



VARIABILIDAD DE LAS CONCENTRACIONES DE ^{222}Rn EN EL ACUÍFERO ARENOSO DE LA COSTA BONAERENSE

VARIABILITY OF ^{222}Rn IN THE SANDY AQUIFER OF BUENOS AIRES COAST

Carretero, Silvina¹; Rapaglia, John²; Rodrigues Capítulo, Leandro¹; Kruse, Eduardo¹

¹CONICET, CEIDE, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, ²Sacred Heart University

scarretero@fcnym.unlp.edu.ar

Resumen

El objetivo de este trabajo es analizar la relación entre las concentraciones de ^{222}Rn en el agua subterránea y las variaciones en el ciclo hidrológico en el acuífero arenoso de la costa bonaerense. Se midió profundidad del agua subterránea, conductividad eléctrica in situ y la actividad del ^{222}Rn en varias perforaciones en marzo-2016 y noviembre-2018. Existiría una correlación inversa entre la concentración del ^{222}Rn y la recarga. Se ha identificado una variabilidad en la distribución espacial del ^{222}Rn dentro del cordón costero. No se ha observado una correlación entre el ^{222}Rn y la conductividad eléctrica del agua subterránea.

Palabras clave: Radón, ciclo hidrológico, cordón costero, Buenos Aires.

Introducción

La aplicación del ^{222}Rn como trazador para detectar y calcular la descarga submarina de agua dulce a las zonas costeras es ampliamente utilizado (Burnett y Dulaiova, 2003; Rapaglia et al, 2015). Sin embargo, algunos autores han empleado este elemento para otras aplicaciones en hidrogeología. Kafri (2001) y Schubert et al. (2011) han utilizado el decaimiento del ^{222}Rn para estimar la velocidad del flujo subterráneo. Hamada (2000) se basa en la relación entre la concentración de ^{222}Rn antes y después de que ingrese al pozo para sus cálculos. Las variaciones en la concentración del ^{222}Rn en el pozo reflejan que un aumento en la infiltración acelera el flujo subterráneo. Kasztovsky et al. (2000) han observado que, en el noreste de Hungría, las concentraciones de ^{222}Rn en las perforaciones resultaron en variaciones impredecibles en tiempo y espacio. Mullinger et al. (2009) demostraron, en un sector del Reino Unido, que los cambios estacionales en el acuífero pueden conducir a una variabilidad en las concentraciones de ^{222}Rn . En piezómetros poco profundos observaron que la concentración de ^{222}Rn respondía a cambios estacionales de la capa freática y a eventos de lluvias individuales, aumentando los valores de ^{222}Rn en los periodos de descenso de niveles. Basado en estos antecedentes el objetivo de este trabajo es analizar la relación entre las concentraciones de ^{222}Rn en el agua subterránea y las variaciones en el ciclo hidrológico en el acuífero arenoso de la costa bonaerense. El área de estudio corresponde al cordón costero de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, que incluye a los Partidos de La Costa y Pinamar. En el primero, el espesor del acuífero oscila entre 10 y 15 m con profundidades de los niveles freáticos menores a los 3 mbbp (Carretero, 2011), mientras que, en el segundo, la posición del nivel supera los 6 mbbp en un acuífero de entre 20 y 40 m de potencia (Rodrigues Capítulo, 2015). Desde un punto de vista hidroquímico ambos sectores muestran aguas de baja salinidad las cuales presentan un predominio del tipo bicarbonatado cálcico/sódico y cuyo comportamiento es el típico para aguas de reciente infiltración (Rodrigues Capítulo, 2015). El clima es templado húmedo, con una estación de menores precipitaciones en los meses fríos (abril-septiembre) y una húmeda en los meses cálidos (octubre-marzo). La precipitación media anual oscila entre los 900 y 1000 mm, donde el 60% se produce en los meses con mayor evapotranspiración (meses cálidos) por lo que la mayor recarga se produce durante la estación fría (Carretero y Kruse, 2012).

Materiales y Métodos

Se realizaron campañas hidrogeológicas en la costa bonaerense en marzo de 2016 y noviembre de 2018. En la primera se analizó el Partido de La Costa, cuyas perforaciones



fueron evaluadas nuevamente en la segunda, anexándose Pinamar al estudio. Se han seleccionado pozos localizados en sectores de recarga principal, descarga (al oeste y al este) y con influencia de intrusión marina. Se midió profundidad del agua subterránea, conductividad eléctrica in situ y la actividad del ^{222}Rn en varias perforaciones a lo largo del área de interés. El ^{222}Rn fue medido en forma constante utilizando un sistema de detección de ^{222}Rn en el aire (RAD7) modificado para medir agua vía intercambio a través de un mini-módulo con filtro de membrana (Liqui-Cel). Se bombeó el agua al mini-módulo utilizando una bomba peristáltica a una tasa de 0,5-0,8 L/min. La actividad del ^{222}Rn fue continuamente medida por el RAD7 según la técnica descrita por Burnett y Dulaiova (2003). El agua de las perforaciones fue bombeada a través del mini-modulo hasta que se alcanzó la concentración en equilibrio en el detector (aproximadamente 35 minutos). Se realizaron balances hidrológicos diarios según Thornthwaite y Mather (1955), aplicando el software AGROAGUA v.5.0 (Forte Lay et al., 1995) a partir de los cuales se obtuvieron valores de excesos hídricos. Los datos de E_t media diaria fueron obtenidos de acuerdo a FAO-Penman-Monteith (Allen et al. 1998). Debido a la alta permeabilidad de los sedimentos (Sala et al. 1979), se considera que los excesos calculados se transforman directamente en recarga al acuífero.

