



Evaluación de la concentración de radón 222 en función al tipo de suelo y horas del día en la zona sur de Huancayo

Evaluation of the concentration of radon 222 depending on the type of soil and hours of day in the southern zone of Huancayo

Iván Luis Osorio López¹ / Venancio Santiago Navarro Rodríguez¹ / Gianela Kiomy Espinoza Morales²



----- / 0000-0002-8560-3489 / -----

Autor correspondiente: iosorio@uncp.edu.pe

vnavarro@uncp.edu.pe / gianekiomy@gmail.com

Cómo citar:

Osorio López, I. L.; Navarro Rodríguez, V. S. & Espinoza Morales, G. K. (2021). *Evaluación de la concentración de radón 222 en función al tipo de suelo y horas del día en la zona sur de Huancayo*. *Prospectiva Universitaria*, revista de la UNCP. 18(1), 151-160. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2021.18.1421>

Resumen

El presente trabajo de investigación abordó el tema del gas radón, debido a que es un gas radiactivo que, al ser inhalado, puede causar daños a los pulmones; ante ello, el objetivo principal de la investigación fue determinar las concentraciones de radón 222 en función al tipo de suelo y horas de monitoreo del día en los distritos de la zona sur de Huancayo. Se planteó una metodología con enfoque cuantitativo, con alcance experimental y método científico. El desarrollo de la perspectiva teórica se basó en la revisión de documentación académica y se utilizó el equipo de radón RD200 Radón Eye para obtener los datos utilizados en la realización del trabajo presentado. De acuerdo al IPEN, con el análisis presentado, se concluye que el nivel de radón 222 de las viviendas muestreadas se encuentran viviendas que están debajo del límite máximo permisible; según la OMS, el límite máximo permisible es de 4.0 pCi/l, pero también, se encontró viviendas por encima del límite máximo permisible, cuyas concentraciones estaban en el rango de 2.09 y 8.17 pCi/l. Asimismo, se concluyó que los niveles de radón variaron de acuerdo a las horas del día con influencia del tipo de suelo encontrándose mayores concentraciones en tipo arenoso grueso. De acuerdo a investigaciones, se estima que el nivel medio de radón en interiores es de alrededor de 1.3 pCi/l. Un nivel de radón > 4 pCi/l representa riesgo; sin embargo, según la OMS, se recomienda considerar solucionar el problema de radón si los niveles están entre 2 y 4 pCi/l, generalmente, las alternativas para solucionar el problema es la impermeabilización de la base de las viviendas, acciones que se viene aplicando en diversos países.

Palabras clave: radón 222, suelo, isótopo, gas radiactivo, impermeabilización, cáncer al pulmón

Abstract

The present research work addressed the topic of radon gas, because it is a radioactive gas that, when inhaled, can cause damage to the lungs. In view of this, the main objective of the research was to determine radon 222 concentrations based to the type of soil and monitoring hours of the day in the districts of the southern zone of Huancayo. A methodology with a quantitative approach, with an experimental scope and a scientific method was proposed. The development of the theoretical perspective was based on the review of academic documentation and the radon equipment RD200 Radon Eye was used to obtain the data used in carrying out the work presented. According to the IPEN, with the analysis presented, it is concluded that the radon 222 level of the sampled dwellings are homes that are below the maximum permissible limit, according to the OMS the maximum allowable limit is 4.0 pCi /l, but housing above the maximum permissible limit was also found, whose concentrations were in the range of 2.09 and 8.17 pCi /l. It was concluded also that radon levels varied according to the hours of the day, influenced by the type of soil, with higher concentrations found in coarse sandy type. According to research, the average indoor radon level is estimated to be around 1.3 pCi / l. A radon level > 4 pCi /l represents risk; however, according to the OMS, it is recommended to consider solving the radon problem if the levels are between 2 and 4 pCi /l, generally the alternatives to solve the problem are waterproofing the base of the homes, actions that have been applied in several countries.

Keywords: radon 222, isotope soil, radioactive gas, waterproofing, lung cancer

¹Docentes de la Facultad de Ingeniería Química / ²Estudiante investigador

Introducción

En un estudio realizado en Estados Unidos de América, se determinó que una de cada quince casas presenta niveles elevados de radón 222, lo cual puede ser perjudicial para la salud; además, en Europa, América del Norte y China realizaron estudios que confirman que, incluso, en concentraciones bajas, el radón, puede tener riesgos para la salud y contribuye considerablemente a la aparición de cáncer de pulmón en todo el mundo. Por tal motivo, en muchos países de Europa y Norteamérica, en edificaciones nuevas, se vienen adoptando medidas de protección de forma sistemática y, en algunos países es, incluso, obligatorio.

El Instituto Peruano de Energía Nuclear ha elaborado un manual para proteger a la población del gas radón 222 en viviendas y ambientes de trabajo, basándose en las especificaciones y recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud. Asimismo, la Pontificia Universidad Católica del Perú está desarrollando investigaciones para mapear los distritos de Lima que presentan niveles elevados de este gas perjudicial.

El radón es un tema poco estudiado en la provincia de Huancayo, por lo cual, la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro del Perú viene desarrollando investigaciones sobre los factores que influyen en la concentración de radón 222; además, viene elaborando el mapa de riesgo de los distritos de Huancayo para conocer las zonas que presentan niveles elevados de este gas radiactivo y brindar las medidas de prevención respectivas.

