



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA FÍSICA**

**CONCENTRACIONES DE RADÓN-222 EN EL SUELO DE UNA  
ZONA DEL CANTÓN RIOBAMBA PERPENDICULAR A  
LA FALLA PALLATANGA**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Integrador

Presentado para obtener el grado académico de:

**FÍSICO**

**AUTORES:** DARWIN GUILLERMO HERRERA LLERENA

JERSON SANTIAGO CABASCANGO ULCUANGO

**DIRECTORA:** Dra. JHENY DEL CARMEN ORBE ORDÓÑEZ PhD.

Riobamba-Ecuador

2022

**© 2022, Darwin Guillermo Herrera Llerena & Jerson Santiago Cabascango Ulcuango**

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, DARWIN GUILLERMO HERRERA LLERENA y JERSON SANTIAGO CABASCANGO ULCUANGO, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría 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 integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 25 de febrero del 2022.



---

**Darwin Guillermo Herrera Llerena.**

**No. Cédula: 180552455-8**



---

**Jerson Santiago Cabascango Ulcuango**

**No. Cédula: 172503952-1**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA FÍSICA**

El tribunal de trabajado de Integración curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Integrador, **CONCENTRACIÓN DE RADÓN-222 EN SUELO, EN UNA TRAYECTORIA PERPENDICULAR A LA FALLA GEOLÓGICA DE PALLATANGA DEL CANTÓN RIOBAMBA**, realizado por los señores: **DARWIN GUILLERMO HERRERA LLERENA y JERSON SANTIAGO CABASCANGO ULCUANGO** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Richard Williams Pachacama Choca. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	2022-02-05
Dra. Jheny del Carmen Orbe Ordoñez. PhD. <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	_____	2022-02-05
Dr. Miguel Tasambay Salazar. PhD. <b>MEMBRE DEL TRIBUNAL</b>	_____	2022-02-05

## **DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico a mis padres, Anita y Guillermo, quienes fueron pilares fundamentales en el trayecto de mi vida profesional. Gracias por sus bendiciones, su paciencia y todo su amor que me brindaron a lo largo de mi carrera universitaria.

Mi madre me demostró que el esfuerzo constante y el amor que le dedicamos a las cosas nos permite alcanzar todos nuestros objetivos.

Mi padre que a pesar de su dureza demostró ser una persona llena de amor, confiando en mí y dándome la oportunidad de seguir mis estudios para convertirme en la persona soy actualmente.

Esto es para ustedes amados padres, MUCHAS GRACIAS.

*Darwin*

Dedico con todo mi corazón este trabajo a mis padres, María y Hernán, por siempre creer en mí y brindarme su apoyo incondicional durante esta larga y hermosa carrera. En especial a mi madre, Gracias por sus bendiciones diarias, su paciencia y amor que me ha protegido y acompañado durante toda mi vida.

*Jerson*

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestros padres y hermanos porque cada uno de ellos nos han apoyado a su manera, siempre nos han hecho sentir que con fe, esfuerzo y dedicación se puede lograr lo que se proponga. Gracias a nuestras familias por creer en nosotros.

A la Dra. Jheny Orbe por darnos la oportunidad de ser parte de este proyecto tan interesante y nuevo para cada uno de nosotros, ayudándonos a descubrir, aprender y entender muchas cosas que antes no comprendíamos, además agradecemos su paciencia, amabilidad y buen sentido del humor como directora y guía de este trabajo. También damos las gracias a cada uno de los docentes que nos enseñaron a ver lo hermoso de la ciencia desde su perspectiva personal aportando así a mi formación profesional.

Gracias a todos mis compañeros, que tuve la oportunidad de conocer durante todo este tiempo, sobre todo a Aldo, Andrés, Augusto, David, Diego, Eugene, que se convirtieron en amigos con los que pudimos compartir grandes recuerdos y momentos inolvidables que serán parte de nuestros corazones.

“Desde luego que, para el arte, donde se tiene necesidad de tiempo, no estaría mal vivir más de una vida” (Vincent Van Gogh).

*Darwin & Jerson*

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	x
RESUMEN.....	xi
SUMMARY.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Geodinámica y fallas geológicas en el Ecuador.....</b>	<b>4</b>
1.1.1. <i>Entorno Geodinámico del Ecuador.....</i>	4
1.1.2. <i>Fallas Geológicas en el Ecuador.....</i>	4
1.1.3. <i>Tipos de fallas.....</i>	5
1.1.4. <i>La falla Pallatanga.....</i>	5
<b>1.2. Radiación y radiactividad.....</b>	<b>6</b>
1.2.1. <i>Decaimiento radiactivo.....</i>	7
1.2.3. <i>Series de desintegraciones radiactivas.....</i>	9
<b>1.3. Radón.....</b>	<b>13</b>
1.3.1. <i>Propiedades del radón-222.....</i>	13
1.3.2. <i>Radón-222 en suelos.....</i>	14
<b>1.4. Magnitudes relevantes para el trabajo de investigación.....</b>	<b>15</b>
1.4.1. <i>Actividad.....</i>	15
1.4.2. <i>Tiempo de vida media.....</i>	16

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1. Tipo y diseño de la investigación.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2. Área de estudio.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3. Dimensiones.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4. Materiales e instrumentos utilizados.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5. Detector de radón RAD7.....</b>	<b>21</b>

<b>2.6. Protocolo de monitoreo y medición de radón-222 en suelo usando RAD7 .....</b>	<b>25</b>
<b>2.6.1. Protocolo Weeks .....</b>	<b>25</b>
<b>2.6.2. Protocolo Grab .....</b>	<b>26</b>

### **CAPÍTULO III**

<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1. Puntos de muestreo de radón-222 en la zona de estudio.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2. Comparación de los procedimientos de sellado de la perforación en el suelo .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3. Comparación de los protocolos Weeks y Grab .....</b>	<b>29</b>
<b>3.4. Concentraciones de radón en el suelo de la parroquia Lizarzaburu.....</b>	<b>29</b>
<b>3.5. Concentraciones de radón en el suelo de la parroquia Calpi.....</b>	<b>31</b>
<b>3.6. Concentraciones de radón en el suelo de la parroquia San Juan .....</b>	<b>32</b>
<b>3.7. Panorámica de las concentraciones de radón en el área de estudio .....</b>	<b>33</b>

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>36</b>
--------------------------	-----------

<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>37</b>
-----------------------------	-----------

### **BIBLIOGRAFÍA**



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Propiedades de radón-222 .....	14
<b>Tabla 1-2:</b>	Especificaciones del RAD7. ....	22
<b>Tabla 1-3:</b>	Coordenadas geográficas UTM y variables metereologicas. ....	27

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1.</b> Movimiento de las placas.....	5
<b>Figura 2-1.</b> Fallas geológicas en el Ecuador .....	6
<b>Figura 3-1.</b> Decaimiento de una partícula alfa del U-238 al Th-234 .....	8
<b>Figura 4-1.</b> Serie de desintegración radiactiva del U-238.....	10
<b>Figura 5-1.</b> Familia de la desintegración radiactiva del uranio-235.....	11
<b>Figura 6-1.</b> Cadena de desintegración radiactiva del torio-232 .....	12
<b>Figura 7-1.</b> Proceso de emanación de gas Radón desde el interior de un grano de mineral.. ....	15
<b>Figura 1-2.</b> Área de estudio en el cantón Riobamba, perpendicular a la falla Pallatanga.....	18
<b>Figura 2-2.</b> Dimensiones de la zona de estudio.....	19
<b>Figura 3-2.</b> Distribución de los treinta y dos puntos de muestreo ubicados en la zona de estudio, perpendicular a la falla Pallatanga.....	20
<b>Figura 4-2.</b> Sistema de medición de radón-222 en suelo, usando RAD7.....	20
<b>Figura 5-2.</b> Detector de gas radón RAD7 .....	21
<b>Figura 6-2.</b> Estructura interna del RAD7 .....	22
<b>Figura 7-2.</b> Sonda de gas para uso en suelo suave. ....	23
<b>Figura 8-2.</b> Unidad de secado de laboratorio .....	24
<b>Figura 9-2.</b> Barrero Holandés con punta helicoidal .....	24
<b>Figura 10-2.</b> Medidor climatológico <i>Kestrel</i> 3500.....	25
<b>Figura 11-2.</b> Sistema de detección de gas radón en suelo usando el monitor RAD7.....	26
<b>Figura 2-3.</b> Puntos de muestreo en la parroquia Calpi (Google Earth, 2021).....	31

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfica 1-3.</b> Comparación de los procedimientos de sellado en el punto R2 .....	28
<b>Gráfica 1-3.</b> Comparación de los procedimientos de sellado en el punto R2 .....	29
<b>Gráfica 3-3.</b> Concentraciones de $^{222}\text{Rn}$ en la parroquia Lizarzaburu .....	30
<b>Gráfica 4-3.</b> Concentraciones de $^{222}\text{Rn}$ en la parroquia de Calpi .....	32
<b>Gráfico 5-3.</b> Concentraciones de radón-222 en la parroquia de San Juan.....	33
<b>Gráfico 6-3.</b> Concentraciones de radón-222 en el suelo del área de estudio.....	34
<b>Gráfico 7-3.</b> Diagrama de caja o <i>Boxplot</i> . del conjunto de datos de concentración de radón. ...	35

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo cuantificar las concentraciones de radón-222 en el suelo de una zona del cantón Riobamba que está ubicada perpendicular a la falla Pallatanga. Se realizó un análisis comparativo del sellado de la sonda en el suelo y de los protocolos *Weeks* y *Grab*. Para ello, se establecieron 32 puntos de muestreo ubicados en las parroquias de San Juan, Calpi y Lizarzaburu. La configuración experimental utilizada en la cuantificación de radón en el suelo estuvo constituida de un detector de gas radón RAD7 de *Durridge Company* que a través de su panel frontal permitió configurar el protocolo *Weeks* empleado en cada uno de los 32 puntos de muestreo para medir las concentraciones de radón-222. Se empleó una sonda de gas de suelo suave para medir el radón bajo tierra, esta sonda se ubicó a 1m de profundidad lo cual permitió absorber el gas del subsuelo. Se utilizó la unidad de secado de laboratorio para el secado rápido y eficiente del gas, cuyo filtro interrumpe el paso de partículas de polvo. Como resultado, se identificó que los puntos más cercanos a la falla Pallatanga fluctuaron entre 2570 a 3930 Bq/m<sup>3</sup>. De igual forma, la concentración más alta se observó en la parroquia Calpi (19900 ± 340 Bq/m<sup>3</sup>) en el punto R27 aproximadamente a 5 km de la falla. El sellado de tierra con una capa de yeso es preciso y por tanto recomendable para la medición en suelo, mientras que el protocolo *Weeks* proporcionó un método de medición más exacto. Se concluye, que cerca de la falla Pallatanga no se presentan altas concentraciones de radón en el suelo. A partir de esto se recomienda realizar un estudio detallado en el punto R27 debido a la alta concentración de radón-222.

**Palabras clave:** <RADÓN-222>, <FALLA PALLATANGA>, <RAD7>, <RADIACIÓN>, <ACTIVIDAD GEOLÓGICA>, <RIOBAMBA (CANTÓN)>, <GAS DE SUELO>, <EMANACIÓN>.

LEONARDO  
FABIO MEDINA  
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO  
MEDINA NUSTE  
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,  
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR,  
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE  
INFORMACION-ECBCE, i=QUITO,  
serialNumber=0090621485, cn=LEONARDO  
FABIO MEDINA NUSTE  
Fecha: 2022.04.07 16:22:03 -05'00'



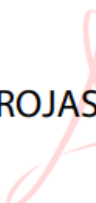
0634-DBRA-UTP-2022

## SUMMARY

The present research project had the objective of quantifying the concentrations of radon-222 in the soil of an area of the canton of Riobamba that is located perpendicular to the Pallatanga fault. A comparative analysis of the soil probe sealing, and the Weeks and Grab protocols was carried out. For this purpose, 32 sampling points were established in the parishes of San Juan, Calpi, and Lizarzaburu. The experimental configuration used in the quantification of radon in the soil consisted of a RAD7 radon gas detector from DurrIDGE Company, which through its front panel, made it possible to configure the Weeks protocol used at each of the 32 sampling points to measure radon222 concentrations. A soft soil gas probe was used to measure radon below ground. 1m depth, which allowed the subsurface gas to be absorbed. The laboratory drying unit was used for fast and efficient drying of the gas, whose filter interrupts the passage of dust particles. As a result, it was identified that the points closest to the Pallatanga fault fluctuated between 2570 to 3930 Bq/m<sup>3</sup>. Similarly, the highest concentration was observed in Calpi parish (19900 ± 340 Bq/m<sup>3</sup>) at point R27 approximately 5 km from the fault. The soil sealing with a layer of gypsum is accurate and therefore recommended for soil measurements, whereas the while the Weeks protocol provided a more accurate measurement method. It is concluded, that near the Pallatanga fault there are no high radon concentrations in the soil. Based on this, it is recommended that a detailed survey be carried out at R27 due to the high concentration of radon-222.

**Keywords:** <RADON-222>, <PALLATANGA FAULT>, <RAD7>, <RADIATION>, <GEOLOGICAL ACTIVITY>, <RIOBAMBA (CANTON)>, <SOIL GAS>, <EMANATION>.

CARMITA  
EULALIA ROJAS  
CASTRO



Digitally signed by  
CARMITA EULALIA  
ROJAS CASTRO  
Date: 2022.04.11  
16:13:59 -05'00'

## INTRODUCCIÓN

Entre las fuentes de radiación natural, el gas radón adquiere más importancia siendo así el principal contribuyente de radiación natural que recibe la población en general. El radón-222 es un gas radiactivo inerte de origen natural imperceptible a nuestros sentidos, este proviene de nucleidos radiactivos presentes en el suelo, tiende a migrar principalmente hacia arriba desde su fuente: las tasas de exhalación están fuertemente controladas por un gran número de factores geológicos, geofísicos y factores atmosféricos como la distribución de uranio en el suelo y el lecho rocoso, porosidad, permeabilidad y humedad, grado de fractura de rocas, granulación, lluvia, aire temperatura, presión barométrica y vientos superficiales. La vida media relativamente corta del radón (3,85 días) limita su distancia de migración: en consecuencia, las cantidades medidas en los suelos no se pueden producir a gran profundidad, a menos que se levante hacia arriba por un flujo relativamente rápido de gas portador, como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>. (Ciotoli et al., 1999, p.322).

