



## CONTROL GEOLÓGICO SOBRE LA ACUMULACIÓN DEL $^{222}\text{Rn}$ COMO FUNCIÓN DE ENTRADA PARA SISTEMAS HIDROLÓGICOS EN UN ACUÍFERO LOESSICO DE ARGENTINA

### GEOLOGICAL CONTROL ON $^{222}\text{Rn}$ ACCUMULATION AS INPUT FUNCTION FOR HYDROLOGICAL SYSTEMS ON A LOESSIC AQUIFER, ARGENTINA

Vital, Melanie<sup>1,2</sup>; Martínez, Daniel<sup>1,2</sup>; Grondona, Sebastian<sup>1,2</sup>; Quiroz Londoño, Mauricio<sup>1,2</sup>; Morvan, Gilles<sup>3</sup>; Donna, Flavia<sup>1,2</sup>; Daval, Damien<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, UNMDP – CICPBA, <sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, UNMDP – CONICET, <sup>3</sup> Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de Strasbourg (Francia).

[Ingagr.melanie.vital@gmail.com](mailto:Ingagr.melanie.vital@gmail.com)

#### Resumen

Este trabajo analiza las concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$  en el acuífero Pampeano en el sudeste bonaerense, y su relación con las características hidrogeológicas del área de estudio. Se tomaron muestras de agua para la determinación de isotopos estables y  $^{222}\text{Rn}$  y sedimentos en piezómetros multinivel en diferentes localidades. La identificación de minerales portadores de uranio se realizó con microscopio electrónico de barrido, determinándose la presencia de zircon y monacita. El  $^{222}\text{Rn}$  se determinó con un detector RAD7, observándose un rango de actividades de 3.7 a 14 Bq/l. Se reconoció una dependencia del  $^{222}\text{Rn}$  con la profundidad y la proximidad del basamento Precámbrico. La actividad de  $^{222}\text{Rn}$  aumenta linealmente a razón de  $0.08 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ , pero a igual profundidad los valores en pozos cercanos al basamento Precámbrico triplican a los de los pozos que poseen basamento Paleozoico.

**Palabras claves:** Radón, geoquímica isotópica, acuífero Pampeano.

#### Introducción

El estudio del flujo del agua subterránea es necesario para una mejor gestión de los recursos hídricos, y su interacción con el agua superficial es importante para calcular los balances hídricos y determinar los límites sostenibles de explotación (Rosenberry and Winter, 2009). Las mediciones de los caudales de descarga de agua subterránea proporcionan información sobre las rutas de flujo y los tiempos de residencia (Dimova et al., 2013; Petermann et al., 2018). La contribución del agua subterránea a los cursos superficiales se puede estudiar con diferentes aproximaciones, desde las puramente hidrológicas, basadas en curvas de recesión de caudal, hasta aquellas que hacen uso de diferentes trazadores. Dentro de este último grupo, un importante trazador lo constituye el gas noble radón  $^{222}\text{Rn}$  (Cook et al., 2006), que tiene tiempo de semidesintegración de 3,8 días. Cuando el agua subterránea descarga hacia las aguas superficiales, las concentraciones de radón disminuyen debido al decaimiento radioactivo y al intercambio de gases con la atmósfera. En Argentina se han realizado estudios para determinar la descarga de agua subterránea en los cursos de la Llanura Pampeana utilizando la determinación de  $^{222}\text{Rn}$  (Becher Quinodoz et al., 2017, Martínez et al., 2018, Echegoyen et al., 2018).

El uranio  $^{238}\text{U}$  es el principal precursor del radón en la corteza terrestre y está presente en la mayoría de las rocas que constituyen los acuíferos, pero en concentraciones muy variables, según la litología, siendo las rocas ígneas graníticas las que están fuertemente enriquecidas en uranio (Cothorn 1987). En la zona de estudio se desarrolla un acuífero freático de composición loessica, conocido como Pampeano que posee dos basamentos hidrogeológicos según el área considerada: las rocas ígneo-metamórficas del Complejo Buenos Aires, de edad precámbrica o bien las rocas ortocuarcíticas de la Formación Balcarce, de edad Paleozoica. El objetivo del presente trabajo es analizar la existencia de una relación entre las concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$  y las características hidrogeológicas del área de estudio, considerando tanto la mineralogía del acuífero como el basamento del mismo.

