

## **“Medida de la concentración de radón ambiental en viviendas de material noble y adobe y su impacto sobre la salud humana en la ciudad del Cusco”**

## **“Environmental radon concentration measurement in houses made of noble material and adobe and its impact on human health in the city of Cusco”**

Recibido: 26 de Mayo del 2022| Aceptado: 30 de Junio del 2022

Arteaga-Curie Rocío<sup>1</sup>, Álvarez Núñez Corina F<sup>2</sup>, Álvarez-Moscoso Modesta E.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Departamento Académico de Física*

<sup>2</sup>*Departamento Académico de Química*

<sup>3</sup>*Departamento Académico de Biología*

<sup>1,2,3</sup> *Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).*

ORCID: [0000-0001-8519-5377](https://orcid.org/0000-0001-8519-5377)

Correo electrónico: [rocio.arteaga@unsaac.edu.pe](mailto:rocio.arteaga@unsaac.edu.pe)

### **Resumen**

En este trabajo se presentan las primeras medidas de concentración de radón realizadas en viviendas de material noble y adobe de cinco distritos de la ciudad del Cusco. La concentración de radón se halló mediante la detección de radiactividad alfa del radón usando el CR-39 como detector pasivo. Al ser expuesto el detector al gas radón por un tiempo de 90 días recibe el impacto de las partículas alfa que dejan huellas (trazas nucleares) en su superficie. Para que estas trazas sean observables al microscopio, los detectores fueron sometidos a un tratamiento químico con hidróxido de sodio 6 N en baño maría a una temperatura constante de 75°C durante seis horas. Las huellas obtenidas fueron caracterizadas y cuantificadas con ayuda del software Zen - Lite del microscopio Primo Tech–Zeiss para determinar la concentración de radón objeto de estudio. Se halló que la concentración media de radón en viviendas construidas de adobe fue de  $82,4 \pm 25.2$  Bq/m<sup>3</sup> y la concentración media de radón en viviendas construidas de material noble fue de  $52,9 \pm 24.5$  Bq/m<sup>3</sup>. Los valores hallados se encuentran bajo el límite de seguridad propuesta por la OMS de 100 Bq/m<sup>3</sup>.

*Palabras clave: Radón, viviendas, concentración, huellas nucleares*

## **Abstract**

This paper presents the first measurements of radon concentration carried out in noble material and adobe homes in the city of Cusco, by detecting alpha radioactivity of radon using CR-39 plastic (PADC: allyl diglycol carbonate) as a passive detector, which when exposed to radon for a period of 90 days receives the impact of alpha particles that leave traces (nuclear traces) on its surface. For these tracks to be observable under a microscope, the detectors were subjected to a chemical treatment with 6.25 N sodium hydroxide in a water bath at a constant temperature of 75°C for six hours. The footprints obtained were characterized and quantified with the help of the Zen-Lite software of the Primo Tech-Zeiss microscope to determine the concentration of radon under study. In houses build of adobe, the average concentration of radon found was  $(82.4 \pm 25.2)$  Bq/m<sup>3</sup> and in houses build of noble material, the average concentration of radon found was  $(52.9 \pm 24.5)$  Bq/m<sup>3</sup>. The values found are below the safety limit of 100 Bq/m<sup>3</sup> proposed by the WHO.

**Keywords:** *Radon in homes, concentration, nuclear traces.*

## **Introducción**

El radón es un gas radiactivo de origen natural que no tiene color, sabor ni olor, como elemento químico tiene un símbolo de Rn, un número atómico de 86 y masa atómica 222 g/mol, tiene una densidad de 9.73 kg/m<sup>3</sup> mayor al aire.

Este radio isotopo Rn-222, se produce por la desintegración del radio Ra-226 que a su vez es producto de la desintegración del uranio U-238 y según Richardson (1964) el radio se halla mayormente en rocas de origen volcánico, en pizarras, esquistos, rocas fosfatadas, granitos, rocas arcillosas, areniscas y en menor proporción en rocas sedimentarias, todas ellas consideradas como fuentes naturales del gas radón.

El radio, así como el radón pueden ser transportado por aguas subterráneas que están en contacto con dichas rocas hasta la superficie terrestre donde se depositan y acumulan en distintas proporciones.

