



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERIA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE CONCENTRACIONES DE GAS RADÓN DEL
SUELO EN LAS PARROQUIAS: CAJABAMBA-COLTA Y SAN JUAN-
RIOBAMBA.**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORAS: JOSELYN CAROLINA QUINTANA LUISA

JOSSELYN FERNANDA VASCO MORALES

DIRECTORA: Dra. MADGY MILENI ECHEVERRÍA GUADALUPE, PhD.

Riobamba – Ecuador

2024

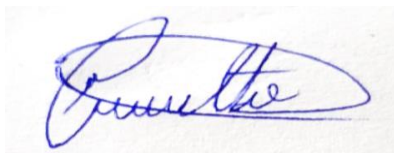
© 2023, Joselyn Carolina Quintana Luisa & Josselyn Fernanda Vasco Morales

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

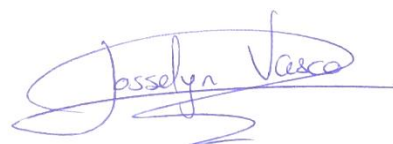
Nosotras, Joselyn Carolina Quintana Luisa y Josselyn Fernanda Vasco Morales, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra auditoria y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asimismo 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, 26 de Enero del 2024






Joselyn Carolina Quintana Luisa
C.I. 180440467-9



Josselyn Fernanda Vasco Morales
C.I. 172473057-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación Tipo: Proyecto Técnico, **EVALUACIÓN DE CONCENTRACIONES DE GAS RADÓN DEL SUELO EN LAS PARROQUIAS: CAJABAMBA, COLTA Y SAN JUAN, RIOBAMBA**, realizado por la señoritas: **JOSELYN CAROLINA QUINTANA LUISA y JOSSELYN FERNANDA VASCO MORALES**, 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 Tribunal Autoriza su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|--|--|--------------|
| Dr. José Gerardo León Chimbolema. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL |  | 2024-01-26 |
| Dra. Madgy Mileni Echeverría Guadalupe, PhD. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN |  | 2024-01-26 |
| Dra. Jheny del Carmen Orbe Ordoñez, PhD. ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN |  | 2024-01-26 |

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico con todo mi amor y cariño a mi madre Mariana, quien me ha apoyado en las buenas y malas a lo largo de mi carrera universitaria con su paciencia y amor puro, a mi padre Wilson quien ha sido un ejemplo de perseverancia y constancia, valores que he aplicado en mi diario vivir, siendo los dos un pilar fundamental para culminar esta etapa.

Carolina

Este trabajo lo dedico a mis padres, Eduardo y Moraima por siempre creer en mí, por su apoyo durante toda esta trayectoria de mi carrera universitaria. Agradezco su paciencia y amor que fueron fundamentales para poder cumplir mis objetivos y convertirme en la persona que soy actualmente. A mi abuelita que ha sido la persona que me ha aconsejado, me ha brindado su amor incondicional y su compañía.

Fernanda

Nos lo dedicamos a nosotras por cumplir una de las metas de la vida por ser constantes y no darnos por vencidas, por generar un vínculo de amistad, llena de lealtad, bondad y apoyo.

Carolina & Fernanda

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro más profundo agradecimiento a nuestros padres por el apoyo incondicional en todas las etapas de nuestra vida, por ser fuente de amor, inspiración y fortaleza, agradecemos sus consejos y por ser nuestros guías en cada decisión tomada. Agradecemos a la vida por brindarnos momentos y personas que nos ayudaron a vivir experiencias inolvidables y que nos enseñaron que la vida es bonita. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por acogernos y darnos la oportunidad de formarnos académicamente para llegar a ser Ingenieras en Biotecnología Ambiental, a los docentes por su motivación, orientación y tiempo invertido a lo largo de la carrera. Y por último y no menos importante al Grupo de Investigación de desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático, en especial a la Dra Madgy Echeverría, Dra Jheny Orbe y al Ing. José Luis Herrera, por ser guías indispensables para este trabajo investigativo, compartiendo conocimiento e información muy valiosa para nuestro futuro académico.

Carolina & Fernanda

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|------------------------------|-------------------------------|
| ÍNDICE DE TABLAS | ix |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | x |
| ÍNDICE DE ECUACIONES | xii |
| RESUMEN..... | xiii |
| SUMMARY | ¡Error! Marcador no definido. |
| INTRODUCCIÓN | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|--|----|
| 1. MARCO TEÓRICO | 3 |
| 1.1. El radón y su progenie | 3 |
| 1.2. Descubrimiento del radón y sus propiedades | 3 |
| 1.3. Fuentes de radón | 4 |
| 1.4. Efectos del radón en la salud humana | 8 |
| 1.5. Radón en el suelo | 10 |
| 1.5.1. <i>Emanación del radón</i> | 11 |
| 1.5.2. <i>Migración de radón en el suelo</i> | 12 |
| 1.6. Características fisicoquímicas del suelo | 13 |
| 1.6.1. <i>Propiedades físicas del suelo</i> | 13 |
| 1.6.2. <i>Características químicas del suelo</i> | 17 |

CAPÍTULO II

| | |
|---|----|
| 2. MARCO METODOLÓGICO..... | 20 |
| 2.1. Área de estudio | 20 |
| 2.2. Población y muestra..... | 20 |
| 2.2.1. <i>Población</i> | 20 |
| 2.2.2. <i>Muestra</i> | 21 |
| 2.3. Tipo y diseño de la investigación..... | 21 |
| 2.3.1. <i>Tipo de investigación</i> | 21 |
| 2.3.2. <i>Identificación de variables</i> | 21 |
| 2.3.3. <i>Diseño de la investigación</i> | 21 |

| | |
|--|----|
| 2.3.4. <i>Instrumentos utilizados</i> | 22 |
| 2.4. Metodología de medición de gas radón-222 en el suelo con la técnica electret-passive <i>enviromental radon monitor</i> | 27 |
| 2.5. Metodología para el muestreo de suelo para el análisis físico químico | 29 |

CAPÍTULO III

| | |
|---|----|
| 3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 37 |
| 3.1. Variables meteorológicas | 37 |
| 3.2. Variación de la temperatura bajo el suelo un metro y treinta de profundidad durante diez días | 38 |
| 3.3. Comparación de la temperatura del exterior versus la temperatura bajo al suelo..... | 40 |
| 3.4. Concentración del gas radón en el suelo | 41 |
| 3.5. Características de suelo y concentración de gas Radón..... | 42 |

