

ISBN: 978-84-938046-4-0

## CONTENIDO DE RADÓN EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL NORESTE DE GRAN CANARIA

**Héctor ALONSO-HERNÁNDEZ, Tatiana CRUZ-FUENTES, Alejandro RODRIGUEZ-GONZALEZ, Jonay GONZÁLEZ-GUERRA, Miguel Ángel ARNEDO-AYENSA, Pablo MARTEL-ESCOBAR, Alicia TEJERA-CRUZ, María del Carmen CABRERA, Francisco José PÉREZ-TORRADO, Jesús GARCÍA-RUBIANO**

Departamento de Física, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 35017 Las Palmas de Gran Canaria, España, hector.alonso@ulpgc.es; tcruz@proyinves.ulpgc.es; alerglez@gmail.com; jglezg2002@gmail.com; miguelangel.arnedo@ulpgc.es; pmartel@dfis.ulpgc.es; atejera@dfis.ulpgc.es; mcarmen.cabrera@ulpgc.es; franciscojose.perez@ulpgc.es; jesus.garciarubiano@ulpgc.es

### RESUMEN

En este trabajo se han determinado los niveles de  $^{222}\text{Rn}$  en el agua subterránea en la zona noreste de Gran Canaria a partir de 28 muestras de pozos en bombeo. La concentración de actividad de radón en una muestra de agua se determina mediante un sistema en circuito cerrado que consta de un monitor AlphaGUARD que mide la concentración de radón en aire por medio de una cámara de ionización y un conjunto AquaKIT que se utiliza para transferir el radón disuelto en la muestra de agua al aire del circuito. Los valores de la concentración de radón en agua de las muestras estudiadas varían entre 0.9 y 76.9 Bq/L. Debido a la peligrosidad radiológica del radón, en España se ha establecido un límite de actividad de 100 Bq/L de  $^{222}\text{Rn}$  para las aguas de consumo humano. Los valores obtenidos para todas las muestras analizadas se encuentran por debajo de este límite.

**Palabras clave:** *radón, aguas subterráneas, terrenos volcánicos, normativa.*

### ABSTRACT

In this work we have determined the levels of  $^{222}\text{Rn}$  in 28 samples from pumping wells in groundwater in northeastern Gran Canaria. The radon activity concentration in a water sample is determined by a closed loop system consisting of an AlphaGUARD monitor that measures the concentration of radon in the air by means of an ionization chamber, and an AquaKIT set that transfers the dissolved radon in the water samples to the air in the circuit. The radon concentration in water samples studied varies between 0.9 and 76.9 Bq/L. Spanish radiological protection regulations limit to 100 Bq/L the concentration of  $^{222}\text{Rn}$  for drinking water. The values obtained for all the analyzed samples are below this threshold.

**Key words:** *radon, groundwater, volcanic terrains, normative.*

## INTRODUCCIÓN

El radón es un gas noble radiactivo presente en las cadenas de desintegración de radioisótopos naturales como el  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{235}\text{U}$  (Hopke, 1987). Existen tres isótopos naturales de radón ( $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  y  $^{219}\text{Rn}$ ) correspondientes a cada una de las cadenas, pero el  $^{222}\text{Rn}$  es el más utilizado como trazador geoquímico natural en Ciencias de la Tierra, debido a sus casi 4 días de vida media. Las principales fuentes de  $^{222}\text{Rn}$  son los suelos, las rocas en las que haya podido quedar atrapado y las aguas subterráneas que pueden contener sus precursores (uranio/radio) o directamente radón disuelto. El radón tiene preferencia por la fase gaseosa (Voronov, 2004) y su solubilidad en aguas depende de la temperatura, siendo su coeficiente de solubilidad inversamente proporcional a ella (Martin-Luis, 1999). Por tanto, el contenido de este gas en las aguas subterráneas depende de las características geológicas e hidrogeológicas del acuífero, de la concentración de radio en las rocas que atraviesa y de la temperatura. Los niveles de radón en las aguas subterráneas pueden ser muy altos, pero es rápidamente liberado al aire cuando las aguas subterráneas entran en contacto con las aguas superficiales. Por este motivo el radón puede ser usado como trazador en los sistemas de flujo de agua subterránea para identificar y cuantificar descargas de agua subterránea a las aguas superficiales (Skeppström y Olofsson, 2007; Schubert et al., 2011; Ortega et al., 2013) o para intentar dilucidar el tipo de rocas por las que circula la misma (Hoehn et al., 1992; Schubert et al., 2011)