El radón es considerado la segunda causa de cáncer al pulmón después del tabaco, por lo cual, es preocupante que no existan estudios sobre la exposición al radón en interiores, en ese sentido, el presente trabajo de investigación pretende determinar las concentraciones de radón 222 en función al tipo de suelo y horas de monitoreo del día en los distritos de la zona sur de Huancayo. Teniendo como hipótesis general que, las concentraciones de radón 222 en función al tipo de suelo y horas del día se encuentran fuera de los LMP según el IPEN y, como hipótesis específica, que el tipo de suelo no influye significativamente en la concentración de gas radón 222 y que la concentración de radón 222 no varía durante las horas del día.

De acuerdo al IPEN, con el análisis presentado, se concluye que el nivel de radón 222 de las viviendas muestreadas se encuentran viviendas que están debajo del límite máximo permisible. Según la OMS, el límite máximo permisible es de 4.0 pCi/l; pero también, se encuentran viviendas que están por encima del límite máximo permisible, cuyas concentraciones estaban en el rango de entre 2.09 y 8.17 pCi/l. Asimismo, se concluyó que los niveles de radón variaron

de acuerdo a las horas del día con influencia del tipo de suelo, encontrándose mayores concentraciones en tipo arenoso grueso. De acuerdo a investigaciones, se estima que el nivel medio de radón en interiores es de alrededor de 1.3 pCi/l. Un nivel de radón > 4 pCi/l representa riesgo. Sin embargo, según la OMS, se recomienda considerar solucionar el problema de radón si los niveles están entre 2 y 4 pCi/l; generalmente, la alternativa para solucionar el problema es la impermeabilización de la base de las viviendas, acción que se viene aplicando en diversos países.

El presente estudio se ha estructurado en tres apartados; en la primera, se muestran los fundamentos teóricos y antecedentes de la investigación, en los cuales, se visualizan antecedentes internacionales y nacionales; en el segundo apartado, se puede visualizar el diseño metodológico de la investigación, en el cual se plantea una metodología con enfoque cuantitativo, alcance experimental y método científico; finalmente, en el tercer apartado, se realizó el análisis y discusión de resultados para, posteriormente, poder realizar las conclusiones.

Materiales y métodos

El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo principal evaluar la concentración de radón 222 en función al tipo de suelo y las horas del día en distritos de la zona sur de Huancayo. La población estadística para el monitoreo de Radón 222 fueron las viviendas de la zona sur del distrito de Huancayo; siendo los distritos seleccionados: Chupuro, Cullhuas, Huacrapuquio, Huancan, Huayucachi, Pucará, Sapallanga y Viques.

La variable a determinar fue la concentración de radón en interiores, para esto se debe tener en cuenta el tipo de suelo, determinando la concentración las 24 horas del día para observar la variación durante el día. El tipo de muestreo es no probabilístico y muestreo por conveniencia, ya que no todas las viviendas tienen la misma probabilidad de ser elegidas, porque en este tipo de muestreo existen criterios de decisión por parte del investigador basado en la facilidad y confianza de los propietarios para poder instalar el equipo respectivo, aplicando los criterios de inclusión y exclusión, los que deben estar bien establecidos y se deben cumplir rigurosamente.

El enfoque del estudio, se basa en generar nueva información a partir del análisis de la calidad del aire en los distritos de la zona sur de Huancayo, teniendo en cuenta los procedimientos normativos vigentes, por lo que se han realizado las siguientes acciones: Coordinación con los propietarios de las viviendas seleccionadas, aplicación de la toma de muestra, fichas técnicas de estadística, fichaje durante el estudio, análisis bibliográfico y documental.

Resultados

Presentación, análisis e interpretación de los datos

En el presente trabajo de investigación, se realizó la medición de la concentración de radón en dos viviendas de cada uno de los ocho distritos de la zona sur de la provincia de Huancayo, muestreando en Viques, Sapallanga, Pucará, Huayucachi, Huancán, Huacrapuquio, Cullhuas y Chupuro.

Concentraciones de radón 222 de acuerdo al tipo de suelo.

El dispositivo registró concentraciones de radón en 16 viviendas ubicadas en distintos tipos de suelo y durante 24 horas. En la Tabla 1, se muestran las concentraciones de radón registradas en dos viviendas ubicadas en un tipo de suelo franco arcilloso arenoso en el distrito de Chupuro. Esos valores varían entre 2.63 pCi/l a las 11:00 am hasta 4.91 pCi/l a las 11:00 p.m. en la primera vivienda. Para la segunda vivienda monitoreada, el mínimo fue de 2.12 pCi/l a las 5:00 pm y como máximo se registró 5.63 pCi/l a la media noche. Finalmente, de las dos viviendas monitoreadas, se obtuvo un valor mínimo de concentración de gas Radón 222 de 2.12 pCi/l y, como máximo de 5.63 pCi/l.

Tabla 1

Concentraciones de radón en viviendas de Chupuro del tipo franco arcilloso arenoso.

N°	Hora	Concentración (pCi/l)	
		Vivienda 1	Vivienda 2
0	8:00 am		
1	9:00 am	2,77	4,23
2	10:00 am	3,20	3,41
3	11:00 am	2,63	2,73
4	12:00 m	2,66	2,13
5	01:00 pm	3,06	4,12
6	02:00 pm	3,28	4,11
7	03:00 pm	3,28	3,56
8	04:00 pm	3,93	4,34
9	05:00 pm	3,28	2,12
10	06:00 pm	3,64	4,24
11	07:00 pm	3,71	4,23
12	08:00 pm	3,60	3,54
13	09:00 pm	3,60	3,23
14	10:00 pm	4,15	4,45
15	11:00 pm	4,91	5,34
16	12:00 am	3,93	5,63
17	1:00 am	3,93	4,73

18	2:00 am	3,64	3,44
19	3:00 am	4,36	4,69
20	4:00 am	4,69	3,59
21	5:00 am	3,86	4,68
22	6:00 am	3,96	3,15
23	7:00 am	3,53	4,43
24	8:00 am	3,60	3,23

En la Tabla 2, se muestran las concentraciones del gas radón en dos viviendas ubicadas en suelo de tipo arenosa gruesa en el distrito de Cullhuas, monitoreadas durante 24 horas.