La presente investigación está motivada en trabajos experimentales realizados en diferentes países en los últimos años, los cuales intentan encontrar una correlación entre la concentración de <sup>222</sup>Rn y las fallas geológicas activas utilizando métodos de absorción e instrumentos que ayudan en este propósito. En 1975, el *Scripps Institution of Oceanography* realizó estudios de monitoreo de gases (radón, helio, metano, nitrógeno), señalando a estos gases como anunciantes de posibles movimientos telúricos (Craig, 1974, p.38). En relación a los estudios realizados sobre actividad y monitoreo fallas geológicas con la emisión de gas radón predomina la investigación “*Impulsive radon emanation on a creeping segment of the San Andreas fault, California*” de Chi-Yu King en 1984 donde reportó cambios en la emanación de gas radón-222 en un segmento de la falla de San Andrés en San Benito y San Juan Bautista en California. (Lázaro et al., 2020, p.158). Dado que las fallas y fracturas pueden actuar como vías preferenciales de flujo de fluidos, sus ubicaciones pueden evaluarse detectando gases en la superficie. Con este propósito, el He y Rn demostraron ser los elementos más confiables (King et al., 1996, p.510). Las concentraciones anormalmente altas de radón se encuentran comúnmente en suelos por encima de rocas fracturadas, como las asociadas con fallas, volcanes activos y fuentes geotérmicas. En consecuencia, las investigaciones del radón permiten recopilar información valiosa sobre la corteza terrestre y la actividad tectónica (Ramola, 2009, p.824). Las anomalías de gas radón-222 (0 a 20000 Bq/m<sup>3</sup>) que se observaron en el valle Chamba al noroeste de los Himalaya, India se correlacionaron con eventos sísmicos de magnitud entre 2.2 a 5.0. (Font et al., 2008, p.321). Mientras que en la falla Amer, localizada en España cerca de la región volcánica de La Garrotxa, los valores que midieron de radón-222 fluctuaron entre 0.3 y 140000 Bq/m<sup>3</sup>.

Otro trabajo desarrollado en 2017 por: G. Iovine, I. Guagliardi, C. Bruno, R. Greco, A. Tallarico, G. Falcone, F. Luca, G. Buttafuoco se basó en la investigación de las concentraciones de radón

en el Centro-Norte de Calabria al sur de Italia, específicamente en Rossanese, Crati Graben y Catanzaro, debido a que en esta área de estudio las concentraciones de radón se veían afectadas por el sistema de fallas que se encuentra en el lugar. Los resultados que tuvieron fue que al disminuir la distancia hacia la falla geológica aumentaba los niveles de gas radón en el suelo, la mayor parte de esta se encontraba en estructuras tectónicas recientes, dando a entender que entre mayor sea la actividad geológica de la zona se encuentra mayor cantidad del gas. (Iovine et al., 2017, p.216).

Entre los estudios más recientes en América está el realizado en 2020 en México en las zonas de Morelia y Michoacán denominado “Concentraciones de gas radón ( $^{222}\text{Rn}$ ) en suelo de la zona urbana de Morelia, Michoacán, México y su relación con fallas potencialmente sísmicas y asociadas con el proceso de subsidencia-fluencia”, cuya investigación relaciona las fallas potencialmente sísmicas y las concentraciones de radón-222, donde se obtuvieron valores promedios que varían entre 68.45 y 20 017  $\text{Bq/m}^3$  siendo la media 4 028.56  $\text{Bq/m}^3$ , indicando que a lo largo de la falla había presencia de cantidades anómalas de radón. (Lázaro et al., 2020, p.174). En lo que se refiere a estudios que relacionen fallas geológicas y concentraciones de radón-222 en suelo en el Ecuador, los antecedentes previos de investigación son inexistentes.

El Ecuador se encuentra ubicado en una zona con alta actividad sísmica, tectónica y volcanes activos, en vista de que nuestro país se localiza en el límite de dos placas tectónicas, la placa de Nazca y la placa Sudamericana, la energía emitida por estos procesos genera manifestaciones en factores geodinámica internos (Lumiguano y Barragán, 2021, p.163).

La falla geológica Pallatanga es una de las fallas más importantes de Sudamérica tanto a nivel nacional como internacional. Tiene 956 kilómetros y comienza cerca de los límites entre Chimborazo y Guayas hasta llegar al sur de Colombia. Los expertos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional estudian la falla desde el 2009. Ellos calculan que los bloques rocosos se mueven ocho milímetros cada año y que ese movimiento es el causante de las fracturas que se marcan repentinamente en algunas casas construidas en zonas como Pallatanga, Guamote y Colta, tres cantones de Chimborazo.

El cantón Riobamba está situado en el centro del Ecuador por donde atraviesa la falla geológica regional denominada falla Pallatanga. El terremoto que destruyó Riobamba en 1797, por ejemplo, se debió a un movimiento de los bloques rocosos de esta falla y no puede descartarse que un evento de esa misma magnitud ocurra nuevamente. Es imposible no hablar de sismos si vivimos en ciudades atravesadas por una falla geológica activa, que está en constante movimiento.

La carretera Riobamba Guayaquil, considerada una de las arterias viales más importantes del país porque conecta a la Sierra con la Costa, también está atravesada por la falla, esto es evidente en zonas como Azazán, aquí el terreno es inestable, hay derrumbes y deslizamientos frecuentes debido a esa topografía irregular. Esta falla también tiene ramificaciones porque además hay otras fallas geológicas de menor tamaño que atraviesan la provincia y causan problemas similares en

otros sectores, como Chunchi y Alausí. Allí también hay deslizamientos frecuentes y cierres de la vía Panamericana Sur recurrentes. También hay casas con cuarteaduras por el movimiento de los bloques rocosos.

En la carretera entre Riobamba y Macas también son evidentes los efectos de dos ramificaciones de esta falla geológica. La arteria vial que une a la Sierra Centro con Morona Santiago tiene tramos hundidos y nueve puntos críticos, además presenta deslizamientos frecuentes. Allí la topografía inestable se combina con la humedad y las lluvias constantes.

Esta investigación tiene como finalidad determinar las concentraciones de radón-222 en el suelo de una zona del cantón Riobamba perpendicular a la Falla Pallatanga, así como también la implementación de un protocolo eficiente para la determinación de radón-222. Estos resultados serán de gran aporte para la región de manera que se pueda replicar la investigación en otros lugares del Ecuador. La realización de este proyecto aportará a la comunidad científica con una base de datos de concentraciones de radón-222 en 32 puntos de monitoreo.



## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Geodinámica y fallas geológicas en el Ecuador

##### *1.1.1. Entorno Geodinámico del Ecuador*

Al enfocarnos en las costas del Océano Pacífico comprendemos porqué el Ecuador está en medio de un sistema geodinámico y atravesado por el “Cinturón del fuego del pacífico” donde las placas Nazca y sudamericana están sobrepuestas con un movimiento de 66 mm/año una del otra. (Rivadeneira et al., 2007, p.20). Es debido a esto que el país tiene constantes movimientos telúricos ya que “son el resultado de la ruptura de las rocas, liberando súbitamente energía en un punto determinado” (Rivadeneira et al., 2007, pp.20-21). Estos movimientos son transmitidos por ondas sísmicas. El lugar en donde se genera este movimiento se lo denomina epicentro.

##### *1.1.2. Fallas Geológicas en el Ecuador*

Una falla geológica es una ruptura de las rocas que se encuentran en la tierra por efecto de las fuerzas que están implicadas las placas tectónicas, estas fallas en ocasiones pueden ser visibles debido a su tamaño. En el Ecuador las placas de Nazca y Sudamericana dan origen a deformaciones en la corteza generando múltiples tipos de falla en el país y entre estas la notable falla geológica regional, inicia desde el golfo de Guayaquil dirigiéndose por el noreste Pallatanga, Latacunga subiendo hacia el norte del país cruzando por Colombia y Venezuela tomando el nombre según el lugar en donde se encuentre.

Existen diferentes tipos de fallas que se han clasificado por el movimiento relativo que experimentan los bloques que la forman. (Rivadeneira et al., 2007, p.21). En el Ecuador existen casi todos los tipos de fallas y es de gran importancia identificar el tipo para determinar cuáles son las más peligrosas para el país.

Una de las fallas más importantes se encuentra en el borde subandino de la cordillera oriental esta se encuentra desde la falla Chingual hasta la zona de Consanga, pasando por el volcán El Reventador. Esta falla se caracteriza por estar conformada de fallas transcurrentes e inversas. Se cree que esta falla que pasó por El Reventador ocasionó el sismo del 5 de marzo de 1987 de magnitud 6,9. (Rivadeneira et al., 2007, pp.20-21).

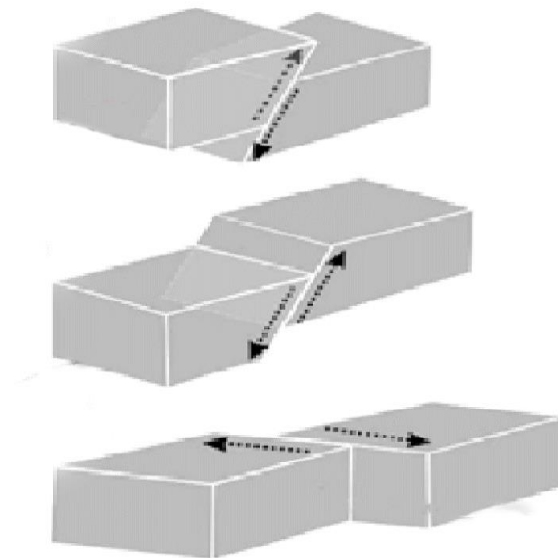
También tenemos fallas menos conocidas como el sistema de fallas de Quito en Pastocalle-Paoló Saquisilí y El Ángel-San Gabriel que mide aproximadamente unos 45 Km, que igualmente cruza por Tambillo. Ilumbisi y El Batán, es por ello que en estos sectores ocasionalmente se generan

sismos de 4,0 grados en la escala de Richter, se estima que se podría llegar a producir un sismo de 6 a 6,5 grados en dichos sitios. (Rivadeneira et al., 2007, pp.20-21).

### **1.1.3. Tipos de fallas**

Para poder clasificar a las fallas hace falta conocer su movimiento o la posición de sus placas una con respecto a la otra, para ello tenemos tres tipos de fallas conocidas.

Cuando una de las placas se encuentra encima de la otra y tiene un movimiento hacia arriba a modo de rampa se la conoce como fallas inversas. Cuando uno de los bloques (placa tectónica) se encuentra encima de otro y por efecto de la gravedad desciende causando el movimiento se la conoce como fallas normales. Las fallas transcurrentes son aquellas que tienen su movimiento de forma diagonal a la dirección del plano, este tipo de falla puede ser dextrales que tiene su movimiento de una de las placas a la derecha respecto a la otra y las transcurrentes sinestrales son las que tienen el movimiento a la izquierda de una de las placas en referencia a la otra esto se puede observar en la Figura (1-1).



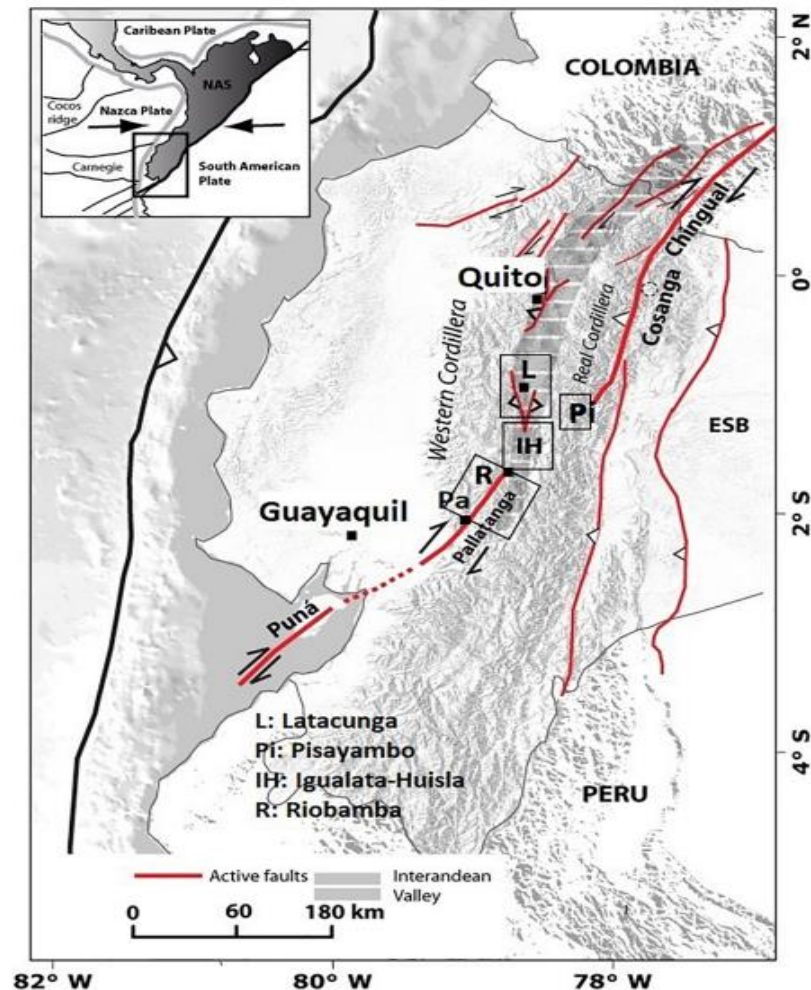
**Figura 1-1.** Movimiento de las placas.

**Realizado por:** Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

### **1.1.4. La falla Pallatanga**

El sistema de fallas Pallatanga como se observa en la Figura (2-1), muestra una morfología bien definida, su cinemática corresponde a un movimiento transcurrentes con componentes inversas (Alvarado, 2012, p.1049), esta falla consta aproximadamente de 956 km atravesando cinco provincias del Ecuador entre ellas Chimborazo. Esta falla comienza en el golfo de Guayaquil, pasa por la

isla Puná, continua por la zona de la troncal, ingresa a la cordillera por Bucay y continua por Pallatanga hacia la población de Cajabamba zona a la cual se le atribuye el terremoto de 1797 donde la antigua ciudad de Riobamba fue destruida.



**Figura 2-1.** Fallas geológicas en el Ecuador.

Realizado por: Baizen S, et al., 2020.

## 1.2. Radiación y radiactividad

La radiación se caracteriza por su capacidad de ionizar y excitar átomos de la materia con un rango de energía aproximadamente de 4-25 eV (electronvoltios) (Attix, 2004, p.2). Las radiaciones llevan energía cinética o energías cuánticas con un exceso de esta magnitud para ser llamados "ionizantes". Este suceso parecería contener a las ondas electromagnéticas de 320 nm (ultravioletas), sin embargo, esto no es así, ya que la energía de la radiación viene dada principalmente por su frecuencia umbral y no por su longitud de onda. Entonces la radiación se la puede describir como energía de propagación que se transmite por el vacío o por un medio en forma de onda electromagnética ( $R_x, R_\gamma, \dots$ ) o también la forma de partícula ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) y que

interactúa con la materia para excitar electrones del núcleo o a su vez arrancarlos para dar origen a nuevos elementos químicos más estables.