El radón 222 en comparación con otros isotopos como el Actinon (Rn-219) y Torón (Rn-220) es el más abundante en la naturaleza y tiene una vida media mayor que los otros de 3,8 días, y por su naturaleza gaseosa se difunde desde el suelo a través de fisuras y grietas hacia la atmosfera teniendo la posibilidad de concentrarse en ambientes pocos ventilados como sótanos o en los primeros niveles de las viviendas, debido a su alta densidad.

Según la Organización Mundial de la Salud, los niveles de radón en el exterior de las viviendas representan un riesgo mínimo para la salud; sin embargo, éste puede acumularse a niveles perjudiciales para la salud en el interior de cualquier vivienda. Al respecto, Ruano (2014) menciona que el gas radón no constituye un riesgo para la salud en sí mismo al ser inhalado, el riesgo está asociado a sus productos de desintegración del radón como los isótopos Po-218 y Po-214, que se adhieren a aerosoles y al ser inhalados éstos, quedan retenidas en diferentes tramos del aparato respiratorio, emitiendo radiación alfa ionizante que al incidir sobre las células del epitelio pulmonar, arrancan los electrones de sus moléculas, produciendo cambios químicos en las células, origen del desarrollo de cáncer de pulmón.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha adoptado como referencia una concentración de radón en el aire de interiores de 100 a 300Bq/m<sup>3</sup>, por encima de la cual se deben aplicar medidas de mitigación y recomienda que los países realicen programas nacionales para disminuir el riesgo de la población relacionado con la exposición a concentraciones elevadas.

La ciudad del Cusco ubicada a 3250 m.s.n.m, tiene una extensión de 719 km<sup>2</sup> y una presión atmosférica de 517,4 mmHg. según el indicador departamental de vivienda y hogar, reportado por el INEI en Cusco para el periodo 2007-2017, “en las viviendas predominan las paredes de adobe y pisos de tierra seguido de paredes de ladrillo”, condiciones que son favorables a la acumulación del gas radón en el interior de estas viviendas significando un posible riesgo para la salud sus habitantes.

El presente estudio tiene por objetivo determinar la concentración de radón 222 en viviendas de material noble y adobe en cinco distritos de la ciudad del Cusco y determinar un posible riesgo para la salud de sus habitantes.

## **Material y Métodos**

Para medir la concentración de radón en el interior de viviendas se utilizó el método de detección por trazas en sólidos (DTS) y Detectores de Traza Nuclear en Estado Sólido (SSNTDs) CR-39<sup>TM</sup> contenidos en una cámara para la difusión del radón, con un factor de calibración determinado por el Instituto Peruano de Energía Nuclear.

Acondicionamiento de los Detectores. - Los detectores CR-39 se acondicionaron en el interior de una cámara de difusión con el objetivo de normalizar el volumen de aire alrededor del detector, el conjunto es cubierto con un plástico de polipropileno permeable al radón, que impide el paso de polvo y aerosoles. La altura a la que se colocó la cámara de difusión en el interior de las viviendas muestreadas fue de 1,5 m medido desde el suelo como se muestra en la figura 1

## Figura 1

### *Acondicionamiento e instalación del detector*



En esta primera etapa de estudio (junio- setiembre 2017), los detectores pasivos CR-39 fueron instalados en las viviendas de material noble y adobe en el primer nivel (dormitorios, oficinas, sala, comedores, cocinas), así como en sótanos, durante 90 días en general, que es el periodo en el que estos detectores integran la concentración de radón, Canoba, A., y López, F. (2006).

