ASOCIACION ARGENTINA
DE GEOLOGIA APLICADA
A LA INGENIERIA

Estudio hidroquímico del subsistema geohidrológico activo en la cuenca de los arroyos Martín-Carnaval, Buenos Aires, Argentina

González , Nilda [1] ✉ - Trovatto, M. M. - Alvarez, M. del P. - Hernández, M. A.

Recibido: 14 de abril de 2011 • Aceptado: 28 de abril de 2011

Resumen

Se caracteriza hidroquímicamente el recurso subterráneo, única fuente disponible, en una cuenca de llanura terminal tributaria del río de la Plata. Desarrollada en 130 km², bajo excesos hídricos de 243 mm/año (clima subhúmedo-húmedo), pendiente del orden de 1.10^{-3} a 2.10^{-4} en su sector inferior y suelos Molisoles desarrollados sobre sedimentos pleistocenos (Pampeano), alberga un sistema geohidrológico conformado por un acuífero freático y semilibre asociado y otro semiconfinado (Puelche), sobre un acuícludo que limita el subsistema activo. En una homogeneidad de aguas dulces (TSD menor a 1100 mg/l) se reconocen dos facies hidroquímicas, una mayoritaria bicarbonatada sódica y otra subordinada bicarbonatada cálcica y/o magnésica en el acuífero fréatico y solamente una bicarbonatada sódica en el semiconfinado, analizándose su origen. La afectación antrópica radica fundamentalmente en que parte de la población carece de saneamiento básico, se utilizan productos agroquímicos en el sector flori-hortícola periférico y existe un regular número de industrias desagrupadas.

Palabras clave: hidroquímica, acuíferos de llanura, cuenca arroyos Martín-Carnaval

Abstract

The groundwater resource of a flatland basin -an affluent of the de la Plata river- constituting the only available water source is characterised hydrochemically. Extending over 130 km², with a water surplus of 243 mm/yr (subhumid–humid climate), a slope of 1.10^{-3} to 2.10^{-4} in its lower portion and Mollisol soils developing over Pleistocene sediments (Pampean), its geohydrologic system consists of a coupled phreatic/semi-confined aquifer and a semi-confined one (Puelche), and an underlying aquiclude bounding the active subsystem. In a homogeneous freshwater sample (TDS below 1100 mg/l) two hydrochemical facies can be identified: a predominant one (HCO_3^- - Na^+) and a subordinate one (HCO_3^- - Ca^{2+} / HCO_3^- - Mg^{2+} in the phreatic aquifer, and a single facies (HCO_3^- - Na^+) in the semi-confined one; their origin was analysed. The anthropic impact mainly lies in that part of the population lacks basic sanitation, agricultural chemicals are used in the outlying horticultural area, and there is a regular number of scattered industries.

Keywords: hydrochemistry, flatland aquifers, basin of Martín-Carnaval streams

1 Cátedra de Hidrogeología. Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP)
Av.60 y 122. Te: +54221- 4236684 i.116. La Plata.

✉ nilda_h@sinectis.com.ar

INTRODUCCIÓN

La cuenca de los arroyos Martín-Carnaval tributaria del río de la Plata, se incluye en la región hidrogeológica Noreste de la Provincia de Buenos Aires, representativa de las que se desarrollan desde la conurbación Sur del área metropolitana hacia el SE. Ha sido objeto de estudio por parte de la Cátedra de Hidrogeología de la Universidad Nacional de La Plata desde el año 1994.

Inicialmente, con base en dos estaciones experimentales, Estancia Chica y Parque Ecológico, se trabajó en el seguimiento hidrodinámico e hidroquímico de la Zona No Saturada (ZNS) y acuífero freático, con el establecimiento de un "background" ambiental referido a la presencia de nitratos, nitritos, metales pesados e hidrocarburos y plaguicidas *(Hernández et al. 1994; González et al. 1997; González et al. 2001; Hernández et al. 2001).*

Con la incorporación de la hidrodinámica del acuífero Puelche y una caracterización química general, se definió un modelo conceptual de funcionamiento para el subsistema activo, que permitió aplicar un modelo matemático y de simulación del flujo de agua subterránea, sólo en el sector medio y superior de la cuenca *(González et al. 2003)*.

En esta contribución se aborda para el mismo ámbito, el análisis hidroquímico detallado de los acuíferos freático-Pampeano y Puelche.