La radiación ionizante está caracterizada por causar alteraciones intermoleculares debido a su alta energía mientras la radiación no ionizante no tiene suficiente energía para causar alteraciones. Está en el ambiente de forma natural generado por la presencia de los diferentes materiales radiactivos que se encuentran en la corteza terrestre y de manera artificial se lo encuentra en aparatos electrónicos para usos médicos tanto en la radiología como en la radioterapia

La radiación y la radiactividad han estado presentes desde el inicio del universo y el material radiactivo forma parte de la tierra desde su origen. Pero la humanidad no descubrió este fenómeno hasta finales del siglo XIX. (UNSCEAR, 2016, p.3)

En el año de 1895, el físico Wilhelm Conrad Roentgen descubrió los denominados rayos X que servían para el estudio del cuerpo humano. Con este descubrimiento la humanidad ha ido mejorando los usos médicos de la radiación. Roentgen fue condecorado con el Premio Nobel de Física en 1901. Al año siguiente un físico de origen francés, Henri Becquerel, un día en sus investigaciones guardó unas placas con unos fragmentos que contenían uranio. Después cuando reveló las placas se dio cuenta que estas estaban afectadas por la radiación. Que no fue más que la interpretación de la radiactividad. Este fenómeno se produce cuando se liberan repentinamente energía de átomo, esta energía es medida en bequerelios (Bq) en honor a Becquerel. Poco tiempo más tarde Marie Sklodowska-Curie una joven química realizaba investigaciones en conjunto con su esposo Pierre Curie quienes trabajaban con uranio dándose cuenta que conforme emitía energía este elemento se convertían en otros elementos. (UNSCEAR, 2016, pp.3-4). La radiactividad no es más que un fenómeno de desintegración espontánea o de decaimiento de los núcleos atómicos pesados inestables de algunos elementos químicos asociados a una emisión de partículas o de radiación electromagnética. Estos procesos son estadísticos ya que no se puede predecir el momento exacto en que se desintegra un átomo.

### ***1.2.1. Decaimiento radiactivo***

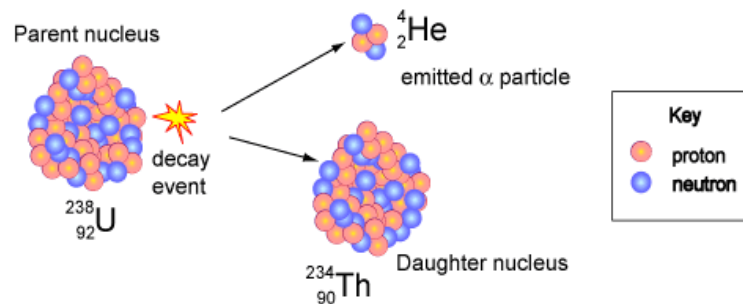
Cuando tenemos un átomo de cualquier elemento químico que se lo escribe regularmente como:  ${}^A_ZX$ , donde A representa la masa atómica, Z el número de átomos del elemento y X el elemento químico del cual se está estudiando. Al ocurrir la emisión de radiación de un núcleo que se lo conoce como Padre, da como resultado un núcleo hijo más pequeño que el elemento padre con una radiación emitida, la simbología del decaimiento radiactivo se la conoce así:



### 1.2.2. Tipos de radiación ionizantes

#### Partícula alfa ( $\alpha$ )

El decaimiento alfa consiste en la emisión de partículas alfa. “Cuando un átomo emite una partícula alfa, la masa atómica del átomo disminuirá cuatro unidades y el número atómico ( $Z$ ) también disminuirá 2 unidades” (Zepeda, 2006, p.17). Son núcleos de Helio (He) que están completamente ionizados, un ejemplo común se puede observar en la Figura (3-1) donde el U-238 con emisión alfa genera un núcleo de Th-234. Estas partículas son partículas pesadas que producen una ionización mayor, pero tienen un recorrido muy corto alrededor de 2 cm que si no ingresa por inhalación o por digestión no provoca daños en el cuerpo ya que pueden ser detenidos por la piel de una persona. Para el caso del radón en aire su recorrido es de 4.1 cm. Las partículas alfa emiten una energía entre 4 MeV y 9 MeV.



**Figura 3-1.** Decaimiento de una partícula alfa del U-238 al Th-234.

Fuente: AIP Emilio Segre Visual Archives.

#### Partícula beta ( $\beta$ )

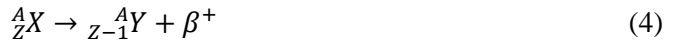
Existen dos tipos de decaimientos beta que puede generar un electro o un positrón dependiendo del número de neutrones que se tengan, estas son de menor ionización que las alfa y tienen mayor penetración en la materia, puede ser frenado por una lámina de aluminio o unos centímetros de agua. En el cuerpo humano puede atravesar la piel, pero no llega a los tejidos internos, como el propio Attix lo definía:

Los núcleos que exceden la cantidad de neutrones tienden a lanzar un electrón (partícula  $\beta^-$ ), lo que deja al núcleo con un protón adicional, es decir, el número atómico  $Z$  aumenta en 1. Por el contrario, los núcleos con exceso de protones generalmente emiten un positrón ( $\beta^+$ ), lo que disminuye  $Z$  en 1, mientras aumenta el recuento de neutrones en 1. (Attix, 2004, p. 88).

Beta negativo



Beta positivo



*Rayos gamma ( $\gamma$ ).*

Los rayos gamma no tienen carga ni masa. Este proceso se lo encuentra regularmente en la naturaleza en forma de ondas electromagnéticas, como un claro ejemplo tenemos a la luz o a los rayos x, pero con una longitud de onda menor y con más energía. La radiación gamma se encuentra en algunos núclidos inestables que se estabilizan emitiendo radiación gamma. Se emite un fotón de alta energía en el proceso, tanto el número atómico como la masa atómica no cambian. Estas partículas pueden ser detenidas solamente por capas grandes de hormigón, plomo o agua. Este tipo de radiación es muy peligrosa en las personas ya que penetra con facilidad y puede producir daños en las células.



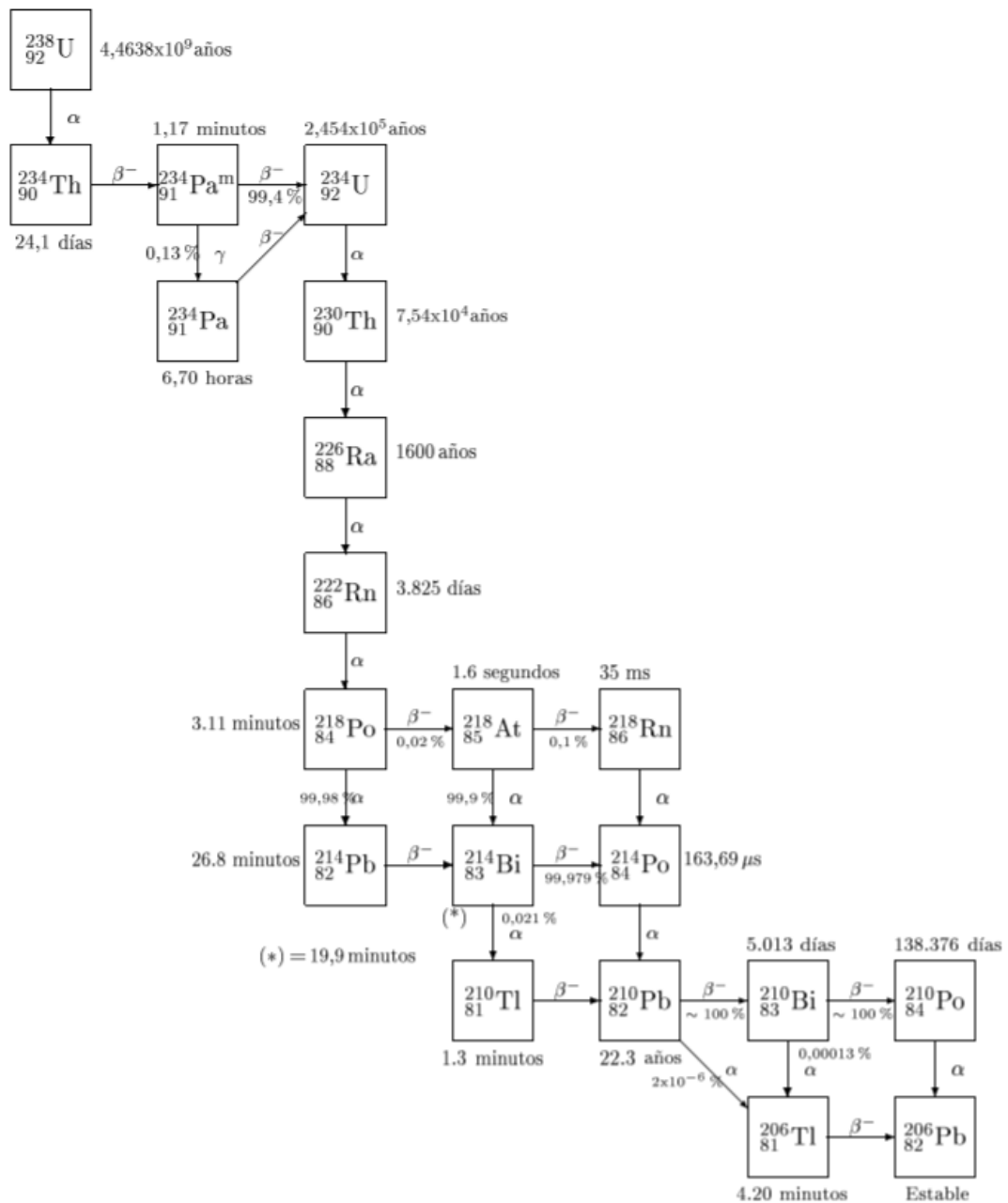
### ***1.2.3. Series de desintegraciones radiactivas***

En la naturaleza existen tres series de desintegración radiactivas, la del Uranio (U-238), Uranio (U-235) y Torio (Th-232) cuyos descendientes generan emisiones de partículas alfa, beta y gamma. Cuando se desintegra un núcleo se forma otro que puede desintegrarse de nuevo. Este proceso ocurre hasta obtener un núclido no radiactivo estable.

El U-238 conocido como la serie del uranio, tiene una vida media de  $4.5 \times 10^{12}$  años, se desintegra por emisión alfa generando una cadena de desintegraciones como se observa en la Figura (4-1) que se agrupa en 5 subseries. Comienza con el núcleo de uranio-238 y termina en el núcleo de plomo-206, entre sus descendientes hay que destacar el Rn-222 responsable de la mayor dosis natural al ser humano y frecuentemente usado como objeto de estudio.

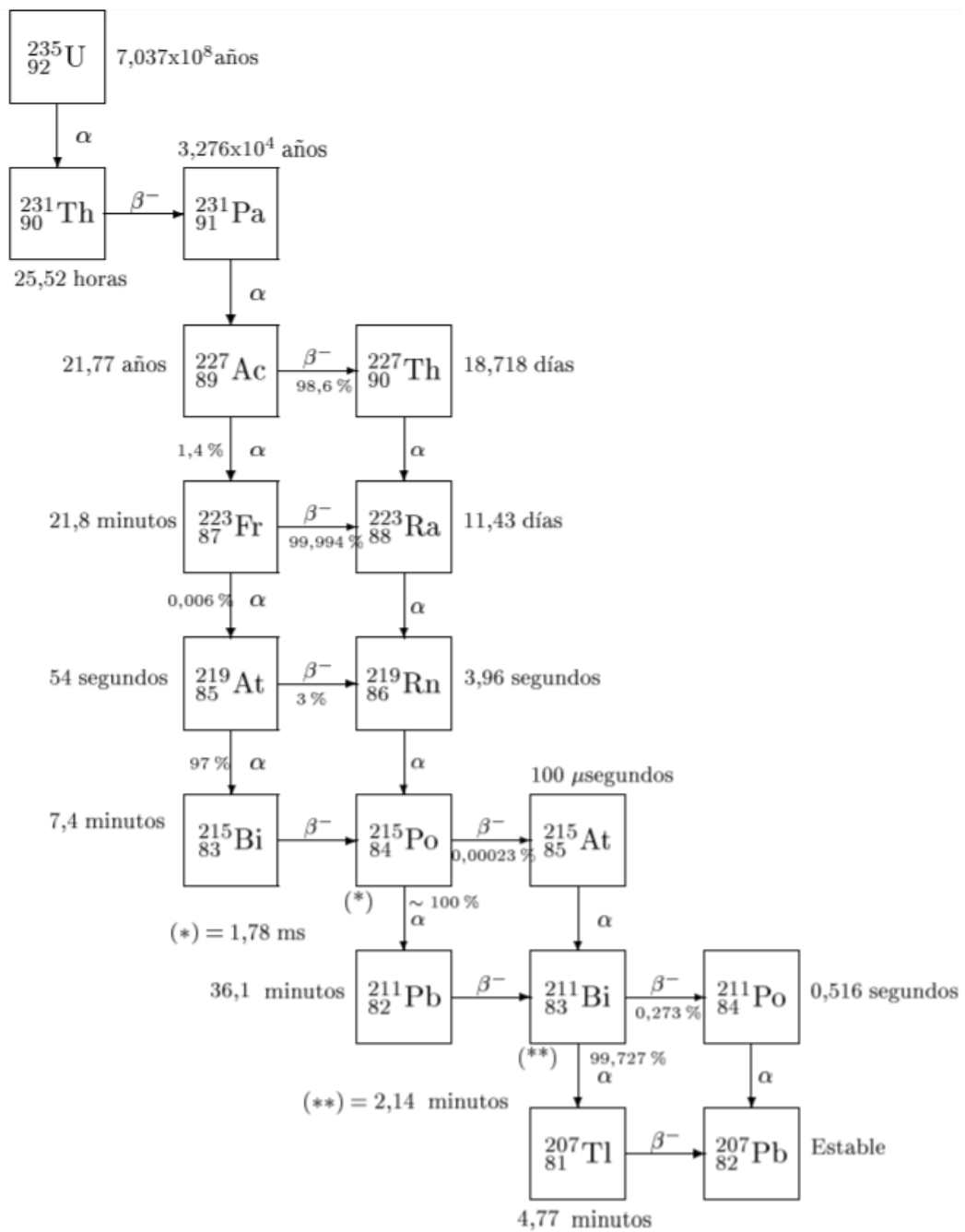
El Uranio-235 denominado como serie del actinio con una vida media de  $7.037 \times 10^8$  años también sufre desintegración alfa. La serie comienza con el núcleo del uranio-235 y termina en el núcleo de plomo-207. En la Figura (5-1) se puede ver todos los descendientes de emisores alfa, beta y gamma de la serie.

