

Caracterización hidroquímica e isotópica de las aguas subterráneas del entorno de los Esteros de Iberá (Corrientes, Argentina)

Marisol Manzano¹, Leticia Rodríguez², Luis Vives³, Lucía Ortega^{1,3}, Javier Heredia⁴, Andrés Mira³, Juan Nittman², Andrea Valladares⁵, Luis Araguás⁶, Pradeep Aggarwal⁶

¹ Universidad Politécnica de Cartagena. P^o de Alfonso XIII, 52. 30203 Cartagena, España.

² Universidad Nacional del Litoral, Centro de Estudios Hidroambientales. Ciudad Universitaria CC 217 Ruta Nacional 168 km 472.4. (3000) Santa Fe, Argentina.

³ Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Usunoff", UNCPBA-CIC. República de Italia 780, (7300) Azul, Buenos Aires, Argentina.

⁴ Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas 23. 28003 Madrid, España.

⁵ Subsecretaría de Recursos Hídricos. Esmeralda 255, C1035ABE, CABA, Argentina

⁶ Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Vienna International Centre, PO Box 100. A1400 Viena, Austria

Mail de contacto: marisol.manzano@upct.es

RESUMEN

Se han caracterizado química e isotópicamente las aguas subterráneas del entorno de los Esteros del Iberá. Las aguas tienen mineralizaciones muy bajas a medias; las más salinas son de los sondeos más profundos (>1000 m). Hacia el centro, N y NE de la zona las aguas son principalmente bicarbonatadas sódicas, mientras que al S son bicarbonatadas cálcicas. Los dos pozos más profundos, Oberá (SO Misiones; 1050 m) y Monte Caseros (SE Corrientes; 1250 m), tienen aguas sulfatadas sódicas. El primero capta formaciones del SAG; el segundo formaciones salinas infrayacentes al SAG. En el entorno cercano a la laguna Iberá hay cuatro pozos de unos 100 m de profundidad que tienen agua clorurada sódica levemente salina, la cual parece ser mezcla del SAG y de otras formaciones. Varias aguas de distintas profundidades tienen actividades de ¹⁴C bajas. La combinación de $\delta^{18}\text{O}$, Cl y ¹⁴C sugiere que hay dos componentes antiguas que darían lugar a dos grupos de aguas mezcla.

Palabras clave: Iberá, SAG, aguas subterráneas, hidroquímica, isótopos.

ABSTRACT

A chemical and isotopic characterization of the groundwaters around the Esteros del Iberá has been carried out. All groundwater samples have low to medium mineralization, except the two deepest samples (>1000 m). To the center, N and NE parts of the study area sodium-carbonate waters dominate; to the S and SE they are mostly calcium-carbonate. The two deepest samples, one in Oberá (SW Misiones; depth: 1050 m) and the other one in Monte Caseros (SE Corrientes; depth: 1250 m) belong to sodium-sulphate type. In the first case groundwater comes from GAS formations; in the second one deep saline groundwater comes from pre-GAS formations. In a small area close to the Iberá lagoon there are four wells around 100 m deep having sodium-chloride water, which is attributed to the GAS formations. Some groundwaters from different depths have low ¹⁴C activities. The combined study of $\delta^{18}\text{O}$, Cl and ¹⁴C suggests the presence of two different old components which would result on two groups of mixed waters.

Keywords: Iberá, GAS, groundwater, hydrochemistry, isotopes.

Introducción

Los estudios hidrogeológicos, hidrogeoquímicos e isotópicos llevados a cabo en el marco del Proyecto para la protección ambiental y el desarrollo sostenible del Sistema Acuífero Guaraní (Proyecto SAG) generaron un modelo conceptual de funcionamiento del SAG

que tenía algunas incertidumbres significativas. Algunas de las más relevantes se refieren a la posible transferencia de agua subterránea entre las subcuencas del SAG situadas al N y al S de la dorsal de Asunción-Río Grande, así como a la posible descarga de flujos regionales del SAG a los Esteros de Iberá.

Con motivo de la participación de algunos de los autores de este trabajo en el Proyecto SAG (Vives et al., 2008; Manzano y Guimaraens, 2012), en el año 2009 se iniciaron trabajos preliminares de hidroquímica, hidrología isotópica y geología en el entorno de los Esteros de Iberá con el objetivo de generar información que permitiera abordar algunas de las incertidumbres antes mencionadas. Este trabajo presenta algunos resultados de estos estudios preliminares.

Objetivos

El principal objetivo del estudio ha sido caracterizar química e isotópicamente las aguas subterráneas de los acuíferos del entorno de los Esteros del Iberá.