## Tabla 1

### *Distribución de Detectores*

Código	Material	Ubicación	Código	Material	Ubicación
CR-718	ADOBE	Santiago	CR-723	M. NOBLE	S. Sebastián
CR-719	ADOBE	Cusco	CR-721	M. NOBLE	S. Jerónimo
CR-734	ADOBE	Cusco	CR-768	M. NOBLE	S. Jerónimo
CR-736	ADOBE	Santiago	CR-710	ADOBE	Wánchaq
CR-739	ADOBE	S. Sebastián	CR-697	M. NOBLE	S. Sebastián
CR-740	M. NOBLE	S. Jerónimo	CR-790	ADOBE	Wánchaq
CR-741	M. NOBLE	Cusco	CR-699	M. NOBLE	Cusco
CR-758	ADOBE	Cusco	CR-707	ADOBE	Cusco
CR-761	ADOBE	Cusco	CR-787	ADOBE	Santiago
CR-778	ADOBE	Cusco	CR-717	M. NOBLE	S. Sebastián
CR-780	ADOBE	Santiago	CR-786	ADOBE	S. Jerónimo
CR-783	ADOBE	Cusco	CR-700	M. NOBLE	Santiago
CR-784	M. NOBLE	Cusco	CR-779	ADOBE	Santiago
CR-716	ADOBE	Cusco	CR-701	M. NOBLE	Santiago

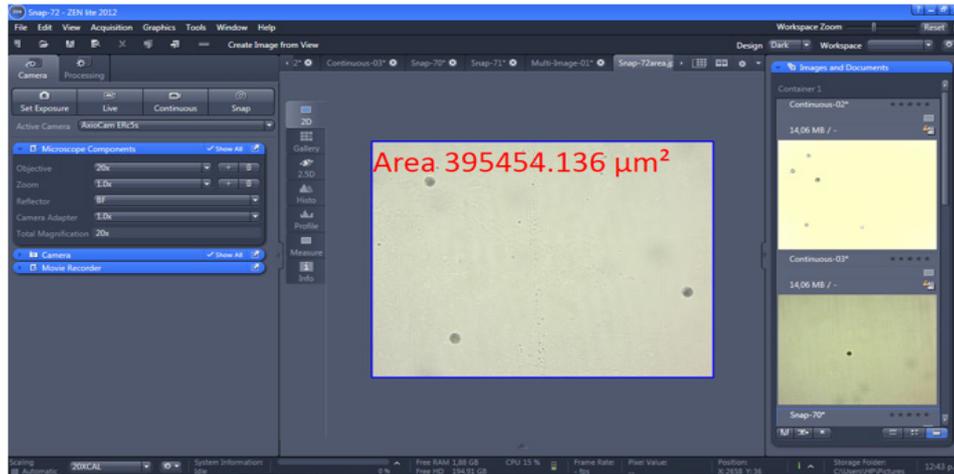
CR-742	M. NOBLE	Cusco	CR-777	ADOBE	Wánchaq
CR-751	ADOBE	Cusco	CR-698	M. NOBLE	Wánchaq
CR-757	M. NOBLE	Cusco	CR-746	M. NOBLE	Cusco
CR-715	ADOBE	Cusco	CR-694	M. NOBLE	Cusco
CR-767	ADOBE	Santiago	CR-789	ADOBE	S. Jerónimo
CR-754	M. NOBLE	Cusco	CR-788	M. NOBLE	Santiago
CR-766	ADOBE	Cusco	CR-792	M. NOBLE	S. Sebastián
CR-743	ADOBE	Cusco	CR-776	ADOBE	Cusco
CR-703	M. NOBLE	Cusco	CR-771	ADOBE	Cusco
CR-711	M. NOBLE	Santiago	CR-728	ADOBE	Cusco
CR-729	ADOBE	Santiago	CR-791	M. NOBLE	Cusco
CR-732	ADOBE	Santiago	CR-775	ADOBE	Santiago
CR-753	ADOBE	Santiago	CR-675	ADOBE	S. Jerónimo
CR-724	ADOBE	Santiago	CR-785	M. NOBLE	S. Sebastián
CR-730	M. NOBLE	Santiago	CR-773	M. NOBLE	Wánchaq
CR-731	ADOBE	Santiago	CR-781	ADOBE	S. Jerónimo
CR-744	ADOBE	Santiago	CR-759	M. NOBLE	Cusco
CR-722	ADOBE	S. Sebastián	CR-742	M. NOBLE	Cusco
CR-765	ADOBE	S. Sebastián	CR-760	ADOBE	S. Jerónimo
CR-750	ADOBE	S. Sebastián	CR-693	ADOBE	Cusco
CR-720	M. NOBLE	S. Jerónimo	CR-690	M. NOBLE	Cusco
CR-774	M. NOBLE	S. Sebastián	CR-763	M. NOBLE	Santiago
CR-709	M. NOBLE	S. Sebastián	CR-691	M. NOBLE	Cusco
CR-780	ADOBE	S. Sebastián	CR-675	ADOBE	S. Jerónimo
CR-733	M. NOBLE	S. Sebastián	CR-782	ADOBE	S. Jerónimo