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1-1: Propiedades Físicas y Químicas Del Radón | 4 |
| Tabla 1-2: Clasificación de las Partículas de suelo según su tamaño | 13 |
| Tabla 1-3: Guía resumen para la determinación al tacto para diferentes clases texturales | 15 |
| Tabla 1-4: Valores de pH en el Suelo..... | 18 |
| Tabla 2-1: Clasificación de las estructuras por su tamaño | 34 |
| Tabla 3-1: Datos de las variables meteorológicas..... | 37 |
| Tabla 3-2: Concentración de gas radón en cada punto de muestreo. | 41 |
| Tabla 3-3: Densidad aparente y % de humedad del suelo..... | 42 |
| Tabla 3-4: Valores de pH y Conductividad eléctrica del suelo | 44 |
| Tabla 3-5: Textura y Estructura del suelo | 45 |
| Tabla 3-6: Datos para el cálculo de materia orgánica del suelo..... | 46 |
| Tabla 3-7: Resultado % de Materia Orgánica y % de Carbono Orgánico..... | 46 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | | |
|--------------------------|---|----|
| Ilustración 1-1: | Cadenas Radiactivas del Uranio-238, Torio-232, y Uranio-235..... | 7 |
| Ilustración 1-2: | Dibujo del perfil de un suelo y esquema del proceso de emanación del radón11 | |
| Ilustración 1-3: | Transporte de radón | 12 |
| Ilustración 1-4: | Diagrama para la determinación de la textura del suelo | 14 |
| Ilustración 1-5: | Tipos de estructuras del suelo por su forma..... | 16 |
| Ilustración 2-1: | Mapa de influencia del Proyecto | 20 |
| Ilustración 2-2: | Cámaras de Ionización..... | 23 |
| Ilustración 2-3: | Rad Elec SPER-1E Electret voltage lector | 23 |
| Ilustración 2-4: | Electrets | 24 |
| Ilustración 2-5: | Gamma-Scout medidor de la radioactividad | 25 |
| Ilustración 2-6: | Equipo que mide la temperatura | 26 |
| Ilustración 2-7: | Medidor Ambiental Kestrel 3500 | 26 |
| Ilustración 2-8: | Configuración experimental | 27 |
| Ilustración 2-9: | Gamma-Scout | 28 |
| Ilustración 2-10: | Instalación de la configuración experimental que mide la concentración del radón y la temperatura | 28 |
| Ilustración 2-11: | Hoyo para recolección de muestra de suelo..... | 30 |
| Ilustración 2-12: | Agitación de la muestra para medir el pH y Conductividad eléctrica | 31 |
| Ilustración 2-13: | Conductímetro | 32 |
| Ilustración 2-14: | Método del Cilindro..... | 32 |
| Ilustración 2-15: | Muestra en la estufa | 33 |
| Ilustración 2-16: | Muestra de suelo en crisoles tarados..... | 35 |
| Ilustración 3-1: | Temperatura bajo el suelo a un metro y treinta de profundidad durante diez días en el punto de muestreo C1 | 38 |
| Ilustración 3-2: | Temperatura bajo el suelo a un metro y treinta de profundidad, durante diez días en el punto de muestreo C2 | 39 |
| Ilustración 3-3: | Temperatura bajo el suelo a un metro y treinta de profundidad durante diez días en el punto de muestreo C3 | 39 |
| Ilustración 3-4: | Temperatura bajo del suelo a un metro y treinta de profundidad durante diez días en el punto de muestreo C4 | 40 |

| | | |
|--------------------------|--|----|
| Ilustración 3-5: | Comparación de temperaturas debajo del suelo versus temperatura del aire exterior..... | 41 |
| Ilustración 3-6: | Concentración Rn222 vs Densidad Aparente | 43 |
| Ilustración 3-7: | Concentración Rn222 vs % humedad..... | 43 |
| Ilustración 3-8: | Concentración de Rn222 vs pH | 44 |
| Ilustración 3-9: | Concentración de Rn222 vs Conductividad Eléctrica | 45 |
| Ilustración 3-10: | Concentración de Rn222 vs % Materia orgánica..... | 47 |
| Ilustración 3-11: | Concentración de Rn222 vs % Carbono orgánico | 47 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | | |
|----------------------|--------------------------------------|----|
| Ecuación 1-1: | Porcentaje de humedad | 17 |
| Ecuación 2-1: | Concentración del gas Radón | 29 |
| Ecuación 2-2: | Factor de Calibración..... | 29 |
| Ecuación 2-3: | Densidad Aparente..... | 33 |
| Ecuación 2-4: | Porcentaje de Materia orgánica..... | 35 |
| Ecuación 2-5: | Porcentaje de carbono orgánico | 36 |

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar las concentraciones de gas radón en el suelo de Cajabamba, Colta y San Juan, Riobamba. La configuración experimental constó de una estructura metálica de 1.20 metros insertada en un tubo PVC de longitud 1.30m, medidores de temperatura iButton y el sistema de detección E-PERM (Electret-Passive Environmental Radon Monitor) que está conformado por una cámara de ionización, modelo S y un Electret Long Term. Se recolectó muestras de suelo de los cuatro puntos de muestreo y se determinó las propiedades físicoquímicas. Se caracterizó la zona de estudio mediante las variables meteorológicas cuantificadas con el Multiparamétrico Ambiental Kestrel-3500. Las concentraciones de gas radón oscilaron entre 2281 Bq/m^3 y 4620 Bq/m^3 , se observó que el punto a menor altitud presenta una concentración de radón menor que los puntos a mayor altitud, por lo que se puede inferir que existe una correlación entre los niveles de radón y la altitud. No se observó una correlación entre los niveles de radón y la densidad aparente, pH, conductividad, materia orgánica, humedad relativa y carbono orgánico del suelo, a diferencia de la humedad del suelo que si se correlaciona con la concentración de radón. Finalmente se evidenció que la temperatura, velocidad del viento, humedad y presión barométrica en los cuatro puntos de muestreo no presentaron grandes fluctuaciones.

Palabras clave: <CONCENTRACIÓN DE RADÓN>, <SISTEMA E-PERM>, <IBUTTONS>, <CORRELACIÓN>, <ALTITUD>.

0290-DBRA-UPT-2024

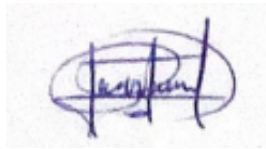


ABSTRACT

This research had the objective of evaluating radon gas concentrations in the soil of Cajabamba, Colta, San Juan, and Riobamba. The experimental setup consisted of a 1.20-meter metallic structure inserted in a 1.30 m long PVC pipe, iButtom temperature meters, and the E-PERM (Electret-Passive Environmental Radon Monitor) detection system; which consists of an ionization chamber, Model S, and an Electret Long Term. Soil samples were collected from the four sampling points, and their physicochemical properties were determined. The study area was characterized employing meteorological variables quantified with the Kestrel-3500 Environmental Multiparameter Environmental Kestrel-3500. Radon gas concentrations ranged between 2281 Bq/m³ and 4620 Bq/m³. It was observed that the point at the lowest altitude has a lower radon concentration than the points at higher altitudes. Therefore, it can be inferred that there is a correlation between radon levels and altitude. There was no correlation between radon levels and bulk density, pH, conductivity, organic matter, relative humidity, and soil organic carbon. However, soil moisture is correlated with radon concentration. Finally, it was evidenced that temperature, wind speed, humidity, and barometric pressure at the four sampling points did not show large fluctuations.

Keywords: <RADON CONCENTRATION>, <E-PERM SYSTEM>, <IBUTTONS>, <CORRELATION>, <ALTITUDE>.

0290-DBRA-UPT-2024



Ing. Rommel Francisco Calles Jiménez

CI:0603877713

INTRODUCCIÓN

El Ecuador desde el punto de vista geodinámico se ubica en una zona de alta sismicidad, tectonismo y volcanismo activo, debido a que el país se localiza en el límite convergente de dos placas tectónicas, la placa de Nazca y la placa Sudamericana. (Iovine et al., 2018, pág.8) menciona que la concentración del gas radón en el suelo, es alto a lo largo de las fallas activas en muchas partes del mundo, la relación entre el gas y el suelo se basa en el principio de que las fallas y las fracturas en las rocas son vías altamente permeables a lo largo de las cuales los gases puede migrar hacia arriba, desde la corteza profunda y el manto hasta la cubierta del suelo.

Ciertos científicos y expertos han intentado demostrar que las concentraciones elevadas de radón en el suelo, así como cambios abruptos en las concentraciones de radón en el suelo o en aguas subterráneas, podrían ser indicativos de posibles predicciones de terremotos (Equipos y Laboratorio de Colombia, 2021, pág.3).

