



## GASES NOBLES EN EL ESTUDIO DEL ACUIFERO PAMPEANO

### NOBLE GASES APPLIED TO THE STUDY OF THE PAMPEANO AQUIFER

Martínez, Daniel<sup>1</sup>; Matsumoto, Takuya<sup>2</sup>; Fourré, Elise<sup>3</sup>; Quiroz Londoño, Orlando Mauricio<sup>1</sup>; Solomon, Kip<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>CONICET-Universidad Nacional de Mar del Plata, <sup>2</sup>Organismo Internacional de Energía Atómica; <sup>3</sup>Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Gif-sur-Yvette, Francia; <sup>4</sup>Universidad de Utah, Estados Unidos.

[demarti@mdp.edu.ar](mailto:demarti@mdp.edu.ar)

#### Resumen

La solubilidad de los gases en agua es un proceso que puede ser acotado con un número reducido de variables ambientales. Los gases nobles, por su carácter no reactivo, son trazadores ideales para estudios en aguas subterráneas. Algunos de ellos son radionúclidos o productos de desintegración radiactiva, lo cual les confiere especial interés para la datación. En varias localizaciones en el sudeste de la provincia de Buenos Aires se tomaron muestras para la determinación de gases nobles por espectrometría de masas. Los resultados aportan al conocimiento en diferentes aspectos. Por una parte se ha determinado el componente de exceso de aire que se vincula con las oscilaciones del nivel freático. La temperatura del agua durante la recarga se calculó en un promedio de 13,4°C. La relación  $^3\text{H}/^3\text{He}$  permite determinar un gradiente de edades desde 5 a más de 40 años, mientras que las concentraciones de  $^4\text{He}$  resultan adecuadas como indicador de edades relativas.

**Palabras clave:** acuífero Pampeano, gases nobles, edad del agua subterránea, temperatura de recarga.

#### Introducción

La medición de las concentraciones de gases es un proxy importante para los estudios de aguas subterráneas, ya que la cantidad disuelta de gas en el agua refleja las condiciones ambientales durante la disolución. Es especialmente interesante, ya que a medida que el agua subterránea se aísla de la atmósfera, el contenido de gas disuelto, si se conserva, es una herramienta útil para obtener información sobre las condiciones del área de recarga. Sin embargo, para preservar las concentraciones obtenidas durante la recarga, esos gases deben ser no reactivos, y este es el caso de los gases nobles (He, Ar, Xe, Kr, Ne). Por esta razón, los gases nobles son excelentes herramientas geoquímicas para investigar una variedad de parámetros físicos de sistemas geológicos y ambientales (Aeschbach-Hertig et al., 1999).

Gracias a dos Proyectos de Investigación Coordinados (CRP) sucesivos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), se pudo obtener una cantidad interesante de datos de gases nobles en muestras de agua del Acuífero Pampeano, en el sureste de la Prov. de Buenos Aires. (Figura 1). En esta contribución se presentan los principales resultados que hacen a la caracterización de las aguas subterráneas a partir del estudio de los gases nobles.

#### Materiales y Métodos

El área de estudio se centra principalmente en las cuencas del río Quequen Grande (QGRC) y la cuenca de la laguna de Mar Chiquita (MChLC), ambas alrededor de 10.000 km<sup>2</sup>, en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Estas cuencas son representativas de las condiciones dominantes y la hidrogeología general de la llanura húmeda de pampa. Las muestras de agua subterránea para análisis de tritio ( $^3\text{H}$ ) y gases nobles se recolectaron durante 4 campañas de muestreo diferentes (figura 1): mayo de 2008, abril / mayo de 2012, noviembre de 2012 y abril / mayo de 2014. Algunos puntos de muestreo corresponden a pozos con algunos sistemas de bombeo previamente instalados (G117, G220, G156, G880 y G881), mientras que los otros puntos de muestreo son piezómetros multinivel perforados con fines de investigación en cuatro ubicaciones diferentes, seleccionadas según la trayectoria del agua subterránea definida a partir de los contornos del nivel del agua. Los piezómetros multinivel se perforaron a

profundidades de 12 m, 24 m y 48 metros en las localidades de Vivotatá, San Manuel y Lobería, y de 10, 20 y 30 m en INTA Balcarce, habiéndose tocado el basamento en el último. Se desconoce la profundidad total de los pozos G156, G889 y G881, pero se estima de entre 20 m y 30 m, mientras que el pozo G220 es de 80 m y el G117 de 100 m.

