



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

### **CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

#### **“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN EN EL SUELO DEL SECTOR: CEMENTO CHIMBORAZO- CAJABAMBA, PARROQUIA CALPI DEL CANTÓN RIOBAMBA Y PARROQUIA CAJABAMBA DEL CANTÓN COLTA”**

##### **Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO/A EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORES:** BRYAN RAÚL CUACES CORTEZ

ANDREA PAOLA UQUILLAS ÁVILA

**DIRECTOR:** DRA. JHENY DEL CARMEN ORBE ORDOÑEZ, PhD

Riobamba – Ecuador

2023

**© 2023, Bryan Raúl Cuaces Cortez & Andrea Paola Uquillas Ávila**

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.

Nosotros, Bryan Raúl Cuaces Cortez y Andrea Paola Uquillas Ávila declaro que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoridad y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 06 de noviembre del 2023



**Bryan Raúl Cuaces Cortez**

**C.I. 0605154665.**


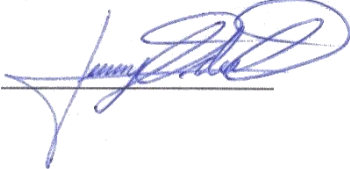
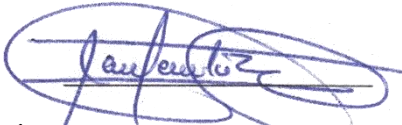


**Andrea Paola Uquillas Ávila**

**C.I 0604402784**

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GAS RADÓN EN EL SUELO DEL SECTOR: CEMENTO CHIMBORAZO-CAJABAMBA, PARROQUIA CALPI DEL CANTÓN RIOBAMBA Y PARROQUIA CAJABAMBA DEL CANTÓN COLTA**, realizado por los señores: **ANDREA PAOLA UQUILLAS ÁVILA Y BRYAN RAÚL CUACES CORTEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud, el tal virtud, el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dra. Magdy Mileni Echeverría Guadalupe, PhD. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-11-06
Dra. Jheny del Carmen Orbe Ordoñez, PhD. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2023-11-06
Ing. María Fernanda Rivera Velásquez, PhD. <b>ASESORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2023-11-06

## **DEDICATORIA**

Quiero expresar mi dedicación y gratitud a mis amados padres, Marcelo y Janeth, quienes han sido una pieza fundamental en mi vida al brindarme su amor, paciencia y apoyo incondicional, al igual que en mi formación académica, ayudándome a alcanzar mis metas y a culminar mis estudios. También quiero agradecer a mi querido hermano, Brian por su cariño y confianza en mí, motivándome a seguir adelante y nunca rendirme durante mi carrera universitaria.

***Andrea***

El siguiente trabajo de tesis va dedicado a mi madre, la que ha estado en todos los momentos, con su esfuerzo, dedicación, valentía, y humildad para verme triunfar y terminar mis estudios, a cada miembro de mi familia que intervino en el proceso, agradecerles por todo el respaldo y ayuda.

***Bryan***

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar un profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron para que mis sueños de completar nuestros estudios superiores se hicieran realidad. Agradezco a Dios, quien ha sido mi fortaleza a lo largo de mi carrera universitaria, iluminando mis pensamientos y brindándome su infinita bondad y protección. Quiero agradecer especialmente a Mirella, Janeth y Marcelo, nuestros queridos padres, así como a Lesly y Brian, nuestros hermanos, por su incondicional apoyo en cada etapa de nuestras vidas. Su respaldo ha sido fundamental para llegar hasta este punto. También deseo agradecer a la Dra. Jheny Orbe, quien fue nuestra tutora en este proyecto de titulación. Su constante orientación, paciencia y apoyo fueron de gran valor durante todo el proceso. Espero que este trabajo pueda servir como una guía positiva para las generaciones futuras de estudiantes de la ESPOCH, ya que las enseñanzas impartidas sembraron en nosotros el espíritu de superación.

*Andrea & Bryan*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY/ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 <i>Objetivo general</i> .....	3
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.3 Justificación.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Radón.....	5
2.2 Propiedades Químicas del radón.....	9
2.3 Propiedades Físicas del radón.....	9
2.4 Mecanismo de producción y liberación del radón.....	10
2.5 Mecanismo de transporte.....	10
2.6 Emanación, Difusión y exhalación.....	11

2.7	<b>Efectos biológicos por inhalación del <math>^{222}\text{Rn}</math></b> .....	12
2.8	<b>Comisión Internacional de Protección Radiológica</b> .....	13
2.9	<b>Cantón Riobamba- Calpi</b> .....	13
2.10	<b>Clima Riobamba- Calpi</b> .....	14
2.11	<b>Cantón Colta- Cajabamba</b> .....	15
2.12	<b>Clima: Colta-Cajabamba</b> .....	15
 <b>CAPÍTULO III</b> .....		16
3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	16
3.1	<b>Descripción del área de estudio</b> .....	16
3.2	<b>Descripción del Set Up experimental</b> .....	16
3.3	<b>Protocolo de monitoreo y medición de <math>^{222}\text{Rn}</math> en suelo</b> .....	20
3.3.1	<i>Preparación y montaje</i> .....	20
3.3.2	<i>Posicionamiento del sistema E-PERM</i> .....	20
3.3.3	<i>Finalización de la medida</i> .....	21
3.3.4	<i>Cálculo de la concentración de <math>^{222}\text{Rn}</math></i> .....	21
3.3.5	<i>Determinación de la tasa de dosis de radiación gamma ambiental (BG)</i> .....	21
3.4	<b>Protocolo de monitoreo de la humedad y temperatura dentro del tubo</b> .....	22
3.4.1	<i>Preparación y montaje</i> .....	22
3.4.2	<i>Posicionamiento de los equipos</i> .....	22
3.4.3	<i>Finalización de la medida</i> .....	22
3.4.4	<i>Recolección de datos</i> .....	22
3.5	<b>Protocolo para obtener la muestra de suelo y determinar densidad aparente y materia orgánica</b> .....	23
3.5.1	<i>Preparación y montaje</i> .....	23
3.5.2	<i>Toma de muestra</i> .....	23
3.5.3	<i>Datos fisicoquímicos en el laboratorio</i> .....	23



<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>24</b>
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>24</b>
4.1 <b>Comparación temperatura ambiente vs temperatura dentro del tubo PVC .....</b>	<b>24</b>
4.2 <b>Comparación humedad ambiente vs humedad dentro del tubo PVC .....</b>	<b>24</b>
4.3 <b>Resultados de la concentración de radón en suelo .....</b>	<b>25</b>
4.4 <b>Mapa de los puntos de muestreo y sus concentraciones .....</b>	<b>26</b>
4.5 <b>Tasa de dosis de radiación gamma ambiental .....</b>	<b>28</b>
4.6 <b>Concentración de radón en el suelo y la densidad aparente.....</b>	<b>28</b>
4.7 <b>Concentración de radón en el suelo y la materia orgánica .....</b>	<b>29</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>29</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>30</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Propiedades químicas del radón .....	9
<b>Tabla 2-2:</b>	Propiedades físicas del radón .....	9

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Serie de decantación natural del Uranio 238 .....	6
<b>Ilustración 2-2:</b>	Serie de decaimiento natural del Uranio 235 .....	7
<b>Ilustración 3-3:</b>	Serie de decaimiento natural del Torio 232 .....	8
<b>Ilustración 2-4:</b>	Emanación, difusión y exhalación del Rn .....	10
<b>Ilustración 3-1:</b>	Sistema de detección E-PERM.....	17
<b>Ilustración 3-2:</b>	Electret Long Term .....	17
<b>Ilustración 3-3:</b>	Cámara “S” .....	18
<b>Ilustración 3-4:</b>	Esquema del funcionamiento del sistema E-PERM (SLT).....	18
<b>Ilustración 3-5:</b>	Lector de voltaje modelo SPER-1E.....	19
<b>Ilustración 3-6:</b>	Tubo PVC .....	19
<b>Ilustración 3-7:</b>	Estructura de metal.....	20
<b>Ilustración 4-1:</b>	Temperatura ambiental vs temperatura del aire bajo suelo .....	24
<b>Ilustración 4-2:</b>	Humedad ambiental vs humedad del aire bajo suelo .....	25
<b>Ilustración 4-3:</b>	Concentración de radón versus altitud.....	26
<b>Ilustración 4-4:</b>	Mapa concentraciones de radón en los puntos de muestreo.....	27
<b>Ilustración 4-5:</b>	Dosis gamma ambiental vs altitud.....	28

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A: REGISTROS FOTOGRÁFICOS MEDICIÓN DE GAS RADÓN EN SUELO**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$^{238}\text{U}$	Uranio 238
$^{222}\text{Rn}$	Radón 222
$^{226}\text{Rn}$	Radón 226
<b>OMS</b>	Organización mundial de la Salud
<b><i>Bq/m<sup>3</sup></i></b>	Bequerelios metros cúbicos
<b><i>mSv/año</i></b>	MiliSievert por año
<b><i>μSv/h</i></b>	MicroSievert por hora
<b><i>μGy/h</i></b>	MicroGray por hora
<b>UNSCEAR</b>	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
<b>AND</b>	Ácido desoxirribonucleico
<b>ICRP</b>	Comisión internacional de protección radiológica
<b>WOH</b>	World Health Organization
<b>IAEA</b>	International Atomic Energy Agency
<b>NRC</b>	National Research Council
<b>US EPA</b>	United States Environmental Protection Agency

## RESUMEN

En este estudio se cuantificó la concentración de gas radón en suelo ( $^{222}\text{Rn}$ ), en 16 puntos de muestreo ubicados en la parroquia Calpi y Cajabamba, provincia de Chimborazo, sierra central del Ecuador. La configuración experimental consistió de un sistema de detección E-PERM (SLT) de la Rad Elec Inc. (EE. UU.) y una estructura metálica insertada en un tubo PVC que se enterró en el suelo junto al sistema de detección, esto permitió medir los niveles de radón a una profundidad de un metro bajo el suelo. en todos los puntos se aplicó el mismo protocolo de monitoreo y medición, la altitud de los puntos está entre los 3173 y 3420m y la concentración fluctuó entre 1133 y 5583 Bq/m<sup>3</sup>. se evidenció una correlación entre los niveles de radón en suelo y la altitud en seis de los puntos de muestreo, un punto en la parroquia de Cajabamba y cinco en la parroquia Colta. Se midió en todos los puntos dos parámetros físicos del suelo, la densidad aparente y materia orgánica obtenidas a un metro de profundidad, los resultados no presentaron una correlación significativa ( $R^2=0,11$  y  $R^2=0,05$  respectivamente), con la concentración de gas radón en todos los puntos.

**Palabras clave:** <GAS RADÓN ( $^{222}\text{Rn}$ )>, <CONCENTRACIÓN DE RADÓN>, <SISTEMA E-PERM>, <EMANACIÓN DE GAS RADÓN>, <HUMEDAD>, <RIOBAMBA (CANTÓN)>, <COLTA(CANTÓN)>.

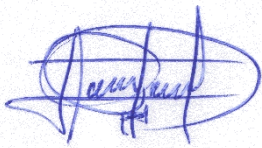
29-11-2013

2014-DBRA-UPT-2023

## SUMMARY/ABSTRACT

In this research, the concentration of radon gas in soil ( $^{222}\text{Rn}$ ) was quantified in 16 sampling points at Calpi and Cajabamba towns in Chimborazo province - central highlands of Ecuador. The experimental setup consisted of an E-PERM (SLT) detection system from Rad Elec Inc. (USA) and a metallic structure inserted in a PVC pipe that was buried in the ground next to the detection system. This allowed measuring radon levels at a depth of one meter below the ground. The same monitoring and measurement protocol was applied to all points, the altitude of the points was between 3173 and 3420 m, and the concentration fluctuated between 1133 and 5583 Bq/m<sup>3</sup>. A correlation between radon levels in soil and altitude was evidenced in six of the sampling points. One point at Cajabamba town and five at Colta town. Two physical parameters of the soil, bulk density and organic matter obtained at one meter depth, were measured at all points. The results did not show a significant correlation ( $R^2=0.11$  and  $R^2=0.05$  respectively) with the radon gas concentration at all points.

**Keywords:** <RADON GAS ( $^{222}\text{Rn}$ )>, <RADON CONCENTRATION>, <E-PERM SYSTEM>, <RADON GAS EMANATION>, <HUMIDITY>, <RIOBAMBA (TOWN)>, <COLTA (TOWN)>.