Esos valores varían entre 2.09 pCi/l a las 05:00 am hasta 5.28 pCi/l a las 5:00 pm en la primera vivienda. Para la segunda vivienda monitoreada, el mínimo valor es de 2.13 pCi/l a las 8:00 am y, como máximo se registró 5.24 pCi/l a las 8:00 pm.

Tabla 2

Concentraciones de radón en viviendas de Cullhuas del tipo de suelo arenoso grueso.

N°	Hora	Concentración (pCi/l)	
		Vivienda 1	Vivienda 2
0	8:00 am		
1	9:00 am	2,84	3,54
2	10:00 am	3,06	3,12
3	11:00 am	3,17	2,27
4	12:00 m	4,25	4,56
5	01:00 pm	2,99	3,13
6	02:00 pm	2,99	3,34
7	03:00 pm	4,25	4,15
8	04:00 pm	4,40	4,80
9	05:00 pm	5,28	5,12
10	06:00 pm	4,91	3,85
11	07:00 pm	3,86	3,12
12	08:00 pm	4,29	5,24
13	09:00 pm	4,07	3,45
14	10:00 pm	3,60	3,23
15	11:00 pm	3,06	3,12
16	12:00 am	3,20	3,40
17	1:00 am	4,04	5,12
18	2:00 am	3,49	3,19
19	3:00 am	2,23	2,34
20	4:00 am	3,06	3,13
21	5:00 am	2,09	3,12
22	6:00 am	2,95	2,23
23	7:00 am	3,60	3,45
24	8:00 am	3,20	2,13

En la Tabla 3, se muestran las concentraciones del gas radón en dos viviendas ubicadas en tipo de suelo franco limoso, en el distrito Huacrapuquio, monitoreadas durante 24 horas.

Esos valores varían entre 1.02 pCi/l a las 10:00 am hasta 5.35 pCi/l a las 4:00 pm en la primera vivienda. Para la segunda vivienda monitoreada, el mínimo valor es de 1.22 pCi/l a las 10:00 am y, como máximo, se registró 5.12 pCi/l a las 7:00 am. De las dos viviendas monitoreadas, se obtuvo como mínimo valor 1.02 pCi/l y, como máximo fue de 5.35 pCi/l.

Tabla 3

Concentraciones de radón en viviendas de Huacrapuquio del tipo de suelo franco limoso.

N°	Hora	Concentración (pCi/l)	
		Vivienda 1	Vivienda 2
0	8:00 am		
1	9:00 am	1,27	1,34
2	10:00 am	1,02	1,22
3	11:00 am	1,05	1,45
4	12:00 m	1,87	2,45
5	01:00 pm	2,63	2,24
6	02:00 pm	3,86	3,78
7	03:00 pm	4,40	4,40
8	04:00 pm	5,35	4,15
9	05:00 pm	2,20	4,15
10	06:00 pm	1,59	1,68
11	07:00 pm	1,87	2,34
12	08:00 pm	2,09	2,25
13	09:00 pm	1,98	2,45
14	10:00 pm	1,27	1,56
15	11:00 pm	2,09	4,13
16	12:00 am	1,59	1,49
17	1:00 am	3,49	3,54
18	2:00 am	2,66	3,35
19	3:00 am	2,77	3,32
20	4:00 am	3,82	4,52
21	5:00 am	3,53	4,33
22	6:00 am	3,06	3,23
23	7:00 am	4,04	5,12
24	8:00 am	3,38	4,82

En la Tabla 4, se muestran las concentraciones del gas radón en dos viviendas ubicadas sobre suelo de tipo franco arenoso en el distrito de Huancán, monitoreadas durante 24 horas.

Esos valores varían entre 0.49 pCi/l a las 01:00 am hasta 3.28 pCi/l a las 08:00 am en la primera vivienda. Para la segunda vivienda monitoreada, el mínimo valor es de 2.63 pCi/l a las 11:00 am y, como máximo se registró 4.91 pCi/l a las 11:00 pm. De las dos viviendas monitoreadas, se obtuvo como mínimo valor 0,49 pCi/l y, como máximo fue de 4.91 pCi/l.

Tabla 4

Concentraciones de radón en viviendas de Huancán del tipo de suelo franco arenoso.

N°	Hora	Concentración (pCi/l)	
		Vivienda 1	Vivienda 2
0	8:00 am		
1	9:00 am	2,41	2,77
2	10:00 am	2,66	3,20
3	11:00 am	2,66	2,63
4	12:00 m	3,20	2,66
5	01:00 pm	3,10	3,06
6	02:00 pm	2,88	3,28
7	03:00 pm	2,95	3,28
8	04:00 pm	2,88	3,93
9	05:00 pm	2,45	3,28
10	06:00 pm	2,77	3,64
11	07:00 pm	2,13	3,71
12	08:00 pm	2,84	3,60
13	09:00 pm	3,31	3,60
14	10:00 pm	1,91	4,15
15	11:00 pm	0,91	4,91
16	12:00 am	0,59	3,93
17	1:00 am	0,49	3,93
18	2:00 am	0,84	3,64
19	3:00 am	2,02	4,36
20	4:00 am	1,70	4,69
21	5:00 am	1,34	3,86
22	6:00 am	2,56	3,96
23	7:00 am	2,88	3,53
24	8:00 am	3,28	3,60

En la Tabla 5, se muestran las concentraciones del gas radón en dos viviendas ubicadas sobre suelo de tipo franco arenoso en el distrito de Huayucachi, monitoreadas durante 24 horas.