Características de la zona de estudio

La zona de estudio consiste en las distintas formaciones acuíferas situadas en el entorno cercano a los Esteros del Iberá. Los límites aproximados de la zona son (Fig. 1): por el NE, el extremo SO de la Provincia de Misiones desde las poblaciones de San Ignacio y Alem; por el E el río Uruguay; por el NE el río Paraná; por el O el borde occidental de los Esteros del Iberá y por el S el límite de la Provincia de Corrientes. El elemento hidrológico más singular de la zona son los Esteros del Iberá. Bajo este nombre se engloba un conjunto de esteros, lagunas, bañados y arroyos que se ubican sobre la morfología de un abanico aluvial de edad pliocena a actual (Orfeo et al., 2011).

La geología regional se conoce relativamente bien (Herbst y Santa Cruz, 1995; Chebli et al., 1999). El substrato de los Esteros del Iberá consiste en arenas, limos y arcillas de las formaciones Ituzaingó, Toropí-Yupoí y San Guillermo. Al N y NE de la zona afloran basaltos de la Fm Serra Geral y arenas de las formaciones que los recubren. Bajo los basaltos hay arenas de las formaciones del SAG, las cuales afloran en ventanas tectónicas al NE (Misiones) y al E (Corrientes) de los Esteros.

Estudios recientes (Mira et al., 2013) indican que el conjunto de las formaciones está afectado por grandes fallas subverticales que delimitan bloques basculados hacia el E, y el borde E de los Esteros está controlado por la falla Ituzaingó-La Paz (Fig. 1). El basamento estaría compartimentado en bloques y uno de ellos, con una anchura <100 km y una profundidad <2000 m, sigue una dirección SE-NO por el centro de la provincia de Corrientes, conformando el alto estructural de la dorsal Asunción-Río Grande. Una descripción más detallada de la geología de la zona de estudio

se puede ver en el trabajo mencionado.

El modelo hidrogeológico conceptual sugiere que los Esteros podrían recibir descarga de agua subterránea de flujos regionales, incluyendo aportes de las formaciones profundas del SAG (Araújo et al., 1999; Campos, 2000; Vives et al., 2008; Rodríguez et al., 2009). La existencia de fallas profundas proporciona condiciones para el ascenso de agua de las formaciones más profundas hacia las más someras y, eventualmente, para la descarga a la red superficial (este aspecto es objeto del trabajo de Ortega et al., 2013). Además, la dorsal de Asunción-Río Grande debe jugar un papel relevante en el flujo regional de agua subterránea, favoreciendo quizás los flujos verticales.

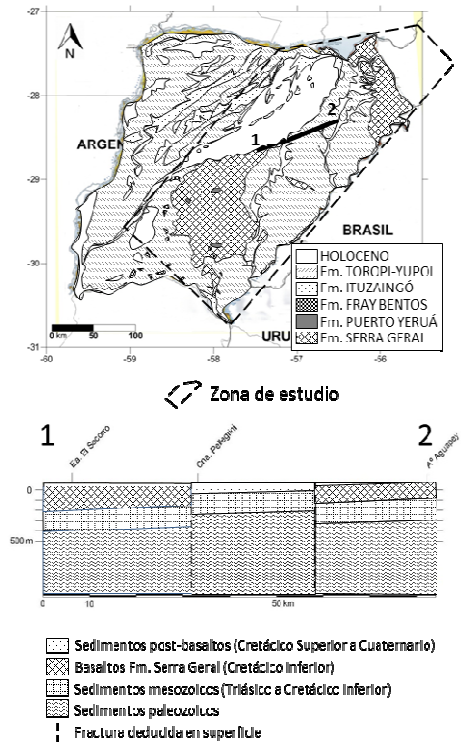


Figura 1. Arriba: geología simplificada de la Provincia de Corrientes (modificado de Herbst y Santa Cruz, 1995). Abajo: sección geológica mostrando la existencia y extensión de grandes fallas (modificado de Mira et al., 2013).

Metodología

Se han tomado y analizado 55 muestras de aguas subterráneas procedentes de pozos y sondeos con profundidades entre 10 y 1250 m.

La mayoría de las muestras proceden de puntos ubicados entre el SO de la Provincia de Misiones y el SE de la Provincia de Corrientes, con una notable concentración en la zona limitada por el río Uruguay y el borde oriental de los Esteros del Iberá. Las muestras se tomaron en agosto-septiembre de los años 2009, 2010 y 2011 y en julio de 2012.

