



## CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA REGIONAL DE LAS AGUAS DE LOS BAJOS SUBMERIDIONALES, GRAN CHACO, ARGENTINA

### REGIONAL HYDROCHEMICAL CHARACTERIZATION OF BAJOS SUBMERIDIONALES, GRAN CHACO, ARGENTINA

Veizaga, Emiliano<sup>1</sup>; Rodríguez, Leticia<sup>1</sup>; Heredia, Javier<sup>2</sup>; Thalmeier, Belén<sup>3</sup>; Sosa, Dora<sup>4</sup>,  
Moreno, Luis<sup>2</sup>; Díaz, Eduardo<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudios Hidro-Ambientales- CENEHA, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe (Argentina). <sup>2</sup>Instituto Geológico y Minero de España, Madrid (España). <sup>3</sup>Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), <sup>4</sup>Centro Regional Litoral, Instituto Nacional del Agua. Santa Fe (Argentina). <sup>5</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Paraná, Entre Ríos (Argentina).

[veizaga.e82@gmail.com](mailto:veizaga.e82@gmail.com)

#### Resumen

*Los Bajos Submeridionales se sitúan al SE del Chaco Austral, en la planicie distal del mega-abanico aluvial del río Salado del Norte. Presentan una suave pendiente NO-SE que, interrumpen esteros, cañadas y lagunas en un paisaje modelado por la acción fluvio-eólica. El sistema es geológicamente complejo. Sus rasgos singulares condicionan la disponibilidad y el quimismo de las aguas. Se analizaron los resultados hidroquímicos de 85 muestras de aguas superficial y subterránea. Se realizó una caracterización con el objetivo de identificar: tipos químicos de aguas y posibles patrones hidroquímicos de evolución en profundidad. La salinidad de las aguas es posiblemente el resultado de: mezcla de aguas de distinto origen, evaporación directa de espejos de agua y agua freática y el ascenso de aguas profundas más salinas, entre otros. Estas primeras observaciones contribuirán a comprobar la validez del modelo de flujos jerárquicos propuesto para cuencas sedimentarias.*

**Palabras clave:** río Salado del Norte, facies hidroquímicas, salinidad.

#### Introducción

La región de los Bajos Submeridionales (BBSS) situada en el NO de la provincia de Santa Fe, SE de Santiago del Estero y SO de Chaco, cubre 54.280 km<sup>2</sup> (Giraut *et al.*, 2001), forma parte de la planicie distal del mega-abanico aluvial del río Salado del Norte (Iriondo, 2010), afluente del río Paraná (Fig. 1). Este mega-abanico se extiende al este de las Sierras Subandinas, en la provincia geomorfológica del Gran Chaco Argentino. Esta provincia es una amplia llanura con fuerte identidad morfo-sedimentológica (Brunetto *et al.*, 2014) que pertenece a la provincia geológica Llanura Chacopampeana. En la zona de estudio son de interés los depósitos continentales y marinos terciarios y cuaternarios. El Terciario está representado por tres miembros de la Fm. Chaco, interdigitados con las formaciones marinas del Mioceno. En esta unidad predominan las areniscas de grano fino con intercalaciones de poco espesor de conglomerados, limolitas, arcillitas y yeso. La Fm. Paraná, de origen marino, está integrada por arenas cuarzosas finas y arcillas grises-verdosas con contenido fosilífero. En los BBSS, suprayacente a la Fm. Paraná, se encuentra la Fm. Ituzaingó un depósito fluvial característico del río Paraná compuesto por arenas cuarzosas amarillentas y rojizas, interestratificadas con limos y arcillas (Iriondo 1993). La Fm. Fortín Tres Pozos se extiende en la depresión de los BBSS (Iriondo, 2010). Presenta una granulometría limo-arcillosa, facies de loess típico, facies palustres verdes y castañas, y facies limosas con carbonatos de calcio. Esta formación es característica de una Unidad Geomorfológica de la zona distal del abanico integrada por paleocauces pleistocenos enmascarados por un manto loésico. Dentro del gran abanico se encuentra la morfoestructura de las Lomadas de Otumpa, que constituyen estribaciones suaves del relieve vinculadas con estructuras antiguas del subsuelo y definen la divisoria de aguas superficial noroccidental de los BBSS. Su levantamiento hizo que el del río Salado del Norte migrase hacia el SO (en el Plioceno escurría en sentido NO-SE), y desarrollase una extensa planicie aluvial (Fig. 1). Existen numerosos paleocauces de morfologías y edades diferentes que denotan los procesos de escurrimiento y migración del río (Peri, 2013). Debido a la escasa pendiente, los límites de la cuenca superficial son difusos y dependen de la distribución y

magnitud de las precipitaciones. En el sector central de los BBSS existen numerosas hoyas de deflación con encharcamientos permanentes o temporales y paleocauces y en el oriental son comunes los pantanos y se encuentra un sistema de lagunas interconectadas por el A° Golondrina (colector superficial del sistema). Predominan los suelos halomórficos, salino-sódicos, de tipo Natracuall (Panigatti, 2017).

