



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA FÍSICA

ELABORACIÓN DE UN MAPA RADIOLÓGICO DE RADÓN DE LA ZONA RURAL DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

FÍSICA

AUTORAS: ABIGAIL FERNANDA RIVADENEIRA PALLAZHCO

JOSELYN VANNESA GUAÑO COLCHA

DIRECTORA: Dra. JHENY DEL CARMEN ORBE ORDOÑEZ

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Guaño Colcha Josselyn Vannesa y Rivadeneira Pallazhco Abigail Fernanda

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotras, Josselyn Vannesa Guaño Colcha y Abigail Fernanda Rivadeneira Pallazhco, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de marzo de 2023



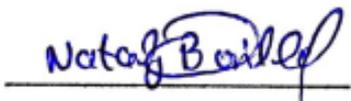
Josselyn Vannesa Guaño Colcha
0604900050



Abigail Fernanda Rivadeneira Pallazhco
1450140585

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **ELABORACIÓN DE UN MAPA RADIOLÓGICO DE RADÓN DE LA ZONA RURAL DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA**, realizado por las señoritas: **JOSSELYN VANNESA GUAÑO COLCHA Y ABIGAIL FERNANDA RIVADENEIRA PALLAZHCO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
MsC. Rosa Maricela Ormaza Hugo PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-03-24
Dra. Jheny del Carmen Orbe Ordoñez DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-03-24
Mgs. Azucena Nataly Bonilla García ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-03-24

DEDICATORIA

A mis padres Juan y Fanny, los pilares fundamentales de mi vida y soporte de mi carrera universitaria que siempre supieron apoyarme y brindarme consuelo en los momentos difíciles con su amor, paciencia y comprensión, acompañándome con consejos, palabras de aliento y el apoyo moral a lo largo de esta etapa para alcanzar mis sueños y metas.

Abigail

A mi madre y hermanos por su incondicional apoyo, amor, paciencia y confianza depositada durante mi recorrido estudiantil.

Josselyn

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento a la Dra. Jheny Orbe por haber visto en nosotras el potencial y la capacidad para desarrollar nuestro Trabajo de Integración Curricular bajo su dirección y acompañamiento en el proceso.

Abigail y Josselyn

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	X
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Bases teóricas.....	5
1.2.1. <i>Radiación Ionizante</i>	7
1.2.2. <i>Dosis Mundial</i>	9
1.2.3. <i>Radón</i>	10
1.2.4. <i>Radón Indoor</i>	12
1.2.5. <i>Mapas radiológicos</i>	17
1.2.5.1. <i>Utilización de ArcGIS para mapeo</i>	17

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	19
2.1. Características de la investigación.....	19
2.2. Zona de estudio	19
2.3. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	27
2.3.1. <i>Método de determinación del fondo gamma ambiental</i>	27
2.3.2. <i>Método de medición de radón indoor</i>	28
2.3.3. <i>Método de elaboración de mapas radiológicos</i>	33
2.3.4. <i>Técnicas de recolección de datos</i>	34
2.3.5. <i>Instrumentos de recolección de datos</i>	34
2.3.5.1. <i>Entrevistas</i>	34

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	35
3.1.	Procesamiento, análisis e interpretación de resultados	35
3.1.1.	<i>Características de las viviendas monitoreadas en la zona rural de Riobamba.....</i>	35
3.1.2.	<i>Mapa general de las concentraciones de radón-222 de las parroquias rurales de Riobamba.....</i>	36
3.1.3.	<i>Mapas parroquiales de la concentración de radón-222 de la zona rural de Riobamba.....</i>	38
3.1.4.	<i>Concentración de radón en Ecuador y el mundo.....</i>	49
3.2.	Discusión.....	50

CAPITULO IV

4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
4.1.	Conclusiones	52
4.2.	Recomendaciones	52

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Dispositivos para la medición de radón.....	16
Tabla 1-3: Porcentaje de construcción en paredes, techo y piso de las viviendas de las parroquias rurales de Riobamba.....	35
Tabla 2-3: Porcentaje de antigüedad y presencia de grietas/fisuras en las viviendas de las parroquias rurales de Riobamba.....	36
Tabla 3-3: Concentración promedio de radón-222 en las parroquias rurales de Riobamba.....	36
Tabla 4-3: Comparativa de la concentración media de radón-222 frente a los países del mundo.....	50

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Cadena de desintegración del Uranio-238.....	6
Ilustración 2-1: Cadena de desintegración del Uranio-235.....	7
Ilustración 3-1: Cadena de desintegración del Thorio-232.....	7
Ilustración 4-1: Contribución de las distintas fuentes de exposición, de origen natural y artificial, a la dosis recibida por la población.....	10
Ilustración 5-1: Fuentes de radón y rutas de entrada.....	13
Ilustración 1-2: Mapa de Cubijíes.....	20
Ilustración 2-2: Mapa de Quimiag.....	21
Ilustración 3-2: Mapa de Licán.....	21
Ilustración 4-2: Mapa de Calpi.....	22
Ilustración 5-2: Mapa de San Luis.....	23
Ilustración 6-2: Mapa de Punín.....	23
Ilustración 7-2: Mapa de Flores.....	24
Ilustración 8-2: Mapa de Licto.....	24
Ilustración 9-2: Mapa de Pungalá.....	25
Ilustración 10-2: Mapa de San Juan.....	26
Ilustración 11-2: Mapa de Cacha.....	26
Ilustración 12-2: ATOMTEX y material para calibrar el equipo.....	27
Ilustración 13-2: Sistema E-PERM.....	28
Ilustración 14-2: Funcionamiento del sistema E-PERM.....	30
Ilustración 1-3: Promedio de la concentración de radón-222 en la zona rural de Riobamba.....	37
Ilustración 2-3: Mapa general de las concentraciones de radón-222 de las parroquias rurales de Riobamba.....	38

Ilustración 3-3:	Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Cubijies.....	39
Ilustración 4-3:	Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Quimiag.....	40
Ilustración 5-3:	Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Licán.....	41
Ilustración 6-3:	Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Calpi.....	42
Ilustración 7-3:	Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia San Luis.....	43
Ilustración 8-3:	Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Punín.....	44
Ilustración 9-3:	Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Flores.....	45
Ilustración 10-3:	Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Licto.....	46
Ilustración 11-3:	Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Pungalá.....	47
Ilustración 12-3:	Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia San Juan.....	48
Ilustración 13-3:	Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Cacha.....	49

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ENCUESTA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

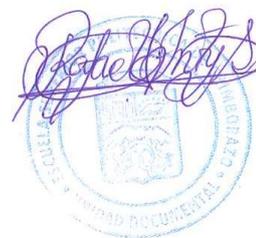
ANEXO B: ANEXO FOTOGRÁFICO

RESUMEN

El radón (^{222}Rn) es un gas radiactivo de origen natural, considerado la segunda causa de cáncer de pulmón en personas fumadoras y el primero en no fumadoras según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2015). El objetivo de la presente investigación fue elaborar un mapa radiológico de radón-222 de la zona rural de Riobamba con el sistema de detección SST-EPERM, constituido por una cámara de ionización de tipo S y un Electret Short Term (detector). Este trabajo tuvo un enfoque cuantitativo, no experimental de tipo transversal. La técnica utilizada para conocer las características de las residencias consistió en entrevistas dirigidas a los propietarios. El mapa se elaboró a partir de las concentraciones de ^{222}Rn medidas en 121 casas distribuidas en las diferentes parroquias rurales, con un tiempo de exposición del detector de 7 días. La media global de las concentraciones en el área de estudio fue $34,65 \text{ Bq/m}^3$, Cacha es la parroquia con la mínima contaminación ($25,76 \text{ Bq/m}^3$) y Punín presenta el valor máximo de $42,89 \text{ Bq/m}^3$. Por tanto, se concluye que el aire interior de las casas se encuentra contaminado con ^{222}Rn , pero no supera el límite estipulado en la Directiva 2013/59 de la EUROTAM de 300 Bq/m^3 .

Palabras clave: <MAPA RADIOLÓGICO>, <RADON-222 (^{222}Rn)>, <CONCENTRACIÓN>, <SST-EPERM >, <RIOBAMBA (CANTÓN)>.

0622-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

Radon (^{222}Rn) is a radioactive gas of natural origin, considered the second cause of lung cancer in smokers and the first in non-smokers according to the World Health Organization (WHO, 2015). The objective of this research was to elaborate a radiological map of radon-222 in the rural area of Riobamba with the SST-EPERM detection system, consisting of an S-type ionization chamber and an Electret Short Term (detector). This work had a quantitative, non-experimental, cross-sectional approach. The technique used to determine the characteristics of the residences consisted of interviews with the owners. The map was made from the ^{222}Rn concentrations measured in 121 houses distributed in different rural parishes, with a detector exposure time of 7 days. The overall mean of the concentrations in the study area was $34,65 \text{ Bq/m}^3$, Cacha is the parish with the lowest contamination ($25,76 \text{ Bq/m}^3$) and Punín presents the maximum value of $42,89 \text{ Bq/m}^3$. Therefore, it is concluded that the indoor air in the houses is polluted with ^{222}Rn but does not exceed the limit stipulated in EUROTAM Directive 2013/59 of 300 Bq/m^3 .

Keywords: <RADIOLOGICAL MAP>, <RADON-222 (^{222}Rn)>, <CONCENTRATION>, <SST-EPERM>, <RIOBAMBA (CANTON)>.



Dra. Carmita Eulalia Rojas Castro
0602890469

INTRODUCCIÓN

La exposición continua a fuentes de radiación ionizante presentes en el medio ambiente trae consigo múltiples afecciones a la salud y al bienestar del ser humano. Como ejemplo, la radiación emitida por los reservorios de uranio-238 (^{238}U), que decae a radio y de éste, a un gas radioactivo natural, el radón (^{222}Rn) con una vida media de 3,8 días, el cual se puede detectar en suelos, rocas y materiales de construcción presentes en el interior de espacios cerrados habitables. Con lo mencionado anteriormente, en un panorama mundial existe la preocupación en cuanto al riesgo que corren las personas al exponerse a concentraciones altas de radón, de las cuales se espera que se encuentren bajo estándares internacionales de calidad y seguridad que según la OMS y la Directiva 2013/59 de la EURATOM no deben sobrepasar los 300 Bq/m^3 . En este marco, los átomos de ^{222}Rn que se forman por la desintegración del radio (^{226}Ra) tienden a desplazarse debido a su carácter gaseoso y desintegrarse dando paso a sus descendientes junto con la emisión de partículas alfa partiendo desde rocas muy fracturadas o suelos bastante porosos, permitiendo su alcance hasta la superficie del suelo. Por tanto, los mecanismos por los que se puede transportar este gas radiactivo desde el suelo al interior de las casas son la emanación/exhalación, difusión y convección. El ^{222}Rn es ampliamente conocido por ser el segundo causante de cáncer de pulmón luego del tabaco en exposiciones continuas de niveles muy elevados de acuerdo con la publicación de (Zeeb et al., 2015: p.1), ya que según este manual, análisis indican que el riesgo de dicha neoplasia maligna aumenta proporcionalmente a la exposición a este radioisótopo. Como son muchas las personas expuestas a concentraciones bajas o medias, la mayoría de los casos de esta enfermedad asociados al mismo son provocados por tales niveles de exposición y no por concentraciones más elevadas. Han sido varios los estudios que se han realizado en ciertas regiones a escala mundial sobre los niveles presentes de ^{222}Rn en el interior de las viviendas tales como en Libano (Habib et al., 2018: pp.344-353), algunos países de Sudamérica (Canoba et al., 2002: pp.453-457), España (Martín, 2004, p.7), Italia (Bochicchio et al., 1996: pp.741-748) y Ghana (Nsiah-Akoto et al., 2019: pp.1-4), en donde utilizan los niveles de contaminación en un mapa radiológico, cuya finalidad es la evaluación del riesgo de la radiación ionizante alfa que emite dicho elemento por desintegración presente en el interior de las casas. En el Ecuador, este tipo de información geográfica sobre ^{222}Rn en interiores son mínimos, por ejemplo, Quito y Cuenca son las únicas ciudades que tienen registro sobre este problema indicados en mapas con muestras de 61 y 47 residencias respectivamente. En Chimborazo, en Riobamba, las zonas rurales son en minoría los focos de interés para este tipo de investigaciones, a razón de lo cual en este trabajo se expone la situación actual de contaminación del aire interior en las viviendas a través de mapas radiológicos en las 11 parroquias rurales del cantón y de esta manera ser el primer referente local. Para este propósito se monitorearon 121 casas distribuidas entre las once parroquias rurales del cantón durante siete días utilizando un Electret de tipo Short Term (ST) de

teflón cargado positivamente y una cámara de tipo S que juntos forman el sistema de detección SST-EPERM.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

El efecto de la radiación ionizante en la salud puede llegar a tener graves consecuencias frente a altas concentraciones; como, por ejemplo, el padecimiento de cáncer de pulmón debido a la exhalación del isótopo radón-222 (^{222}Rn) de la serie del uranio-238 (^{238}U) presente en interiores. Por tanto, es de importancia conocer la concentración de ^{222}Rn a la que se encuentran expuestas las personas mediante un mapeo de las zonas altamente afectadas para determinar su nivel de riesgo y tener futuras referencias.

El ^{222}Rn constituye uno de los decaimientos del ^{238}U que, al estar presente en rocas, suelos y materiales de construcción, tiene la característica de filtrarse por espacios que contengan fallas abiertas que dan directo al interior de las casas adhiriéndose a partículas de aire y movilizándose en el mismo, por lo que, al ser inhaladas, las partículas alfa emitidas por su progenie bombardean el tejido pulmonar provocando posibles alteraciones: cáncer de pulmón.

Uno de los primeros antecedentes que brinda información sobre un mapeo de zonas pobladas se lo realizó en Italia entre los años 1989 y 1994 por el Instituto Nacional de Salud de Italia (ISS), la Agencia Nacional para la Protección el Medio Ambiente (ANPA), el Sistema Nacional de Salud y los Laboratorios Regionales para el Control de la Radiactividad Ambiental (CRR), mencionado en el artículo de (Bochicchio et al., 1996: pp.741-748).

En este estudio se llevó a cabo un monitoreo de la concentración anual de radón en 5631 viviendas italianas usando detectores pasivos como KODAK LR-115-II de Dosirad en un período de alrededor de doce meses. Los resultados obtenidos se presentaron en medias regionales que oscilan entre $25\text{--}120\text{ Bq/m}^3$, valores por debajo del nivel de referencia de 300 Bq/m^3 conforme a lo planteado en (EURATOM, 2013, pp.L13/1-73). Es decir, los efectos ionizantes en dicha zona se consideran no nocivos para los habitantes y, por tanto, una referencia de niveles para tener en consideración en el presente trabajo.

En el trabajo de (Martín, 2004, p.7) junto con el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) expusieron una colección de informes técnicos asociados con las concentraciones de radón en viviendas españolas. El objetivo de esta investigación recae en una comparativa de los niveles de contaminación de aire por radón, tomando como parámetros auxiliares las características geológicas de las diferentes zonas, los materiales de construcción y el sistema de detección.

Los métodos de muestreo llevados a cabo consistieron en células de centelleo y detectores pasivos de trazas Terradex-NRPB. Lo que se encontró del sondeo es que cuando se comparan las concentraciones de radón de acuerdo con la descripción geológica, los niveles de contaminación en viviendas situadas en suelos de naturaleza silíceas son significativamente mayores al valor medio nacional, en comparación a los calcáreos los cuales están debajo de la media; mientras que en regiones arcillosas se detecta valores próximos a la media nacional. De los materiales de construcción se halló que el valor medio de la muestra total resultó ser de 1,5 veces superior para las casas de piedra que para las construidas de ladrillo, y, empleando los dos tipos de detectores de trazas, las medidas no fueron significativamente diferentes. En función de sus valores medios se averiguó que el aire interior de las viviendas está constituido por una concentración de radón de $107,3 \text{ Bq/m}^3$, por medio de trazas Terradex; $114,7 \text{ Bq/m}^3$ por trazas NRPB, y, $140,9 \text{ Bq/m}^3$ por células de centelleo.

En el trabajo de (Habib et al., 2018: pp.344-353) presentaron un mapa de los niveles de concentración de radón en interiores y exteriores en Líbano. Este trabajo se lo desarrolló para tener una medida de la incidencia que provoca la exposición a radón, frente a las altas tasas de cáncer de pulmón mediante la determinación de cómo las condiciones ambientales, ubicación geográfica, fallas y materiales de construcción contribuyen para tal efecto. Para su estudio utilizaron el monitor pasivo del sistema de detección E-PERM presentado por (Kotrappa et al., 1990: pp.461-467), en las distintas estaciones del país por un período de dos años.

De su trabajo lo que encontraron fue que en interiores y exteriores la concentración de este gas radiactivo es de $23,50$ y $16,4 \text{ Bq/m}^3$ respectivamente. Además, el hecho de que el ^{222}Rn indoor en épocas de invierno es más alto que outdoor ya que por el clima se minimiza la ventilación en interiores y que los factores presentados al inicio no fueron significantes en la medición.

En el mismo año (Loayza, 2018, pp.7-42), plasmó los niveles de radón presentes en las viviendas de las parroquias urbanas de Cuenca por medio de un mapa radiológico. El interés de esta investigación de tipo exploratorio consistió en exponer ante la comunidad la concentración y dosis de radiación por dicho gas a las que se encuentran expuestos. La búsqueda de tales dosis se ejecutó por medio de los detectores sólidos de trazas nucleares LR-115 tipo 2, en dos fases tomando dos secciones de la vivienda: cocina y dormitorio. En función de la ubicación geográfica – geológica y aspectos de las residencias tales como materiales de construcción y antigüedad, se llegó a determinar que la concentración promedio de radón es de 35 Bq/m^3 , valor que se encuentra por debajo de los límites establecidos por la OMS y la dosis efectiva en un promedio menor de $1\text{mSv}/\gamma$, mismo que es inferior a los establecido por la UNSCEAR.

Un año después (Nsiah-Akoto et al., 2019: pp. 1-4), en su artículo “*Indoor radon mapping: The Ghanaian strategy*”, dan a conocer las concentraciones de radón por Bq/m^3 desde 1991 hasta el año 2015 en la región de Ghana usando sistemas de detección LR-115 de Dosirad y E-PERM en diferentes tiempos de exposición. En los resultados que presentan, obtuvieron que la media global de concentración en los años en que se efectuó el estudio corresponde $111,53 Bq/m^3$, usando la técnica de detección de traza nuclear.

1.2. Bases teóricas

En un átomo normal el núcleo es estable, sin embargo al existir un desequilibrio en la relación de neutrones a protones, el núcleo se enfrenta a un proceso de transformación espontáneo para estabilizarse; conseguirlo implica la formación de un nuevo átomo y un desprendimiento de energía. En este sentido, al procedimiento nuclear que da como resultado la formación de nuevos elementos se le denominará radiactividad y a la energía o las partículas energéticas que se desprenden en el camino se les conocerá como radiación.