Metodología

Sobre la base de los antecedentes mencionados, suficientes para entender la dinámica del sistema, se elaboraron los resultados analíticos para ambos acuíferos, procedentes de una densa red de monitoreo periódico, que incluyó 73 sitios para el Pampeano y 62 en el Puelche. Razones de representatividad areal y vertical, calidad del análisis, y la perforación, aconsejaron seleccionar 50 y 23 puntos, respectivamente.

Previa caracterización espacial sobre mapas de contenidos para diferentes analitos, se realizaron distintas correlaciones iónicas respecto al Total de Sólidos Disueltos (TSD).

Se recurrió al tratamiento estadístico (diagramas de cajas SPSS) y sistemas de representación gráfica convencionales, con el cual pudieron identificarse facies hidroquímica distintivas para uno y otro acuífero.

La labor permitió generar un modelo conceptual de los procesos originales de adquisición de sales en el agua subterránea y la participación de los fenómenos modificantes.

Características Generales

La cuenca se ubica en el Partido de La Plata, su extensión es de 130 km^2, en un ambiente de llanura extrema. Corresponden a los sectores medio y superior sólo 90,7 km^2 (Figura 1). Limita al NW con la de los arroyos Pereyra - San Juan, al SE con la del arroyo Rodríguez, al S-SW con la cuenca del río Samborombón y al N-NE con el río de la Plata.

Bajo un clima subhúmedo-húmedo, la precipitación media anual es de 1042 mm (récord centenario). Son sustraídos por la evapotranspiración real 799 mm/año resultando disponibles excesos del orden de 243 mm/año.

El drenaje fluvial muestra en nacientes un diseño dendrítico, que se simplifica hacia el sector medio-inferior donde coalescen los arroyos Martín-Carnaval, completando su recorrido hacia la desembocadura en el río de La Plata a través del canal Villa Elisa.

En el paisaje se reconocen dos geoformas principales, la llanura alta y la planicie costera, con pendientes del orden de 1. 10^{-3} a 2 . 10^{-4}. La primera, modelada en sedimentos del Pleistoceno Superior (Fm Pampeano) con limos loessoides calcáreos, y la segunda, en remanentes de una ingresión marina holocena (Fm La Postrera, arenas y limos; Fm Las Escobas Miembro Cerro de la Gloria, conchillas y arenas conchilíferas; Fm Destacamento Río Salado, arcillas, limos y arenas finas marinas con restos conchiles). Las geoformas menores son los propios valles de los arroyos, los interfluvios y pequeños bajos.

Dentro de los suelos, diferenciados a partir de procesos continentales, fluvial estuárico y de transición entre ambos, se reconoce el predominio de Argiudoles vérticos y acuérticos, Natracuoles y Natracualfes en los sectores medio y superior, Natracuertes en la planicie aluvial, y Rendoles en coincidencia con los cordones conchiles que marcan la interfase entre las geoformas mayores *(IGS 2006*).

La actividad socieconómica principal es agrícola intensiva, subordinándose la industrial. Se incluyen radicaciones urbanas de importancia, como las ciudades de Villa Elisa y City Bell y las localidades de Arturo Seguí, Abasto y Colonia Urquiza que albergan en conjunto aproximadamente 54.000 habitantes, abastecidos en su totalidad por aguas subterráneas.

Geohidrología

El sistema se compone de la ZNS con espesores medios de 4 m para la cuenca superior y media, y extremos de hasta 10 m en coincidencia con los interfluvios.

El acuífero freático-Pampeano de espesor promedio del orden de 35 m, tiene un comportamiento hidráulico unitario, apoyado sobre un acuitardo basal de los sedimentos pampeanos, con potencia media de 6 m.

A continuación se dispone el acuífero semiconfinado Puelche, constituído por las arenas de la formación homónima con promedio 22 m de espesor, principal fuente de provisión de agua en la región y el país. Por último, como límite del subsistema activo, yace un acuícludo, representado por la sección arcillosa o cuspidal de la Formación Paraná.

Hidrodinámica

En la Figura 2 se muestra el mapa equipotencial del acuífero freático-Pampeano correspondiente a mediciones realizadas en la red. La morfología es de tipo radial con sentido de escurrimiento SW-NE. La recarga general, autóctona directa para el acuífero freático más el semilibre, y autóctona indirecta (a través del acuitardo) para el semiconfinado Puelche. Los gradientes hídricos están en el orden de 1,7. 10^{-3} y la velocidad efectiva de flujo media es de 0,02 m/día.