En campo se midió el pH, la temperatura, la conductividad eléctrica (CE) y, cuando fue posible, la alcalinidad. Las siguientes variables químicas e isotópicas se midieron en los laboratorios que se indican:

- Componentes mayoritarios: Cl, SO₄, HCO₃, Na, K, Ca y Mg en el IHLLA (Azul).
- Componentes minoritarios: NO₃ y PO₄ en el IHLLA (Azul).
- Componentes trazas: F; en el IHLLA. Br y relación Cl/Br (26 muestras) en el Instituto Geológico y Minero de España (Madrid).
- pH, temperatura, CE y alcalinidad en el IHLLA (Azul).
- δ¹⁸O y δ²H: 32 muestras en la Agencia Internacional de Energía Atómica (OIEA, Viena).
- ¹⁴C y δ¹³C: 26 muestras en la Universidad de Groningen (Holanda).

Aunque las aguas subterráneas estudiadas proceden de pozos y sondeos con distintas profundidades y perforados en distintas formaciones, la caracterización química e isotópica se aborda aquí en conjunto con el objetivo de identificar los tipos químicos de aguas existentes y las zonas donde se puedan estar produciendo mezclas entre aguas de distintas formaciones.

Por el momento los resultados analíticos se han estudiado con métodos gráficos tradicionales. En Ortega et al. (2013) se describen las características de las aguas superficiales muestreadas en las mismas campañas que las aguas subterráneas.

Resultados

Caracterización hidroquímica

Las aguas subterráneas estudiadas tienen mineralizaciones entre muy bajas y medias (CE= 30 a 6300 μS/cm). El grueso de las aguas no muestra relación entre la salinidad y la profundidad (Fig. 2). Las aguas de los pozos con profundidades entre 20 y 200 m, sea cual sea la ubicación de los mismos, cubren casi todo el rango de salinidades medidas. La muestra más mineralizada de todas, la 54G, pertenece a un sondeo surgente de 1250 m de profundidad ubicado en Monte Caseros (SE de Corrientes, junto al río Uruguay).

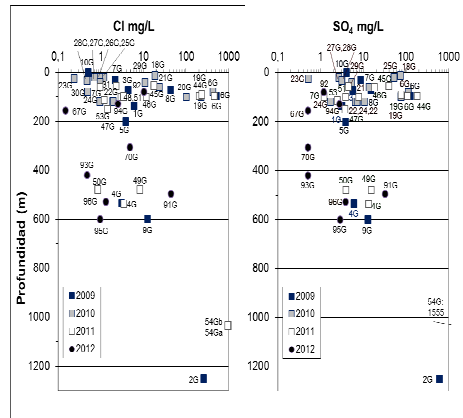


Figura 2. Distribución de los contenidos de Cl y SO₄ (mg/L) con la profundidad de los pozos.

Las aguas pertenecen a cuatro facies químicas: bicarbonatadas sódicas (HCO₃-Na), bicarbonatadas cálcicas o cálcico-sódicas (HCO₃-Ca y HCO₃-Ca/Na), cloruradas-sódicas (Cl-Na) y sulfatadas-sódicas (SO₄-Na) (Fig. 3).

Las aguas de los pozos con profundidades entre 20 y 200 m presentan todas las facies químicas encontradas, mientras que las aguas de pozos entre 400 y 600 m y por debajo de 1000 m son solo de facies Cl-Na o SO₄-Na. Esto sugiere que las aguas de los pozos más profundos están constituidas principalmente por aguas salinas de formaciones profundas, mientras que las de los pozos con menos de 200 m son mezclas de aguas de fuentes más variadas. En estas últimas el predominio de una u otra fuente posiblemente depende de factores tales como la estructura geológica en el entorno de cada sondeo (existencia de fallas, espesor de las distintas formaciones, etc.) y del gradiente hidráulico vertical entre las distintas formaciones.

La distribución espacial de las distintas facies no tiene un patrón único. Las aguas de tipo HCO₃-Na se han encontrado en toda la zona estudiada. Hacia el N y NE de la zona (NE de Corrientes y SO de Misiones) aparecen asociadas a todas las formaciones geológicas y profundidades, al menos entre los 20 y los 600 m. En esta zona son aguas de mineralización baja y media en su mayoría asociadas a los basaltos de la Fm Serra Geral, como es el caso de las muestras 93G, 95G, 69G, 70G y 47G o 48G, pero también a mezclas de aguas de la Fm Ituzaingó con aguas más profundas similares a las de las formaciones del SAG (muestras 22G y 24G). En el borde occidental de los Esteros de Iberá aparecen asociadas a la

Fm Ituzaiingó (muestras 27G, 28G y 60G), y en el borde oriental de los mismos aparecen asociadas a aguas de la Fm Toropí-Yupoí y a mezclas de ésta con aguas de las formaciones del SAG (muestras 18G, 21G y 45G). Al SE de la zona, junto al río Uruguay, aparecen asociadas a la Fm Ituzaiingó (muestra 65G) pero también a mezclas de aguas profundas, de las formaciones del SAG y quizás del pre-SAG (muestra 91G). Al S aparecen asociadas a basaltos (muestras 57G, 63G y 7G).