El radón es el producto radiactivo gaseoso de la desintegración de los isotopos de radio 226, que está presente en todos los materiales terrestres. Para estudiar las concentraciones de gas radón es necesario conocer las fuentes de radón. Los materiales como el suelo implican emanación, difusión, advección y adsorción. La concentración de gas radón en el suelo dependen de parámetros físicos relacionados con las características del suelo.

A nivel internacional se han determinado valores de concentraciones de gas radón en el suelo más altos que en el Ecuador, como el estudio “*Assessment of radon risk areas in the Eastern Canary Islands using soil radon gas concentration and gas permeability of soils*” donde se encontró valores de 150000 Bq/m^3 (Alonso et al., 2019, pág.2).

En el Ecuador se ha realizado varias investigaciones que aborden los registros de concentraciones de gas radón en el suelo de la provincia de Chimborazo como el estudio “*Concentraciones de radón-222 en el suelo de una zona del cantón Riobamba perpendicular a la Falla de Pallatanga*”, donde el valor máximo fue de 19900 Bq/m^3 y a nivel nacional “*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*” donde el nivel de radón fue de 4926 Bq/m^3 (González, 2018, pág.3).

Existen estudios relacionados al radón en agua, como es el caso de “An Evaluation of Radon in Drinking Water Supplies in Major Cities of the Province of Chimborazo, Central Andes of Ecuador (Orbe et al., 2023, pág.7) y una investigación sobre “Radon measurement techniques in building materials and water using Italian and Ecuadorian samples” (Di Fisica, s/f)

El propósito de la investigación es evaluar las concentraciones del gas radón del suelo de las parroquias Cajabamba y San Juan, cantones Colta y Riobamba de la provincia de Chimborazo, con la técnica de medición Electret-Passive Environmental Radon Monitor y posteriormente se relaciona con la densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, % de humedad, % de materia orgánica y % de carbono orgánico del suelo. Este estudio, se desarrollará con el respaldo académico del Grupo de Investigación y Desarrollo enfocado en el Ambiente y el Cambio Climático (GIDAC).

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. El radón y su progenie

De acuerdo con lo señalado por Baltá en (2012a, p .7), el radón se identifica como un elemento químico con un número atómico de 86, posicionado en el grupo de los gases nobles dentro de la tabla periódica, compartiendo con ellos la propiedad de su inercia química. Presenta una densidad de 9.73 kg/m^3 a una temperatura de 0°C . Los puntos en los que se produce su fusión y ebullición son -71°C y -62°C , respectivamente. A temperatura ambiente, el radón se encuentra en estado gaseoso, careciendo de color, olor y sabor. No obstante, en su estado sólido, puede adquirir diversas tonalidades, variando desde tonos amarillentos a temperaturas bajas, hasta tonos rojo-anaranjados en el momento de alcanzar la temperatura del aire líquido (-140°C). Su presencia promedio en el aire se ubica en alrededor de un átomo por cada 10^{18} átomos de aire, y su coeficiente de difusión en esta composición es de $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Según lo que manifiesta Baltá (2012, pág .7) El radón demuestra una considerable solubilidad en agua, la cual se incrementa a medida que la temperatura decrece. Aproximadamente, su solubilidad es de $0.23 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ a 20°C y $0.51 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ a 0°C .

1.2. Descubrimiento del radón y sus propiedades

En el transcurso de la investigación, según lo señalado por Neila en (2008, pág.24), se ha constatado que el gas radón constituye el quinto radionúclido en ser identificado, aconteciendo a los descubrimientos de uranio, torio, radio y polonio. En 1899, en la Universidad Mc Gill en Canadá, Ernest Rutherford y el científico británico Robert Owens de Nueva Zelanda descubrieron la emisión de torio, identificado como torón ($\text{Rn}220$). En el año 1900, el científico alemán Friedrich Ernst Dorn investigó otro isótopo relacionado con el radio, al cual llamó radón ($\text{Rn}222$). Luego, en 1903, el químico francés André-Louis Debierne descubrió que el actinio también desprendía un gas radioactivo, al que nombró actinon ($\text{Rn}219$)

La confirmación de radón como un elemento nuevo fue respaldada por la Comisión Internacional de Pesos Atómicos en 1912. Más tarde, en 1923, el Comité Internacional de Elementos Químicos y la

Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) oficialmente autorizaron el uso de los términos radón (Rn222), torón (Tn220) y actinon (An219).

El gas radón se caracteriza por ser un gas incoloro, insípido, inodoro y radiactivo, presentando inestabilidad en todos sus isótopos. Posee una densidad superior a la del aire y es altamente soluble en agua. A pesar de su naturaleza gaseosa noble, el radón exhibe propiedades de "metaloide" en su comportamiento. Presenta reacciones con flúor, fluoruros de halógeno, compuestos de dióxígeno, nitrógeno y fluoro, así como compuestos de halógenos y metales. No obstante, bajo condiciones ambientales, el radón adopta un comportamiento inerte y tiene la capacidad de escapar fácilmente de su fuente, sin formar compuestos químicos (Amancha, 2021, p.3).

Tabla 1-1: Propiedades Físicas y Químicas Del Radón

| Características | Valor |
|---|---|
| Punto de ebullición | -62°C |
| Punto de fusión | -71°C |
| Temperatura crítica | 104.5°C |
| Presión crítica | 62.4 atm |
| Entalpía de la solución a 0°C | 28.0 KJ/mol |
| 35°C | 19.7 KJ/mol |
| Densidad de la temperatura y presión estándar | 9.73 g/L |
| Densidad de la fase líquida | 0.005 – 0.006 g/L |
| Sección transversal atómica | 0.37 nm |
| Viscosidad a 0°C | 0.021 Pas.S |
| Tensión superficial | 2.9 mN/cm |
| Solubilidad en agua a 0°C | 51.4 cm ³ radón/ 100 cm ³ |
| Solubilidad en agua a 35°C | 2.4 cm ³ radón/ 100 cm ³ |
| Solubilidad en agua a 50°C | 3 cm ³ radón/ 100 cm ³ |

Fuente: (Vasco, 2017).

1.3. Fuentes de radón

La cantidad de radiación natural que emana de la corteza terrestre varía dependiendo del tipo de rocas presentes en el suelo de una determinada área. En el contexto de Ecuador, esta concentración se

determina en función de investigaciones y evaluaciones previas, y se establece que la presencia de elementos como el Uranio y el Torio es significativa (Ilbay, 2021a, pág.5).

De acuerdo con Ilbay en (2021,pág.5), la corteza terrestre está compuesta por una variedad de minerales que contienen elementos radiactivos, tanto de origen natural como aquellos presentes en el entorno de manera libre. La concentración de estos elementos depende del tipo de suelo y de las formaciones rocosas presentes en la zona. Además, las actividades laborales que involucran explotación, perforación y minería, en relación con materiales radiactivos generados de forma natural, aumentan la exposición de las personas a radiaciones ionizantes, lo cual se conoce como NORM (Materiales Radiactivos de Origen Natural).

Las cadenas de desintegración principales de los radionúclidos uranio-238, torio-232 y potasio-40 son la fuente primaria de exposición, y tienen un impacto significativo en la salud humana. Estas cadenas de desintegración generan una exposición considerable a la radiación, lo que puede resultar en daños directos para la salud humana (World Nuclear Association, 2020, pág.3). Dado que la exposición a la radiación natural tiende a ser considerable, es esencial llevar a cabo un análisis profundo en términos de protección radiológica.