Los pozos fueron bombeados hasta la estabilización de la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica (EC) para asegurar la representatividad de la muestra. Se usó una bomba MP1 Gundfos en el modo de baja velocidad para el agua extraída en los piezómetros anidados. Se tomaron muestras en botellas plásticas para iones mayoritarios, isótopos estables y tritio, y para gases nobles se tomaron en tubos de cobre (Stute y Schlosser, 2000).

Los análisis de  $^3\text{H}$  y gases nobles se realizaron en diferentes laboratorios: a) los análisis de muestras tomadas en mayo de 2008 en la Universidad de Utah utilizando un sistema de purificación criogénica y un espectrómetro de masas de campo sectorial (MAP215-50), b) las muestras tomadas en mayo de 2012, noviembre de 2012 y abril de 2014 se analizaron en el Laboratorio de Hidrología Isotópica del Organismo Internacional de Energía Atómica, c) un conjunto completo de muestras tomadas en noviembre de 2012 sobre los piezómetros anidados se analizaron en el Laboratorio de Ciencias del Climat et L'Enviroment (Francia) midiendo  $^3\text{H}$  y los isótopos de He y Ne para la datación de  $^3\text{H}/^3\text{He}$  (Martínez et al., 2016).

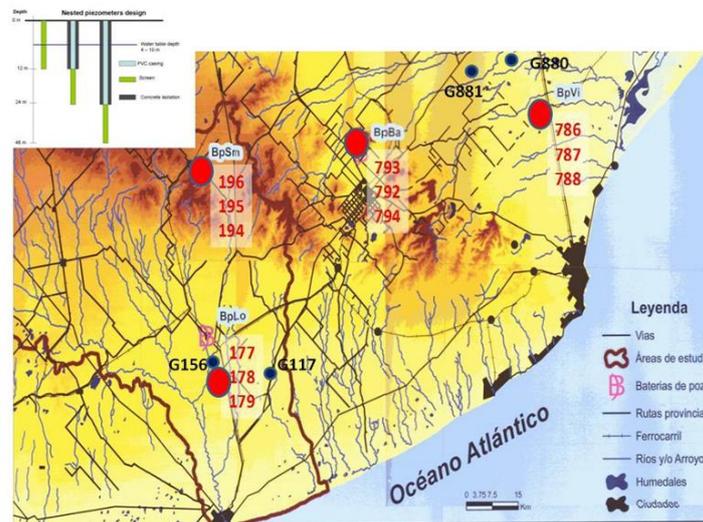


Figura 1. Localización y características de los pozos de muestreo.

## Resultados

### Temperatura de recarga

La solubilidad de los gases disueltos es una función de la temperatura de recarga y la cantidad de aire en exceso. Al analizar múltiples gases nobles (Ne, Ar, Kr, Xe) que tienen diferentes sensibilidades al exceso de aire (por ejemplo, Ne) y temperatura (por ejemplo, Xe), es posible resolver tanto el exceso de aire como la temperatura de recarga. Ver Aeschbach-Hertig y Solomon (2013) para más detalles.

La temperatura de los gases nobles (NGT) en las muestras recolectadas tiene un valor promedio de 13.4°C y una desviación estándar (STD) de 3.7 ° C. La mayoría de las NGT (87%) se encuentran en el rango del valor promedio más o menos la STD (de 9.5°C a 18.4°C). La temperatura promedio anual del aire de los datos que cubren el período 1995-2007 correspondiente a los sitios INTA Balcarce, Mar del Plata y Estancia La Ventura es de 13.6°C (Glok Galli et al., 2014). La temperatura media anual del aire se considera un buen indicador de la temperatura media del suelo y, por lo tanto, de la temperatura de recarga.

### Exceso de aire

En prácticamente todas las muestras, las concentraciones de gases nobles derivados de la atmósfera superan los valores de solubilidad de equilibrio. Este componente "adicional" se

llama exceso de aire y puede explicarse por la disolución en el nivel freático del aire atrapado en el suelo. Este componente de exceso de aire se puede observar en todas nuestras muestras, siendo en la mayoría de las muestras (45%) con valores de exceso de aire por debajo de 5 cm<sup>3</sup>/kg. El exceso se puede esperar en un acuífero, donde la capa freática fluctúa continuamente según las entradas de recarga, a mayores fluctuaciones mayor exceso de aire.