El Th-232 posee una vida media de  $1.4050 \times 10^{10}$  años la serie del torio al igual que las otras series comienza con una desintegración alfa que genera la cadena de descendientes agrupados en 3 subseries como se observa en la Figura (6-1). En esta familia se destaca el Rn-220 conocido como torón que al igual que el Rn-222 es objeto de muchas investigaciones. La desintegración del Th-232 comienza con el núcleo del torio-232 y termina en el núcleo de plomo-208.



**Figura 4-1.** Serie de desintegración radiactiva del U-238.

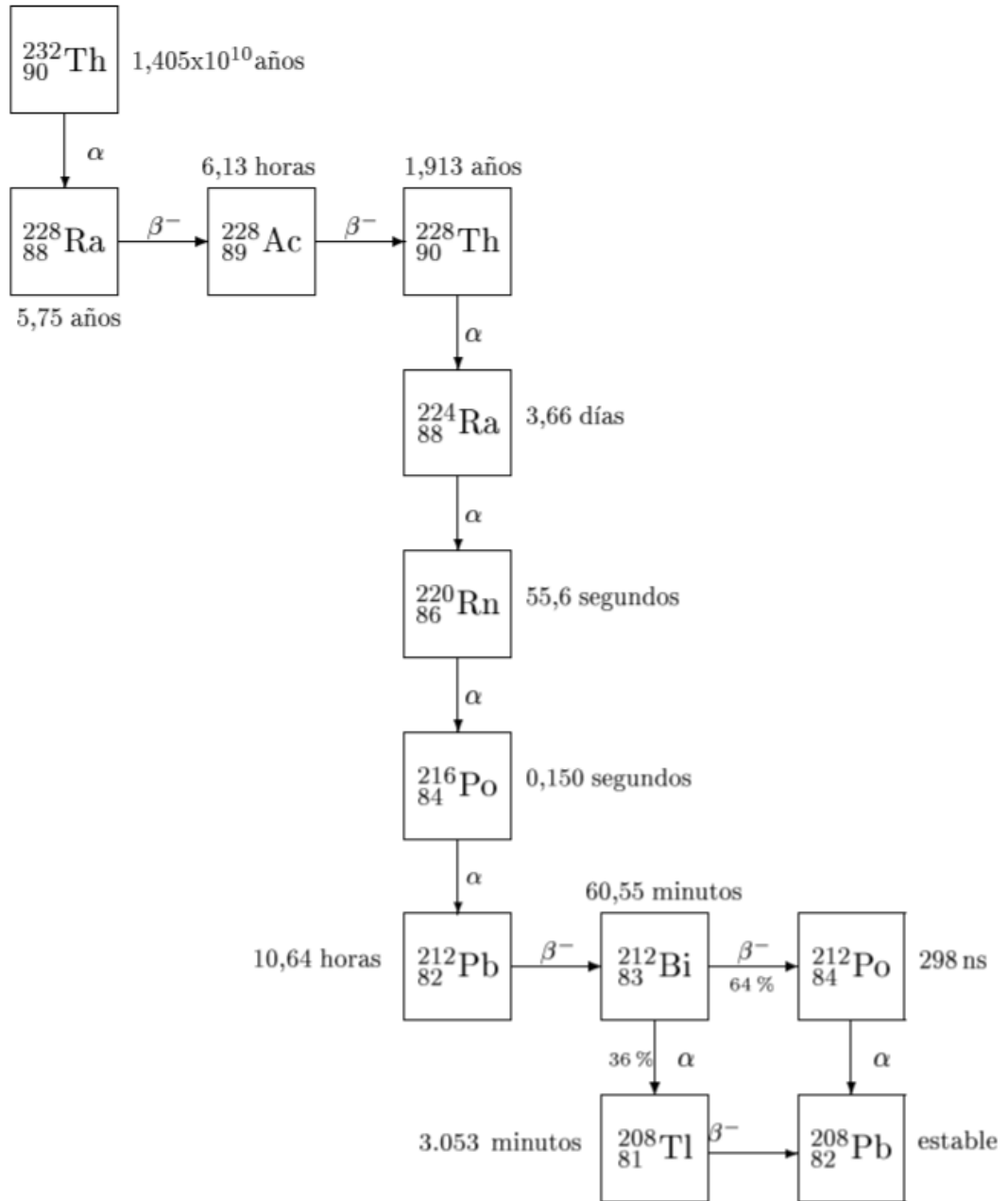
Fuente: (Cortés, G. 2004, pp. 2-14).



**Figura 5-1.** Familia de la desintegración radiactiva del uranio-235.

Fuente: (Cortés, G. 2004, pp. 2-16).





**Figura 6-1.** Cadena de desintegración radiactiva del torio-232.

**Fuente:** (Cortés, G. 2004, pp. 2-11).

### **1.3. Radón**

El término radón empezó a utilizarse a partir del año 1903, durante un tiempo se lo llamaba nitón (del latín niteo, brillar), debido a la luz amarillenta que emite en compuestos sólidos. Marie Curie y Piere Curie observaron que el radio al ponerse en contacto con el aire este se volvía radiactivo, esto ayudó a que en 1900 Friedrich Ernst Dorn demostrara que durante la desintegración del radio se generaba un gas denominado radón.

El radón es un gas radiactivo de origen natural que no tiene olor ni sabor, siendo uno de los gases más pesados en la naturaleza. Todos los isótopos del radón que se encuentran en la corteza de la tierra provienen del uranio. Existen 3 isótopos radiactivos de origen natural del elemento radón que son: radón Rn-222, el torón Rn-220 y el actinio Rn-219.

El Rn-222 es aquel isótopo al cual se le denomina propiamente radón, es un gas radiactivo inerte que se origina por la desintegración del uranio-238 que da origen al radio-226 y que a su vez este se desintegra dando como resultado el radón-222, cuya descomposición radiactiva emite partículas alfa y se realiza en las profundidades del suelo debido a que el uranio se ubica entre las rocas y minerales de la corteza terrestre. Tiene un tiempo de vida media relativamente largo en comparación a otros isótopos, con un estimado de 3.82 días es decir alrededor de 91,68 horas. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), el radón es considerado cancerígeno, después del cigarrillo es la segunda principal causa de cáncer al pulmón.

#### ***1.3.1. Propiedades del radón-222***

El radón es un gas monoatómico radioactivo incoloro inodoro e insípido con número atómico 86, donde todos sus isótopos son radiactivos. No reacciona con ningún otro elemento dándonos a entender que es químicamente inerte. Por estas propiedades y en condiciones naturales el radón escapa de su fuente y no forma nuevos compuestos. Estas características fisicoquímicas y radiológicas se las puede observar en la siguiente Tabla (1-1).

**Tabla 1–1:** Propiedades del radón-222.

Características del Rn-222	Unidades
Configuración electrónica	[Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup>
Energía Alfa	5590.3 KeV.
Vida media	3.8232 días.
Constante de decaimiento	2.098E-6 s <sup>-1</sup>
Actividad específica	5.69E15 Bq/g
Densidad a temperatura 0° C	9.73 kg m <sup>3</sup>
Coefficiente de difusión en agua	1E-9 m <sup>2</sup> /s
Coefficiente de difusión en aire	1E-5 m <sup>2</sup> /s
Punto de fusión	-71°C
Punto de ebullición	-61.8°C
Número atómico	86
Estado	Gaseoso
Aspecto	Incoloro

**Fuente:** Environmental radon measurements using a chamber building materials and water and a feasible program for Ecuador.

**Realizado por:** Cabascango, Jerson; Herrera, Darwin. 2021.

### 1.3.2. Radón-222 en suelos

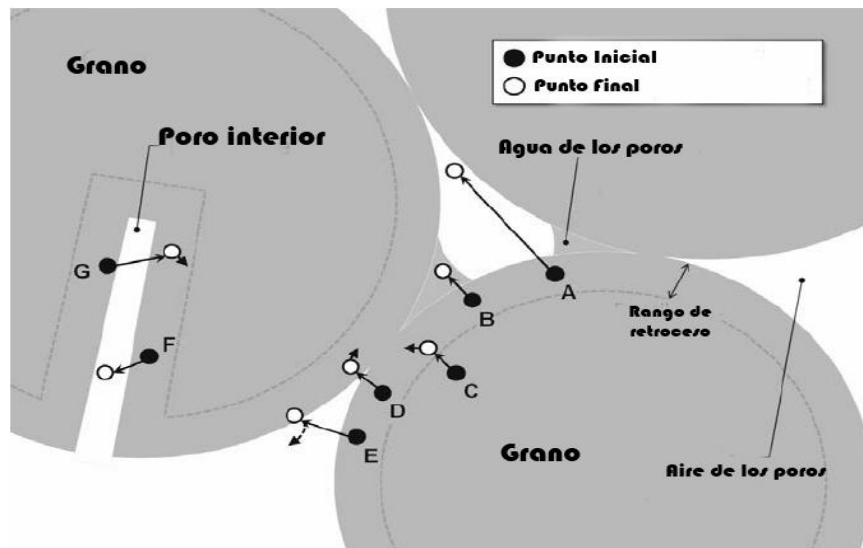
Los radionúclidos en los suelos son fuentes internas y externas de exposición a la radiación para el hombre y el medio ambiente. Se ha evaluado que una concentración 1 Bq·kg<sup>-1</sup> de radio, equivale a 1700 Bq·m<sup>-3</sup> de concentración de actividad de radón en el suelo (Sun et al., 2004, p.35). En el suelo las concentraciones de radón van a depender mucho del origen geológico de las rocas, también de varios parámetros geográficos, climáticos, hidrológicos, la altitud, la historia agrícola y el uso de fertilizantes en los suelos etc. El contenido natural de Rn-222 está en el subsuelo debido a la cantidad de uranio que exista en las rocas, como el uranio existe generalmente en todos los tipos de rocas y terrenos por ende las concentraciones más altas están en rocas de fosfato con un orden de 120 ppm y las más bajas en rocas ígneas ultra-básicas.

#### *Emanación de radón*

El proceso de emanación ocurre a partir de la desintegración del radio-226 que se encuentra en un grano de mineral, esta desintegración genera un movimiento de retroceso con energía de 86 keV permitiendo que el isótopo radón-222 escape o se libere del grano de mineral con facilidad a través del espacio intersticial, debido a que es un gas busca salir a zonas de menor presión este proceso de transportarse debido a un gradiente de presión se conoce como mecanismo de convección. Solo los átomos de radio-226 que se encuentran al borde del grano pueden producir átomos de radón-222 susceptibles a escaparse, por lo que depende del sitio donde se encuentre. Las distancias de retroceso en minerales comunes del Rn-222 está entre 20 a 70 nm. Otro

mecanismo que ayuda al radón a desplazarse por el subsuelo es la difusión molecular, proceso donde el gas se transporta desde una región de alta concentración a una de baja.

En la Figura (7-1) se representa como el radón escapa del grano, muestra los núcleos de radio ubicados en un gránulo, también se observa los espacios intersticiales que pueden estar llenos de aire o agua. La emanación de radón depende de las características del material tales como como la forma y el tamaño del grano, el contenido de humedad, la distribución dentro de los átomos dentro de los granos del mineral, la porosidad, la permeabilidad y variables meteorológicas.



**Figura 7-1.** Proceso de emanación de gas radón-222 desde el interior de un grano de mineral.

Realizado por: Cabascango, Jerson; Herrera, Darwin. 2021.

## 1.4. Magnitudes relevantes para el trabajo de investigación

### 1.4.1. Actividad

La actividad se la conoce como la rapidez con la que un elemento radiactivo decae en otro. Es el número de desintegraciones que suceden en un determinado tiempo. Esto no es afectado por agentes externos como la temperatura, presión, ni por factores físicos o químicos. Una forma matemática que describe la actividad es:

$$A = \frac{-dN}{dt} \quad (6)$$

Donde A es la actividad radiactiva, N es la muestra del material, t el tiempo transcurrido y el signo menos nos indica que la muestra irá disminuyendo con el pasar del tiempo, pero su magnitud siempre se la representa de forma positiva. Esta expresión se “deduce a partir de considerar que

la actividad de una muestra radiactiva es directamente proporcional al número de radionúclidos contenidos en la misma” (Zepeda, 2006, p.22). Y matemáticamente se la representa así:

$$A=\lambda*N \quad (7)$$

Donde  $\lambda$  es la constante de decaimiento radioactivo que representa el número de radionúclidos de una muestra que se encuentran en cualquier momento del tiempo que se desintegra. Esta constante es propia de cada radionúclido. Entonces el número de nucleidos presentes en la muestra después de pasar un tiempo se la puede denotar de la siguiente forma:

$$N(t) = N_0e^{-\lambda t} \quad (8)$$

Donde N representa el número de nucleidos después de un tiempo determinado y  $N_0$  el número de nucleidos iniciales con la que empieza la muestra. Con todo esto podemos encontrar la actividad final luego de pasar un tiempo determinado:

$$A(t) = A_0e^{-\lambda t} \quad (9)$$

En el sistema internacional (SI), la unidad de actividad radiactiva es denominada bequerelios (Bq).

#### **1.4.2. Tiempo de vida media**

Es el intervalo de tiempo que tarda una muestra en reducir a la mitad su actividad inicial. Este valor es propio de cada elemento químico y se lo denota como  $t_{1/2}$ . El tiempo de vida media siempre dependerá de la constante de decaimiento radiactiva, una forma matemática de encontrarla es:

$$t_{1/2} = \frac{\ln(\frac{\lambda_2}{\lambda_1})}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (10)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad (11)$$

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO METODOLÓGICO**

#### **2.1. Tipo y diseño de la investigación**

El presente trabajo de investigación es de carácter no experimental porque la concentración de radón  $^{222}\text{Rn}$  y las variables meteorológicas no fueron manipuladas. Además, el alcance es de tipo exploratorio debido a que a nivel nacional no existen estudios referentes a la cuantificación de gas radón  $^{222}\text{Rn}$  en suelo. La investigación es de naturaleza cuantitativa debido a que se hizo uso de herramientas estadísticas para el entendimiento de los resultados obtenidos. La investigación es transversal debido a que el monitoreo en cada punto de muestreo se realizó una sola vez, en el periodo junio-agosto de 2021.