Ing. Romel Francisco Calles Jiménez, Mgs

C.I:060387771-3

## INTRODUCCIÓN

A diario los seres humanos experimentan la exposición a radiación ionizante, tanto de fuentes naturales como artificiales. La radiación generada por actividades humanas, la industria, la práctica médica y la investigación, se considera artificial. Por otro lado, la radiación natural es aquella que se encuentra en el entorno sin intervención humana, conformando nuestro entorno cotidiano. Una componente de esta radiación natural es el radón, que se presenta como la principal fuente de exposición del ser humano a la radiación ionizante. (World Health Organization, 2018)

El radón ( $^{222}\text{Rn}$ ) constituye un gas noble radiactivo que se origina a través del proceso de descomposición del radio ( $^{226}\text{Ra}$ ), perteneciente a la serie de uranio ( $^{238}\text{U}$ ). Su presencia se extiende a una amplia gama de concentraciones en diversos materiales geológicos, especialmente en rocas, suelos y cuerpos de agua. Una fracción de átomos de radón es liberada de la matriz sólida del material debido al retroceso que se produce cuando el radio se descompone. Mediante procesos de difusión y advección, estos átomos se desplazan desde espacios porosos hasta la atmósfera. (World Health Organization, 2018). El radón es uno de los principales factores contribuyentes al cáncer de pulmón en la población. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el radón representa la segunda causa más frecuente de cáncer de pulmón en la población, después del tabaquismo. (Meza, 2018)

Se han llevado a cabo investigaciones sobre el radón en diferentes partes del mundo, incluyendo Europa, América del Norte, Asia y Australia. En la provincia de Chimborazo, Ecuador, y más específicamente en los cantones Riobamba y Colta, no se han realizado investigaciones sobre los niveles de gas radón en el suelo ni se han establecido sus límites permitidos.

La cantidad de gas radón que emana del suelo se encuentra influenciada por diversos factores, siendo la permeabilidad de los más destacados. Este tipo de gas, en comparación con el uranio y el radio; que permanecen inmóviles en la materia sólida de rocas y suelos, exhibe una mayor movilidad. El radón tiene la capacidad de liberarse con mayor facilidad desde las estructuras rocosas y el suelo, escapando a través de grietas y aberturas en las rocas, así como a través de los espacios porosos que se forman entre las partículas del suelo. El modo y la rapidez con los que el radón se desplaza a través de los suelos se ven condicionados por, la humedad del suelo, el porcentaje de espacio poroso en el suelo y la interconexión de estos espacios, lo cual determina la capacidad del suelo para transportar agua y aire. Aunque el clima puede ejercer un impacto significativo en la concentración de gas radón en el suelo, en muchas ocasiones, la variación debida a las características geológicas del terreno es más pronunciada. (Rodríguez, 2015, pp. 2 - 3)

Los niveles de gas radón en el suelo pueden fluctuar debido a las condiciones climáticas, los factores atmosféricos, la permeabilidad y el tipo de suelo en la zona de estudio (Esan d. O., 2020).



Según una investigación realizada en Sevilla, se encontró que los niveles aceptables de gas radón en el suelo oscilan entre 10000 y 50000 Bq/m<sup>3</sup>. (Berenguer, 2022). Un estudio llevado a cabo en India indica que la concentración de gas radón en el suelo varía entre 941-10050 Bq/m<sup>3</sup>, y está dentro de los límites permitidos. (Mittal, 2019). De acuerdo con un análisis efectuado en Brasil se considera un nivel de riesgo normal de gas radón en el suelo cuando los valores están entre 10000 y 50000 Bq/m<sup>3</sup>. (Lara, 2020)

Este estudio está enfocado en analizar las emisiones de gas radón en el suelo mediante un monitoreo de 10 días en una muestra de 16 puntos ubicados en los cantones de Riobamba y Colta utilizando el método de detección E-PERM, al igual que investigar cómo estas emisiones se relacionan con las variaciones temporales y las características fisicoquímicas del entorno.

## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Planteamiento del problema

En Ecuador y en la provincia, la información acerca de la amenaza potencial del gas radón es limitada, ya que su principal fuente de contaminación es el suelo, siendo la concentración de uranio la causa principal. Esta concentración se desplaza por la superficie principalmente a través de difusión y convección, dependiendo de las propiedades del suelo, como la permeabilidad y porosidad.

Este gas, perteneciente a la familia de gases nobles, ha sido identificado por la OMS (Organización Mundial de la Salud) como la segunda causa principal de cáncer de pulmón, afectando principalmente a los no fumadores al provocar alteraciones en el ADN del tejido pulmonar. El gas emite partículas radiactivas que se depositan en los pulmones, afectando principalmente al sistema respiratorio.

Dado que se ha descubierto que las fallas geológicas pueden estar vinculadas a la presencia del gas radón en el suelo, es imperativo llevar a cabo un estudio para determinar la presencia de este elemento. En nuestra zona de estudio, la proximidad de la falla geológica de Pallatanga aumenta la necesidad de evaluar las concentraciones de gas radón en el suelo.

#### 1.2 Objetivos

##### 1.2.1 *Objetivo general*

- Evaluar la concentración del gas radón en suelo del sector entre la Cemento Chimborazo y Cajabamba

##### 1.2.2 *Objetivos específicos*

- Caracterizar el sistema de detección pasivo E-PERM y elaborar el protocolo de monitoreo y medición
- Determinar la correlación de la materia orgánica y la densidad aparente con las concentraciones del gas radón en suelo.
- Elaborar un mapa de los puntos de muestreo y los valores de concentración de gas radón en suelo.

### **1.3 Justificación**

La investigación actual tiene como objetivo principal la primera determinación de las concentraciones de gas radón en el suelo de esta región, ya que no se cuenta con información previa al respecto. Los datos recolectados formarán parte integral del proyecto "Exploración de la falla Pallatanga con técnicas nucleares y geofísicas (radón, magnetometría y gravimetría): estudio de caso de un área sísmicamente activa en Ecuador". La viabilidad técnica de esta investigación se respalda en la disponibilidad de equipamiento especializado, experiencia y un laboratorio de suelos adecuado en la ESPOCH.

Desde el punto de vista económico, esta investigación resulta viable gracias al respaldo institucional, que incluye el soporte logístico, la operación de laboratorios y la colaboración de dos tesistas, respaldados por el técnico a cargo del proyecto. La información recopilada tendrá un impacto positivo significativo al proporcionar datos clave sobre las concentraciones de gas radón en el área mencionada, lo que contribuirá a evaluar los posibles riesgos futuros asociados con dicha región.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Radón

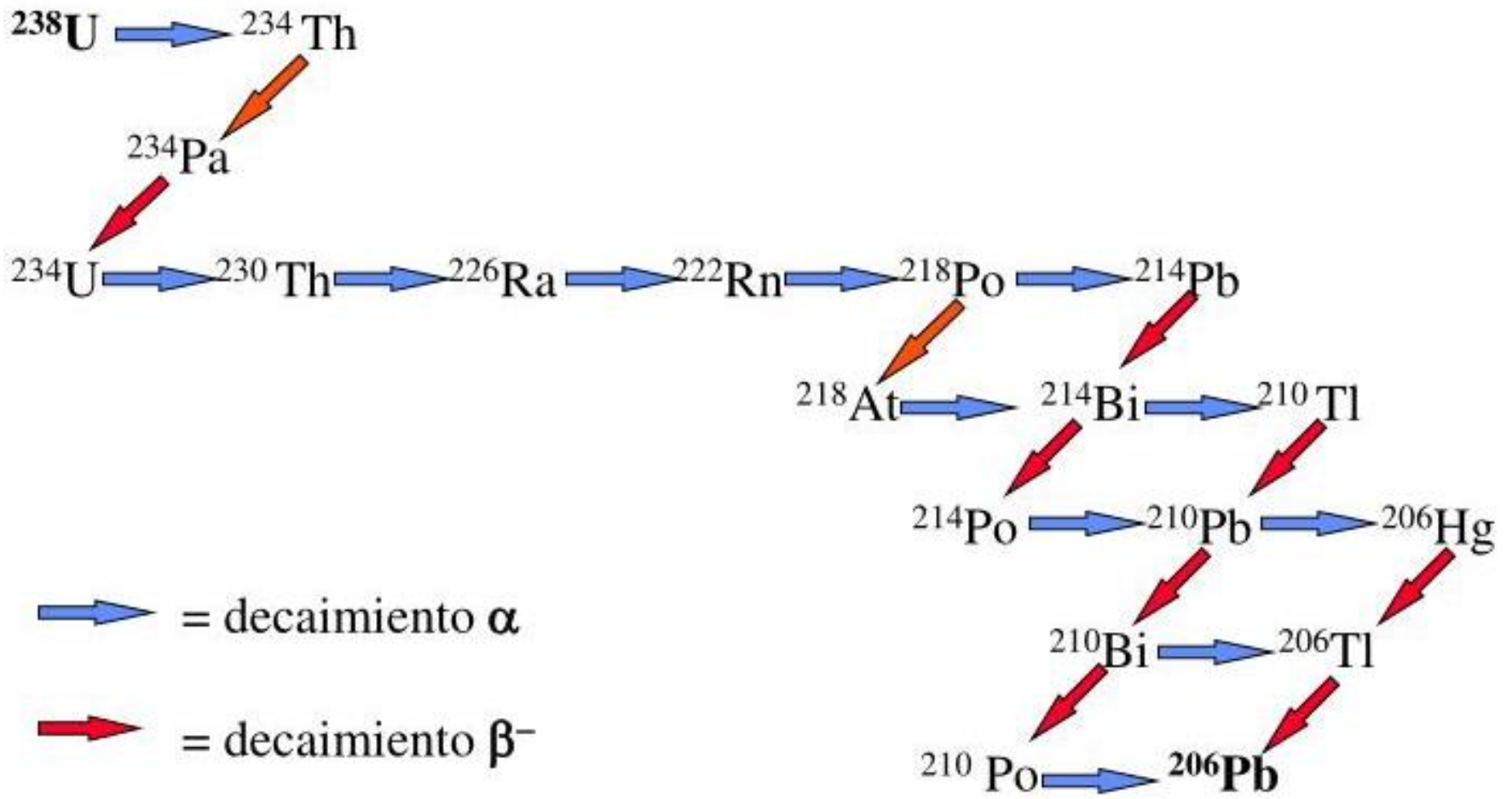
El radón se forma como un subproducto de la desintegración radiactiva del uranio y el torio en el suelo y las rocas subterráneas. Cuando el uranio se descompone, libera partículas alfa y beta, así como radón gaseoso. El radón, siendo un gas noble, migra hacia la superficie de la tierra y se escapa al aire. En áreas con concentraciones de uranio y torio en el suelo, la concentración de radón en el aire puede ser significativa.

Generalmente este puede desintegrarse en un lapso de 3.8 días, y se encuentra en minas y en el suelo por lo general, cabe mencionar que este puede ser encontrado con mayor facilidad, en lugares donde existió mucha concentración de radio 226. (Chimbo, 2021)

Cada una de estas series posee sus propias características distintivas. Esto implica que cada serie está compuesta por un elemento padre que tiene una vida media prolongada, así como una serie de nucleidos descendientes que finalmente conducen a la formación de un producto final estable. Existen tres isótopos que se originan en diferentes cadenas de desintegración radiactiva:

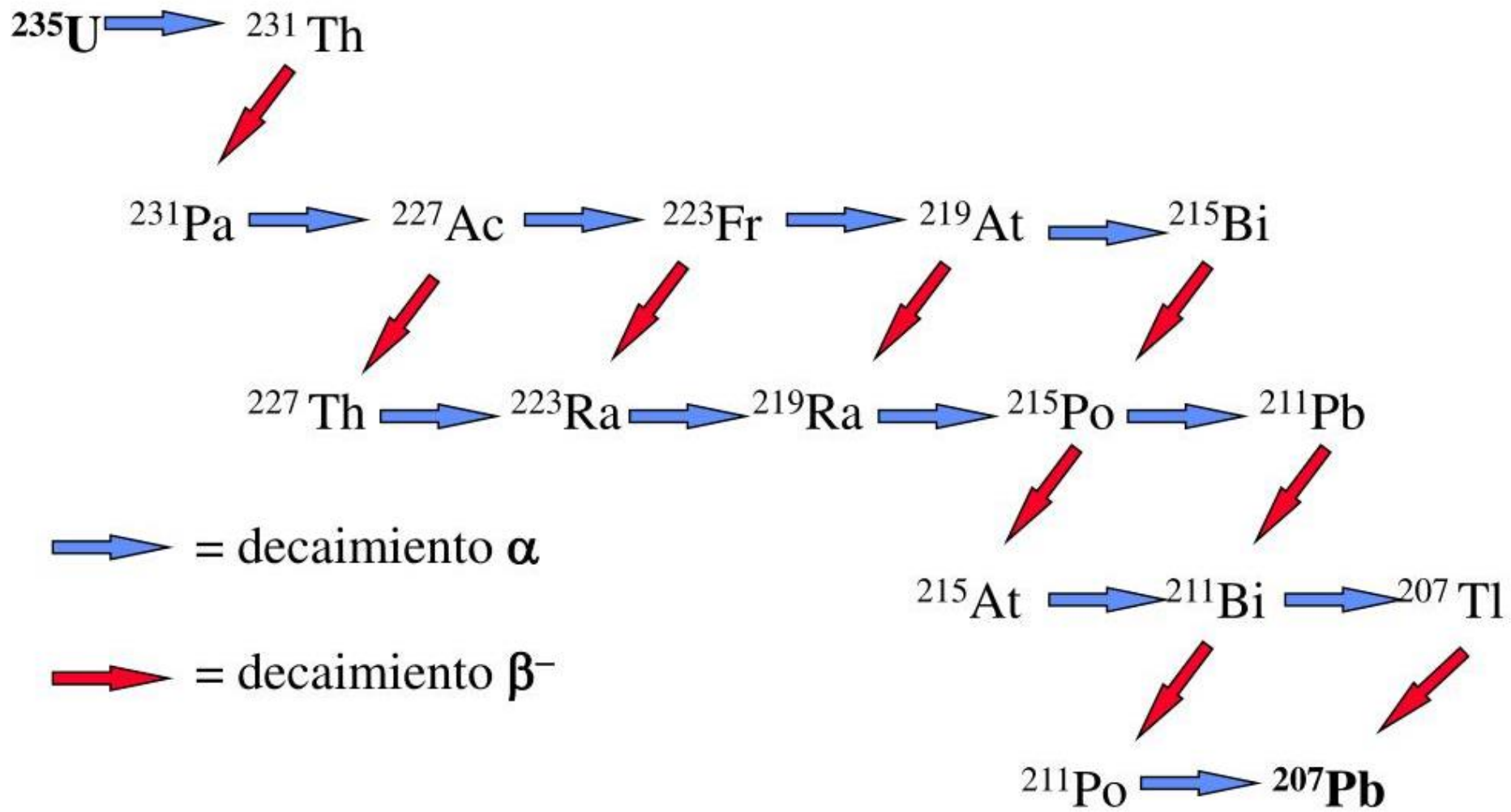
- La serie del uranio 238 ( $U_{238}$ ) comienza con la formación de radio ( $Ra_{226}$ ), que posteriormente se transforma en radón 222 ( $Rn_{222}$ ).
- La serie del uranio 235 ( $U_{235}$ ) genera el radio 223 ( $Ra_{223}$ ), el cual se descompone en radón 219 ( $Rn_{219}$ ).
- La serie del torio 232 ( $Th_{232}$ ) da lugar al radio 224, que finalmente se convierte en radón 220 ( $Rn_{220}$ ).

Estas tres formas químicas, especialmente las dos primeras junto con el  $^{222}Rn$  son las más comunes en la naturaleza. El  $^{222}Rn$ , en particular, es de gran relevancia para la salud humana, ya que se considera un factor de riesgo para el desarrollo de cáncer. (Duncan, 2019)



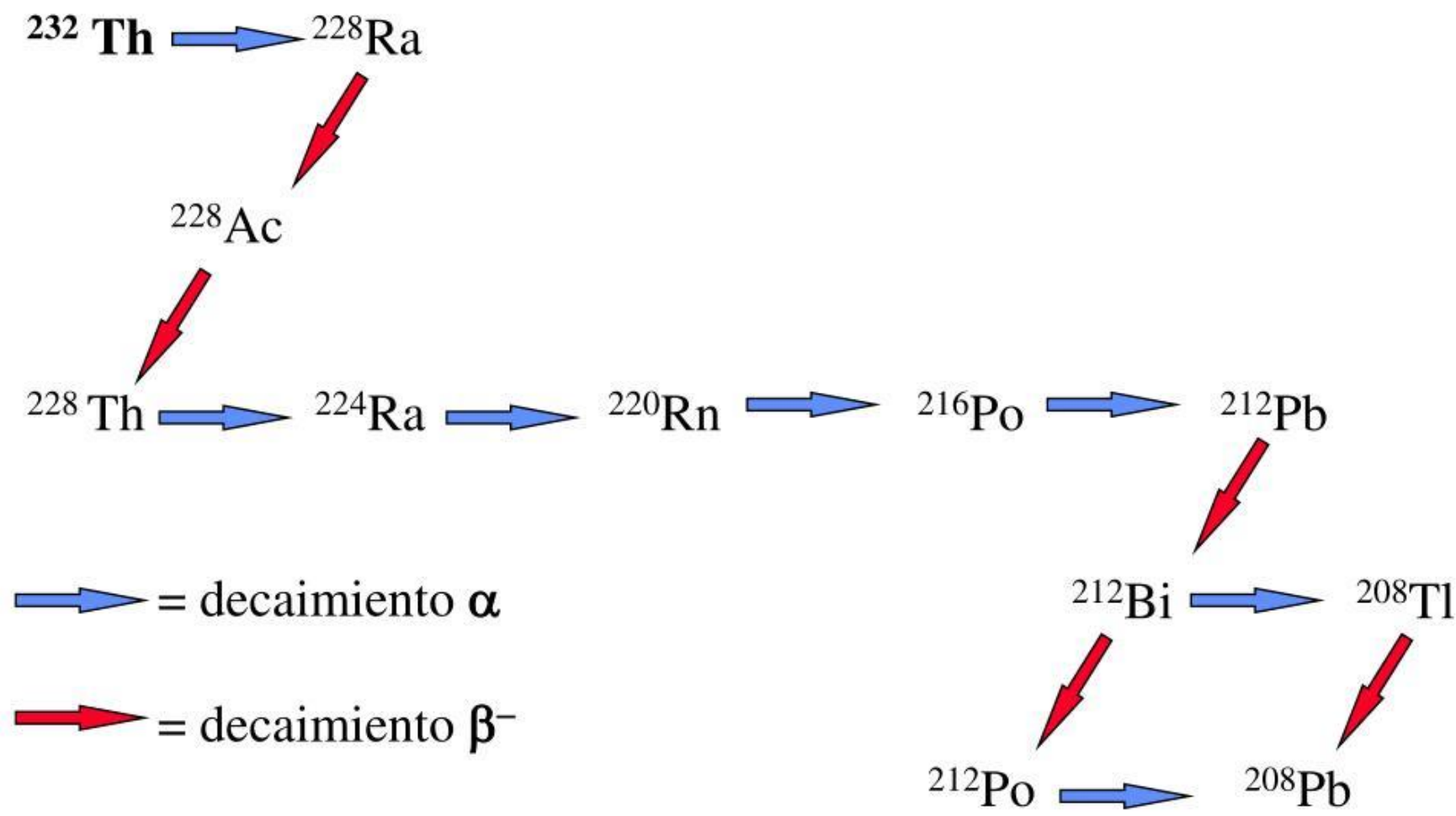
**Ilustración 2-1:** Serie de decantación natural del Uranio 238

Fuente: (Duncan, 2019)



**Ilustración 2-2:** Serie de decaimiento natural del Uranio 235

Fuente: (Duncan, 2019)



**Ilustración 3-3:** Serie de decaimiento natural del Torio 232

Fuente: (Duncan, 2019)

## 2.2 Propiedades Químicas del radón

Elemento gaseoso inerte y radioactivo; es inodoro, incoloro, e inestable en sus isótopos. El radón puede ser denso en el aire y soluble en el agua; por lo general en la naturaleza se encuentra en estado gaseoso, tiene un comportamiento de metaloide a pesar de ser un gas noble. No reacciona con otros elementos, es un elemento inerte, con un número atómico 86. (Cabay, 2021)

**Tabla 2-1:** Propiedades químicas del radón

Características	Especificación
Fórmula molecular	Rn
Número atómico	86
Peso Molecular	222
Configuración Electrónica	[Xe] 4f14 5d10 6s2 6p6
Niveles electrónicos	2, 8, 18, 32, 18, 8
Temperatura de fusión	-71°C
Temperatura de ebullición	-61 °C
Densidad en estado gaseoso	9, 73 g/L
Propiedades organolépticas	Incoloro, inodoro, insaboro

Fuente: (Cabay, 2021)

## 2.3 Propiedades Físicas del radón

El radón es un gas que carece de color, sabor y olor, y cuando se somete a temperaturas bajas en comparación con su punto de congelación, que es inferior a -71°C, muestra una luminiscencia fosforescente con distintos matices, incluyendo tonos amarillos y rojo-anaranjados. Este gas tiene la capacidad de disolver compuestos orgánicos, especialmente hidrocarburos y ácidos grasos, y su capacidad de disolución tiende a aumentar a medida que aumenta la masa molecular del ácido. Sin embargo, es poco soluble en agua en general, y esta solubilidad disminuye a medida que la temperatura aumenta. El isótopo <sup>222</sup>Rn del radón tiene una vida media de 3.8232 días y se considera perjudicial para la salud cuando se está expuesto a concentraciones elevadas. (Cabay, 2021)

**Tabla 2-2:** Propiedades físicas del radón

Parámetros	Radón-222
Densidad	(0°C Y 1 atm): 9,73 Kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad	(20°C Y 1 atm): 229,0 micro poises
Solubilidad en Agua	(20°C Y 1 atm): 230,106 m <sup>3</sup> /Kg

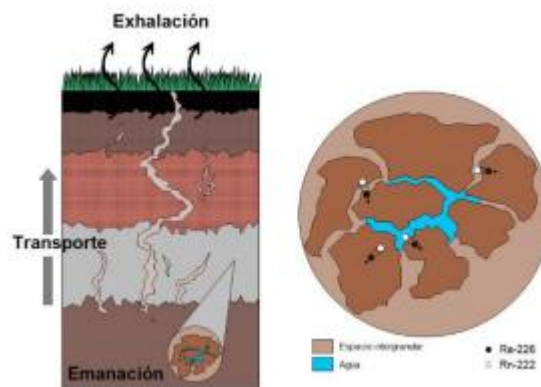
Fuente: (Cabay, 2021)



## 2.4 Mecanismo de producción y liberación del radón

El radón no solo depende del  $^{226}\text{Ra}$ , si no también influyen las condiciones geológicas y climatológicas, el radón liberado puede moverse en los espacios intersticiales del suelo; esto se observa que, en rocas y sedimentos de forma natural, por lo que se acumula en el aire de los poros, tanto en rocas como en suelo, que es ahí donde existe la exhalación que llega a la atmósfera. Cabe mencionar que, al ser un gas noble, tiene la capacidad de ser soluble en el agua, existiendo así en todos los ambientes (Tello, 2021).

El radón se libera después de ser expulsada una partícula alfa del núcleo del  $^{226}\text{Ra}$ , esto genera un retroceso del átomo  $^{222}\text{Rn}$ , después de este proceso solo entre el 10 y 50% ingresa al poro, el otro porcentaje sigue en el grano donde fue producido. Por lo general entre minerales del suelo el radón puede moverse entre 0,2 y 0,7 micrómetros, por lo general el radón jamás escapa de la zona de donde fue creado. (Knoll, 2018)



### Ilustración 2-4: Emanación, difusión y exhalación del Rn

Fuente: (Chimbo, 2021)

## 2.5 Mecanismo de transporte

Los mecanismos de transporte del radón se refieren a los procesos por los cuales el gas radón se desplaza desde el suelo o las rocas subterráneas hasta la superficie de la tierra y luego se libera al aire. Los mecanismos de transporte del radón son cruciales para comprender cómo este gas radioactivo puede entrar en las viviendas y afectar la salud humana. A continuación, se describen los principales mecanismos de transporte del radón: (Mora, 2018)

- **Convección del Suelo:** La convección del suelo se refiere al movimiento del radón causado por la circulación del agua subterránea. El agua subterránea puede llevar consigo el radón disuelto y liberarlo en la superficie cuando emerge en manantiales, pozos o áreas de descarga.

- **Advección del Suelo:** La advección del suelo se relaciona con el movimiento del radón debido al flujo de aire subterráneo a través de cavidades, grietas o poros en el suelo. Este proceso puede ser una fuente significativa de radón en espacios cerrados, como viviendas, si el radón transportado por la advección entra en el interior.
- **Migración a Través de Materiales Porosos:** En algunos casos, el radón puede moverse a través de materiales porosos, como capas de grava o arena, creando un camino hacia la superficie.
- **Difusión en el Agua:** El radón disuelto en el agua subterránea también puede migrar a la superficie cuando el agua sube a través de pozos o se utiliza en sistemas de agua potable. El radón se libera del agua en forma de gas cuando entra en contacto con el aire.

