

MEDICIONES DE LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN 222 EN RESIDENCIAS DE LIMA Y CALLAO – PERÚ

Pereyra, P.E.^{1,*}, López, M.E.¹, Vilcapoma L.P.¹, Pérez B.A.¹ y Rojas, J.J.¹

¹Sección Física, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú

RESUMEN

Se presentan resultados de la medición de los niveles de concentración de Radón 222 correspondiente a los meses de otoño y primavera del 2014 en residencias correspondientes a 30 distritos de Lima Metropolitana y el puerto del Callao, incluyen las zonas Norte, Centro, Este y Sur de la ciudad de Lima y 2 distritos del Callao. Las viviendas en donde se realizaron las mediciones fueron seleccionadas considerando diversas variables, antigüedad, materiales de construcción, revestimientos, tipo de suelo, uso ocupacional de las habitaciones monitoreadas, etc. Se emplearon SSNTDs de nitrato de celulosa (LR 115) para las mediciones de Rn 222. Los resultados son sólo indicadores de la tasa de radón presente, el tipo de detectores usados no permite discriminar la presencia de los descendientes del Radón 222. Los detectores muestran una concentración promedio similar a valores mostrados en estudios similares realizados en otras ciudades. Estos resultados complementan el proyecto piloto que se desarrolló en el 2013 durante el cual se monitoreo 25 viviendas en Lima, Perú.

1.- INTRODUCCIÓN

El gas Radón 222, radioisótopo natural que se presenta en forma imperceptible a nuestros sentidos constituye el principal contribuyente a la radiación natural que recibe el ser humano. El Radón 222 es un gas inerte que emite partículas alfa y tiene una vida media relativamente corta (3,8 días) y proviene del decaimiento del Ra 226.

El radón es emanado en pequeñas cantidades desde el suelo y de los materiales de construcción utilizados en la construcción de viviendas y en todo tipo de edificaciones. Este gas se incorpora al aire, decae en sus hijas (Po 218, Po 214) también emisoras alfa que se adhieren a partículas de aerosoles que son inhaladas por los seres vivos, en concentraciones que si son mayores que los niveles recomendados, pueden resultar riesgosas en lugares poco ventilados o cerrados, incorporándolos a través de las vías respiratorias. En condiciones ideales no debe exceder los 200 Bq/m³ [10].

Existe una estrecha relación entre la inhalación en concentraciones bajas y medias de radón y el incremento de riesgo de cáncer pulmonar en recintos cerrados. Este riesgo se incrementa en fumadores activos (hasta en un factor de 10) y en fumadores pasivos, constituyendo la segunda causa de incidencia de cáncer pulmonar. En el caso de no fumadores, el Radón constituye la primera causa de cáncer pulmonar [11].

^{1,*} E-mail del Autor: ppereyr@pucp.edu.pe

En una vivienda en general, el radón emana del suelo, grietas en las paredes y se incorpora en el aire por difusión. Los daños que puede producir en los seres vivos dependen de la cantidad de radón presente en la vivienda, el tiempo de exposición y la posible presencia de fumadores.

Sí bien el radón del suelo es la fuente principal de contaminación natural en las viviendas, a veces puede provenir también de agua de pozo o de vertientes. Por otra parte, en ciertos tipos de viviendas, los materiales de construcción también pueden emitir radón, aumentando su presencia, aunque rara vez es la causa principal de una alta concentración. El radón penetra en una vivienda a través de grietas en los cimientos, grietas en las paredes, a través de las uniones de los muros o cavidades internas en las paredes, por el espacio que rodea a las tuberías, a través el agua, etc.

El interés principal de este estudio es la medición de la concentración de radón en diferentes tipos de viviendas de la ciudad de Lima y El Callao, considerando su localización geográfica; determinar si los niveles de concentración de Rn 222 encontrados están dentro de los niveles permisibles y dar las medidas correctivas de ser necesarias.

Los detectores de estado sólido de huellas nucleares que han sido empleados en este monitoreo de Rn 222 han sido utilizados en otras investigaciones similares; la metodología y fundamentos de la técnica son conocidos [4].

