



Tecnociencia, Vol. 25, N°2: 124-140

Julio-Diciembre 2023

ISSN L 2415-0940

INCIDENCIA DEL RADÓN-222 EN LA RADIATIVIDAD DE FONDO EN ALGUNAS VIVIENDAS DE EL VALLE DE ANTÓN, PANAMÁ

Lisbeth A. Santana M.,

Universidad de Panamá. Panamá. lissethsantana@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0008-7410-2970>

Luis A. Marín

Universidad de Panamá. Panamá. luis.marin-d@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0001-8580-4128>

Juan Rodríguez

Universidad de Panamá. Panamá. juan-m.rodriguez-c@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-2013-6752>

Alejandro Arroyo

Universidad de Panamá. Panamá. alejandro@reserma.com

<https://orcid.org/0009-0008-0593-444X>

Carlos Dreyfus

Universidad de Panamá. Panamá. carlosdreyfus@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-0647-1913>

Bernardo Fernández

Universidad de Panamá. Panamá. bernardo.fernandezg@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-7947-3147>

Omayra J. Pérez Castro

Universidad de Panamá. Panamá. omayra.perezc@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-7080-5598>

DOI <https://doi.org/10.48204/j.tecno.v25n2.a4069>

Fecha de recepción: 1 de marzo de 2023

Fecha de aceptación: 4 de mayo de 2023

RESUMEN

Este trabajo se enmarcó en el programa que desarrolla la Estación RN50 para caracterizar el origen de la radiactividad de fondo, a nivel de la República de Panamá. El Radón-222 es un gas que proviene de la cadena natural de desintegración del ^{238}U que se encuentra, mayormente, en rocas volcánicas profundas. De acuerdo con las características del suelo volcánico, el radón puede emanar en mayor o menor cantidad del suelo, en esas zonas. Las mediciones se realizaron durante 2021 y 2022, en El Valle de Antón, que es la zona volcánica más accesible de las cuatro identificadas en Panamá. Para medir las concentraciones de Rn-222, se utilizó el equipo RAD7. Por la incidencia del agua en la propagación del Rn-222 en suelos, se midió en los periodos lluvioso, intermedio o de transición y seco. En la estación seca, la mejor captación en los suelos exteriores de las viviendas se obtuvo durante el mes de marzo ($550 - 18\,110$) Bq/m^3 . Durante los meses de octubre y mayo, se registraron las dosis más altas de radiactividad equivalente en el interior de las viviendas ($0,199 - 0,249$) $\text{mSv}/\text{año}$. En conclusión, la contribución a la radiactividad de esta región volcánica es pequeña, por lo que se recomienda mantener una buena ventilación en las viviendas.

PALABRAS CLAVES

Radón, dosis de radiación, Panamá.

RADON MEASUREMENT IN THE THREE SEASONAL PERIODS OF THE YEAR, IN ANTON VALLEY, PANAMA.

ABSTRACT

This work is part of the program developed by Station RN50 to characterize the origin of background radioactivity in the Republic of Panama. Radon-222 is a gas that comes from the natural disintegration chain of ^{238}U , mostly found in deep volcanic rocks. According to the characteristics of the volcanic soil, radon can emanate in greater or lesser quantities from the soil in those areas. The measurements were conducted during 2021 and 2022 in El Valle de Antón, which is the most accessible volcanic zone of the four identified in Panama. To measure Rn-222 concentrations, RAD7 equipment was used. Due to the incidence of water on the propagation of Rn-222 in soils, measurements were taken during the rainy, intermediate or transition and dry periods. In the dry season, the best uptake in the exterior soils of the dwellings was obtained during the month of March ($550 - 18\,110$) Bq/m^3 . During the months of October and May, the highest doses of equivalent radioactivity inside the dwellings were recorded ($0,199 - 0,249$) mSv/year . In conclusion, the contribution to radioactivity from this volcanic region is small, so it is recommended to maintain good ventilation in the dwellings.

KEY WORDS

Radon, radioactive dose, Panama

INTRODUCCIÓN

Por ser un gas noble, el radón que proviene del ^{238}U de las rocas, emana fácilmente del suelo, pasa a la atmósfera y generalmente se adhiere a las partículas suspendidas en el aire (PM_{2,5}). Al ser inhalado por el ser humano, se deposita en las vías respiratorias donde emite radiación alfa, la cual podría dañar el ADN de las células y provocar cáncer del pulmón (WHO, 2021). La Organización Mundial de la Salud y la Unión Europea, en sus recomendaciones, fijan los niveles máximos aceptables de concentración de radón en interiores en 100 Bq/m^3 y 200 Bq/m^3 , respectivamente. Lo que implica un valor de referencia para la dosis efectiva máxima aceptable, de alrededor de 10 mSv/año .