Se produce la descarga regional en la planicie costera y río de la Plata, directamente y como caudal básico de los arroyos, de comportamiento ganador. Ocurre además la de origen antrópico, originada por la extracción para el servicio público en City Bell y Villa Elisa, sumada a la producida por la actividad florihortícola en el sector superior de la cuenca.

Para caracterizar geohidrológicamente a los acuíferos y acuitardo, se mencionan valores de coeficiente de Permeabilidad K de 1-10 m/d para el freático-Pampeano, con porosidad efectiva de 0,10. Para el Puelche, K entre 10 y 50 m/d y coeficiente de Almacenamiento 5.10^{-3}. En el acuitardo, el coeficiente de Permeabilidad vertical K´ está entre 8.10-3 y 5.10^{-4} m/d *(Auge 1995)*.

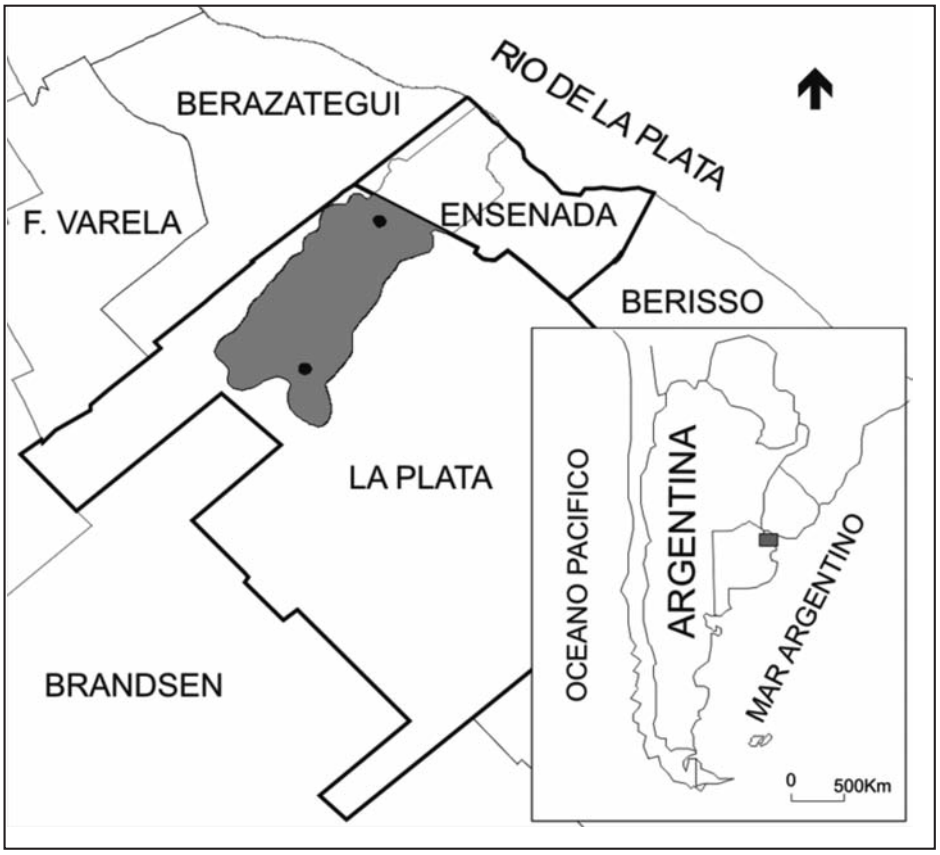


Figura 1. Mapa de ubicación

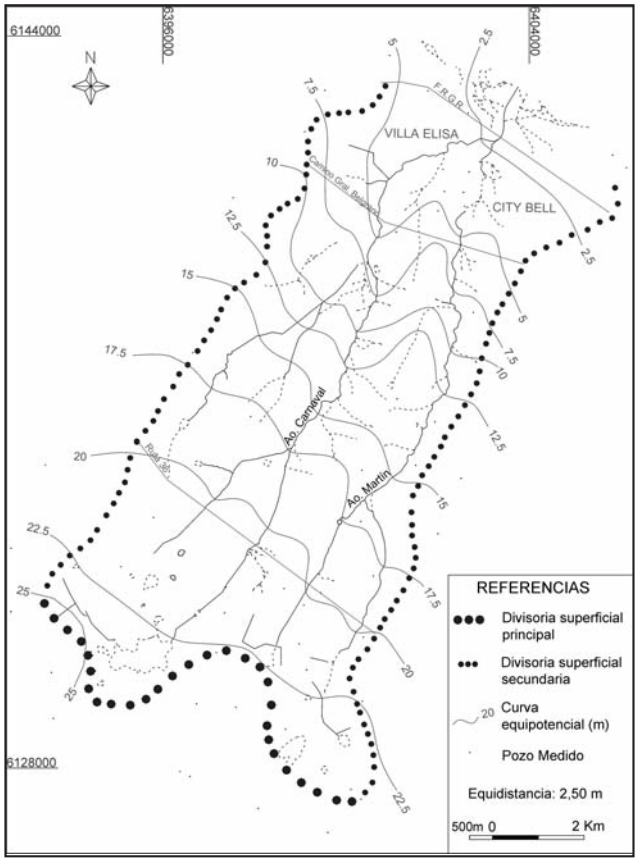


Figura 2. Mapa equipotencial. Acuífero freático-Pampeano

Resultados y discusión

La caracterización química de los acuíferos del sistema activo se realiza en conocimiento de su fuerte interrelación dinámica y química por filtración vertical, y de las limitaciones que le imponen las propias captaciones *(Auge 2005)*.