1.1. Fundamentación

Lima, capital del Perú, es una ciudad con más de 8 millones de habitantes situada en la costa oeste de América del Sur, frente al Océano Pacífico en la Latitud Sur 12° y Longitud Oeste $77^{\circ} 3'$. Lima y El Callao ocupan una superficie de aproximadamente 3900 km^2 . Lima es una ciudad plana en su mayoría rodeada de colinas y montañas poco relevantes. Los afloramientos geológicos corresponden a rocas intrusivas, extrusivas y en menor cantidad sedimentarias. Está localizada sobre los valles de los ríos Rímac, Chillón y Lurín. Presenta mayormente suelos de grava aluvial y afloramientos rocosos, también presenta algunas zonas de suelos de arena fina (Microzonificación sísmica de Lima).

El desarrollo urbano de la ciudad de Lima y el puerto El Callao, ha sido abrupto en los últimos 40 años, en la que su población se ha triplicado. Debido al crecimiento urbano desmedido y desordenado la ciudad se extiende en los llamados conos norte, sur y oeste. La provincia de Lima está dividida en 43 distritos, distribuidos para este estudio en 4 zonas: Norte, Este, Centro y Sur. Asimismo la Provincia Constitucional del Callao abarca 6 distritos.

El propósito de esta investigación es determinar los niveles de concentración de Rn 222 en algunas viviendas, desconocidos hasta éste momento, para empezar a elaborar un mapa de Radón de la capital del Perú y ser de ayuda para identificar un posible riesgo para la salud de los habitantes en relación al cáncer pulmonar u otro tipo de problemas de salud.

Para realizar las mediciones se seleccionó algunas viviendas de miembros de la comunidad PUCP (profesores, alumnos) quienes voluntariamente colaboraron en alojar los detectores en sus

viviendas. Los alumnos fueron convocados a participar mediante el envío de correos con información precisa (alcances del proyecto, razón de las mediciones y como se llevarían a cabo). Asimismo se dio charlas de difusión del proyecto en clases, auditorios, etc. Las personas que aceptaron en participar fueron luego seleccionadas de acuerdo a la ubicación de su vivienda, se les entregó información adicional e indicaciones para la selección del lugar de las mediciones en su vivienda y el compromiso de colocar los detectores en forma apropiada. Los propios voluntarios fueron los que colocaron y retiraron los detectores. A fin de cubrir todas las zonas planificadas, se convocó a algunos profesores para completar los datos necesarios.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

Para efectuar las mediciones de Rn 222 en las edificaciones seleccionadas se utilizaron detectores pasivos de Huellas Nucleares (SSNTDs). El material empleado es nitrato de celulosa LR115 Tipo 2 de 112 μm de espesor, de alta sensibilidad, empleado en mediciones similares. Estos detectores no se afectan por electrones u otro tipo de radiación electromagnética (radiación gamma, rayos X, etc.), pueden ser almacenados en condiciones standard por periodos de tiempo superiores a un año. Se emplearon detectores pasivos desnudos, de forma cuadrada de 20 mm de lado, sujetos en un soporte tomados de una película de transparencia, debidamente codificados como se muestra en la Figura 1.



Figura 1.- Detectores de LR 115 utilizados en el monitoreo de Rn 222

2.1. Condiciones de Muestreo

Se tomaron en cuenta 4 zonas de muestreo en 3 en Lima: Norte, Centro, Este y Sur. La distribución del número de distritos y número de viviendas monitoreadas se muestra en la Tabla 1 y en la Figura 2. La población total de los distritos monitoreados es de 7 252 455 (datos del INEI de Junio 2014) [12] representan aproximadamente el 74,5% de la población de Lima

Tabla 1.- Distribución de los detectores en la Ciudad de Lima.