Las aguas de tipo $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ se encuentran principalmente al SE de Corrientes, en el entorno de Mercedes-Curuzú Cuatí y en pozos

con menos de 100 m de profundidad. Su composición se atribuye a la disolución de los minerales carbonatados de las formaciones Mercedes, Guichón y Queguay, aflorantes en esta zona. También hay algunas aguas de tipo $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ en otras zonas: al SO de Misiones y NE de Corrientes, en pozos de distintas profundidades (Fig. 3), la composición se atribuye principalmente a la disolución de minerales carbonatados de suelos y regolitos durante la recarga; en el borde S del embalse de Yacyretá las muestras 30G y 31G, procedentes de dos pozos poco profundos, parecen ser agua del embalse.

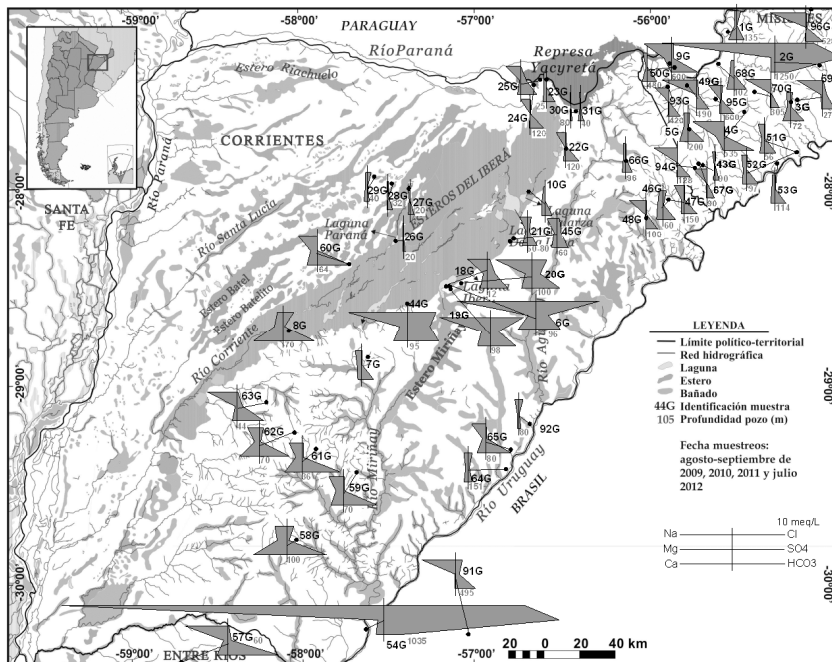


Figura 3. Diagramas de Stiff modificados de las aguas subterráneas estudiadas.

Las aguas de tipo Cl-Na aparecen agrupadas en dos zonas, una junto al río Uruguay a la altura de Yapeyú (muestras 92G y 64G) y otra en el borde SE de los Esteros, junto a la laguna de Iberá (muestras 6G, 19G, 20G y 44G). Las aguas 92G y 62G proceden de dos pozos que en teoría captan agua de la Fm Ituzaiingó pero en realidad explotan una mezcla de agua de esta formación y agua del río. Las muestras 6G, 19G, 20G y 44G proceden de pozos con profundidades cercanas a 100 m que explotan aguas de las formaciones del SAG, posiblemente mezcladas con aguas de otras formaciones.

Las aguas de tipo $\text{SO}_4\text{-Na}$ se han encontrado solo en dos pozos: el 2G (Oberá, SO de Misiones), con 1050 m de profundidad, y el 54G (Monte Caseros), con 1250 m. Las características del pozo 2G se atribuyen a la contribución de agua de las formaciones del SAG y quizás del pre-SAG. El pozo 54G capta formaciones salinas infrayacentes al SAG (ver Rodríguez et al., 2013).

En cualquier caso, parece claro que existen mezclas verticales en las cuales a veces domina el agua de las formaciones superiores y a veces el agua de formaciones más profundas.

Caracterización isotópica

Isótopos estables del agua

En el conjunto de las aguas subterráneas analizadas el rango de valores de $\delta^{18}\text{O}$ oscila entre -4,2 y -6,4 ‰ y el de $\delta^2\text{H}$ entre -23 y -38 ‰ (Fig. 4). En general no se observan indicios de modificaciones posteriores a la recarga, excepto en las dos muestras del sondeo de Monte Caseros (54Ga y 54Gb, tomadas con unos días de diferencia), cuyo enriquecimiento se puede explicar por la salinidad de las aguas que capta el sondeo.