Acuífero freático-Pampeano

El agua es dulce con TSD medio de 665 mg/l y extremos de 315 y 1100 mg/l (inferior a 800 mg/l en el 82% del total de muestras y sólo superior a 1000 mg/l en el 4%). Exclusivamente bicarbonatada y preferentemente sódica (67%), se subordina la de carácter cálcico y/o magnésico. El enriquecimiento salino es según el sentido de flujo (Figura 2) desde tenores menores a 400 mg/l, en coincidencia con la divisoria principal y sectores superiores de las secundarias, a los apenas mayores a 1000 mg/l en el tránsito del sector medio al inferior.

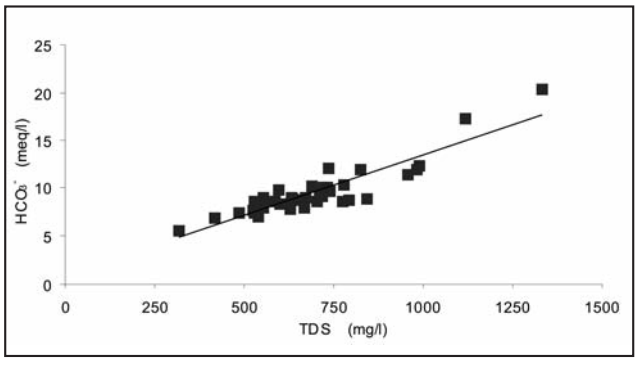


Figura 3. Correlación TSD-bicarbonatos

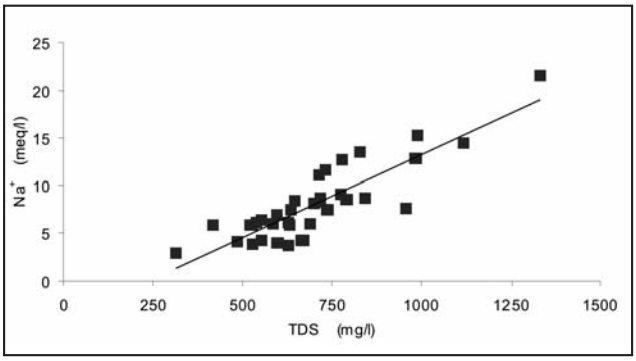


Figura 4. Correlación TSD-Sodio

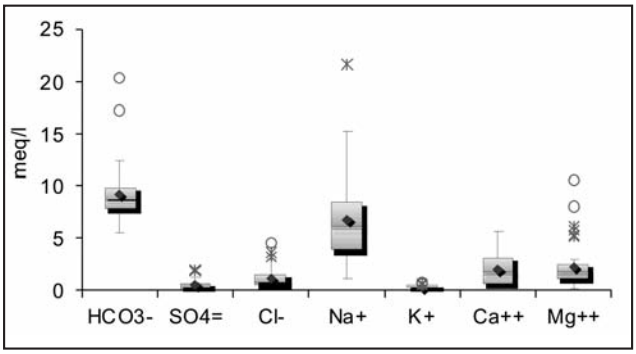


Figura 5. Acuífero freático-Pampeano

Se produce mayoritariamente a expensas del aumento en HCO_3- y Na^+ (Figura 3 y 4).

Sobre los estadísticos descriptivos de los componentes mayoritarios sintetiza el diagrama de cajas de la Figura 5.