Dentro de los radionúclidos contemplados en el ámbito de NORM, sobresalen principalmente los isótopos como el uranio-238, torio-232, radio-226, radón-222, plomo-210 y polonio-210. Además, la notable capacidad de desplazamiento de los isótopos radio-226 y radio-228 en el entorno, bajo variadas condiciones ambientales, y su propensión a acumularse en los huesos tras ser absorbidos por el organismo, adquieren una importancia destacada (Carvalho et al., 2023).

En la actualidad, el uranio en su isótopo con número másico 238 se destaca por ser el más prevalente en su estado natural, constituyendo aproximadamente el 99.2830 % de su presencia. Este isótopo es un emisor alfa y posee un período de semidesintegración extremadamente largo, que alcanza los 4.5×10^9 años. Es un elemento químico que forma parte de una variedad de minerales, incluyendo las rocas graníticas. Aunque no es fisión mediante neutrones térmicos, es posible su fisión por neutrones rápidos, aunque su sección eficaz es relativamente pequeña (Sociedad Nuclear Española, 2010, pág.2).

Mediante la emisión de una partícula alfa, compuesta por dos protones y dos neutrones, se origina el torio-234, cuyo tiempo de semidesintegración es de 24.10 días. Después de una desintegración beta,

que involucra la emisión de un electrón y un positrón, se obtiene el paladio-234 con una duración de vida de 6.75 horas. Luego, a través de otra desintegración beta, se forma el uranio-234 con un tiempo de semidesintegración extremadamente largo de 2.45×10^5 años. Después de un proceso de desintegración alfa, se genera el torio-230, cuyo tiempo de semidesintegración es de 8.00×10^4 años. Este isótopo emite una partícula alfa y se transforma en radio-226, el cual tiene una duración de vida de 1600 años. Luego, se descompone en radón-222, cuya vida media es de 3.824 días. Entre los productos de descomposición de vida corta se encuentran el polonio-218, el plomo-214, el bismuto-214 y el polonio-214. Después de múltiples desintegraciones alfa y beta, el proceso culmina con la estabilización en plomo-206 (Carvalho et al., 2023).

Cada variante del radio-226 provoca una serie de sucesivos elementos radiactivos secundarios que finalmente desembocan en un isótopo estable. Además de la radiación primaria, que puede manifestarse en forma de partículas alfa y/o beta, también se emiten rayos X, rayos gamma, electrones de conversión interna y electrones Auger. En cada una de las secuencias de desintegración, se originan distintos radioisótopos intermedios, cuyas vidas medias abarcan desde fracciones de microsegundos hasta miles de años. Por lo tanto, en este proceso, las series experimentan una falta de estabilidad, lo que resulta en el fraccionamiento de los elementos a lo largo de la cadena, produciendo un estado no estacionario. En otras palabras, se produce un equilibrio secular en el que los elementos involucrados en la cadena de desintegración experimentan una inestabilidad en su distribución (Carvalho et al., 2023).

Según Carvalho et al., (2023), nos dice que todos los componentes de la serie radiactiva del uranio-238, desde el uranio-238 mismo hasta el radio-226, por lo general se encuentran en una proximidad cercana al equilibrio secular. Este equilibrio se establece una vez que se forma el radón-222. En la ilustración 1-1 se representa la emisión beta mediante líneas rojas en diagonal y líneas azules verticales, estas últimas señalan la emisión de núcleos de helio en forma de desintegración alfa. En cada cadena de desintegración, los isótopos de radón-222 se forman por la emisión alfa que proviene del radio-226. Por consiguiente, la generación de radón-222 está estrechamente vinculada a la cantidad de radio-226 presente en el suelo.

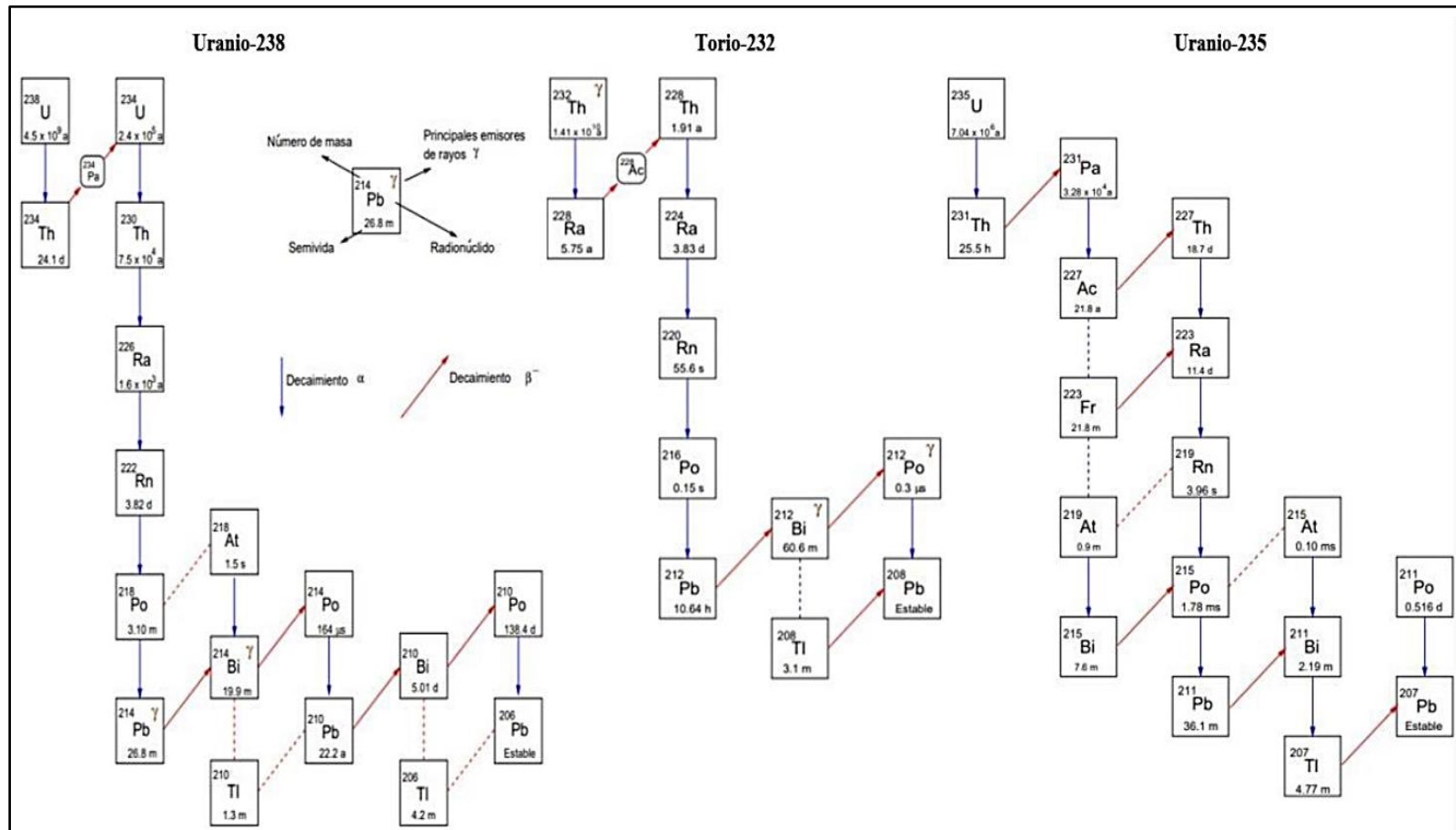


Ilustración 1-1: Cadenas Radiactivas del Uranio-238, Torio-232, y Uranio-235

Fuente: (Mendoza y Mejía, 2009)

1.4. Efectos del radón en la salud humana

Según lo señalado por Amancha (2021, pág. 8), los peligros para la salud asociados al gas radón no se atribuyen principalmente al gas en sí mismo. A pesar de que se inhala, una parte considerable se exhala debido a su vida útil relativamente prolongada en comparación con el ritmo de la respiración, evitando así su acumulación en el sistema respiratorio. Además, el gas radón inhalado no llega a las células sensibles a la radiación, resultando en una baja exposición a partículas alfa. El riesgo real radica en sus primeros cuatro descendientes: Po218, Pb214, Bi214 y Po214. Estos también poseen actividad radioactiva y se denominan productos de desintegración del gas radón (PDR). Estos elementos, todos metálicos, presentan vidas medias que varían desde una fracción de segundo hasta 27 minutos. Tienen la capacidad de condensarse fácilmente en superficies sólidas o líquidas, pueden adherirse a aerosoles o mantenerse suspendidos en el aire en forma de átomos libres.