Los materiales con núcleo inestable ya sean naturales o artificiales (radionucleidos) se caracterizarán por su actividad [A], la cual se refiere al número de decaimientos de núcleos por segundo, que bajo el sistema internacional se expresa en unidades de Becquerel (Bq) y se calcula mediante la siguiente ecuación (5.26) de (Das y Ferbel, 2003: p. 121):

$$A(t) = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \cdot N(t) = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t} = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Del planteamiento, se resalta que:

- N denota el número de núcleos radiactivos de cualquier tipo específico en un momento dado,
- A_0 es la actividad inicial del radionucleido.
- λ , constante de decaimiento. Indica la probabilidad de que un núcleo se desintegre en la unidad de tiempo, y
- t, tiempo.

En este punto, por (1) se entenderá que la desintegración es un fenómeno aleatorio. Según los núcleos, la radiactividad puede durar unos segundos, varios días o miles de millones de años. No obstante, para cada uno de estos es posible dar una semivida, la cual se halla bajo la siguiente expresión, obtenida de (Picquart et al., 2016: p.25):

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (2)$$

(2) es conocida como la vida media que indica el tiempo necesario para que la mitad de los átomos radiactivos presentes al principio desaparezcan por transformación espontánea.

Series radiactivas

En las desintegraciones es común observar que el átomo que se genera sigue siendo inestable, por lo que, en busca de su equilibrio, éste continúa transformándose en un nuevo producto hasta finalmente lograr estabilidad. Dichas trasmutaciones sucesivas generan las conocidas series radiactivas. Existen tres de éstas que emiten radiación de tipo ionizante: Uranio-238 (^{238}U), Uranio-235 (^{235}U) y Torio-232 (^{232}Th). En las siguientes ilustraciones se visualizan los isótopos que se generan tras la desintegración de cada uno de los padres antes mencionados.

La Ilustración 1-1 muestra la serie del ^{238}U . El isótopo de interés en esta cadena es el radón-222 (^{222}Rn) ya que al ser un gas radiactivo, se convierte en uno de los más nocivos para la salud.

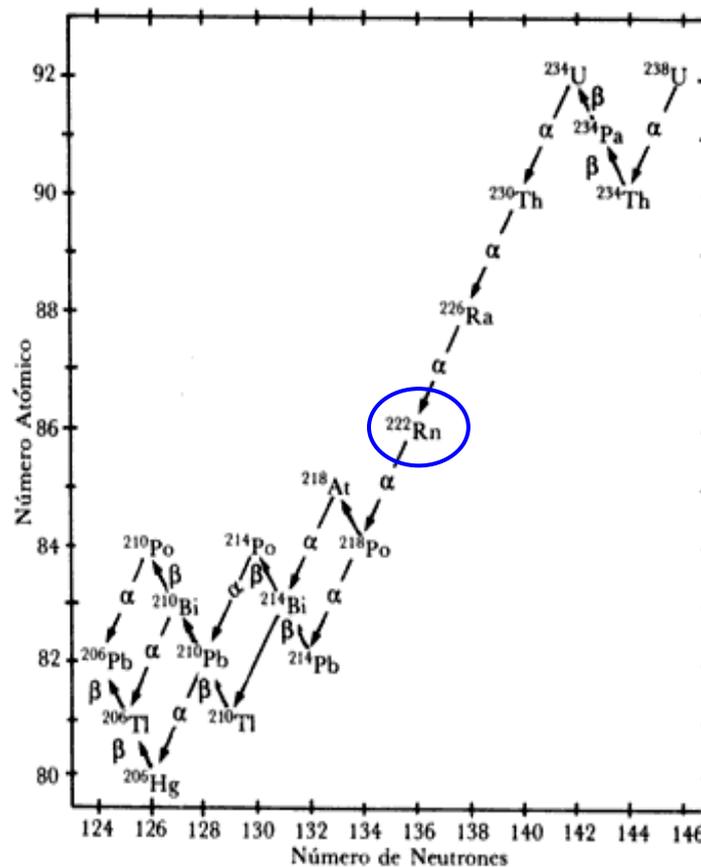


Ilustración 1-1: Cadena de desintegración del Uranio-238.

Fuente: (Villalba, 2003, pp.8-17).

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

En las Ilustraciones 2-1 y 3-1 se observa la trasmutación del ^{235}U y ^{232}Th , respectivamente. En cada una de estas series encontramos los isótopos radón-219 (^{219}Rn) y radón-220 (^{220}Rn) los cuales

al tener periodos de semidesintegración muy cortos (55,6 s y 3,92 s) tienen poca oportunidad de interactuar con el entorno, volviéndose indefensos para estudios e investigación (Villalba, 2003, pp.8-17).

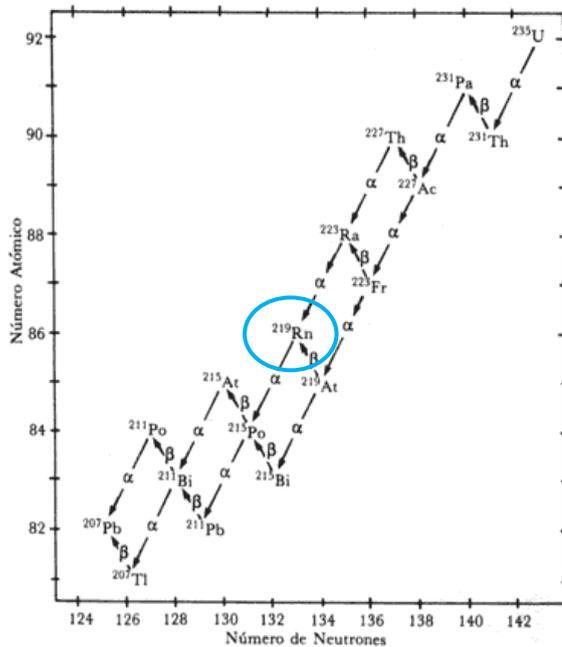


Ilustración 2-1: Cadena de desintegración del Uranio-235.

Fuente: (Villalba, 2003, pp.8-17).

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

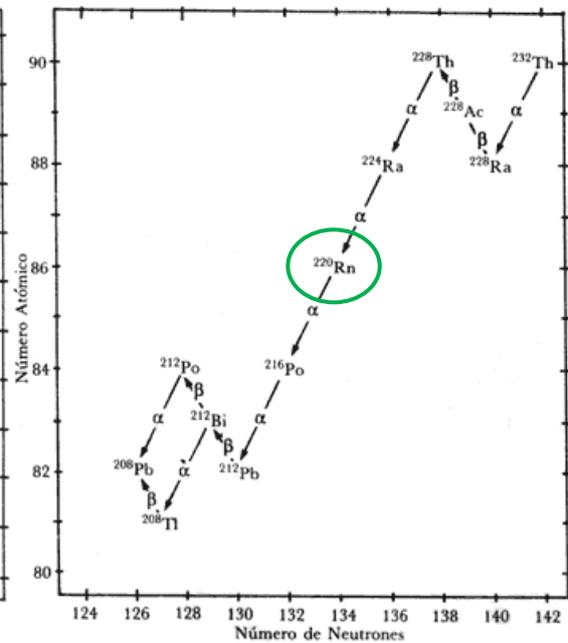


Ilustración 3-1: Cadena de desintegración del Thorio-232.

Fuente: (Villalba, 2003, pp.8-17).

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

1.2.1. Radiación Ionizante

En las cadenas radiactivas, si la energía cinética que se desprende en el proceso de transformación de un nuevo elemento es lo suficientemente alta como para ionizar las moléculas del medio material (arrancar electrones y dejar huecos), se dice que es una radiación de tipo ionizante. En caso contrario se habla del tipo no ionizante.

En este contexto, las radiaciones ionizantes según su naturaleza se clasifican en corpusculares y electromagnéticas. Dentro del primer tipo mencionado, los decaimientos que se observan son alfa, beta y neutrones térmicos, mientras que en las electromagnéticas, se dan lugar a las emisiones gamma y rayos X.

Radiaciones corpusculares

Alfa (α)

En el proceso de desintegración, se emite espontáneamente una partícula cargada positivamente conocida como alfa, que es idéntica al núcleo de helio 4: consta de dos protones y dos neutrones.

De acuerdo con la ley de Soddy, si un núcleo de número atómico Z emite una partícula α , éste se transforma en otro cuyo número atómico ha disminuido en dos unidades y el número másico en cuatro (Burcham, 2020, p.34). Es decir,



Este tipo de decaimiento ocurre en núcleos pesados como el uranio o plutonio, y acorde a sus características una hoja de papel es suficiente para detenerla. No obstante, si se ingiere un elemento en descomposición alfa (por inhalación), la partícula como tal puede causar daños considerables en el tejido circundante (Daub y Seese, 1996: pp.567-568).

Beta (β)

Si el átomo posee exceso de protones o neutrones en su núcleo, en el proceso de trasmutación se emitirán partículas beta de carácter positivo (ecuación 4) o negativo (ecuación 5); se tendrá beta positiva si es el caso de un exceso de protones emitiendo un positrón y un neutrino, y, será negativo si el átomo posee demasiados neutrones arrojando un electrón y un antineutrino a su paso de búsqueda de estabilidad.

Por la ley de Fajans, se entenderá entonces que cuando un átomo radiactivo emite una partícula β , el número atómico Z aumenta β^- o disminuye β^+ en una unidad, y el número másico A se mantiene constante, (Valenzuela, 1995, p.52).



Por sus características, materiales tales como aluminio o sus derivados serán los encargados de parar este tipo de partículas.

Neutrones

Es un tipo de transmutación que tiene lugar en el núcleo debido a un exceso de neutrones. La particularidad de este tipo de desintegración es su elevada penetrabilidad; en este caso, un obstáculo para su paso es una pared de hormigón o parafina.

Radiación electromagnética

Rayos gamma (γ)

Son fotones con alta energía de origen nuclear, cuyo poder de ionización es relativamente bajo, mientras que su capacidad de penetración es alta. Para detenerla se hace preciso utilizar barreras de materiales densos como el plomo y el hormigón.

En este decaimiento cuando un núcleo excitado emite radiación electromagnética γ , no varían ni el número másico (A) ni el número atómico (Z), solo pierde energía (Daub y Seese, 1996: pp.567-568).

Rayos x

Son el resultado del frenado o deflexión de electrones libres que atraviesan un campo eléctrico intenso. Presentan una capacidad de ionización y penetración similar a la radiación gamma que los hace útiles en varias aplicaciones, uno de ellos, la medicina.

1.2.2. Dosis Mundial

En el camino de estabilidad de un elemento radiactivo padre, los decaimientos que se generan en cada transmutación pueden llegar a ser nocivos. Ya sean radiaciones corpusculares y electromagnéticas, de carácter natural o artificial, de acuerdo con su poder de ionización y/o penetración se han convertido en una amenaza para el ser humano, a tal grado de causar lesiones leves o muy peligrosas en el sistema biológico.

Como es de conocimiento, el ser humano siempre ha convivido con las radiaciones. Sin embargo, el desconocimiento de su existencia a nublado por mucho tiempo las consecuencias de estar expuesto constantemente y a grandes escalas. No obstante, con el avance de la investigación, en la actualidad se cuenta con un registro estándar de contribución de las distintas fuentes de exposición de origen natural y artificial, a la dosis recibida por la población anualmente. (Ilustración 4-1)

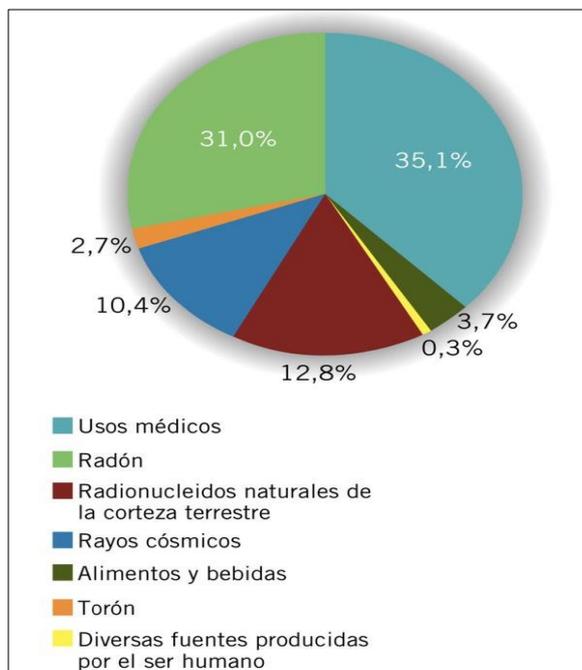


Ilustración 4-1: Contribución de las distintas fuentes de exposición, de origen natural y artificial, a la dosis recibida por la población.

Fuente: (Consejo de Seguridad Nuclear, 2010, p.4).

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

Por medio de la información recolectada de los informes del Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR, 2000, p.8) y (Mora, 1999, pp.16-23), se reconoce que la dosis media que recibe una persona es de $2,4 \text{ mSv/año}$. De esta, aproximadamente: $0,38 \text{ mSv/año}$ es causa de la radiación cósmica, $0,46 \text{ mSv/año}$ se debe a la radiación terrestre, $1,28 \text{ mSv/año}$ por la inhalación del radón-222 y descendientes, $0,27 \text{ mSv/año}$ proveniente de los isótopos incorporados en el organismo y $0,01 \text{ mSv/año}$ perteneciente al poso radiactivo de experimentos nucleares.

De estas líneas, se debe notar que la mayor contribución de dosis es por parte del radón-222 y es precisamente este elemento el que ha demostrado la importancia que puede tener la radiación natural para el hombre y la urgencia de estudiar sus efectos en los seres vivos.

1.2.3. Radón

De acuerdo con las series radiactivas antes mencionadas, se conoce que existen tres isótopos del gas radón: el ^{219}Rn (actinón) producido en la cadena de desintegración del ^{235}U con un período de vida media de 3,92 segundos; el ^{220}Rn (torón) descendiente de la serie del ^{232}Th con un lapso de

vida media de 55,6 segundos y el ^{222}Rn que se encuentra en la serie del ^{238}U y al que propiamente se lo denomina radón con un período de desintegración de 3,8 días (Martín, 2004, p.7).

Por medio de esta distinción, se define al ^{222}Rn como un gas noble, de origen natural, producto de la desintegración del radio 226 (^{226}Ra). Por naturaleza, al ser radiactivo, se transmuta en Polonio 218, Bismuto 214 y Plomo 214, elementos reconocidos como progenie, que a su vez en busca de estabilidad, decaen emitiendo partículas alfa. Este gas en conjunto con sus descendientes resulta ser amenaza cuando llegan a ser inhalados. Al entrar en contacto directo con el tejido pulmonar, debido a su alto poder de ionización, producen alteraciones en el ADN a tal magnitud que el organismo no es capaz de sobreponerse y las consecuencias resultan en cáncer de pulmón (Sánchez y López, 1957: p. 95).

Según la dosis de radiación que una persona natural recibe por año, el 31% es debido a este elemento. Resulta preocupante, debido a que en las cadenas, los productos anteriores al radón, al encontrarse en estado sólido no causan mayor relevancia desde su ubicación, siempre y cuando la población se encuentre a una distancia considerable, pero con el radón resulta ser un caso contrario, ya que, al ser un gas, tiene la facilidad de movilizarse por todo el aire circundante. Aunque suele diluirse muy rápido, si es atrapado en espacios cerrados, puede alcanzar altas concentraciones, que al ser inhaladas son capaces de afectar fuertemente los alveolos pulmonares. Estudios han demostrado que en cierto territorios, el ^{222}Rn es el segundo causante de muertes de cáncer de pulmón, después del tabaco (Garzón, 2009, pp.15-16).

Propiedades

Bajo su condición de gas radiactivo, las propiedades que lo vuelven aún más peculiar se enumeran a continuación:

Propiedades físicas

- Densidad en estado gaseoso (g/L): 9,73
- Punto de fusión (K): 202
- Punto de Ebullición (K): 211,4
- Calor específico (20°C J/g mol): 0,094
- Calor de evaporación (K J/mol): 1036,5

Propiedades químicas

- Peso atómico: 222.0176 uma
- Número atómico: 86

- Configuración electrónica: [Xe] 4f¹⁴5d¹⁰6s²6p⁶
- Energía de Ionización (KJ/mol): 1037
- Estado a 20°C: Gaseoso

1.2.4. Radón Indoor

Puesto que en el exterior el gas radón-222 se dispersa con facilidad, la urgencia surge cuando este logra filtrarse a espacios cerrados, convirtiéndose en radón indoor. En estos lugares, el aire contaminado por este elemento logrará acumularse de tal manera que cuando se realice un monitoreo especializado, la concentración final [RnC] expresada en unidades de Bequerel/Metro Cúbico puede llegar a ser muy alta.

Fuentes de exposición

Las principales fuentes que contribuyen a que las construcciones cerradas resulten ser guaridas de este gas son: el suelo, los propios materiales de construcción, el agua y el aire exterior.

Suelo

A nivel general, son los terrenos graníticos, y fosfatos ricos en uranio los que más contribuyen en las elevadas concentraciones de radón. El radón gaseoso procedente del terreno pasa al interior de las viviendas mediante un mecanismo de transporte conocido como difusión molecular que depende del factor temperatura, viscosidad y tamaño de la partícula; si la temperatura aumenta, el movimiento de las partículas también y por ende la colisión entre estas hace que, al estar aglomeradas, se difundan a zonas con menor concentración y aprovechando algunos daños propios en la construcción de las residencias como los poros, fisuras o grietas, las partículas de radón tomen estas vías como medio de escape hacia la superficie.

Materiales de construcción

Usualmente las construcciones están hechas a base de materiales compuestos por principales elementos radiactivos tales como ²²⁶Ra, ²³²Th y ⁴⁰K, quienes, al llegar sus periodos de semidesintegración aportan con un 20% en la concentración de radón en el interior de las construcciones. Los materiales que por lo regular liberan este gas radiactivo son ladrillos, arena, grava, yeso natural, cemento portland, y en niveles mínimos en España, la madera (Piedecausa et al., 2011: pp.34-50). Tras estudios se determinó que los materiales de construcción representan una cantidad portadora entre 10 Bq/m³ y 20 Bq/m³.

Aire exterior

En exteriores regularmente el contenido de radón es bajo. No obstante, el aire exterior actúa como un factor de disolución haciendo que el nivel contenido sea una fuente que aporta radón en el interior de la construcción. Además, ciertas condiciones meteorológicas, constituyen otros de los factores que influyen en la emanación del gas: en este caso la presión atmosférica. A partir de tal influencia, se ha llegado a determinar que los valores más altos de concentración se producen durante la noche con una porción de 10 Bq/m^3 en áreas continentales y aproximadamente $0,1 \text{ Bq/m}^3$ en zonas costeras y oceánicas.

