m. Los cuerpos de agua permiten inferir que se trata de un área con abundantes depresiones, al mismo tiempo se advierte la presencia de canales de marea, y algunos cursos de diseño anárquico lo que habla de un gradiente de pendiente muy bajo, con escurrimiento predominante de tipo difuso e hipodérmico. Los rasgos de esta unidad, tanto los superficiales como los correspondientes a los suelos, se prolongan generalmente invadiendo los valles fluviales de los arroyos hasta aproximadamente la cota de los 6,5 m s.n.m. El límite de esta unidad está determinado por un bajo paralelo a la costa platense, que impide el libre escurrimiento de los arroyos, esta incluido en la unidad de Planicie de Marea, y suele presentarse anegado y con abundante vegetación.

En el mapa de isoconcentración de sólidos totales disueltos (TDS) de las Figs. 12 y 13 presentan isocóncas que han sido interpoladas y corregidas en base a la información hidroquímica disponible, en la zona estratigráfica del contacto Puelches – Pampeano – Post Pampeano para ambos acuíferos independientemente.

Al igual que la zona anterior la intensa urbanización de la región ha provocado la extracción de los niveles postpampeanos imposibilitando el análisis hidrogeológico exento de las modificaciones antrópicas (Santa Cruz & Silva Busso, 2002) Esta alteración puede ser más significativa aquí dado que la intensidad de la urbanización es mayor que en el caso anterior.

El Acuífero Pampeano (Fig. 12) al menos a cotas entre 2,5 – 5 m s.n.m. posee valores de salinidad esperables entre 3000 – 5000 mg/l. Las mayores concentraciones se localizan en las proximidades de las planicies de inundación de los ríos (con valores que alcanzan al menos los 2500 mg/dm³) y en el sector sur, abarcando los partidos de Lomas de Zamora, Lanús, Avellaneda, Quilmes y parte de Almirante Brown (con valores que alcanzan al menos los 3000 mg/dm³).

En cotas cercanas los 2,5 m s.n.m. el Acuífero Pampeano alcanza las mayores concentraciones de sólidos totales disueltos con valores que alcanzan al menos los 5000 mg/dm³ y en tres sectores muy puntuales localizados en el límite de los partidos de Lomas de Zamora – Almirante Brown, Avellaneda – Lanús y La Matanza – Ezei-