El estudio del Radón tiene la finalidad de que, en caso de ser necesario, se tomen las medidas de protección radiológica apropiadas para preservar la salud humana y de allí se deduce la importancia de la medición.

La facilidad con la que el radón circula en los suelos depende del tipo de roca, de factores ambientales como: estación, circulación del agua, temperatura, profundidad, permeabilidad, humedad, presencia de fallas activas y de los hábitos en interiores, en función de cuán ventilado y cerrado esté un lugar. La medición del radón que proviene de los poros del suelo puede alcanzar valores de concentración de hasta 10^4 Bq/m^3 (Quindos, Fernández y Soto, 1994). Las regiones volcánicas, con potencial geotérmico, son candidatas para tener altas emisiones de radón. En Panamá, El Valle de Antón (figura 1) es una región volcánica con cierto potencial geotérmico (IRHE et al., 1987) y en sus suelos podemos encontrar concentraciones de radón superiores a la norma.



Fig. 1. Localización de la zona de estudio, volcán “El Valle de Antón” (File: Panama SRTM lrg.Jpg, 2023).

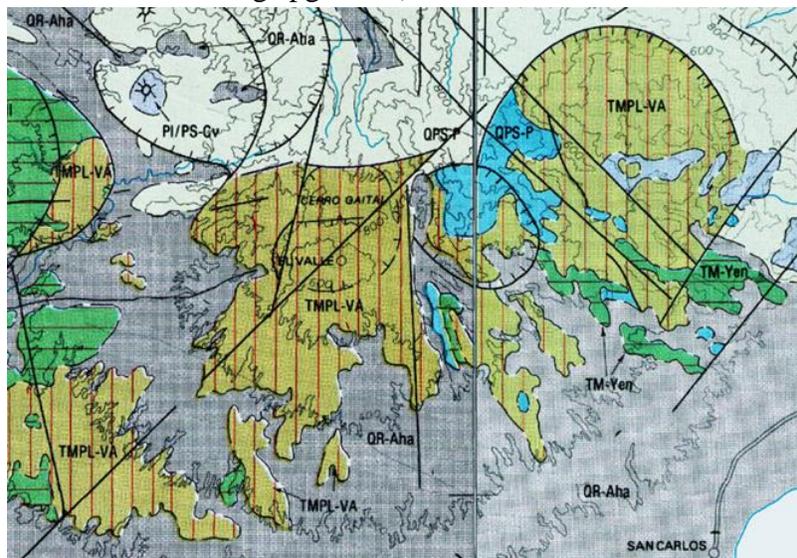


Fig. 2. Mapa geológico de la región de “El Valle de Antón”. Esta región está predominantemente formada por rocas del periodo terciario: formación El Valle, señalada con el símbolo TMPL-VA. Principalmente caracterizado por rocas de tipo: dacitas, brechas, plugs,

flujos ignimbríticos, pumitas, tobas finas. Andesitas/basaltos, tobas y subintrusivos de grano fino (STRI GIS Portal, 2023).

Cuando las rocas de ^{238}U son atravesadas por agua, puede disolver el radón y transportarlo en solución. La cantidad de radón transportada por el agua depende de la cantidad de uranio presente en las rocas, la permeabilidad de las rocas y la rapidez del flujo de agua. Por ello, las concentraciones de radón en el agua pueden variar de acuerdo con la geología, la geografía y la meteorología local. La mayoría de la exposición al radón se produce por la inhalación del gas en el aire en el interior de las viviendas, especialmente en aquellas construidas sobre suelos y rocas que contienen uranio y otros elementos radiactivos. Sin embargo, en ciertas áreas donde el agua contiene concentraciones significativas de radón, la inhalación del gas disuelto en el agua también puede ser una fuente importante de exposición. De allí la importancia de estudiar el radón en suelos volcánicos (Skeppstrom et al., 2007).

Este estudio inicial es parte del proyecto “Rastreo de Rn-222 en áreas volcánicas de Panamá”, con código de registro VIP-01-04-03-2022-08, el cual consiste en: 1) describir las características geográficas, climáticas y meteorológicas en las áreas escogidas del Valle de Antón, que sean pertinentes para construir el mapa local de radón; 2) medir radón-222 en el exterior (suelo) e interior (aire), habitables, alrededor de dos viviendas representativas del área urbana del Valle de Antón, y, 3) calcular la dosis efectiva de radón en el interior de esas dos residencias seleccionadas. Lo anterior se realizó durante los tres periodos estacionales representativos del año: mayo 2021 (inicio de estación lluviosa), octubre 2021 (pico máximo de estación lluviosa) y marzo de 2022 (pico estación seca).