Agua

Como características del gas, se conoce que este se adhiere fácilmente al agua y a varios líquidos, por lo que si se utiliza agua subterránea (que por naturaleza está bañada en uranio) para uso doméstico se puede suponer que ésta también aporta con cierto porcentaje en el aire interior. Especialmente se ha determinado que en los cuartos de baño con la fluencia de agua caliente, el proceso de liberación del gas se ve favorecido.

“En los sistemas públicos de abastecimiento de agua procedente de aguas superficiales, la concentración media de radón es menor a $0,4 \text{ Bq/l}$ y en las provenientes de fuentes subterráneas, la cantidad ronda los 20 Bq/l ” (Piedecausa et al., 2011: pp.34-50).

En la Ilustración 5-1 se puede apreciar un resumen de las principales fuentes de radón y las vías de entrada en el interior de las construcciones.



Ilustración 5-1: Fuentes de radón y rutas de entrada.

Fuente: (Piedecausa et al., 2011: pp.34-50).

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023)

Mecanismos de transporte de radón

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, al ser el suelo y los materiales de construcción una de las principales fuentes contribuyentes en la contaminación del aire interior de las construcciones, es necesario describir el proceso de transporte de este gas radiactivo. Dentro de las fases de transporte del radón encontramos: la emanación, la difusión/flujo convectivo y la exhalación.

Emanación/ exhalación

El proceso de emanación va encaminado a que una fracción de átomos de radón abandone el medio sólido y alcance los poros del suelo o del material. Una vez en los poros, el radón no reaccionará con ningún otro elemento y podrá desplazarse a través de ellos hasta alcanzar la superficie del suelo, a esa cantidad de gas que escapa al exterior le llamaremos exhalación.

Difusión

El proceso de difusión explica el movimiento del ^{222}Rn desde zonas en que su aglomeración es alta hacia zonas con una concentración mínima. El papel fundamental que juega en este tipo de desplazamientos es la longitud de onda de difusión, misma que indica la distancia típica a la que este radioisótopo puede recorrer en un determinado material antes de desintegrarse y quedando en evidencia que el gas creado a distancias superiores a la de difusión, no va a poder escapar al exterior.

Una de las leyes que gobierna este fenómeno es la conocida ley de Fick, la cual manifiesta que: la velocidad de difusión por unidad área, es decir el número de moléculas que atraviesa un área determinada por unidad de tiempo, depende del gradiente de la concentración y de un coeficiente propio de cada sistema llamado coeficiente de difusión (Ashby y Jones, 2012: p. 329):

$$\vec{J} = -D\vec{\nabla}C \quad (6)$$

Donde,

\vec{J} es la velocidad de difusión por unidad de área

$\vec{\nabla}C$ representa el gradiente de concentración

D es el coeficiente de difusión

De la ecuación (6), se entenderá que el signo negativo (-) indica que las partículas migrarán de un punto de mayor concentración a uno menor.

Desarrollando la ecuación propuesta de acuerdo con sus componentes, \vec{J} puede expresarse como:

$$\vec{J}_i = \frac{1}{A} \cdot \frac{dn_i}{dt} \quad (7)$$

De tal manera que A representará la magnitud del área por la que fluye las moléculas, n_i al número de moléculas que fluyen en la dirección i ésima.

Reemplazando (7) en (6), la ley de Fick resulta en:

$$\frac{dn_i}{dt} = -A \cdot D \cdot \frac{\partial C}{\partial x_i} \quad ; \quad i = 1, 2, 3 \quad (8)$$

Convección

Se explica por la diferencia de presiones existentes entre el gas del suelo y el interior de las casas, siendo esta última inferior en algunos pascales a la primera. Por dicha diferencia, el radón se ve arrastrado por movimientos convectivos de masas de gas del suelo a través de los poros y fisuras que existen, no sólo en las rocas, sino en la propia estructura de las casas logrando alcanzar de esta forma el interior de estas.

Efectos biológicos por inhalación de radón

Como se ha hecho mención, el ^{222}Rn particularmente tiende a concentrarse en espacios cerrados: edificios, viviendas, centros comerciales, etc., si una de estas áreas llega a estar habitada, las repercusiones por inhalación resultan ser alarmantes.

Cuando se inhala radón (emisor alfa), el riesgo potencial surge cuando penetra en el organismo y logra instalarse en las paredes de las vías respiratorias aumentando la probabilidad de aparición de cáncer de pulmón; no obstante, dentro del organismo como tal, los descendientes sólidos de vida corta, también emisores alfa, el ^{218}Po , ^{214}Pb y ^{214}Bi son los de más alto riesgo ya que logran adherirse a las superficies del tracto produciendo ionizaciones en la materia celular creando iones radicales libres o bien, rompiendo las moléculas (como la de ADN) por su enorme energía cinética, favoreciendo así la aparición de dicha enfermedad.

Generalmente se considera que la aparición del cáncer requiere al menos una mutación, y la proliferación de células intermedias que hayan sufrido cierto grado de daño en el ADN puede provocar un gran aumento en el número de células disponibles para la aparición del cáncer. Puesto que, una sola partícula alfa puede provocar daños genéticos significativos en una célula, la posibilidad de daños al ADN asociados al radón se da con cualquier nivel de exposición. (Zeeb et al., 2015: p.1).

Desde un punto de vista físico entenderemos que este proceso se desarrolla partiendo de la inhalación:

1. Al ser inhalado el gas es introducido en el tracto respiratorio, se produce una directa irradiación en el tejido a través de las partículas alfa.
2. Las partículas alfa al encontrarse dentro de los tejidos respiratorios – después de ser inhalado involuntariamente – comienzan a liberar energía y a desprender electrones debido a las interacciones eléctricas.
3. El átomo al quedar cargado positivamente y en inestabilidad (ionizado), llega a generar nuevas moléculas llamadas radicales libres en forma rápida.
4. Los radicales libres empiezan a reaccionar entre otras moléculas o con ellos mismos, originando cambios en las moléculas biológicas que influyen en el funcionamiento de las células, llegando a destruirlas o modificarlas, generando a su paso el cáncer en la zona o posibles degeneraciones de las funciones vitales en los organismos.
5. Finalmente, los electrones liberados en la primera etapa pueden llegar a ionizar a otros átomos repitiendo así el proceso antes descrito.

Por los cambios mencionado, se estima que el radón puede llegar a inducir un número de células modificadas, donde el organismo no es capaz de sobreponerse y, por ende, tiende a generar efectos irremediables para la salud (Aucapiña y Llanes, 2016: pp.30-33).

Métodos de medición

Las mediciones de radón en las viviendas son fáciles de llevar a cabo, pero deben pasarse por protocolos normalizados (de carácter nacional) para garantizar mediciones de calidad y reproducibles. De acuerdo con la zona de estudio y el tipo de muestreo a realizarse, en la Tabla 1-1 se indican las características de diferentes dispositivos de medición de gas radón.

Tabla 1-1: Dispositivos para la medición de radón

Tipo de detector (sigla)	Pasivo/Activo	Incertidumbre típica [%]	Periodo de muestreo típico	Costo
Detector de trazas para partículas alfa (DTPA)	Pasivo	10 – 25	1 – 12 meses	bajo
Detector de carbón activado (DCA)	Pasivo	10 – 30	2 – 7 días	bajo

Cámara Iónica de electreto (CIE)	Pasivo	8 – 15	5 días – 1 año	medio
Dispositivo de integración electrónico (DIE)	Activo	25	2 días – año (s)	Medio
Monitor continuo de radón (MCR)	Activo	10	1 hora – año (s)	alto

Fuente: (Zeeb et al., 2015: p.23).

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

1.2.5. Mapas radiológicos

Según la (Real Academia Española, 2006) un mapa es una “representación geográfica de una parte de la superficie terrestre, en la que se da información relativa a una ciencia determinada”. Por tanto, un mapa radiológico de radón corresponde a la representación espacio-temporal del lugar a estudiar en el que tanto la localización del sistema de detección como el nivel de concentración, se encontrarán establecidos por medio de dígitos/códigos o zonas de colores para su distinción.

1.2.5.1. Utilización de ArcGIS para mapeo

ArcGIS es un software de información geográfica que cuenta con una interfaz de gráfica de usuario proporcionando herramientas que permiten la visualización y el análisis de datos para ser remitidos ya sea en forma de tablas, gráficos o mapas. Esta herramienta computacional se basa en el uso de un sistema de información geográfica (SIG), lo que le permite tener acceso a la localización espacial, organizando en niveles de información para su posterior visualización en forma de mapas. Es así como SIG pone de manifiesto patrones y relaciones respecto de la zona geográfica que se está tratando para la toma de posibles decisiones o en efecto, dar a conocer un problema, pues varias de las funciones que prevé es el monitoreo de cambios, el gestionamiento y respuestas a emergencias, la realización de predicciones y el establecimiento de prioridades.

Este programa tiene la capacidad de brindar múltiples alternativas para la interpolación de las concentraciones de radón y así poder elaborar el mapa radiológico. El método que generalmente se utiliza para la interpolación es el de Ponderación de Distancia Inversa (IDW). Según (Johnston et al.2001: p.114) el método de interpolación IDW tiene la ventaja de ser menos complejo que otros y se caracteriza por dar mayor peso a los valores cercanos a un punto.

La base del funcionamiento, por tanto, constituye la realización de mapas a partir de datos espaciales de una base de datos con su respectivo análisis, explicando de forma gráfica las

variables a evaluar y observar de un área geográfica. De esta manera, se usa el requerimiento de diversas categorías o “capas”, que al superponerse cuando se ingresan los datos en el programa, logran alinearse de tal modo que terminen formando un mapa de datos completo con la información proporcionada.

Generalmente, las tres primeras “capas de información” que el sistema pone a disposición del usuario abarcan puntos (como puntos de referencia), líneas (carreteras o esquemas 1D), polígonos (información o datos 2D como censos geográficos) e imágenes aéreas. Es de esta manera como todos los datos proporcionados hacia el sistema se correlacionan dentro de alguna de las capas mencionadas logrando ser mapeados y analizados mediante el estudio de cambios demográficos o tablas.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Características de la investigación

El enfoque de la investigación es de tipo cuantitativo ya que se calcularon las concentraciones de ^{222}Rn presentes en las residencias de las parroquias rurales de la ciudad de Riobamba, siendo un trabajo no experimental dada la existencia de factores no manipulables que intervinieron de manera directa en las concentraciones del radioisótopo, mismos que se registraron en las encuestas practicadas a los residentes (Anexo A). De esta manera, la recolección de datos para el desarrollo de la investigación fue transversal, pues el sondeo en las viviendas se lo hizo una sola vez. Así mismo, el nivel de este proyecto fue exploratorio dado que se realizó en campos poco conocidos como la radiación ionizante por partículas alfa, seguida de la necesidad de delimitar las causas a su exposición en el ser humano por inhalación y de carácter explicativo porque se buscó focalizar los parámetros responsables de las altas concentración de este elemento radiactivo con sus posibles consecuencias en la salud.

2.2. Zona de estudio

La población objetivo que se consideró fueron todas las viviendas de la zona poblada pertenecientes a las parroquias rurales de la ciudad de Riobamba de la provincia de Chimborazo. Según el diseño experimental elaborado por el Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático GIDAC de la ESPOCH, cada parroquia fue dividida según el número de manzanas, que bajo un muestreo aleatorio simple quedaron seleccionadas como muestra un total de 121. A continuación, se describe el cálculo del tamaño de la muestra.

Para el monitoreo de las viviendas, el GIDAC utilizó un muestreo aleatorio simple con el 95% de confianza y un error de estimación muestral del 3% usando la ecuación (4.12) de (Scheaffer y William, 2007: p.53):

$$n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)D + \sigma^2} \quad (9)$$

Con

$$D = \frac{B}{4} \quad (10)$$

Donde,

N: población (número de manzanas en cada parroquia)

σ^2 : varianza poblacional

B: error de estimación

Bajo este análisis estadístico, a continuación, se presenta una descripción general de Riobamba y de las zonas rurales monitoreadas.

El cantón Riobamba se encuentra a 2754 *m. s. n. m.* en la región Sierra Central del Ecuador siendo la capital de la provincia de Chimborazo con una superficie de 979.70 *km*². Según el Censo de población y vivienda realizado en el año 2010, existe alrededor de 225 741 habitantes, de los cuales 106 840 y 118 901 corresponden a una población masculina y femenina, respectivamente. Dentro de su división política se encuentran once parroquias rurales: Cubijies, Quimiag, Licán, Calpi, San Luis, Punín, Flores, Licto, Pungalá, San Juan y Cacha. En este sector, se alberga un número creciente de pobladores indígenas y campesinos donde las familias se dedican principalmente a actividades primarias como la agricultura y la ganadería. Según el (GADM Riobamba, 2019, pp.25-31), las condiciones del entorno local han estructurado un sistema basado principalmente en la actividad comercial como eje articulador de la dinámica económica, con una alta dependencia de los ingresos que genera de un amplio sector dedicado a tales actividades.

Las parroquias rurales que fueron consideradas para el presente estudio se describen en adelante:

Cubijies

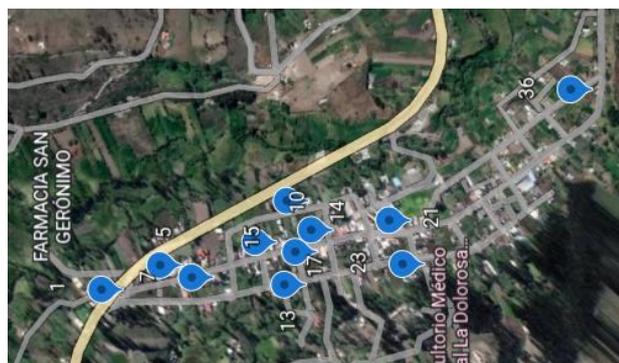


Ilustración 1-2: Mapa de Cubijies.

Fuente: Google Earth.

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

La Ilustración 1-2 muestra la zona poblada de la parroquia Cubijies, donde cada punto azul corresponde a una manzana en la que se ubica la casa monitoreada. En total, esta parroquia consta de 36 manzanas de las cuales se tomaron 11 de manera aleatoria. Este sector de estudio se encuentra ubicado a 2560 *msnm.*, la geología que comprende la zona es de tipo volcánico

cuaternario y actualmente el suministro de agua potable son las vertientes subterráneas Elegido y Tajamar.

Quimiag

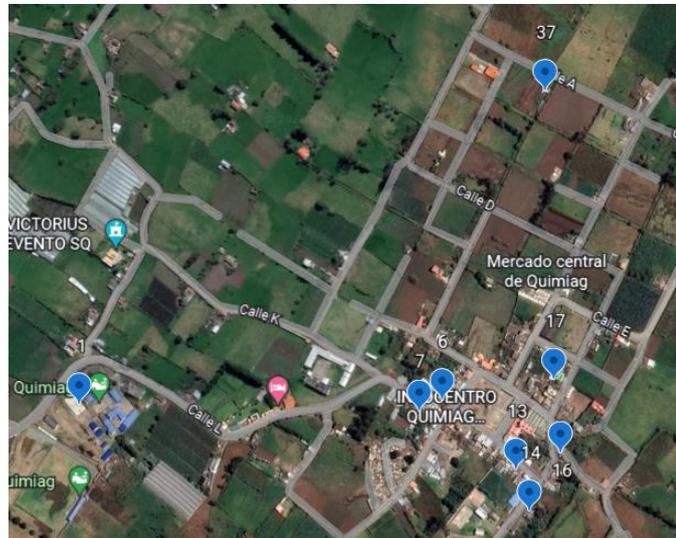


Ilustración 2-2: Mapa de Quimiag.

Fuente: Google Earth.

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

La Ilustración 2-2 exhibe la zona poblada de la parroquia de Quimiag, en la que se monitorearon 8 de 42 manzanas identificadas por los puntos azules que representan la ubicación de una vivienda por cada una de éstas, donde dos de ellas (1 y 37) están separadas por extensas áreas de cultivo. Edificada a 2730 *msnm.*, bajo un suelo volcánico cuaternario; este sector a la fecha cuenta con servicios de agua potable proveniente de la vertiente Toldo.

Licán

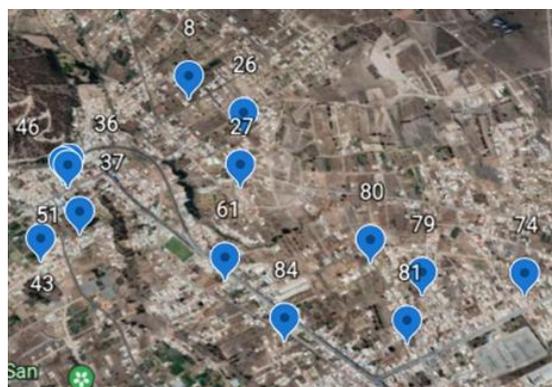


Ilustración 3-2: Mapa de Licán.

Fuente: Google Earth.

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

Licán, en su totalidad urbanizada, asentada sobre suelo volcánico cuaternario a 2984 *msnm.*, cuenta con una fuente de agua potable suministrada por las vertientes de San Juan y Gatazo; bajo la estadística, catorce de sus noventa y siete manzanas fueron consideradas. En la Ilustración 3-2 tomada de Google Earth se aprecia la distribución aleatoria de éstas, desde la 8 hasta la 84, representada por puntos azules que indican la vivienda perteneciente a cada manzana donde se colocó un detector.

Calpi

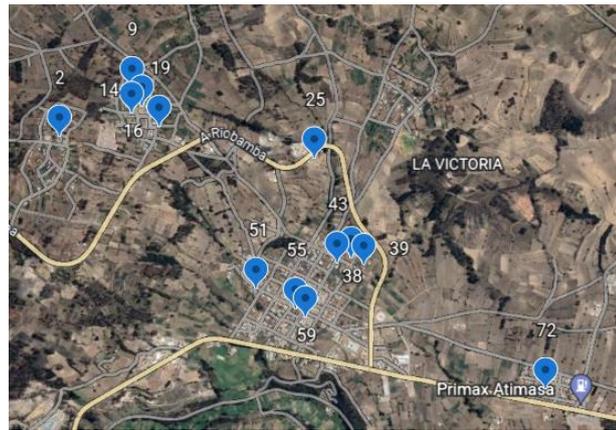


Ilustración 4-2: Mapa de Calpi.

Fuente: Google Earth.

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

Edificada bajo un suelo volcánico cuaternario y a 3100 *msnm.*, la parroquia Calpi cuenta con las vertientes de Quishuar, Shobolo y Pamba Liro como medio de líquido vital para sus habitantes. Como se detalla en la Ilustración 4-2, de sus setenta y dos manzanas, trece de ellas fueron consideradas para el monitoreo, desde la 2 hasta 72, aleatoriamente. Visualmente, los puntos azules permiten referenciar una residencia por manzana donde se colocó un detector.