Revelado de trazas nucleares de radón. - después de ser expuesto el detector a la radiación ionizante, éste es sometido a un ataque químico de desgaste superficial, que se presenta en zonas de incidencia de la radiación ionizante, formándose huellas nucleares. Para el grabado químico se utilizó una solución de NaOH 6N añadido a vasos de 100 ml que contienen los detectores CR-39 los mismos que se sometieron a baño maría a una temperatura constante de 75 °C por seis horas para luego ser lavados y enjuagados con agua desmineralizada y puestos a secar al medio ambiente

Luego del ataque químico, en los detectores se hallaron trazas o huella de radiación recibida a nivel microscópico entre 10 y 100 micrómetros entre ellas las trazas nucleares características del radón como se muestran en la figura 2, trazas que fueron cuantificadas en cuarenta campos de 40 campos de 0.3954 mm<sup>2</sup> cada uno haciendo uso del microscopio Primo Tech -Zeiss y el software zen-lite

**Figura 2**

Trazas nucleares identificadas con el software zen-lite correspondiente a una magnificación de 20x



### Determinación de la concentración de radón

Cuantificadas las trazas, se procedió a determinar la concentración del gas radón con la siguiente ecuación:

$$C = \left[ \frac{\rho}{(F_c \cdot t_{exp})} \right] \frac{Bq}{m^3}$$

Siendo  $\rho$ , la densidad de trazas calculado mediante la ecuación:

$$\rho = \frac{\#trazas}{A} \frac{tr}{cm^2}$$

$F_c$ : factor de calibración del detector (1.407 Tr/cm<sup>2</sup>/kBq/m<sup>3</sup>h) determinado por el IPEN  
 $t_{exp}$ , es el tiempo de exposición del detector y A, área de campo de visión.

### Resultados y Discusión

MATERIAL	Detectores	Densidad (Tr/cm <sup>2</sup> )	error (D) (Bq/m <sup>3</sup> )	Concentración	error (C)
ADOBE	CR-718	564.103342 ±	48.16	180.7 ±	34.2
ADOBE	CR-719	284.483151 ±	44.99	99.6 ±	32.0
ADOBE	CR-734	291.777591 ±	64.17	118.7 ±	45.6
ADOBE	CR-736	265.841805 ±	41.7	96.3 ±	29.6