## **2.6 Emanación, Difusión y exhalación**

El surgimiento de radón en distintos gránulos del suelo es resultado del desgaste de ciertos elementos radiactivos debido a su decaimiento. En ocasiones, este gas puede quedar atrapado dentro de la misma matriz del suelo. Por esta razón, para que se produzca la migración del gas, es esencial que el suelo presente una alta porosidad. (IAEA, 2019)

Una vez que se ha generado la emanación de radón, los átomos de este gas encuentran su camino hacia la superficie del suelo utilizando un proceso conocido como difusión a través del terreno. Esto tiene como propósito liberar el radón en el aire circundante. Este mecanismo de transporte tiene lugar cuando el suelo presenta fisuras superficiales o cavidades, generando gas o disponiendo de espacios vacíos. La difusión, es uno de los principales mecanismos de transporte del radón en la mayoría de las situaciones, ya que se basa en la transferencia de este gas a través del suelo para alcanzar su objetivo final en la superficie. (US EPA, 2017)

La exhalación de radón se refiere al proceso mediante el cual el gas radón, se libera desde su lugar de origen hacia la superficie de la Tierra y, eventualmente, hacia la atmósfera. Esta liberación de radón puede ocurrir en diversas ubicaciones y es una fuente potencial de contaminación radiactiva en espacios cerrados, como viviendas y edificios, si el gas se acumula en concentraciones significativas.

La exhalación de radón está influenciada por varios factores, como la concentración de radón en el suelo, las características geológicas de la zona, la permeabilidad del suelo, las fisuras o cavidades presentes, y las condiciones meteorológicas, entre otros, que se describen a continuación: (World Health Organization, 2018).

- **Fuentes de radón:** El radón se produce como un subproducto de la desintegración radiactiva del uranio y el torio presentes en el suelo y las rocas. Estos elementos radiactivos se descomponen a lo largo del tiempo y generan radón como uno de los

productos de desintegración. Por lo tanto, las áreas que contienen altas concentraciones de dichos elementos tienen un mayor potencial de exhalación de radón.

- Permeabilidad del suelo y las rocas: La exhalación del radón está influenciada por la permeabilidad del suelo y las rocas. Los suelos y las rocas porosos y permeables permiten que el radón se mueva a través de ellos más fácilmente. La exhalación del radón puede ser más alta en suelos y rocas con alta porosidad y permeabilidad.
- Factores ambientales: Varios factores ambientales pueden influir en la exhalación del radón. La temperatura y la humedad del suelo y las rocas pueden afectar la velocidad de exhalación del radón. Se ha observado que la exhalación del radón tiende a aumentar con la temperatura y la humedad relativa. Además, las condiciones atmosféricas, como la velocidad y dirección del viento, pueden influir en la dispersión del radón liberado al aire.

En otras palabras, La emisión de radón desde el suelo o las rocas subterráneas se debe a la desintegración radiactiva de elementos como el uranio y el torio. Cuando el radón se genera, busca su camino hacia la superficie a través de un proceso llamado difusión, liberándose en el aire circundante. Este transporte depende de la porosidad del suelo y la presencia de fisuras o cavidades que permitan la migración del gas. La liberación de radón, conocida como exhalación, puede ocurrir en diversas ubicaciones y representa una posible fuente de contaminación radiactiva en espacios cerrados si el gas se acumula en concentraciones significativas. Varios factores, como la concentración de radón en el suelo, las características geológicas, la permeabilidad del suelo y las condiciones meteorológicas, influyen en la exhalación de radón. (Barros, 2019)

## **2.7 Efectos biológicos por inhalación del $^{222}\text{Rn}$**

El radón es un gas radiactivo incoloro e inodoro que se forma de manera natural a partir de la descomposición del uranio en el suelo y las rocas. Uno de los principales riesgos asociados con el radón es su capacidad para emitir partículas alfa, que son partículas cargadas capaces de dañar el tejido biológico. Cuando el radón se descompone, produce subproductos radiactivos que se adhieren a las partículas de polvo suspendidas en el aire. Estas partículas pueden ser inhaladas y depositarse en los pulmones, donde la radiación alfa puede dañar las células cercanas y aumentar el riesgo de cáncer a largo plazo. De hecho, la inhalación de radón es una de las principales causas de cáncer de pulmón en personas no fumadoras y puede representar un riesgo significativo para la salud en áreas con altos niveles de radón en interiores. (NRC, 2018)

La magnitud de los efectos biológicos por la inhalación de radón depende en gran medida de la concentración de radón en el entorno y la duración de la exposición. Las partículas radiactivas alfa pueden causar daños en el ADN de las células pulmonares, lo que aumenta la probabilidad de mutaciones y, en última instancia, la posibilidad de desarrollar cáncer. La exposición crónica

y prolongada al radón puede ser especialmente perjudicial, ya que los daños acumulativos en las células pulmonares pueden llevar años en manifestarse clínicamente. Para reducir el riesgo de efectos biológicos por inhalación de radón, es importante tomar medidas de mitigación en áreas donde los niveles son elevados, como mejorar la ventilación en interiores y sellar grietas en los cimientos para prevenir la entrada del gas desde el suelo. . (US EPA, 2017)

## **2.8 Comisión Internacional de Protección Radiológica**

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR o ICRP por sus siglas en inglés) es una organización independiente y científica que se dedica a establecer estándares y recomendaciones para la protección radiológica a nivel global. Fundada en 1928, la CIPR tiene como objetivo principal evaluar los riesgos y los efectos de la exposición a la radiación ionizante en la salud humana y el medio ambiente, y proporcionar directrices basadas en la evidencia científica para minimizar esos riesgos. La comisión está compuesta por expertos de diversas disciplinas, como la física, la biología, la medicina y la radiología, que colaboran para desarrollar enfoques coherentes y armonizados para la protección radiológica en todo el mundo.

La ICRP emite recomendaciones que abordan una amplia gama de temas relacionados con la protección radiológica, como los límites de dosis ocupacionales y públicas, los niveles permisibles de contaminación radiactiva en el medio ambiente, y las estrategias para gestionar y mitigar situaciones de exposición a la radiación. Sus directrices son utilizadas por los gobiernos, las organizaciones internacionales y los expertos en radiología y seguridad nuclear para desarrollar regulaciones y políticas que aseguren un uso seguro de la radiación ionizante en la medicina, la industria y otras áreas. La ICRP desempeña un papel crucial en la promoción de la cooperación internacional en materia de protección radiológica y en la garantía de que los avances científicos más recientes se integren en los estándares de seguridad radiológica en todo el mundo. (J-F. Lecomte, 2014)

## **2.9 Cantón Riobamba- Calpi**

Riobamba, situada a 2.754 metros sobre el nivel del mar en la Sierra Central del Ecuador, se encuentra a 188 km al sur de Quito, la capital del país. Como la capital de la Provincia de Chimborazo, Riobamba desempeña un papel crucial como punto de conexión entre las diferentes regiones ecuatorianas: la Costa, la Sierra y el Oriente. Esta función se ve respaldada por su red de vías de acceso y la intensa actividad comercial y social que ha florecido a lo largo de las décadas. Esta diversidad ha enriquecido la identidad de la ciudad.

La ciudad cuenta con 5 parroquias urbanas y 11 rurales, incluyendo Calpi. Su economía se basa en la agricultura y ganadería en las zonas rurales, mientras que, en la zona urbana, el comercio ha prosperado gracias a la presencia de diversos negocios que han creado oportunidades de empleo.

Esta dinámica ha contribuido al desarrollo económico y social de Riobamba, aprovechando al máximo su ubicación geográfica estratégica. (GADM, 2022)

Calpi, situada en el Cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo, es una parroquia rural con el significado de "Río de la araña". Es un pueblo antiguo donde vivían varias parcialidades o ayllus como los Calpi o Cápac. Ubicada a unos 15 minutos al sur de la ciudad de Riobamba, que es la capital de la provincia, a lo largo de la carretera Panamericana, Calpi cuenta con 19 comunidades que representan aproximadamente 18,000 habitantes, en su mayoría de origen indígena y campesino. La economía local se basa en la producción agrícola, centrada en granos y tubérculos, además de la cría de llamas y alpacas, cuya carne se utiliza en deliciosas recetas, y cuya lana es habilidosamente transformada por artesanos en vestimentas y artesanías textiles, impulsando así la economía de las comunidades de la Parroquia. (Quintana, 2023)

## **2.10 Clima Riobamba- Calpi**

El clima del Cantón Riobamba por lo general es Frío porque se encuentra en el centro del callejón interandino, donde se pueden apreciar seis estaciones, Ecuatorial frío alta montaña en las parroquias de Calpi, Pungalá, este y oeste de Quimiag, noreste de Licto, sur de San Juan y oeste de Licán, se caracteriza por el alto frío y vegetación variable. Ecuatorial frío seco alta montaña al norte de San Juan. Ecuatorial frío semi húmedo alta montaña en San Juan, el centro de Quimiag y sur oeste de Pungalá. (GAD, 2015).

Según datos de la estación Meteorológica de la ESPOCH, en relación con la temperatura en las parroquias, se registra un promedio de 11°C al norte y sur del cantón en las parroquias de Pungalá San Juan y parte de la parroquia Licto; mientras que, en las parroquias de Licán, Cacha, Riobamba, San Luis, Punin, Quimiag y Flores las temperaturas medias son de 12°C a 13°C (GAD,2015).

La presión atmosférica máxima para corresponder a los meses de Julio y agosto con un aproximado de 549,6 mmHg, la presión atmosférica mínima corresponde a los meses de enero, febrero, noviembre, diciembre con un aproximado de 547,8 mmHg, realizando una media de 548,8 mmHg, representando un promedio de presión atmosférica durante el año de 548,3 mm de Mercurio. (GAD, 2015).

En las zonas más bajas del cantón la presión atmosférica es más fuerte que en las zonas altas. La presión atmosférica influye directamente en los humanos debido a que las estructuras del cuerpo varían al aumento de presión, se disminuye el volumen gaseoso e inversamente cuando baja la presión, aumenta el volumen del gas (GAD, 2015).

## **2.11 Cantón Colta- Cajabamba**

El cantón Colta, se encuentra ubicado en la parte noroccidental de la provincia de Chimborazo. Asentada en lo que fue la antigua ciudad de Riobamba, a los pies del histórico cerro Culca y al norte de lo que fue la antigua Liribamba. Los habitantes del Cantón en un 70% son de raza indígena y el 30% restante son mestizos. El idioma predominante es el Kichwa. Es la cuna de hombres y mujeres de conocimiento y jerarquía como el sabio Pedro Vicente Maldonado, el Padre Juan de Velasco (Primer Historiador del país), razones por las cuales se le ha denominado: Capital de la Nación Puruhá, Corazón de la Civilización Andina y Cuna de la Nacionalidad Ecuatoriana. En el cantón Colta, se encuentra en pequeña escala una industria molinera y mediana escala se elaboran shigras (bolsos de hilo y cabuya) y esteras a nivel casero. La mayor parte de sus habitantes se dedica a labores agrícolas y agropecuarias, otro sector al comercio y gran parte migra a grandes ciudades de la costa, principalmente a trabajar de jornaleros o comerciantes. Formada por dos parroquias urbanas Cajabamba y Cicalpa denominadas Villa La Unión. (GAD C. , 2022)

La parroquia de Cajabamba es considerada cabecera cantonal del cantón Colta, es una de las parroquias más altas del país. La mayor parte de sus habitantes se dedica a labores agrícolas.

## **2.12 Clima: Colta-Cajabamba**

Los modelados interandinos Superiores están por lo general bien disertados, con presencia de desniveles amplios y pendientes fuertes a muy fuertes. Por el contraste climático, en oposición a las Cimas Frías de las Cordilleras Heredadas de formas Paleo glaciares, las cuales poseen clima Frío, precipitaciones bajo la forma de nieve y con una cobertura nubosa muy frecuente: esta unidad está en posición de resguardo climático ya que las masas provenientes de las regiones occidental y oriental han perdido parte de su humedad por precipitaciones orográficas ocurridas sobre las vertientes externas y las cimas.