Las partículas de los RDP pueden ser inhaladas por un individuo y transportadas a lo largo del sistema respiratorio, lo cual dependerá de los patrones de respiración y del tamaño aerodinámico de las partículas a las que se encuentren unidas. Debido a su corta vida media, los RDP se depositan en las superficies de las vías respiratorias dentro de los pulmones y se descomponen por completo. Las partículas alfa que emiten pueden afectar las delicadas superficies de los bronquios, ya que transportan consigo una cantidad significativa de energía. La acumulación total de las partículas alfa radiactivas se evalúa considerando la energía total que sería liberada por todas estas partículas al desintegrarse por completo. Esta medida se denomina energía alfa potencial (PAE), y su concentración (PAEC) se cuantifica en términos de energía por unidad de volumen de aire (J/m³) (Amancha, 2021, pág.9).

Las partículas alfa emitidas por los isótopos de polonio, como el Po214 y el Po218, son altamente ionizantes y de corto alcance. En los registros históricos, hay evidencia temprana de los efectos del gas radón en los mineros. Hace alrededor de medio milenio, Paracelsus y Agrícola documentaron una tasa elevada de fallecimientos a causa de afecciones respiratorias entre los mineros de minas de plata en Europa central y en minas de mercurio, respectivamente. No obstante, la verdadera naturaleza de estos efectos no fue plenamente comprendida hasta el año 1879, cuando la investigación clínica y anatómica reveló que estaban asociados con la aparición de tumores malignos en los pulmones (Amancha, 2021, pág.9).

En 1926, Pirchan realizó el primer diagnóstico de cáncer de pulmón en un empleado de una fábrica de radio. Posteriormente, en 1932, documentó instancias de cáncer de pulmón en mineros de las Montañas Erz y llegó a la conclusión de que el gas radón era la causa más verosímil de dichos tumores. Al mismo tiempo, en los Estados Unidos, se realizaron diversas investigaciones en minas de uranio situadas en Arizona, Colorado, Nuevo México y Utah. Los resultados señalaron que las tasas de exceso de cáncer respiratorio entre los mineros de uranio no podían atribuirse a variables como la edad, el hábito de fumar, la herencia, la urbanización, la autoselección, la precisión diagnóstica, la minería previa de roca dura o los componentes del mineral. En cambio, se asoció el exceso de riesgo con la radiación aerotransportada.

En resumen, existe una relación directa entre la inhalación de los productos de desintegración radiactiva (RDP) y el desarrollo de cáncer de pulmón en los mineros que trabajan en ambientes subterráneos (OIEA, 2018, pág.2).

Es importante señalar que, según lo expuesto por la OIEA en (2018, pág. 5), de manera similar a lo que ocurre en las minas, el gas radón puede acumularse en ambientes cerrados, como espacios públicos, lugares de trabajo y residencias. Por lo tanto, existe un riesgo significativo de exposición al gas radón en estos entornos internos. Con el fin de ofrecer una visión preliminar de los riesgos asociados con la exposición al radón y sus derivados en interiores, se llevaron a cabo extrapolaciones a partir de estudios realizados en mineros.

En realidad, existen investigaciones observacionales significativas acerca de la asociación entre la exposición al gas radón en hogares y el cáncer pulmonar. Los autores más referenciados han presentado en sus estudios pruebas que respaldan una relación entre la presencia de gas radón en ambientes residenciales y la probabilidad de desarrollar cáncer de pulmón. Específicamente, Darby y su equipo evaluaron 13 investigaciones de casos y controles llevadas a cabo en Europa. Hallaron una relación directa entre la dosis de exposición y la respuesta, sin indicios de un nivel mínimo de dosis. Sus resultados sugirieron que el riesgo vinculado a la exposición residencial al gas radón es particularmente notorio en individuos fumadores y exfumadores recientes, y se estima que contribuye aproximadamente al 2% del total de fallecimientos por cáncer en Europa (OIEA, 2018,pág .5).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha estado emitiendo advertencias sobre este tema durante más de cuatro décadas, aunque su impacto en la conciencia pública ha sido limitado. Este asunto es planteado por 151 expertos, como Tony Colgan, quien ocupa la posición de jefe de la

división de protección radiológica en el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Es posible que se esté comunicando este concepto en términos científicos, pero no de manera comprensible para el público en general. El mensaje que realmente debería llegar a la sociedad es que el gas radón representa una posible amenaza para la salud, y es esencial que seamos conscientes de si estamos en riesgo. En caso de que exista riesgo, se debe tomar acción inmediata para abordarlo (OIEA, 2018,pág .6).

Es notorio que el público tiende a estar más alarmado por actividades nucleares e industriales, entre otras, aunque estas tengan un menor nivel de riesgo en comparación. Sin embargo, es importante destacar que el gas radón es responsable de aproximadamente el 40% de la dosis promedio de radiación que una persona recibe (OIEA, 2018, pág.6).

1.5. Radón en el suelo

La detección de radón en el suelo ha sido objeto de experimentación con el propósito de localizar fallas geológicas próximas a la superficie, ya que, por lo general, las concentraciones son más elevadas sobre estas fisuras en la tierra. Ciertos científicos y expertos han intentado demostrar que las concentraciones elevadas de radón en el suelo, así como cambios abruptos en las concentraciones de radón en el suelo o en aguas subterráneas, podrían ser indicativos de posibles predicciones de terremotos (Equipos y Laboratorio de Colombia, 2021, pág.3).

La concentración de radón en el gas que forma parte del interior de un suelo resulta ser del orden de 1000 a 10000 veces superior a la existente en el aire atmosférico, del orden de 3,7 Bq/m³ (0,1 pCi/l). Es por esta razón que tiene lugar un proceso de difusión de dicho gas a través de intersticios del suelo para alcanzar la superficie de separación tierra-aire (Quindós et al.,1989, pág.1).

La concentración de radón en el suelo depende de muchos parámetros físicos, relacionados con las características del suelo, como el contenido del radio, la estructura interna del suelo, el tamaño de grano del suelo, el tipo de mineralización, la porosidad del suelo, la permeabilidad del suelo y el coeficiente de emanación. Sincrónicamente también puede verse afectados, directa o indirectamente con factores climáticos como la presión y la temperatura del aire. La mayoría de los procesos anteriores se han caracterizado individualmente; sin embargo, para aplicaciones prácticas, se requiere un estudio complejo que involucre todos los procesos simultáneamente.(Sun et al., 2012, pág.2)

La concentración del gas radón en el suelo, es alto a lo largo de las fallas activas en muchas partes del mundo, la relación entre el gas y el suelo se basa en el principio de que las fallas y las fracturas en las rocas son vías altamente permeables a lo largo de las cuales los gases puede migrar hacia arriba, desde la corteza profunda y el manto hasta la cubierta del suelo(Iovine et al., 2018, pág.9).