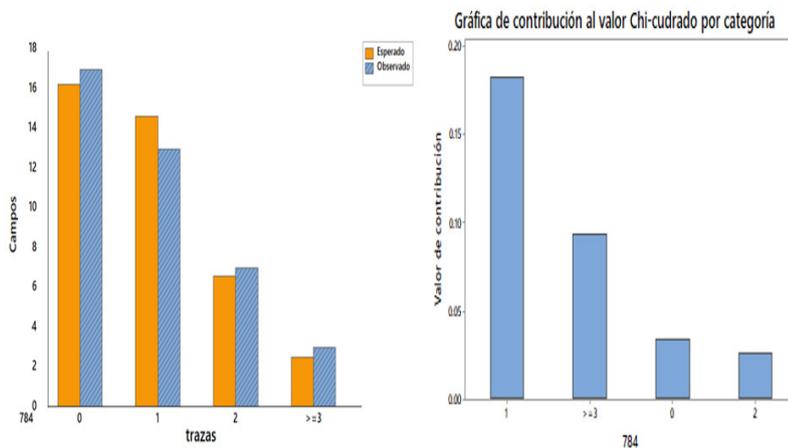
ADOBE	CR-739	335.057933	±	48.66	116.1	±	34.6
M. NOBLE	CR-740	126.436956	±	37.06	44.3	±	26.3
M. NOBLE	CR-741	164.368043	±	38.2	51.0	±	27.2
ADOBE	CR-761	145.402499	±	37.21	48.6	±	26.4
ADOBE	CR-778	341.379781	±	43.23	110.5	±	30.7
ADOBE	CR-780	145.402499	±	39.35	50.2	±	28.0
ADOBE	CR-783	58.3555182	±	33.33	19.9	±	23.7
M. NOBLE	CR-784	164.368043	±	38.2	52.7	±	27.2
ADOBE	CR-716	271.839455	±	36.38	113.9	±	25.9
M. NOBLE	CR-742	113.79326	±	18.85	47.6	±	13.4
ADOBE	CR-751	136.162876	±	34.98	57.0	±	24.9
M. NOBLE	CR-757	58.3555182	±	17.28	24.4	±	12.3
ADOBE	CR-715	246.552064	±	47.47	96.3	±	33.7
ADOBE	CR-767	280.211632	±	52.17	106.6	±	37.1
M. NOBLE	CR-754	493.104128	±	52.95	174.3	±	37.6
ADOBE	CR-766	568.966302	±	72.43	201.1	±	51.5
ADOBE	CR-743	739.656193	±	66.47	271.5	±	47.2
M. NOBLE	CR-703	252.873912	±	46.19	94.0	±	32.8
M. NOBLE	CR-711	153.055263	±	35.9	51.2	±	25.5
ADOBE	CR-732	38.9036788	±	24.08	14.3	±	17.1
ADOBE	CR-753	499.093247	±	68.4	183.4	±	48.6
ADOBE	CR-724	565.639014	±	66.59	199.9	±	47.3
M. NOBLE	CR-730	362.224793	±	54.44	128.2	±	38.7
ADOBE	CR-731	272.325751	±	36.38	98.6	±	25.9
ADOBE	CR-744	537.357063	±	14.46	189.9	±	10.3
ADOBE	CR-722	272.325751	±	45.82	96.2	±	32.6
ADOBE	CR-765	116.711036	±	30.74	41.2	±	21.8
ADOBE	CR-750	75.8621736	±	29.96	28.1	±	21.3
M. NOBLE	CR-720	145.402499	±	38.29	51.4	±	27.2
M. NOBLE	CR-709	372.98902	±	57.26	132.0	±	40.7
ADOBE	CR-780	145.402499	±	39.35	51.5	±	28.0
M. NOBLE	CR-721	155.614715	±	31.06	58.6	±	22.1
M. NOBLE	CR-768	69.5403258	±	27.14	24.6	±	19.3
ADOBE	CR-710	151.724347	±	34.54	55.1	±	24.5
M. NOBLE	CR-697	208.620977	±	41.87	69.8	±	29.8
ADOBE	CR-790	43.3498135	±	16.34	15.4	±	11.6
M. NOBLE	CR-699	25.9357858	±	12.45	8.7	±	8.8
ADOBE	CR-707	136.162876	±	32.11	45.9	±	22.8
ADOBE	CR-787	132.758804	±	36.76	44.4	±	26.1
M. NOBLE	CR-717	64.8394646	±	29.19	21.2	±	20.7
ADOBE	CR-786	51.8715717	±	26.02	17.6	±	18.5
ADOBE	CR-779	644.828476	±	72.5	220.6	±	51.5
M. NOBLE	CR-701	56.8966302	±	16.91	18.6	±	12.0
ADOBE	CR-777	189.655434	±	43.42	61.9	±	30.9

M. NOBLE	CR-698	745.653843	±	79.47	243.3	±	56.5
M. NOBLE	CR-746	290.804999	±	43.23	95.5	±	30.7
M. NOBLE	CR-694	113.127803	±	28.47	37.0	±	20.2
ADOBE	CR-789	564.103342	±	45.91	190.8	±	32.6
M. NOBLE	CR-788	82.1840214	±	25.43	26.2	±	18.1
M. NOBLE	CR-792	259.19576	±	44.35	111.3	±	31.5
ADOBE	CR-776	39.9274598	±	15.16	12.4	±	10.8
ADOBE	CR-771	153.055263	±	38.35	56.7	±	27.3
ADOBE	CR-728	71.3234111	±	26.02	22.8	±	18.5
ADOBE	CR-775	557.619396	±	82.49	192.5	±	58.6
ADOBE	CR-675	58.3555182	±	27.67	20.1	±	19.7
M. NOBLE	CR-773	64.8394646	±	24.35	24.1	±	17.3
ADOBE	CR-712	59.8911897	±	17.67	19.1	±	12.6
ADOBE	CR-760	139.080652	±	38.63	43.9	±	27.5
M. NOBLE	CR-690	126.436956	±	32.33	41.7	±	23.0
M. NOBLE	CR-763	139.746109	±	34.2	46.2	±	24.3
M. NOBLE	CR-691	233.908369	±	34.94	78.2	±	24.8
ADOBE	CR-675	75.8621736	±	27.67	25.1	±	19.7
ADOBE	CR-782	162.098662	±	35.73	53.6	±	25.4