La temperatura máxima promedio es 12°C durante junio en Cajabamba y la mínima es alrededor de 5°C. En julio llueve durante 20 días un total de 52 mm y durante este mes hay 11 días secos en Cajabamba. (Meteo, 2023)

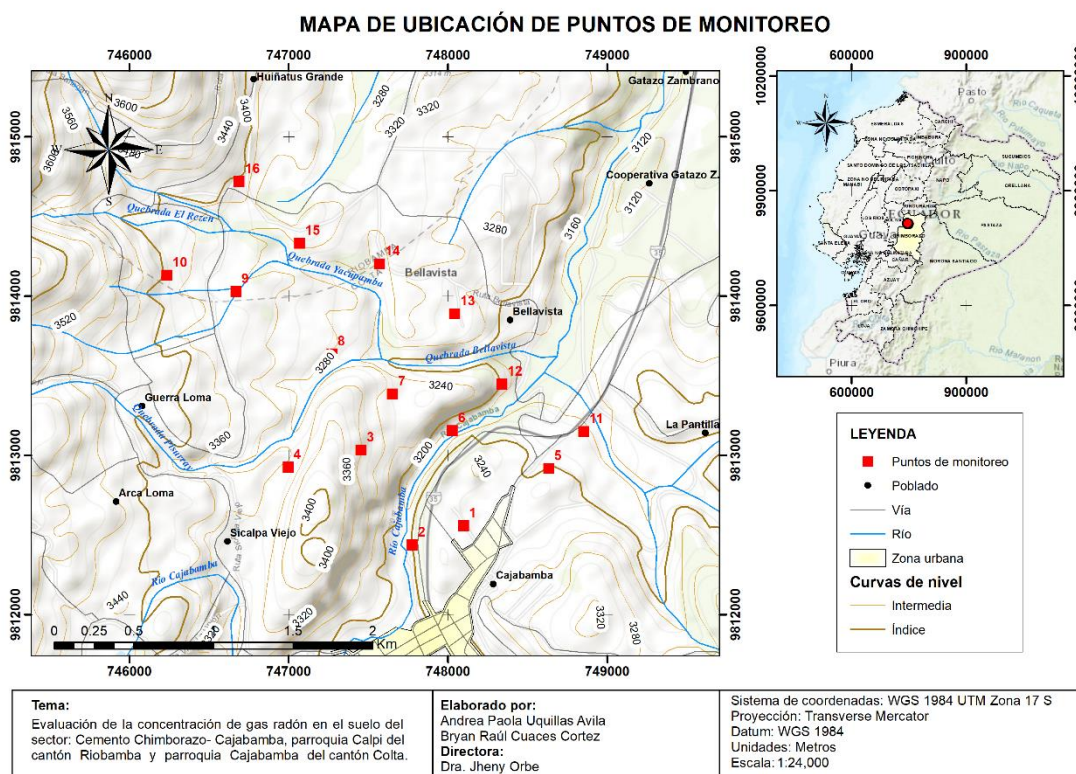
## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Descripción del área de estudio

La zona de investigación se encuentra en la provincia de Chimborazo, ubicada al centro sur del país, la cual abarca el sector de la Cemento Chimborazo, situada entre la parroquia Calpi del cantón Riobamba, así como Cajabamba, que está ubicada dentro del cantón Colta.

Los puntos de recolección de muestras fueron elegidos a una distancia aproximada de 500 metros entre sí, manteniendo una distribución equidistante. Se estableció una densidad de 4 puntos por kilómetro cuadrado en las áreas pobladas y en zonas agrícolas previamente no evaluadas.



#### 3.2 Descripción del Set Up experimental

El diseño experimental incluye un sistema de detección (SLT) junto con un tubo de PVC (policloruro de vinilo) que contiene una estructura metálica. Esta estructura se encuentra dentro del tubo y en su parte superior se coloca una tapa con el propósito de prevenir la liberación del gas radón al igual que prevenir que no este en contacto con tierra, piedras, ni ningún tipo de raíz.

El sistema de detección (SLT) consiste de un detector pasivo (Electret long term) enroscado en la parte inferior de una cámara de ionización modelo S, fabricado y comercializado por RAD ELEC INC, y un dispositivo lector de voltaje (SPER-1E) de la superficie del Electret.



### **Ilustración 3-1:** Sistema de detección E-PERM

**Fuente:** (Rad Elec Inc, 2023)

Electret Long Term (LT), Estos discos se emplean en mediciones que abarcan de 1 a 12 meses, poseen un grosor de 0.0127cm y son menos sensibles en comparación con los discos de corta duración (Electret short term). Se identifican por su sello de color rojo y su disco de teflón es de color dorado. El material utilizado para fabricarlos es el tetrafluoretileno.



### **Ilustración 3-2:** Electret Long Term

**Fuente:** (Rad Elec Inc, 2023)

La cámara de ionización es fabricada por la compañía Rad Elec Inc. quien realiza diversas variantes de cámaras de ionización. Para esta investigación se empleó el modelo S, el cual está construido con plástico y tiene un volumen de 210 ml. Esta cámara cuenta con un mecanismo de encendido/apagado. En la Figura 2-3, se puede observar a la derecha la cámara apagada y a la izquierda la cámara encendida.

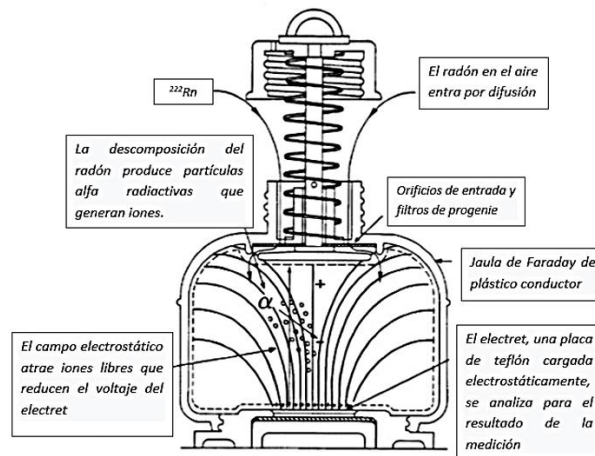




**Ilustración 3-3: Cámara “S”**

Fuente: (Rad Elec Inc, 2023)

El sistema E-PERM (SLT) opera según el siguiente principio: El aire que contiene radón, presente en el entorno residencial o laboral, ingresa a la cámara del sistema a través de los orificios ubicados en la parte superior. Estos orificios cuentan con filtros para evitar la entrada de la progenie del radón. Dentro de la cámara, la desintegración del radón y su progenie provoca la ionización del aire. Los iones negativos son atraídos hacia el Electret, que se encuentra cargado positivamente, mientras que los iones positivos se dirigen hacia las paredes de la cámara y se disipan. La disminución del voltaje del Electret es proporcional a la concentración de radón en el aire que se encuentra dentro del tubo PVC y al tiempo de exposición. En la figura 2-4, Se visualiza el funcionamiento de dicho sistema.



**Ilustración 3-4: Esquema del funcionamiento del sistema E-PERM (SLT)**

Fuente: (Rad Elec Inc, 2023)

El más reciente modelo de lector de voltaje de Rad Elec Inc. es el SPER-1E Figura 2-5 Este dispositivo está equipado con una pantalla, un plato diseñado para colocar el detector, una manija de obturador y baterías externas. El SPER-1E es el componente central del sistema E-PERM, ya que permite medir el voltaje en la superficie de cualquier Electret. Además, se incluye un estuche de transporte seguro, un juego de dos Electret de referencia y un Electret de puesta a cero.



**Ilustración 3-5:** Lector de voltaje modelo SPER-1E

**Fuente:** (Rad Elec Inc, 2023)

Los tubos de PVC (policloruro de vinilo) son termoplásticos fuertes y duraderos a las condiciones del suelo. Capaces de resistir productos químicos, radiación ultravioleta, proliferación de hongos y gases provenientes de alcantarillas, así como evitando fugas e invasiones de raíces. Totalmente sellados para evitar filtraciones en ambas direcciones. Las medidas de los tubos utilizados son de 6 pulgadas por 1 metro de altura.

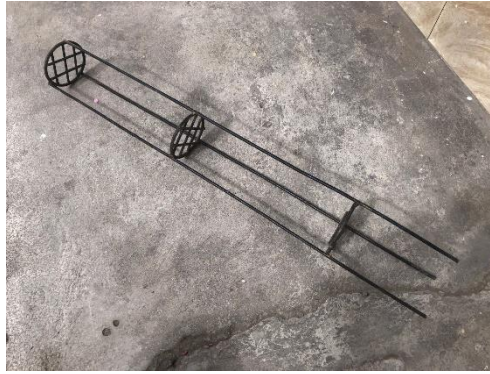


**Ilustración 3-6:** Tubo PVC

**Fuente:** (CAUCA, 2018)

**Realizado por:** Cuaces & Uquillas, 2023

La estructura metálica utilizada, está hecha de hierro y sus dimensiones son de 1 metro de altura por 12cm de diámetro, cada stand es separado por 40cm de altura.



**Ilustración 3-7:** Estructura de metal

**Realizado por:** Cuaces & Uquillas, 2023

Todo el set up utilizado en esta investigación se encuentra disponible en el laboratorio de Técnicas Nucleares en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH

**3.3 Protocolo de monitoreo y medición de  $^{222}\text{Rn}$  en suelo**

**3.3.1 Preparación y montaje**

- En el punto de muestreo se realizan las siguientes fases:
- Limpieza de la cámara para eliminar cualquier rastro de polvo, derrames de líquidos, etc.
- Medición el voltaje inicial del Electret y anotación de fecha y hora.
- Configuración del medidor de dosis de radiación gamma ambiental GAMMA SCOUT para realizar lecturas con intervalos de tiempo de un minuto y su colocación a una altura de aproximadamente 5-10 cm sobre el suelo. Se registra la hora y fecha de inicio.

**3.3.2 Posicionamiento del sistema E-PERM**

- En el punto de muestreo, se utiliza una herramienta de excavación (hoyadora) para realizar un agujero de 1.15 metros de profundidad, cuidando que las dimensiones horizontales de este sean solo las necesarias para poder operar la hoyadora y minimizar la alteración del suelo y subsuelo, evitando así sesgos en las mediciones debido a la perturbación del entorno.
- A continuación, se instala un tubo en el fondo del agujero excavado, se coloca la cámara abierta con el Electret en la estructura metálica en su primer stand (1m del suelo) y con cuidado, se introduce la estructura en el tubo, evitando que caiga tierra dentro del sistema de detección E-PERM.

- Luego se tapa el tubo y se procede a enterrarlo, compactando los laterales del agujero cada 40 cm aproximadamente para asegurar su estabilidad. La tapa del tubo debe quedar cubierta con al menos 5 cm de suelo (nivel original).

### 3.3.3 Finalización de la medida

- Transcurrido el tiempo de exposición (10 días), con precaución, se excavan los primeros centímetros de suelo hasta encontrar la tapa del tubo, evitando dañarla con la herramienta de excavación. Es importante evitar que caiga tierra dentro del tubo y de las cámaras abiertas con los Electrets.
- Se extrae la estructura metálica que contiene el sistema E-PERM, se cierra la cámara y se mide el voltaje del Electret extraído, registrando fecha, hora y medida correspondiente. Finalmente, se guardan todos los equipos y se procede a desenterrar el tubo para luego rellenar nuevamente el agujero.

### 3.3.4 Cálculo de la concentración de $^{222}\text{Rn}$

La determinación de la concentración de radón en el suelo se lleva a cabo utilizando la siguiente ecuación. (KOTRAPPA, 1990)

$$RnC = \frac{(V_i - V_f)}{(T) \times (CF)} - BG$$

Donde:

RnC: Es la concentración de radón en  $\text{Bq}/\text{m}^3$

$V_i - V_f$ : Es el voltaje inicial y final del Electret, respectivamente.

T: Es el tiempo de exposición en días.

CF: Factor de calibración el cual se calcula con la ecuación:

$$CF(\text{LT}) = 0.00481 + 0.0000168 \times \frac{V_i + V_f}{2}$$

BG: Es la concentración de  $^{222}\text{Rn}$  equivalente a la radiación gamma.

### 3.3.5 Determinación de la tasa de dosis de radiación gamma ambiental (BG)

Para obtener los valores de tasa de dosis de radiación gamma ambiental de cada punto, se llevó a cabo la medición durante un periodo de 15 minutos en intervalos de un minuto con el equipo GAMMA SCOUT, se calculó la media de todos los datos recopilados durante el periodo de exposición y también como valor de tendencia central se determinó la desviación estándar.

### **3.4 Protocolo de monitoreo de la humedad y temperatura dentro del tubo**

#### **3.4.1 Preparación y montaje**

- Asegurarse de que el dispositivo de temperatura y humedad (ecowitt) esté operando correctamente y esté ajustado para realizar mediciones cada hora.