#### **2.2. Área de estudio**

El universo de la investigación es toda la falla geológica que inicia en el Golfo de Guayaquil y se termina en el sur de Colombia atravesando 5 provincias del Ecuador entre ellas Chimborazo. El área de estudio está ubicada en la provincia de Chimborazo, en el cantón Riobamba, abarca tres parroquias, dos rurales que son San Juan, Calpi, y una urbana llamada Lizarzaburu. La zona de estudio está aproximadamente a 3151 m.s.n.m. y es perpendicular a la falla Pallatanga, como se muestra en la Figura 1-2 (franja amarilla).



**Figura 1-2.** Área de estudio en el cantón Riobamba, perpendicular a la falla Pallatanga (línea roja) (Google Earth, 2021).

**Realizado por:** Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

En la figura (1-2) se representa la falla Pallatanga como una línea roja. Esto fue realizado con la ayuda de Google Earth y cuya exactitud de la ubicación de la falla está basada en un estudio previo realizado por (Baize et al., 2020) denominado “*Active Tectonics and Earthquake Geology Along the Pallatanga Fault, Central Andes of Ecuador*” en el cual se presenta un mapa más detallado de las posibles zonas por donde pasa la falla tanto en el cantón Riobamba como a nivel nacional.

### **2.3. Dimensiones**

La zona de estudio tiene un diseño rectangular de 16 km de largo (8 km en sentido NO y 8km en sentido SE desde la falla) y 0.5 km de ancho, con un área de estudio de  $8km^2$ , como se observa en la Figura (2-2).



**Figura 2-2.** Dimensiones de la zona de estudio (Google Earth, 2021).

**Realizado por:** Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

La zona de estudio se encuentra cerca de los volcanes Chimborazo, Tungurahua, el Altar y el Carihuairazo, aquí se puede encontrar conglomerados volcánicos formados por cantos (Fragmento de roca con un diámetro comprendido entre 64 y 256 mm), cuyas rocas están cubiertas por depósitos piroclásticos (material volcánico arrojado durante una erupción volcánica). El terreno que comprende el área de estudio se lo considera irregular y ondulado moderado, empieza con pendientes abruptas desde la parroquia de San Juan y conforme se dirige hacia Calpi esta va disminuyendo hasta llegar a la parroquia de Lizarzaburu donde se hace plano. Cabe mencionar que existe una gran intervención humana ya que las poblaciones locales de estas parroquias se dedican principalmente a la agricultura y ganadería; por ende, el suelo se encuentra en constante cambio debido a la manipulación del mismo.

Se establecieron 32 *puntos de muestreo* que abarcan todo área de estudio, se evitó generar puntos en zonas de construcciones o lugares inaccesibles. Por ello se decidió realizar una trayectoria en forma de zigzag como se aprecia en la Figura (3-2). El primer punto está localizado en el interior de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) frente a la Facultad de Medicina, cuyas coordenadas UTM son 17M 758797-9816780, y la trayectoria termina con el último punto ubicado en la parroquia de San Juan, cerca de la comunidad La Delicia, con coordenadas 17M 747253-9827055.





**Figura 3-2.** Distribución de los treinta y dos puntos de muestreo ubicados en la zona de estudio, perpendicular a la falla Pallatanga. (Google Earth, 2021).

**Realizado por:** Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

#### 2.4. Materiales e instrumentos utilizados

La configuración experimental, usada para cuantificar la concentración de radón en el suelo, en de los 32 puntos de muestreo se muestra en la Figura (4-2), consta de un detector de radón RAD7, una sonda de gas de suelo suave y una unidad de secado. A continuación, se describe cada uno de los componentes del sistema de detección.

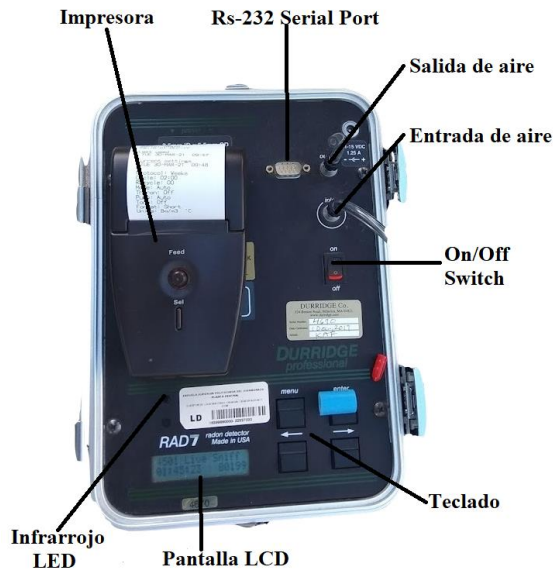


**Figura 4-2.** Sistema de medición de radón-222 en suelo, usando RAD7.

**Realizado por:** DURRIDGE Company, Inc. 2018.

## 2.5. Detector de radón RAD7

El RAD7 es fabricado por la *DurrIDGE Company*, ver Figura (5-2), es un detector portátil, robusto frente a golpes y vibraciones cuyo funcionamiento principal está basado en la espectrometría de la radiación alfa, tiene la capacidad de distinguir entre los isótopos descendientes del radón lo que permite medir las concentraciones de radón-222.



**Figura 5-2.** Detector de gas radón RAD7.

**Realizado por:** Cabascango, J; Herrera, D. 2021.

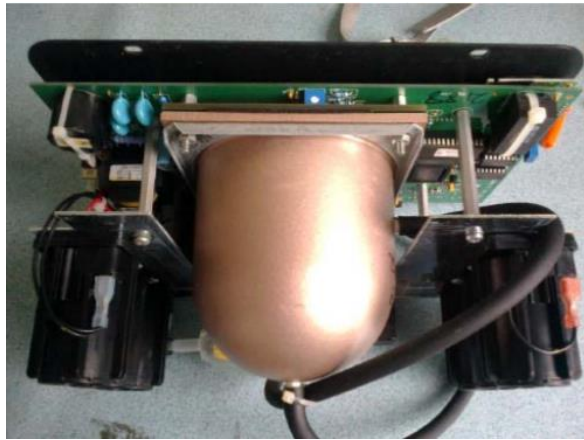
La Figura (6-2) muestra la estructura interna del RAD7, su celda interna es una cúpula en forma de semiesfera con volumen de 0.7 litros, en el centro de la semiesfera se encuentra un *detector alfa plano de silicio*, una bomba interna y un microprocesador que capta y almacena las señales eléctricas.

El proceso físico comienza cuando el núcleo del radón-222 se desintegra en el interior de la celda dejando un descendiente llamado polonio-218. El Po-218 es impulsado hacia el detector por medio del campo eléctrico que se genera en el interior. El núcleo de Po-218 se desintegra en la superficie del detector y la probabilidad de que este genere una señal eléctrica es del 50%.

Las partículas alfa generan unas señales eléctricas, mismas que son almacenadas de acuerdo a la energía de la partícula, 6.00 Mev para el Po-218 y 7.69 Mev para el Po-214, posteriormente el microprocesador almacena los datos y genera mediante una impresión los resultados de concentración de radón-222.

También su recuperación después de una medida es muy rápida lo que permite usar tanto para labores de rastreo como en medidas de corto o largo plazo de alta precisión. Otras características

del equipo se pueden apreciar en la Tabla (2-2), esto convierte al RAD7 en un detector muy útil en el rastreo de fuentes de radón.



**Figura 6-2.** Estructura interna del RAD7.

**Realizado por:** Tan, Y; et al. 2014.

**Tabla 1-2:** Especificaciones del RAD7.

Modos de medición	Normal mide Po-218 y Po-214 13 impulsos sobre minuto Bq/m <sup>3</sup> Sniff mide Po-218. 6,7 impulsos/min a 1.000 Bq/m <sup>3</sup>
Tamaño y peso	29,5 x 21,5 x 27,9 cm 4.35 Kg
Mediciones	Radón en el gas del suelo, con la sonda para gas del suelo y el DRYSTIK Activo Emisión del radón del suelo y de superficies duras, con cámara de emisión
Almacenamiento de datos	1.000 registros, cada uno con 23 campos de datos Registro de la impresión también almacenado
Bomba incorporada.	1 L/min
Temperatura	0-45 °C
Humedad	0-100% de humedad relativa
Tiempo de operación de la batería	24 h en modo de medición de rastreo 72 h en modo de medición normal
Fondo	0,2 Bq/m <sup>3</sup>
Precisión de la medición	+/- 5% de precisión absoluta, 0% - 100% RH

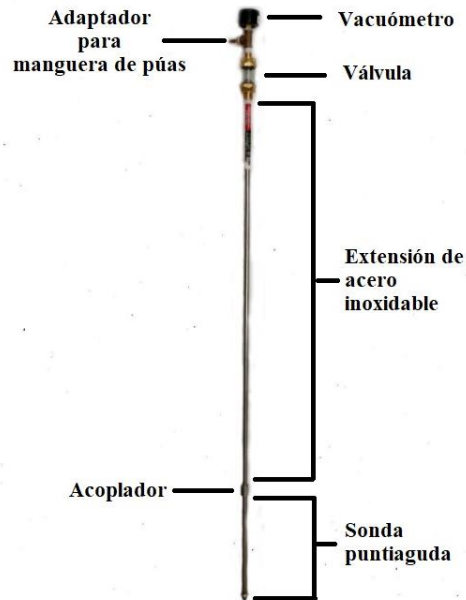
**Fuente:** Detector de radón RAD7, manual en español (2018).

**Realizado por:** Cabascango, J; Herrera, D. 2021.

### ***Sonda de gas de suelo suave (AMS Stainless Steel Soil Gas Probe)***

Para medir el radón bajo tierra es esencial hacer uso de una sonda de gas de suelo también de la marca *Durridge*. La Figura (7-2) visualiza el sistema, fabricado de acero inoxidable de alta resistencia, adecuada para suelos suaves, tiene una extensión de 91.4 cm de largo y la sonda

puntiaguda de 35.6 cm de largo acoplada a la extensión, teniendo una longitud de 127 cm de largo en total. También incluye un adaptador de manguera de púas; además, una válvula de cierre de agua y un vacuómetro que permite medir la presión de vacío del sistema (*Soil Gas Probe User's Manual, 2018*).



**Figura 7-2.** Sonda de gas para uso en suelo suave.

Realizado por: Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

### *Unidad de secado de laboratorio*

En la Figura (8-2), se puede observar la unidad de secado de laboratorio. Esta unidad es un tubo acrílico transparente que alberga aproximadamente 500 gramos de desecante *Drierite*. El desecante está hecho de mineral natural yeso (sulfato de calcio) el cual permite absorber al menos 10% de su peso en agua, cuya función es el secado rápido y eficiente de gases. Viene incorporado a un filtro que interrumpe el paso de partículas de polvo.



**Figura 8-2.** Unidad de secado de laboratorio.

**Realizado por:** Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

### ***Barreno***

La Figura (9-2) muestra un Barreno tipo holandés *Edelman* Arcilla, con una altura de 140 cm, común en perforaciones de suelos ya que permite una fricción mínima durante la perforación gracias a su tornillo helicoidal rotatorio que permite extraer el material sólido perforado con poco esfuerzo.



**Figura 9-2.** Barrero Holandés con punta helicoidal.

**Realizado por:** Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

### ***Medidor climatológico***

Se utilizó un medidor meteorológico *Kestrel 3500*, como se observa en la Figura (10-2) este medidor tiene la capacidad de medir variables ambientales, tales como temperatura del aire, velocidad del viento, etc. Tiene una pantalla impermeable al agua y consta de 3 simples botones para su fácil uso.



**Figura 10-2.** Medidor climatológico  
*Kestrel 3500.*

Realizado por: Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

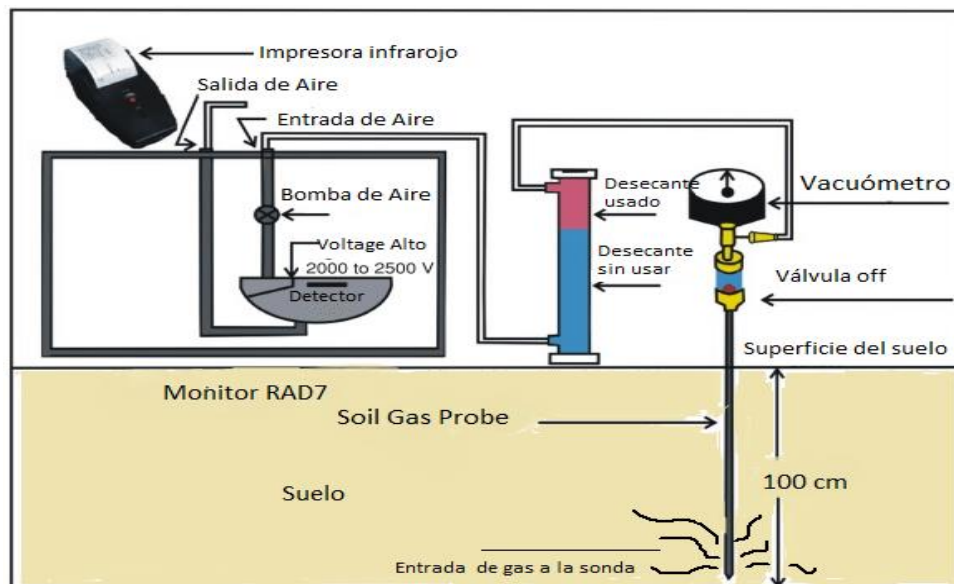
## **2.6. Protocolo de monitoreo y medición de radón-222 en suelo usando RAD7**

Con el detector de radón RAD7 se puede hacer dos tipos de test, uno corto, de rastreo (protocolo *Grab*) donde en 20 minutos se tiene la estimación de la concentración y uno largo usando el protocolo estándar (*Weeks* en ciclos de 2 horas) es decir cada dos horas un resultado.

### **2.6.1. Protocolo Weeks**

- a) Con la ayuda de la aplicación *Google Earth* se ubicaron los 32 puntos de muestreo para la medición de radón en suelo. A cada punto se le dio un nombre específico como se puede visualizar en la Tabla (1-3) de la Sección (3.1) (comenzando en R1 sucesivamente hasta llegar al R32). La letra R hace referencia al cantón donde se realizó el estudio (Riobamba) y el número que le sigue indica el punto de medición siendo del 1 al 32.
- b) Se determinó en cada punto de muestreo las coordenadas UTM, usando la aplicación *UTM Geo Map* y se midió varias variables meteorológicas con la ayuda del medidor climatológico *Kestrel 3500*.