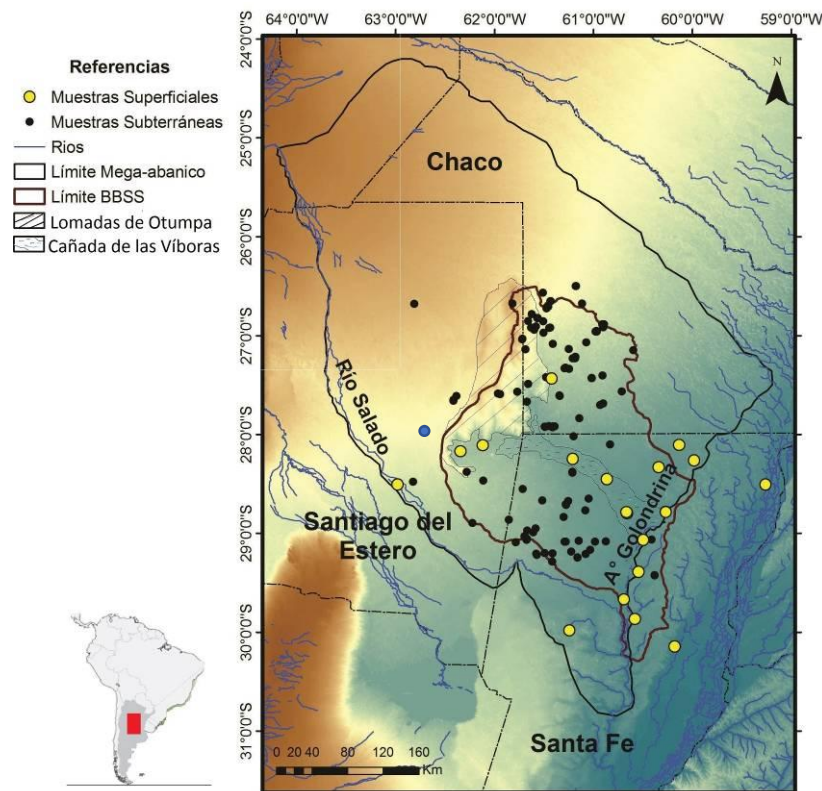


Figura 1. Límite de la cuenca de los BBSS superpuesta al límite del mega-abanico aluvial del río Salado del Norte, y ubicación de sitios con resultados hidroquímicos.

El límite del sistema subterráneo es incierto, los flujos locales verticales serían preponderantes en comparación con los flujos horizontales, por ende, la validez del sistema jerárquico de flujos regionales, intermedios y locales planteado por Tóth (1966) no es tan claro en los BBSS. Como en otros sistemas de grandes llanuras, en los BBSS los flujos de escala intermedia tienen poca relevancia. En este trabajo se caracterizan las aguas subterráneas y superficiales de la región con miras a contribuir a definir un modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico y a contrastar la validez del modelo de Tóth (1966).

### Materiales y métodos

Durante 2016 y 2017 se realizaron tres campañas en las que se tomaron 11 muestras de agua superficial en ríos, cañadas y lagunas, y 41 de agua subterránea procedentes de pozos con profundidades entre 3 y 220 m, procurando complementar la información antecedente.

En campo se midieron: las coordenadas y profundidad del pozo y el nivel piezométrico; el pH, la temperatura, la conductividad eléctrica (CE) y la alcalinidad. Las muestras, debidamente preservadas, se trasladaron al Laboratorio de Química Analítica, Universidad Nacional del Litoral, donde se realizaron las siguientes determinaciones:  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ , pH,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $Br^-$ ,  $Fe^{2+}$ , residuo seco y turbiedad. Los aniones mayoritarios fueron analizados por cromatografía iónica, Na y K por fotometría, Ca por titulación con Edta, y los elementos traza mediante ICP-OES.

Los resultados se integraron con la información hidroquímica antecedente, conformando una base de datos de 142 muestras con un error de balance iónico menor al 10% (Fig. 2). Si bien las muestras de agua subterránea provienen de distintas profundidades y fechas, obtenidas en

pozos y perforaciones que alcanzan distintas formaciones, se realizó una caracterización general con el objetivo de identificar los tipos químicos de aguas existentes a escala regional; y posibles patrones hidroquímicos de evolución en profundidad. Los resultados analíticos se han estudiado con métodos gráficos tradicionales y mediante relaciones iónicas con el objetivo de identificar el origen continental o marino del agua subterránea, los posibles procesos de disolución-precipitación, intercambio iónico, entre otros, que hayan podido modificar la composición química del agua estudiada.