En este trabajo, se han determinado los contenidos de  $^{222}\text{Rn}$  en el acuífero noreste de Gran Canaria, (Figura 1), a partir del muestreo de aguas subterráneas realizado en el verano de 2014. El objetivo es estudiar la calidad de las aguas subterráneas con respecto al gas  $^{222}\text{Rn}$  y hacer un primer intento de uso de este gas como trazador para establecer una dinámica de flujo de las aguas subterráneas en Gran Canaria.

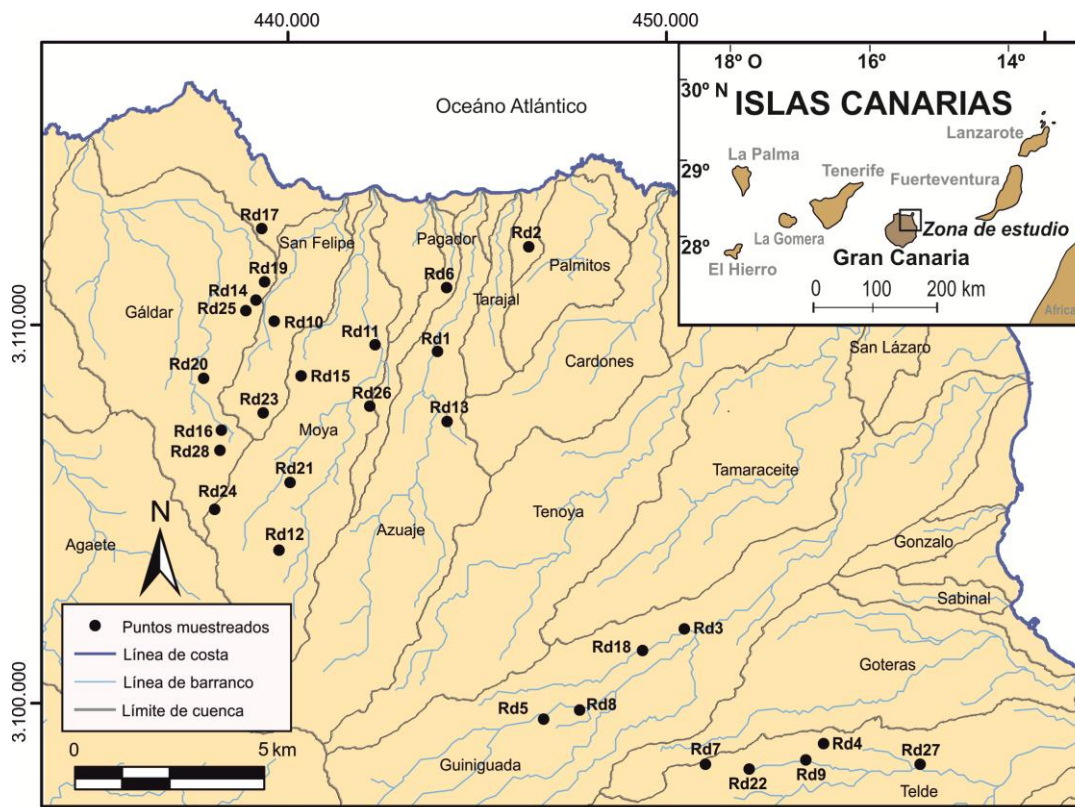


Figura 1. Localización de la zona de estudio y los puntos de muestreo de las aguas subterráneas. Los topónimos indican los nombres de los barrancos. Coordenadas en UTM WGS84 28N.