1.5.1. *Emanación del radón*

La emanación es el procedimiento mediante el cual los átomos de radón consiguen liberarse de un grano de material como consecuencia de su retroceso, un proceso que experimenta el radón debido al decaimiento alfa del radio durante su desintegración. Dado que la distancia de retroceso en sólidos es reducida, alrededor de unos 50 nm, la mayor parte de los átomos permanecen dentro de la estructura cristalina del mineral. Solo cuando el proceso de retroceso concluye fuera del grano o en un poro abierto, el radón tiene la capacidad de desplazarse. En la ilustración 1-2 se presenta un diagrama del perfil de un suelo que destaca los fenómenos a los que se somete el gas radón, así como un esquema del proceso de emanación del radón ^{222}Rn originado por la desintegración de los átomos de ^{226}Ra en los granos del material.

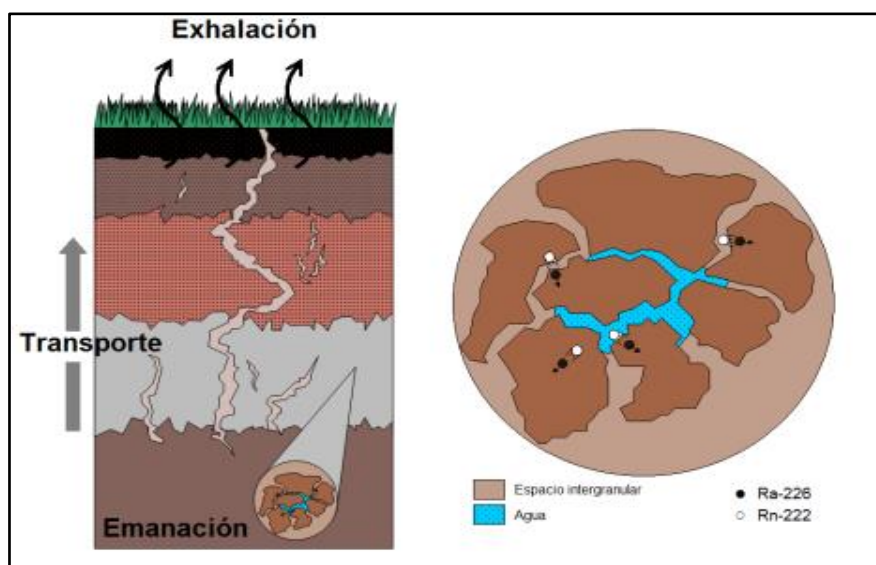


Ilustración 1-2: Dibujo del perfil de un suelo y esquema del proceso de emanación del radón

Fuente: (Lastra, 2016).

Las distancias de retroceso del radón en el agua y en el aire difieren de las distancias en sólidos; por lo tanto, la proporción de átomos de radón capaces de liberarse varía según el medio. Además, existen

diversos factores que influyen en la emanación de radón, como el tamaño y la forma de los granos, el contenido de humedad, la porosidad, la permeabilidad y la distribución de átomos de ^{226}Ra en los granos del mineral (Lastra, 2016, pág.2).

1.5.2. Migración de radón en el suelo

Cuando el radón escapa de los granos de mineral del radio e ingresa en el espacio de poros, tiene una eficiencia que dependerá de los mecanismos de flujo de difusión y advección.(Lastra, 2016, pág.4).

La migración del radón en el suelo por difusión implica el transporte molecular del radón que es impulsado por el gradiente de concentración y depende del contenido de agua, la porosidad. Sin embargo, la migración del radón por advección implica el transporte masivo del aire del suelo impulsado por el gradiente de presión, así como influenciado por la permeabilidad del suelo y el contenido de agua (Beltrán et al., 2023, pág.12).

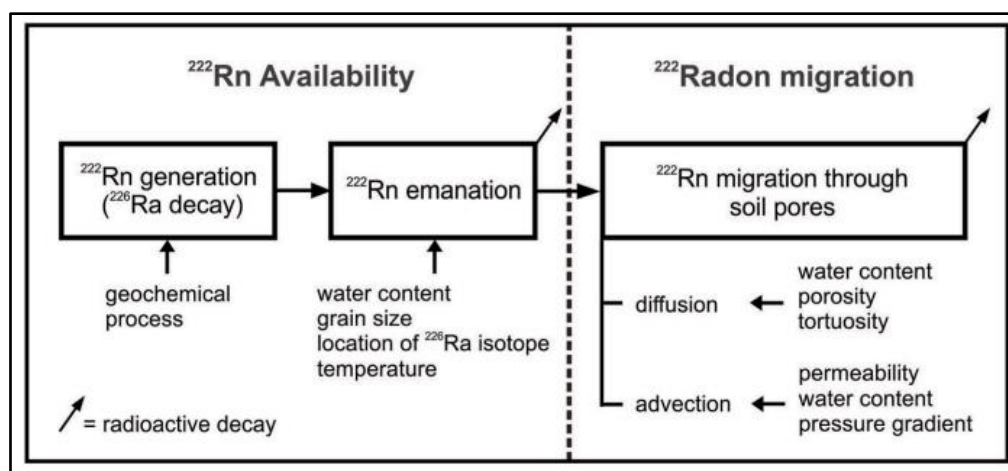


Ilustración 1-3: Transporte de radón

Fuente:(Beltrán. Et al., 2023).

Las condiciones meteorológicas en la concentración del gas radón de acuerdo con lo expuesto por Tobar en (2014, p.1), se ha argumentado que las oscilaciones periódicas del radón están asociadas a condiciones meteorológicas, particularmente a la presión atmosférica y a la temperatura (Finkelstein et al., 2006, pág.1). Galmarini (2006, pág.5) sostiene que las fluctuaciones diarias del radón se vinculan con los cambios en la capa límite atmosférica a lo largo del día y la constante emisión de radón desde la superficie terrestre. Sin embargo, distintas investigaciones apuntan a que no es posible discernir un

patrón meteorológico consistente que explique los cambios temporales en los niveles de radón, favoreciendo la hipótesis de que las mareas gravitacionales son el principal factor subyacente.

1.6. Características fisicoquímicas del suelo

La capa superficial de la Tierra, conocida como suelo, está mayoritariamente compuesta por restos de roca que, a lo largo de un período considerable, han experimentado una serie de cambios físicos, químicos y biológicos, así como procesos de erosión. Estos factores han dado lugar a la formación de diversas capas discernibles, que son evidentes desde la fractura de la corteza terrestre (Edu.ar, 2023, pág.1).

1.6.1. Propiedades físicas del suelo

Según lo mencionado por Pozo, (2021, pág.6), el suelo se define como una estructura porosa que contiene partículas tanto orgánicas como inorgánicas en diversos estados de descomposición, además de una variación de agua y aire en sus proporciones. Las propiedades del suelo emergen de la interacción entre estos elementos constituyentes, lo que le otorga las siguientes cualidades.

- Textura

Se refiere a la mineralogía de una muestra de suelo, que está determinada por las proporciones en las que se encuentran las partículas minerales de distintos tamaños presentes en el suelo, tales como arena, limo y arcilla. La Tabla 1-2 proporciona la clasificación de estas partículas de suelo según su dimensión. La textura del suelo impacta en su capacidad para retener y permitir el paso de agua y aire, lo que influye en su comportamiento hidráulico y aireación (Pozo, 2021, ágp.7).