En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de actividad (dN/dt) es 1 desintegración por segundo, llamada Becquerel (Bq), la de concentración por unidad de volumen es el Bq/m^3 y la de dosis efectiva es $mSv/año$.

MATERIALES Y MÉTODOS

El RAD7, de DurrIDGE[®], es ampliamente utilizado para realizar estudios científicos y como instrumento de medición de radón en aire, agua o suelo, el equipo cuenta con varios accesorios opcionales. Los isótopos radiactivos al ingresar en el dispositivo se depositan en la superficie del material semiconductor, generando una señal eléctrica y electrónicamente se determina la energía de cada partícula alfa lo que permite medir continuamente concentraciones de radón y torón (torio). El RAD7, en la calibración, está certificado con una exactitud total superior al 5%, en condiciones secas (DURRIDGE, 2022). Si el ambiente es húmedo, con el programa Capture, se puede realizar una corrección automática de los datos de humedad.

La toma de datos se hace con la finalidad de calcular las dosis de radiación a la que están expuestas las personas que habitan en las viviendas. Para la medición en suelos se empleó el protocolo GRAB. En este caso, por bombeo, el RAD7 extrae aire seco del suelo a través de una sonda de acero inoxidable (figura 3). Para escoger los puntos de medición en suelo, se diseñó una malla aleatoria con 13 puntos de muestreo a lo largo del área de trabajo (ver figura 4). En el caso de la medición en aire se estableció como protocolo de monitoreo, la medición continua durante un día, pero sin sonda. La dosis efectiva recibida se calculó a partir de la expresión establecida por la UNSCEAR (2000).

$$E = C_{Rn} * D * F * T \quad (1)$$

C_{Rn} es la concentración de radón medida, D es el factor de conversión de dosis (9 nSv), F es el factor de equilibrio y T es el tiempo de estadía de la persona en el lugar (“*occupancy*” u ocupación). Para interiores, el factor de equilibrio utilizado fue de 0,4.

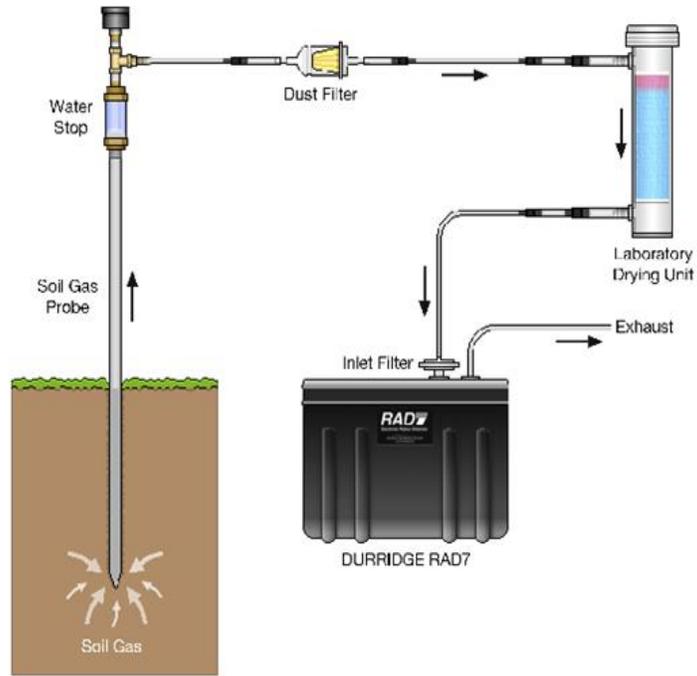


Fig. 3. Configuración estándar del RAD7 con la sonda de gas para suelos (Durrige, 2022).