El orden de concentración de los aniones es rHCO3- > rCl- > rSO_4^{2-}, (valor medio en meq/l 9,2 > 1,1 > 0,5). El bicarbonato, con extremos de 5,6 meq/l y 20,3 meq/l, es de distribución asimétrica positiva por mayor dispersión de los tenores superiores a la mediana (8,6 meq/l).

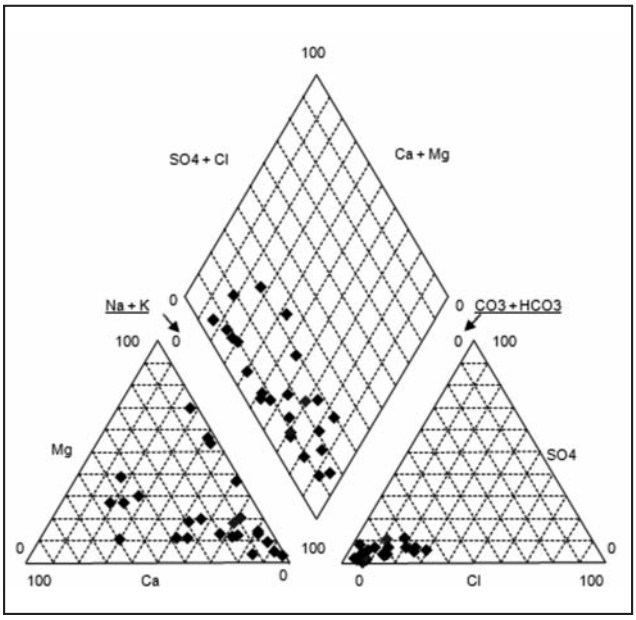


Figura 6. Diagrama de Piper. Acuífero freático-Pampeano.

Notoriamente prevalente constituye el 85% de la composición. La relación rCl- > rSO_4^{2-} se da en el 82 % de las muestras, mientras que en el resto el SO_4^{2-} iguala o apenas supera al Cl-.

En los cationes, $Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$ (valor medio en meq/l 6,8 >2,3 >2,2), con extremos para el Na+ de 1,1 meq/l y 21,6 meq/l. El valor de la mediana es 6,0 meq/l y la distribución relativamente simétrica, conformando el 60%. Que el Mg^{2+} sea ligeramente superior a Ca^{2+} está dado por "outliers" que alcanzan hasta 10,6 meq/l, ya que en el 62% de las muestras el Ca^{2+} es mayor que el Mg^{2+}.

La Figura 6 muestra la homogeneidad aniónica (exclusivamente bicarbonatada) frente a una distribución catiónica más diversa identificándose una facies bicarbonatada cálcica y/o magnésica y otra, bicarbonatada sódica.

Facie bicarbonatada cálcica y/o magnésica

Representativa del agua de recarga, con TSD medio de 580 mg/l y extremos de 341 y 690 mg/l, la abundancia de alcalino-térreos la identifican como el "agua dura" del Pampeano (275-550 mg/l de CO_3Ca). Se corresponde con las ya mencionadas zonas de divisorias. Responde la configuración a fenómenos originales de disolución y ataque químico por hidrólisis *(Schoeller 1962)*. El HCO_3- se origina en la disolución del CO_2 atmosférico y del edáfico producto de la actividad biológica y descomposición de materia orgánica. También en la hidrólisis del CO_3Ca de los horizontes BC del suelo *(IGS 2006)* y limos de la zona saturada ("tosca") y en la de los silicatos según *Martínez y Osterrieth (1999).* El proceso es facilitado por el pH ácido dado por el CO2 y ácidos orgánicos. Los cationes reconocen su fuente originaria en ambos procesos de hidrólisis. La Figura 7 muestra los estadísticos de los iones mayoritarios.

El comportamiento corresponde al 23% de las muestras. Se conserva la relación aniónica anterior, el valor medio del HCO_3- es 7,9 meq/l (extremos de 6,3 y 9,4 meq/l). De escasa dispersión, su distribución muestra asimetría negativa (mediana 8,1 meq/l). Constituye el 84% del total.

Los cationes singularizan la facies con $rMg^{2+} > rCa^{2+} > rNa^+$, representando los dos primeros el 72%. El Mg^{2+} valor medio 4,2 meq/l (extremos de 0,8 y 10,6 meq/l) muestra fuerte asimetría positiva (mediana 2,9 meq/l). Para Ca^{2+} la media es 3,0 meq/l (extremos 0,3 y 5,7meq/l), y la asimetría negativa (mediana 3,6 meq/l).En el 64%, el Ca^{2+} es mayor que el Mg^{2+}.