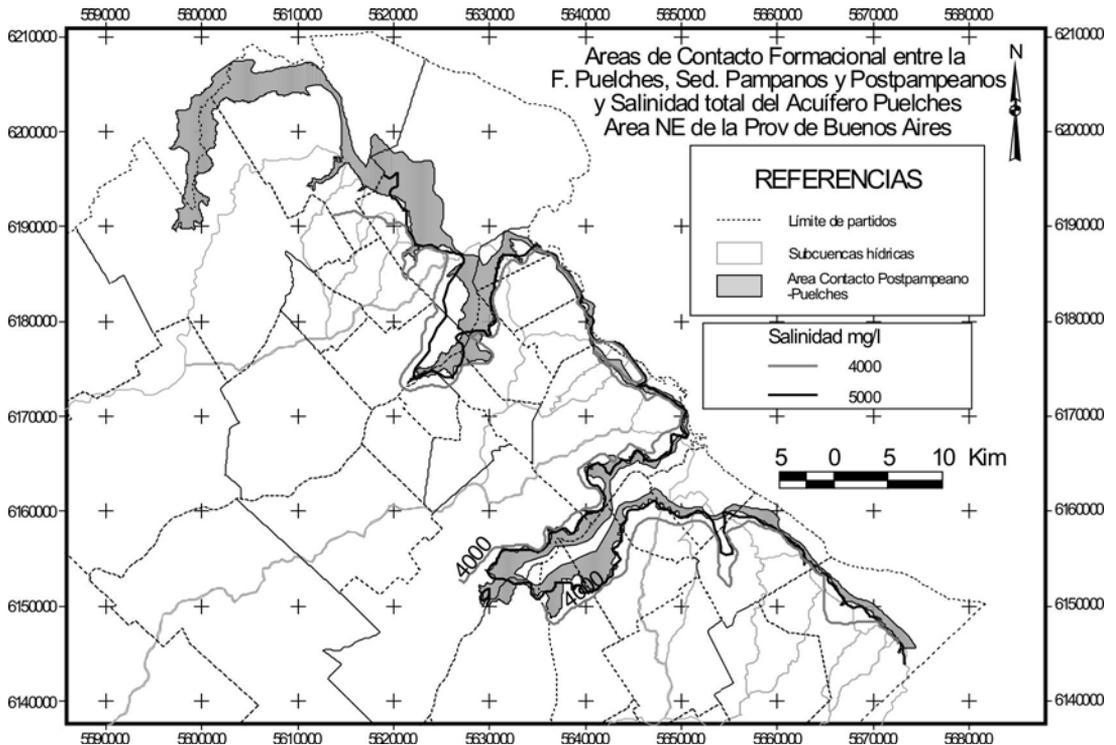


Fig. 13. Distribución del TDS en mg/l en el Acuífero Puelches del área contacto Puelches – Pampeano - Post Pampeano

za, con valores que también alcanzan los 5000 mg/dm³. En el sector costero de los partidos de Avellaneda, Lanús y Capital Federal, la curva de 4000 mg/dm³ se desplaza hacia el oeste coincidiendo con el curso del Río Matanza.

El Acuífero Puelches en esta zona (ver Fig. 13) posee concentraciones salinas (TDS) entre 4000 a 5000 mg/dm³ que se localizan formando una zona perimetral a las cuencas hídricas abarcando hacia el noreste de La Matanza, norte de Capital Federal, Morón, Ituzaingó, sur de Tres de Febrero y San Martín, y centro de Vicente López y San Isidro. Hacia el Sur en sectores más localizados ubicados en las proximidades del partido de Avellaneda, Lanús, Lomas de Zamora, Esteban Echeverría y Ezeiza. Hacia el norte incluye áreas perimetrales al Río Luján en los partidos de Tigre, Escobar y Pilar.

Al igual que en caso anterior en ambos mapas se observa desfases entre las concentraciones de ambos acuíferos, aunque en este caso en un perfil hidroquímico vertical el Pampeano presentaría valores de concentración de TDS menores pero no tan marcados con respecto al Acuífero Puelches como en el caso anterior.

DISCUSION

Propuesta de Modelo Conceptual entre las variaciones hidroquímicas y cambios del nivel de mar

Las aguas naturales adquieren su composición química mediante un proceso complejo, donde intervienen factores de tipo químico-físico, geológico, hidrogeológico, geomorfológico, pedológico, climático y antrópico. Entre los factores geológicos se mencionan, aquellos que se relacionan con la litología y el estado de yacencia de las secuencias estratigráficas, la tectónica, el fracturamiento, la textura y porosidad de las rocas, etc. La litología determina, por lo general, las facies hidroquímicas dominantes, es decir, el tipo de agua. Los factores hidrogeológicos están relacionados con la permeabilidad del acuífero, el tipo de flujo, su velocidad, así como la zona por donde se mueve el agua. Todos estos aspectos inciden en el tiempo de contacto entre el agua y la roca.

En la naturaleza, las aguas subterráneas tienden a evolucionar hacia la composición del agua de mar y se ha observado que esta evolución

Tabla 2. Relación entre las Facie Hidroquímicas del Agua de Subterránea y el Tipo de Relación Estratigráfica Presente en el NE del Bs. As.

Facies Hidroquímica	Relación Estratigráfica	Características Hidroquímicas	Unidad Geomorfológica
Recarga	Puelches – Pampeano	Tipo Bicarbonatadas sódico cálcicas TDS menores a 2000 mg/dm ³ .	I y II Planicie ondulada y Planicie de escurrimiento
Salina	Contacto Puelches - Post-Pampeano	Tipo Cloruradas sódicas. TDS mayores a 5000 mg/dm ³ .	V y VI Planicie de mareas y Ambiente deltaico
Interfase Recarga - Salina	Puelches - Pampeano - Post-Pampeano	Tipo Bicarbonatada sódica a Cloruro sulfatadas sódicas. TDS entre 2000 a 5000 mg/dm ³ .	III y IV Planicie de aluvial y Planicie de inundación

química en cuanto a los aniones dominantes, sigue aproximadamente las regularidades siguientes: $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^-$ (Custodio y Llamas, 1983).