Zona	Número de distritos en la zona	Distritos	Total de viviendas por zona
Verde	13	Lima Cercado, San Borja, Miraflores, Magdalena, Pueblo Libre, San Miguel, Jesús María, Breña, Lince, La Victoria, Surco, Surquillo, San Isidro	50
Cono Sur	3	San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo, Chorrillos	11
Cono Norte	5	Independencia, Puente Piedra, San Martín de Porres, Los Olivos, Comas	18
Cono Este	4	La Molina, El Agustino, Ate-Vitarte, San Juan de Lurigancho	18

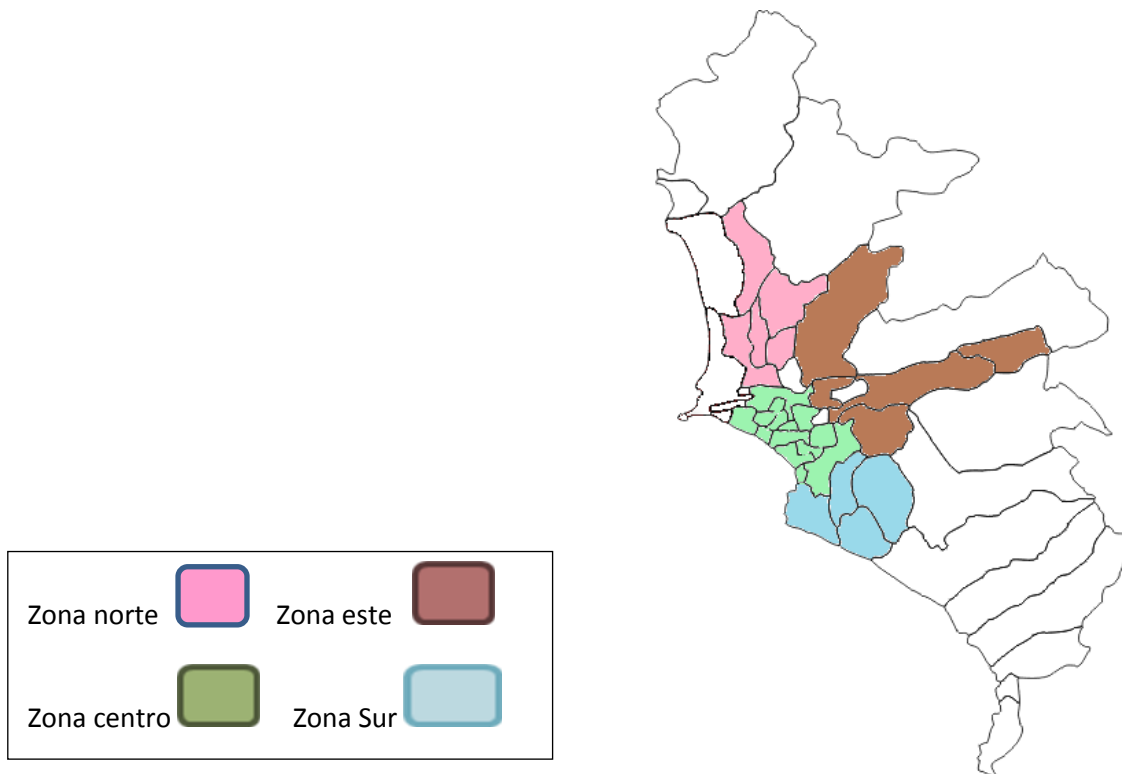


Figura 2.- Ubicación geográfica de los detectores de LR 115 utilizados en el monitoreo de Rn 222

Los detectores fueron codificados de acuerdo a la zona, a continuación el distrito seleccionado, la vivienda de ese distrito y finalmente el número de detector. En total se procesaron 396 detectores.

El muestreo se dio en periodos de 7 a 8 semanas durante los meses de otoño y primavera del 2014. Se colocaron por vivienda 2 detectores en cada medición, Se dio las indicaciones que el detector fuera colocado en el lugar menos ventilado de la casa (dormitorio, baño, sótano, garaje...). Los participantes llenaron una ficha donde se indicaban las características de la construcción y recubrimiento de las paredes de la habitación y del piso, así como si en esa habitación la familia pasaba mucho tiempo o si estaba desocupada. Otros datos consignados fueron la antigüedad de la vivienda, los materiales de construcción y si las personas que la habitaban eran fumadores u otros datos relevantes.