Estos valores varían entre 1.02 pCi/l a las 10:00 am hasta 5.35 pCi/l a las 04:00 pm, en la primera vivienda. Para la segunda vivienda monitoreada, el mínimo valor es de 2.23 pCi/l a las 08:00 am y,

como máximo se registró 5.46 pCi/l a las 10:00 pm. De las dos viviendas monitoreadas, se obtuvo como mínimo valor 1.02 pCi/l y, como máximo fue de 5.46 pCi/l.

Tabla 5

Concentraciones de radón en viviendas de Huayucachi del tipo de suelo franco arenoso.

N°	Hora	Concentración (pCi/l)	
		Vivienda 1	Vivienda 2
0	8:00 am		
1	9:00 am	1,27	2,23
2	10:00 am	1,02	2,56
3	11:00 am	1,05	2,84
4	12:00 m	1,87	3,18
5	01:00 pm	2,63	2,77
6	02:00 pm	3,86	2,52
7	03:00 pm	4,40	3,10
8	04:00 pm	5,35	2,56
9	05:00 pm	2,20	3,17
10	06:00 pm	1,59	3,17
11	07:00 pm	1,87	2,74
12	08:00 pm	2,09	3,15
13	09:00 pm	1,98	4,61
14	10:00 pm	1,27	5,46
15	11:00 pm	2,09	4,61
16	12:00 am	1,59	4,79
17	1:00 am	3,49	5,38
18	2:00 am	2,66	4,51
19	3:00 am	2,77	3,53
20	4:00 am	3,82	3,42
21	5:00 am	3,53	3,56
22	6:00 am	3,06	2,74
23	7:00 am	4,04	2,41
24	8:00 am	3,38	3,71

En la Tabla 6, se muestra las concentraciones del gas radón en el distrito de Pucará, monitoreadas durante 24 horas.

Esos valores varían entre 2.13 pCi/l a las 10:00 am hasta 8.17 pCi/l a las 05:00 pm, en la primera vivienda ubicada sobre suelo de tipo arenosa gruesa. Para la segunda vivienda monitoreada, ubicada sobre suelo de tipo franco arenoso, el mínimo valor es de 1.23 pCi/l a las 10:00 pm y, como máximo se registró 3.60 pCi/l a las 03:00 am. De las dos viviendas monitoreadas, se obtuvo como mínimo valor 1.23 pCi/l y, como máximo fue de 8.17 pCi/l.

Tabla 6

Concentraciones de radón en viviendas de Pucará (Vivienda 1 y 2).

N°	Hora	Concentración (pCi/l)			
		Vivienda 1	Tipo de suelo	Vivienda 2	Tipo de suelo
0	8:00 am				
1	9:00 am	3,96	Arenosa gruesa	2,45	Franco arenoso
2	10:00 am	2,13	Arenosa gruesa	2,63	Franco arenoso
3	11:00 am	3,93	Arenosa gruesa	1,98	Franco arenoso
4	12:00 m	4,51	Arenosa gruesa	1,98	Franco arenoso
5	01:00 pm	5,72	Arenosa gruesa	2,88	Franco arenoso
6	02:00 pm	6,23	Arenosa gruesa	2,20	Franco arenoso
7	03:00 pm	5,28	Arenosa gruesa	2,13	Franco arenoso
8	04:00 pm	6,27	Arenosa gruesa	2,20	Franco arenoso
9	05:00 pm	8,17	Arenosa gruesa	2,13	Franco arenoso
10	06:00 pm	7,79	Arenosa gruesa	2,20	Franco arenoso
11	07:00 pm	8,13	Arenosa gruesa	1,70	Franco arenoso
12	08:00 pm	7,12	Arenosa gruesa	2,41	Franco arenoso
13	09:00 pm	6,83	Arenosa gruesa	2,20	Franco arenoso
14	10:00 pm	5,94	Arenosa gruesa	1,23	Franco arenoso
15	11:00 pm	6,79	Arenosa gruesa	1,55	Franco arenoso
16	12:00 am	5,94	Arenosa gruesa	1,77	Franco arenoso
17	1:00 am	5,17	Arenosa gruesa	1,80	Franco arenoso
18	2:00 am	2,09	Arenosa gruesa	3,07	Franco arenoso
19	3:00 am	3,75	Arenosa gruesa	3,60	Franco arenoso
20	4:00 am	4,29	Arenosa gruesa	2,63	Franco arenoso
21	5:00 am	4,40	Arenosa gruesa	2,99	Franco arenoso
22	6:00 am	5,06	Arenosa gruesa	2,84	Franco arenoso
23	7:00 am	4,80	Arenosa gruesa	2,95	Franco arenoso
24	8:00 am	4,95	Arenosa gruesa	3,02	Franco arenoso

En la Tabla 7, se muestran las concentraciones del gas radón en dos viviendas ubicadas sobre suelo de

tipo franco arcilloso arenoso en el distrito de Sapallanga, monitoreadas durante 24 horas.

Esos valores varían entre 0.49 pCi/l a las 12:00 pm hasta 3.05 pCi/l a las 05:00 am, en la primera vivienda. Para la segunda vivienda monitoreada, el mínimo valor es de 1.41 pCi/l a las 09:00 am y, como máximo se registró 3.29 pCi/l a las 01:00 am. De las dos viviendas monitoreadas, se obtuvo como mínimo valor 0,49 pCi/l y, como máximo fue de 3.29 pCi/l.