San Luis

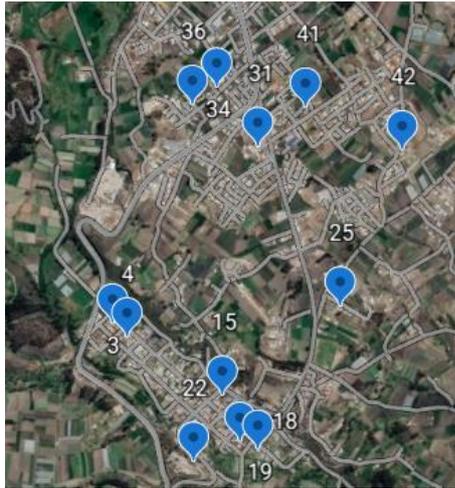


Ilustración 5-2: Mapa de San Luis.

Fuente: Google Earth.

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

A 2700 *msnm.*, montada bajo suelo de tipo volcánico cuaternario, la parroquia San Luis dispone de las vertientes de Santa Cruz, San Luis Chico, y Cerro de Yaruquíes como servicio de agua potable. Para esta área, el tamaño de la muestra indicó que doce de cuarenta y cinco manzanas fueron las consideraras para el estudio correspondiente. Como se muestra en la Ilustración 5-2 mediante puntos azules que indican la vivienda monitoreada por manzana con un detector correspondiente, la distribución va desde la 3 a la 42.

Punín



Ilustración 6-2: Mapa de Punín.

Fuente: Google Earth.

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

Caracterizada dentro de la formación geológica de tipo volcánico cuaternario, Punín se encuentra asentada a 2800 *msnm.*, y es actualmente alimentada por las fuentes de agua de las vertientes Shaguil, Agua Azul, Chulgunag y Bacún como suministro de agua potable. En esta parroquia se colocaron 12 detectores, uno por cada manzana como se indica en la Ilustración 6-2 mediante

puntos azules. El monitoreo se distribuyó aleatoriamente, tomando como muestra solo doce de sus 43 manzanas, desde la 3 hasta la 41.

Flores



Ilustración 7-2: Mapa de Flores.

Fuente: Google Earth.

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

Asentada sobre formaciones geológicas de tipo volcánico cuaternario, la parroquia Flores se encuentra ubicada a 2950 *msnm.*, y bajo últimos reportes, sus habitantes utilizan la vertiente de Guancantus como fuente de agua potable. Se colocaron siete detectores en las casas, uno por cada manzana, tal como se lo indica en la Ilustración 7-2 tomada de Google Earth mediante puntos azules. Se monitorearon siete de 13 manzanas.

Licto

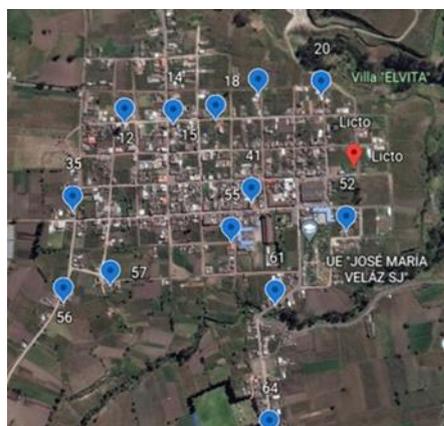


Ilustración 8-2: Mapa de Licto.

Fuente: Google Earth.

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

Ubicada a 2840 *msnm.*, cuaternaria, la parroquia vertientes de Guallanchy y

bajo una geología volcánica Licto cuenta con las Padre Uviano como fuente

de consumo humano. Para este sector de estudio, la Ilustración 8-2 muestra la zona poblada de la parroquia junto con las trece manzanas seleccionadas de un total de sesenta y cinco para el monitoreo, desde la 12 a la 64, que han sido representadas mediante puntos azules como las viviendas que se monitorearon, una por cada manzana, aleatoriamente.

Pungalá

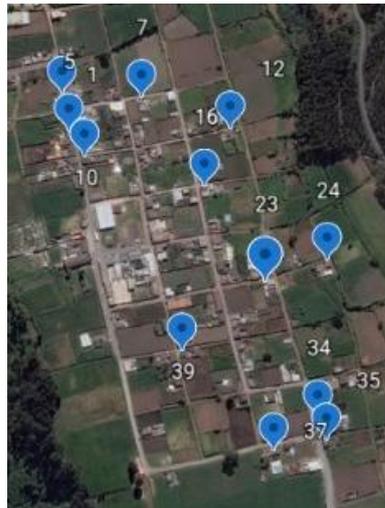


Ilustración 9-2: Mapa de Pungalá.

Fuente: Google Earth.

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

La parroquia Pungalá, ubicada a 2880 *msnm.*, y edificada bajo una geología repartida entre volcánica cuaternaria y Plutón, al presente cuenta con la vertiente Pisau la cual abastece de agua potable a la comunidad. En la Ilustración 9-2 tomada de Google Earth se indica las manzanas seleccionadas aleatoriamente de un total de 41 para el monitoreo, desde la 1 a la 39, sumando un total de 12. En cada punto azul, se visualiza la locación geográfica de una residencia por cada manzana donde se han colocado los detectores.

San Juan



Ilustración 10-2: Mapa de San Juan.

Fuente: Google Earth.

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

Localizada a 3240 *msnm.*, y construida bajo sedimentos glaciares, la parroquia San Juan actualmente aprovecha las vertientes de las Faldas de Chimborazo como fuente de suministro de agua para sus habitantes. Para el monitoreo se tomó la zona poblada de la parroquia, teniendo en cuenta únicamente una vivienda por manzana como se visualiza en la Ilustración 10-2 mediante pequeños puntos azules; esta parte se encuentra asentada en medio de extensas áreas verdes, en la que trece de cincuenta y cuatro manzanas fueron monitoreadas desde la 9 hasta la 47, aleatoriamente.

Cacha



Ilustración 11-2: Mapa de Cacha.

Fuente: Google Earth.

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

La Ilustración 11-2 presenta ocho manzanas monitoreadas de un total de catorce de la parroquia Cacha, desde la 1 a la 13, aleatoriamente. Se han indicado por puntos azules, una vivienda por cada manzana en la que se colocaron los ocho detectores correspondientes. Este sector de estudio se encuentra ubicado a 3240 *msnm.*, la geología que comprende la zona es de tipo volcánico

cuaternario y hasta la fecha cuenta con la vertiente de Guangapud como fuente de consumo para sus habitantes.

2.3. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

2.3.1. Método de determinación del fondo gamma ambiental



Ilustración 12-2: ATOMTEX y material para calibrar el equipo.

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

ATOMTEX (AT6102) es un espectrómetro calificado como un dispositivo portátil de identificación de radionúclidos cuyas funciones son la búsqueda, detección, localización e identificación de fuentes de radiación gamma y de neutrones. Este se encuentra equipado con un contador Geiger-Muller con filtro que alinea la dependencia energética de la sensibilidad del aparato para ampliar el rango de medición de la tasa de dosis (ATOMTEX [sin fecha], p.1).

Las particularidades que caracterizan al equipo son: detección de radiación gamma, neutrónica, alfa y beta, análisis de espectros en tiempo real e identificación de radionúclidos, acomodación automática al cambio de nivel de fondo de radiación, registro automático de datos escaneados con referenciación GPS, sistema automático digital de compensación de temperatura y estabilización de LED.

2.3.1.1. Protocolo de colocación del detector

Considerando que el espectrómetro emite de forma directa el valor de fondo gamma en unidades de microSievert/hora, el protocolo a seguir para determinar el nivel de estos rayos fue el siguiente:

- a) Se calibró el detector con el material radiactivo “cloruro de potasio halúrgico” (véase Ilustración 12-2), conservado una distancia de aproximadamente 20 cm entre ambos aparatos.
- b) Ejecutada la calibración, se configuró el detector de tal manera que éste resguarde la información automáticamente por cinco minutos.
- c) Antes de correr al equipo, el ATOMTEX se ubicó a una distancia de un metro sobre el suelo.
- d) Culminado el tiempo programado, se procedió a retirar el equipo, y con ayuda del software de Atomtex, se extrajo la información y se realizó promedios de fondo gamma durante los cinco minutos.

Este procedimiento se efectuó en cada parroquia.

2.3.2. Método de medición de radón indoor

2.3.2.1. Sistema de detección (E-PERM)

El E-PERM (electret passive environmental radon monitor) fabricado y comercializado por Rad Elec Inc., como se lo muestra en la Ilustración 13-2, está compuesto por una cámara hecha de plástico, un electret como fuente de campo electrostático y un lector de voltaje.



Ilustración 13-2: Sistema E-PERM.

Fuente: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

Un **electret** es un material dieléctrico (teflón) que ha sido cargado electrostáticamente y cumple la tarea de coleccionar iones de carga contraria. El material dieléctrico al estar cargado produce un campo electrostático constante e intenso que aún en condiciones de alta temperatura y humedad sigue siendo capaz de atraer a los electrones producidos por el gas radón. De acuerdo con el diseño, para este caso se usó electrets de tipo ST, con voltajes superiores a 250 voltios, por 7 días.

La **cámara de ionización S** que se empleó fue modelo estándar, hecha de material plástico eléctrico conductor y con un volumen de 210 ml. La cámara está compuesta por dos ranuras: en la abertura de la parte superior se tiene un pistón con resorte y un filtro de progenie, el primer punto actúa como sistema de encendido/apagado (al girarlo) y el segundo como obstaculizador de otras partículas que no sean radón; la segunda ranura en la parte inferior es un espacio donde se coloca el electret.

A la configuración cámara-electret de corta duración se le denominó SST E-PERM, misma que a medida que el radón se difunde en la cámara a través de la abertura libre (parte superior), las partículas alfa emitidas por la descomposición del radón provocan la ionización, generando cationes y aniones en el aire, cuando esto ocurre en el volumen fijo de la cámara conductora, los iones negativos son atraídos hacia la superficie del electret cargado positivamente, puesto que este al llevar una carga positiva cumple con su función de acumular iones negativos del aire, mientras que los iones positivos van a la pared de la cámara conductora y son neutralizados (ver Ilustración 14-2).

Con lo descrito en líneas anteriores se comprenderá que la configuración cámara- electret de corta duración (con lectura inicial de voltaje) empezará a recolectar información cuando el sistema esté en modo encendido. Según (Kotrappa, 2015, pp.1-42), los E-PERMs no se ven afectados a: variaciones de temperatura y humedad que se dan en el entorno normal, el campo eléctrico externo, corrientes de aire, iones generados por fuentes de iones externas o por la carga de polvo externa, por los campos magnéticos ni por fuentes de radiofrecuencia. Únicamente el rendimiento se ve afectado por la presencia de radiación X o gamma y por las elevaciones.

Por tanto, cuando el detector esté ubicado en el área de interés, el movimiento que se tendrá es que el aire interior del espacio a analizarse debe acoplarse con el sistema de detección. En el caso de existir radón en el aire, éste se desplazará por difusión hacia el interior de la cámara hasta que la concentración de radón sea igual a la que existe en el lugar donde se esté realizando el sondeo. En este punto, se debe destacar que la cámara está diseñada de tal manera que el aire que ingresa es radón ya que los filtros ubicados en la entrada de la cámara serán los encargados de reconocer al gas como tal y no permitir el paso de partículas circundantes (descendientes).

Ahora, una vez el acoplamiento detector – área de sondeo – aire dentro de la cámara, la radiación emitida por la descomposición del radón y la progenie en forma de partículas alfa provocarán la ionización en el aire, creando iones positivos (cationes) y negativos (aniones); por la naturaleza conductora de la cámara, los cationes se dirigirán a sus paredes y se disiparán, mientras que el campo electrostático del electret permitirá la recolección de los aniones neutralizando su carga positiva, dando como resultado una disminución de su tensión haciendo posible que, por medio

de un factor de conversión la caída de voltaje del electret exprese una medida de concentración de aire por radón en unidades de Bq/m^3 .

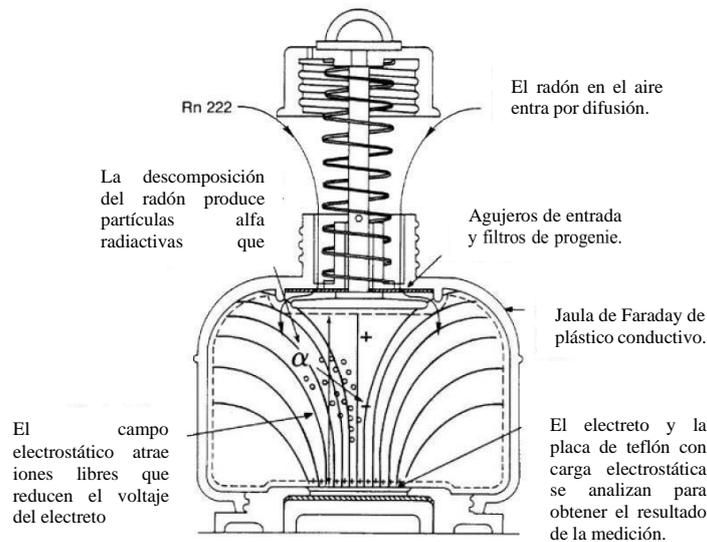


Ilustración 14-2: Funcionamiento del sistema E-PERM.

Fuente: (Rad Elec Inc., [sin fecha], p.9).

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

Y por último, el **lector de voltaje** es un dispositivo diseñado para obtener la lectura del potencial de superficie del electret acompañado de una sensibilidad de ± 1 voltio (V). Este componente del sistema de detección E-PERM consta de un estuche “porta- voltímetro” donde se guarda el equipo, dos electrets de corta duración y un electret especial para encerar (poner en cero) el dispositivo antes de cada lectura. El voltímetro consta de una pantalla, un plato para colocar el electret, una manija del obturador y se alimenta con baterías de 9 voltios; comúnmente mantiene la lectura hasta 4 minutos y consta de un apagado automático (Rad Elec Inc., [sin fecha], p.14).

2.3.2.2. Protocolo de colocación del sistema SST

El protocolo que se menciona a continuación constituye: los pasos necesarios para medir la concentración de radón con el sistema E-PERM bajo las directrices de (Kotrappa y Dempsey, 1991: pp.1-35), y las pautas en referencia a los criterios para la selección de la ubicación de estos bajo la (EPA 402-R-93-003, 1993, pp.1-44).

- Antes

1. Limpiar la cámara S y mantenerla cerrada con el sistema pistón-resorte sin girar hacia la derecha.

2. Medir el voltaje inicial de los electrets short term usando el lector de voltaje de la Rad Elec Inc. Se debe tener en cuenta que aquellos cuyos voltajes sean menores que 200 V deben ser cambiados puesto que es probable que el voltaje decaiga por debajo de dicho valor y no es consistente para recolectar los iones de manera eficiente.
3. Para utilizar el lector de voltaje primero se debe encerrar haciendo uso del electret de color rojo “zero”, luego posicionar el electret correspondiente realizando por lo menos cinco mediciones del voltaje hasta tener un valor que se repita.
4. Después de medir el voltaje inicial, se enrosca el electret en la parte inferior de la cámara. No se debe manipular los electrets tocando la superficie con las manos o apoyándolo directamente sobre otros objetos ya que provocarían su inestabilidad y un error en la lectura del voltaje inicial (ya que son muy sensibles).
5. Guardar el sistema de detección en fundas sellables “ziploc” procurando eliminar todo el aire en su interior a manera de “vacío”.
6. Transportar el detector teniendo cuidado de no ser golpeado, sacado de la funda ni abierto antes de su colocación.

- Durante

El detector debe colocarse siguiendo las siguientes consideraciones

- a) Los sistemas “SST” E-PERM deben colocarse a 1.5 metros del suelo y techo, 1 metro de puertas y ventanas y a 10 centímetros de otros objetos.
- b) Deben situarse en el piso más bajo de las viviendas procurando sean lugares que pasen la mayor parte del tiempo habitados, se recomiendan habitaciones, salas de estar, estudios, bibliotecas, etc.
- c) No deben posicionarse en lugares altamente ventilados ni con cercanía a fuentes de calor (cocinas, calefactores, incidencia directa de luz solar, etc.).
- d) No colocar sobre materiales que emanan radón, como granito, por ejemplo.
- e) No colocar en lugares donde exista el riesgo de manipulación por parte de los habitantes de las casas (como niños).
- f) El sistema no debe ser desplazado ni manipulado del lugar adecuado para llevar a cabo la medida durante el tiempo de exposición respectivo.
- g) Sacar el detector, encender el sistema y colocarlo según los puntos a-e.

En este punto es preciso llenar la ficha del Anexo A referente a la información sobre el lugar de medida.

Se recomienda socializar a los dueños de las viviendas los parámetros mencionados para una correcta medición.

- Después

Una vez transcurrido el tiempo de exposición del detector se debe cerrar la cámara sin retirar el electret, trasladarlo con el mismo cuidado del punto denominado “antes” y medir la caída del voltaje final bajo los mismos parámetros expuestos anteriormente. Finalmente, tapar el electret adecuadamente y guardarlo según corresponda para una próxima medición.

2.3.2.3. Cálculo de la concentración

Para determinar la concentración de radón indoor se usó la ecuación (1) de (Kotrappa et al., 1990: pp.462-463). Un hecho importante que se debe tener en cuenta para este cálculo es que los detectores, al haber sido ubicados a una altitud distinta del nivel del mar, hacen que los resultados necesiten una corrección. Por tanto, la ecuación mencionada, se multiplica por un factor de corrección para la altura. Para esto se utiliza la fórmula (2) de (Kotrappa y Stieff, 1992: pp.82-86):

$$C = 0.77 + 6.30 \times \frac{H}{30,480} \quad (11)$$

En la que H corresponde a la elevación de cada parroquia en *m*.

De esta manera, la ecuación para la concentración de radón será:

$$RnC = \left(\frac{(V_i - V_f)}{(T) (CF)} - BG \right) \times C \quad (12)$$

Donde:

RnC : corresponde a la concentración de radón en unidades de *Bq/m³*

T : es el tiempo de exposición medido en días

C : factor de corrección por elevación

V_i y *V_f* : son los voltajes iniciales y finales respectivamente en unidades de voltios

CF : es un factor de calibración de las cámaras en unidades de *V por Bq/m³ d*. Al tratarse de electrets short term (ST), según (Kotrappa et al., 1990: pp.461-467), dicho valor se calcula como:

$$CF(ST) = 0.04241 + 0.0000338 \times \frac{(V_i + V_f)}{2} \quad (13)$$

BG: corresponde a la concentración de radón equivalente a la radiación natural de fondo gamma

$$BG = \text{fondo gamma } \mu\text{Gy/h} \times \frac{32 \text{ Bq/m}^3}{0.1 \mu\text{Gy/h}} \quad (14)$$

Donde *fondo gamma* corresponde al promedio calculado de cien datos recolectados del fondo gamma medido en cada una de las parroquias con el equipo AT6102. Esto se calculó ya que el sistema de detección es sensible a este factor tal como se indicó en el apartado 2.3.2.1 y que a su vez depende de la altura.