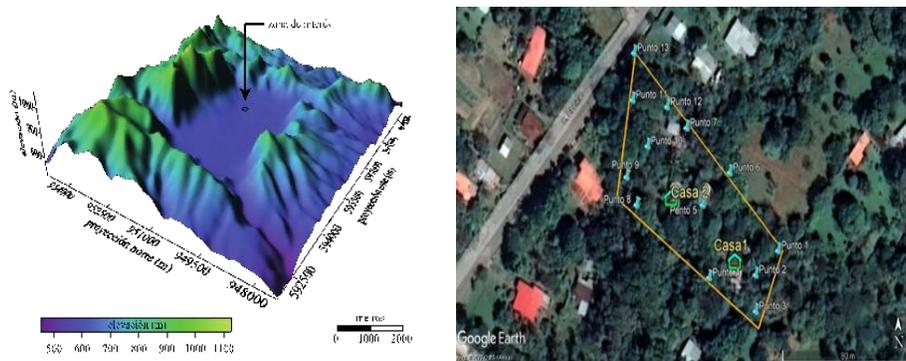


Fig. 4. Mapa con los puntos de muestreo, en el Sector de El Hato, El Valle de Antón. Nota. A la izquierda se tiene un mapa en relieve del

Valle de Antón realizado con Golden Surfer 22, indicando la ubicación del lugar de trabajo y a la derecha, la malla de los 13 puntos para el muestreo de Rn en suelo, junto con las dos viviendas escogidas para monitorear el Radón-222 en aire (Landsat/Copernicus 2022).

Una vez se toman los datos, in situ, se guarda el registro en la memoria del RAD7 para su posterior exportación y análisis. La información obtenida permite elaborar los mapas del radón mediante el programa Surfer ya que proporciona múltiples tipos de interpoladores. La literatura indica que se debe usar un comportamiento lognormal de la data. Debido a que la cantidad de datos (13) es menor a la recomendada (20), se verificó que su distribución es lognormal, por lo que se consideraron los métodos como representativos y válidos. Por el lado determinista, la interpolación usada fue la de la Distancia Inversa Ponderada (DIP) y por el lado geoestadístico, la Kriging.

Ambos métodos de interpolación siguen el siguiente modelo iterativo:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

donde los λ_i representan los pesos o ponderaciones de los valores originales. Estos se calculan en función de la distancia entre los puntos muestreados y el punto donde se va a hacer la correspondiente predicción (Giraldo Henao, 2002).

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Radón en suelo

El Rn en suelo se detectó en dos de los tres periodos estacionales. Los picos mayores y de distribución más regular de concentración de radón en suelo, se registraron en el mes de marzo (estación seca), con valores que se aproximan a los 20 kBq/m^3 (figura 5). Le sigue el mes de mayo (inicio de la estación lluviosa), mientras que octubre (estación lluviosa) se mostró, en su mayoría, casi sin detección.

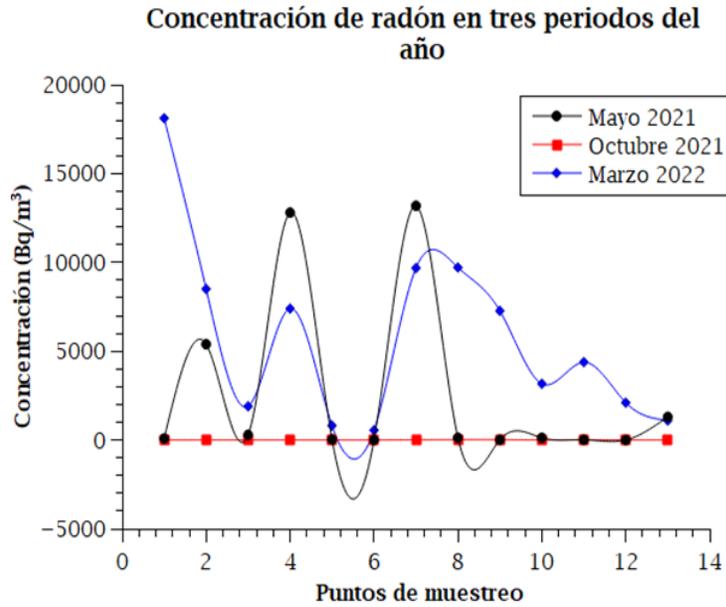


Fig. 5. Gráficos de la concentración de radón en suelo, para los tres periodos estacionales.

En la figura 6 se muestran las tendencias de los datos de la concentración de radón, para el mes de marzo, en función de dos de las más significativas magnitudes físicas ambientales: temperatura (T) y humedad (HR).