2.2. Proceso de grabado y lectura

Para el proceso de grabado se utilizaron las condiciones standard de un baño termo estatizado utilizando una solución de NaOH. En la Figura 2a se muestran el baño termo estatizado donde se llevó a cabo el proceso de grabado químico (etching) y en la Figura 2b el microscopio óptico conectado a una sistema de cómputo para el contaje de las huellas grabadas.



(a)



(b)

Figura 3.- (a) Proceso de grabado (b) Lectura de huellas

Para la lectura de los detectores se utilizó un microscopio óptico, teniendo la lectura de 5 campos por detector para luego determinar la lectura promedio. El procedimiento es el usual para estos detectores [3,9]. Luego de determinar la densidad de huellas por mm^2 se utiliza el factor de calibración $20,41 \text{ Bq/m}^3$ que corresponden a 100 huellas/cm^2 [7].

3.- RESULTADOS

Los resultados se muestran por zonas y distritos en las siguientes tablas. Se resaltan las medidas por encima de los 200 Bq/m³ de concentración de Rn 222. Cabe señalar que no todos los detectores fueron devueltos y que algunos regresaron sin la certeza de un tiempo exacto de muestreo. Asimismo algunos detectores fueron colocados en sótanos o recintos completamente cerrados, sin ventilación y en los que no habitan personas.

Zona Norte

Se realizaron mediciones en 5 de los 8 distritos de la zona, que son los de mayor población y superficie. La población de los distritos en los que se colocaron detectores es de 2 129 075 [12] habitantes lo que representa el 86% de la zona norte. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.- Distribución de los detectores en el cono norte de Lima.

Distrito	Número de viviendas monitoreadas	Valor mínimo Bq/m ³	Valor máximo Bq/m ³	Promedio Bq/m ³	% Viviendas menor 200Bq/m ³	% Viviendas menor 400Bq/m ³	% Viviendas mayor 400Bq/m ³
Puente Piedra	1			261	0	100	
San Martín de Porres	8	9	632	145	88		13
Los Olivos	4	22	75	50	100		
Comas	3	57	141	107	100		
Independencia	2	30	45	37	100		

Zona Este

Se realizaron mediciones en 5 de los 8 distritos de la zona, que son los de mayor población y superficie. La población de los distritos en los que se colocaron detectores es de 2081606 habitantes [12] lo que representa el 81% de la zona este. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3.- Distribución de los detectores en el cono este de Lima.

Distrito	Número de viviendas monitoreadas	Valor mínimo Bq/m ³	Valor máximo Bq/m ³	Promedio Bq/m ³	% Viviendas menor 200Bq/m ³	% Viviendas menor 400Bq/m ³	% Viviendas mayor 400Bq/m ³
Ate	2	9	119	64	100		
Chaclacayo	2	99	116	108	100		
El agustino	1	0		60	100		
San Juan Lurigancho	10	38	1095	195	80	20	
La Molina	3	10	83	45	100		

Zona Sur

Se realizaron mediciones en 4 de los 7 distritos de la zona, que son los de mayor densidad demográfica. La población de los distritos en los que se colocaron detectores es de 2 081 606 habitantes [12] lo que representa el 71% de la zona sur. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4.- Distribución de los detectores en el cono sur de Lima

	Número de viviendas monitoreadas	Valor mínimo Bq/m ³	Valor máximo Bq/m ³	Promedio Bq/m ³	% Viviendas menor 200Bq/m ³	% Viviendas menor 400Bq/m ³	% Viviendas mayor 400Bq/m ³
Chorrillos	2	8	75	42	100		
San Juan de Lurigancho	5	10	387	143	80	20	
Villa el Salvador	1			80	100		
Villa María del triunfo	3	18	148	103	100		

Zona Centro

Se realizaron mediciones en 13 de los 16 distritos de la zona, que son los de mayor densidad demográfica y mayor superficie. La población de los distritos en los que se colocaron detectores es de habitantes [12] lo que representa el 83% de la zona centro. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 5.- Distribución de los detectores en la zona Centro de Lima