- c) Se purgó el equipo de 10 a 20 minutos utilizando la unidad de secado de laboratorio que se conecta al RAD7 mediante un sistema cerrado de tubos. Una vez verificada la humedad óptima (inferior al 6%.) se detuvo el proceso de purgado.
- d) Se procedió a preparar el terreno, realizando una perforación con la ayuda del barreno tipo holandés a 1 m de profundidad, se ingresó la sonda y se selló el agujero, presionando bien la tierra alrededor de la sonda para evitar que se filtre aire fresco por el exterior de la sonda al punto de muestreo.
- e) Se conectó la sonda al monitor para conseguir la configuración experimental que se ilustra en la Figura (11-2). Se configuró el protocolo *Weeks* a través del panel frontal del RAD7 y se inició el test. Al finalizar el ciclo de 2 horas el equipo imprime el valor de la concentración de radón. Este valor también es almacenado en la memoria interna y se puede descargar a una PC usando el *Software Capture*.



**Figura 11-2.** Sistema de detección de gas radón en suelo usando el monitor RAD7.

**Realizado por:** Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

### 2.6.2. Protocolo *Grab*

Para realizar este test se siguió las etapas especificadas para el protocolo *Weeks*, excepto el literal e), en este caso, se configuró el protocolo *Grab* a través del panel frontal del RAD7 y se inició el test. Al finalizar el ciclo de 20 minutos el equipo imprime el valor de la concentración de radón. Este valor también es almacenado en la memoria interna y se puede descargar a una PC usando el *Software Capture*.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 3.1. Puntos de muestreo de radón-222 en la zona de estudio

La Tabla (1-3) presenta las coordenadas geográficas UTM, altitud, temperatura del aire, velocidad del viento, humedad relativa y presión barométrica de los treinta y dos puntos de muestreo de la región de estudio. El periodo de medición fue de junio hasta agosto del 2021, época en la que la temperatura media fue de  $16 \pm 3$  °C ( $1\sigma$ ), humedad relativa media de  $69 \pm 11\%$  ( $1\sigma$ ), velocidad de viento promedio de  $1,3 \pm 0,7$  m/s ( $1\sigma$ ) y presión barométrica media de  $0,70 \pm 0,02$  atm.

**Tabla 1-3:** Coordenadas geográficas UTM y variables meteorológicas.

Punto de muestreo	Coordenadas UTM zona 17 M	Altitud (m)	Temperatura °C	Velocidad de viento (m/s)	Humedad relativa %	Presión Barométrica (atm)
R1	758797-9816780	2820	16,2	1,1	71,1	0,72
R2	758389-9816929	2830	17,7	3,1	54,2	0,72
R3	758023-9817369	2853	13,7	1,2	78,3	0,72
R4	757660-9817546	2870	20,7	3	46,9	0,72
R5	757337-9818122	2870	15,7	1	64,3	0,72
R6	756808-9818257	2906	17,8	2,6	54,4	0,72
R7	756554-9818828	2945	19	0,4	64,5	0,71
R8	756052-9818963	2991	20	1,6	53	0,71
R9	757597-9819516	3013	19,3	1,5	82,1	0,70
R10	755372-9819630	3042	14,3	1	77,9	0,71
R11	755125-9820172	3064	10,5	1,4	65,7	0,70
R12	754565-9820319	3089	20	0,7	69,3	0,70
R13	754377-9820820	3115	17	0,8	81,7	0,70
R14	753788-9821069	3103	21,6	0,9	73,7	0,70
R15	753673-9821556	3122	17,9	1,2	52	0,70
R16	753133-9821688	3111	15,2	1,1	68,5	0,70
R17	753187-9822269	3122	18,3	0,6	78	0,70
R18	752432-9822316	3142	17,8	1,5	68,8	0,70
R19	752236-9822938	3163	20,7	1,2	52,2	0,69
R20	751650-9823066	3204	16,1	1,7	81,4	0,69
R21	751396-9823437	3184	13	0,8	75,5	0,69
R22	750940-9823702	3206	17,1	0,5	75,7	0,69
R23	750545-9824147	3213	18,2	1,2	82,4	0,69
R24	749892-9824423	3234	16,3	0,9	68,1	0,69
R25	749930-9824893	3220	14,6	0,4	70,3	0,69



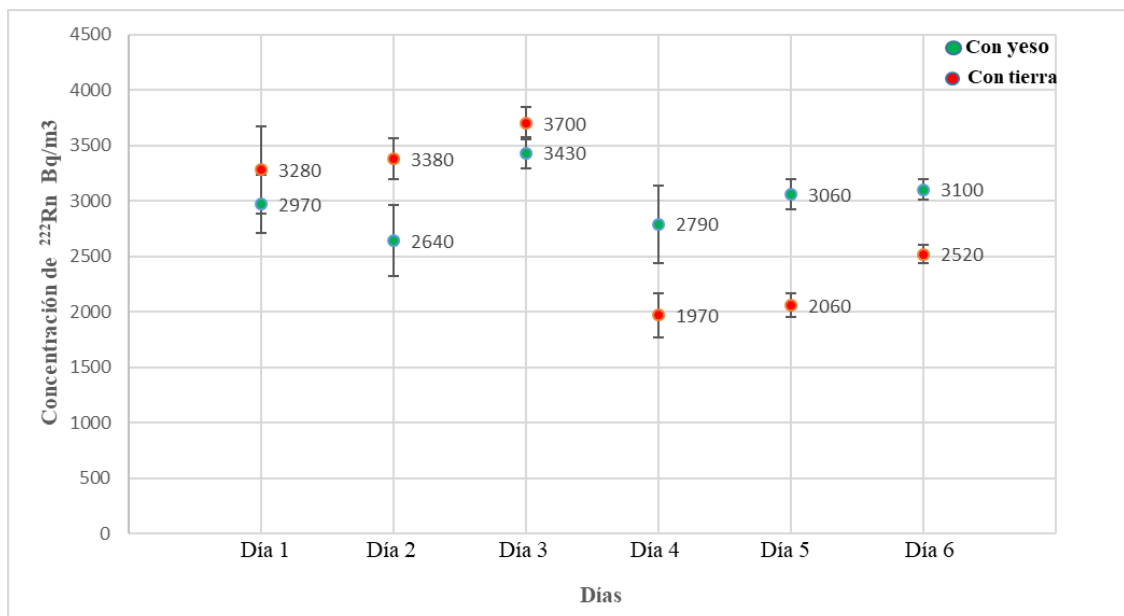
R26	749416-9825080	3231	14,2	2,1	63,9	0,69
R27	749202-9825597	3239	18,1	0,8	60,3	0,69
R28	748563-9825662	3324	10,8	0,9	68,2	0,68
R29	747964-9826005	3549	11,4	2	83,9	0,66
R30	747771-9826417	3582	8,8	1,2	84,6	0,66
R31	747661-9826908	3540	15,2	1,3	57,7	0,66
R32	747253-9827055	3566	10,2	1,5	87	0,66
<b>Valor medio</b>			<b>16,2</b>	<b>1,3</b>	<b>69,2</b>	<b>0,70</b>
<b>Desviación estándar</b>			<b>3,3</b>	<b>0,7</b>	<b>11,1</b>	<b>0,02</b>

Fuente: Autor, 2021.

Realizado por: Cabascango, J; Herrera, D. 2021.

### 3.2. Comparación de los procedimientos de sellado de la perforación en el suelo

En la Gráfica (1-3) se muestran doce experimentos repetidos e independientes, realizados en 6 días de medición, para evaluar la concentración de radón en el punto R2 (ubicado en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH). Los puntos rojos son los resultados con el agujero sellado solamente con tierra y los puntos verdes son los valores obtenidos con el agujero sellado con tierra y adicionalmente una capa de yeso. Los resultados muestran una buena compatibilidad de las concentraciones de radón con el sellado de yeso, mientras que se observa una gran variabilidad de las concentraciones en los test con sellado de tierra.

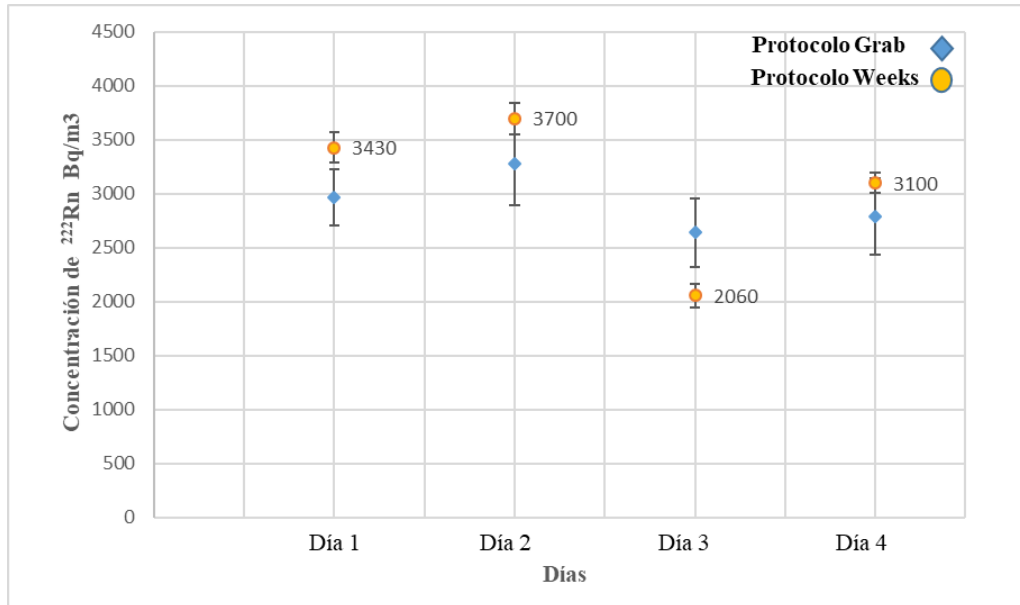


**Gráfica 1-3.** Comparación de los procedimientos de sellado en el punto R2 (cada punto representa un test).

Realizado por: Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

### 3.3. Comparación de los protocolos *Weeks* y *Grab*

La Gráfica (2-3) presenta los resultados de ocho experimentos repetidos, realizados en cuatro días consecutivos, para determinar la concentración de radón-222 en el punto R2, usando los protocolos *Grab* y *Weeks*, detallados en la Sección (2.4). Es evidente que los resultados dentro de las incertidumbres ( $2\sigma$ ) son cercanos entre sí, y que el protocolo *Grab* reportan una mayor incertidumbre que el protocolo *Weeks*.

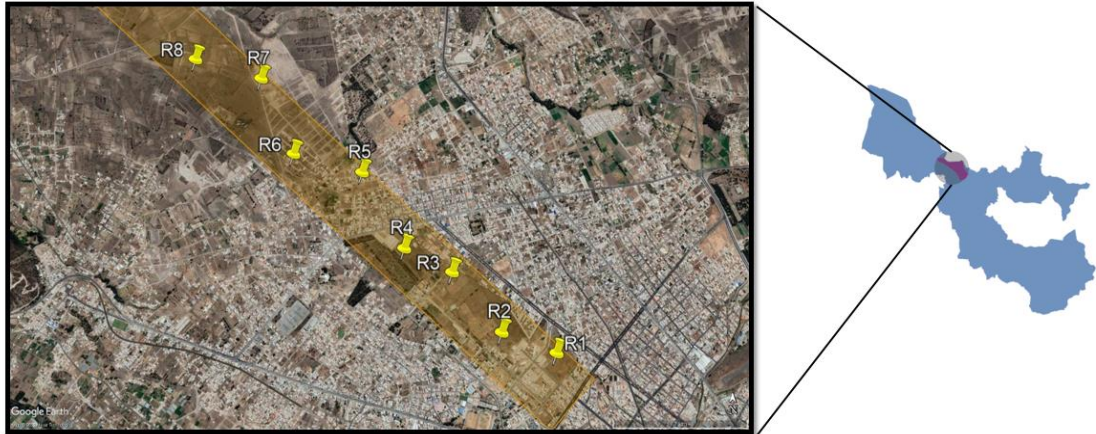


**Gráfica 2-3.** Comparación de los protocolos *Grab* y *Weeks* en el punto R2 (ubicado en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH).

**Realizado por:** Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

### 3.4. Concentraciones de radón en el suelo de la parroquia Lizarzaburu

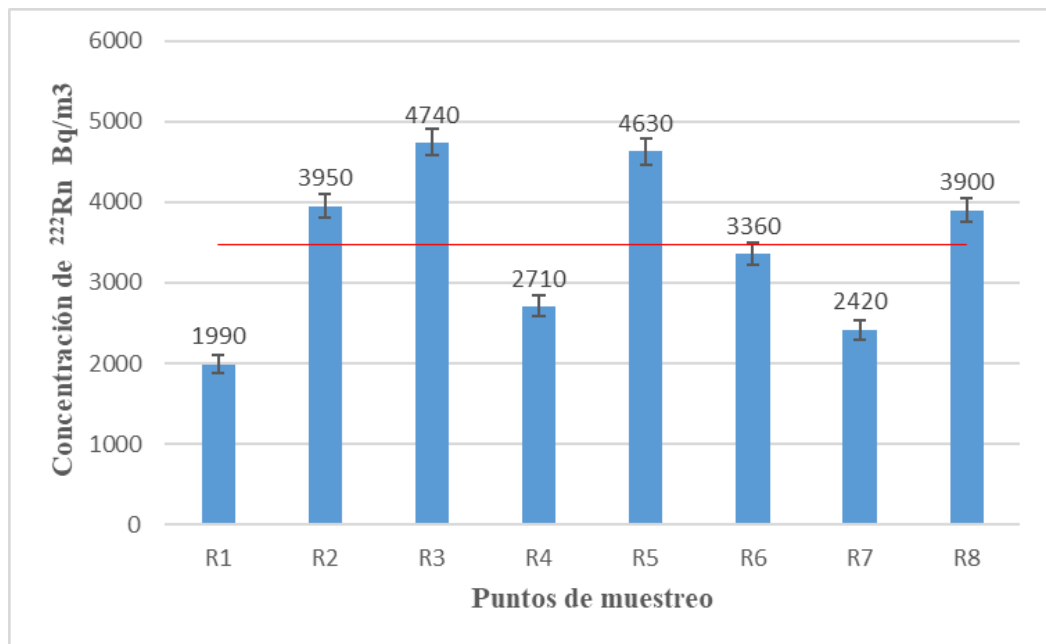
La ubicación espacial de los ocho puntos de muestreo ubicados en la parroquia de Lizarzaburu se puede observar en la Figura (1-3).