Tabla 1-2: Clasificación de las Partículas de suelo según su tamaño

| Nombre de la partícula | | Tamaño (mm) |
|------------------------|------------|-------------|
| Arena | Muy gruesa | 1,0 a 2,0 |
| | Gruesa | 0,5 a 1,0 |
| | Mediana | 0,25 a 0,5 |
| | Fina | 0,10 a 0,25 |
| | Muy fina | 0,05 a 0,10 |

| | |
|---------|--------------|
| Limo | 0,002 a 0,05 |
| Arcilla | < de 0,002 |

Fuente: (Pozo, 2021).

Diversas técnicas se utilizan para identificar la categoría de textura del suelo, y una de ellas es el método del triángulo textural, ejemplificado en la ilustración 1-4. El interior del triángulo se encuentra subdividido en compartimentos, cada uno asignado a una clase de textura del suelo, caracterizada por las proporciones de uno o dos componentes preponderantes, como suelos arenosos, limosos, arcillosos, entre otros (Pozo, 2021, p.2).

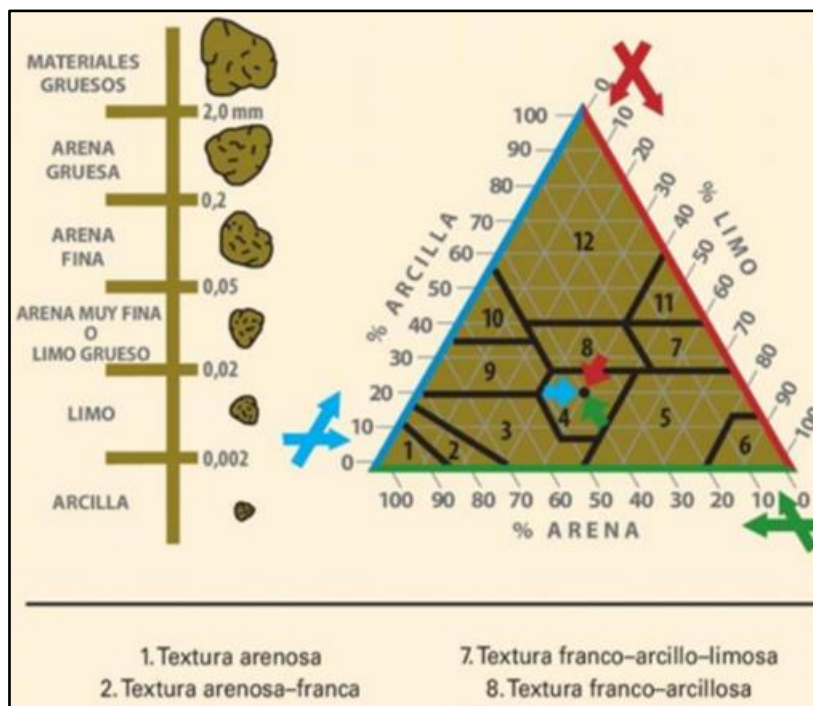


Ilustración 1-4: Diagrama para la determinación de la textura del suelo

Fuente: (Pozo, 2021).

Tabla 1-3: Guía resumen para la determinación al tacto para diferentes clases texturales

| Textura | Apariencia y sensación | |
|-----------------------|---|---|
| | Suelo seco | Suelo húmedo |
| Arenoso | Suelta granos simples que se sienten ásperos. Cuando se aprieta el suelo entre los dedos, la masa se desintegra. | No se puede formar una bola, se desintegra. No forma cinta cuando se pasa entre el dedo pulgar e índice. Sensación al tacto. Muy áspera. |
| Arenoso franco | Al tacto es áspero, pero con la sensación de presencia de partículas más finas. Si se deja caer se dispersan partículas muy finas que las vuela la brisa o el viento | Forma una bola que se disgrega cuando se toca. No forma cinta cuando se pasa entre el dedo pulgar e índice. Al tacto es áspero. Al secarse el suelo en los dedos se observa un color beige o blanquecino. |
| Franco arenoso | Se rompe fácilmente. Al principio la textura aparece suave, pero a medida que se frota, empieza a dominar una sensación arenosa. | Forma una bola que permite una manipulación cuidadosa sin romperse. Forma una cinta hasta 3cm de largo. Cuando se frota entre los dedos pulgar e índice es suave al principio, pero al frotar domina una sensación más áspera |
| Franco | Los agregados se rompen bajo presión moderado. Los terrones pueden ser firmes. Cuando se pulveriza, la sensación al tacto no es ni suave ni áspera que se toma arenosa a medida que se frota. | Forma una bola que puede ser manipulada suavemente sin que se desintegre. Forma una cinta de hasta 3cm de largo. Al tacto no se percibe ni suave, ni áspero. |
| Franco limoso | Los agregados son muy firmes, pero se pueden romper bajo presión moderada. Los terrones son de firmes a duros. Cuando el suelo es pulverizado, la sensación al tacto es suave similar al talco o la harina. | Forma una bola que puede ser manipulada sin que se rompa. Forma una cinta de hasta 3 cm de largo. Cuando se frota entre el pulgar y el índice la sensación es suave. |
| Franco arcillosa | Agregados muy firmes y duros, resistentes a dejarse romper con la mano. Cuando se pulveriza, el suelo presenta una sensación áspera al tacto, debido a los pequeños agregados que persisten. | Un molde de este suelo es muy maleable. Se puede formar una cinta de hasta 5cm de largo. Cuando se frota entre el pulgar y el índice forma una cinta que no se siente ni suave, ni áspero. |
| Franco arcillo limoso | Agregados firmes y duros, resistentes a dejarse romper con la mano. Cuando se pulveriza, la sensación al tacto es suave. | Un molde de este suelo es muy maleable. Se puede formar una cinta de hasta 5cm de largo. Cuando se frota se siente suave. |

| | | |
|---------------------------------|--|--|
| <p>Arcillo limoso arcilloso</p> | <p>Agregados de consistencia dura, muy resistentes a dejarse romper con la mano. Cuando se pulverizan se percibe muy suaves.</p> | <p>Un molde de esta materia resiste considerablemente la manipulación. Se pueden formar cintas flexibles de más de 5cm de largo sin romperse. Cuando se frota entre el índice la sensación es muy suave al tato. En los netamente arcillosos la sensación es plástica.</p> |
|---------------------------------|--|--|

Fuente: (Ciancaglini,2020).



Ilustración 1-5: Tipos de estructuras del suelo por su forma

Fuente: (Edea, 2020).

- Densidad Aparente

El coeficiente de densidad constituye un indicador que proporciona información significativa sobre características del suelo, como su porosidad, grado de aireación y capacidad de absorción. Se determina mediante la relación entre el peso seco de una muestra de suelo (después de someterla a una temperatura de 105°C) y el volumen que originalmente ocupaba en el suelo (Carrasco, 2008, p.3).

De acuerdo con lo expuesto por Gutiérrez (2010,p.6), el método del cilindro implica la obtención de una cantidad fija de suelo sin causar alteraciones, y posteriormente pesarla una vez que ha sido sometida a un proceso de secado en un horno a una temperatura de 105°C durante un lapso de 24 horas. Este procedimiento emplea un cilindro de metal con un volumen predefinido, el cual se introduce completamente en el suelo, se llena y se nivela en ambos extremos. Luego, el cilindro se extrae del suelo, y en el laboratorio se remueve el suelo contenido en él, cuyo volumen coincide con el del cilindro. Este suelo se somete a un proceso de secado y posterior pesaje.