2.3.3. Método de elaboración de mapas radiológicos

2.3.3.1. Procedimiento de elaboración

Una vez obtenida las concentraciones de gas radón en cada una de las parroquias, se procedió a plasmar esta información en un mapa radiológico haciendo uso del software ArcGIS. Para la presentación de las concentraciones, se elaboró un mapa por parroquia y uno general, el procedimiento que se llevó a cabo para obtener el producto final se presenta a continuación:

- Se trabajó con el sistema de coordenadas UTM para referenciar los puntos de monitoreo en Riobamba.
- Para comprobar la exactitud posicional de las imágenes satelitales sobre las cartas topográficas del cantón Riobamba, se usaron 40 puntos de control, con una tolerancia de 16m correspondiente a la escala 1:50000. Las imágenes satelitales usadas corresponden al Catálogo de Cartas 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar del Ecuador.
- Con el programa se utilizó el paquete de capas, dentro del panel “contenido” se usó la capa “Paris Street” que permite visualizar los datos de las carreteras reflejándose mediante las manzanas de cada parroquia.
- Mediante la “lista por origen de datos” perteneciente a la herramienta anterior, se aseguró que todas las capas proceden de la misma geodatabase.
- En la ventana “mapas” se agregaron los datos referentes a las concentraciones de ²²²Rn que se obtuvieron a través de los cálculos de la ecuación (12) para los 121 puntos de estudio con su respectiva localización en UTM.
- Finalmente se añadieron los elementos cartográficos como la orientación del norte, la escala gráfica y numérica, leyenda, membrete y los respectivos títulos.

2.3.4. Técnicas de recolección de datos

La técnica que se utilizó en la investigación consistió en un monitoreo pasivo en interiores que englobó un registro de información general del lugar de medición por medio de entrevistas a los residentes, y mediciones en el sitio con los sistemas de detección SST-EPERM y ATOMTEX.

2.3.5. Instrumentos de recolección de datos

2.3.5.1. Entrevistas

El primer instrumento de recolección de datos consistió en entrevistas con preguntas directas a los residentes. La información se registró en una ficha técnica la cual se distribuyó en cuatro ítems; por motivo de la investigación en este apartado se señalan únicamente los principales datos utilizados para el análisis de resultados. Si se desea conocer el registro completo, revisar el Anexo A:

1. Lugar de medición

Código Electret.

Parroquia/barrio/cantón/provincia.

Fecha inicial/final de medida.

Voltaje inicial/final.

Hora de colación/retiro.

Coordenadas geográficas: latitud/longitud

2. Datos de vivienda

Tipo de espacio dónde se efectuará la medición.

Piso sobre la cual se efectuará el sondeo.

3. Características de la construcción

Año de construcción.

Tipo de terreno sobre el cual está la edificación.

Materiales de construcción.

Presencia de humedad, grietas o fisuras en las paredes.

4. Datos globales útiles

Área geológica de la edificación.

Materiales adicionales presentes en la construcción.

Fuente de agua

CAPÍTULO III

3. MARCO DE INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

3.1.1. Características de las viviendas monitoreadas en la zona rural de Riobamba

En este apartado se presentan los resultados cualitativos de la entrevista realizada a los residentes de las viviendas monitoreadas (Anexo A). Se obtuvo dos tipos de información, la primera relacionada con los materiales de construcción utilizados en paredes, techo y piso que se muestra en la Tabla 1-3, y la segunda sobre la antigüedad de la edificación y fisuras/grietas, proyectadas en la Tabla 2-3.

Tabla 1-3: Porcentaje de materiales de construcción en paredes, techo y piso de las viviendas de las parroquias rurales de Riobamba

Parroquia	PAREDES				TECHO		PISO			
	Ladrillo	Tufo Volcánico	Bloque	Hormigón	Hormigón	Teja	Piedra Natural	Hormigón	Madera	Baldosa
Cubijfes	91	-	9	100	100	-	100	100	-	-
Quimiag	100	-	-	100	100	-	100	87	13	-
Licán	93	-	7	100	100	-	100	50	-	50
Calpi	92	8	-	100	100	-	100	100	-	-
San Luis	100	-	-	100	100	-	100	100	-	-
Punín	92	-	-	100	92	8	100	67	25	8
Flores	86	-	14	100	100	-	100	100	-	-
Licto	85	-	15	100	100	-	100	100	-	-
Pungalá	92	-	8	100	100	-	100	83	-	17
San Juan	100	-	-	100	100	-	100	69	-	31
Cacha	100	-	-	100	100	-	100	100	-	-

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

De la tabla anterior, la información más relevante se visualiza en las siguientes parroquias: en Licto por ejemplo, el 85% de las paredes se construyeron con ladrillo, mientras que el 15% son de bloque, con un revestimiento 100% de hormigón. En el caso de techos, en Punín el 92% de las edificaciones están hechas de hormigón y un 8% de teja y para los pisos, se encontró que el 100% de las casas tienen un cimiento de piedra, el 67% contrapisos de hormigón, el 25% un acabado de baldosa y un 8% de madera.

Tabla 2-3: Porcentaje de antigüedad y presencia de grietas/fisuras en las viviendas de las parroquias rurales de Riobamba

Parroquia	Características (%)	Antigüedad					Grietas/Fisuras
		[1-20]	[20-40]	[40-60]	[60-80]	[80-100]	
Cubijfes	55	27	9	9	-	55	
Quimiag	88	13	-	-	-	25	
Licán	71	21	7	-	-	50	
Calpi	62	38	-	-	-	62	
San Luis	50	25	25	-	-	33	
Punín	58	17	8	17	-	33	
Flores	86	-	-	14	-	14	
Licto	23	8	46	15	8	77	
Pungalá	17	42	17	25	-	17	
San Juan	69	8	15	-	8	31	
Cacha	25	63	13	-	-	0	

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

En esta tabla se indica que la antigüedad de las viviendas de las parroquias oscila en el rango de 1 a 100 años. En Licto y San Juan se tiene que el 8% son las más antiguas con un tiempo de edificación entre 80 y 100 años. En grietas y fisuras se visualiza que el 77% de las paredes de las casas en Licto presentan estas fallas, mientras que en las de Cacha no hay presencia de estas.

3.1.2. *Mapa general de las concentraciones de radón-222 de las parroquias rurales de Riobamba*

En la Tabla 3-3 se indican los promedios de la concentración de ^{222}Rn de cada una de las parroquias rurales de Riobamba y el promedio general calculado como una media de medias, con sus respectivas desviaciones estándar. Además, dicha información se presenta en un mapa general de la zona rural monitoreada, siendo el primer referente local de estudio de radón en interiores.

Tabla 3-3: Concentración promedio de radón-222 en las parroquias rurales de Riobamba

Parroquia	Promedio de la concentración de radón-222 [Bq/m ³]	Desviación estándar	Promedio de la concentración radón-222 en Riobamba [Bq/m ³]
Cubijfes	31,20	10,82	34,65 ± 4,84
Quimiag	37,36	16,33	
Licán	37,33	12,18	

Calpi	29,37	13,98
San Luis	38,13	16,96
Punín	42,89	12,06
Flores	33,62	5,10
Licto	38,19	18,19
Pungalá	35,30	12,49
San Juan	32,03	5,51
Cacha	25,76	6,96

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023)

La Ilustración 1-3 presenta los resultados de la Tabla 3-3 junto con sus respectivas barras de error asociadas a la desviación estándar. De acuerdo con la leyenda, el promedio global de concentraciones de ^{222}Rn en las parroquias rurales de la ciudad de Riobamba refleja $34,65 \text{ Bq/m}^3$. En consideración a la media general, se halla que Cacha es la parroquia con menos contaminación con un valor de $25,76 \text{ Bq/m}^3$ y Punín es el referente máximo con una concentración de $42,89 \text{ Bq/m}^3$. Además, queda en evidencia que las concentraciones de cada una de las parroquias guardan compatibilidad entre sí.

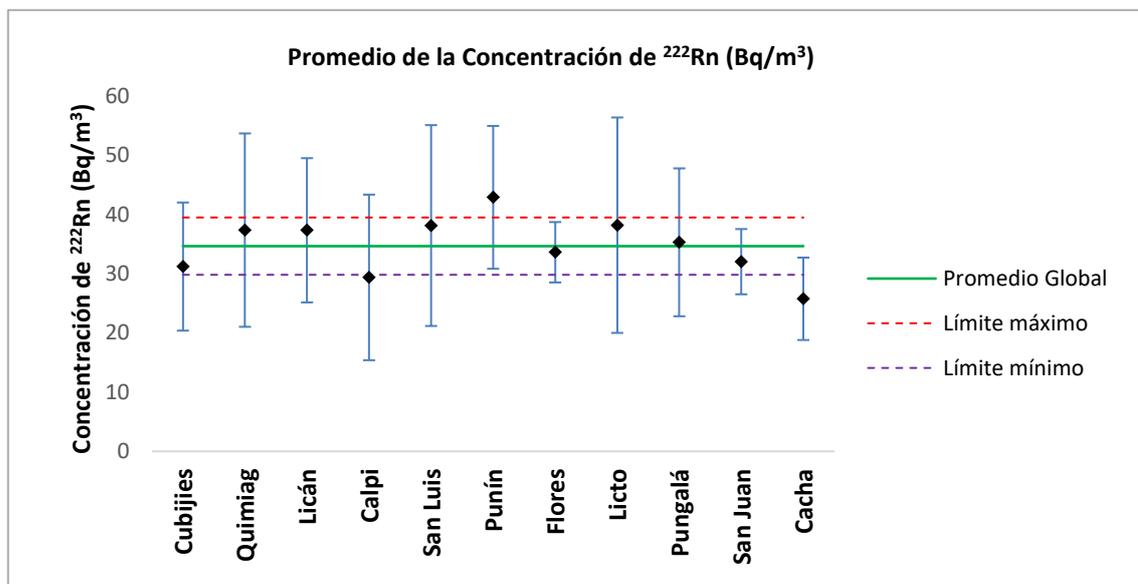


Ilustración 3-3: Promedio de la concentración de radón-222 en la zona rural de Riobamba.

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

La Ilustración 2-3 detalla las concentraciones de la Tabla 3-3 junto con un mapa radiológico de las parroquias rurales de Riobamba, en el que las viviendas de estudio se especifican por pequeñas conglomeraciones de puntos. A cada parroquia se le asignó un número que guarda correlación con la información ubicada en la esquina inferior a la izquierda del mapa.

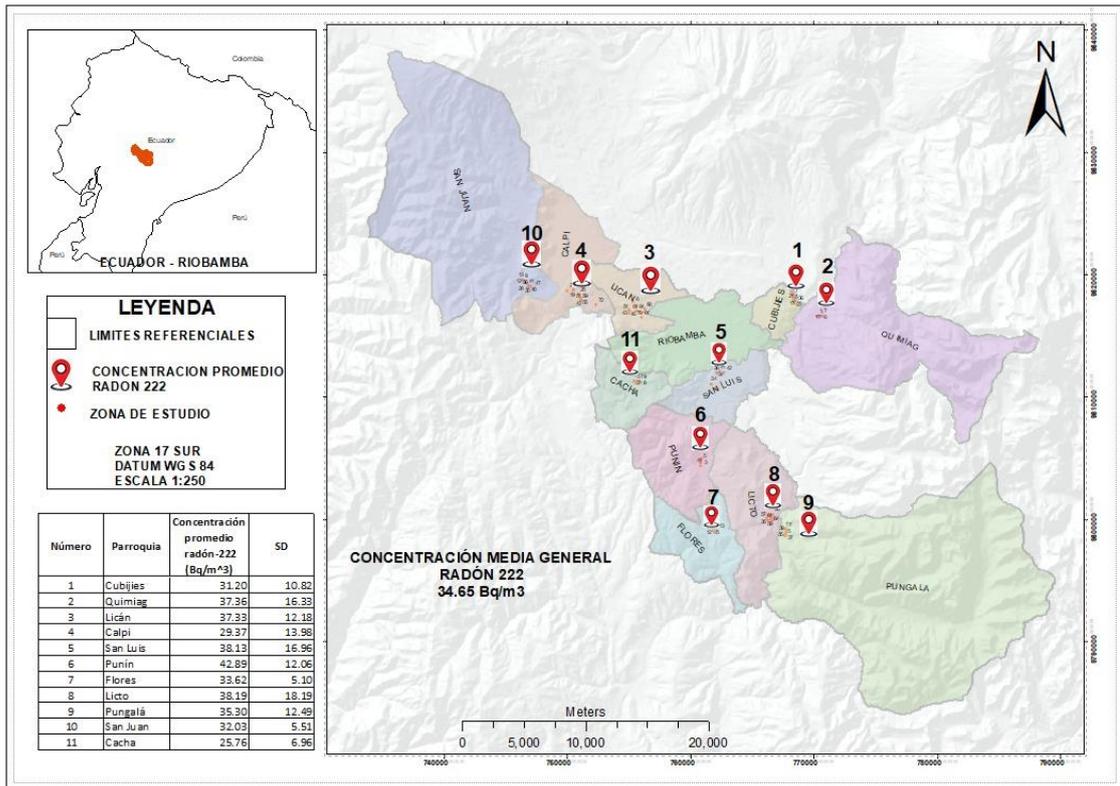


Ilustración 2-3: Mapa general de las concentraciones de radón-222 de las parroquias rurales de Riobamba.

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

3.1.3. Mapas parroquiales de la concentración de radón-222 de la zona rural de Riobamba

Los siguientes mapas representan geográficamente las concentraciones de ²²²Rn según las zonas de estudio correspondientes a las viviendas que se monitorearon en cada una de las parroquias. Se puntualiza la ubicación de Chimborazo en un mapa de Ecuador, el límite territorial de cada parroquia y dentro de éstas, las zonas de estudio con sus respectivas concentraciones en unidades de Bq/m³.

- Cubijés

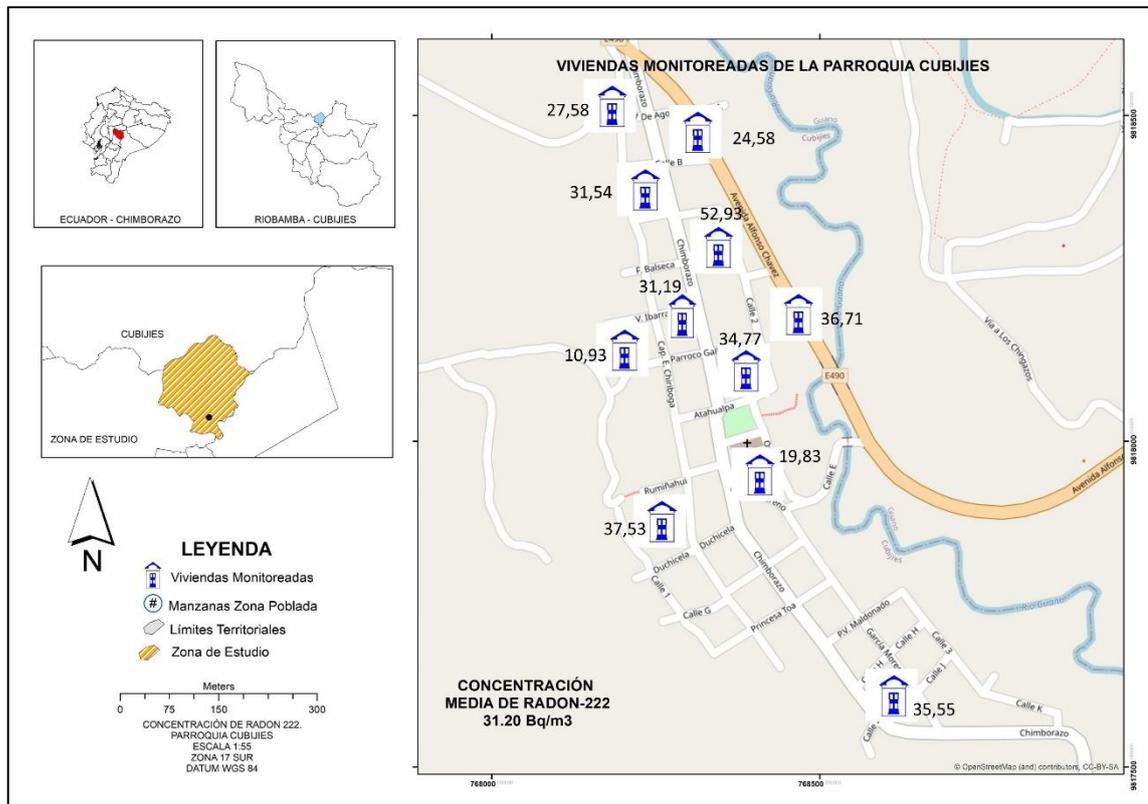


Ilustración 3-3: Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Cubijés. **Realizado por:** (Guaño y Rivadeneira, 2023).

Como se observa en el mapa de Cubijés, las concentraciones de ^{222}Rn calculadas con la ecuación (12) del apartado 2.3.2.3 se encuentran en un rango de $10,93 \text{ Bq/m}^3$ hasta $52,93 \text{ Bq/m}^3$, perteneciente a las manzanas 13 y 10 respectivamente y con un promedio general de toda la zona monitoreada de $31,20 \text{ Bq/m}^3$. Los coeficientes de calibración del sistema SST-EPERM están en el intervalo de $0,051$ y $0,061 \text{ V/Bq m}^{-3}\text{d}$. El promedio del fondo gamma medido con el ATOMTEX descrito dentro de los métodos, técnicas e instrumentos que se utilizaron en la presente investigación, fue de $0,07232 \mu\text{Sv/h}$.