## MATERIALES Y MÉTODO

El gas  $^{222}\text{Rn}$  ha sido medido en el agua subterránea tomada en 28 pozos localizados en la zona noreste de Gran Canaria (Figura 1) en una campaña de campo llevada a cabo en el verano de 2014. Los puntos seleccionados muestran temperaturas por encima de los  $25^{\circ}\text{C}$  y/o altas concentraciones de gases disueltos de origen volcánico. Se muestrearon 26 pozos tradicionales canarios, 1 sondeo de 200 mm de diámetro (Muestra Rd26) y un manantial (Muestra Rd1). Las profundidades de los pozos varían entre los 125 y los 600 metros por lo que explotan diversas formaciones geológicas. Las muestras de agua para medir la concentración de  $^{222}\text{Rn}$  fueron recogidas en una botella (1L) de cristal opaco, procurando reducir al mínimo el burbujeo que comporta la pérdida de radón y eliminando las burbujas de aire de la muestra. Posteriormente, la concentración de  $^{222}\text{Rn}$  disuelto en el agua se determinó en laboratorio en un plazo de entre 3 y 6 h desde la recogida de la muestra.

La medida de radón se ha realizado con un equipo AlphaGUARD PQ2000PRO de probada estabilidad en la calibración que ha sido constatada en numerosos estudios (Kotrappa et al., 2005). Este monitor permite la determinación del gas radón en continuo y opcionalmente la concentración de descendientes del radón. Se trata de un detector basado en una cámara de ionización de 0.65 litros de volumen activo, capaz de almacenar en memoria tanto parámetros de concentración de actividad como los valores de los principales parámetros ambientales (temperatura, humedad y presión atmosférica) durante el tiempo de medida. El procedimiento de medida se basa en la espectrometría alfa del radón y sus descendientes del aire que haya entrado en el volumen de detección de la cámara de ionización y que previamente ha sido filtrado para permitir únicamente la entrada del gas radón. Estas características hacen que presente una alta eficiencia para radón y una rápida respuesta a gradientes de concentración. El rango de medida está comprendido entre de  $2\text{ Bq/m}^3$  y  $2 \times 10^6\text{ Bq/m}^3$ . Para la medida de la concentración de radón en aguas se ha utilizado el sistema AquaKIT, de SAPHYMO (SAPHYMO, 1998), complementario de AlphaGUARD. Este sistema consta de un recipiente de 500 ml con un dispositivo de desgasificación por burbujeo en el que se introduce la muestra, una bomba de impulsión de gases (AlphaPUMP) y una botella de cristal de seguridad que se conectan en circuito cerrado con el detector AlphaGUARD como se muestra en la Figura 2. Se dispone, además de un filtro de carbón activo para rebajar la concentración de radón de fondo del sistema, antes de cada medida.

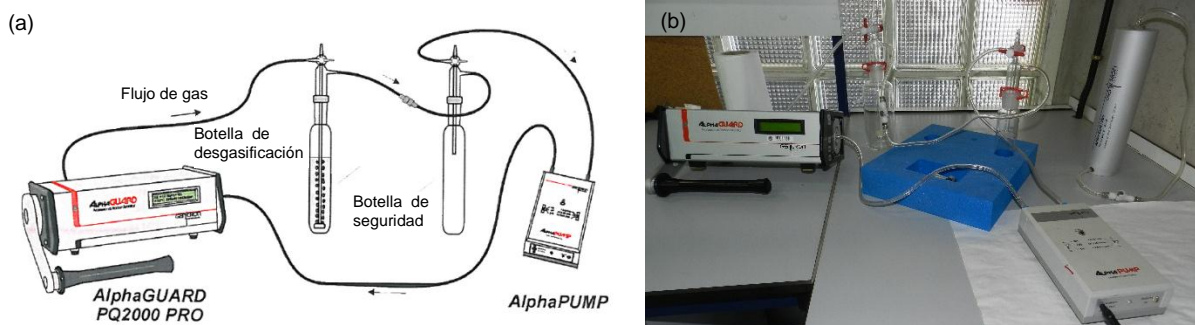


Figura 2 (a) Esquema del montaje experimental del sistema de medida de radón en agua indicando el flujo de gas radón. (b) Montaje práctico.