#### **3.4.2 Posicionamiento de los equipos**

- En un solo punto determinado de muestreo (Punto 1), se utiliza una herramienta de excavación (hoyadora) para realizar un agujero de 1.15 metros de profundidad, cuidando que las dimensiones horizontales de este sean solo las necesarias para poder operar la hoyadora y minimizar la alteración del suelo y subsuelo, evitando así sesgos en las mediciones debido a la perturbación del entorno.
- Una vez colocado el tubo en el fondo del agujero excavado, se instala el medidor continuo de humedad/temperatura, en el segundo stand cerca de la base de la estructura metálica (0.75 cm del suelo) para mantenerlos protegidos ya que se quedarán sumergidos por 10 días, es importante señalar que estos dispositivos son colocados bajo tierra junto al sistema de detección E-ERM. Esto se hace con el propósito de monitorear continuamente las condiciones ambientales en el interior del tubo PVC, registrando los niveles de temperatura y humedad cada hora mediante un datalogger.
- Luego se tapa el tubo y se procede a enterrarlo, compactando los laterales del agujero cada 40 cm aproximadamente para asegurar su estabilidad. La tapa del tubo debe quedar cubierta con al menos 5 cm de suelo (nivel original).

#### **3.4.3 Finalización de la medida**

- Transcurrido el tiempo de exposición (10 días), con precaución, se excavan los primeros centímetros de suelo hasta encontrar la tapa del tubo, evitando dañarla con la herramienta de excavación. Es importante evitar que caiga tierra dentro del tubo, del sistema E-PERM (SLT) y del equipo de temperatura y humedad. Se extrae la estructura metálica que contiene los equipos, registrando la fecha y hora correspondiente. Finalmente, se guardan todos los dispositivos y se procede a desenterrar el tubo para luego rellenar nuevamente el agujero.

#### **3.4.4 Recolección de datos**

- La humedad y temperatura se las obtiene a través de la descarga de los datos recolectados por el equipo ECOWITT.

### **3.5 Protocolo para obtener la muestra de suelo y determinar densidad aparente y materia orgánica**

#### **3.5.1 Preparación y montaje**

- En el punto de muestreo se realizan las siguientes fases:
- Etiquetamos la funda plástica mediana “Ziploc” o similar de aproximadamente 18x20, de manera única para identificar el lugar, el punto de muestreo y la fecha de la recolección de la muestra.
- Anotamos el número del cilindro destinado a la extracción de la muestra de suelo, así como la fecha y hora correspondientes.

#### **3.5.2 Toma de muestra**

- En el punto de muestreo, una vez alcanzada la profundidad de 1 metro, se extrae una muestra de suelo con un cilindro para su posterior caracterización en el laboratorio. Se etiqueta y se envuelve herméticamente con plástico film para evitar la pérdida de humedad.

#### **3.5.3 Datos fisicoquímicos en el laboratorio**

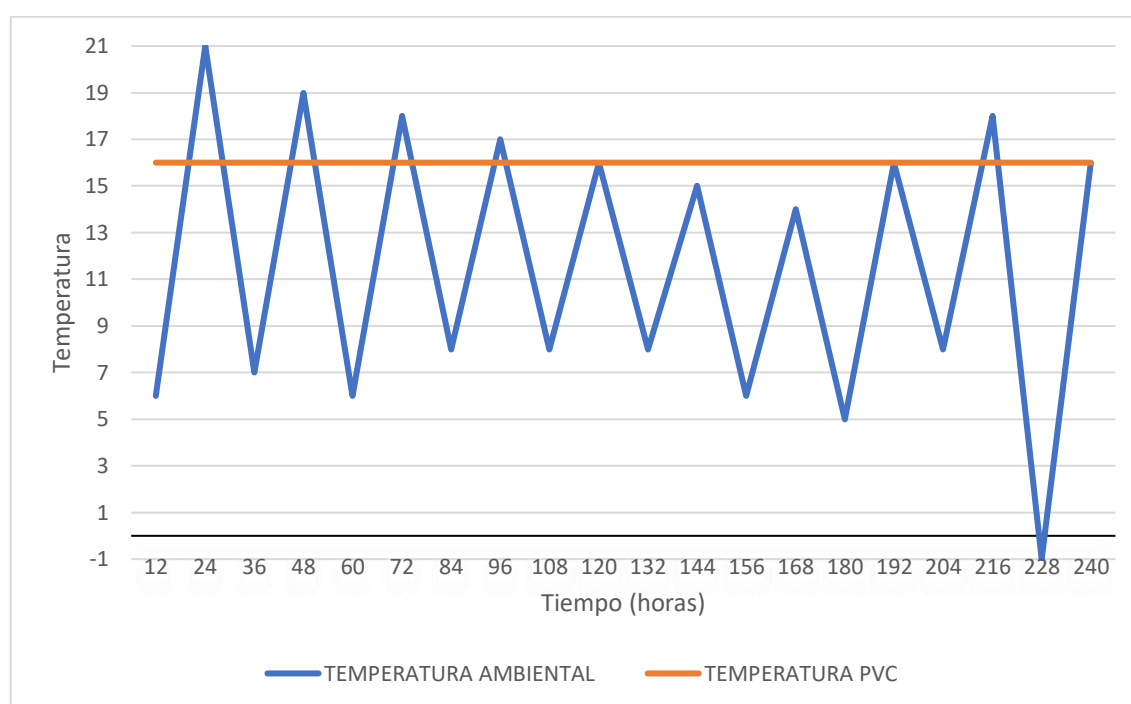
- Los datos de materia orgánica se obtienen por el método LOI (Loss On Ignition), sin tamizaje, muestra secada al ambiente, luego secada en estufa 24h a 105°C, y posteriormente la ignición a 360°C por 2h, por diferencias de pesos se obtiene las fracciones de materia orgánica, se tararon los crisoles para el proceso a 800°C por 2h.
- La densidad aparente se obtiene por el método del cilindro de volumen conocido que consiste en: la muestra se lleva a secar en estufa (110° C) durante 24 horas, y se determina el peso. También, se determina el volumen del cilindro midiendo el diámetro y la altura del mismo (medidas internas). La densidad viene determinada por la relación entre el peso seco obtenido y el volumen correspondiente. Se expresa en gramos por centímetro cúbico (g cm<sup>-3</sup>).

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Comparación temperatura ambiente vs temperatura dentro del tubo PVC

El Gráfico (3.1) muestra la temperatura del aire en el interior del tubo PVC y la temperatura ambiental en el punto de muestreo 1 ubicado en la parroquia Cajabamba, durante un período de 10 días. Observamos que la temperatura al interior del PVC se mantiene constante, mientras que la temperatura ambiente muestra una variación día/noche, es decir aumenta en el día y disminuye en la noche. El valor máximo de temperatura que alcanzo es de 21°C (día) y la temperatura mínima es de -1°C (noche).



**Ilustración 4-1:** Temperatura ambiental vs temperatura del aire bajo suelo

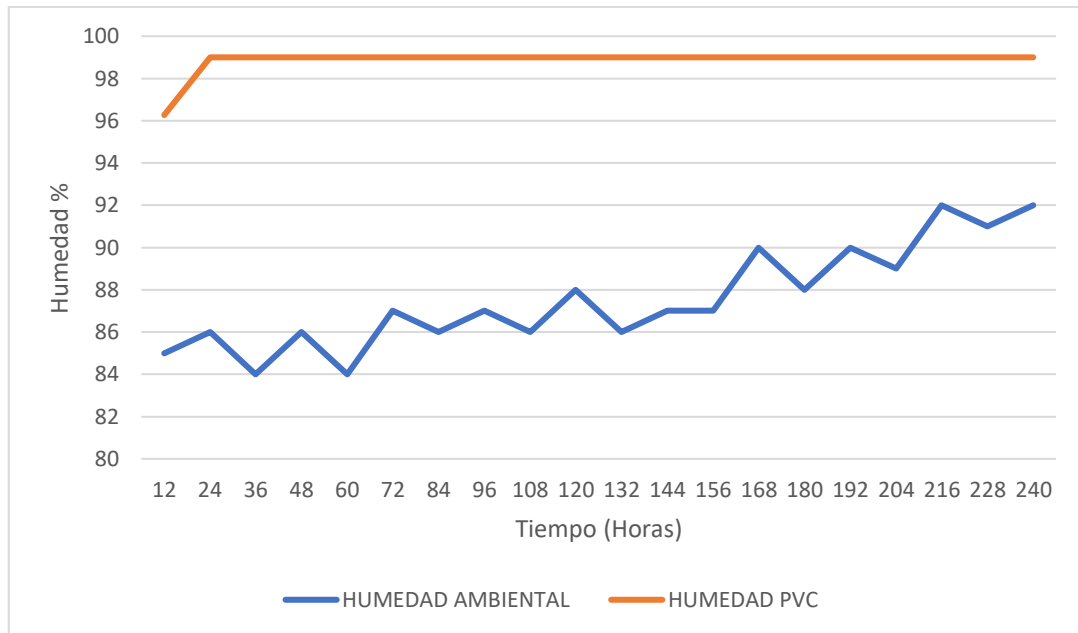
**Realizado por:** Cuacés & Uquillas, 2023

#### 4.2 Comparación humedad ambiente vs humedad dentro del tubo PVC

En el Gráfico (3.2) se puede observar que la humedad del aire dentro del tubo PVC y la humedad ambiental en el punto de muestreo 1 ubicado en la parroquia Cajabamba. En las primeras 6 horas de medición se observó un aumento en la humedad del aire dentro del tubo, lo que sugiere un aumento en la cantidad de agua presente en ese corto período de tiempo. Posteriormente, la humedad del aire se estabiliza en un nivel alto del 99% y se mantiene constante durante los 10 días de medición. Esto indica que el suelo ha alcanzado un estado de saturación de humedad y que no se han observado cambios notables en la cantidad de agua presente en el suelo a esa

profundidad. En contraste, la humedad ambiental muestra cambios en los 10 días de medición, se observó un efecto día /noche, alcanzó el máximo de 92% de humedad en el día y la humedad mínima es de 84% en la noche.

Una consideración importante es que la humedad del aire bajo el suelo es constantemente mayor que la humedad ambiental, ya que el suelo a esa profundidad está bien saturado de agua y retiene una cantidad significativamente mayor de humedad en comparación con el aire exterior.



**Ilustración 4-2:** Humedad ambiental vs humedad del aire bajo suelo

**Realizado por:** Cuacés & Uquillas, 2023

Los Electrets son detectores que pueden mantener campos electrostáticos estables y elevados, incluso en entornos de alta temperatura y humedad. Esto implica que la alta humedad observada bajo el suelo (99%) y la temperatura constante de 16°C a una profundidad de un metro no altera el desempeño del sistema de detección y por tanto las medidas de la concentración de radón en suelo que se presentan en esta investigación son confiables. Para todos los puntos de muestreo se asume que los valores de temperatura y humedad bajo el suelo son similares.

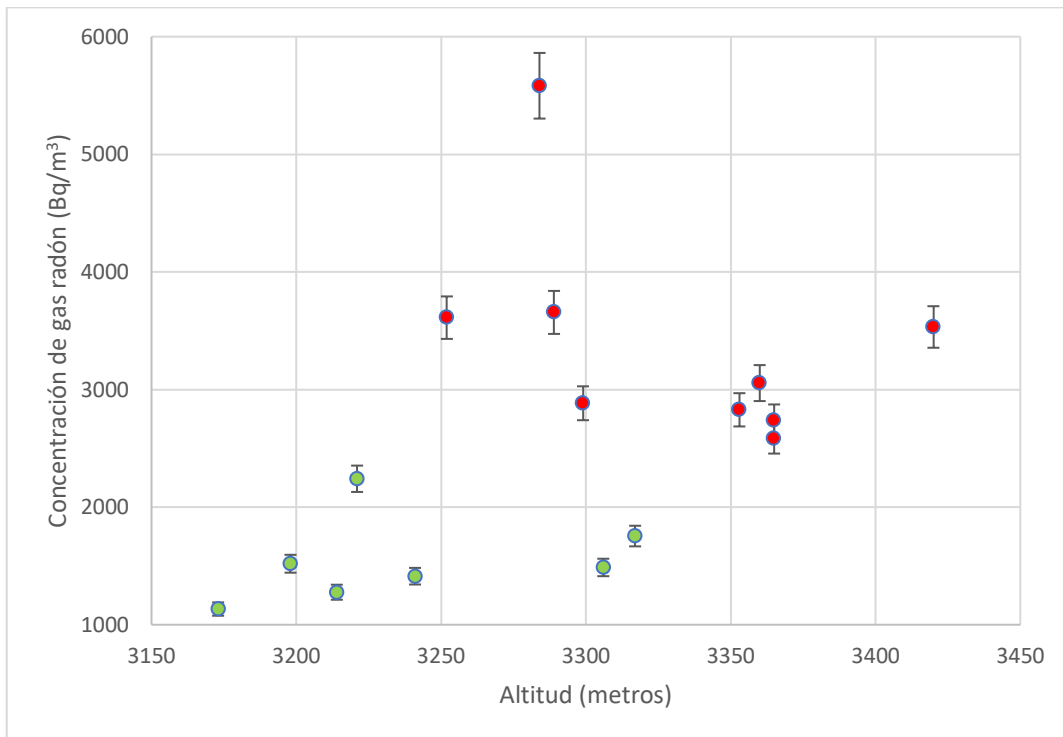
**4.3 Resultados de la concentración de radón en suelo**

En el gráfico (3.3) se presenta la concentración de radón en suelo versus la altitud en los 16 puntos de muestreo en la zona de estudio, podemos observar que se distinguen dos grupos de puntos. El primer grupo consta de 7 puntos que se encuentran a altitudes entre 3173 y 3317 metros, representados en color verde. El segundo grupo incluye 9 puntos que se sitúan a altitudes en un rango más amplio de 3252 a 3420 metros, simbolizados en color rojo. La media del primer grupo es de 1546 Bq/m<sup>3</sup>, mientras que el segundo grupo tiene una media de 3385 Bq/m<sup>3</sup>. Algunas



publicaciones muestran una correlación entre la concentración de radón en el suelo y la altitud de los puntos de muestreo (Chen J. &, 2020) (Tokonami, 2019) y (Cevallos, 2012). En nuestro estudio esta correlación se observó en seis puntos ubicados en la parroquia Calpi del cantón Riobamba.