### Edad según <sup>3</sup>H/<sup>3</sup>He

Una de las aplicaciones más interesantes de los gases nobles para los estudios de agua subterránea es la determinación del tiempo de residencia del agua subterránea, generalmente se dice que es la edad del agua. Los conceptos básicos de la datación de aguas subterráneas con <sup>3</sup>H/<sup>3</sup>He se pueden encontrar en Solomon y Cook (2000) entre otros. Se basó en el requisito previo de que la masa de agua esté aislada de la atmósfera una vez en la zona saturada. La “edad aparente” según se puede obtener mediante la determinación del <sup>3</sup>He producido por la desintegración del tritio, o <sup>3</sup>He tritigénico (<sup>3</sup>He<sub>tri</sub>), donde la edad se define por

$$\tau = \lambda^{-1} \ln \left( 1 + \frac{{}^3\text{He}_{\text{tri}}}{{}^3\text{H}} \right)$$

donde  $\lambda$  es la constante de desintegración, <sup>3</sup>H es la concentración de tritio medida y <sup>3</sup>He<sub>tri</sub> es la fracción del <sup>3</sup>He total que se produce por el decaimiento del <sup>3</sup>H. El gradiente y distribución de edades para los piezómetros multinivel fue estudiado por Martínez et al. (2016), pero en la figura 2 se incluyen las edades determinadas en todos los pozos y fechas de muestreo.

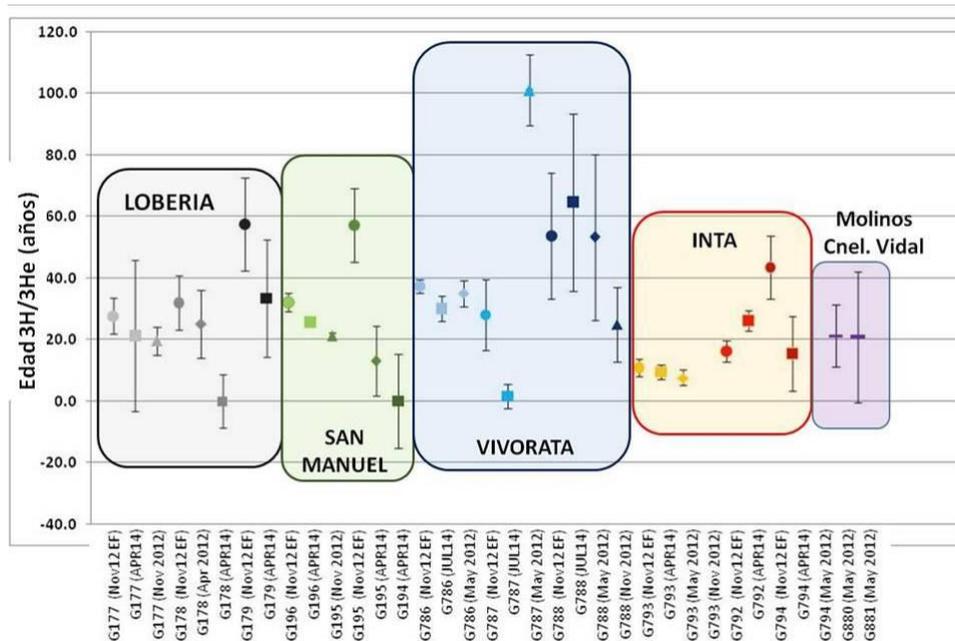


Figura 2. Edades aparentes según <sup>3</sup>H/<sup>3</sup>He en las muestras tomadas

### <sup>4</sup>He como indicador de edad

Solomon et al. (1996) han demostrado que <sup>4</sup>He puede ser útil como una herramienta de datación de aguas subterráneas en un rango de decenas a cientos de años. Esto es posible porque en la cadena de desintegración del uranio se emiten partículas alfa, que son esencialmente núcleos de <sup>4</sup>He, el cual por su carácter de gas noble se acumula en el agua, siendo su mayor contenido indicador de mayor tiempo de contacto con los minerales.

La comparación de la relación <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He (R) en muestras con la relación atmosférica (Ra) de 1.384x10<sup>-6</sup>, mostró que 27 de las 34 muestras están en el rango de R / Ra entre 0.90 y 1.1, que indica una clara similitud a la relación atmosférica. Solo tres muestras están en el rango de 0.8 a 0.9, correspondientes al piezómetro intermedio en el sitio de Vivoratá (G787) y al pozo G117

(100 m de profundidad). Siete muestras están en el rango 0.7-0.8, pertenecientes a las cuatro muestras del piezómetro más profundo en el sitio de Vivotatá (G788), dos al piezómetro más profundo en el sitio de Lobería (G179), y el restante al piezómetro intermedio en el sitio de Vivotatá (G787). Una muestra (G220) tiene un valor bajo de  $R / R_a$  de 0.293. La utilidad del  $^4\text{He}$  terrigénico como indicador de sistemas de flujo, puede observarse en la figura 3, en un gráfico de las relaciones  $^3\text{He}/^4\text{He}$  y  $\text{Ne}/\text{He}$ .