Resultados

El balance muestra que para ambos ciclos hidrológicos la mayor cantidad de precipitaciones ($\approx 70\%$) se observa en el semestre frío, lo cual es atípico. Usualmente los mayores excesos suelen ocurrir en esta estación, pero debido a los bajos valores de evapotranspiración. En estos casos, además, existe una contribución adicional de cantidad de precipitaciones (Tabla 1). Las situaciones hidrogeológicas a los momentos de los muestreos son muy diferentes. Para el semestre cálido del ciclo hidrológico 2015-16 los excesos fueron de 7 mm y para el semestre frío del ciclo 2017-18 alcanzan los 323 mm. Los niveles freáticos reflejan dicha situación para La Costa, resultando más profundos en marzo-16 (Tabla 2). El promedio de las concentraciones de ^{222}Rn para marzo-16 en La Costa fue de 11023 Bq/m^3 mientras que en noviembre-18 fue de 5502 Bq/m^3 . En Pinamar los valores son más homogéneos y la media fue de 1553 Bq/m^3 resultando en las concentraciones más bajas del área estudiada (Tabla 2). Los valores de conductividad eléctrica en general son menores a $2000 \mu\text{S/cm}$, a excepción de pozos relacionados a interfaces agua dulce – agua salada/salobre o afectados por intrusión salina. Las concentraciones de ^{222}Rn no se vieron afectadas por la elevada salinidad, tanto natural como producto de la intrusión marina, ni se observa una relación respecto al ambiente en que se localiza el pozo (Tabla 2).

Conclusiones

Las concentraciones de ^{222}Rn en La Costa han variado a lo largo del tiempo. Existiría una correlación inversa entre la concentración del ^{222}Rn y la recarga. El muestreo bajo condiciones de escasos excesos hídricos presenta valores elevados de ^{222}Rn mientras que, en condiciones de elevados excesos, éste disminuye. Pinamar manifiesta las menores concentraciones de ^{222}Rn con lo cual podría identificarse una variabilidad en su distribución espacial dentro del cordón costero. No se ha observado una correlación entre el ^{222}Rn y la conductividad eléctrica del agua subterránea. Podría plantearse una posible relación entre el espesor del acuífero, gradiente hídrico y velocidad de flujo con las concentraciones de ^{222}Rn que explicaría la variabilidad en la distribución espacial. En marzo-16 el gradiente hídrico calculado para La Costa fue de 0,0012 y la velocidad específica de 0,24 m/d, asociados a valores de ^{222}Rn muy elevados mientras que para noviembre-18 los valores fueron de 0,0016 y 0,32 respectivamente con una actividad del ^{222}Rn menor. Estos parámetros para Pinamar fueron 0,004 y 0,8 m/d y con los valores de ^{222}Rn más bajos. La correspondencia entre factores climáticos, la hidráulica del acuífero y el ^{222}Rn ha sido mencionada en antecedentes, los resultados obtenidos podrían ser incluidos dentro de esos casos. Se plantea continuar con los estudios para fortalecer estas hipótesis.



Tabla 1. Balance hidrológico representativo de las condiciones para el muestreo de marzo-2016 y noviembre-2018. P: precipitaciones; ETP: evapotranspiración potencial; ETR: evapotranspiración real; Exc: excesos

Año hidrológico 2015-2016	Mes	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	Exc. (mm)	Año hidrológico 2017-2018	Mes	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	Exc. (mm)
Semestre frío	abr-15	34	67,8	24,1	0	Semestre cálido	oct-17	58	64,8	35,1	9,7
	may-15	140	49	37,4	88,7		nov-17	33	64	49,7	1,5
	jun-15	0	37,1	18,3	0		dic-17	36	66,1	37,8	0
	jul-15	70	37,2	11,3	29,7		ene-18	0	66,1	12,6	0
	ago-15	236	48,9	42,6	205,2		feb-18	49	61,4	31,9	0
	sep-15	15	58,2	26,5	0		mar-18	74	72,9	44,6	31,6
	Total	495	298	160	324		Total	250	395,3	211,7	42,8
Semestre cálido	oct-15	42	65,1	42,8	0	Semestre frío	abr-18	157	67,7	51,4	102,3
	nov-15	24	63	24,6	0		may-18	158	51	39,3	100,5
	dic-15	45	63	26,2	7		jun-18	10	36,6	26,7	0
	ene-16	0	65,5	19,9	0		jul-18	103	37,7	30	64,4
	feb-16	37	64,3	25,7	0		ago-18	13	50,3	30,6	0
	mar-16	38	75,3	40,9	0		sep-18	105	58,3	24,9	56,6
	Total	186	396,2	180,1	7		Total	546	301,6	202,9	323,8
Total anual	681	694	340	331	Total anual	796	697	415	367		