- Quimiag

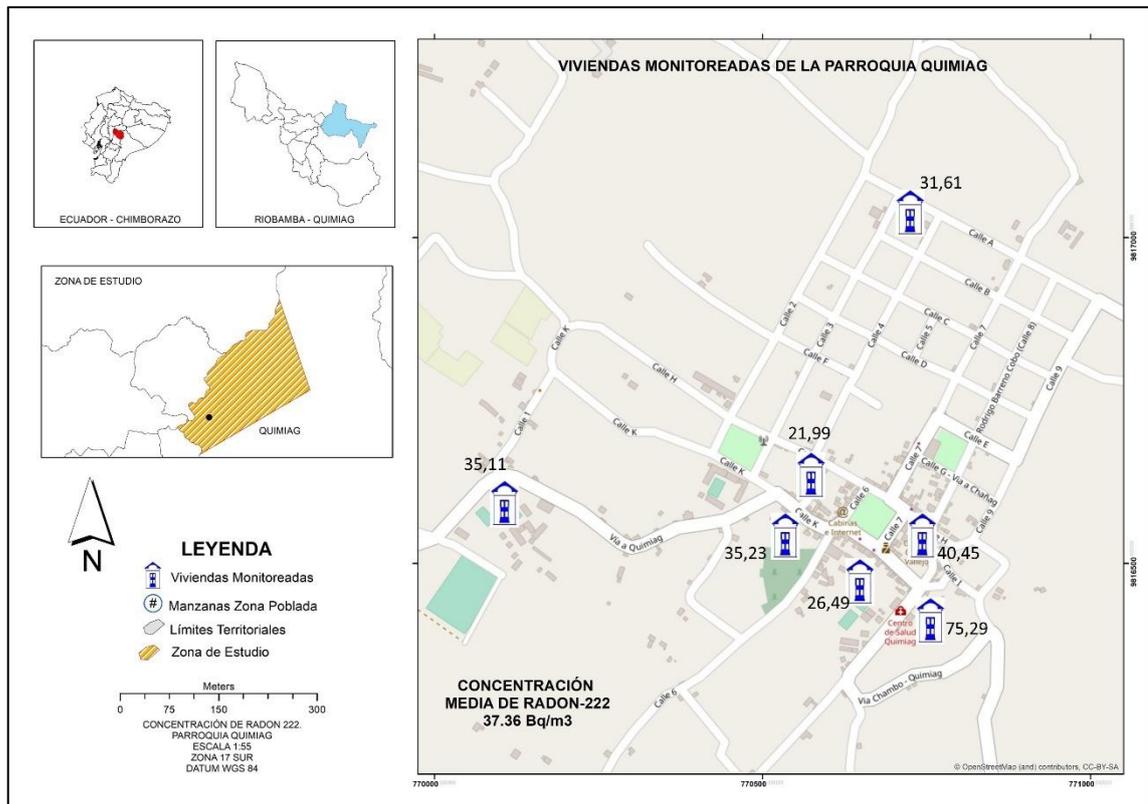


Ilustración 4-3: Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Quimiag. **Realizado por:** (Guaño y Rivadeneira, 2023).

Para el cálculo de la concentración, los factores de calibración del sistema de detección resultaron entre $0,051$ y $0,060 V/Bq m^{-3}d$. Para Quimiag se encontró que el valor más de alto de la concentración de ^{222}Rn es de $75,29 Bq/m^3$ que corresponde a la manzana 14 y el más bajo de $21,99 Bq/m^3$ en la manzana 6, con un promedio total medido de $37,36 Bq/m^3$. En esta parroquia se midió un fondo gamma medio ambiental de $0,04598 \mu\text{Sv}/h$ con el sistema de detección descrito en la sección 2.3.1.

- Licán

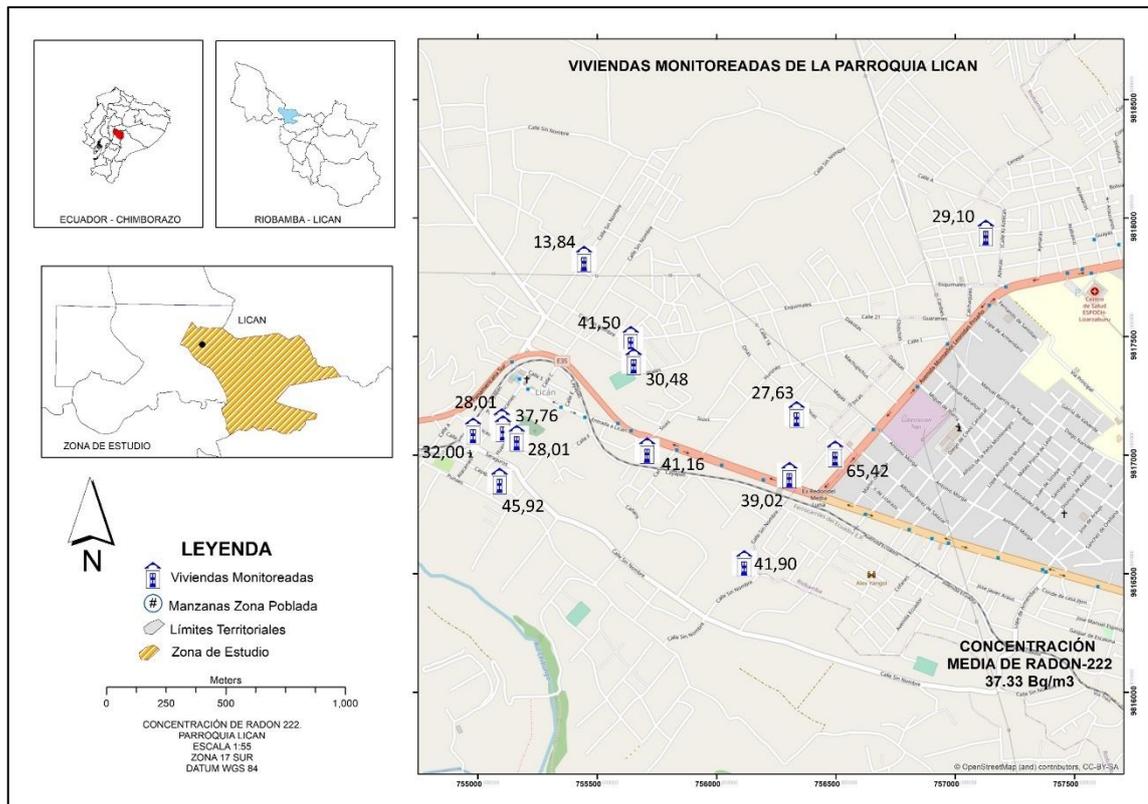


Ilustración 5-3: Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Licán. **Realizado por:** (Guaño y Rivadeneira, 2023).

En Licán, el promedio general de contaminación del aire interior ^{222}Rn es de $37,33 \text{ Bq/m}^3$. Se halló que el mínimo de concentraciones corresponde a la manzana 13 con un valor de $13,84 \text{ Bq/m}^3$ y un máximo de $65,42 \text{ Bq/m}^3$ en la manzana 81. El promedio de fondo gamma ambiental medido fue de $0,05822 \mu\text{Sv/h}$ y los factores de calibraciones del sistema de detección para el cálculo de concentración oscilaron entre $0,050$ y $0,060 \text{ V/Bq m}^{-3}\text{d}$.

- Calpi

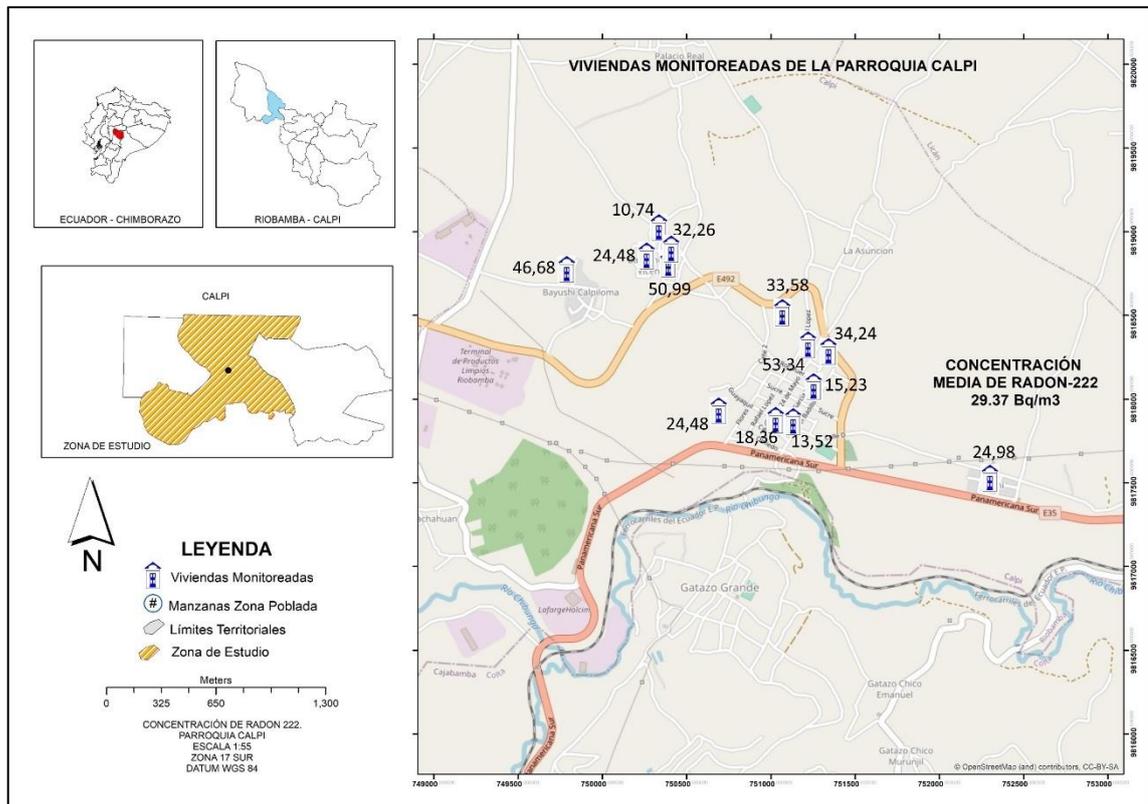


Ilustración 6-3: Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Calpi. **Realizado por:** (Guaño y Rivadeneira, 2023).

El mapa de la parroquia Calpi nos permite visualizar que el máximo de concentración de ^{222}Rn se encontró en la manzana 38 con un valor de $53,34 \text{ Bq/m}^3$, mientras que el mínimo corresponde a la manzana 9 con $10,74 \text{ Bq/m}^3$, dando un promedio de toda la zona monitoreada de $29,37 \text{ Bq/m}^3$. Los factores de calibración del sistema SST-EPERM calculados oscilaron en el intervalo que va desde 0,050 hasta $0,059 \text{ V/Bq m}^{-3}\text{d}$. En este sector, el promedio de fondo gamma usado para la determinación de la concentración fue de $0,06974 \mu\text{Sv/h}$.

- San Luis

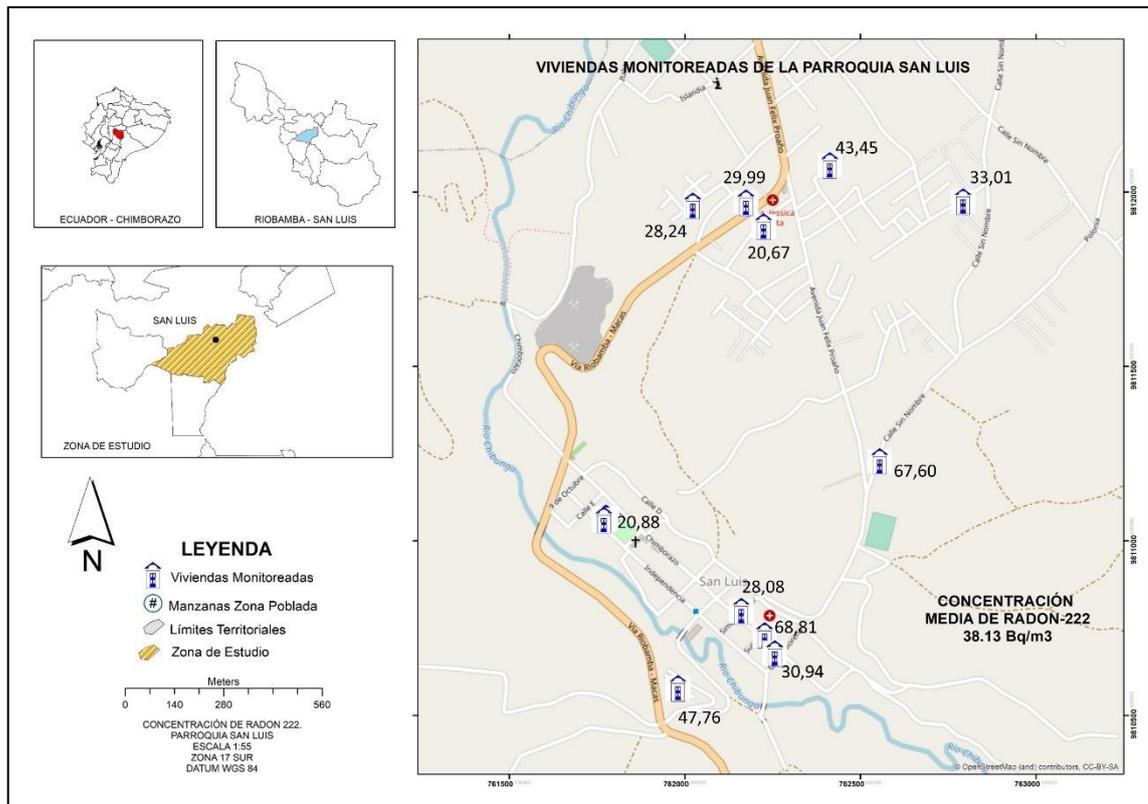


Ilustración 7-3: Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia San Luis. **Realizado por:** (Guaño y Rivadeneira, 2023).

En la parroquia San Luis las concentraciones de ^{222}Rn obtenidas mediante la ecuación (12) del apartado 2.3.2.3 oscilan entre 20,67 y 68,81 Bq/m^3 , valores pertenecientes a las manzanas 31 y 18 respectivamente. El promedio total de todas las viviendas es de 38,13 Bq/m^3 . A su vez, los coeficientes de calibración del sistema utilizado para el monitoreo oscilaron en un rango de 0,050 – 0,066 $\text{V}/\text{Bq m}^{-3}\text{d}$ y el promedio del fondo gamma ambiental medido usando el espectrómetro ATOMTEX descrito en la sección 2.3.1 fue de 0,07665 $\mu\text{Sv}/\text{h}$.

- Punín

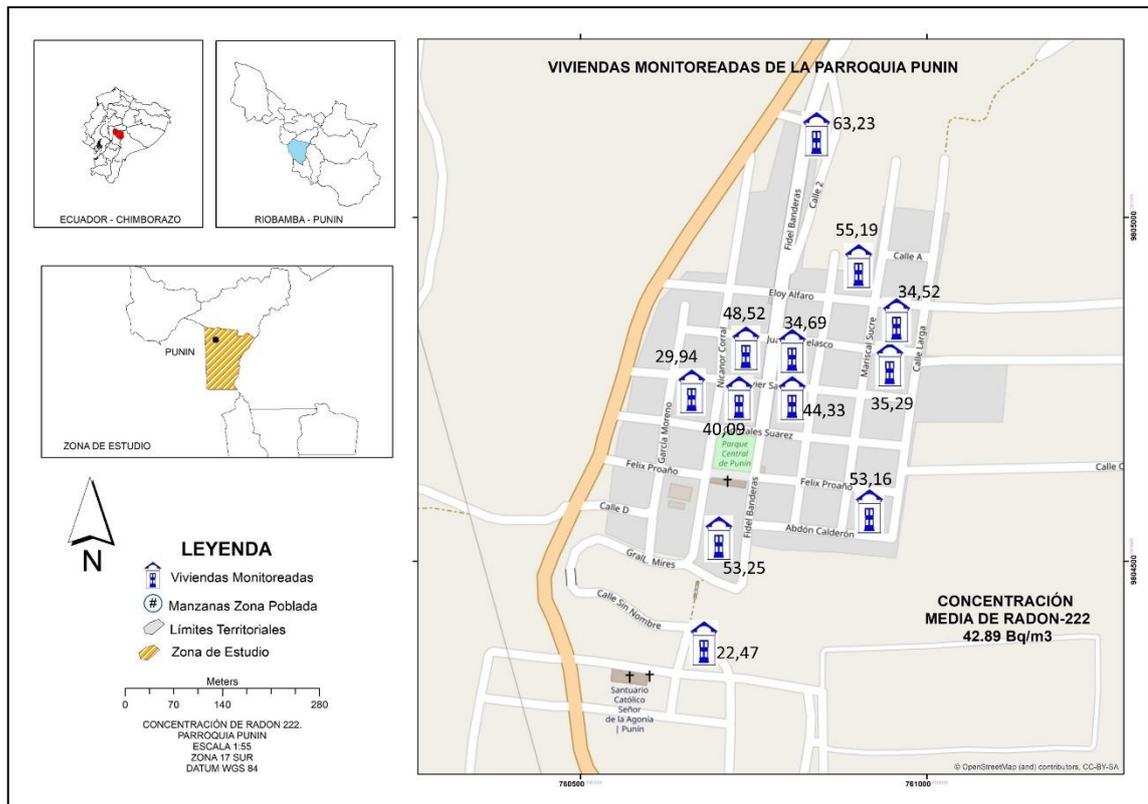


Ilustración 8-3: Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Punín. **Realizado por:** (Guaño y Rivadeneira, 2023).

Como se observa en el mapa de Punín, las concentraciones de ^{222}Rn calculadas según la sección 2.3.2.3 se encuentran en un rango de $22,47 \text{ Bq/m}^3$ en la manzana 41, a $63,23 \text{ Bq/m}^3$ en la manzana 3. El promedio general en esta parroquia corresponde a $42,89 \text{ Bq/m}^3$. Para este sector, el promedio de fondo gamma medido con el ATOMTEX fue de $0,05915 \mu\text{Sv/h}$. Los coeficientes de calibración del sistema de detección resultaron entre $0,050$ y $0,059 \text{ V/Bq m}^{-3}\text{d}$.

- Flores

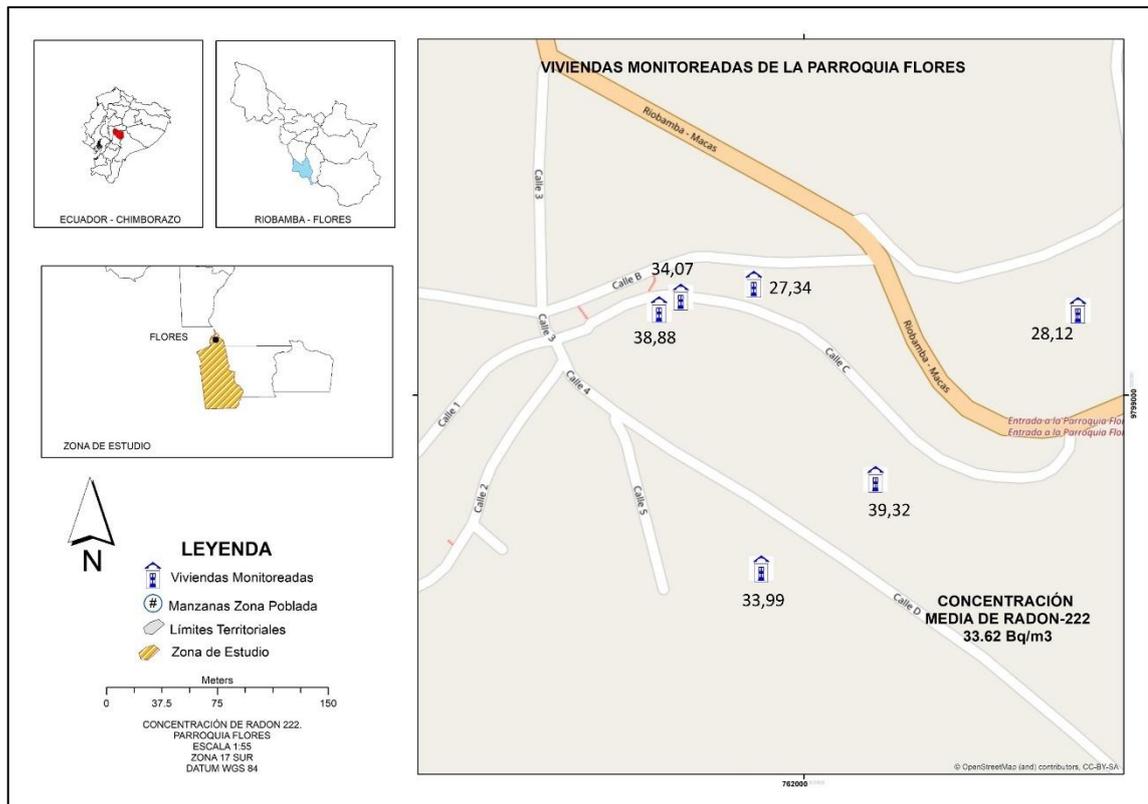


Ilustración 9-3: Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Flores. **Realizado por:** (Guaño y Rivadeneira, 2023).