**Figura 1-3.** Puntos de muestreo en la parroquia de Lizarzaburu (Google Earth, 2021).

Realizado por: Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

Lizarzaburu es una parroquia urbana del cantón Riobamba, los puntos de muestreo van del R1 al R8 y están localizados al sureste (SE) de la falla Pallatanga. La Gráfica (3-3) muestra que el rango de concentraciones de radón es de  $1990 \pm 108 \text{ Bq/m}^3$  ( $2\sigma$ ) a  $4740 \pm 165 \text{ Bq/m}^3$  ( $2\sigma$ ), la línea roja indica el valor medio de la concentración ( $3463 \text{ Bq/m}^3$ ).

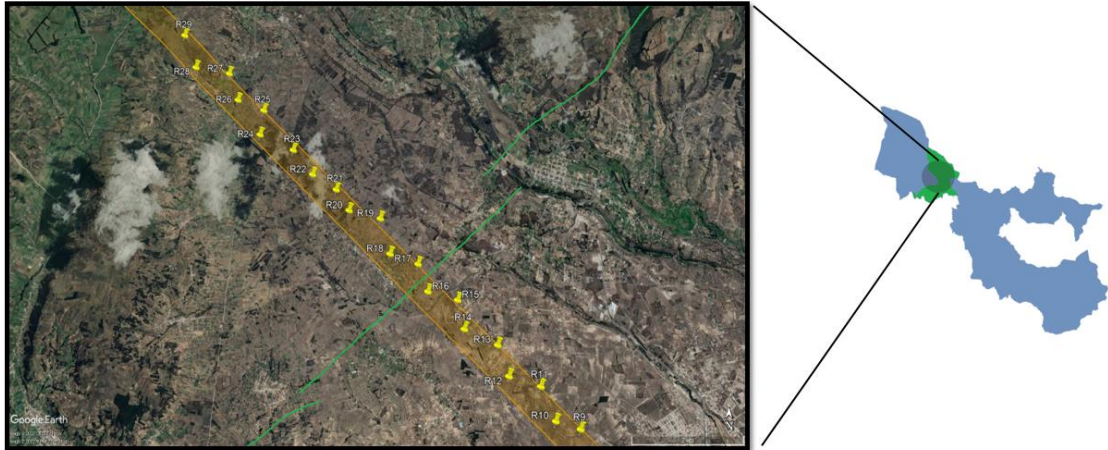


**Gráfica 3-3.** Concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$  en la parroquia Lizarzaburu.

Realizado por: Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

### 3.5. Concentraciones de radón en el suelo de la parroquia Calpi

La Figura (2-3) indica la ubicación espacial de los 20 puntos de muestreo ubicados en la parroquia de Calpi. De igual forma se puede apreciar de color verde la ubicación de la falla Pallatanga.



**Figura 2-3.** Puntos de muestreo en la parroquia Calpi (Google Earth, 2021).

**Realizado por:** Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

Esta parroquia por su gran extensión abarca el 62,5 % de los puntos de muestreo empezando en el R9 hasta el R28. La Gráfica (4-3) muestra que el rango de concentraciones de radón es de  $2570 \pm 122 \text{ Bq/m}^3$  ( $2\sigma$ ) a  $19900 \pm 340 \text{ Bq/m}^3$  ( $2\sigma$ ), la línea horizontal roja me indica el valor promedio ( $5397 \text{ Bq/m}^3$ ). Las concentraciones en verde son los puntos más cercanos a la falla; sin embargo, no se observan concentraciones altas.



**Gráfica 4-3.** Concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$  en la parroquia Calpi.

Realizado por: Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

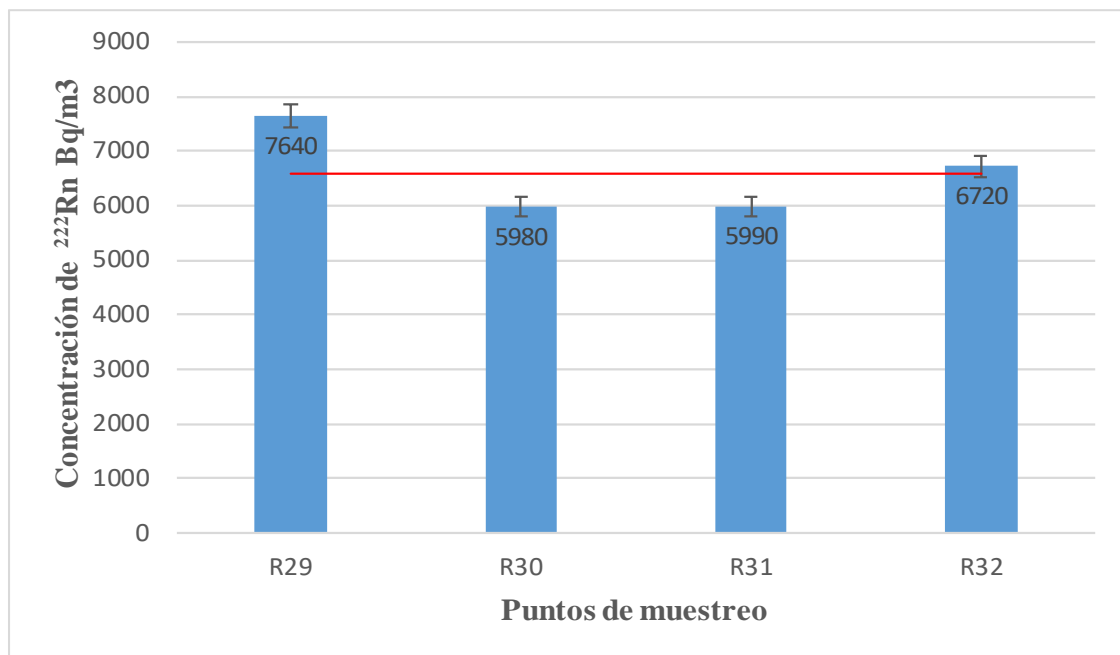
### 3.6. Concentraciones de radón en el suelo de la parroquia San Juan



**Figura 3-3.** Puntos de muestreo en la parroquia San Juan (Google Earth, 2021).

Realizado por: Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

San Juan es una de las parroquias rurales del cantón Riobamba, ubicada en las faldas del Nevado Chimborazo (el volcán más alto del mundo, medido desde el centro de la tierra), los puntos de muestreo del R29 al R32 se puede observar en la Figura (3-3), se encuentran al noroeste (NO) de la falla Pallatanga. En la Gráfica (5-3) se puede visualizar que el rango de los niveles de radón va de  $5980 \pm 181 \text{ Bq/m}^3$  ( $2\sigma$ ) a  $7640 \pm 210 \text{ Bq/m}^3$  ( $2\sigma$ ), la línea roja indica el valor medio de la concentración ( $6583 \text{ Bq/m}^3$ ).

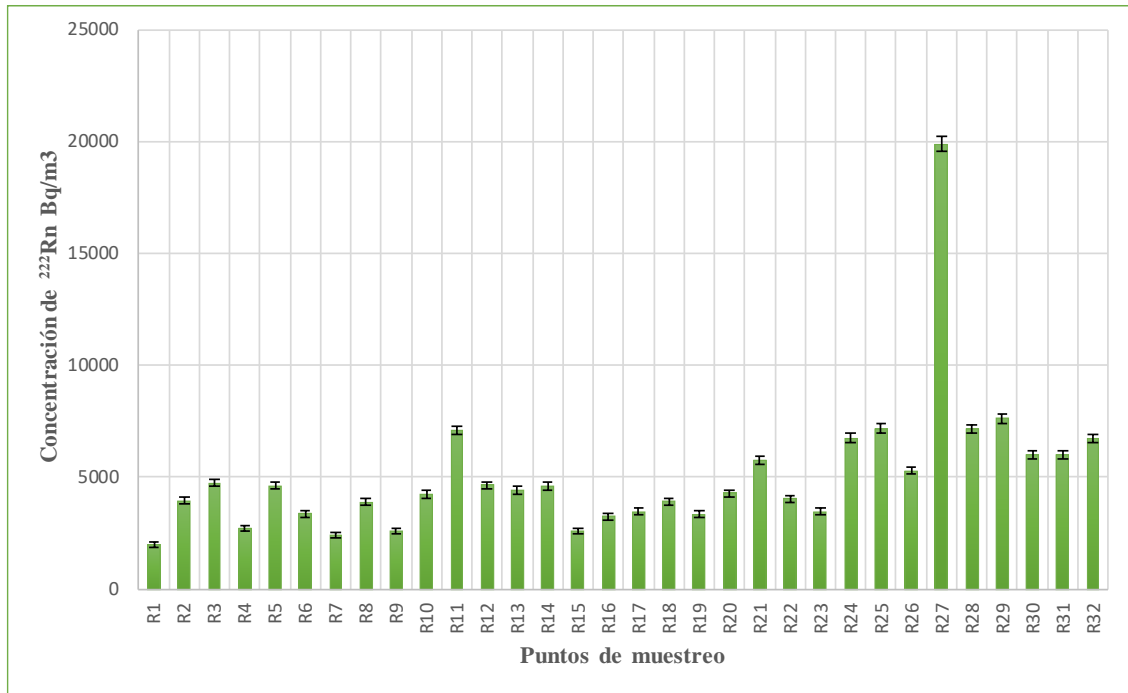


**Gráfico 5-3.** Concentraciones de radón-222 en la parroquia de San Juan.

Realizado por: Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

### 3.7. Panorámica de las concentraciones de radón en el área de estudio

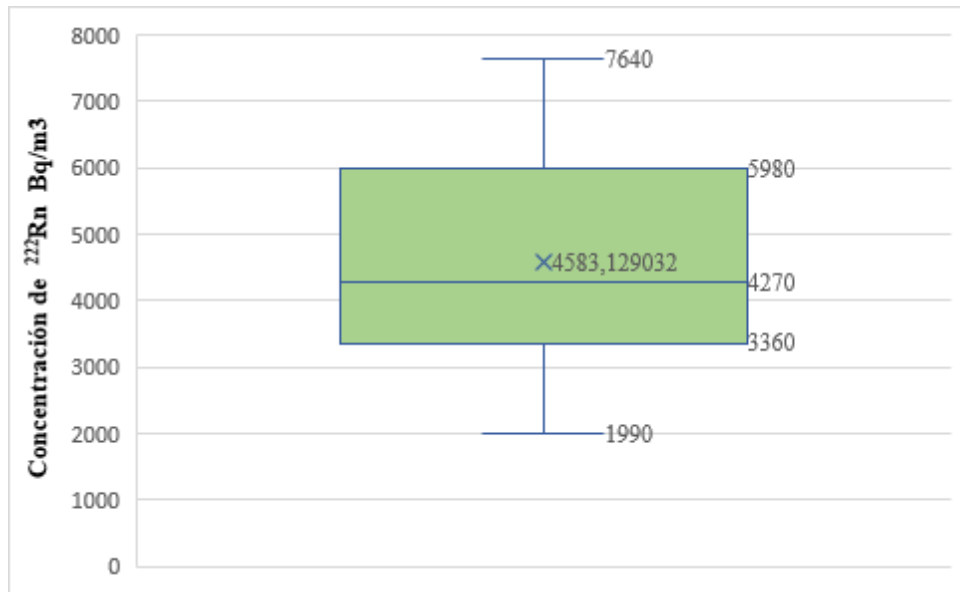
Una visión en conjunto de las concentraciones de radón en los 32 puntos de muestreo de la zona de estudio, perpendicular a la falla Pallatanga, se muestra en la Gráfica (6-3), la concentración más alta se observó en el punto R27 ( $19900 \pm 340 \text{ Bq/m}^3$  ( $2\sigma$ )) que se encuentra geográficamente a aproximadamente 5 km de la falla, cabe recalcar que en este punto se realizaron dos mediciones para confirmar la elevada concentración de <sup>222</sup>Rn que hay en el lugar.



**Gráfico 6-3.** Concentraciones de radón-222 en el suelo del área de estudio.

**Realizado por:** Cabascango, J.; Herrera, D. 2021.

La Gráfica (7-3) es un diagrama de caja que presenta una visión rápida de la distribución de las concentraciones de radón-222 en la zona de estudio, excluyendo el valor más alto de 19900 Bq/m $^3$ . La caja está delimitada por el primer cuartil (Q1) con un valor de 3360 Bq/m $^3$  y el tercer cuartil (Q3) con un valor de 5980 Bq/m $^3$ , el segundo cuartil (Q2) es la línea que divide la caja y donde se encuentra la mediana con un valor de 4270 Bq/m $^3$ . Además, se puede observar en la parte inferior el valor mínimo de 1990 Bq/m $^3$  así como también en la parte superior el valor máximo de 7640 Bq/m $^3$  del conjunto de datos. Por lo tanto, se puede apreciar que la distribución de los datos con respecto a la media genera una asimetría positiva o sesgo a la derecha, esto debido a que el valor de la media, 4583,13 Bq/m $^3$ , es mayor al valor de la mediana, indicando que en la parte inferior de la caja los datos están más agrupados o próximos y en la parte superior los datos son más dispersos.



**Gráfico 7-3.** Diagrama de caja o *Boxplot* del conjunto de datos de concentración de radón-222.

Realizado por: Cabascango, J; Herrera, D.



## CONCLUSIONES

Se llevaron a cabo varios experimentos independientes para comparar dos procedimientos de sellado de la perforación realizada en el suelo para medir la concentración de radón-222, el primer procedimiento consistió en sellar únicamente con tierra y el segundo con tierra y una capa de yeso, los resultados mostraron una buena compatibilidad de las concentraciones de radón con el sellado con yeso, mientras que se observó una gran variabilidad de las concentraciones con el sellado de tierra, por lo que concluye que *el segundo procedimiento de sellado es preciso y por tanto recomendable para esta investigación.*

Se realizó una comparación experimental entre los protocolos *Grab* y *Weeks*, disponibles para la cuantificación de radón con RAD7, los resultados mostraron que las concentraciones de radón son semejantes dentro de las incertidumbres ( $2\sigma$ ) y que el protocolo *Grab* reporta incertidumbres mayores al 20% mientras que el protocolo *Weeks* presenta incertidumbres inferiores al 5%, Por lo que se concluye que *el protocolo Weeks proporciona un método exacto para la medición de radón-222 en el suelo.*

Se monitoreó 32 puntos, distribuidos de manera ordenada y equidistantes, ubicados en las parroquias de San Juan, Calpi y Lizarzaburu del cantón Riobamba, con variables meteorológicas de temperatura, velocidad del viento, humedad relativa y presión barométrica poco variables (junio-agosto 2021), el rango de concentraciones de radón-222 en el suelo fluctuó entre  $1990 \pm 108 \text{ Bq/m}^3$  ( $2\sigma$ ) en el punto R1, aproximadamente a 8 km al sureste de la falla, y  $19900 \pm 340 \text{ Bq/m}^3$  ( $2\sigma$ ) en el punto R27, aproximadamente a 5 km al noroeste de la falla, en los puntos próximos a la falla se observó un rango de  $2570 \pm 122 \text{ Bq/m}^3$  ( $2\sigma$ ) a  $3930 \pm 152 \text{ Bq/m}^3$  ( $2\sigma$ ), lo que evidencia que *cerca a la falla Pallatanga no se presentan altas concentraciones de radón en el suelo.*

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda utilizar la configuración *Weeks* con un monitoreo continuo de al menos 12 horas en cada punto de muestreo a fin de observar la variabilidad de los resultados reportados cada dos horas.