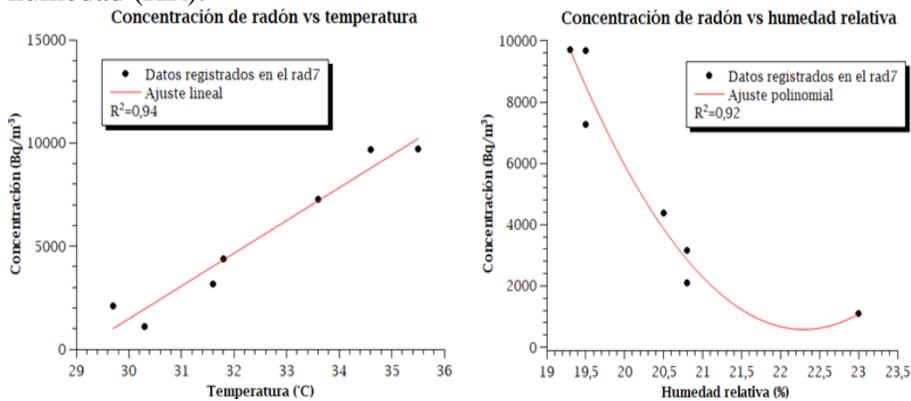


Fig. 6. Ajuste de las tendencias de la data de concentración de Rn vs las magnitudes ambientales (T, HR), para el mes de marzo.

Las concentraciones del radón aumentan con la temperatura, por ende, durante la estación más calurosa (seca) encontramos los niveles más elevados. Las mismas disminuyen con el aumento de la humedad relativa ya que los suelos húmedos, propios de la estación lluviosa, diluyen el gas radón e impide que sea detectado por el equipo de medición.

Radón en aire

En la vivienda 1, el muestreo del mes de mayo se hizo en una sala, con poca ventilación y se obtuvo una mayor detección de Rn ($7,90 \pm 1,70 \text{ Bq/m}^3$) que, en el mes de octubre, que se hizo en un dormitorio, con mayor ventilación. En la vivienda 2 se registró el mayor valor de concentración de radón en octubre y, por ende, la mayor dosis de radiación ($6,30 \pm 1,30 \text{ Bq/m}^3$). Esto se debió a la escasa ventilación y cierre de ventanas debido a las lluvias. Los menores valores se midieron en verano (marzo 2022) y lo asociamos a la presencia de corrientes de aire que mantienen una mejor ventilación de las viviendas.

Por otro lado, los valores de las dosis efectivas se mantuvieron en el rango de ($0,056 \text{ 8} - 0,249 \text{ 0} \text{ mSv/año}$), con valores inferiores a $1,0 \text{ mSv/año}$ que es el máximo aceptable según la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) 2007. En este sentido, los valores encontrados no representan riesgos considerables a la salud.

Elaboración de mapas

Para realizar un análisis exploratorio de la distribución de los datos se graficó su histograma de frecuencia como se muestra a continuación.

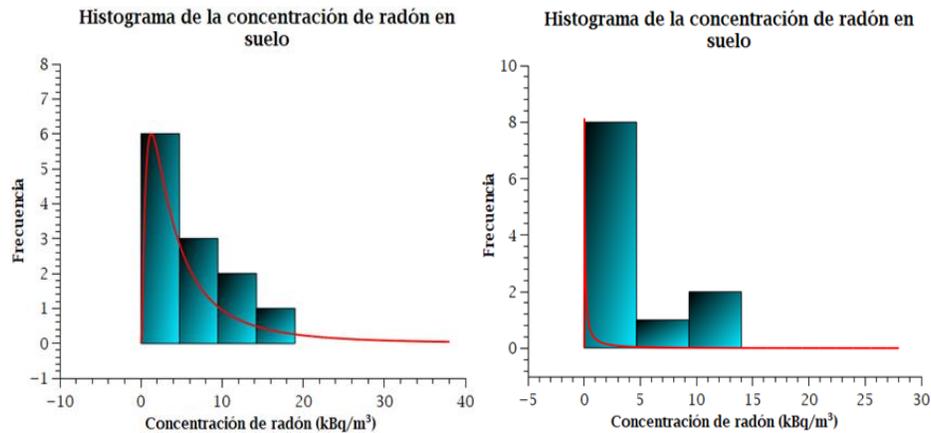


Fig. 7. Histogramas de frecuencias para los meses de marzo (izquierda) y mayo (derecha).

Observamos que los resultados siguen una distribución lognormal (curva roja en la figura 7). Los datos se acumulan en bajas concentraciones y disminuye en las altas. Se omite el mes de octubre porque no marcó en la medición, luego hay falta de lecturas.

La distribución lognormal se modeliza a través de la expresión:

$$f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{(-\log x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

Donde μ es la media de los valores logarítmicos de la data y σ es la varianza del conjunto de mediciones realizadas.