Los factores de tipo geomorfológico también influyen en la composición química de las aguas en relación con las formas del relieve. Consecuentemente con ello, otro factor que también influye sobre la composición química de las aguas naturales son los de tipo pedológicos, los cuales están asociados al tipo de suelo que yace sobre las secuencias estratigráficas. Esta influencia se ha observado en el sudeste de Bs. As. a partir de la relación entre el TDS y el tipo de unidad de suelo (Silva Busso *et al.* 2004).

El entendimiento de la estratigrafía local es la base de la comprensión de las características hidroquímicas de los Acuíferos Pampeano y Puelches en el área Noreste de la Prov. de Buenos Aires. La distribución y la evolución del gradiente hidroquímico local, aumentando desde las zonas de contacto estratigráfico Puelches – Pampeano hacia las zonas de contacto Puelches – Postpampeanos, es la característica más significativa de la misma, claramente influenciada por los Sedimentos Postpampeanos y el arreglo estratigráfico de este con la Formación Puelches. La salinidad no evoluciona de forma gradual sino que presenta intervalos de concentración salina definidos para cada zona determinada, además se observa cierto desfase en el perfil hidroquímico vertical entre el Acuífero Pampeano y Puelches en las áreas de contacto Puelches-Pampeano –Postpampeano y Puelches – Postpampeano. Esto último determina las características de las facies hidroquímicas en cada zona con diferente estratigrafía en contraste con los conceptos fisiográficos considerados hasta la fecha.

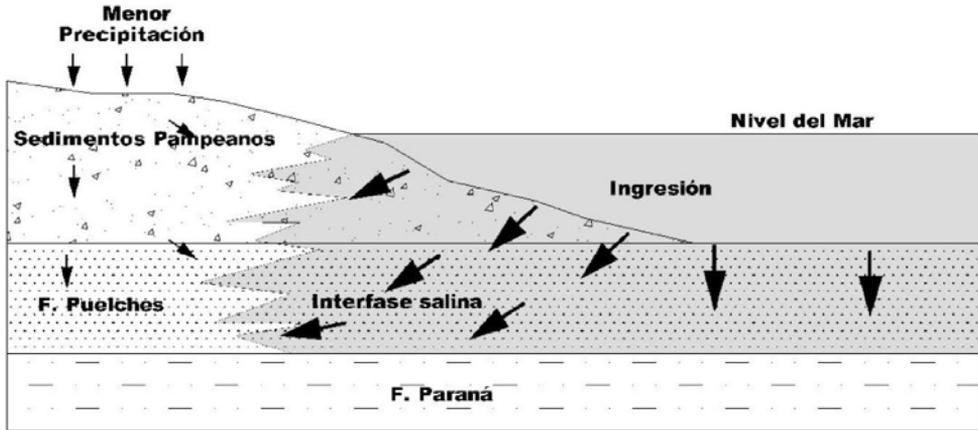
El análisis de las observaciones realizadas por diferentes autores indica que en esta región la

relación entre estratigrafía y en forma subordinada a la anterior la geomorfología y los procesos pedológicos (en la actualidad muy antropizados) son los factores más determinantes de la calidad química de las aguas de los acuíferos Pampeano y Puelches. Esto permite sugerir que en áreas de acuíferos de llanura, el arreglo estra-tigráfico y tipo de transito vertical del agua definen las facies hidroquímicas representativas de los ambiente de recarga y descarga, subordinando a ellas los clásicos factores empleados en áreas de acuíferos montaña donde la evolución hidroquímica se relaciona más directamente con la circulación horizontal de la misma. La tabla 2 resume la propuesta de relación entre las facies hidroquímicas y la estratigrafía presente en cada unidad geomorfológica.