Tabla 7

Concentraciones de radón en viviendas de Sapallanga del tipo de suelo franco arcilloso arenoso.

N°	Hora	Concentración (pCi/l)	
		Vivienda 1	Vivienda 2
0	8:00 am		
1	9:00 am	1,34	1,41
2	10:00 am	1,02	2,91
3	11:00 am	1,59	2,41
4	12:00 m	0,49	2,45
5	01:00 pm	1,48	2,52
6	02:00 pm	0,84	2,63
7	03:00 pm	1,02	2,63
8	04:00 pm	2,20	2,88
9	05:00 pm	2,34	2,63
10	06:00 pm	2,84	2,95
11	07:00 pm	2,63	2,86
12	08:00 pm	2,30	1,94
13	09:00 pm	1,91	2,50
14	10:00 pm	1,45	3,16
15	11:00 pm	1,70	2,06
16	12:00 am	1,91	1,80
17	1:00 am	2,30	3,29
18	2:00 am	2,20	2,15
19	3:00 am	2,13	2,28
20	4:00 am	1,98	1,95
21	5:00 am	3,05	3,10
22	6:00 am	3,16	1,84
23	7:00 am	2,20	1,77
24	8:00 am	2,13	2,20

En la Tabla 8, se muestran las concentraciones del gas radón en dos viviendas ubicadas sobre suelo de tipo franco arcilloso arenoso en el distrito de Viques, monitoreadas durante 24 horas.

Esos valores varían entre 2.63 pCi/l a las 11:00 am hasta 4.91 pCi/l a las 11:00 pm, en la primera vivien-

da. Para la segunda vivienda monitoreada, el mínimo valor es de 2.50 pCi/l a las 03:00 am y, como máximo se registró 5.38 pCi/l a las 09:00 pm. De las dos viviendas monitoreadas, se obtuvo como mínimo valor 2.50 pCi/l y, como máximo fue de 5.38 pCi/l.

Tabla 8

Concentraciones de radón en viviendas de Viques del tipo de suelo franco arcilloso arenoso.

N°	Hora	Concentración (pCi/l)	
		Vivienda 1	Vivienda 2
0	8:00 am		
1	9:00 am	2,77	2,88
2	10:00 am	3,20	4,47
3	11:00 am	2,63	3,10
4	12:00 m	2,66	4,04
5	01:00 pm	3,06	3,93
6	02:00 pm	3,28	3,17
7	03:00 pm	3,28	4,47
8	04:00 pm	3,93	3,86
9	05:00 pm	3,28	3,82
10	06:00 pm	3,64	4,29
11	07:00 pm	3,71	4,40
12	08:00 pm	3,60	3,94
13	09:00 pm	3,60	5,38
14	10:00 pm	4,15	4,02
15	11:00 pm	4,91	4,94
16	12:00 am	3,93	5,26
17	1:00 am	3,93	4,23
18	2:00 am	3,64	4,40
19	3:00 am	4,36	2,50
20	4:00 am	4,69	3,49
21	5:00 am	3,86	2,63
22	6:00 am	3,96	2,84
23	7:00 am	3,53	3,96
24	8:00 am	3,60	3,49

Variación de concentración de radón 222 en un día

En la Figura 1, se muestra las concentraciones del gas radón 222 en las 16 viviendas monitoreadas durante 24 horas, cada una. En el gráfico se puede observar que el comportamiento de la concentración de radón 222 en un día sigue un patrón sinusoidal, con valores máximos en el horario de 4:00 pm a 2:00 am y, valores mínimos en el horario de 8:00 am al mediodía (Ver Tabla 9). Además, se observa, de manera clara, que en una de las viviendas se detectaron niveles excesivos de radón

(picos elevados) a comparación de las demás viviendas muestreadas, el cual es la vivienda 1 ubicada en Pucará, presentando su pico más alto de 8.17 pCi/l a las 5:00 pm, en seguida 8.13 pCi/l a las 7:00 pm (Ver Figura 1).

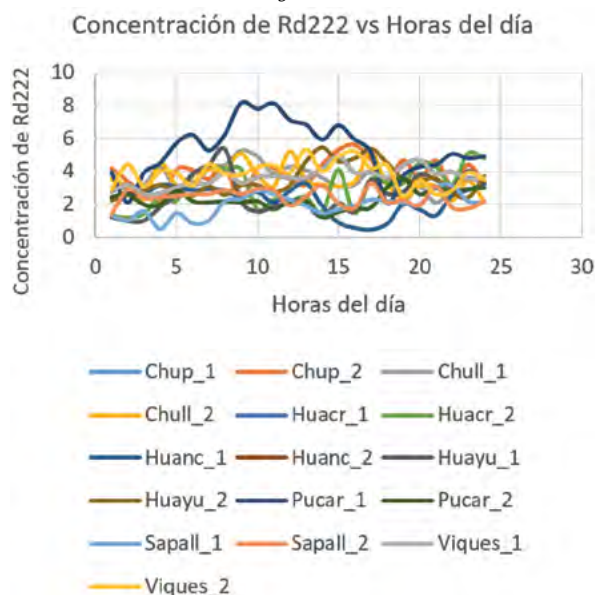
Tabla 9

Concentraciones mínimas y máximas de acuerdo a la hora del día.