Entonces se procedió a graficar los 13 puntos en un mapa con sus respectivas concentraciones (figura 8). No se observan tendencias direccionales en ninguno de los tres periodos y el muestreo se muestra heterogéneo.

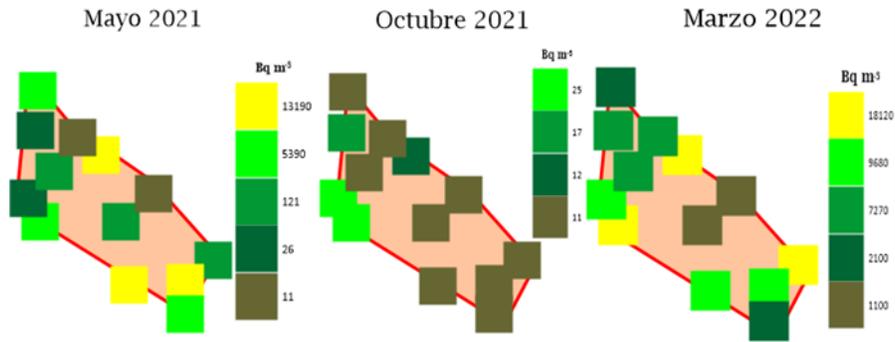


Fig. 8. Mapa de niveles de radón medidos.

Nota. Se identifican los niveles de concentración de radón medidos en el suelo a través de una escala de colores.

Para observar el corrimiento de la concentración según factores, se recurre al método de interpolación. La interpolación se realizó por dos métodos, el de Distancia Inversa Ponderada (DIP) y el Kriging. Los valores más altos se colorean en amarillo, mientras que los más bajos en verde. Al ponerlos en una misma escala de colores fríos (figura 9) el mes de octubre se pinta morado en su totalidad, ya que los valores registrados en este periodo son muy inferiores a las concentraciones de $20,0 \frac{kBq}{m^3}$, detectadas en el mes de marzo.

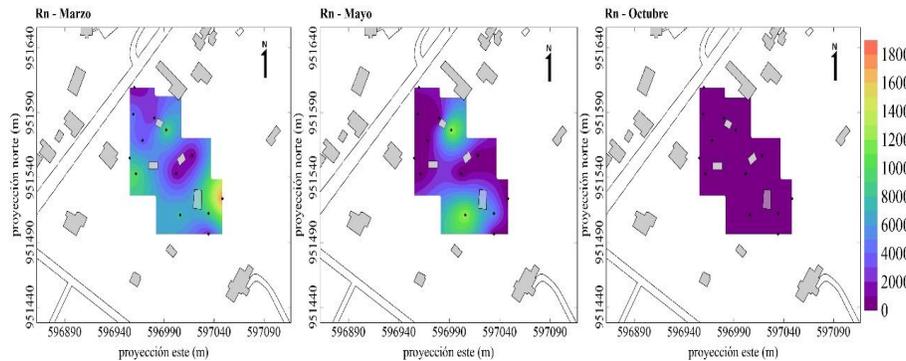


Fig.9. Mapas de las concentraciones de radón con una misma escala de colores.

En los tres mapas o periodos estacionales se observa una subregión que presenta el mismo patrón de alta concentración de radón (ver punto de medición 7, de la figura 4. Esta área se caracteriza por presentar un suelo firme ya que está expuesto directamente a la radiación solar, por lo que almacena poca agua.

Se observa un corrimiento del amarillo (ver figura 10). Durante el mes de marzo, el pico más alto se presenta en el punto de medición 1, lugar colindante con una quebrada que pasa cerca de los puntos 2, 3, 4, 8 y 9 (perímetro inferior) de la figura 4. Luego, en mayo, esta región se desplaza bordeando la quebrada hacia los puntos de medición 2, 3 y 4. Finalmente, en el mes de octubre, siguiendo la dirección del flujo del agua, vemos el área amarilla ubicada en los puntos de medición 9, 10 y 11. Esto puede ocurrir por el movimiento del flujo de radón favorecido por la infiltración de aguas en el suelo que traslada las altas concentraciones del radón.

Comparando la distribución de las concentraciones de radón en el suelo con las dosis efectivas de las viviendas vemos aparecer una correspondencia. En mayo 2021 y marzo 2022, tenemos focos de alta concentración próximos a la vivienda 1 lo cual se relaciona con la detección de mayor radón en el interior de esta y, por consiguiente, una dosis efectiva ligeramente superior a la de la vivienda 2. Mientras que, en octubre 2021, los pocos puntos donde se encontró radón se localizan en regiones contiguas a la vivienda 2, obteniendo una dosis efectiva superior a la de la vivienda 1.