Las concentraciones de radón encontradas en el suelo de la zona de estudio van desde 1133 hasta 5583 Bq/m<sup>3</sup>, valores inferiores a los encontrados en otros países, a manera de ejemplo mencionamos el caso del estudio en Sevilla que están en el rango de 10000 a 50000 Bq/m<sup>3</sup> (Berenguer, 2022)

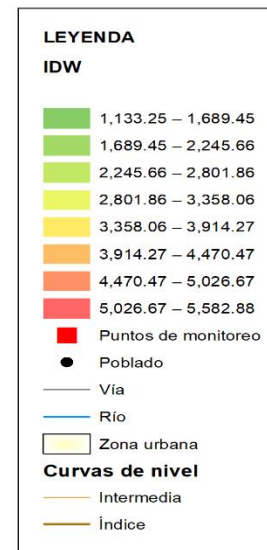
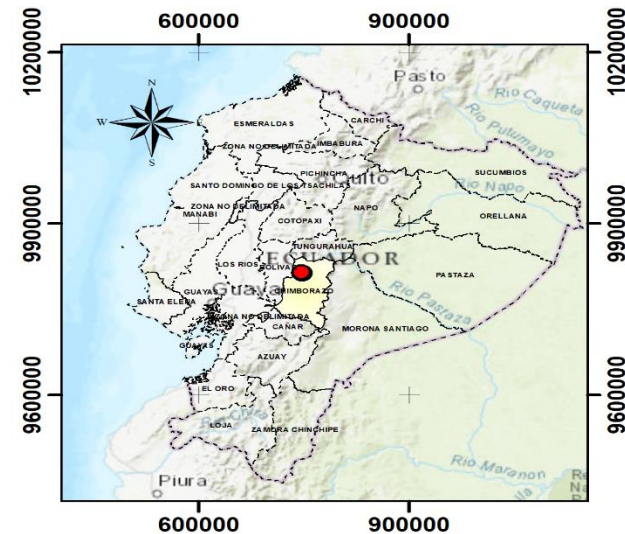
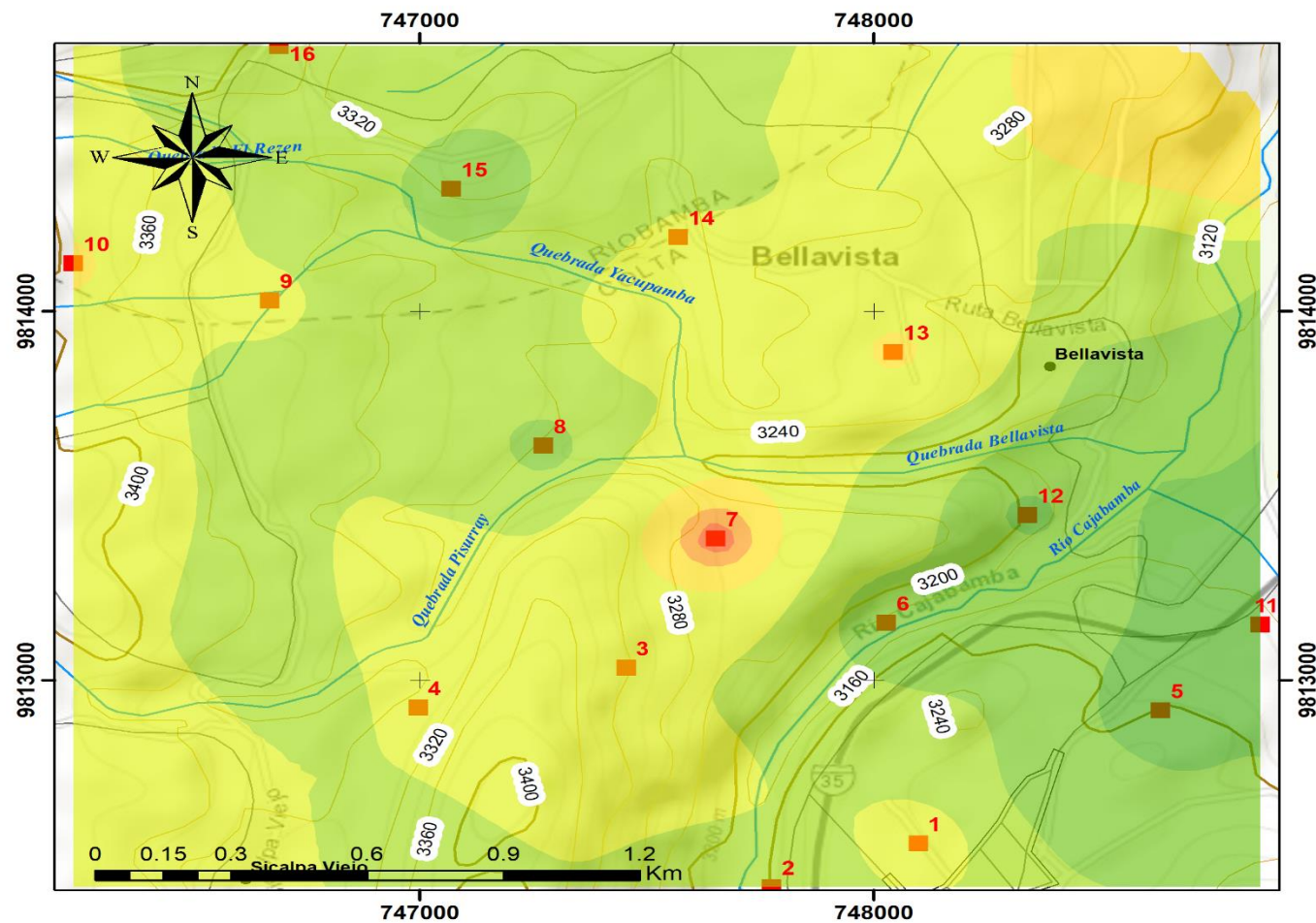


**Ilustración 4-3:** Concentración de radón versus altitud

**Realizado por:** Cuacés & Uquillas, 2023

#### 4.4 Mapa de los puntos de muestreo y sus concentraciones

El Gráfico (3.6) representa los puntos con sus concentraciones, el mapa de calor genera una idea más amplia de como varía la concentración de radón en el suelo de la zona de estudio. Se observa que la concentración más alta se da en el punto 9 ubicado en la parroquia Calpi, representada con un color rojo y su valor es de 5582 Bq/m<sup>3</sup>, al contrario, para la concentración más baja se tomó el color verde, y cuyo valor es de 1113 Bq/m<sup>3</sup> perteneciente al punto 8 ubicado en la parroquia Calpi, los puntos restantes en el gráfico se representan con diferentes colores en el mapa de calor, lo que permite identificar la variación de la concentración en diferentes áreas.



<p><b>Tema:</b> Evaluación de la concentración de gas radón en el suelo del sector: Cemento Chimborazo- Cajabamba, parroquia Calpi del cantón Riobamba y parroquia Cajabamba del cantón Colta.</p>	<p><b>Elaborado por:</b> Andrea Paola Uquillas Avila Bryan Raúl Cuaces Cortez <b>Directora:</b> Dra. Jheny Orbe</p>
--	---

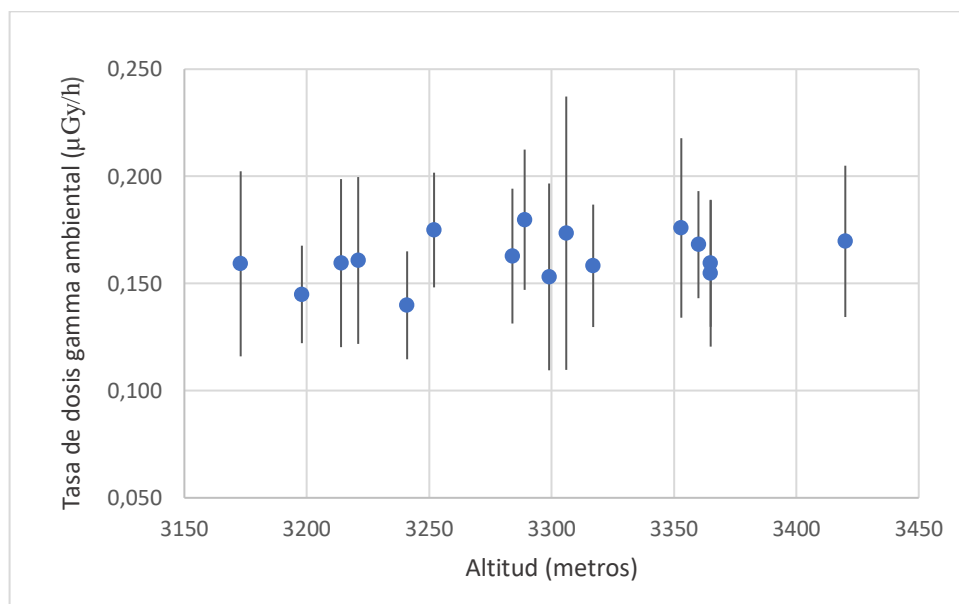
**Ilustración 4-4:** Mapa concentraciones de radón en los puntos de muestreo

Realizado por: Cuaces & Uquillas, 2023

#### 4.5 Tasa de dosis de radiación gamma ambiental

En esta sección se muestra los resultados de las mediciones de la tasa de dosis de radiación gamma ambiental, parámetro necesario para calcular la concentración de radón en el suelo.

En el gráfico (3-5) presenta la tasa media y desviación estándar de dosis gamma ambiental en cada punto de muestreo, medida durante 10 minutos con un intervalo de tiempo de 1 minuto, como se mencionó en la Sección 2.3.5 de la metodología. Además, se observa que este parámetro es el mismo en todos los puntos de muestreo y no experimenta una variación significativa en función de la altitud, ya que la diferencia de altitudes es 247 metros. En la literatura científica se menciona que, para observar una modificación en la tasa de radiación gamma ambiental, es necesario una variación de altitud, entre 1 y 3 kilómetros. (De Clerck, 2022), (Al-Jundi, 2018) y (Chen J. &, 2018)



**Ilustración 4-5:** Dosis gamma ambiental vs altitud

**Realizado por:** Cuacés & Uquillas, 2023

#### 4.6 Concentración de radón en el suelo y la densidad aparente

El análisis de la concentración de radón en suelo y la densidad aparente muestra que no existe una correlación entre estos parámetros ( $R^2=0,11$ ). El valor más alto de densidad aparente es de  $1,34 \text{ g/cm}^3$  y corresponde a una concentración de  $3610,94 \text{ Bq/m}^3$  de radón en el punto 1 ubicado en la parroquia Cajabamba; el valor más bajo de densidad aparente es de  $1,02 \text{ g/cm}^3$  y corresponde a una concentración de  $5582,88 \text{ Bq/m}^3$  de radón en el punto de muestreo número 9 ubicado en la parroquia Calpi.

#### **4.7 Concentración de radón en el suelo y la materia orgánica**

El análisis de la concentración de radón en suelo y la materia orgánica muestra que no existe una correlación entre estos parámetros ( $R^2=0,05$ ). El porcentaje más bajo de materia orgánica es del 1,29%, correspondiente a una concentración de radón de 1276 Bq/m<sup>3</sup> en el punto 14 ubicado en la parroquia Calpi, mientras que el porcentaje más alto de materia orgánica es del 2,95%, relacionado con una concentración de radón de 1754 Bq/m<sup>3</sup> en el punto de muestreo 16 ubicado en la parroquia Calpi.