## Materiales y métodos

El muestreo se realizó en pozos específicamente diseñados y distribuidos en diferentes ubicaciones en el área de estudio (Fig. 1). En los sitios denominados Lobería (LO), San Manuel (SM), Balcarce (BAL), Universidad (UNI) y Miramar (MI) se encuentran piezómetros ubicados a diferentes profundidades, mientras que en los sitios de Acantilados (AC) y Moro Viejo (MV) son pozos individuales. En todos los casos se tomaron muestras de agua para determinación de isótopos estables ( $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ ) y  $^{222}\text{Rn}$ , utilizando una bomba sumergible eléctrica de baja velocidad de flujo, recolectando la muestra cuando la temperatura, conductividad eléctrica (CE) y el pH se estabilizaron. Muestras de sedimento del acuífero (loess) se recolectaron durante la perforación, a diferentes profundidades en pozos ubicados en los puntos de muestreo de Miramar y Universidad, realizándose una separación en función del tamaño de grano. Se usó un microscopio electrónico de barrido (TESCAN modelo Vega 2) equipado con un espectrofotómetro de energía dispersiva (Pegasus XM4) para los microanálisis de rayos X para identificar los minerales que contienen uranio en las muestras de sedimentos en el LHyGES (Estrasburgo, Francia). Los valores de los parámetros químicos y las mediciones de los isótopos se realizaron en el Laboratorio de Hidrogeología en la Universidad Nacional de Mar del Plata. Los isótopos estables del agua se midieron mediante espectroscopia láser con equipos de Los Gatos Research DLT-100 y LWUA-45-EP. Los valores se expresan en desviación isotópica  $\delta$  en, en relación con el VSMOW, y el error analítico es 0,2 ‰ para  $^{18}\text{O}$  y 1 ‰ para  $^2\text{H}$ . La composición de las aguas de las precipitaciones en el área se obtuvo a partir de los medidores localizados en los sitios de los puntos de muestreo en Balcarce (LBC) Miramar (LMI) y la Universidad de Mar del Plata (LUN), y en el caso de Miramar fue obtenido previamente por Calvi et al. (2018). La actividad de  $^{222}\text{Rn}$  se midió con un equipo RAD7; Marca Durrige en el laboratorio de Hidrogeología, mediante el accesorio RAD H<sub>2</sub>O, utilizando la programación preestablecida para muestras de 250 ml.