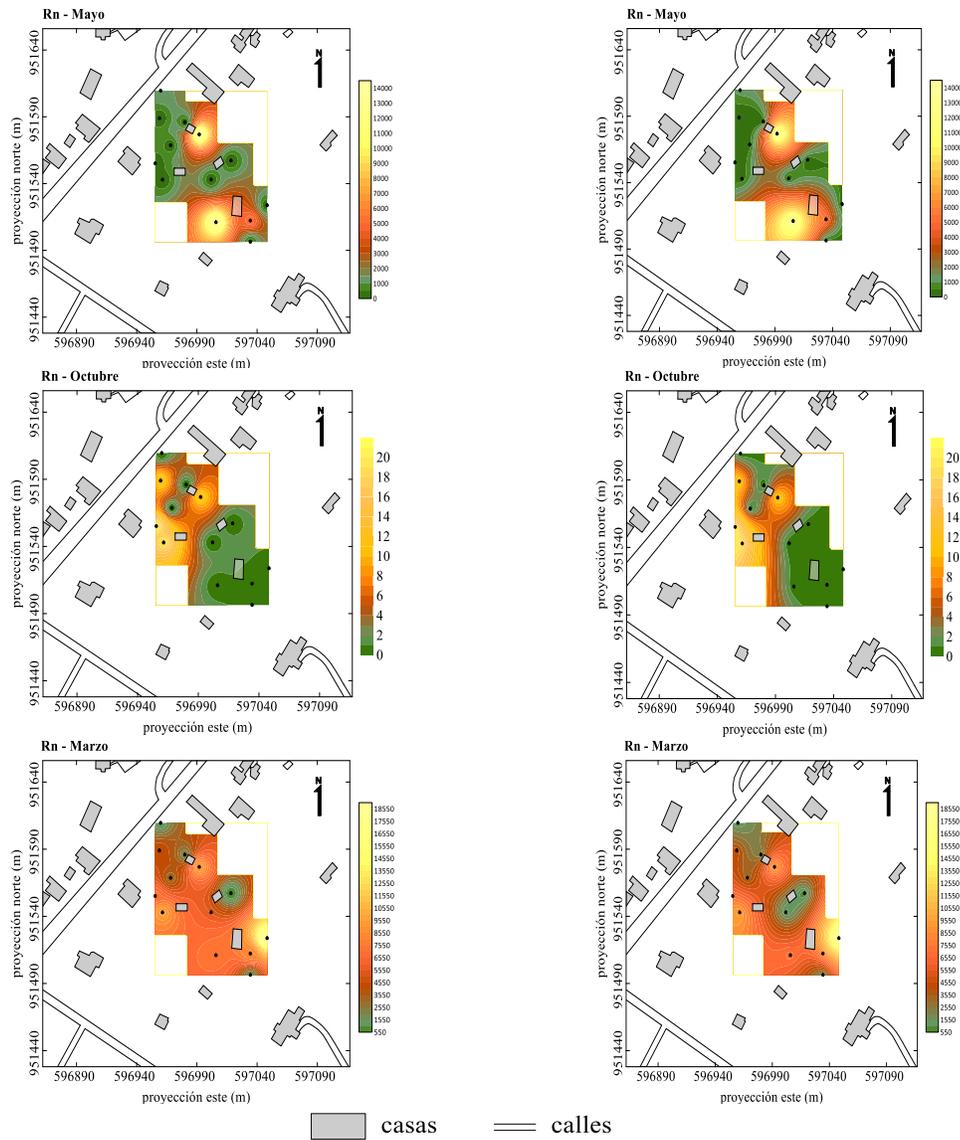


Fig. 10. Mapas de radón generados tras interpolación. Nota. Los puntos muestreados son marcados en negro, para conocer su número según la malla (véase figura 4). A la izquierda se muestran los tres periodos interpolados por el método Distancia Inversa Ponderada (IDW, por sus siglas en inglés y DIP en español) y a la derecha los mapas interpolados con Kriging.

CONCLUSIONES

En conclusión, el RAD7 es un instrumento sólido y versátil, ideal para llevar a cabo investigaciones en campo relacionadas con la medición de concentraciones de radón en aire y suelo. Los resultados obtenidos muestran un rango de concentraciones de 0 a 18 110 Bq/m³, de radón en el suelo, con una clara dependencia estacional. Las concentraciones de radón en el suelo son más elevadas en la estación seca y disminuyen en la lluviosa, lo que refleja la influencia de factores ambientales como la temperatura y la humedad relativa.