#### **CONCLUSIONES**

- La medida de concentración de radón en cada punto de muestreo duró 10 días, la humedad y temperatura del aire dentro del tubo PVC, donde se colocó el detector, se mantuvieron constantes durante todo el periodo, registrándose un nivel de humedad del 99% y una temperatura de 16 °C, mientras la temperatura y humedad ambiental mostro una variación durante el día y la noche, de los resultados obtenidos se concluye que el desempeño del detector no se vio afectado por alto porcentaje de humedad bajo el suelo.
- En la zona de estudio se ubicó 16 puntos de muestreo ubicados entre 3173 y 3420m, la concentración de gas radón en suelo fluctuó entre los 1133 y 5583 Bq/m<sup>3</sup>, se observó una correlación entre los niveles de radón y la altitud en seis puntos ubicados entre 3252 y 3317m, un punto está ubicado en la parroquia Cajabamba y cinco en el cantón Colta.
- Las medias de las tasas de dosis gamma ambiental son compatibles en todos los puntos de muestreo, el resultado obtenido es debido a que la diferencia de altitud entre los puntos es 247 metros.
- Los resultados de la determinación de la densidad aparente y materia orgánica de las muestras de suelo obtenidas a una profundidad de un metro, no presentan una correlación significativa ( $R^2=0,11$  y  $R^2=0,05$  respectivamente), con la concentración de gas radón en todos los puntos.

## **RECOMENDACIONES**

- Es fundamental considerar las dimensiones precisas al construir la estructura metálica. En caso de ser demasiado pequeña, existe el riesgo de que los equipos se vean afectados o dañados. Por otro lado, si es demasiado grande, la perforación puede volverse muy extensa, lo que complicaría su ejecución.
- Es necesario examinar el tubo de PVC antes de su instalación, ya que la presencia de grietas podría modificar las dimensiones. Esto se debe a posibles fugas o irregularidades externas que podrían infiltrarse.

## BIBLIOGRAFIA

- Grzywa, Anna., AlHilal, M.** (2022). Assessment of the tectonic effect on soil radon activity along the margin of the Arabian plate boundary in northwestern Syria. *61*(2), 100-112.
- Al-Jundi, J. A.-H.-R.** (2018). Outdoor terrestrial gamma dose rate levels in Jordan. *Radiation Protection Dosimetry*, *137*((1-2)), 67-72.
- Alvarado, A. Y.** (2017). Terremotos históricos del Ecuador. (E. P. Nacional., Ed.)
- Barros, N. P.** (2019). A review of radon potential mapping - from regional to local scale. *Journal of Environmental Radioactivity*, *141*, 73-82.
- Berenguer, M. J.** (2022). Radón en ambientes interiores. *Ministerio de trabajo y asuntos sociales*, 4-6.
- Brady, N. C.** (2017). *The nature and properties of soils* (15th ed ed.). Pearson.
- Cabay, J. a.** (2021). "Contaminación del aire por radón (222rn) en residencias de los cantones de Riobamba, Colta y Guano". Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15449/1/86T00158.pdf>
- Cevallos, J. W.** (2012). Evaluación de la concentración del gas radón en ladrillos artesanales en las parroquias: Juan Montalvo-San Sebastián e Ignacio Flores comunidad La Vicentina de la ciudad Latacunga, provincia de Cotopaxi. *Universidad Técnica de Ambato*, 100-112.
- Chen, J. &** (2018). Study of outdoor terrestrial gamma dose rate and altitude. *Radiation Protection Dosimetry*, *166*((1-4)), 119-122.
- Chen, J. &** (2020). A study on the relationship between the radon concentration and altitude. *Radiation Protection Dosimetry*, *158*(4), 433-439.
- Chen, Z. a.** (2018, november 13). Radon emission from soil gases in the active fault zones in the Capital of China and its environmental effects. *scientific reports*, *1*(8). doi:10.1038/s41598-018-35262-1
- Chimbo, J.** (2021). *Determinación de la tasa de exhalación de gas radón de la cebolla, ajo y zanahoria usando la técnica electret ion chamber*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15019/1/86T00119.pdf>

- Consejo de seguridad nuclear.** (2020). La radiación gamma ambiental - CSN. [blog]. Retrieved from <https://www.csn.es/radiacion-gamma-ambiental>.
- De Clerck, A. E.** (2022). Estudio y caracterización de la radiación de fondo natural en un entorno geográfico. *UPM (Universidad Politecnica de Madrid)*, 113-138. Retrieved from [https://oa.upm.es/70058/1/TFG\\_ANA\\_ERQUICIA\\_DE\\_CLERK.pdf](https://oa.upm.es/70058/1/TFG_ANA_ERQUICIA_DE_CLERK.pdf)
- Duncan, T.** (2019). Decaimiento radiactivo y estabilidad nuclear. *Serve*, 15.
- Esan, d. O.** (2020, Abril 30). Determination of Residential Soil Gas Radon Risk Indices Over the Lithological Units of a Southwestern Nigeria University. *Scientific Reports*, 10-12. Retrieved from Determination of Residential Soil Gas Radon Risk Indices Over the Lithological Units of a Southwestern Nigeria University
- Esan, d., Obed, R., Chandra, M., Ajiboye, Y., & Afolabi, A.** (2020, Abril 30). Determination of Residential Soil Gas Radon Risk Indices Over the Lithological Units of a Southwestern Nigeria University. *Scientific Reports*, 10-12. Retrieved from Determination of Residential Soil Gas Radon Risk Indices Over the Lithological Units of a Southwestern Nigeria University
- GAD.** (2023). Cajabamba. *Gobierno municipal de Colta*. Retrieved from <https://turismo.ec/ciudades/parroquia/cajabamba.htm>
- GAD, C.** (2022). Colta ubicacion geográfica. *GADCOLTA*. Retrieved from <https://gadcolta.gob.ec/gadcolta/index.php/colta/ubicacion>
- GADM.** (2022). Riobamba. *GADM*. Retrieved from <http://www.gadmriobamba.gob.ec/>
- Grzywa, A.** (2020). Radon—The Element of Risk. The Impact of Radon Exposure on Human Health. 8(4).
- Haerudin, N.** (2020). The Correlation between Radon Emission Concentration and Subsurface Geological Condition. (1-11).
- IAEA, I. A.** (2019). Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective.
- International Atomic Energy Agency.** (2018). Radiation protection and safety of radiation sources: International Basic Safety Standards. *International Atomic Energy Agency*.
- Iovine, G. e.** (2018, April). Soil-gas radon anomalies in three study areas of Central-Northern Calabria (Southern Italy). *Springer Science*, 91, 193-219. doi:10.1007/s11069-017-2839-

- J-F. Lecomte, S. S.** (2014). Radiological Protection against Radon Exposure. *Comisión Internacional de Protección Radiológica*, 43(3), 13-24. Retrieved from <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20126>
- Knoll, G.** (2018). Sources and effects of ionizing radiation: United Nations. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*.
- Kotrappa.** (1990). A Practical E-PERMTM (Electret Passive Environmental Radon Monitor) System for Indoor <sup>222</sup>Rn Measurement. *Health Physics [En línea]*, 461-467. doi:<https://doi.org/10.1097/00004032-199004000-00008>.
- Kotrappa, P.** (2015). Electret ion chambers for characterizing indoor, outdoor, geologic and other sources of radon. *RAD ELEC*, 2-10.
- Lal, R.** (2017). Soil health and climate change: An overview. *Soil Health and Climate Change*, 1-10.
- Lara, E. R.** (2020, November). Radon concentration in soil gas and its correlations with pedologies, permeabilities and <sup>226</sup>Ra content in the soil of the Metropolitan Region of Belo Horizonte – RMBH, Brazil. *El Sevier*, 116, 317-320. doi:<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.02.017>
- Manual GAMMA-SCOUT.** (2019). Manual Medidor de radioactividad GAMMA-SCOUT. *PCE-ibérica S.L.*, 1-28. Retrieved from [www.pce-iberica.es](http://www.pce-iberica.es)
- Metalúrgico, I. g.** (2021). *Fallas geológicas: el origen de los terremotos*. Perú: INGEMMET.
- Meteo, C.** (2023). Clima Cajabamba-Colta. *MeteoConsult*. Retrieved from <https://meteoconsult.es/tiempo-ecuador/ciudad-29921/previsiones-tiempo-cajabamba-hoy>
- Meza, L. J.** (2018). ANOMALÍAS DE GAS RADÓN ASOCIADAS A LA SISMICIDAD EN LA REGIÓN VOLCÁNICA DE LOS COCONUCOS (CAUCA, COLOMBIA). 1-14.
- Miklyaev, P. a.** (2020). The results of Long-term simultaneous measurements of radon exhalation rate, radon concentrations in soil gas and groundwater in the fault zone. *ScienceDirect*, 167. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2020.109460>
- Mittal, S. R.** (2019, Abril 02). Estimation of radon concentration in soil and groundwater samples of Northern Rajasthan, India. *Journal of Ra*, 9(2), 125-130. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.10.006>



- Mora, A. D.** (2018). A geodetic strain rate model for the Pacific-North America plate boundary in the Pacific Northwest. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 651-663.
- National Council on Radiation Protection and Measurements.** (2017). *Management of exposure to ionizing radiation: concepts, approaches, and guidelines*. No. 178.
- NRC, N. R.** (2018). Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI. . *National Academies Press*.
- OMS.** (2021). *El radón y sus efectos en la salud*. Ginebra. Retrieved from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>
- Osman, G. a.** (2018). Soil gas radon concentrations along the Ganos Fault (GF). *Arabian Journal of Geoscience*, 11(9). doi:<https://doi.org/10.1007/s12517-018-3542-2>
- Pérez López, R., Fernández-Cortés, Á., Béjar Pizarro, M., Martínez Díaz, J. J., Staller, A., Sánchez Malo, Á., Sánchez Moral, S.** (2018). Perfil de radón en suelo transversal a la Falla de Alhama de Murcia. (U. d. Alicante, Ed.) *Ministerio de ciencia e innovacion* . Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12468/1560>
- Quintana, P. D.** (2023). Patrimonio Cultural Inmaterial y Etnoturismo en la Parroquia Calpi del Cantón Riobamba. *UNACH*. Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10738>
- Rad Elec Inc.** (2023). Retrieved from Radelec: <https://www.radelec.com/store/>
- Rodríguez, A. R.** (2015). *Evaluación del potencial del radón en el territorio de la antigua provincia de la Habana*. Habana. Retrieved from <https://www.researchgate.net/profile/Willy-Rodriguez-4/project/Geofisica-Aplicada/attachment/5c6d7110cfe4a781a581a465/AS:728403099537408@1550676240817/download/Potencial+de+Rn+en+La+Habana.pdf?context=ProjectUpdatesLog>
- Sleep, N.** (2018). Plumes and the geology of Earth. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 46, 207-234.
- Stern, R. &** (2018). Subduction initiation in nature and models: A review. *Tectonophysics*. 721, 1-27.
- Tello, J.** (2021). *EVALUACIÓN DE LA TASA DE EXHALACIÓN DE GAS RADÓN DEL CAFÉ Y CACAO ECUATORIANOS UTILIZANDO LA TÉCNICA ELECTRET ION CHAMBER*". ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, FACULTAD DE CIENCIAS, Riobamba. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15029/1/86T00129.pdf>

- Tokonami, S. &** (2019). Seasonal variation of indoor radon concentration in mountainous areas. *Radiation Measurements*, 26((2-6)), 917-919.
- US EPA, U. S.** (2017). A Citizen's Guide to Radon: The Guide to Protecting Yourself and Your Family from Radon.
- Villagomez, M.** (2018). *Factores naturales y antrópicos que incidieron en la generación de los movimientos en masa en el cerro baizán, sus consecuencias y elaboración del plan de emergencia ante la posible recurrencia del fenomeno.*
- WHO.** (2019). World Health Organization Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective.
- World Health Organization.** (2018). Ionizing radiation, health effects and protective measures. *WHO.*

## ANEXOS

### Anexo A: REGISTROS FOTOGRÁFICOS MEDICIÓN DE GAS RADÓN EN SUELO

		
<p>Equipos de medición para gas radón en suelo</p>	<p>Toma de apuntes de las horas de monitoreo de radiación gamma</p>	<p>Geolocalización del punto de muestreo</p>





La estructura para colocar los equipos en el tubo



Toma de muestras en suelo para análisis



Colocación del tubo PVC para la impermeabilización del sistema E-PERM





Cierre del punto de muestreo en campo



Colocación de la estructura para los equipos



Excavación del punto de muestro





Colocación de la tapa hermética del tubo PVC



Punto de muestreo en campo



Verificación de la zona de estudio