Una interpretación posible de las relaciones observadas se basa en las características de las fluctuaciones del nivel del mar durante el evento regresivo de los últimos 6000 años los que han tenido dos estadios característicos. El primero comenzando con un periodo de rápido descenso entre los 6000- 5000 años hasta la cota de 5msnm, se estabilizó luego durante los 1500 años siguientes. El segundo, luego de descender nuevamente hasta la cota 2,5 m s.n.m. logra estabilizarse nuevamente en los siguientes 600 años, y finalmente el descenso hasta la cota actual (Cavallotto *et al.*, 1999). Esto habría permitido el desarrollo de interfases salinas en los acuíferos hacia el continente.

Finalmente debemos considerar que la velocidad de los cambios eustáticos de los últimos 6000 años han sido superiores a las lentas velocidades de circulación subterráneas debida en parte al escaso gradiente regional (10^{-5}), lo que explicaría la permanencia de la interfase hasta la actualidad con un nivel del mar relativamente más bajo. Existe una clara coincidencia entre los periodos de estabilización del nivel del mar y las

Condiciones inferidas 6000 años atrás



Condiciones actuales

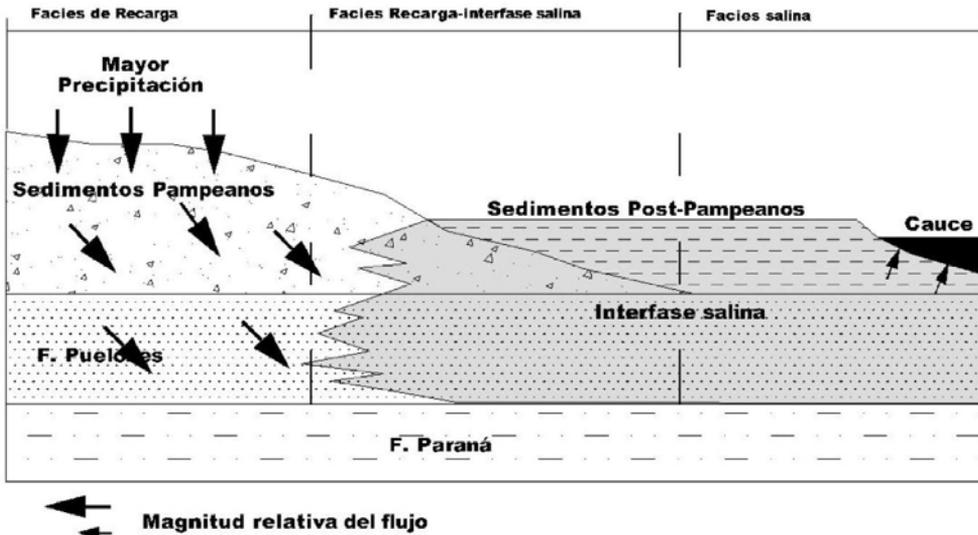


Fig. 14. Esquema conceptual de las características de la interfase salina durante los últimos 6000 años en el NE de la Prov. de Buenos Aires

variaciones salinas locales y es probable también que estudios paleoclimáticos de este periodo permitan apoyar esta hipótesis sobre la base de los cambios en las precipitaciones. La Fig. 14 presenta un esquema conceptual de la evolución de la interfase salina y su relación con los cambios del nivel del mar durante los últimos 6000 años

CONCLUSIONES

Las pruebas puntuales brindadas por las perforaciones que atraviesan los límites superior e inferior de la Formación Puelches, la confección

de Mapas de Relaciones Estratigráficas vinculados al comportamiento Hidroquímico señalan:

Presencia de un límite inferior neto a erosivo, registrado especialmente en las zonas de canales de gran espesor, así como en el extremo SE de su extensión areal, donde se registra una profundización notoria de esta unidad, ambos efectos posiblemente vinculados a una probable última fase de gran retroceso del mar paranaiano, lo cual posibilitó un avance notorio de las facies fluviales puelchenses y de las litorales contemporáneas, incluso en áreas actuales de plataforma.