En la parroquia de Flores se encontraron que los coeficientes de calibración del sistema de detección van desde los 0,051 hasta 0,057 $V/Bq\ m^{-3}d$ y el promedio de fondo gamma ambiental de fue 0,06328 $\mu Sv/h$. En esta zona, se encontraron concentraciones de ^{222}Rn con valores altos de 39,32 Bq/m^3 y mínimos de 27,34 Bq/m^3 , que se ubican en las manzanas 10 y 5 respectivamente; con un promedio general de 33,62 Bq/m^3 .

- Licto

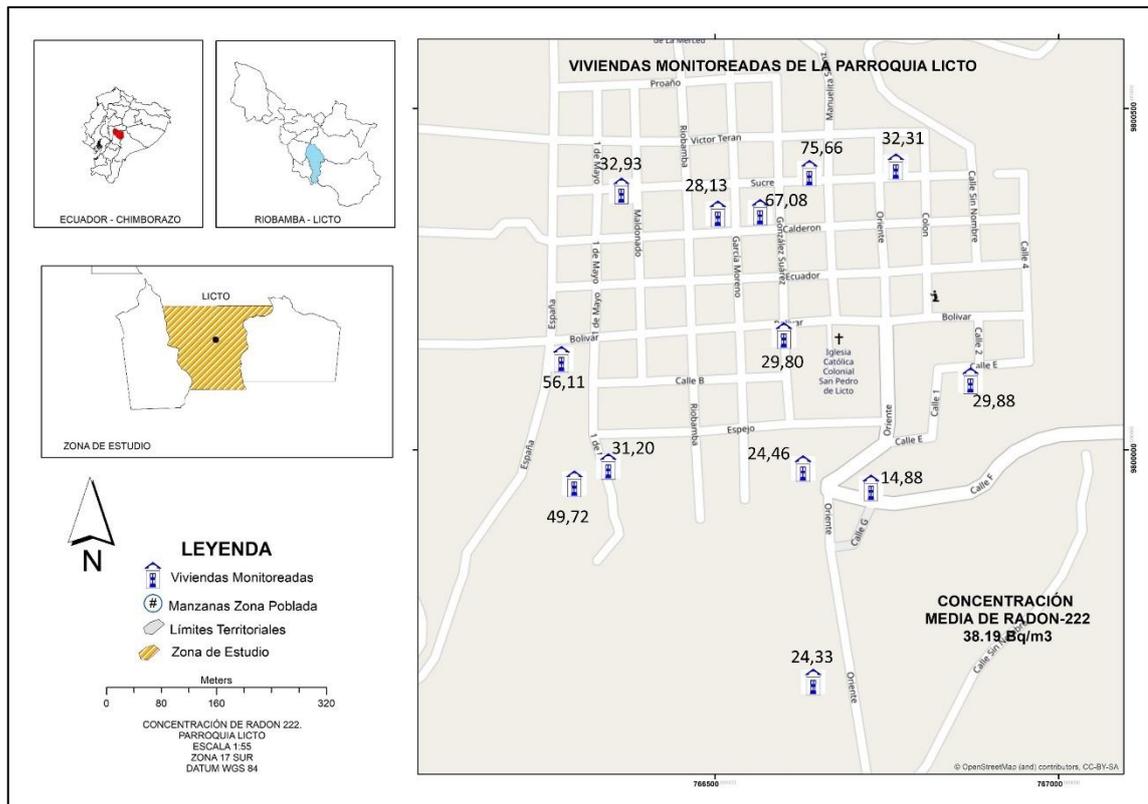


Ilustración 10-3: Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Flores.
Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

La parroquia Licto presenta un promedio general de contaminación de aire interior de ^{222}Rn de $38,19 \text{ Bq/m}^3$; en el mapa se observa que la manzana 13 presenta un mínimo de concentración con un valor de $13,84 \text{ Bq/m}^3$ y un máximo de $75,66 \text{ Bq/m}^3$ en la manzana 18. El fondo gamma promedio de este sector es de $0,07707 \mu\text{Sv/h}$, y los factores de calibración SST-EPERM se encuentran entre $0,050$ y $0,057 \text{ V/Bq m}^{-3}\text{d}$.

- Pungalá

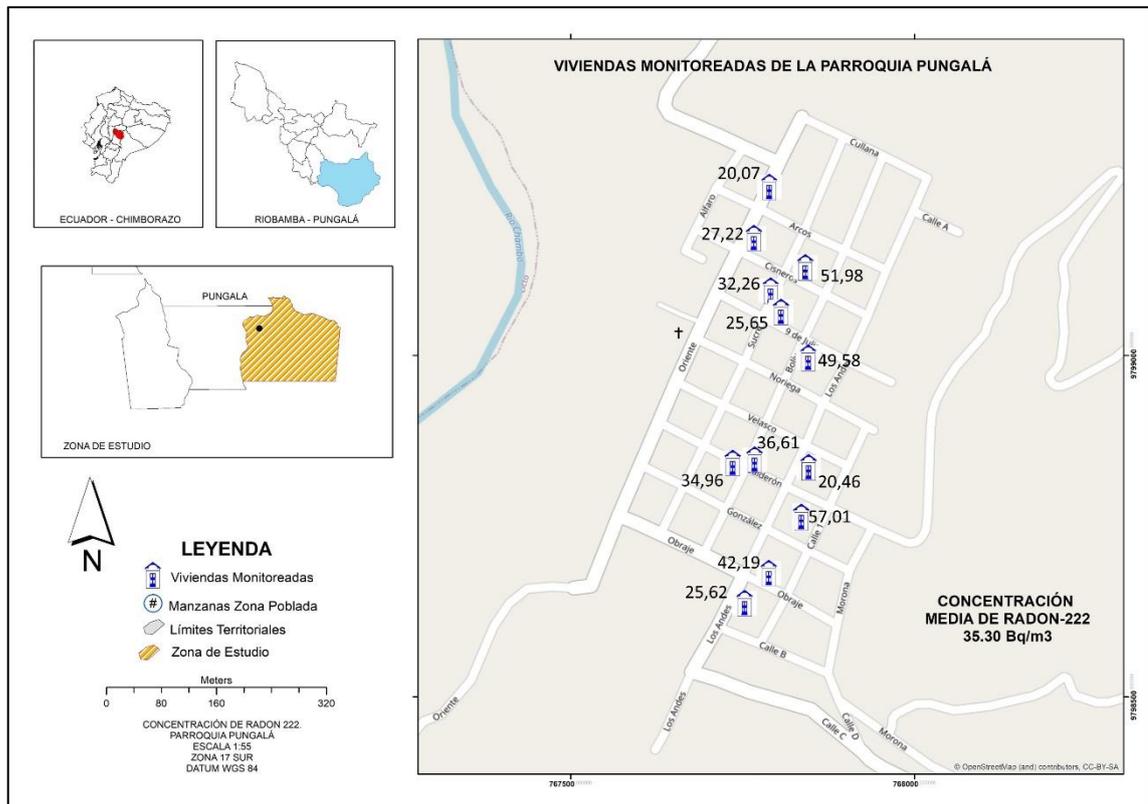


Ilustración 11-3: Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Pungalá. **Realizado por:** (Guaño y Rivadeneira, 2023).

En esta parroquia, el promedio de fondo gamma ambiental detectado con el espectrómetro ATOMTEX fue de $0,05822 \mu Sv/h$. El mapa de Pungalá refleja que el promedio general de concentraciones de ^{222}Rn es de $37,33 Bq/m^3$, con un mínimo de este en la manzana 1 con $20.07 Bq/m^3$ y un máximo de $57.01 Bq/m^3$ para la manzana 34, valores que se obtuvieron mediante el cálculo de la ecuación (12) del apartado 2.3.2.3. Se calculó que los factores de calibración del sistema SST-EPERM fueron de $0,050$ a $0,056 V/Bq m^{-3}d$.

- San Juan

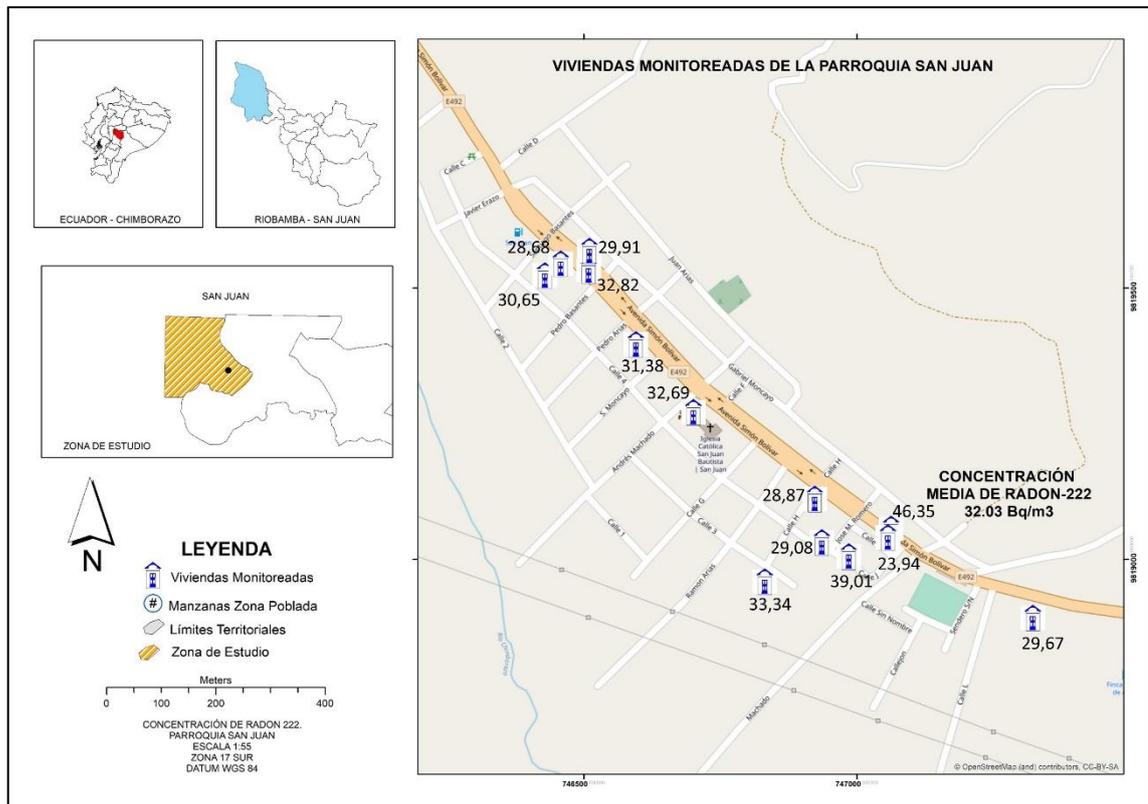


Ilustración 12-3: Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia San Juan.
Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

Con un promedio global de contaminación ^{222}Rn de $32,03 \text{ Bq/m}^3$, en el mapa de la parroquia San Juan se encontró que el mínimo de concentraciones le pertenece a la manzana 40 y el máximo a la 41 con valores de $23,94 \text{ Bq/m}^3$ y $46,35 \text{ Bq/m}^3$ respectivamente. En esta parroquia, el promedio de fondo gamma medio fue de $0,06006 \mu\text{Sv/h}$. Para el cálculo de concentraciones de obtuvo que los factores de calibración del sistema de detección fueron entre $0,050$ y $0,067 \text{ V/Bq m}^{-3}\text{d}$.

- Cacha

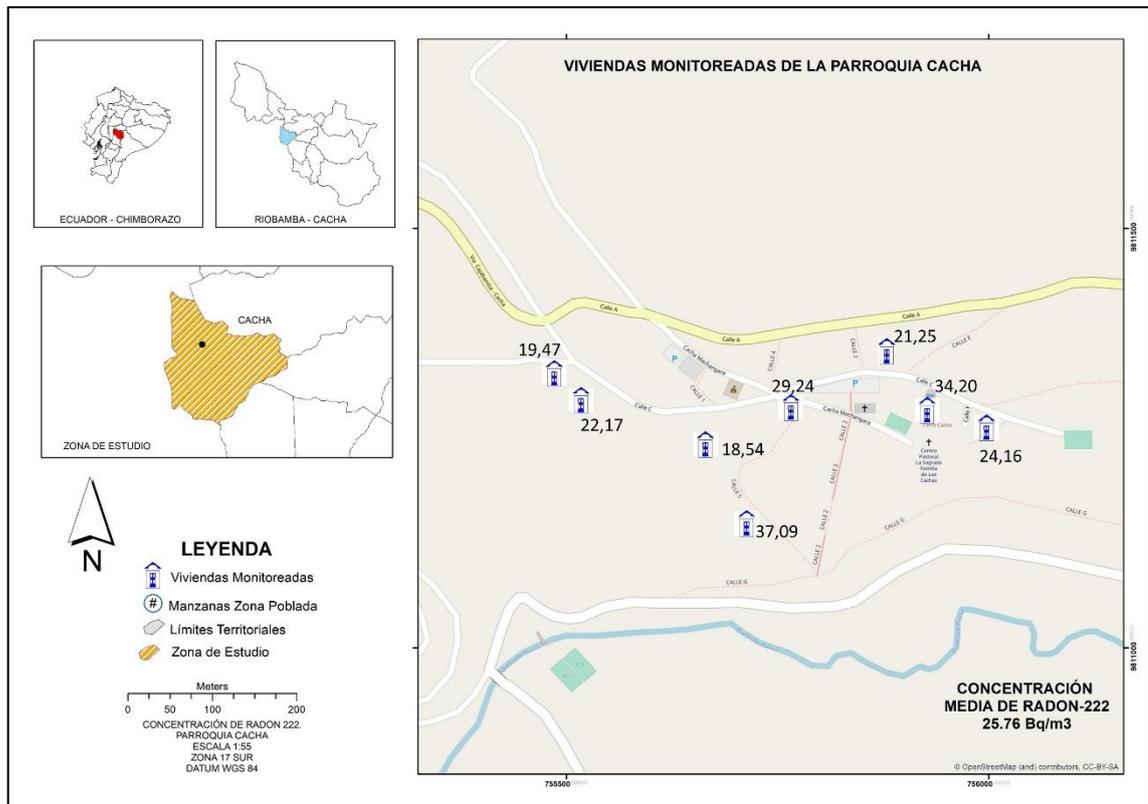


Ilustración 13-3: Mapa de las concentraciones de radón-222 de la parroquia Cacha. **Realizado por:** (Guaño y Rivadeneira, 2023).

Los factores de calibración de los detectores SST-EPERM resultaron entre 0,050 y 0,057 $V/Bq\ m^{-3}d$. Con un promedio de fondo gamma de 0,05822 $\mu Sv/h$, la parroquia Cacha exhibe un promedio general de contaminación de aire interior de ^{222}Rn de 25,76 Bq/m^3 . En el mapa podemos dar cuenta que el mínimo de concentraciones corresponde a la manzana 12 con un valor de 18,54 Bq/m^3 y un máximo de 37,09 Bq/m^3 en la manzana 13.

3.1.4. Concentración de radón en Ecuador y el mundo

Mediante los resultados de la Tabla 3-3 y en conjunto con el estudio del arte de la concentración de radón en (Canoba et al., 2002: pp.453-457) en el que se exponen valores de algunos países de América, Asia, Africa y Europa, se presenta la Tabla 4-3, en donde se muestra que la zona centro de Ecuador ocupa la tercera posición por encima de Perú y debajo de Argentina.

Tabla 4-3: Comparativa de la concentración media de radón-222 frente a los países del mundo

Países	Concentración promedio de radón-222 [Bq/m ³]
Líbano	23,50
Perú	32,29
Ecuador (Zona Centro)	34,65
Argentina	36,96
España	46,53
Venezuela	52,5
México	67,29
Italia	75,00
Brasil	80,94
Ghana	111,53

Realizado por: (Guaño y Rivadeneira, 2023).

Nota: Para Líbano referirse a (Habib et al., 2018: pp.344-353); Perú, Argentina, Venezuela, México y Brasil (Canoba et al., 2002: pp.453-457); España (Martín, 2004, p.7); Italia (Bochicchio et al., 1996: pp.741-748); Ghana (Nsiah-Akoto et al., 2019: pp. 1-4).

3.2. Discusión

El ²²²Rn es un gas radiactivo que al ser inhalado causa severas lesiones en el sistema respiratorio. Al ser innato de la corteza terrestre, de los 2,4 mSv de dosis anual que recibe una persona natural por radiación, 1,28 mSv es aporte de este elemento, posicionándose como el segundo causante de cáncer de pulmón luego del tabaco. Monitoreos en diferentes países del mundo, muestran que la concentración del aire interior por radón no supera el nivel de referencia de 300 Bq/m³ establecido en la Directiva 2013/59 de la EURATOM. En un panorama local, Riobamba carece de estudios sobre la cuantificación de dicho radioisótopo, por lo que en este trabajo se determinó la contaminación por radón en las viviendas del cantón, ubicadas en la zona rural a través de mapas radiológicos. Para esto se utilizó el sistema de detección pasivo SST-EPERM de corta duración y un registro de información general de las casas donde se efectuó el monitoreo por medio de entrevistas aplicadas a los propietarios. Para el sondeo, cada parroquia se dividió según el número de manzanas, que bajo un muestreo aleatorio simple quedaron seleccionadas un total de 121 residencias; en cada una se colocó un detector con un tiempo de exposición de 7 días. Todos los equipos de detección se colocaron en los pisos más bajos de las construcciones, de los cuales el 34,15% estuvieron ubicados en salas de estar y el 14,63% en dormitorios.