Tabla 2. Valores de profundidad de la capa freática, conductividad eléctrica del agua (CE) y concentraciones ²²²Rn para las localidades del Partido de La Costa y Pinamar

	Pozo	Profundidad (m)		CE (µS/cm)		²²² Rn (Bq/m ³)		Ubicación/Observaciones
		mar-16	nov-18	mar-16	nov-18	mar-16	nov-18	
Partido de La Costa	SC25	1,66	1,20	805	1047	18000	9780	Descarga al mar
	SC1	1,03	0,37	18772	12260	11000	8700	Descarga a la llanura deprimida. Agua salobre
	SC17	1,69	1,13	818	775	1630	6220	Descarga al mar
	SC14	1,32	1,10	1122	1906	8500	5300	Descarga a la llanura deprimida.
	Hostería			913	1365	4630	7810	Descarga al mar
	ND9	2,04	0,88	1762	1562	11500	4710	Zona central recarga
	ST12	4,00	3,25	30600	31600	13250	1320	Afectado por intrusión salina
	ST11	2,02	1,37	787	759	15440	4470	Descarga al mar
ST4	3,70	2,11	2033	2020	15260	1210	Zona central recarga	
Pinamar	PO3		0,63		1031		1320	Zona central recarga
	P15		2,03		1414		1420	Descarga a la llanura deprimida.
	PE3		6,69		353		1320	Zona central recarga
	Playa		1,56		5320		1730	Descarga al mar
	Eolo		4,5		623		1490	Descarga al mar
	Bosque		7,48		577		2040	Zona central recarga



Bibliografía

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Martin Smith, M.** 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Papers 56. FAO, Rome.
- Burnett, W.C. y Dulaiova, H.** 2003. Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon-222 measurements. *Journal of Environmental Radioactivity* 69(1-2): 21-35.
- Carretero, S.** 2011. Comportamiento hidrológico de las dunas costeras en el sector nororiental de la provincia de Buenos Aires. Tesis doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo, La Plata, Argentina.
- Carretero, S. y Kruse, E.** 2012. Relationship between precipitation and water-table fluctuation in a coastal dune aquifer: northeastern coast of the Buenos Aires province, Argentina. *Hydrogeology Journal*, 20, 1613–1621.
- Forte Lay, J.A., Aiello, J.L. y Kuba, J.** 1995. Software AGROAGUA v.5.0. Veternik, Serbia.
- Hamada, H.** 2000. Estimation of groundwater flow rate using the decay of ^{222}Rn in a well, *Journal of Environmental Radioactivity*, 47, 1–13.
- Kasztovszky, Z., Sajó-Bohus, L., y Fazekas, B.** 2000. Parametric changes of radon (^{222}Rn) concentration in ground water in Northeastern Hungary. *Journal of Environmental Radioactivity*, 49, 171-180.
- Kafri, U.** 2001. Radon in groundwater as a tracer to assess flow velocities: Two test cases from Israel. *Environmental Geology*. 40. 392-398. 10.1007/s002540000164.
- Mayer, A., Bach Thao, N. y Banton, O.** 2016. Using radon-222 to study coastal groundwater/surface-water interaction in the Crau coastal aquifer (southeastern France). *Hydrogeology Journal*. 24. 10.1007/s10040-016-1424-9.
- Mullinger, N.J., Pates, J.M., Binley, A.M., y Crook, N.P.** 2009. Controls on the spatial and temporal variability of ^{222}Rn in riparian groundwater in a lowland Chalk catchment. *Journal of Hydrology*, 376, 58-69.
- Rapaglia, J., Grant, C., Bokuniewicz, H., Pick, T. y Scholten, J.** 2015. A GIS typology to locate sites of submarine groundwater discharge. *Journal of Environmental Radioactivity*, 145, pp.10-18.
- Rodrigues Capitulo, L.** 2015. Evaluación geohidrológica en la región costera oriental de la provincia de Buenos Aires. Caso de estudio Pinamar. Tesis doctoral. La Plata: Facultad de Ciencias Naturales y Museo
- Sala, J., González, N., Hernández, M., Martín de Uliana, E., Cheli, E. y Kruse, E.** 1976. Factibilidad de provisión de agua subterránea a la localidad de San Clemente de Tuyú-El Tala: Provincia de Buenos Aires. Informe. Cátedra de Hidrogeología. Facultad de Ciencias Naturales-Cooperativa de Obras Sanitarias de San Clemente del Tuyú, La Plata, Argentina
- Schubert, M., Brueggemann, L., Knoeller, K. y Schirmer, M.** 2011. Using radon as an environmental tracer for estimating groundwater flow velocities in single-well tests. *Water Resources Research*, 47, W03512, doi 10.1029/2010WR009572.
- Thorntwaite, C. y Mather, J.** 1955. The water balance. *Climatology*. 8,1–37.