ASOCIACION ARGENTINA
DE GEOLOGIA APLICADA
A LA INGENIERIA

Control geológico - geomorfológico en la hidroquímica subterránea de un sector de la zona deprimida del Salado, provincia de Buenos Aires

Kruse, Eduardo [1] ✉ - Carol, Eleonora [1] - Deluchi, Marta [2] - Laurencena, Patricia [3] - Rojo, Adolfo [3]

Recibido: 18 de abril de 2011 • Aceptado: 02 de junio de 2011

Resumen

El objetivo de este trabajo es analizar los procesos geoquímicos que asociados a las particularidades geológicas - geomorfológicas definen las características químicas del agua en un sector de la zona deprimida del Salado. En un ambiente extremadamente llano se reconocen formas menores que adquieren influencia hidrológica local. Las relaciones iónicas evidencian procesos de disolución de $CO_{2(g)}$ en todos los ambientes indicando la importancia de la recarga del acuífero por infiltración del agua de lluvia. En los mantos y lomadas eólicas el agua es de tipo Na-HCO_3 y su composición se asocia a procesos de disolución de carbonatos cálcicos e intercambio de bases. En la planicie de inundación el agua evoluciona de tipo Na-HCO_3 a tipo Na-$ClSO_4$ y dominan los procesos de evaporación. Estas variaciones en la composición química del agua permiten determinar el control que ejercen los rasgos geomorfológicos locales en un ambiente regionalmente llano.

Palabras clave: hidroquímica, Río Salado, geoformas.

Abstract

The aim of this work is to analyze the geochemical processes that associated with the geological - geomorphological particularities define the chemical characteristics of the groundwater in a sector of the Pampa Deprimida of the Salado River. Minor geoforms with important hydrologic local influence are recognized en this flat area. The ionic ratios reveal dissolution of $CO_{2(g)}$ processes in the region. It indicates the importance of groundwater recharge by rain infiltration. Groundwater is Na-HCO_3 type in the eolic ridges and its composition is associated with calcium carbonate dissolution and base exchange processes. In the flood plain groundwaters evolves from Na-HCO_3 to Na-$ClSO_4$ types and dominate the evaporation processes. The groundwater hydrochemistry variations indicate the control that the local geomorphological features show in a flatland.

Keywords: hydrochemical, Salado River, geoforms.

1 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Cátedra de Hidrología General, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. Calle 64 nº3 La Plata (1900), Argentina.

✉ kruse@fcnym.unlp.edu.ar

2 Cátedra de Hidrología General, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. Calle 64 nº3 La Plata (1900), Argentina.

3 Comisión de Investigaciones Científicas (CIC). Cátedra de Hidrología General, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. Calle 64 nº3 La Plata (1900), Argentina.

INTRODUCCIÓN

La zona deprimida del Salado representa una extensa llanura en la Provincia de Buenos Aires, en la cual, a pesar de su aparente uniformidad, es posible diferenciar distintos sectores con características particulares. Uno de ellos corresponde al sistema Vallimanca - Las Flores *(Sala et al. 1983)*, en el que se desarrolla una exigua red de drenaje con una orientación noreste y cursos que pueden presentar intermitencia por sectores, para alcanzar el nivel de base del río Salado en los períodos húmedos. El interfluvio de estos arroyos es muy poco marcado y en él existen cuerpos de agua de distinto tamaño, siendo las pendientes topográficas regionales extremadamente bajas (inferior a 10^{-4}) *(Kruse et al. 2003)*. Esto tiene una fuerte incidencia en el ciclo hidrológico que se manifiesta en un escurrimiento superficial mínimo en favor de una mayor infiltración y/o evapotranspiración *(Kruse et al. 2007)*. Los periódos de anegamientos que sufre esta región llevaron a la construcción de distintas obras de drenaje que se han integrado con el drenaje natural del área *(Rojo et al. 2006)*.

La zona deprimida del Salado se caracteriza por presentar aguas subterráneas de alto contenido salino. Dentro de esta planicie existen geoformas menores que dan origen a funcionamientos hidrológicos particulares. Pequeños desniveles o cambios geológicos adquieren importancia suficiente como para producir modificaciones locales en las condiciones hidrodinámicas *(Kruse et al. 2005)*. Estas variaciones condicionan los procesos geoquímicos que determinan la composición del agua freática a escala local y enmascaran las características hidroquímicas regionales, reconociéndose sitios con aguas de escaso contenido salino que en muy cortas distancias pasan a ser altamente salinas.