Siguiendo el procedimiento establecido por el fabricante (Schubert et al., 2006), el proceso de medida se inicia reduciendo la concentración de actividad de radón del detector AlphaGUARD a los niveles del laboratorio. A continuación se monta el circuito cerrado, con los recipientes de cristal vacíos, y se reduce, mediante la inserción de un filtro de carbón activo, la concentración de radón en dicho circuito. Una vez terminado este proceso, se

inyecta en el recipiente de desgasificación una cantidad aproximada de 500 ml de muestra de agua evitando su desgasificación en el proceso. Mediante la bomba AlphaPUMP se recircula el aire por el circuito cerrado, haciendo burbujear la muestra durante un tiempo de 10 min provocando la desgasificación del radón presente en la muestra. Tras esos 10 min iniciales, se apaga la bomba y se mide durante otros 20 min, obteniéndose la curva de crecimiento de radón resultante, que se descarga y analiza con el sistema de adquisición de datos DataEXPERT.

El valor medido por el detector es la concentración del radón exhalado por la muestra y diluido en el aire dentro del circuito cerrado. Por lo tanto, para determinar la concentración de actividad de radón en la muestra de agua, es necesario cuantificar el efecto de la dilución en todo el volumen de aire dentro del sistema. Para ello se utiliza la siguiente ecuación (SAPHYMO, 2007):

$$C_{agua} = \frac{C_{aire} \times \left( \frac{V_{sistema} - V_{muestra}}{V_{muestra}} + k \right) - C_0}{1000}$$

donde  $C_{agua}$  es la concentración de actividad de radón en la muestra de agua en Bq/L,  $C_{aire}$  es la concentración de actividad de radón en aire Bq/m<sup>3</sup> medido por el AlphaGUARD y  $C_0$  es la concentración inicial de actividad de radón en el sistema de medida,  $V_{sistema}$  es el volumen interior del sistema de medidas y  $V_{muestra}$  es el volumen de la muestra de agua, y  $k$  es un coeficiente semiempírico de difusión recomendado por el fabricante que tiene en cuenta la relación de concentración entre la fase acuosa y el volumen de aire del sistema y es función de la temperatura según la expresión  $k(T) = 0.105 + 0.405e^{0.502T(^{\circ}C)}$  (Correa et al., 2011).

Una vez medidas todas las muestras, se almacenaron en sus recipientes de cristal, con el objetivo de volver a medir su contenido en radón, transcurrido el tiempo necesario para que el <sup>226</sup>Ra alcance el equilibrio secular con sus descendientes con el fin de determinar si el origen del radón en la muestra de agua ha sido su absorción directa del entorno, o se genera a partir del <sup>226</sup>Ra que pudiera estar disuelto en la misma.

## CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, HIDROGEOLÓGICAS E HIDROQUÍMICAS

La geología de Gran Canaria tiene su origen en el vulcanismo intraplaca de punto caliente (Carracedo et al., 2002), definiéndose tres etapas de evolución: juvenil (14,5-8,0 millones de años o Ma), inactividad volcánica (8,0-5,0 M.a.) y rejuvenecimiento (desde 5,0 Ma a la actualidad) (Pérez-Torrado, 2008). En la zona de estudio afloran lavas e ignimbritas de los ciclos Roque Nublo y Post Roque Nublo, pertenecientes a la etapa de rejuvenecimiento, y sedimentos de la Formación Detrítica de las Palmas y depósitos aluviales de la etapa de inactividad volcánica (Figura 3). La geología profunda revela que en la zona se explotan fundamentalmente los materiales del ciclo Roque Nublo y los materiales fonolíticos-traquíticos infrayacentes de edad Pliocena y Miocena respectivamente, pertenecientes a la etapa juvenil y que afloran en las zonas costeras y fondos de barranco.