Viviendas monitoreadas	Concentraciones mínimas (pCi/l)	Horario	Concentraciones máximas (pCi/l)	Horario
Chup_1	2.63	11:00 am	4.91	11:00 pm
Chup_2	2.12	05:00 pm	5.63	12:00 am
Chull_1	2.09	05:00 am	5.28	05:00 pm
Chull_2	2.13	08:00 am	5.24	08:00 pm
Huacr_1	1.02	10:00 am	5.35	04:00 pm
Huacr_2	1.22	10:00 am	5.12	07:00 am
Huanc_1	0.49	01:00 am	3.31	09:00 pm
Huanc_2	2.63	11:00 am	4.91	11:00 pm
Huayu_1	1.02	10:00 am	5.35	04:00 pm
Huayu_2	2.23	09:00 am	5.46	10:00 pm
Pucar_1	2.09	02:00 am	8.17	05:00 pm
Pucar_2	1.23	10:00 pm	3.07	02:00 am
Sapall_1	0.49	12:00 pm	3.16	06:00 am
Sapall_2	1.41	09:00 pm	3.29	01:00 am
Viques_1	2.63	11:00 am	4.91	11:00 pm
Viques_2	2.5	03:00 am	5.38	09:00 pm

Figura 1

Concentración de radón 222 en función a las horas del día.



Concentración de gas radón 222 en función al tipo de suelo

En la Tabla 10, se presentan las concentraciones máximas de gas radón 222 y, el tipo de suelo en el cual se ubica cada vivienda monitoreada de los ocho distritos de la zona sur de Huancayo.

Tabla 10

Concentraciones máximas de radón 222 de cada vivienda evaluada.

Viviendas monitoreadas	Concentraciones máximas de radón 222 (pCi/l)	Tipo de suelo
Chup_1	4.91	Franco arcilloso arenoso
Chup_2	5.63	Franco arcilloso arenoso
Chull_1	5.28	Arenosa gruesa
Chull_2	5.24	Arenosa gruesa
Huacr_1	5.35	Franco limoso
Huacr_2	5.12	Franco limoso
Huanc_1	3.31	Franco arenoso
Huanc_2	4.91	Franco arenoso
Huayu_1	5.35	Franco arenoso
Huayu_2	5.46	Franco arenoso
Pucar_1	8.17	Arenosa gruesa
Pucar_2	3.07	Franco arenoso
Sapall_1	3.16	Franco arcilloso arenoso
Sapall_2	3.29	Franco arcilloso arenoso
Viques_1	4.91	Franco arcilloso arenoso
Viques_2	5.38	Franco arcilloso arenoso

Para el análisis, se construye un gráfico de barras (ver Figura 2), donde se puede observar que, la concentración máxima se monitoreó en el distrito de Pucará, siendo 8.17 pCi/l, cuyo tipo de suelo es arenosa gruesa; posteriormente, 5.63 pCi/l en el distrito de Chupuro, cuyo tipo de suelo franco arcilloso arenoso y; 5.38 pCi/l en el distrito de Viques, con tipo de suelo franco arcilloso arenoso.

Figura 2

Concentraciones máximas de radón 222 evaluadas en cada vivienda.



En la Tabla 11, se presentan las concentraciones mínimas de gas radón 222 y el tipo de suelo en el cual se ubica cada vivienda monitoreada de los ocho distritos de la zona sur de Huancayo. Para el análisis, se construye un gráfico de barras (ver Figura 3), donde se puede observar claramente que la concentración máxima se monitoreó en el distrito de Pucará, siendo 8.17 pCi/l, cuyo tipo de suelo es arenosa gruesa; posteriormente, 5.63 pCi/l en el distrito de Chupuro, cuyo tipo de suelo franco arcilloso arenoso y 5.38 pCi/l en el distrito de Viques, con tipo de suelo franco arcilloso arenoso.

Tabla 11

Concentraciones mínimas de radón 222 de cada vivienda evaluada.

Viviendas monitoreadas	Concentraciones mínimas de radón 222 (pCi/l)	Tipo de suelo
Chup_1	2.63	Franco arcilloso arenoso
Chup_2	2.12	Franco arcilloso arenoso
Chull_1	2.09	Arenosa gruesa
Chull_2	2.13	Arenosa gruesa
Huacr_1	1.02	Franco limoso
Huacr_2	1.22	Franco limoso
Huanc_1	0.49	Franco arenoso
Huanc_2	2.63	Franco arenoso
Huayu_1	1.02	Franco arenoso
Huayu_2	2.23	Franco arenoso
Pucar_1	2.09	Arenosa gruesa
Pucar_2	1.23	Franco arenoso
Sapall_1	0.49	Franco arcilloso arenoso
Sapall_2	1.41	Franco arcilloso arenoso
Viques_1	2.63	Franco arcilloso arenoso
Viques_2	2.5	Franco arcilloso arenoso

Figura 3

Concentraciones mínimas de radón 222 evaluadas en cada vivienda.



Mediana de las concentraciones de gas radón 222 de cada vivienda evaluada

Las concentraciones de Rd-222 obtenidas, son datos no agrupados; por lo cual, se hallará la mediana de cada vivienda. En la Tabla 12, se muestran las medianas de las concentraciones de Radón-222, monitoreadas en casas de 08 distritos de la zona sur de Huancayo ubicadas en distintos tipos de suelo.

Tabla 12

Mediana de las concentraciones de Rd222.