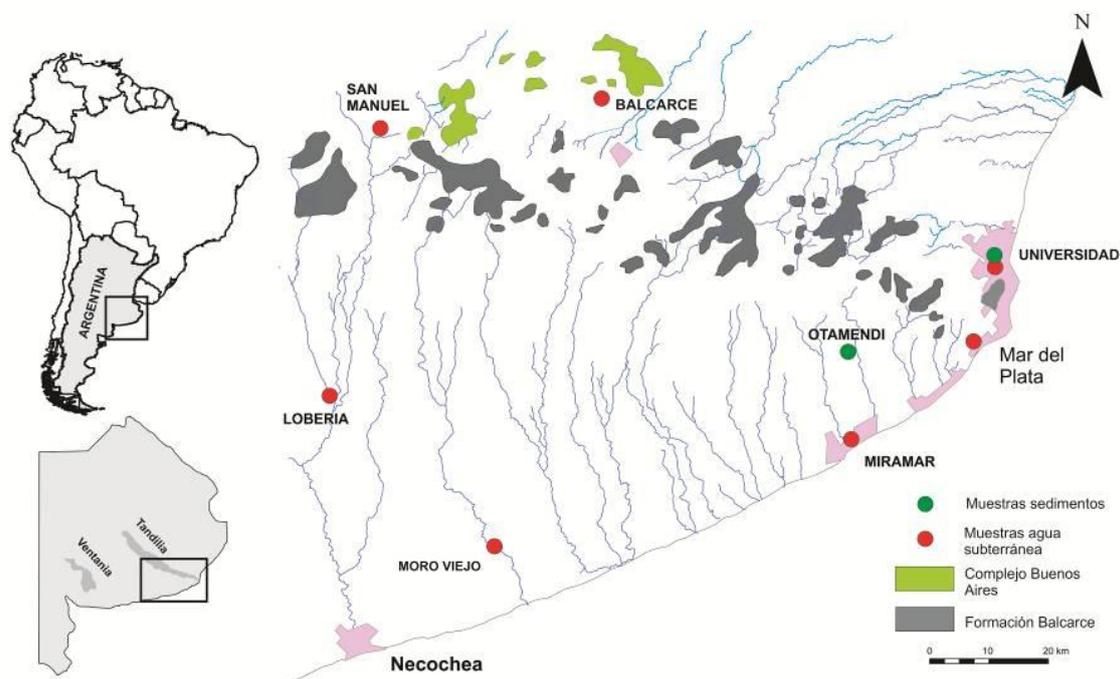


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo

## Resultados

Los estudios mineralógicos por SEM/EDAX permitieron identificar la presencia de zircon, monacita y apatita en todas las muestras recolectadas en los pozos de UNI, sin diferencias en cuanto a la profundidad. En el pozo de MI, estos minerales se encuentran principalmente en la fracción de tamaño de limo en todas las profundidades.

Los valores de isótopos estables de las muestras de agua se disponen a lo largo de la línea meteórica local, determinada por Quiroz Londoño et al. (2015) como  $\delta^2\text{H} = 8,9 * \delta^{18}\text{O} + 13,15$ , solo una muestra está más enriquecida isotópicamente, correspondiente al pozo menos profundo (10 m de profundidad total) en la ubicación BAL, y probablemente por cierta evaporación antes de la infiltración. Los valores de CE de las muestras, como un proxy de salinidad, mostraron valores bajos en general, pero más específicamente en los pozos de BAL, donde se obtuvieron mediciones muy homogéneas de alrededor de 760  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para las tres profundidades diferentes. Los otros puntos de muestreo mostraron valores de CE entre 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , perteneciendo los valores más altos a las muestras de UNI, probablemente como consecuencia de algún mínimo grado de impacto de los procesos de intrusión de agua de mar que afectaron a la ciudad en el pasado (Martínez y Bocanegra, 2002).

Las mediciones de  $^{222}\text{Rn}$  dieron como resultado un conjunto de datos donde la actividad inicial ( $A_0$ ) varía desde un mínimo cercano a 3 Bq/l hasta un máximo de aproximadamente 15 Bq/l. Estos valores están en el rango de valores encontrados en el mismo tipo de sedimentos en otras regiones de Argentina, como en la provincia de Córdoba (Becher Quinodoz et al, 2017) en el orden de 9 Bq/l. En general, se pueden diferenciar dos grupos de muestras: por un lado, los pozos ubicados en el área de afloramiento del Complejo Buenos Aires de edad Precámbrica, que incluye los sitios BAL, donde la perforación más profunda toca las rocas graníticas de dicho complejo, y SM, donde hay afloramientos de este basamento a menos de 5 km al oeste y al sur de los piezómetros. Por otro lado, se pueden agrupar el resto de los sitios, donde el acuífero tiene como basamento a la Formación Balcarce. En comparación, el primer grupo posee valores más altos de  $A_0$ , de alrededor de 9 Bq/l. Una posible explicación es la proximidad del basamento Complejo Buenos Aires y su litología, parcialmente granitoide, que permitiría una mayor contribución de los elementos primarios del  $^{222}\text{Rn}$ . Se analizaron resultados similares en Cook et al. (2006), donde se observa que los valores aumentan en aquellos sectores donde el acuífero tiene una composición granítica.