El funcionamiento hidrogeológico de Gran Canaria se caracteriza por la existencia de un acuífero único insular, con una superficie piezométrica en forma de domo que alcanza máximos en el centro de la isla. La recarga natural se produce por infiltración de la lluvia en las zonas de cumbre y medianías, circulando preferentemente por los materiales volcánicos superficiales más recientes. La descarga se produce al mar y por las extracciones de pozos y galerías, que han ido sustituyendo a las descargas naturales intermedias por manantiales



(nacientes) que existían donde afloran materiales menos permeables o en valles profundos (SPA-15, 1975; Custodio, 1978; Custodio y Cabrera, 2008). En este marco hidrogeológico, las aguas subterráneas de la zona de estudio conforman la parte septentrional del acuífero insular, fluyendo desde el sur hacia el norte-noreste. La recarga procede principalmente de la precipitación y retornos de riego en la zona costera. La descarga se produce hacia el mar y por extracciones en pozos y galerías (Cruz-Fuentes et al., 2012).

La salinidad de las aguas subterráneas crece desde la cumbre a la costa. Las aguas son principalmente bicarbonatadas magnésico cálcicas y cloruradas magnésico cálcicas asociadas a la litología. En la costa aparecen aguas sulfatadas sódicas debido a los retornos de riego (SPA-15, 1975).