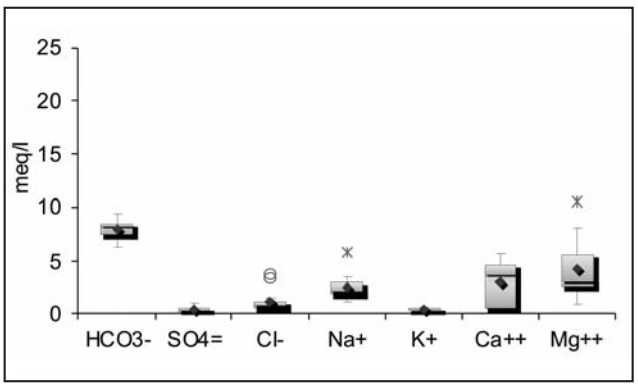


Figura 7. Facie bicarbonatada cálcica y/o magnésica

Facie bicarbonatada sódica

Respecto a la anterior, el TSD medio es algo mayor (690mg/l) con extremos de 315 y 1100 mg/l y notoriamente menor la dureza (156 mg/l). Muy expandida en el sector medio, donde prepondera la circulación con velocidad efectiva muy baja, pone de manifiesto el ablandamiento del agua de la facies anterior. Debería su origen al cambio de bases, en el que los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} ocupan posiciones en las superficies de intercambio de las arcillas desalojando al Na^{+} que pasa a la solución. En relación a la fuerza de retención, cuando la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} es igual, la arcilla fijará más el primero *(Custodio 2001).* El sostenimiento y/o incremento de la alcalinidad se explica por la recarga areal autóctona y disolución de carbonatos cuando domina el intercambio de bases *(Manzano 2009)*.

Como se aprecia en la Figura 8, en mérito a su abundancia ésta facies impone el sello a las aguas del freático-Pampeano, por lo que se repiten las mismas relaciones iónicas, siendo dominantes HCO_3- (85%) y Na^{+} (72%). El HCO_3-, (media 9,8 meq/l, extremos de 5,6 y 20,3 meq/l,) con asimetría positiva (mediana 9,0 meq/l). Con una media de 8,6 meq/l, extremos de 3,0 y 21,6 meq/l y mediana de 7,5 meq/l el Na^{+} exhibe ligera asimetría positiva.

Entre ambas facies y con carácter transicional, debe mencionarse a las aguas bicarbonatadas sódico cálcicas (10%) yacentes preferentemente en los interfluvios, con TSD 620 mg/l y dureza de 249 - 290 mg/l.

Acuífero Puelche

Las aguas son dulces (TSD 397 a 906 mg/l), incrementándose la salinidad, como en el acuífero superior, desde cabeceras y con dureza de 100 mg/l en CO_3Ca. Explicaría el bajo tenor del TSD la dilución del caudal de filtración vertical en el de afluencia subterránea, al prevalecer este último por mayor permeabilidad del acuífero (K=10 a 50 m/d) respecto a la vertical del acuitardo. ($K' = 8.10^{-3}$ a 5.10^{-4} m/d).

Son exclusivamente bicarbonatadas sódicas. Su origen ha sido mencionado para el acuífero superior generador, además del intercambio catiónico durante el tránsito a través del acuitardo.

La Figura 9 asevera tal condición. Con carácter ilustrativo, se incluyen dos muestras con el cloruro como ión secundario, situadas ya en el ámbito de la cuenca baja. Los estadísticos de sus componentes mayoritarios son reproducidos en la Figura 10.