El objetivo de este trabajo es analizar los procesos geoquímicos que asociados a las particularidades geológicas - geomorfológicas definen las características químicas del agua subterránea en un sector del sistema Vallimanca - Las Flores, cuya ubicación se puede observar en la Figura 1.

Figura 1. Ubicación del área de estudio.

METODOLOGÍA

Se estudiaron las características geológicas y geomorfológicas de la región a través de la recopilación de antecedentes, relevamientos de campo y análisis de cartas topográficas e imágenes satelitales. Ello permitió reconocer tres zonas geomorfológicamente distintivas: lomadas eólicas, mantos eólicos y planicie de inundación. En cada una de ellas se ejecutaron un conjunto de perforaciones al acuífero freático.

Los freatímetros se construyeron con barreno manual y fueron entubados con caño de PVC de 2,5 pulgadas con filtro ranurado continuo. Durante la ejecución de los pozos se realizó la descripción litológica y se extrajeron muestras de sedimento.

Para la extracción de muestras de agua los freatímetros fueron purgados extrayéndose el volumen de agua contenida en cada uno de los pozos al menos 3 veces. La recolección, preservación y análisis químico de las muestras de agua fue realizada según los métodos establecidos por la American Public Health Association (1998).

Los resultados de las concentraciones de los iones mayoritarios se analizaron mediante gráficos hidroquímicos, y las determinaciones de especies iónicas solubles e índices de saturación se efectuaron con el programa PHREEQC *(Parkhurst y Appelo 1999).*

Los procesos determinados a partir de relaciones iónicas fueron verificados por modelación hidrogeoquímica basada en el programa NETPATH *(Plummer et al. 1991)*.

RESULTADOS

Dentro del área estudiada se reconocen tres zonas con características geológicas y geomorfológicas propias: lomadas eólicas, mantos eólicos y planicie de inundación.

Las lomadas eólicas están compuestas por depósitos arenosos de escaso espesor (menores a 1 m). El nivel freático se ubica a 3,0 m de profundidad reconociéndose entre lomadas sectores deprimidos que suelen presentar agua en superficie. El agua es de tipo Na-HCO_3 (Figura 2) con pH entre 7,2 y 7,8. De los ambientes estudiados es el que presenta menor salinidad con valores de conductividad eléctrica entre 382 y 520 µS/cm.

Los mantos eólicos están compuestos por sedimentos arenosos o areno limosos depositados sobre los Sedimentos Pampeanos. Su espesor es generalmente superior a 1 m y el agua freática se encuentra a 1,2 m de profundidad. La permeabilidad media a alta de sus sedimentos favorece la infiltración siendo zonas que se caracterizan por no presentar agua en superficie. El agua es de tipo Na-HCO_3 (Figura 2) con valores de pH entre 7,1 y 8,4. Los valores de conductividad eléctrica varían principalmente entre 1865 y 2940 µS/cm a excepción de un pozo cuyo valor es de 553 µS/cm.