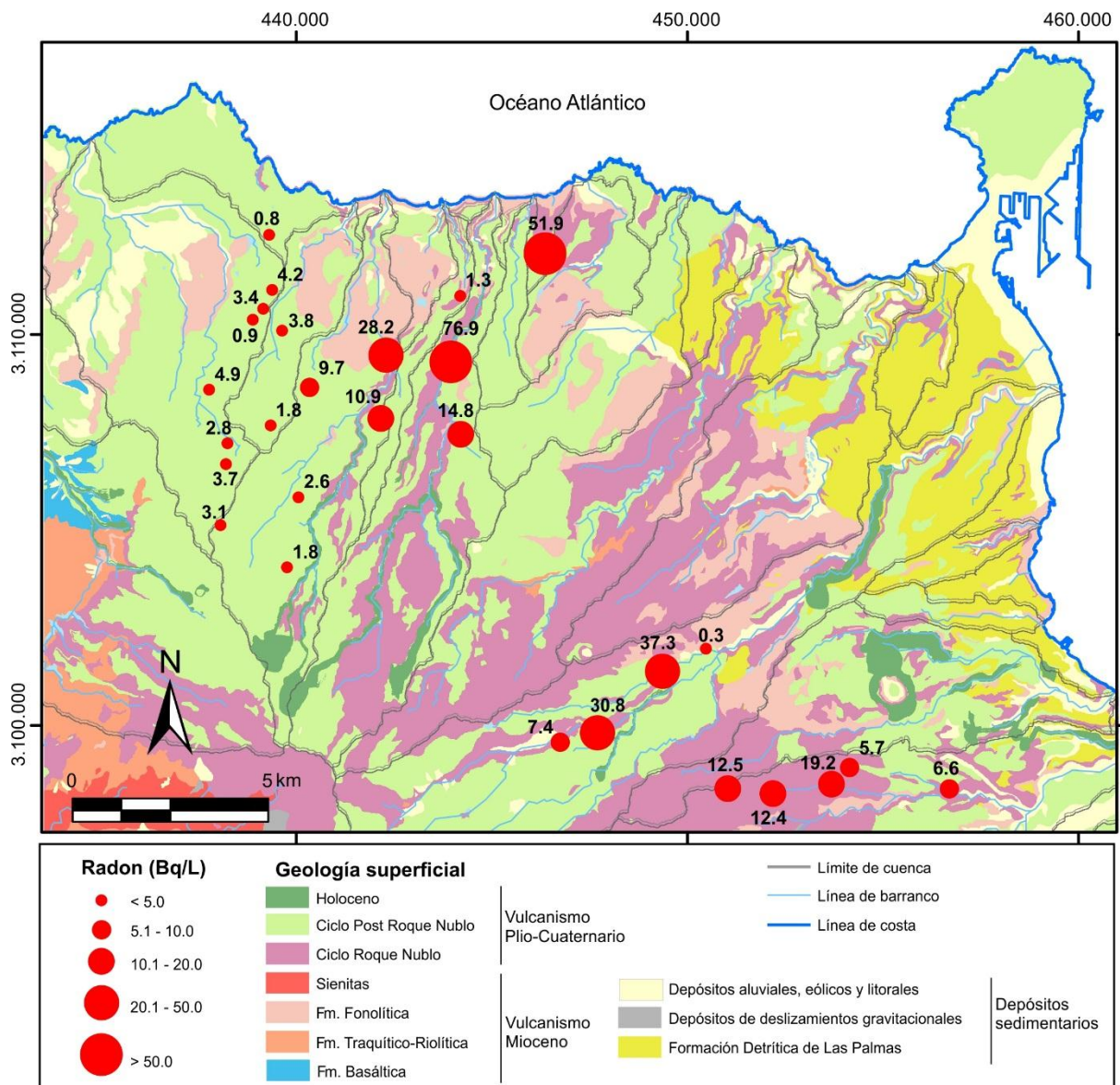


Figura 3. Geología superficial de la zona de estudio. Se muestra los resultados de las concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$ . Coordenadas en UTM WGS84 28N.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los resultados de concentración actividad de  $^{222}\text{Rn}$  en agua en los distintos puntos de muestreo. Los valores obtenidos varían en un rango de 0.3 a 76.9 Bq/L, con media de 12.8 Bq/L, mediana de 5.3 Bq/L y desviación standard de 17.7 Bq/L. La situación espacial se recoge en la Figura 3. La gran mayoría de los puntos con valores mayores a 10 Bq/L se localizan en pozos emboquillados en los materiales del Ciclo Roque Nublo, aunque la mayoría tiene el fondo en las Fonolitas Miocenas infrayacentes.

Tabla 1. Concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$  en los puntos muestreados de agua subterránea con las incertidumbres asociadas.

Punto de agua	Topónimo	Cota (m snm)	Profundidad (m snm)	Cota del fondo (m snm)	[ $^{222}\text{Rn}$ ] (Bq/L)	Incertidumbre (Bq/L)
Rd1	Fuente Santa (manantial)	235	0	235	76.9	8.3
Rd2	Los Lentiscos	108	150	-42	51.9	8.9
Rd3	Puente Meleguinas	430	176	254	0.3	0.3
Rd4	García Ruíz	354	192	162	5.7	1.9
Rd5	Manchones de la Umbría	725	151	574	7.4	3.7
Rd6	Lomo Blanco	235	123	112	1.3	1.0
Rd7	San Isidro	679	290	389	12.5	3.1
Rd8	El Draguillo	603	340	263	30.8	6.4
Rd9	El Albercón	345	150	195	19.2	4.6
Rd10	Los Paredones	515	360	155	3.8	2.4
Rd11	Huerta del Palmital	377	125	252	28.2	6.1
Rd12	El Cavadero	996	450	546	1.8	1.0
Rd13	Cuevas de Matos	499	200	299	14.8	4.1
Rd14	Ávalos	452	400	52	0.9	0.8
Rd15	Barranquillo Frío	620	315	305	9.7	2.6
Rd16	Las Cuevas	740	280	460	2.8	1.2
Rd17	Doña Ana	260	170	90	0.8	0.8
Rd18	El Barranquillo	523	230	293	37.3	8.1
Rd19	Llano de la Plata	420	372	48	4.2	1.9
Rd20	Alguacilejo	625	400	225	4.9	1.7
Rd21	Hoya de las Madres	810	302	508	2.6	1.4
Rd22	Higuera Negra	481	143	338	12.4	3.3
Rd23	San Antonio	750	608	142	1.8	0.9
Rd24	Morente II	1050	540	510	3.1	1.4
Rd25	La Fuente	445	340	105	3.4	1.5
Rd26	San Fernando	598	394	204	10.9	2.8
Rd27	Las Cabras	182	150	32	6.6	2.5
Rd28	El Marqués	827	355	472	3.7	1.5