La mayoría de las muestras se ubican por encima de la recta meteórica mundial y tienen valores de exceso de deuterio entre +10 y +15,5 ‰. Dado que no hay datos isotópicos de la lluvia local, como referencia regional se han usado los valores disponibles en la base de datos de la OIEA para las lluvias de ciudades ubicadas en el entorno de la zona de estudio: Santa Fe, Corrientes y Chaco en Argentina, Asunción en Paraguay y Porto Alegre en Brasil. Los valores medios de las lluvias de esas ciudades cubren casi el mismo rango de valores que las aguas subterráneas estudiadas. Las ciudades más cercanas a la zona de estudio, Asunción y Corrientes, tienen lluvias medias más ligeras que las aguas subterráneas de la zona de estudio, pero las series temporales son muy cortas (7 y 4 años, respectivamente) y podrían tener sesgos climáticos. Las lluvias de Chaco y Santa Fe son más pesadas, pero también corresponden a series muy cortas (1 y 5 años, respectivamente). La serie más larga es la de Porto Alegre (18 años). Tiene el valor medio más pesado de todas, posiblemente por la influencia oceánica, pero es similar a las aguas subterráneas someras de los bordes oriental (entorno de Laguna Galarza) y occidental de los Esteros de Iberá.

En resumen, la Fig. 4 indica que la mayoría de las aguas tiene valores que son coherentes con la recarga actual de lluvias con distintos orígenes atmosféricos. La única agua claramente modificada es la del sondeo Monte Caseros (54G), que está enriquecida por mezcla con agua de formaciones salinas. Varias muestras con valores de $\delta^{18}\text{O}$ menores de -4,5 ‰ podrían estar algo evaporadas durante la recarga, aunque de forma poco significativa.

Aunque en este trabajo no se estudian otros aspectos de las aguas superficiales, en la Fig. 4 se han incluido las muestras de distintos lugares analizadas. Las muestras 14S, 15S, 16S y 17S proceden de distintas ubicaciones de la laguna Galarza (E de los Esteros). La muestra 38S procede del arroyo Carambola y las muestras

39S, 40S y 41S de la laguna Paraná, todos ellos al O de los Esteros. La muestra 42S procede del Río Corriente cerca de los Esteros. Todas ellas son aguas claramente evaporadas. Únicamente dos aguas de ríos, la 55S (Río Miriñay en cuenca alta) y 56S (río Uruguay en San Javier, Misiones) no están evaporadas. Sus valores son coherentes con los de algunas de las aguas subterráneas medidas, pero también con la lluvia.

La distribución de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ con la profundidad de los sondeos muestra que las aguas de los primeros 200 m presentan todo el rango de variación medido (Fig. 5). Las aguas muestreadas entre 400 y 600 m y entre 1000 y 1250 m tienen valores variados, pero dentro del rango de las aguas por encima de los 200 m.

Isótopos del carbono inorgánico disuelto

El estudio conjunto de los valores de ^{14}C y $\delta^{13}\text{C}$ (Fig. 6) sugiere que el CO_2 edáfico de la zona podría tener una $\delta^{13}\text{C}$ en torno a -20 ‰ y que la lluvia está contaminada por ^{14}C . La línea discontinua es el límite teórico entre la zona en la que la evolución conjunta de los valores de ambos isótopos es principalmente resultado de procesos que ocurren en presencia de CO_2 edáfico (zona de recarga), y la zona en la que dicha evolución es resultado de procesos que ocurren principalmente en ausencia de CO_2 edáfico.

La muestra 10G es agua de la zona freática a menos de 0,5 m de profundidad en el borde oriental de los Esteros; si se considera representativa del agua de recarga local, las muestras 1G, 3G, 5G, 7G, 8G, 10G, 23G, 27G y 50G son aguas recientes. Las aguas 25G y 21G, procedentes de sondeos de menos de 100 m situados en los bordes N y E de los Esteros respectivamente, podrían tener cierta contribución de aguas antiguas. Las muestras 22G, 24G, 20G y 45G, procedentes de sondeos de entre 100 y 120 m de profundidad ubicados en el borde E, NE y N de los Esteros parecen mezclas de aguas recientes y antiguas, con una mayor contribución de aguas antiguas en la 20G y la 45G. Las demás muestras son aguas antiguas.