## Resultados

Se han identificado cinco facies hidroquímicas: cloruradas/sulfatadas - sódicas ( $\text{Cl}/\text{SO}_4/\text{Na}$ ), sulfatadas/cloruradas - sódicas ( $\text{SO}_4/\text{Cl}/\text{Na}$ ), cloruradas-sódicas ( $\text{Cl}/\text{Na}$ ), cloruradas/bicarbonatadas - sódicas ( $\text{Cl}/\text{HCO}_3/\text{Na}$ ) y bicarbonatadas/cloruradas - sódicas ( $\text{HCO}_3/\text{Cl}/\text{Na}$ ), lo cual demuestra el predominio del sodio ( $\text{Na}^+$ ) y el cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) y el sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) como catión y aniones dominante, respectivamente.

La mayoría de las muestras (85) provienen de pozos de menos de 30 m de profundidad, muestreándose sólo 13 pozos entre 30 y 60 m de profundidad, y 9 pozos más profundos. Las aguas subterráneas poseen un grado de mineralización de medio a elevado y, destaca su amplio rango de conductividad eléctrica (CE), entre  $458 \mu\text{S}/\text{cm}$  y  $65.000 \mu\text{S}/\text{cm}$  (Fig. 2). Las menos mineralizadas corresponden a las muestras más someras, mientras que, entre 30 y 60 m, las aguas poseen una elevada mineralización sin evidenciar un patrón evolutivo claro. Por debajo, si bien los pozos profundos son escasos, las muestras analizadas presentan una tendencia a la salinización. Las altas concentraciones de  $\text{SO}_4$  en las aguas intermedias podrían estar asociadas a la presencia de yeso, que en una perforación reciente fue detectado a 30 m de profundidad, y autores previos lo describen en la Fm. Chaco a mayores profundidades. Los suelos salino-sódicos en combinación con procesos de evaporación/infiltración imprimen altas concentraciones de Cl y Na a las aguas más someras, mientras que la disolución de halita aportaría estos iones en profundidad. El amplio rango en las aguas someras puede ser producto de aguas con renovación frecuente (las menos salinas); aguas algo más salinas ubicadas en paleocauces con renovación menos frecuente, o afectadas por sobre-explotación; aguas algo más salinas, que sufren evaporación y aportes de lavados de suelos, aguas someras muy salinas, ligadas a cuerpos de agua superficiales que reciben descarga de flujos profundos ascendentes cargados con sales y que además sufren evaporación.

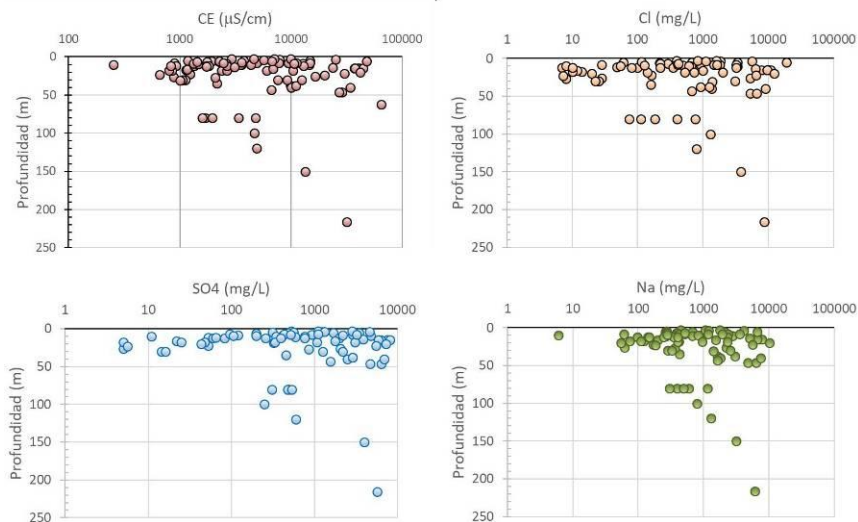


Figura 2. Variación de la CE e iones dominantes con la profundidad.