Se observa que los valores de  $^{222}\text{Rn}$  se agrupan en dos zonas diferenciadas: una zona con valores menores de 10 Bq/L hacia el oeste y otra zona con valores mayores (alcanzando los 76.9 Bq/L) coincidiendo con las zonas medias y bajas de los Barrancos de Moya y Azuaje, donde han existido aguas termales. En los Barrancos de Guinguada y

Telde, aparecen valores medios.

Las muestras de agua se almacenaron durante dos meses, garantizando que el radón disuelto en ellas se encontraba en equilibrio secular con su precursor, el  $^{226}\text{Ra}$ . Transcurrido este tiempo se repitió el proceso de medida antes descrito. Los valores de actividad de radón en el aire del sistema de medida, para las muestras, no superaron los  $200 \text{ Bq/m}^3$ , obteniéndose valores de actividad de radón en agua siempre inferiores a  $1 \text{ Bq/L}$ , lo que indica que el radón obtenido en la primera medida tenía su origen en la absorción directa del gas desde las formaciones geológicas por las que discurren las aguas. Datos de los estudios hidrogeoquímicos y geoquímicos de las rocas por las que circula el agua en curso permitirán precisar el papel de estos fenómenos sobre las variaciones de radón observadas.

## CONCLUSIONES

Las concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$  del norte de Gran Canaria varían en un rango de 0.3 a 76.9 Bq/L, siendo todas inferiores al nivel recomendado para el radón disuelto en agua de consumo humano (Comisión Europea, 2013). La repetición de las medidas de radón en las muestras de agua, transcurrido dos meses, que garantizan el equilibrio secular entre el  $^{222}\text{Rn}$  y su padre, el  $^{226}\text{Ra}$ , a falta de un análisis más exhaustivo, permite concluir que no se encuentra  $^{226}\text{Ra}$  disuelto en el agua subterránea analizada.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto REDESAC (CGL2009-12910-C03-02) del Ministerio de Ciencia e Innovación. Parte del equipamiento utilizado ha sido financiado por el Consejo de Seguridad Nuclear en sus convocatorias de proyectos de I+D 2009 y 2012 y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) mediante un proyecto de investigación (PI2007\_035) concedido por Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información del Gobierno de Canarias en su convocatoria del año 2007.

## REFERENCIAS

- SAPHYMO, AquaKIT user manual. *Accesory for radon water measurement in combination with the radon monitor AlphaGUARD*. 2007.
- Carracedo, J.C.; Pérez Torrado, F.J.; Ancochea, E.; Meco, J.; Hernán, F.; Cubas, C.R.; Casillas, R.; Rodríguez Badiola, E. y Ahijado, A. (2002): *Cenozoic volcanism II: The Canary Islands*. En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons and T. Moreno eds.). The Geological Society of London, 439–472.
- Correa, J.N., Paschuck, S. A., Perna, A., Kappke, J., Del Claro, F., Denyak, V., Schelin, H., Rocha, Z. (2011). *Radon and radium measurement in well water at Curitiba (Pr), Brazil*. INAC 2011 (International Nuclear Atlantic Conference). October 24-28.
- Cruz-Fuentes, T., Benavides, A., Naranjo, G., Cabrera, M.C., Hernández-Quesada, M.P., Estévez, E., Martín, L.F., y Custodio, E. (2012). *Estimación de la recarga natural en la zona Noreste del acuífero insular de Gran Canaria (Islas Canarias, España) mediante el balance de cloruros atmosféricos*. En Lambán, L.J., Carceller, T., Valverde M. y Fernández-Jaúregui, C. (eds): *Las Aguas Subterráneas: Desafíos de la Gestión para el Siglo XXI*. Asoc. Intern. Hidrogeólogos – Grupo Español.
- Custodio, E. (1978). *Geohidrología de terrenos e islas volcánicas*. Centro de Estudios Hidrográficos. Publ. 128, MOPU. Madrid: 1-303