Como en el caso del $\delta^{18}\text{O}$, la distribución del ^{14}C con la profundidad (ver Fig. 5) indica que en los primeros 200 m se encuentran aguas con todo el rango de valores medidos, y que las muestras más profundas tienen valores variados pero dentro del rango de las más someras. Por tanto, al igual que la química no isotópica, los isótopos también indican que la mayoría de las muestras probablemente sean mezclas de aguas de distintos tiempos de permanencia. Por

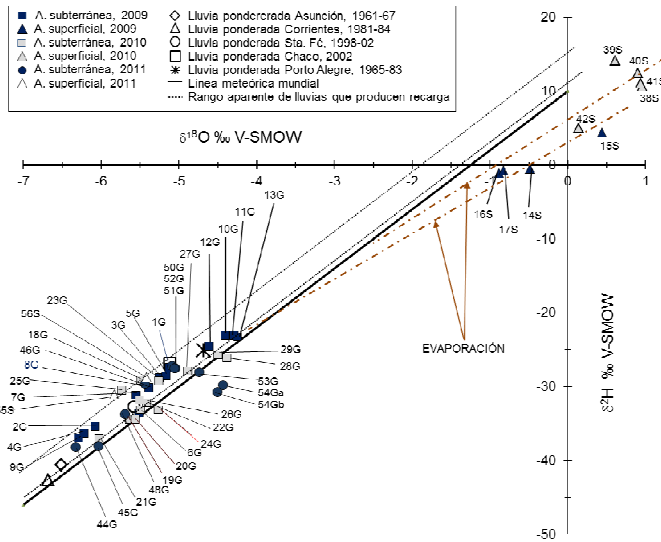


Figura 4. Valores de $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ en las aguas subterráneas y superficiales estudiadas.

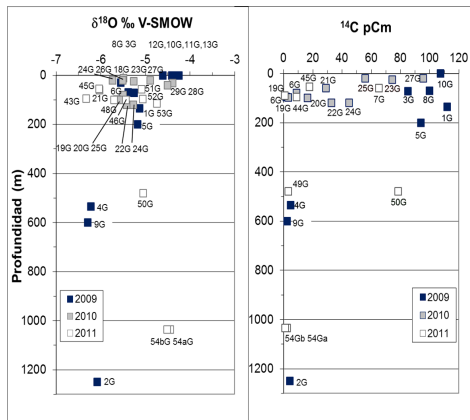


Figura 5. Distribución de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y ^{14}C con la profundidad.

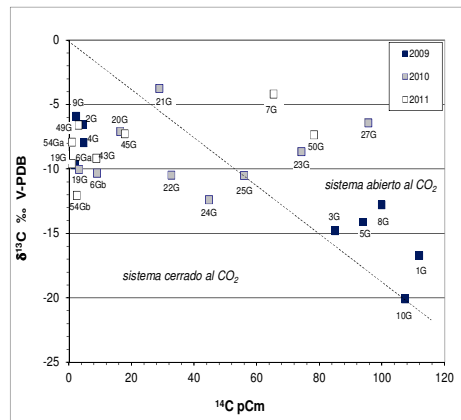


Figura 6. Actividad de ^{14}C vs $\delta^{13}\text{C}$ en aguas subterráneas de la zona de estudio.

esta razón no se han calculado edades con los valores de ^{14}C , ya que ello proporcionaría resultados no realistas.

La existencia de mezclas se observa claramente comparando el valor de $\delta^{18}\text{O}$ con el contenido de Cl y con la actividad de ^{14}C . En esta zona ni el contenido de Cl ni la actividad de ^{14}C por sí solos discriminan la existencia de aguas antiguas de procedencias distintas, pero combinados con el $\delta^{18}\text{O}$ sí parecen discriminar

aguas de distinto origen. La Fig. 7a sugiere que las aguas con contenidos de $\text{Cl} > 3\text{-4 mg/L}$ son mezcla de aguas de aporte atmosférico reciente (apenas tienen Cl) con aguas más antiguas que parecen tener dos orígenes distintos, a juzgar por sus valores diferenciados de $\delta^{18}\text{O}$. Una de estas aguas antiguas tiene valores de $\delta^{18}\text{O}$ aparentemente en torno a $-5,5 \text{ ‰}$, y daría lugar a las aguas mezcla del grupo A; la otra tiene valores aparentemente en torno a $-6,5 \text{ ‰}$

(quizás recargada en una época más fría que la otra) y daría lugar a las aguas mezcla del grupo B. La Fig. 7b muestra esas mismas dos agrupaciones para las aguas con $^{14}\text{C} < 60$ pCm, es decir para las aguas con una contribución antigua clara.