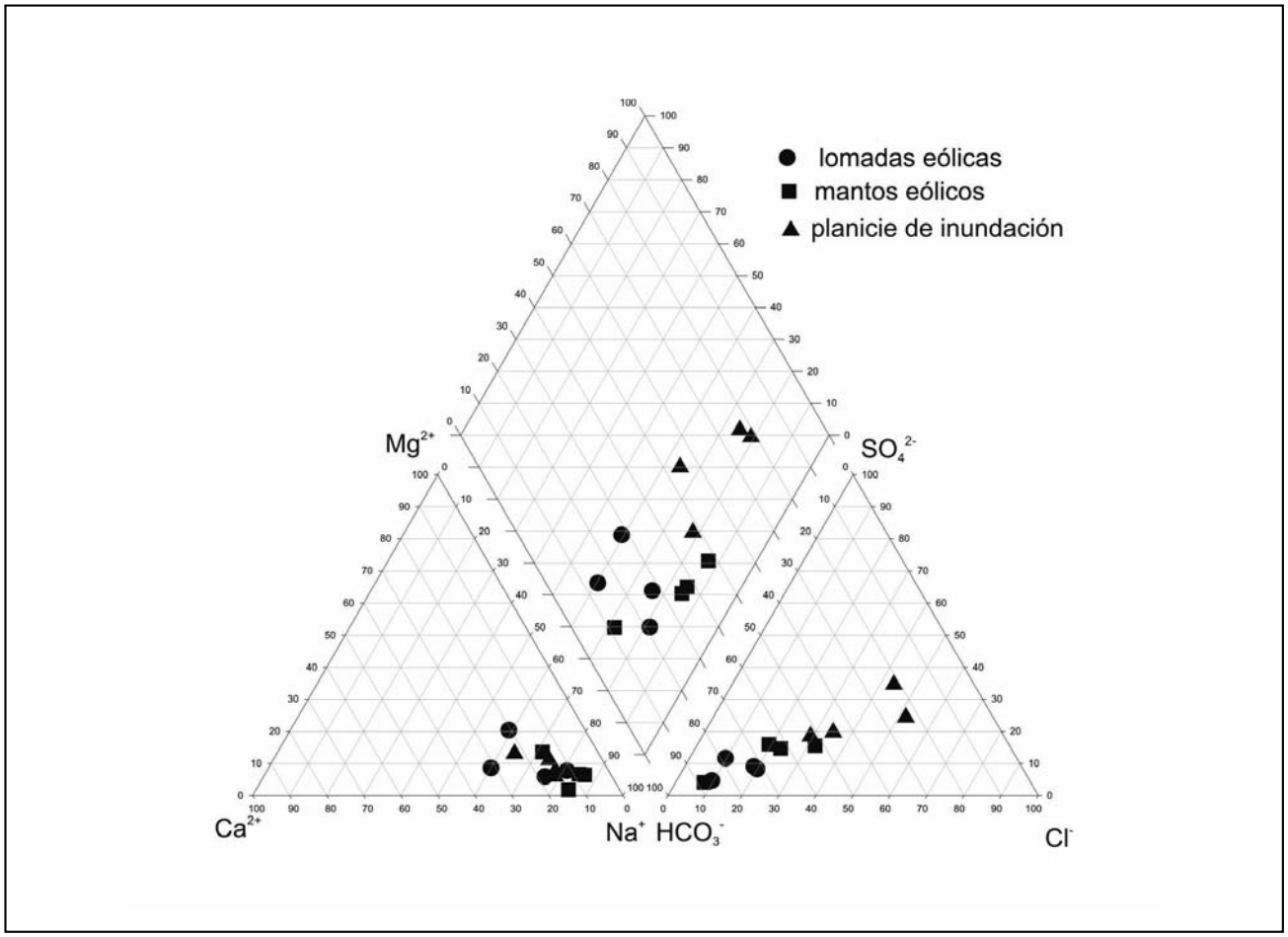

Figura 2. Diagrama de Piper.

La planicie de inundación es un ambiente deprimido en el que se reconoce un escaso espesor de sedimentos fluviolacustres sobre los depósitos limo arcillosos con manifestaciones de tosca correspondientes a los Sedimentos Pampeanos. La superficie freática se localiza aproximadamente a 1,5 m por debajo del nivel de terreno, observándose en los sectores más deprimidos el afloramiento del nivel freático. El agua evoluciona de tipo Na-HCO_3 a tipo Na-$ClSO_4$, con pH entre 8,0 y 8,4 y con altos contenidos salinos (conductividad eléctrica entre 1963 y 4540 µS/cm) (Figura 2).

El análisis de las relaciones iónicas muestra excesos de Na^+ respecto de Cl^- los que son más notorios en las lomadas y mantos eólicos (relación Na^+/Cl^- entre 2,4 y 8,5) (Figura 3a). Para las lomadas y mantos eólicos los valores de Cl^- -(Na^+ + K^+)/Cl^- negativos (entre -1,8 y -8,2) y la relación Na^+- Cl^- en función de (HCO_3^- + SO_4^{-2})-(Ca^{2+} + Mg^{2+}) próxima a 1, estaría determinando que dichos excesos se asocian a intercambio de bases de tipo Ca^{2+}/Na^+ *(Mc Lean et al. 2000)* (Figura 3b y c). En la planicie de inundación los valores Na^+/Cl^- próximos a 1 indicarían que la presencia de estos iones en el agua subterránea podrían deberse a aportes de sales NaCl disueltas desde la descarga del flujo subterráneo y/o procesos de evaporación en los sectores donde la superficie freática aflora o se encuentra a poca profundidad.