Sin distinguir el estado hidrológico de los pozos al muestrear, las aguas superficiales son menos salinas que las subterráneas (Fig. 3a), con una mineralización de baja a mediana, con excepción de las salmueras de las lagunas santiagueñas cuyas CE alcanzan  $180.000$  y  $135.000 \mu\text{S}/\text{cm}$  y, que contienen aguas muy evapoconcentradas con una posible contribución de flujos regionales profundos e hidroquímicamente más evolucionados (Heredia et al., 2018). Los flujos superficiales procedentes de estas lagunas ingresan a la provincia de Santa Fe a través de la Cañada de las Víboras, aportando sales a un sistema caracterizado localmente por

una alta heterogeneidad geográfica en la composición hidroquímica. La relación Na/Cl cercana a 1 indica que las aguas profundas (> 150 m) se hayan enriquecidas en estos iones por disolución de halita. Las aguas someras (< 20 m) e intermedias (20 a 60 m) presentan una evolución similar debido al ascenso de las aguas profundas e indican un mayor enriquecimiento relativo del Na frente al Cl, debido a la presencia de SO<sub>4</sub>Na (Fig. 3b). El Ca<sup>2+</sup> está presente en mayor medida en muestras someras, intermedias y profundas, salvo en el rango de 60m a 150m donde su contenido es bajo (Fig. 3c). El origen de la presencia de este catión en profundidad es aún motivo de análisis.

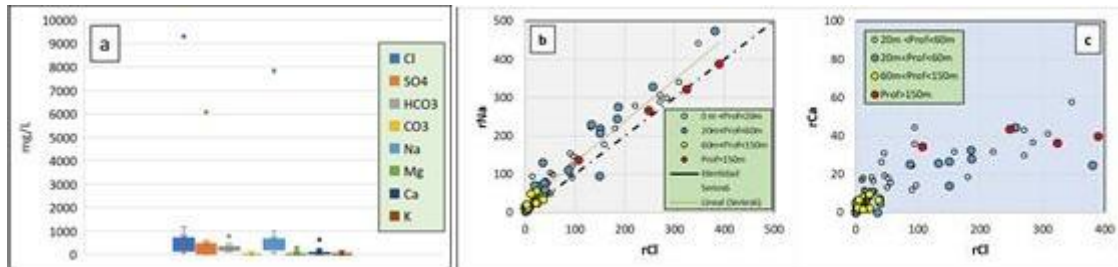


Figura 3. a. Composición de las aguas superficiales. b Relación Na-Cl. c. Relación SO<sub>4</sub>-Cl

## Conclusiones

Se ha estudiado en forma preliminar la hidroquímica de las aguas de la región de los BBSS, teniendo en cuenta la geología de la zona. Las aguas analizadas tienen mineralizaciones de bajas a muy elevadas, que pone de manifiesto la heterogeneidad y complejidad del ambiente estudiado. En este contexto se evidencia que la salinidad de las aguas posiblemente se deba a procesos de mezcla de aguas de distinto origen, evaporación directa de espejos de agua y de agua freática, y ascenso de aguas profundas más salinas cuyos indicios se demuestran por el valor creciente con la profundidad de las variables analizadas. Estos resultados contribuirán a contrastar la validez del modelo de flujos propuesto por Töth para cuencas sedimentarias.

## Bibliografía

- Brunetto, E., Kröhling, D. y Francisconi, C.** 2014. La geomorfología de una región representativa de Pampa Norte y sur de la Mesopotamia en el contexto de los procesos endógenos. Aportes para el mapeo de áreas de llanura. XIX Congreso Geológico Argentino. Córdoba, 2-6 de junio, S13.
- Giraut M., Laboranti, C., Rey, C., Fioriti, M. y Ludueña, S.** 2001. Cuenca propia de los Bajos Submeridionales, creación de una unidad hídrica independiente. SSRH-INA.
- Heredia, J., Rodríguez, L., Sosa, D., Veizaga, E., Thalmeier, B., Moreno Merino, L., Marchetti, Z., Díaz, E., Castro, S.** 2018. Indicios isotópicos de circulación regional en el Sistema Hidrogeológico de los Bajos Submeridionales. XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología. Oct. 2018, Salta Arg.
- Iriondo, M.H.** 2010. Geología del Cuaternario de Argentina. Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino.
- Panigatti J.L.** 2017. Conocimiento y manejo de suelos halohidromórficos. Caso de los Bajos Submeridionales de Santa Fe. En: Ambientes salinos y alcalinos de la Argentina. (Eds.: Taleisnik y Lavado). Orientación Gráfica Editora. 570 pp.
- Peri, V.G.** 2013. Caracterización morfotectónica de las Lomadas de Otumpa (Gran Chaco, Santiago del Estero y Chaco): influencias en el control del drenaje. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Buenos Aires, 321.
- Sosa, D.** 2012. El agua, excesos y déficits, en la producción agrícola de secano y pecuaria dentro de la cuenca inferior del río Salado. Tesis Doctoral. Univ. de la Coruña. España.
- Töth, J.** 1966. Mapping and interpretation of field phenomena for groundwater reconnaissance in a prairie environment, Alberta, Canada. Bull. Intern. Assoc. Sci. Hydrol. V.9, 20-68.