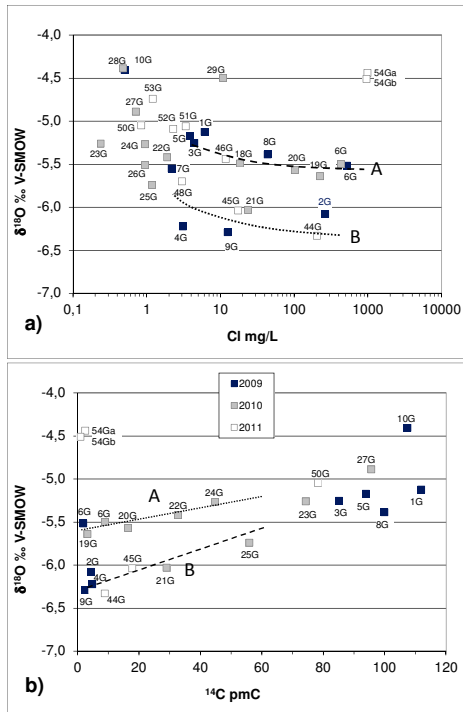


Figura 7. a) Relación entre los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y la concentración de Cl. b) Relación entre los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y la actividad de ^{14}C . Ver explicación en texto.

La Fig. 7 también sugiere que el agua del sondeo Monte Caseros (54G) procede, completamente o parcialmente (pero significativamente) de formaciones distintas a las del resto de sondeos muestreados.

La ubicación espacial de las aguas mezcla de ambos grupos no parece seguir un patrón concreto (Fig. 8). Los factores de control deben ser la distribución espacial (en 3D) de las distintas formaciones geológicas, los potenciales hidráulicos relativos y la procedencia de los las líneas de flujo regionales. Estos aspectos deben ser estudiados en detalle.

Conclusiones

Se ha realizado una caracterización hidroquímica e isotópica de las aguas

subterráneas del entorno de los Esteros del Iberá, analizando la distribución espacial y con la profundidad de ambos tipos de variables y su posible relación con las distintas formaciones de la zona.

Las aguas subterráneas muestreadas tienen mineralizaciones entre muy bajas y medias; las más salinas proceden de los sondeos más profundos (>1000 m). Aunque no hay un patrón espacial concreto, hacia el centro, N y NE de la zona dominan las aguas bicarbonatadas sódicas, que parecen asociadas a todas las formaciones geológicas y profundidades hasta al menos los 600 m. Hacia el S dominan las aguas de tipo bicarbonatado cálcico.

Dos pozos tienen aguas sulfatadas sódicas, uno ubicado al SO de Misiones, de 1050 m de profundidad (2G), y otro ubicado al SE de Corrientes, de 1050 m de profundidad (54G). Las características del pozo 2G se atribuyen a contribución de agua de las formaciones del SAG y quizás del pre-SAG. El pozo 54G capta formaciones salinas infrayacentes al SAG. En una zona pequeña en torno al nacimiento del Miriñay hay cuatro pozos con profundidades cercanas a 100 m que tienen agua clorurada sódica levemente salina, la cual parece ser mezcla de las formaciones del SAG y otras formaciones.

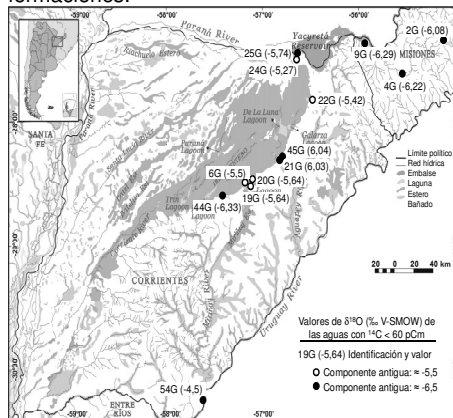


Figura 8. Distribución espacial de las aguas mezcla de los grupos A y B de la Fig. 7. Solo se muestran las aguas con una contribución clara de agua antigua ($^{14}\text{C} < 60$ pCm).

Según los isótopos estables, el sondeo 54G (Monte Caseros) tiene agua modificada por mezcla con aguas salinas, mientras que el resto de aguas tienen valores coherentes con la recarga actual. Varias muestras con valores de $\delta^{18}\text{O}$ menores de -4.5 ‰ podrían estar algo

evaporadas durante la recarga, aunque de forma poco significativa.

El ^{14}C indica que una parte de las aguas son contemporáneas pero otras son antiguas, singularmente las de tipo $\text{SO}_4\text{-Na}$ y Cl-Na , pero también muchas aguas poco profundas de tipo $\text{HCO}_3\text{-Na}$ procedentes del borde E de los Esteros y del SO de Misiones, las cuales tienen $^{14}\text{C} < 50 \text{ pCm}$.