El gráfico de la Figura 2 representa las relaciones entre las actividades  $^{222}\text{Rn}$  y la profundidad total del pozo, pudiéndose observar la diferencia entre las actividades de radón de los pozos cercanos al basamento compuesto por rocas del Complejo Buenos Aires (que se llamará Tipo A) y el resto de los pozos, que tienen como basamento a la Formación Balcarce y profundidades superiores a 100 m (que se denominará Tipo B). Los pozos cercanos al Complejo Buenos Aires tienen una actividad de  $^{222}\text{Rn}$  relativamente alta y constante, entre 9 Bq/l y 13 Bq/l. Esas actividades son al menos dos veces superiores a las observadas para pozos de la misma profundidad en áreas con este basamento más profundo. Es importante observar que ambos grupos de muestras siguen una tendencia lineal similar, al aumentar la actividad de  $^{222}\text{Rn}$  con el aumento en la profundidad total del pozo. Esta actividad puede aumentar en las aguas subterráneas debido a un mayor tiempo de residencia que permite incorporar más gas disuelto al tener más tiempo de circulación en el acuífero. En ese sentido, las correlaciones lineales observadas apoyan este concepto, teniendo en cuenta la distribución mencionada de los contornos del tiempo de viaje en un acuífero freático, que fue validado para el acuífero Pampeano por Martínez et al. (2016). Una conclusión similar que relaciona  $^{222}\text{Rn}$  con la profundidad fue observada por Brutsaert et al. (1981).

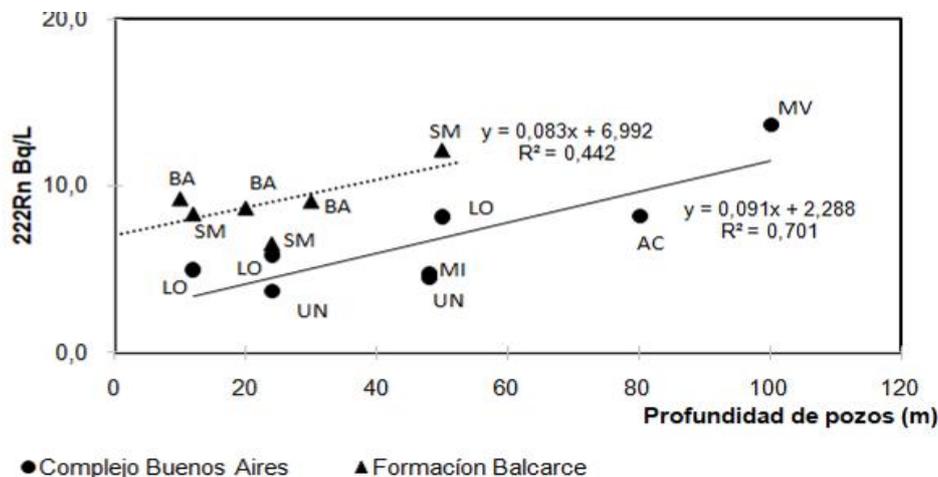


Figura 2. Actividad de  $^{222}\text{Rn}$  en aguas de pozos en el acuífero Pampeano del sudeste bonaerense.



## Conclusiones

El  $^{222}\text{Rn}$  presentó un rango de actividad de entre 3 y 14 Bq/l en el acuífero Pampeano en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, siendo una posible causa de esta variabilidad la distancia a las rocas del Complejo Buenos Aires y al tiempo de residencia diferente de cada muestra, que en este acuífero freático está relacionada con la profundidad de muestreo. Las muestras de agua mostraron una tendencia lineal de aumento de la actividad de  $^{222}\text{Rn}$  en función de la profundidad del pozo de aproximadamente  $0.08 \text{ Bq.l}^{-1}.\text{m}^{-1}$ , pero se pudieron diferenciar dos alineamientos con diferente ordenada al origen. Un grupo (tipo A) es el que se toma en pozos que están cerca de las rocas del Complejo Buenos Aires, que tienen un valor de ordenada al origen de alrededor de 6.6 Bq/l. Por otro lado, las muestras de los pozos en los sitios donde las rocas de la Formación Balcarce forman el basamento hidrogeológico tienen una ordenada de alrededor de 2.2 Bq/l.