	Número de viviendas monitoreadas	Valor mínimo Bq/m ³	Valor máximo Bq/m ³	Promedio Bq/m ³	% Viviendas menor 200Bq/m ³	% Viviendas menor 400Bq/m ³	% Viviendas mayor 400Bq/m ³
Breña	2	72	162	117	100		
Jesús María	3	61	71	65	100		
Lince	2	60	125	92	100		
Magdalena	4	42	236	128	75	25	
Miraflores	5	57	942	274	60	40	
Pueblo Libre	6	55	268	110	84	16	
San Borja	4	0	305	114	75	25	
San Miguel	11	7	480	114	91	9	0
San Isidro	1			110	100		
La Victoria	2	50	60	55	100		
Lima Cercado	7	28	675	248	72		28
Surco	2	50	132	91	100		
Surquillo	1			270		100	

En resumen, si consideramos los datos globales por zona se tienen los siguientes resultados:

	Promedio (Bq/m ³)
Norte	112
Este	138
Sur	108
Centro	145

Con los resultados obtenidos se puede obtener el gráfico mostrado en la Figura 4.

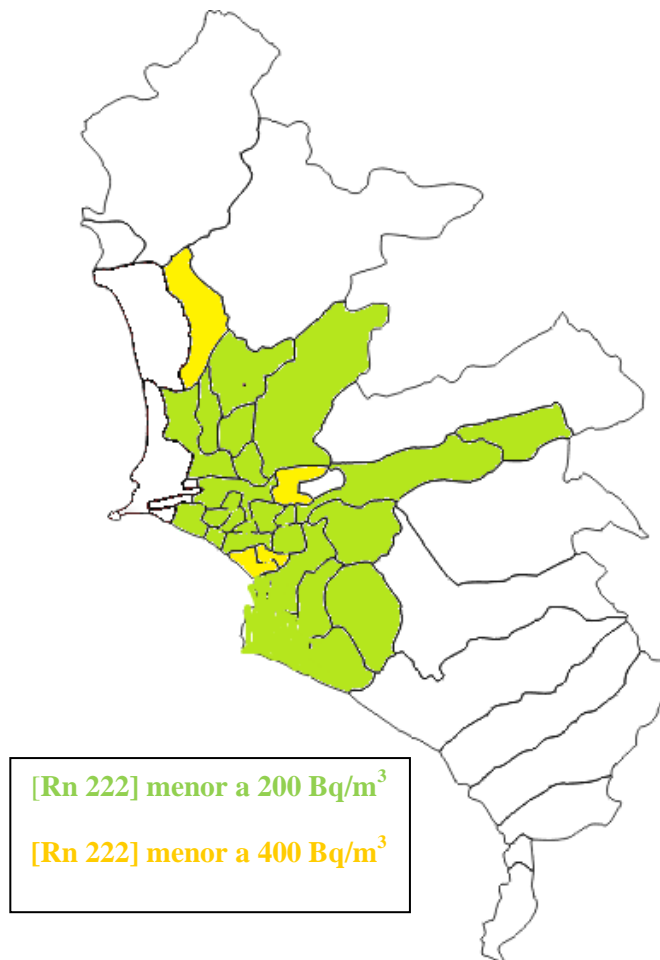


Figura 4.- Distritos de Lima y concentraciones de Rn 222 promedio registradas

Puede apreciarse que los detectores que en promedio registraron una mayor concentración se encontraron en la zona central, en la que la edad promedio de las viviendas es mayor, sobre todo en Lima Cercado. En el sur los distritos con un promedio mayor (San Juan de Miraflores y Villa

maría del Triunfo) están localizados en suelos granulares finos y arcillosos, al igual que en Ate - Vitarte. La mayor parte de los distritos que presentan concentraciones bajas de Rn 222 están sobre terrenos rocosos. En los casos de Puente Piedra y Surquillo solo se ha monitoreado una vivienda, por lo que este valor no es representativo. Sin embargo el suelo de Puente Piedra es arenoso de origen eólico y de arenas sueltas.

Los valores promedio de concentración de Radón 222 obtenido en cada zona son mostrados en la Figura 5 por distrito. Se ha retirado para la presentación de este gráfico los distritos donde se ha realizado la medición en una sola vivienda, ya que los resultados pueden distorsionar la medición. [8].