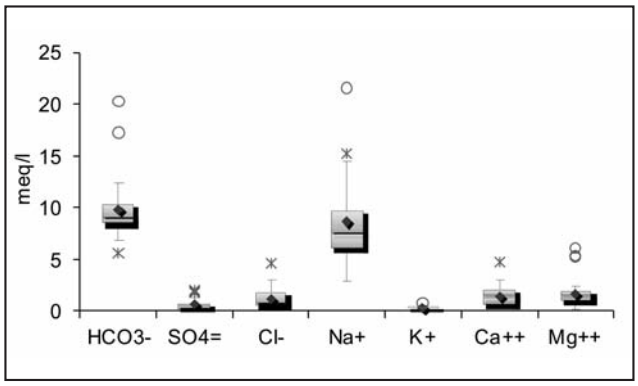


Figura 8. Facie bicarbonatada sódica

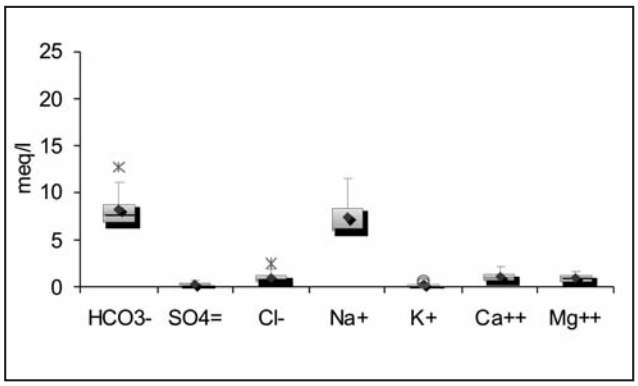


Figura 10. Acuífero Puelche

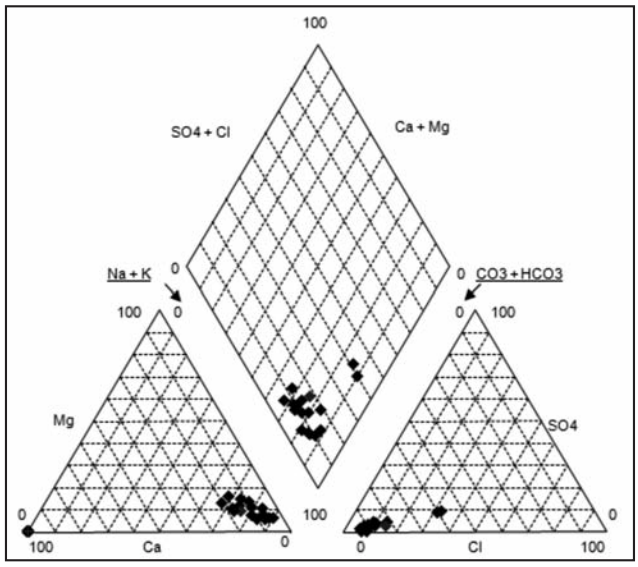


Figura 9. Diagrama de Piper. Acuífero Puelche

Puede apreciarse que el HCO_3- (87%) y el Na^{+} (78%) vuelven a ser prevalentes diferenciándose de los de la facies anterior en su menor dispersión. El primero (media 8,3 meq/l, extremos de 6,5 y 12,7meq/l y mediana 7,6meq/l) aproxima a una distribución simétrica mientras en el Na+ (7,4 meq/l de media, extremos de 5,7 y 11,4 meq/l y mediana de 6,3 meq/l) la asimetría positiva es muy marcada.

En la Tabla 1 se sintetizan valores medios para ambos acuíferos. Las mayores diferencias entre los acuíferos radican en la participación porcentual catiónica resaltándose el aumento del Sodio en profundidad y la disminución de los alcalino-térreos, dentro de los cuales la mayor diferencia se da con el Magnesio. De las facies distinguidas en el freático-Pampeano, la distinción como su denominativo lo indica, se da entre los contenidos catiónicos.

Tabla 1. Síntesis de concentraciones iónicas medias de los componentes mayoritarios

	Freático - semilibre						Puelche					
	General			Facie HCO_3-Ca^{2+} y/o Mg^{2+}			Facie HCO_3-Na^{+}			Puelche		
	meq/l	mg/l	%	meq/l	mg/l	%	meq/l	mg/l	%	meq/l	mg/l	%
HCO_3^-	**9,2**	561	**85**	**7,9**	482	**84**	**9,8**	598	**84**	**8,3**	506	**87**
SO_4^{2-}	**0,5**	24	**5**	**0,4**	19	**4**	**0,6**	29	**5**	**0,3**	14	**3**
Cl^-	**1,1**	39	**10**	**1,1**	39	**12**	**1,2**	43	**10**	**1,0**	35	**10**
Na^{2+}	**6,8**	156	**60**	**2,5**	58	**25**	**8,6**	198	**72**	**7,4**	170	**78**
K^+	**0,3**	12	**2**	**0,4**	16	**4**	**0,3**	12	**2**	**0,2**	8	**2**
Ca^{2+}	**2,0**	40	**18**	**3,0**	60	**30**	**1,4**	28	**12**	**1,0**	20	**11**
Mg^{2+}	**2,3**	28	**20**	**4,2**	51	**42**	**1,7**	21	**14**	**0,9**	11	**9**

CONCLUSIONES

Destácase el carácter dulce de las aguas, predominando entre los aniones el bicarbonato y el Sodio entre los cationes. Es escasa la participación de sulfato y cloruro y entre los cationes Calcio y Magnesio adquieren relevancia en el acuífero freático-Pampeano.