Se comprueba que el número de trazas nucleares contadas en un total de cuarenta campos observados en cada detector, utilizados en este estudio, se ajusta a la distribución de probabilidad discreta de Poisson, distribución que caracteriza a las desintegraciones nucleares, Huertas y Hueso (2008)

### Figura 3

Gráficas de valores esperados y observados para una distribución de Poisson

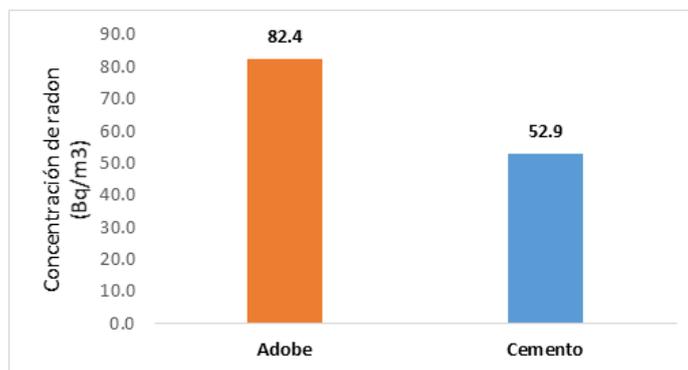


Teniendo en cuenta los materiales de los que están construidas las viviendas en la ciudad del Cusco, en la figura 4 se puede apreciar que las viviendas de adobe son las que

registran en promedio, mayor concentración de radón (82.4 Bq/m<sup>3</sup>) comparada con las de material noble (52.9 Bq/m<sup>3</sup>)

**Figura 4**

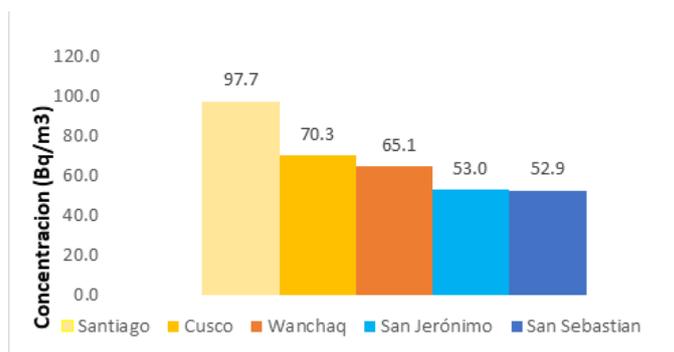
*Concentración de radón en viviendas de adobe y material noble*



En esta primera evaluación se ha determinado que los valores medios de la concentración de radón residencial (medido en viviendas) son mayores en el distrito de Santiago como se muestra en la figura 5 debido a diferentes factores que pueden contribuir a la concentración de radón en interiores.

**Figura 5**

*Concentración de radón por distritos*



## **Discusión**

Los valores altos de concentración de radón registrados en el interior de las viviendas de adobe, según Appleton (2007), se relacionan con la cantidad de radio 226 (precursor del radón 222) que contienen los adobes hechos de arcillas que, asociado a sus fracturas, aumentan la permeabilidad al radón, la eficiencia de emanación y por ende la exhalación al interior de las viviendas.