El promedio general de las concentraciones de radón es de 34,65 Bq/m³, el nivel más bajo es de 29,37 Bq/m³ correspondiente a la parroquia Cacha y el más alto se encontró en Punín con 42,89 Bq/m³. De los datos cualitativos registrados en las encuestas realizadas a los residentes, éstas

diferencias posiblemente se deben al tipo de suelo de cada zona, ya que los materiales de construcción y antigüedad de las edificaciones en ambas son similares.

A nivel de continentes, existen registros de varios estudios sobre mapas radiológicos de radón, por ejemplo, en Asia, trabajos en Líbano muestran que la concentración media general es de $23,50 \text{ Bq/m}^3$, en África, Ghana tiene actividades promedio de $111,53 \text{ Bq/m}^3$, en Europa, Italia registra valores de 75 Bq/m^3 , en el centro de América, México tiene como referente $67,29 \text{ Bq/m}^3$, mientras que en el sur, países como Brasil documentan $80,94 \text{ Bq/m}^3$. Sin embargo, a nivel de Ecuador existen dos ciudades que aportan con una media de concentración; en Quito la publicación de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, presentó un sondeo efectuado en 61 viviendas con una media de concentración es de $94,30 \text{ Bq/m}^3$ y en Cuenca, en la tesis de (Loayza, 2018, pp.7-42), con un monitoreo en 47 domicilios pertenecientes a las parroquias urbanas de la ciudad, usando trazas nucleares LR-115, se mostró que la contaminación del aire interior es de 35 Bq/m^3 . Nuestra investigación con 121 casas muestreadas reporta una concentración media de $34,65 \text{ Bq/m}^3$, valor compatible con lo encontrado en Cuenca, pero menor respecto al estudio en Quito.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La media general de las concentraciones de radón-222 en el aire interior de las viviendas de la zona poblada de las parroquias rurales del cantón Riobamba es de $34,65 \text{ Bq/m}^3$, el nivel de contaminación más alto se observó en Punín con $42,89 \text{ Bq/m}^3$ y el más bajo en Cacha con un valor de $25,76 \text{ Bq/m}^3$, valores que se encuentran por debajo del límite estipulado en la Directiva 2013/59 de la EURATOM de 300 Bq/m^3 .
- La antigüedad de las casas evaluadas en la zona poblada de las parroquias rurales del cantón Riobamba oscila entre 1 y 100 años, las viviendas más antiguas se encuentran ubicadas en Licto y San Juan donde el 8% de las edificaciones están entre 80 y 100 años.
- En la zona de estudio se observa que las paredes de las casas están hechas de ladrillo y bloque, excepto Calpi con un 8% de paredes de tufo volcánico, en todos los casos el revestimiento 100% de hormigón; en cuanto a techos, se utiliza cobertura de hormigón a excepción de Punín donde el 8% tienen cubiertas de teja; el 100% de los cimientos están contruidos con piedra, pisos y contrapisos de hormigón, baldosa y madera.
- Licto es la parroquia con mayor número de casas con grietas y fisuras en las paredes (77%) mientras que Cacha no presenta estas fallas en la edificación.

4.2. Recomendaciones

- Adquirir más sistemas de detección SST-EPERM para una campaña masiva de monitoreo de las residencias en toda la provincia de Chimborazo.
- La manipulación del equipo trae consigo una posible alteración en los valores de las concentraciones de ^{222}Rn , por lo que se sugiere realizar mediciones repetidas e independientes para comparar los datos y reportar un valor medio.
- Se recomienda dictar charlas a la población, enfocadas al riesgo que representa este gas radiactivo para tener mayor colaboración por parte de los dueños de las residencias en la colocación de los detectores.

BIBLIOGRAFÍA

- ATOMTEX.** *AT6102, A6102A, AT6102B Spectrometers* [en línea], [sin fecha]. Republic of Belarus: s.n. Disponible en: <https://atomtex.com/ru/spektrometry-mks-at6102-mks-at6102a-mks-at6102v>.
- AUCAPIÑA RÍOS, G.I. & LLANES SÁNCHEZ, R.D.** Implementación de una red de Monitoreo del Gas Radón a través de una red de Internet (Trabajo de titulación) (Pregrado). [en línea] Universidad de Cuenca, Ingeniería, Electrónica y Telecomunicaciones. Cuenca-Ecuador. 2016. pp.30-33 [Consulta: 5 octubre 2022]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24208>.
- BOCHICCHIO, F., VENUTI, G.C., NUCCETELLI, C., PIERMATTEI, S., RISICA, S., TOMMASINO, L. & TORRI, G.** "Results of the representative Italian national survey on radon indoors". *Health Physics* [en línea], 1996, 71 (5), pp. 741-748. [Consulta: 4 octubre 2022]. ISSN 00179078. DOI 10.1097/00004032-199611000-00016. Disponible en: https://journals.lww.com/health-physics/Abstract/1996/11000/Results_of_the_Representative_Italian_National.16.aspx.
- BURCHAM, W.E.** *Física nuclear* [en línea]. España: Reverté, 2020. [Consulta: 19 enero 2023]. ISBN 8429190414. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=iJUJEAAAQBAJ&dq=leyes+de+soddy-fajans&source=gbs_navlinks_s.
- CANOBA, A., LÓPEZ, F.O., ARNAUD, M.I., OLIVEIRA, A.A., NEMAN, R.S., HADLER, J.C., IUNES, P.J., PAULO, S.R., OSORIO, A.M., APARECIDO, R., RODRÍGUEZ, C., MORENO, V., VASQUEZ, R., ESPINOSA, G., GOLZARRI, 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* [en línea], 2002, (México) 41(4), pp. 453-457. [Consulta: 28 diciembre 2022]. ISSN 00167169. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56841415>.
- CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR.** SDB-04.07. *Dosis de radiación/CSN*. Madrid, 2010.
- DAUB, W. & SEESE, W.** *Química* [en línea]. 7. México-Naucalpan de Juárez: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1996. [Consulta: 21 enero 2023]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=Zkkyt8GVnbQC&lpg=PP1&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
- DAS, A. & FERBEL, T.** *Introduction to Nuclear and Particle Physics* [en línea]. 2. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2003. [Consulta: 15 enero 2023]. Disponible en: http://www.kaf07.mephi.ru/eduroom/Books/A_Das_T._Ferbels_Introduction_to_Nuclear.p

df.

- EPA 402-R-92-003.** *Protocols For Radon And Radon Decay Product Measurements In Homes* [en línea]. 1993. Estados Unidos: Environmental Protection Agency (EPA). Disponible en: <https://archive.epa.gov/epa/radon/protocols-radon-and-radon-decay-product-measurements-homes.html>.
- EURATOM.** Normas de seguridad basicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes. *Diario Oficial de la Unión Europea* [en línea], 2013, pp. L13/1-73. Disponible en: <http://www.boe.es/doue/2014/013/L00001-00073.pdf>.
- GADM RIOBAMBA.** *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Riobamba 2015-2030*. 2019. Riobamba: 2019.
- GARZÓN VALENCIA, G.** El Radón - Manual Teórico Práctico. [en línea]. Colombia: 2009. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/265050493>.
- HABIB, R.R., NUWAYHID, R.Y., HAMDAN, Z., ALAMEDDINE, I. & KATUL, G.** "Indoor and Outdoor Radon Concentration Levels in Lebanon". *Health Physics* [en línea], 2018, 115 (3), pp. 344-353. ISSN 15385159. DOI 10.1097/HP.0000000000000888.
- JOHNSTON, K., VER HOEF, J.M., KRIVORUCHKO, K. & LUCAS, N.** *Using ArcGIS geostatistical analyst* [en línea]. 300. United States of America: ESRI, 2001. [Consulta: 5 octubre 2022]. Disponible en: http://downloads2.esri.com/support/documentation/ao_/Using_ArcGIS_Geostatistical_Analyst.pdf
- KOTRAPPA, P.** *Radon: Geology, Environmental Impact and Toxicity Concerns* [en línea]. Electret ion chambers for characterizing indoor, outdoor, geologic and other sources of radon. En: A.M. STACKS (ed.),. Estados Unidos: Nova Science Publisers, Inc., 2015, pp. 1-42. ISBN 9781634637770.
- KOTRAPPA, P. & DEMPSEY, J. c.** *Development of an Electret Passive Environmental Radon Monitor (E-PERMTM) - Phase Two* [en línea]. 1991. New York: Rad Elec Inc. Disponible en: <https://www.radelec.com/publications.html>.
- KOTRAPPA, P., DEMPSEY, J.C., RAMSEY, R.W. & STIEFF, L.R.** "A practical e-permTM (Electret passive environmental radon monitor) system for indoor ²²²Rn measurement". *Health Physics* [en línea], 1990, (United States) 58(4), pp. 461-467. ISSN 15385159. DOI 10.1097/00004032-199004000-00008.
- KOTRAPPA, P. & STIEFF, L.R.**"Elevation correction factors for e-perm®radon monitors". *Health Physics* [en línea], 1992, 62 (1), pp. 82-86. ISSN 15385159. DOI 10.1097/00004032-199201000-00011. Disponible en: <https://www.radelec.com/publications.html>.
- LOAYZA CABRERA, M.J.** Elaboración de un mapa radiológico de los niveles de radón presentes en las viviendas de las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca - Ecuador en el periodo 2017 - 2018 (Trabajo de titulación) (Grado). [en línea] Universidad Politécnica

- Salesiana, Ingeniería Ambiental. (Cuenca-Ecuador). 2018. pp.7-42 [Consulta: 4 octubre 2022]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15421>.
- MARTÍN MATARRANZ, J.** Consejo de Seguridad Nuclear. *Concentración de radón en viviendas españolas. Otros estudios de radiación natural*, 2004, (España), p.7.
- MICHAEL F. ASHBY y DAVID R. H. JONES.** *Engineering Materials 1 An Introduction to Properties, Applications, and Design* [en línea]. 4. United States: Elsevier, 2012. ISBN 9780080966656. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080966656000301>.
- MORA RODRÍGUEZ, P.**"La radiación en la vida cotidiana". *Acta Médica Costarricense* [en línea], 1999, (Costa Rica) 41 (2), pp. 16-23. [Consulta: 11 enero 2023]. ISSN 0001-6002. Disponible en: https://actamedica.medicos.cr/index.php/Acta_Medica/article/view/504/467.
- NSIAH-AKOTO, I., ANDAM, A.B., AKITI, T.T., FLECTCHER, J.J. & OSEI, P.**"Indoor radon mapping: The Ghanaian strategy". *AIP Conference Proceedings* [en línea], 2019, (United Kingdom) 2109 (1), pp.1-4. DOI 10.1063/1.5110119. Disponible en: <http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5110119>.
- PICQUART, M., ZEPEDA, M. & CARRASCO, I.** *Energía nuclear, contaminación radiactiva y sus efectos en la salud* [en línea]. 1. México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2016. [Consulta: 15 enero 2023]. Disponible en: <https://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/Libroelectronico/Energia-nuclear.pdf>.
- PIEDECAUSA GARCÍA, B., CHINCHÓN PAYÁ, S., MORALES RECIO, M.A. & SANJUÁN BARBUDO, M.A.**"Radiactividad natural de los materiales de construcción. Aplicación al hormigón. Parte II. Radiación interna: el gas radón". *Cemento-hormigón* [en línea], 2011, (España) 82 (946), pp. 34-50. [Consulta: 5 octubre 2022]. ISSN 0008-8919. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10045/27056>.
- RAD ELEC INC.** "E-PERM ® SYSTEM USER ' S MANUAL". *Rad Elec Inc.* [en línea], [sin fecha], (United States of America) 5482 (3.3.2). Disponible en: <https://www.radelec.com/manuals.html>.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA.** mapa | Definición. [en línea], 2006. [Consulta: 4 octubre 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/mapa>.
- SÁNCHEZ, E. y LÓPEZ, W.** *La Historia del Uranio en España* [en línea]. España: Sociedad Nuclear Española, 1957. [Consulta: 11 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.sne.es/wp-content/uploads/2021/01/Libro-Uranio.pdf>
- SCHEAFFER, R.L. y WILLIAM, M.I.I.** *I.Elementos de Muestreo Richard L., Scheaffer* [en línea]. 3. México: Iberoamericana, 2007. [Consulta: 7 diciembre 2022]. Disponible en: https://issuu.com/hectorm.delossantos-posadas/docs/elementos_de_muestreo_-

_schaffer_et.

UNSCEAR. *Sources and Effects of Ionizing Radiation* [en línea]. 1. New York: United Nations, 2000. [Consulta: 19 enero 2023]. Disponible en: https://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR_2000_Report_Vol.I.pdf.

VALENZUELA. *Química general: Introducción a la Química Teórica* [en línea]. 1. España-Madrid: Universidad de Salamanca, 1995. [Consulta: 21 enero 2023]. Disponible en: <https://books.google.co.cr/books?id=EdsLZGYbK-gC&printsec=copyright&hl=es>.

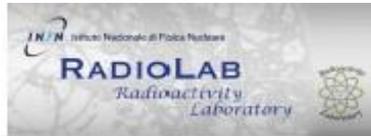
VILLALBA, M. de L. Análisis y Dosimetría de Radionúclidos en agua del Estado de Chihuahua (Trabajo de titulación) (Doctorado). [en línea] Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. Chihuahua-México. 2003. pp. 8-17. [Consulta: qq enero 2023]. Disponible en: <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/686>.

ZEEB, Ha., SHANNOUN, F. & OMS. *Manual de la OMS sobre Radón en interiores: Una perspectiva de salud pública* [en línea]. 1, 2015. [Consulta: 11 enero 2023]. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/161913/9789243547671_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y.



ANEXOS

ANEXO A: ENCUESTA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS



Gruppo Collegato di Cosenza
Laboratori Nazionali di Frascati



Università della Calabria
Dipartimento di Fisica

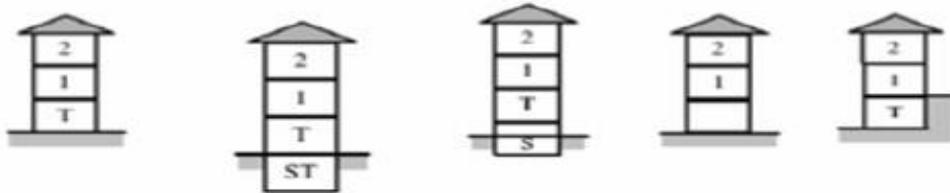
MEDIDAS DE CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN INFORMACIÓN SOBRE AL LUGAR DE MEDIDA

DATOS DE LA CONSTRUCCIÓN	
Código electret:	Código casa:
Nombres:	Apellidos:
Parroquia:	Barrio:
Cantón:	Provincia:
Fecha inicial:	Fecha final:
Voltaje inicial :	Voltaje final:
Hora de colocación:	Hora de retiro:
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
Latitud:	Longitud:

Datos de vivienda:

Tipología de construcción: 1: Casa 2: Condominio 3: Edificio

Posición respecto al suelo, del piso más bajo de la construcción:



1: Sobre el terreno 2: Bajo el terreno 3: Semi enterrado 4. Sobre columnas 5: Enterrado
(semienterrado en alguno de sus lados) 6: Otro

Uso del piso semienterrado o el sótano:

1: Cimiento 2: Bodega/Garaje 3: Lugar de ventilación 4: Lugar de trabajo 5: Otro _____

Presencia de inter-espacios: 1: SÍ 2: NO

Piso más bajo de la construcción (excluye el sótano) 1: Planta baja 2: Piso No. _____

Número de pisos sobre el que está la construcción (excluye el sótano) _____

Tipo del espacio donde se efectuará la medición:

1: Dormitorio 2: Sala 3: Estudio/Laboratorio 4: Otro _____

Piso sobre el cuál se efectuará la medición: 1: Planta baja 2: Piso No. _____

CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN

Año de construcción _____

Tipo de terreno en el cual está la edificación

- | | | |
|--|---|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Grava | <input type="checkbox"/> Pómex | <input type="checkbox"/> Pórfido |
| <input type="checkbox"/> Arena | <input type="checkbox"/> Traquita | <input type="checkbox"/> Esquisto |
| <input type="checkbox"/> Arcilla | <input type="checkbox"/> Tufo de volcán | <input type="checkbox"/> Granito |
| <input type="checkbox"/> Piedra arenisca | <input type="checkbox"/> Caliza | <input type="checkbox"/> Mármol |
| <input type="checkbox"/> Travertino | <input type="checkbox"/> Dolomita | <input type="checkbox"/> Sienita |
| <input type="checkbox"/> Diorite | <input type="checkbox"/> Basalto | <input type="checkbox"/> Otro _____ |

Materiales de Construcción

- | | | |
|-----------------------------------|---|--|
| <input type="checkbox"/> Tufo | <input type="checkbox"/> Arena | <input type="checkbox"/> Cemento y arena |
| <input type="checkbox"/> Ladrillo | <input type="checkbox"/> Yeso Natural | <input type="checkbox"/> Hormigón |
| <input type="checkbox"/> Cemento | <input type="checkbox"/> Piedra Natural | |

Presencia de planta de climatización activo

- Solo de calefacción
- Calefacción / Aire acondicionado
- Solo aire acondicionado
- Ninguno

Presencia de deshidratación y/o humedad en las paredes

___ Si ___ No

Presencia de grietas y/o fisuras en las paredes

___ Si ___ No

Notas

DATOS GLOBALES ÚTILES

Estudiantes que participan en la medición

Indicar el nombre de los estudiantes/ los responsables/ y la posición y retiro del dosímetro

Área geológica de la estructura

Otros detalles aparte de los detallados arriba para el área sobre el edificio, indicar si es que es sísmica etc.

Materiales adicionales presentes en la estructura

Pisos y encimeras de las cocinas en caso de haber, estatuas y marcos de piedra

Fuente de agua

Fuentes publicas cercanas o pozos

Información que se entrega el propietario

Folletos, información sobre los resultados, etc.

Instrumentación utilizada

CR39, E-Perm u otro, Gammascout, etc.

ANEXO B: ANEXO FOTOGRÁFICO



Anexo 1-B: Medición del voltaje del electret.



Anexo 2-B: Colocación del sistema de detección SST E-PERM.



Anexo 3-B: Realización de encuestas sobre características de las viviendas.



Anexo 4-B: Colocación del sistema SST E-PERM.



Anexo 5-B: Calibración del equipo ATOMTEX.



Anexo 6-B: Colocación del sistema de detección SST E-PERM.



Anexo 7-B: Realización de encuestas sobre información de las viviendas.



Anexo 8-B: Sistema de detección SST E-PERM activado.



Anexo 9-B: Colocación del sistema de detección SST-EPERM.



Anexo 10-B: Colocación del sistema de detección SST-EPERM.



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 12 / 04 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Josselyn Vannesa Guaño Colcha Abigail Fernanda Rivadeneira Pallazhco
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Física
Título a optar: Física
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



0622-DBRA-UPT-2023