Por otro lado, en interiores, los niveles de radón en aire tienden a ser más altos durante la estación lluviosa debido al cierre de las viviendas y la consiguiente reducción de la ventilación. A pesar de las variaciones observadas, la dosis de radiación más alta registrada fue de 0,249 mSv/año, lo cual se encuentra por debajo de los límites máximos admisibles y no representa un riesgo inminente para la salud.

Lo anterior resalta la importancia de considerar factores ambientales en la evaluación de las concentraciones de radón en suelos y en el interior de las viviendas.

Además, se presenta un mapa de radón elaborado a partir de dos métodos de interpolación distintos: el Inverso Cuadrado de la Distancia Ponderada y el Kriging. Al analizar los resultados obtenidos con ambos enfoques, se evidencia un desplazamiento de los puntos de alta concentración de radón en la dirección del flujo de agua de la quebrada como lo indica Skeppstrom et al. En su artículo “Uranium and radon in groundwater”. Este patrón sugiere que el movimiento del radón está influenciado por la infiltración de agua en el suelo, lo que respalda la teoría que postula una fuerte correlación entre el radón y la circulación del agua.

La información proporcionada por estos mapas de radón no solo confirma las relaciones teóricas existentes, sino que también resalta la importancia de considerar el flujo de agua en el suelo al estudiar la distribución y concentración de radón.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a los propietarios de las dos viviendas en el Valle de Antón, por permitirnos realizar las mediciones en sus propiedades, al Dr. Alexis Mojica por el apoyo para realizar algunos mapas y al Sr. L. Marín padre, por su ayuda durante los viajes a El Valle de Antón.

REFERENCIAS

DURRIDGE. (2022). Electronic Radon Detector User Manual. <https://durridge.com/documentation/RAD7%20Manual.pdf>.

DURRIDGE. (2017). Soil gas measurement. <https://durridge.com/support/technical-resources/application-notes/soil-gas-measurement/>

File: Panama SRTM lrg.Jpg. (s/f). Wikimedia.org. https://commons.m.wikimedia.org/wiki/File:Panama_SRTM_lrg.jpg

Giraldo Henao, R. (2002). Introducción a la Geoestadística, Teoría y Aplicación. Universidad Nacional de Colombia.

Golden Surfer, LLC. (2022). Choosing method based on the number of XYZ data points.

International Commission Radiologic Protection. (2008). Publicación 103 ICRP: Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (Trad. Sociedad Española de Protección Radiológica). Senda Editorial S.A. https://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf

IRHE, BID y OLADE (1987). Informe Final del Estudio de Reconocimiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Panamá. Convenio de cooperación técnica IRHE-OLADE.

King, C.Y., Zhang, W., & King, B.S. (1993). Radon anomalies on three kinds of faults in California. *Pageoph* 141(1), 111-124. <https://doi.org/10.1007/BF00876238>.

Krane, Kenneth. (1988). *Introductory Nuclear Physics*. John Wiley & Sons, Inc. <https://faculty.kfupm.edu.sa/PHYS/aanaqvi/Introductory-Nuclear-Physics-new-Krane.pdf>.

Marín, L. (2020). Identificación de los criterios básicos para la utilización del RAD-7 en la medición de radón en centros educativos de la República de Panamá.

Quindos, L. S., Fernández, P. L., & Soto, J. (1994). A method for the measurement of the emanation factor for Rn 222 in small samples of porous materials. *Radiation Protection Dosimetry*, 56 (1), 171-173. <http://elradon.com/wp-content/uploads/2018/10/9.pdf>.

Skeppström, K. A. O. B., & Olofsson, B. (2007). Uranium and radon in groundwater. *European water*, 17(18), 51-62.

STRI GIS Portal. (2023). Stridata.Si. Mapa de la Geología de la República de Panamá <https://stridata.si/maps/SI::mapa-de-la-geolog%C3%ADa-de-la-rep%C3%ABlica-de-panam%C3%A1/explore?location=8.462576%2C-79.884350%2C8.69>

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2000). Sources and effects of ionizing radiation https://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR_2000_Annex-B.pdf.

Us Epa, O. (2014). Building a New Home, have you considered Radon? <https://www.epa.gov/radon/building-new-home-have-you-considered-radon>

World Health Organization. (2009). *WHO Handbook on indoor radon*. WHO Press.

World Health Organization. (2021). Radon and health. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-healthz>.