Desarrollo de un límite superior transicional, a veces difuso e incluso hasta interdigitado con los Sedimentos Pampeanos, los cuales engranan lateralmente y por encima con esta unidad, produciéndose el efecto de una «cuña» pampeana avanzando hacia el litoral y sepultando a los sedimentos puelchenses que van quedando inactivos. El proceso y la dirección de soterramiento quedan evidenciado incluso por la dirección principal de los ríos y arroyos que aún en la actualidad, circulan en el NE. de la provincia de Buenos Aires. Cabe interpretar que el límite Puelches-Pampeano en toda su extensión, no se correspondería con una línea tiempo determinada, sino que existirían sucesivas líneas tiempos o isócronas, decrecientes en el tiempo hacia el área costera, que cortarían sucesivamente dicho límite (diacronismo). Situación que explicaría también, la existencia de depósitos considerados como Post-Pampeanos directamente apoyados sobre las Arenas Puelches en el área litoral del Sistema De la Plata-Paraná. La confirmación de esta situación involucraría la realización de un análisis estratigráfico secuencial detallado del depósito que conforman estas unidades formacionales, para lo cual es fundamental la datación sistemática de depósitos considerados puelchenses y post-puelchenses, así como aquellos de subsuelo, considerados como sedimentos pre-pampeanos y pampeanos. Los depósitos Terciario Sup.- Cuartario del NE de la provincia de Buenos Aires (Complejo Puelches-Pampeano) debería ser tomado en forma asociada, como el resultado de un proceso de continentalización que se inicia con una fase de mar bajo de gran escala, que produce el retiro de las facies marinas de la Formación Paraná, continuándose con la instalación de un primer gran ambiente fluvial que comienza a depositarse cuando el brusco descenso del nivel del mar se detiene y comienza un nuevo ascenso relativo del mismo, generando incluso en área de plataforma expuesta los amplios depósitos pertenecientes a la Formación Puelches, para continuar luego con procesos eólicos, fluviales y lagunares, de menor energía, pertenecientes a los Sedimentos Pampeanos provenientes del OSO. Habrá que agregar discontinuidades por ascensos y descensos del nivel del mar, de orden menor (ingresiones y regresiones), que pudieron ocupar grandes extensiones en áreas de llanura, y que evidentemente poseen gran control sobre la calidad química actual del agua subterránea de cada región considerada.

BIBLIOGRAFIA

- Amato, S. & A. Silva Busso. 2005. Análisis de Interrelación Geológica-Hidrogeológica en el área del delta del Río Paraná, Provincias de Entre Ríos y Buenos Aires, República Argentina. *XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata, Buenos Aires, Actas III: 697-704.
- Ameghino, F. 1909. *Le Diprothomo Platensis*. *Anales Museo Nacional de Buenos Aires*, 19 (s: III, t. XII): 107-209.
- Auge, M. & M. A. Hernández. 1983. Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense. *Coloquio Intern. Hidrol. de Grandes Llanuras. UNESCO*. III: 1019-1043. Buenos Aires.
- Bordas, F. A. 1957. Argumentos paleontológicos y climáticos para establecer relaciones estratigráficas del Pleistoceno-Holoceno de Argentina. *Ameghiniana*, 1:51-79. Cavallotto, J. L., R. A. Violante & G. Parker. 1999. Historia evolutiva del Río de la Plata durante el Holoceno. *XIV Congreso Geológico Argentino*, Actas I: 508-511.
- Cortelezzi, C. & J. Lerman. 1971. Estudio de las formaciones marinas de la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires. *Revista del LEMIT Serie II* (173): 135-164.
- Dalla Salda, L. 1981. Tandilia un ejemplo de tectónica de transcurrencia de basamento. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 36: 204-207.
- Fernández Garrasino, C. 1988. *Geologic Features of the Central Argentine Mesopotamia and Hydrocarbon Possibilities*. YPF S. A., Buenos Aires (informe inédito).
- Fidalgo, F., F. O. De Francesco & R. Pascual. 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense. VI Congreso Geológico Argentino. *Relatorio Geológico de la Provincia de Buenos Aires*, pp. 103-138. Bahía Blanca.
- Frenguelli, J. 1950. *Rasgos generales de la morfología y geología de la provincia de Buenos Aires*. Serie II N° 33: 12-38. La Plata.
- Frenguelli, J. 1957. *Neozoico*. En: Geografía de la República Argentina, *GAEA*, (2): 1-115.
- Gatti, D. 2003. *Elementos Hidroestratigráficos para la Protección de Acuíferos en el área del conurbano Bonaerense y Ciudad de Buenos Aires*. Trabajo final de Beca. Instituto Nacional del Agua, Buenos Aires, Argentina (Inédito).
- González Bonorino, F. 1965. Mineralogía de las fracciones arcilla y limo del Pampeano en el área de la Ciudad de Buenos Aires y su significado estratigráfico y sedimentológico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 20: 67-148. Buenos Aires.
- Herrera, C. 1993. *Evolución Holocena en Sectores de la Costa Bonaerense del Estuario del Río de la Plata*. Tesis de Licenciatura Dpto. de Geología FCEyN, Universidad Buenos Aires (Inédita).
- INCyTH. 1990. *Mapa de Cuenas Hídricas de la Rep. Argentina* escala 1/250000. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas. Buenos Aires. Argentina.
- Parker, G., J. L. Cavallotto, S. Marcolini, R. A.