Se observa un déficit de Ca^{2+} respecto a HCO_3^-, el cual está dado por relaciones Ca^{2+}/HCO_3^- inferiores a 1, característica más notoria en las lomadas y mantos eólicos (Figura 3d). La disolución de carbonatos aportaría iones Ca^{2+} y HCO_3^-, mientras que un exceso de HCO_3^-como el observado se asociaría a procesos de disolución de $CO_{2(g)}$ a partir de la infiltración del agua del lluvia, la cual es más notoria en los ambientes geomorfológicos de mayor permeabilidad y a procesos de intercambio iónico Ca^{2+}/Na^+.

La relación Ca^{2+}/SO_4^{2-} presenta valores positivos entre 1 y 7,2 para las lomadas eólicas. Esta característica hace suponer que en este ambiente el Ca^{2+} proviene principalmente de la disolución de carbonatos (Figura 3e). Los bajos contenidos en SO_4^{2-} registrados en todas las muestras (menores a 5 meq/L en las lomadas y mantos eólicos y entre 4 y 14,7 meq/L en la planicie de inundación) sugerirían que este ión puede provenir de la evaporación del agua de lluvia que recarga estos ambientes tal como se determinó en otras regiones de la provincia de Buenos Aires *(Bonorino et al. 2001, Quiroz Londoño et al. 2008).* Las muestras con relación Ca^{2+}/SO_4^{2-} próxima a 1 podrían estar indicando la disolución de yeso. Si bien no se han realizado análisis mineralógicos en el área de estudio, el yeso fue determinado en estos sedimentos en sectores próximos *(Dangavs y Blasi, 2002)* y en varios sitios de la provincia *(Teruggi et al. 1974, Dangavs y Blasi 1992, Dangavs et al. 1998).*

Los índices de saturación (IS) de calcita y yeso muestran valores subsaturados en ambos minerales en el agua subterránea de las lomadas eólicas, valores subsaturados en yeso y sobre y subsaturados en calcita en los mantos eólicos, y valores subsaturados en yeso y sobresaturados en calcita en la planicie de inundación (Figura 3f).

A partir de los procesos sugeridos mediante la interpretación de las relaciones iónicas se realizaron modelados hidrogeoquímicos, mediante el uso del programa NETPATH *(Plummer et al. 1991)*. Estos modelos que contemplan el balance de masas y la termodinámica de las reacciones permitieron verificar los distintos procesos hidroquímicos descriptos para cada uno de los ambientes.

Los resultados obtenidos muestran que en las lomadas eólicas la disolución de carbonatos cálcicos, la disolución de $CO_{2(g)}$, el intercambio de bases de tipo Ca^{2+}/Na^+ y la evaporación dominan la química del agua subterránea. Entre estos procesos las mayores trasferencias de masas se relacionan al intercambio Ca^{2+}/Na^+.

La hidroquímica de los mantos eólicos es corroborada por los mismos procesos pero a diferencia de las lomadas eólicas las mayores trasferencias de masa se asocian a la disolución de carbonatos cálcicos registrándose también un aumento en la evaporación.

En la planicie de inundación el proceso que domina es la evaporación acompañada de disolución de $CO_{2(g)}$. La falta de información relacionada al flujo subterráneo que descarga en este ambiente imposibilitó verificar mediante el modelado si existe aporte de sales disueltas de tipo NaCl desde dicha fuente. Sin embargo, los bajos contenidos de Cl^- en la mayoría de las muestras permiten plantear que la evaporación es suficiente para explicar las concentraciones de Cl^- registradas, principalmente en la planicie de inundación donde el nivel freático aflora o se encuentra muy próximo a la superficie.

La disolución de yeso fue un proceso no corroborado en ninguno de los ambientes.

CONCLUSIONES

Las características químicas y relaciones iónicas analizadas muestran cómo la geología y geomorfología determinan los procesos geoquímicos que regulan la hidroquímica de las aguas subterráneas.