La ciudad el Cusco se halla en un valle interandino de la zona sur oriental, en la sierra del Perú ubicada entre los 3,244 y 3,700 m.s.n.m, a 13° 30' 45" latitud Sur y a 71° 58' 33" longitud Oeste. En esta región, Carlotto et al. (2011) destaca la presencia de rocas volcánicas andesíticas cuaternarias, gravas arenosas entre otras y en el distrito de Santiago, según INGEMET (2020), se identifican rocas sedimentarias, cubiertas por depósitos cuaternarios constituidos por arenisca, lutitas rojas y micro conglomerados. De este conjunto de rocas identificadas en la región, Bruce & Hurley (2009) mencionan que es frecuente hallar concentraciones de elementos radiactivos en granito, pizarra, lutita y ocasionalmente en andesita, conglomerados, arenisca. Por tanto, el lecho rocoso puede ser un factor adicional que contribuye a la concentración de radón hallado en el interior de las viviendas ubicadas en el distrito de Santiago, Cusco y otros.

## **Conclusiones**

La concentración media de radón en viviendas de adobe es mayor en 29.5 Bq/m<sup>3</sup> que la concentración de radón en viviendas de material noble, ambas concentraciones medias son menores a el límite de seguridad propuesta por la OMS de 100 Bq/m<sup>3</sup>, Zeeb y Shannoun (2015) que no significaría riesgo para la salud de sus habitantes.

La mayor concentración de radón en el interior de viviendas se registra en los distritos de Santiago y Cusco que indica cierta correlación con el material de construcción de las viviendas, principalmente de adobe que está hecho del sustrato geológico de la zona, es por ello que se recomienda realizar medidas de exhalación de radón en suelos, para determinar en cuanto contribuye adicionalmente a la concentración de radón en el interior de las viviendas.

## **Declaración de conflicto de intereses**

Los autores declaran no presentar ningún tipo de conflicto de intereses

## Referencias

- Appleton JD. Radon: sources, health risks, and hazard mapping. *Ambio*. 2007 Feb;36(1):85-9. doi: 10.1579/0044-7447(2007)36[85: rshrah]2.0.co;2. PMID: 17408197. Recuperado de [https://core.ac.uk/reader/378249?utm\\_source=linkout](https://core.ac.uk/reader/378249?utm_source=linkout)
- Carlotto Caillaux, V. S., Cárdenas Roque, J. D., & Carlier, G. (2011). Geología del cuadrángulo de Cusco, hoja 28-s, escala 1: 50,000-[Boletín A 138]. 0257-1641. Recuperado de Repositorio Institucional INGEMMET
- Canoba, A. C., & López, O. F. (2006, September). Mediciones de radón 222 en el interior de viviendas de la República Argentina. In *Proceedings of the Primer Congreso Americano del International Radiation Protection Association (IRPA)*, Acapulco, Mexico (pp. 4-8).
- Huertas, C., & Hueso, F. (2008). Análisis de las desintegraciones de una fuente radioactiva: Ra-226. Laboratorio de TE Física General, Universidad de Valencia, España.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática, “Características de las viviendas particulares censadas”.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2020) Evaluación geológica y geodinámica en la quebrada Sipaspujio. Región y provincia Cusco, distrito Santiago. Informe Técnico;N° A7035 [citado 23 DE ENERO DEL 2022] disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2755>
- Richardson, KA (1968). Torio, uranio y potasio en el granito de Conway, New Hampshire, EE . UU . Rice University, Houston, Texas
- Ruano-Ravina, A., Quindós-Poncela, L., Sainz Fernández, C., & Barros-Dios, J. M. (2014). Radón interior y salud pública en España: tiempo para la acción. *Gaceta Sanitaria*, 28, 439-441.
- Salinas-Ramírez, H. X., Rubio-Arias, H. O., Colmenero-Sujo, L., Luévano-Gurrola, S. D., & Ochoa-Rivero, J. M. (2020). Niveles de radón (222Rn) en oficina pública de Aldama, Chihuahua, México y grado de exposición al trabajador. *Acta universitaria*, 30. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-62662020000100106](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-62662020000100106)
- W. Bruce, J. Hurley, “Natural Radioactivity in the Geologic Environment” National Nuclear Security Administration Nevada site Office CEMP, Nevada 2009
- Zeeb, H., & Shannoun, F. (2015). Manual de la OMS Sobre el Radón en Interiores: Una perspectiva de salud Pública. Recuperado de: [9789243547671\\_spa.pdf;sequence=1 \(who.int\)](https://www.who.int/publications/m/item/9789243547671_spa.pdf;sequence=1)