- Violante, C. M. Paterlini, & P. Costa. 1990. Tendencias evolutivas futuras de la línea de costa del noreste bonaerense. *International Symposium on Quaternary Shorelines*. La Plata. Abstracts: 55-56.
- Pascual, R., E. Ortega Hinojosa, D. Gordar, & E. Tonni. 1965. Las Edades del cenozoico mamalífero de la Argentina con especial atención a aquellos del territorio bonaerense. *Anales de la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires*. I: 165-193.
- Piper, A. M. 1953. Natured and contaminated in the Long Beach. Santa Ana area, California, US. *Geological Survey, Water-Supply*. Paper N° 1136. USA.
- Roth, S. 1920. Investigaciones geológicas en la llanura pampeana. *Revista del Museo de La Plata*. 25: 4-12.
- Rovereto, M. 1914. Studi di geomorfologia argentina. Primera Parte: La Pampa. *IV Bol. Sec. Geol. Italiana*. 25: 8-46.
- Sala, J. M. & M. P. Auge. 1972. *Estudio de Aguas Subterráneas del Noreste de la Provincia de Buenos Aires*. EASNE Consejo Federal de Inversiones. Serie Técnica N° 24(2): 38-59 Provincia de Buenos Aires.
- Santa Cruz, J. 1972. Estudio Sedimentológico de la Formación Puelches en la Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 27: 1-62. Argentina.
- Santa Cruz, J. N. 1993. Aspectos hidrogeológicos e interpretación de una nueva característica formacional de subyacencia del Acuífero Puelches. Prov. de Bs. As., Argentina. *Temas Actuales de la Hidrología Subterránea*. Univ. Nac. de Mar del Plata. C.F.I. pp 261-272.
- Santa Cruz J. N. & A. A. Silva Busso. 1999. Escenario hidrogeológico General de los Principales Acuíferos de la Llanura Pampeana y Mesopotamia Septentrional Argentina. *II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea*, Santa Fe, Argentina. Actas 1: 461-471.
- 2002. Comportamiento Regional del Nivel Freático Ante Excesos Hídricos en el Oeste de la Llanura Chacoparanense de la República Argentina. *XXXII IAH & IV ALHSUD Congress Groundwater and Human Development*. Mar del Plata, Argentina. Actas p.193 y en CD ISBN 987-544-063-9.
- Silva Busso A., E. Suero & J. Santa Cruz. 2004. Metodología Cartográfica de la Hoja Hidrogeológica Digital N°14 Río Quequén, Buenos Aires, Argentina. *VI Congreso Nacional de Cartografía*, Buenos Aires en CD.
- Tricart, J. 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. *Colección Científica 12*. INTA. Buenos Aires, pp. 171-197.

Recibido: 14-VII-2005

Aceptado: 28-V-2006