Viviendas monitoreadas	Mediana de las concentraciones de radón 222 (pCi/l)	Tipo de suelo
Chup_1	3.62	Franco arcilloso arenoso
Chup_2	4.115	Franco arcilloso arenoso
Chull_1	3.345	Arenosa gruesa
Chull_2	3.285	Arenosa gruesa

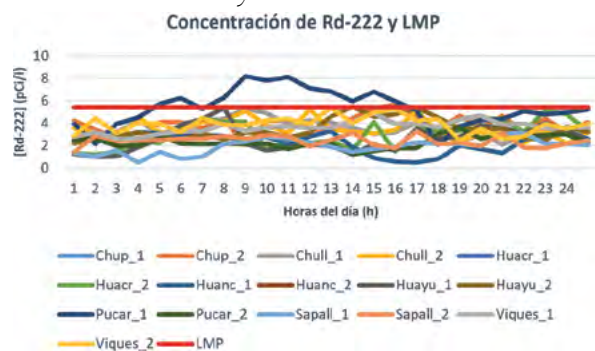
Huacr_1	2.415	Franco limoso
Huacr_2	3.275	Franco limoso
Huanc_1	2.61	Franco arenoso
Huanc_2	3.62	Franco arenoso
Huayu_1	2.415	Franco arenoso
Huayu_2	3.17	Franco arenoso
Pucar_1	5.225	Arenosa gruesa
Pucar_2	2.2	Franco arenoso
Sapall_1	2.055	Franco arcilloso arenoso
Sapall_2	2.475	Franco arcilloso arenoso
Viques_1	3.62	Franco arcilloso arenoso
Viques_2	3.95	Franco arcilloso arenoso

Evaluación del cumplimiento de los límites máximos permisibles de la concentración de radón 222

La Figura 4, muestra las concentraciones de radón 222 registrados en 16 viviendas de cada uno de los 08 distritos de la zona sur de Huancayo, ubicados en distintos tipos de suelo. En ella, se puede observar que en una vivienda ubicada en el distrito de Pucará se obtuvieron mayores concentraciones de radón 222, estos valores superaron el valor de 5,41 pCi/l (200 Bq/m³), el cual es el nivel de actuación para la exposición crónica de radón en viviendas, mencionado por el IPEN, en la ilustración se presenta como una línea roja.

Figura 4

Concentración de Rd-222 y LMP



Discusión

Al determinar si la concentración de radón 222 estaba fuera de los límites máximos permisibles, bajo parámetros del Instituto Peruano de Energía Nuclear, se pudo encontrar que el valor (p calculado = $1.8911E-19$) < (p tabular = 0.05), a través de la prueba estadística T de student para una muestra. Lo que da a entender que la probabilidad que la hipótesis nula sea cierta es 0 %. Asimismo, de la Tabla 13 se puede interpretar que la media muestral se encuentra en el rango de 3.08 y 3.40 pCi/l; valores menores al límite máximo permisible 5.41 pCi/l.

Frente a lo mencionado, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, donde refie-

re que la concentración de radón 222, en función al tipo de suelo y horas del día, se encuentran debajo de los LMP. A partir de estos resultados, y tomando como referencia a Canoba & López (2006), quienes midieron la concentración de 222Rn en el interior de viviendas de la República Argentina donde determinaron que el valor promedio obtenido a partir de 2689 viviendas monitoreadas fue de 41,6 Bq/m³, concluyendo que era muy pocos los valores que superaban el LMP de 200 Bq/m³; debido a variables como la ventilación, material de construcción, entre otros. Así también, Guevara (2018) refiere que la distribución de concentración de 222Rn en viviendas u oficinas no es homogénea; encontrando mayores niveles de concentración, en las áreas del recinto donde hay escasa circulación de aire y; niveles menores de concentración, en las zonas donde la circulación de aire es mayor; concluyendo que la ventilación del ambiente influencia en los niveles de concentración de radón.

Tabla 13

Prueba estadística *T* de student para una muestra.

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 5.41						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
RADÓN	-28,512	23	1,8911E-19	-2,17125	-2,3288	-2,0137

Al determinar la relación entre la concentración de radón 222 y las horas del día, se pudo encontrar que el valor (p calculado = 0.012) < (p tabular = 0.05), a través del coeficiente de correlación de Pearson (Tabla 14), lo que da a entender que existe una relación entre ambas variables. Esto quiere decir que, el nivel de concentración de gas radón 222 tiende a relacionarse a la hora del día en el que se monitorea el interior de las viviendas de los distritos de la zona sur de Huancayo. Frente a lo mencionado, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de la investigación, donde refiere que existe relación entre las horas del día y la concentración de radón 222. Estos resultados son corroborados por Dainius (2012), quien, durante el período de medición, encontró que “la concentración de actividades de los productos de desintegración de corta duración del radón varió de 2 Bq/m³ a 16 Bq/m³ y los valores de concentración de actividad medidos durante el día y la noche variaron de 5 a 7 veces”.

Así también, Malakhov (2008) concluyó que “la máxima exhalación de radón del suelo ocurrió en la noche y que la mayor alteración del equilibrio radioactivo entre los productos derivados del radón se observó en la primera mitad de la noche y durante el día. En tal sentido, según lo referido anteriormente y analizando los resultados, se confirma que la concentración de radón 222, que se presenta en el interior de las viviendas de los distritos de la zona sur de Huancayo, está relacionado a la hora del día.

Tabla 14

Correlación de Pearson en SPSS Statistic.

	Hora	Radón
Hora	Correlación de Pearson	,503*
	Sig. (Bilateral)	,012
	N	24
Radón	Correlación de Pearson	,503*
	Sig. (Bilateral)	,012
	N	24

Nota:* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (Bilateral).