- Custodio, E. y Cabrera, M.C. 2008. *Síntesis de la hidrogeología de las Islas Canarias*. Geo-Temas. Vol. 10. 785-788.
- Comisión Europea (2013). Commission Recommendation of 22 October 2013 on laying down requirements for the protection of the health of the general public with regard to radioactive substances in water intended for human consumption. Official Journal L 296/12, 2013/51/Euratom.
- Hoehn, E., Von Gunten, H.R., Stauffer, F., Dracos, T. (1992). *Radon-222 as a groundwater tracer. A laboratory study*. Environmental Science & Technology, 26(4): 734–738.
- Hopke, P. (1987). *The indoor radon problem explained for the layman*. En: Hopke P, ed. Radon and its decay products. Washington, DC. American Chemical Society, 572-586.
- Kotrappa, P., Sieff, L.R., Volkovitsky, P. (2005). *Radon monitor calibration using NIST radon emanation standards steady flow method*. Radiation protection dosimetry, 113(1).
- Martin-Luis, M. C. (1999). *Variación espacio-temporal del nivel de emisión de radón en una zona volcánica activa: Tenerife (Islas Canarias)*. Tesis doctoral, Universidad de La Laguna, 264 pp.
- Ortega, L., Hornero, J. y Manzano, M. (2013). Aplicación del  $^{222}\text{Rn}$  para identificar y cuantificar descargas de agua subterránea en el río Mundo (Albacete, España). En González, N., Kruse, E.E., Trovatto, M.M., Laurencena, P. (eds): Temas Actuales en Hidrología Subterránea. Editorial de la Universidad de La Plata (Edulp). La Plata, Argentina.
- Pérez-Torrado, F.J. (2008). *Geología de Gran Canaria*. En: F.J. Pérez-Torrado, y M.C. Cabrera, (eds.): Itinerarios geológicos por las Islas Canarias. Gran Canaria. Sociedad Geológica de España, Geo-Guías, 5: 27-39.
- SAPHYMO. *AlphaGUARD portable radon monitor user manual*. 1998.
- Schubert, M., Buerkin, W, Peña, P., López, A.E., Balcázar, M. (2006). *On-site determination of the radon concentration in water samples: Methodical background and results from laboratory studies and a field-scale test*. Radiation Measurements, 41, 492-497.
- Schubert, M., Brueggemann, L., Knoeller, K., Schirmer, M. (2011). *Using radon as an environmental tracer for estimating groundwater flow velocities in single well tests*. Water Resources Research, 47, W03512.
- Skeppström, K., Olofsson, B. (2007). *Uranium and radon in ground water*. European Water, 17/18: 51-62.
- SPA-15, (1975). *Estudio científico de los recursos de agua de las Islas Canarias* (D. Fernandopullé, S. Sáenz-Oiza, R. Heras, A. Sahuquillo, E. Custodio, eds.) UNESCO–DG Obras Hidráulicas. Las Palmas de Gran Canaria/Madrid. 4 Vols.
- Voronov, A. N. (2004). *Radon-rich waters in Russia*. Environmental Geology, 46, 630-634.