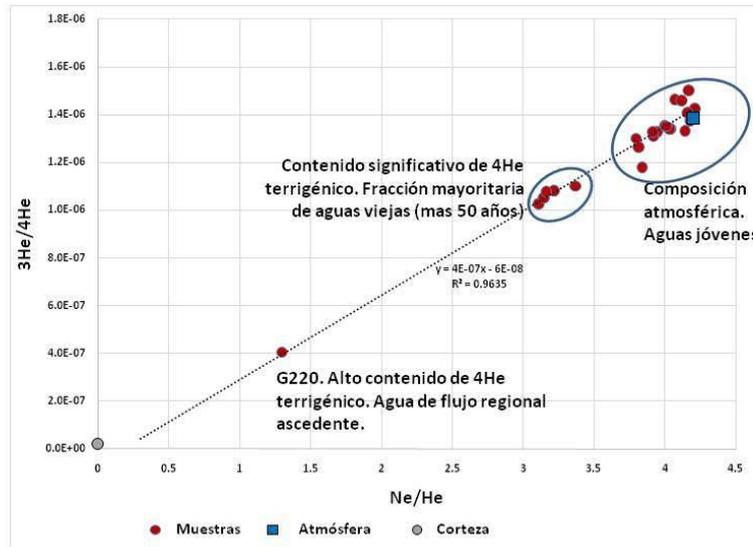


Figura 3. Relación  $^3\text{He}/^4\text{He}$  y  $\text{Ne}/\text{He}$  en el acuífero pampeano.

## Conclusiones

Las determinaciones de gases nobles permiten establecer las temperaturas de recarga del acuífero Pampeano en 13.6°C, con valores de exceso de aire en general menores de 5 cm<sup>3</sup>/kg. Las edades según  $^3\text{H}/^3\text{He}$  van desde pocos años hasta unos 50 años (límite del método), pero la aplicación del  $^4\text{He}$  permite identificar muestras de flujo regionales con aguas más viejas.

## Bibliografía

- Aeschbach-Hertig W, Peeters F, Beyerle U, y Kipfer R**, 1999. Interpretation of dissolved atmospheric noble gases in natural waters. *Water Resources Research*, Vol. 35, N° 9: 2779–2792.
- Aeschbach-Hertig W., Solomon D.K.**, 2013. Noble Gas Thermometry in Groundwater Hydrology. In: Burnard P. (eds) *The Noble Gases as Geochemical Tracers*. *Advances in Isotope Geochemistry*. Springer, Berlin, Heidelberg
- Glok Galli M., Martinez D.E, Kruse E., Lima L. Grondona S.**, 2014. Hydrochemical and isotopic characterization of the hydrological budget of a MAB reserve: Mar Chiquita lagoon, province of Buenos Aires, Argentina. *Environmental Earth Sciences*, Volume 72, Issue 8 (2014), Page 2821-2835.
- Martinez D.E., Fourre E., Quiroz Londoño O.M., Jean-Bapiste P., Glok Galli M., Dapogni A. y Grondona S.**, 2016. Residence time distribution in a large unconfined-semiconfined aquifer in the Argentine's Pampas using  $^3\text{H}/^3\text{He}$  and CFCs tracers. *Hydrogeology Journal*: 24(5), 1107-1120.
- Solomon D.K., Hunt A. Poreda R.J.**, 1996. Source of radiogenic helium 4 in shallow aquifers: implications for dating young groundwaters. *Water Res. Research* 32(6): 1805-1813.
- Solomon, D. K. y Cook P.G.**, 2000.  $^3\text{H}$  and  $^3\text{He}$ , in *Environmental Tracers in Subsurface Hydrology*, Cook and Herczeg, eds., Kluwer Academic Press, 397-424.
- Stute M., y Schlosser P.**, 2000. Atmospheric noble gases. Capítulo 11: 349-437. En Cook P. y Herczeg A. Eds. *Environmental Tracers in Subsurface Hydrology*. Kluwer Academic Publishers.