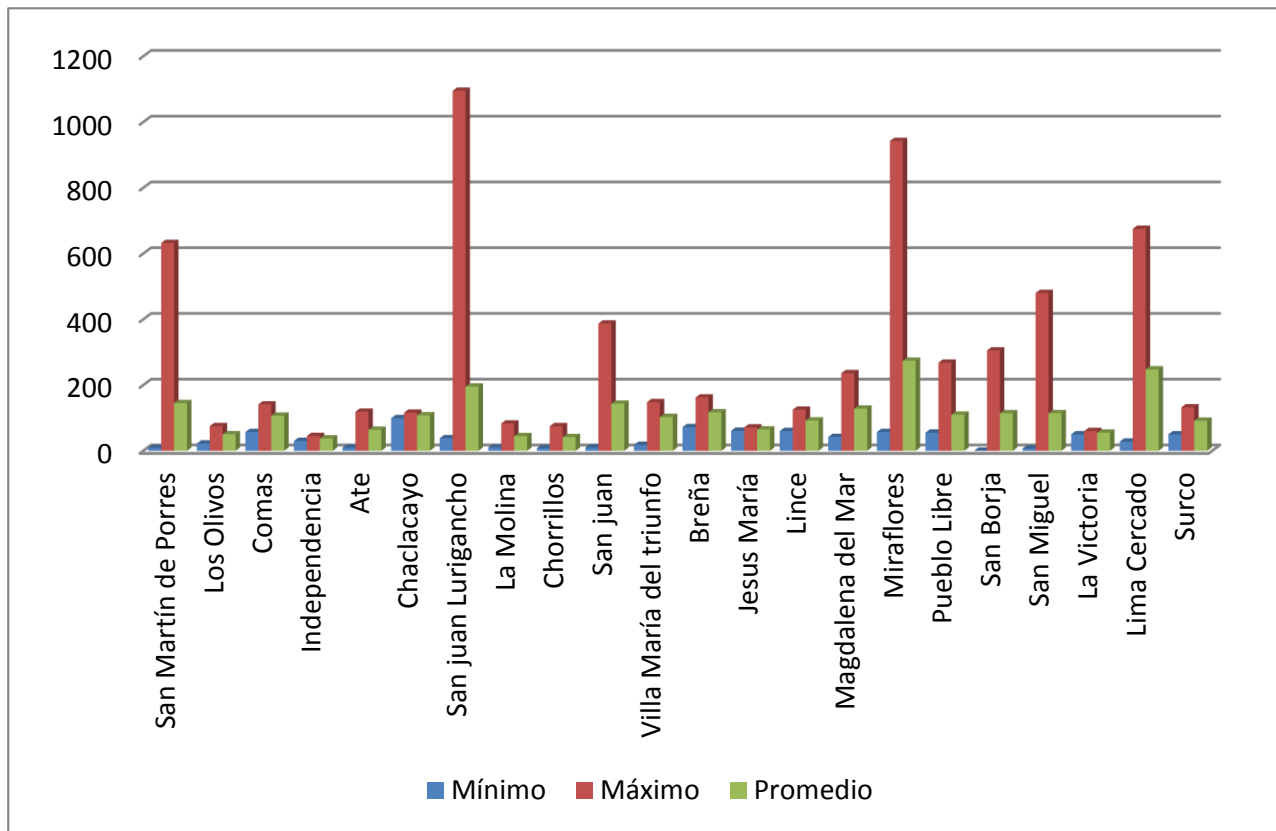


Figura 5. Concentración de Rn 222 en Bq/m³ – Valores promedio por distrito en Lima