Se recomienda usar yeso para sellar la perforación en el suelo y así evitar fugas de aire fresco en la ruta de adquisición de muestras o por el exterior de la sonda al punto de muestreo puede ser una fuente importante de error en la medición.

Se recomienda realizar un estudio detallado de la zona alrededor del punto R27 (ubicado en la parroquia de San Juan), debido a la alta concentración de radón-222 observada en este estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUILAR AGUILAR, A.** DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE RADÓN-222 PRESENTES EN LA MINA SUBTERRÁNEA “EL SEÑOR DE ROMA” EN EL CANTÓN ZARUMA-EL ORO, ECUADOR [en línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniero Ambiental) Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador. 2018. pp. 25-32. [Consulta: 2021-07-03]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16203>.

**ALONSO HERNÁNDEZ, H.** El radón en suelos, rocas, materiales de construcción y aguas subterráneas de las Islas Canarias Orientales [en línea]. (Trabajo de Titulación). (Doctoral) Universidad de las Palmas de Gran Canaria, departamento de física. España. 2016. pp. 6-35. [Consulta: 2021-06-29]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10553/18553>.

**AL-TAJ, M.; & AL-BATAINA, B.; & ATALLAH, M.** “Evaluation of geodynamic activity of the Dead Sea transform fault by radon gas concentrations”. *Environmental Geology*, vol. 46, n°1 (2004), pp 574-582.

**ALVARADO, A.; et al.** “Partitioning of oblique convergence in the Northern Andes subduction zone: Migration history and the present-day boundary of the North Andean Sliver in Ecuador”. *Tectonics* [en línea], 2016, (United State of America) 35(5), pp. 1048-1065. [Consulta: 29 julio 2021]. ISSN 1944-9194. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/2016TC004117>.

**ATTIX FRANK, H.** *INTRODUCTION TO RADIOLOGICAL PHYSICS AND RADIATION DOSIMETRY*. Wisconsin-USA: University of Wisconsin Medical School, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004. ISBN 9780471011460. PP. 1-88.

**BAIZE, STÉPHANE.; et al.** “Active Tectonics and Earthquake Geology Along the Pallatanga Fault, Central Andes of Ecuador”. *Frontiers in Earth Science* [en línea], 2020, (Italia) 8(193), pp. 1-21 [Consulta: 2 agosto 2021]. ISSN 2296-6463. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/feart.2020.00193>.

**BUSTAMANTE CALDERÓN, D.** “Perspectiva para zonificación del riesgo por deslizamientos para el cantón Riobamba”. *FIGEMPA: Investigación y desarrollo* [en línea], 2018, (Ecuador) 1(1), pp. 20-28. [Consulta: 21 junio 2021]. ISSN 2602-8484. Disponible en: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.817>.

**CORTÉS ROSELL, G.** Aportaciones al estudio de los campos de radiación ionizante ambiental [en línea]. (Trabajo de Titulación). (Doctoral) Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona-España. 2001. pp. 1-6. [Consulta: 2021-07-10]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/6602>.

**CRAIG, HARMON.** “Lake Tanganyika geochemical and hydrographic study: 1973 Expedition”. *Scripps Institution of Oceanography* [en línea], 1974, (Estados Unidos), 75(5), pp. 1-79. [Consulta: 8 septiembre 2021]. Disponible en: <https://escholarship.org/uc/item/4ct114wz>.

**DURRANCE, E. M.; & GREGORY, R. G.** “Helium and radon transport mechanisms in hydrothermal circulation systems of Southwest England”. *Geochemistry of gaseous elements and compounds*, (1990), pp. 337-352.

**DURRIDGE COMPANY INC.** *RAD7 Electronic Radon Detector User Manual* [en línea]. Billerica- USA, 2021. [Consulta: 29 octubre 2021]. Disponible en: <https://durridge.com/documentation/RAD7%20Manual.pdf>.

**DURRIDGE COMPANY INC.** *Soil Gas Probe User 's Manual* [en línea]. Billerica-USA, 2018. [Consulta: 1 noviembre 2021]. Disponible en: <https://durridge.com/documentation/Soil%20Gas%20Probe%20Manual.pdf>.

**FONT, LL.; & BAIXERAS, C.; & MORENO, V.; & BACH, J.** “Soil radon levels across the Amer Fault”. *Radiation Measurements* [en línea], 2008 (USA), 43(1), PP. 319-323. [Consulta: 28 julio 2021]. ISSN 1350-4487. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2008.04.072>.

**FUENTE LASTRA, M.** Estudio de diferentes técnicas para la medida de exhalación de radón en suelos [en línea]. (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad de Cantabria, Facultad de Ciencias. España. 2016. pp. 2-14. [Consulta: 2021-09-7]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10902/9385>.

**GARCÍA VINDAS, J.** “Determinación de la velocidad de los gases en el subsuelo mediante un método basado en las variaciones de la concentración del gas radón”. *Revista Geológica de América Central* [en línea], 2001, (Costa Rica) 25(1), pp. 93-98. [Consulta: 12 julio 2021]. ISSN 0256-7024. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i25.8542>.

**GIOTOLI, G.; et al.** “The detection of concealed faults in the Ofanto Basin using their correlation between soil-gas fracture surveys”. *Tectonophysics* [en línea], 1999, (Italia) 301(3-4), pp. 321-

332. [Consulta: 12 octubre 2021]. ISSN 0040-1951. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00220-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00220-0).

**GOLD, T.; & SOTER, S.** “Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes”. *Pure and applied geophysics* [en línea], 1984, (USA), 122, pp. 492-530. [Consulta: 26 julio 2021]. ISSN 1420-9136. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF00874614>.

**GONZÁLEZ MOGROVEJO, K.** CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS Y FÍSICAS DEL SUELO, CON LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN EL MISMO, EN OCHO PUNTOS DE LA PERIFERIA DE LA CIUDAD DE CUENCA, ECUADOR [en línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniera Ambiental) Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador. 2018. pp. 5-23. [Consulta: 2021-08-05]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15184>.

**GUAPIZACA JINDE, CURI, S.** Implementación de un método de detección del gas  $^{222}\text{Rn}$  en agua proveniente de las vertientes naturales del volcán Carihuairazo [en línea]. (Trabajo de Titulación). (Biofísica) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, facultad de Ciencias, escuela de Física y Matemática. Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 6-20. [Consulta: 2021-07-10]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8357>.

**IOVINE, G.; et al.** “Soil-gas radon anomalies in three study areas of Central-Northern Calabria (Southern Italy)”. *Natural Hazards* [en línea], 2018, (Italy) 91(1), pp. 193-219. [Consulta: 4 agosto 2021]. ISSN 1573-0840. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2839-x>.

**ISHIMORI, YU.; et al.** *Measurement and Calculation of radon releases from NORM residues. IAEA Technical Reports Series No 474.* Vienna: International Atomic Energy Agency, 2013. ISBN 9789201426109. P. 36.

**KING CHI-YU.** “Impulsive radón emanation on a creeping segment of the San Andreas fault, California”. *Pure and applied geophysics* [en línea], 1984, (USA), 122, pp. 340-352. [Consulta: 10 septiembre 2021]. ISSN 1420-9136. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF00874603>.

**KING, Y.; et al.** “Spatial radón anomalies on active faults in California”. *Applied Geochemistry*, vol. 11, n°4 (1996), (USA) pp. 497-510.

**LÁZARO MANCILLA, O.; et al.** “Concentraciones de gas radón ( $^{222}\text{Rn}$ ) en suelo de la zona urbana de Morelia, Michoacán, México y su relación con fallas potencialmente sísmicas y asociadas con el proceso de subsidencia-fluencia”. *Revista mexicana de ciencias geológicas* [en línea], 2020, (México) 37(2), pp. 157-177. [Consulta: 26 julio 2021]. ISSN 1026-8774. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2020.2.1547>.

**LLUMIGUANO YANZA, M.; & BARRAGÁN AROCA, G.** “FACTORES GEODINÁMICOS DE LA FALLA GEOLÓGICA PALLATANGA-RIOBAMBA Y SU INFLUENCIA EN LA VULNERABILIDAD DEL ÁREA URBANA DE LA PARROQUIA SANTIAGO-PROVINCIA BOLÍVAR, ECUADOR”. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa* [en línea], 2021, (Ecuador) 4(3), pp. 161-201. [Consulta: 9 julio 2021]. ISSN 2477-9253. Disponible en: <https://doi.org/10.24133/rcsd.V4N3.2019.09>.

**LOAYZA CABRERA, MARLON 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 [en línea]. (Trabajo de titulación). (Licenciatura) Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. 2018. pp. 15-23. [Consulta: 2021-07-14]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15421>.

**MAHABIR, N; & CHAUHAN, R; & CHAKARVARTI, S.** “Alpha radioactivity in tobacco leaves: Effect of fertilizers, radiation Measurements”. *Radiation Measurements* [en línea], 2008, (India) 43(1), pp. 515-519. [Consulta: 14 agosto 2021]. ISSN 1350-4487. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2008.04.034>.

**MARTÍN, Rengifo.; et al.** “MEDICIONES DE GAS RADÓN EN UN SEGMENTO DE LA FALLA DE BOCONÓ, ESTADOS TÁCHIRA Y MÉRIDA”. *Boletín de geología* [en línea], 2015, (Colombia) 37(2), pp. 57-74. [Consulta: 14 agosto 2021]. ISSN 0120-0283. Disponible en : [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-02832015000200006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-02832015000200006).

**NARVÁEZ CHANGUAN, EDISON J.** Daños que se presentan en edificaciones de hormigón armado después de un evento sísmico (Terremoto de Bahía de Caráquez). Aislación sísmica con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo [en línea]. (Trabajo de Titulación). (Ingeniero Civil) Universidad Internacional del Ecuador, facultad de ingeniería civil. Quito-Ecuador. 2015. pp. 6-54. [Consulta: 2021-08-11]. Disponible en: <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2199>.

**ORBE ORDOÑEZ, J.** Radon measurement techniques in building materials and water using Italian and Ecuadorian samples. (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universita' deLla Calabria, Dipartimento Di Física. Italia. pp. 12-98.

**RAMÍREZ GUARDIOLA, Esthela Jenifer.** Evaluación de gas radón ( $^{222}\text{Rn}$ ) y torón ( $^{220}\text{Rn}$ ) en suelo. Caso de estudio ciudad de Mexicali y zonas conurbadas [en línea]. (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería. 2014. P.87. [Consulta: 2021-10-01]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12930/3161>.

**RAMOLA RAKESH, C.** "Relation between spring water radon anomalies and seismic activity in Garhwal Himalaya". *Acta Geophysica* [en línea], 2010, 58(5), pp. 814-827. [Consulta: 7 octubre 2021]. ISSN 1895-7455. Disponible en: <https://doi.org/10.2478/s11600-009-0047-0>.

**RIVADENEIRA, FRANCISCO.; et al.** *Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador*. 1 ed. Quito-Ecuador: Corporación Editorial Nacional, IG-EPN, 2007. ISBN 9789978844601. pp. 15-36.

**SASAKI TOMOZO; & GUNJI, Y; & OKUDA, T.** "Radon Emanation Dependence on Grain Configuration". *Journal of Nuclear Science and Technology* [en línea], 2012, (Japón) 41(10), pp. 993-1002. [Consulta: 18 septiembre 2021]. ISSN 1881-1248. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/18811248.2004.9726322>.

**SUN, K.; & GUO, Q.; & CHENG, J.** "The Effect of Some Soil Characteristics on Soil Radon Concentration and Radon Exhalation from Soil Surface". *Journal of Nuclear Science and Technology* [en línea], 2004, (Reino Unido), 41(11), pp. 1113-1117. [Consulta: 29 julio 2021]. ISSN 1881-1248. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/18811248.2004.9726337>.

**TAN, YANLIANG.; et al.** "Research on the lower detection efficiency of the RAD7 for  $^{220}\text{Rn}$  than for  $^{222}\text{Rn}$ ". *Journal of Instrumentation* [en línea], 2014, 9(1). T06001. [Consulta: 25 octubre 2021]. ISSN 1748-0221. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-0221/9/06/T06001>.

**TORR, D; WINQUIST, B.** *Radon Home Health Study*. 2018.

**TREVIÑO DIAZ, J.** Determinación de la actividad alfa debida al radón-222 y a sus descendientes, existentes en el agua potable de la ciudad de Monterrey, Nuevo León, y su área metropolitana [en línea]. (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad Autónoma de Nuevo

León, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas. México. 1993. pp. 1-32. [Consulta: 2021-08-12].  
Disponible en: <https://cd.dgb.uanl.mx/handle/201504211/2682>.

**UNSCEAR.** *SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION*. New York-USA:  
United Nations, 2020. ISBN 9789211391848. pp. 238-241.

**ZEEB, HAJO.; et al.** *Manual de la OMS Sobre el Radón en interiores: Una perspectiva de salud pública*. Ginebra-Suiza: OMS, 2015. ISBN 9789243547671.

**ZEPEDA MONDRAGÓN, M.** PERFECCIONAMIENTO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL  $^{131}\text{I}$  DEL ININ MEDIANTE ESTUDIOS DE DISEÑO DEL EQUIPO Y AJUSTES DE PARÁMETROS DEL PROCESO EN EL SIMULADOR. (Trabajo de titulación). (Ingeniero químico) Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química. Toluca-México. 2006. pp. 12-23.





**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 07 / 04 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<p><b>Nombres - Apellidos:</b> <i>Darwin Guillermo Herrera Llerena</i></p> <p><i>Jerson Santiago Cabascango Ulcuango</i></p>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> <i>Ciencias</i>
<b>Carrera:</b> <i>Física</i>
<b>Título a optar:</b> <i>Físico</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

**LEONARDO  
FABIO MEDINA  
NUSTE**

Firmado digitalmente por LEONARDO  
FABIO MEDINA NUSTE  
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,  
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR,  
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE  
INFORMACION-ECIBCE, l=QUITO,  
serialNumber=0000621485,  
cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE  
Fecha: 2022.04.07 16:28:53 -05'00'



0634-DBRA-UTP-2022