El estudio combinado del $\delta^{18}\text{O}$, el Cl y el ^{14}C parece discriminar dos aguas antiguas distintas, una con valores de $\delta^{18}\text{O}$ aparentemente en torno a $-5,5 \text{ ‰}$ y otra con valores aparentemente en torno a $-6,5 \text{ ‰}$. La mezcla de aguas recientes con esas dos aguas antiguas daría lugar a dos grupos de aguas mezcla cuya ubicación espacial no sigue un patrón claro, por el momento.

En resumen, en los primeros 200 m de terreno se encuentra casi todo el rango de salinidades y tipos químicos encontrados, así como todo el rango de valores de isótopos estables y ^{14}C . Al aumentar la profundidad se reduce el rango de variabilidad, haciéndose las aguas más salinas, más viejas y más pesadas isotópicamente.

El estudio sugiere que hay lugares donde las aguas viejas de las formaciones más profundas ascienden y se mezclan con las aguas contemporáneas. Los factores de control deben ser la distribución espacial de las distintas formaciones geológicas, los potenciales hidráulicos relativos y la procedencia de los las líneas de flujo regionales. Estos aspectos deben ser estudiados en detalle.

Agradecimientos

Los trabajos han sido financiados por la Agencia Nacional de Promoción científica y Tecnológica de la República Argentina, por la Agencia Internacional de Energía Atómica y por el Ministerio de Economía y Competitividad de España (proyecto MICIN-REDESAC). Se agradece a la Dirección Provincial de Parques de la Provincia de Corrientes su puesta a disposición de personal, vehículos y barcas y al personal técnico del Instituto de Hidrología de Llanuras por su colaboración inestimable en campo y en laboratorio.

Referencias

Araújo, L.M., França, A.B. y Potter, P.E. 1999. Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA. *Hydrogeology Journal*, 7(3): 317-336.

- Campos, H.C.N. 2000. Modelación Conceptual y Matemática del Acuífero Guaraní, Cono Sur. *Acta Geológica Leopoldinense* (São Leopoldo, Rio Grande do Sul), 23 (4): 3-50.
- Chebli, G., Mozetic, M., Rossello, E., Bühler, M. 1999. Cuencas sedimentarias de la llanura chacopampeana. En: Caminos, R. (Ed.) Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales N° 29: 627-644, Buenos Aires.
- Herbst, R.; Santa Cruz, J. 1995. Mapa geológico de la Provincia de Corrientes E: 1:500.000. Secretaría de Minería. Dirección Nacional del Servicio Geológico de Argentina.
- Manzano, M. y Guimaraens, M. 2012. Hidroquímica del Sistema Acuífero Guaraní e implicaciones para la gestión. *Boletín Geológico y Minero*, 123 (3): 281-295.
- Mira, A., Rodríguez, L., Veroslavsky, G. y Vives, L., 2013. Actualización del modelo hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero Guaraní y la influencia geológica del sector Argentino. VII Congreso Argentino de Hidrogeología.
- Orfeo, O., Georgieff, S.; Anis, K., Rizo, G. 2011. Depósitos sedimentarios modernos y antiguos del Río Paraná (Corrientes, Argentina): Un Análisis Comparativo XXIII Congreso Nacional del Agua Resistencia, Chaco, Argentina 101-109.
- Ortega, L, Manzano, M., Rodríguez, L., Vives, L., Mira, A., Heredia, J., Araguás, L. y Aggarwal P. 2013. Relaciones entre aguas superficiales y subterráneas en la región hídrica de los Esteros del Iberá (Corrientes, Argentina). VI Seminario Latinoamericano de Temas Actuales en la Hidrología Subterránea.
- Rodríguez, L., Vives, L., Gómez, A. y Santos Cota, S.D. 2009. Simulación del flujo subterráneo regional del Sistema Acuífero Guaraní en régimen estacionario. *Mecánica Computacional*. Vol XXVIII: 2817-2832, García Bauza C., Lotito P., Parente L., Vénere M. (Eds).
- Rodríguez, L., Gamazo, P., Mira, M., Nittmann, J., Ramos, J., Vives, L., Santa Cruz, J., de los Santos J. y Veroslavsky G. 2013. Avance en el conocimiento hidrogeológico del Sistema Acuífero Guaraní en el sector sur. VII Congreso Argentino de Hidrogeología.
- Vives L, Rodríguez L, Gómez, A. y Santos Cota S. D., 2008. Modelación numérica regional del Sistema Acuífero Guaraní. Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní. 144 pp.