4.- CONCLUSIONES

Con este estudio se ha realizado un primer intento de un monitoreo en viviendas de Radón 222 en la ciudad de Lima. Se tienen reportes de investigaciones similares en otras ciudades con resultados semejantes [1, 5, 6]. En general la mayoría de detectores registran valores que corresponden a concentraciones por debajo de 200 Bq/m³, y se encuentra que los valores altos registrados pueden indicar cierta correlación entre la edad de la vivienda y el nivel de Radón 222 presente, asimismo los niveles en sótanos y recintos cerrados aumentan considerablemente,

siendo éste el caso de muchos de los detectores al indicarle al voluntario que colocara al detector en el lugar más crítico, es decir menos ventilado de la vivienda, siendo inclusive a veces deshabitado. Se puede entender también que en el caso de los sótanos, las tuberías de agua incrementan los niveles de radón junto con la poca ventilación, factor clave en la difusión del radón. Se encuentra también cierta correlación entre los niveles de Rn 222 y el tipo de suelos. Las variables como materiales de construcción y recubrimientos en pisos y paredes requieren de un mayor análisis y número de datos. En general la metodología empleada es consistente y da resultados similares de concentración con otros métodos en localizaciones geográficas similares. En mediciones posteriores se dará prioridad a zonas donde se ha tenido pocas muestras o que sus niveles de Radón 222 han estado por encima de los valores recomendables.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los miembros de la comunidad Universitaria de la Pontificia Universidad Católica del Perú: Autoridades, Profesores de la Sección Física e Ingeniería, al personal administrativo, a los alumnos de pregrado en Física, de las facultades de Estudios Generales Letras y Estudios Generales Letras que colaboraron voluntariamente y alojaron los detectores en sus viviendas.

Referencias

1. Canoba, A., López, F.O., Arnaud, M.I., Oliveira, A.A., Neman, R.S., Hadler, J.C., Iune, P.J., Paulo, S.R., Osorio, A.M., Aparecido, R., Rodríguez, C., Moreno, V., Vásquez, R., Espinosa, G., Golarri, J.I., Martínez, T., Navarrete, M., Cabrera, I., Segovia, N., Peña, P., Taméz, E., Pereyra, P., López-Herrera, M.E., Sajo-Bohus, L., "Indoor radon measurements in six Latin American countries", *Geofísica Internacional* (2002), **Vol. 41**, Num. 4, pp. 453-457 (2002).
2. Espinosa, G., *Trazas Nucleares en Sólidos*, UNAM, México, ISBN: 968-36-4219-5 (2002).
3. Fleischer, R.L., Price, P.B., Walker, R.M., *Nuclear Tracks in Solids: Principles and Applications*, University of California Press, Berkeley (1975).
4. Fleischer, R.L., Price, P.B., Walker, R.M., "Solid State track detector: application to nuclear science and geophysics", *Annu. Rev. Nucl. Sci.*, **15**, pp. 1-28 (1965).
5. Gupta, M., "Monitoring of indoor radon and its progeny in dwellings of Delhi using SSNTDs", *Advances in Applied Science Research* 2, (5): 421-426 (2011).
6. Liendo, J., Sajo-Bohus, L., Pálfi, J., Greaves, E.D., Gomez, N., "Radon monitoring for health studies in the Caracas subway using SSNTDS", *Radiation Measurements*, **Vol. 28**, Issues 1-6, 1997, Pag. 729-732 (1997).
7. Pereyra, P., *Aplicación de la técnica de huellas nucleares en dosimetría de partículas alfa*, Tesis de bachiller de la Pontificia Universidad Católica del Perú (1991).
8. Santos, T., Rocha, Z., Barreto, A.A., de Souza, A., Miguel, R., de Oliveira, A., *Indoor radon distribution in metropolitan region of Belo Horizonte, Brasil* Proceedings 2009, International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2009 ISBN: 978-85-99141-0 (2009).
9. Urban, M., Piesch, E., "Low level environmental radon dosimetry with a passive track etch detector device", *Radiat. Protect. Dosimetry*, **1**, pp. 97-109 (1981).
10. ICRP, *Lung Cancer Risk from Exposures to Radon Daughters*, ICRP Publication 50 (1987).

11. ICRP, *Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon*, ICRP Publication 115, (2010).
12. "Instituto nacional de estadística e informática," http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1157/libro.pdf (2014)
13. "A citizens guide to Radon Homepage United State Environmental Protection Agency" <http://www.epa.gov> (2013)
14. Eappern, K.P., Mayya, Y.S, "Calibration factors for LR 115 (type II) based radon thoron discriminating dosimeter", *Radiation Measurements*, **38**, pp 5- 17 (2014).