Conclusiones

- En este trabajo se determinó las concentraciones de Radón 222 en los ocho distritos de la zona sur de Huancayo, concluyendo que, el nivel de gas radón presente en los interiores de las viviendas monitoreadas se encontraban debajo del límite máximo permisible de acuerdo al IPEN; sin embargo, en algunas viviendas se encontraron niveles elevados que se atribuyen a otros factores, como la ventilación del ambiente, material de construcción, entre otros. Lo más importante de determinar las concentraciones del gas radón fue encontrar los lugares donde el LMP se excedía, porque, de esta manera, se puede alertar y dar medidas de prevención a los habitantes de los distritos muestreados. Lo que más ayudó a cumplir este objetivo fue la predisposición que mostraron las personas que nos dejaron ingresar a sus casas.
- Asimismo, este estudio determinó los tipos de suelo de los 8 distritos de la zona sur de Huancayo y; analizó la relación que tiene con la concentración de radón 222, concluyendo que el tipo de suelo sobre el que se edificaron las viviendas muestreadas no influye significativamente en el nivel de gas presente en su interior; no obstante, se puede mencionar que el tipo arenoso grueso dio mayores niveles de radón.
- Finalmente, se monitoreó la concentración de radón 222 en función a las horas del día, concluyendo que el nivel del gas radón 222 varía durante las horas del día, esto se debe a otros factores, como el comportamiento de los habitantes de las viviendas muestreadas. De acuerdo al IPEN con el análisis presentado, se concluye que el nivel de radón 222 de las viviendas muestreadas, se encuentran viviendas que están debajo del límite máximo permisible. Según la OMS, el límite máximo permisible es de 4.0 pCi/l; pero también, se encontraron viviendas por encima del límite máximo permisible, cuyas concentraciones estaban en el rango de 2.09 y 8.17 pCi/l.

- Los niveles de radón variaron de acuerdo a las horas del día con influencia del tipo de suelo, encontrándose mayores concentraciones en tipo arenoso grueso. De acuerdo a investigaciones, se estima que el nivel medio de radón en interiores es de alrededor de 1.3 pCi/l. Un nivel de radón > 4 pCi/l representa riesgo; sin embargo, según la OMS, se recomienda considerar solucionar el problema de radón si los niveles están entre 2 y 4 pCi/l; generalmente, las alternativas para solucionar el problema es la impermeabilización de la base de la viviendas, acciones que se viene aplicando en diversos países.

Referencias bibliográficas

- Agency, U. S. (2009). *Citizen's guide to radon: the guide to protecting yourself and your family from radon*. Indoor Environments Division. Washington, DC: Environmental Protection Agency.
- Barros, N. (2012). *Predictability of radon airborne measurements based on surrogate measures*. Iowa: Iowa Research Online.
- Bensryd, I. R. (2003). *Geochemistry and ground permeability as determinants of indoor radon concentrations in southernmost Sweden*. Pergamon, -9.
- Canaan, R. (2019). *¿Qué son los métodos de investigación?* Universidad Rafael Belloso Chacín. Obtenido de Lifeder.com: <https://www.lifeder.com/tipos-metodos-de-investigacion/>
- Cancer, I. A. (1988). *Man-made mineral fibres and radon*. Francia: IARC.
- Canoba, A. & López, F. (2006). *Mediciones de ^{222}Rn en el interior de viviendas de la República Argentina*. Aca-pulco: Primer Congreso Americano del IRPA.
- Colmero Sujo, L. & De Lourdes Villalba, M. (2010). *Presencia de radón en casas habitación del Estado de Chihuahua*. Chihuahua: TECNOCENCIA.
- Dainius Jasaitis, A. D. (2012). *Variation of activity concentration of radon decay products in the Curonian Spit*. EKOLOGIJA, 1-8.
- Anderson, E. (1952). *Units of radiation and radioactivity*. New York: Public Health Reports.
- FTLab. (2019). *RadonEye operation manual*. FTLab.
- Gamboa Mariñas, M. (2019). *El suelo, tipos de suelo y composición*. Lima.
- Guevara Rojas, V. Y. (2018). *Medición de radón 222 en lugares de trabajo ubicados en sótanos*. Lima.
- HO, W. (1978). *International system of units (SI)*. New York: American Journal of Roentgenology.
- Huancayo.Info. (2010). Portal de turismo de Huancayo. Huancayo.
- INEI. (2012). Provinvia de Huancayo.
- mundo, P. d. (Mayo de 2020). DeHuancayo.com. Obtenido de <https://www.dehuancayo.com/mapa-huancayo>
- Organization, W. H. (2009). *Handbook on indoor radon: a public health perspective*. Geneva, Switzerland: WHO.
- Radiations, C. o. (1999). *Health Effects of Exposure to Indoor Radon*. Washington, DC: National Academy Press.
- Registry, A. f. (2009). *Toxicological profile for radon*. Atlanta: US Department of Health and Human Services, Public Health Service,.
- Rojas Hanco, J. J. (2016). *Monitoreo de radón 222 en la zona sur de Lima*. Lima: PUCP.
- Malakhov, S. G.; Bakulin, V. N.; Dmitrieva, G. V.; Kirichenko, L.; Ssissigina, T. I. & Starikov, B. G. (1966). *Diurnal variations of radon and thoron decay product concentrations in the surface layer of the atmosphere and their washout by precipitations*. Tellus A, 18, 643-654.
- Sundal, A. V. (2003). *Geologic influence on indoor radon concentrations and gamma radiation levels in Norwegian dwellings*. Bergen: Universitas Bergensis.
- Vilcapoma Lázaro, L. P. (2019). *Medición de radón en suelos de la ciudad de Lima durante el periodo 2016 - 2017*. Lima. Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2019. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/14991>.