Los minerales de uranio determinados: zircon y monacita, pueden ser las fuentes de radón en el agua subterránea del acuífero Pampeano y se encuentran distribuidos homogéneamente en los sedimentos a profundidades de 10 a 50 m, principalmente en la fracción de tamaño limo. Estos minerales identificados en el loess más el tiempo de residencia del agua subterránea hacen que el radón aumente con la profundidad, pero la proximidad del basamento precámbrico es lo que le otorga al agua subterránea un alto valor inicial.

## Bibliografía

- Becher Quinodoz, F., Blarasin, M., Panarello, H. and Ducos, E.** 2017. Assessing interactions between groundwater and surface water in a Pampean stream. *Hydrology Research*, 48(4), pp.1045-1057.
- Bécher Quinodoz, F., Blarasin, M y Panarello, Héctor.** 2015. Modelado geoquímico e isotópico de las relaciones agua superficial-subterránea en la planicie arenosa del sur de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 72 (4): 506 – 518.
- Brutsaert, W.F., Norton, S.A., Hess, C.T. and Williams, J.S.,** 1981. Geologic and hydrologic factors controlling radon  $^{222}$  in ground water in Maine. *Groundwater*, 19(4), pp.407-417.
- Calvi, C., Dapeña, C., Martínez, D.E. and Londoño, O.M.Q.,** 2018. Relationship between electrical conductivity,  $\text{NO}_3^-$  of water and  $\text{NO}_3^-$  content in different streamflow stages. *Environmental Earth Sciences*, 77(6), p.248.
- Cook, P., Lamontagne, S., Berhane, D., y Clark, J.** 2006. Quantifying groundwater discharge to Cockburn River, southeastern Australia, using dissolved gas tracers  $^{222}\text{Rn}$  and  $\text{SF}_6$ . *Water Resources Research*, 1-12
- Cothorn C. Richard.** 1987. *Environmental Radon* Ed. Springer. 1ª ed
- Echegoyen, C., Lecomte, K., Campodonico, V., Yaciuk, P., Jobbágy, E., Heider, G., y Pasquini, A.** 2018. Uso de Radón- $^{222}$  para determinar el flujo de agua en una laguna freática de la llanura medanosa de San Luis. XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología, X Congreso Argentino de Hidrogeología. Química, Calidad y Contaminación del Agua Volumen I: 95-102
- Dimova, N. T., & Burnett, W. C.** 2011. Evaluation of groundwater discharge into small lakes based on the temporal distribution of radon- $^{222}$ . *Limnology and Oceanography*, 56(2), 486-494.
- Martínez, D. and Bocanegra, E.** 2002. Hydrogeochemistry and cation-exchange processes in the coastal aquifer of Mar Del Plata, Argentina. *Hydrogeology Journal*, 10(3): 393-408.
- Martínez, D., Quiroz, M., Grondona, S., Calvi, C., Dapeña, C.** 2018. Aporte de agua subterránea en arroyos pampeanos: trazadores ambientales en los arroyos Vivotatá y la Ballenera. XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología, X Congreso Argentino de Hidrogeología. Química, Calidad y Contaminación del Agua Volumen I:21-28
- Petermann, E., Gibson, J. J., Knöller, K., Pannier, T., Weib, H., y Schubert, M.** 2018. Determination of groundwater discharge rates and water residence time of groundwater-fed lakes by stable isotopes of water ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ) and radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) mass balances. *Hydrological Processes*, 32(6), 805-816.
- Rosenberry, D. O., Winter, T. C.** 2009. Hydrologic processes and the water budget: Chapter 2.
- Quiroz Londoño, O.M., Martínez, D.E., Massone, H.E., Londoño, L.A. and Dapeña, C.** 2015. Spatial distribution of electrical conductivity and stable isotopes in groundwater in large catchments: a geostatistical approach in the Quequén Grande River catchment, Argentina. *Isotopes in environmental and health studies*, 51(3), pp.411-425.