Los procesos de disolución de $CO_{2(g)}$ se reconocen en las unidades geomorfológicas identificadas, indicando la importancia de la infiltración y la consecuente recarga del sistema subterráneo. Aguas de tipo Na-HCO_3 caracterizan a los mantos y lomadas eólicas. La composición se asocia a procesos de disolución de carbonatos cálcicos, intercambio de bases de tipo Ca^{2+}/Na^+ y evaporación. En la planicie de inundación las aguas evolucionan de tipo Na-HCO_3 a tipo Na-$ClSO_4$ dominando en este ambiente los procesos de evaporación.

A partir de las variaciones en las características químicas del agua subterránea es posible reconocer el control que ejercen las particularidades geomorfológicos locales en un área de llanura.

El análisis mediante gráficos hidroquímicos, determinaciones de especies iónicas solubles e índices de saturación asociados al modelado hidrogeoquímico basado en el balance de masas y la termodinámica de las reacciones resulta una metodología de aplicación para la determinación de los procesos hidrogeoquímicos que dominan la composición del agua subterránea en ambientes de llanura.

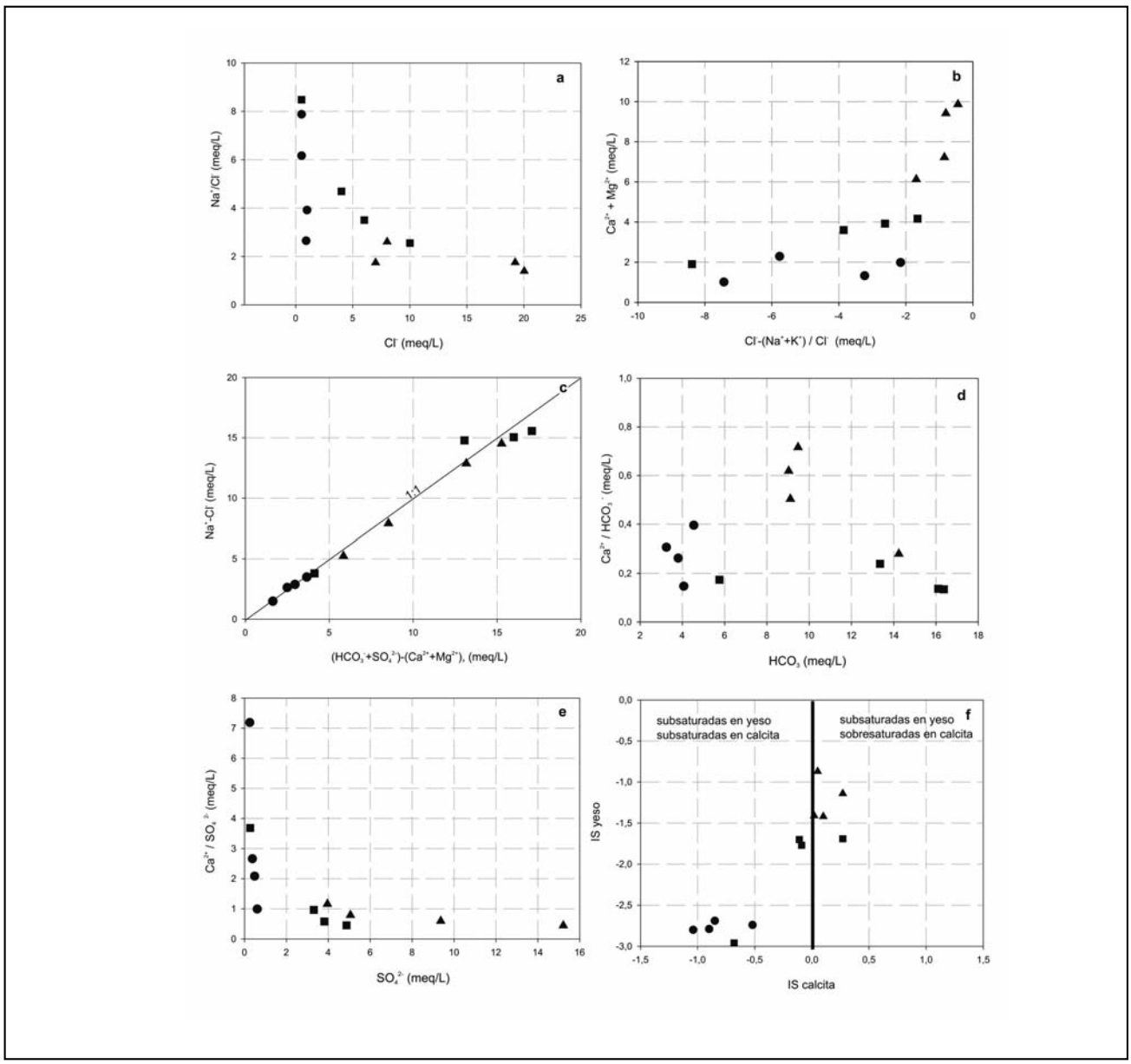

Figura 3. Relaciones iónicas e índices de saturación. Referencias iguales a la Figura 2.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1998.
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed.
American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC.

DANGAVS N. V. Y BLASI A. M. 2002.
Los depósitos de yeso intrasedimentario del arroyo El Siasgo, partidos de Monte y General Paz, provincia de Buenos Aires.
Revista de la Asociación Geológica Argentina 57 (3): 315-327.

DANGAVS, N. Y BLASI, A. 1992.
Presencia de yeso en Lobos, Buenos Aires, Argentina
Revista Museo de La Plata, Sección Geología 11: 17-32.

DANGAVS, N. Y BLASI, A. Y MERLO, D. 1998.
Los depósitos de yeso intrasedimentario en la subcuenca de la laguna Esquivel, Chascomús, provincia de Buenos Aires.
5° Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses Actas 1: 175-184. Mar del Plata.

KRUSE, E., LAURENCENA, P., ROJO, A DELUCHI, M. 2005.
Interacción de flujos subterráneos en la Zona Deprimida del Salado (Provincia de Buenos Aires, Argentina)
II Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea. Río Cuarto. Córdoba.

BONORINO, G., ALBOUY, R. Y CARRICA, J. 2001.
Hidroquímica de un Acuífero Loéssico.
Geoacta 26:33-45.

KRUSE E., ROJO A., LAURENCENA P., DELUCHI M. 2003.
Comportamiento del agua subterránea en relación al Canal 16 - Provincia de Buenos Aires.
Actas III Congreso Argentino de Hidrogeología. Memorias: 245-254. Universidad Nacional de Rosario. Rosario

KRUSE, E., LAURENCENA, P., ROJO, A., DELUCHI, M. Y CAROL, E. 2007.
Variaciones hidrodinámicas e hidroquímicas del agua freática en el Canal 16, Provincia de Buenos Aires.
Actas XXI Congreso Nacional de Agua, Tucumán, Argentina.

MCLEAN, W., JANKOWSKI, J. AND LAVITT, N. 2000.
Groundwater quality and sustainability in an alluvial aquifer, Australia.
In: Sililo O et al (eds) Groundwater, past achievements and future challenges. A Balkema, Rotterdam: 567-573.

PARKHURST, D.L. AND APPELO, C.A.J., 1999.
User's guide to PHREEQC. A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations
US Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259, 310 p.

PLUMMER, L.N., PRESTEMON, E.C. AND PARKHURST, D.L. 1991.
An interactive code (NETPATH) for modelling NET geochemical reactions along a flow PATH.
US Geol Surv Water Resour Invest 4078.

QUIROZ LONDOÑO, O. M., MARTÍNEZ, D. E., DAPEÑA C. Y MASSONE, H. 2008.
Hydrogeochemistry and isotope analyses used to determine groundwater recharge and flow in low-gradient catchments of the province of Buenos Aires, Argentina.
Hydrogeology Journal 16: 1113-1127.

ROJO, A., KRUSE, E., LAURENCENA, P., DELUCHI, M. Y CAROL, E. 2006.
Relación de la capa freática y las obras de regulación en la región Vallimanca - Las Flores, Argentina.
VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Memorias: 78. Asunción (Paraguay)

SALA, J.M., GONZÁLEZ, N., KRUSE, E. 1983.
Generalización hidrológica de la Provincia de Buenos Aires.
Coloquio sobre Hidrología de Grandes Llanuras. II: 973-1009. PHI - UNESCO. Olavarria.

TERUGGI, M., DALLASALDA, L. Y DANGAVS, N. 1974.
La presencia de yeso en la laguna Las Barrancas, Prov. de Buenos Aires.
Anales LEMIT, Serie 2, 267: 123 -131. La Plata.