Se reconocen dos facies en el acuífero superior (bicarbonatada sódica y cálcico y/o magnésica) y sólo una bicarbonatada sódica en el Puelche.

Entre los procesos hidroquímicos actuantes fueron identificados la disolución y el ataque químico, en este último fundamentalmente la hidrólisis.

El intercambio de bases y la dilución se destacan entre los fenómenos modificantes, en ese orden.

La alta dureza en la facie bicarbonatada cálcico-magnésica del Pampeano podría ser un factor limitante en el uso del agua.Este tipo de análisis ayuda a la comprensión no sólo de los sucesos hidroquímicos, sino también a validar las asunciones hidrodinámicas de los sistemas geohidrológicos.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

AUGE, M.P, 1995.
Manejo del agua subterránea en La Plata. Argentina.
Inédito. La Plata. 3 T: 1-149.

AUGE, M.P. 2005.
Hidrogeología de La Plata, Provincia de Buenos.
En: R. E. de Barrio, R. O. Etcheverry, M. F. Caballé y E. Llambías (edit.) Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congr.Geol. Arg., La Plata. Cap. XVIII: 293 – 312.

CUSTODIO, E. Y LLAMAS, R. M. 2001.
Hidrología Subterránea.
2da ed. Omega. Barcelona.

GONZÁLEZ, N., HERNÁNDEZ, M. A. Y RUIZ DE GALARRETA, A. V. 1997.
Balance hidrológico a nivel de la zona no-saturada en un área de la cuenca de los arroyos Martín y Carnaval. La Plata, Pcia. de Bs. As. Argentina.
III Seminario Hispano-Argentino sobre temas actuales de Hidrología Subterránea, B. Blanca, 97-106.

GONZÁLEZ, N., M. M. TROVATTO Y M. A. HERNÁNDEZ. 2001.
La zona no-saturada en áreas de llanura. Estimación de la velocidad de infiltración por correlación diaria aportes – freatigrafía.
En: Medina y Carrera (eds.) Las caras del Agua Subterránea. IGME, Madrid. I: 249-254.

GONZÁLEZ, N., TROVATTO, M. M. Y HERNÁNDEZ, M. A. 2003.
Modelo conceptual hidrodinámico en una cuenca tributaria del Río de la Plata (Bs. As., Argentina).
Revista Latino-Americana de Hidrogeología, (3): 85-92.

HERNÁNDEZ, M. A., RUIZ DE GALARRETA, A.V. Y MINGHINELLI, L. 1994.
Reconocimiento de la zona no saturada y características ambientales del acuífero freático en las Cuencas de los Arroyos Martín y Carnaval. Provincia de Buenos Aires, Argentina.
2° Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Santiago de Chile, I: 55-66.

HERNÁNDEZ M. A., GONZÁLEZ, N. Y M. M. TROVATTO. 2001.
La zona no-saturada en áreas de llanura. Estimación de la evapotranspiración real por medio del balance hidrológico en la ZNS.
En: Medina y Carrera (eds.) Las caras del Agua Subterránea. IGME, Madrid, I: 241-247.

INSTITUTO DE GEOMORFOLOGÍA Y SUELOS. 2006.
Análisis Ambiental del Partido de La Plata - Aportes al Ordenamiento Territorial.
M. Hurtado Ed. CFI. La Plata, 124 pp y CD.

MANZANO, M. Y GUIMARAES, M. 2009.
El origen del fondo químico natural del Sistema Acuífero Guaraní.
En: E.E. Mariño y C.J. Schulz (eds.). Aportes de la Hidrogeología al Conocimiento de los Recursos Hídricos, AIH GA - Amerindia, Santa Rosa II: 551-560.

MARTÍNEZ, D. E. Y OSTERRIETH, M. 1999.
Geoquímica de la sílice disuelta en el acuífero pampeano en la vertiente sudoriental de Tandilla.
En: A. Tineo (ed.) Hidrología Subterránea. Serie de Correlación Geológica, 13: 241-250.

SCHOELLER, H. 1962.
Les eaux souterraines.
Ed. Masson. París.