- Humedad

Conforme a lo señalado por Cherlinka, (2020, p.3), la humedad del suelo representa la medida que determina la proporción de agua contenida en el suelo. Esta cantidad particular de agua se encuentra en forma de vapor de agua condensado y su presencia se ve influenciada por factores tales como el clima, la topografía, el tipo de vegetación y las características hidrogeológicas del entorno.

La cantidad de humedad presente en el suelo está condicionada por diversos elementos, tales como las lluvias, la tasa de absorción de agua por las plantas y la temperatura atmosférica, entre otros aspectos (Cherlinka, 2020, p.5).

En la ecuación 1-1 nos indica los datos necesarios para obtener el % de humedad en una muestra de suelo.

$$\%H = \frac{\text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de suelo seco (g)}}{\text{Peso de suelo húmedo}} \times 100$$

Ecuación 1-1: Porcentaje de humedad

1.6.2. Características químicas del suelo

- Potencial de Hidrogeno (pH)

De acuerdo con lo señalado por Pozo, (2021, p.4), el pH emerge como una de las características fisicoquímicas primordiales en los suelos, dado que influye en la accesibilidad de nutrientes para las plantas, regulando su capacidad de disolución y la actividad microbiana que descompone la materia orgánica. Además, refleja el nivel de adsorción de iones (H⁺) por las partículas del suelo, lo que a su vez define si el suelo presenta una naturaleza alcalina o ácida.

El pH se caracteriza como el negativo del logaritmo de la concentración de iones hidrógeno.

$$pH = -\log [H^+]$$

Efecto del pH en los distintos componentes presentes en el suelo:

- Nitrógeno: La disponibilidad de este elemento está ligada a la descomposición de la materia orgánica por microorganismos.
- Fósforo: En ambientes ácidos, el fósforo puede unirse a aluminio e hierro, formando compuestos insolubles.
- Calcio, magnesio y potasio: Su solubilidad aumenta en rangos de pH entre 7 y 8.5.
- Cobre y zinc: La solubilidad de estos elementos es limitada en pH elevados, aumentando su unión a compuestos orgánicos e inorgánicos.
- Boro: Su solubilidad es mayor en pH entre 5 y 7, mientras que a pH más alto se asocia con compuestos orgánicos.
- Molibdeno: Su disponibilidad se incrementa con un aumento en el pH, al contrario de otros micronutrientes.
- % de saturación de bases: Un pH cercano a 7 aumenta la solubilidad de elementos y la saturación de bases.
- Capacidad de intercambio catiónico: pH mayor provoca más cargas negativas disponibles para intercambio de cationes en la solución del suelo.
- Concentración de iones tóxicos: Ambientes ácidos pueden incrementar la solubilidad de aluminio y manganeso, siendo tóxicos para las plantas. Un alto contenido de aluminio en el suelo afecta el crecimiento de cultivos.

Tabla 1-4: Valores de pH en el Suelo

| SUELO | VALORES pH |
|----------|------------|
| Ácido | <5,5 |
| Neutral | 6 – 8 |
| Alcalino | >8,5 |

Realizado por: Quintana, J.; Vasco J., 2023.

- Conductividad Eléctrica del Suelo

La conductividad eléctrica del agua se refiere a su habilidad para transmitir corriente eléctrica, generalmente expresada en miliSiemens por centímetro (mS/cm). Esta propiedad está relacionada con la cantidad de sales disueltas en el suelo (Maher, 2020, p.2).

De acuerdo con (Soto et al., 2018, p.2), La evaluación de la conductividad eléctrica se fundamenta en la premisa de que la velocidad de flujo de la corriente eléctrica a través de una solución salina guarda proporción con la concentración de sales en esa solución. En otras palabras, a medida que aumenta la concentración de sales, también aumenta la capacidad del suelo para conducir electricidad.

- Materia Orgánica

Según Julca et al., (2006,p .5), la existencia de sustancias orgánicas en el suelo ejerce una influencia importante en sus características físicas. Esta materia orgánica participa en la creación de agregados y en la estabilidad estructural del suelo. Además, se asocia con las partículas de arcilla para constituir el complejo de intercambio, lo cual favorece la retención y penetración del agua, disminuye la erosión y mejora el intercambio de gases. Desde el punto de vista de las características químicas, la presencia de materia orgánica eleva la capacidad de intercambio catiónico del suelo, amplifica la reserva de nutrientes accesibles para las plantas y fortalece la capacidad tampón del suelo. Esto, a su vez, mejora la eficacia de los fertilizantes minerales y facilita su absorción a través de las raíces de las plantas.

La materia orgánica se compone de los restos orgánicos de plantas y animales en diferentes etapas de descomposición y es una parte integral del suelo.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Área de estudio

La investigación se realizó en las parroquias Cajabamba y San Juan, cantones Colta y Riobamba de la provincia de Chimborazo como se puede observar en la Ilustración 2-1, realizada con la herramienta Google Earth.

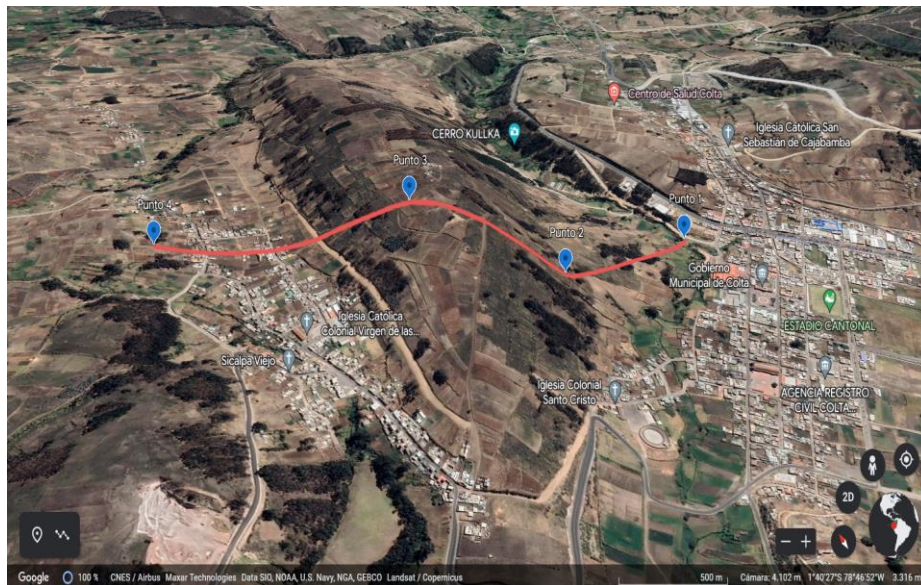


Ilustración 2-1: Mapa de influencia del Proyecto

Elaborado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

La población de estudio en el presente trabajo investigativo son el marco muestral definido por el suelo de Cajabamba, Colta y San Juan, Riobamba, con una superficie de 2000m aproximadamente que muestra distintas estructuras debido al desplazamiento y deformación por actividad sísmica.

2.2.2. Muestra

Los puntos de muestreos se ubicaron en la zona de estudio, se determinaron un total de 4 puntos situados a 500 metros, las muestras de suelo fueron recolectados aproximadamente a 1,30 metros de profundidad.

2.3. Tipo y diseño de la investigación

2.3.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo no experimental debido a que no varía de forma intencional las variables, tiene un alcance correlacional en virtud de que se compararan las variables que son: las propiedades fisicoquímicas del suelo y la concentración del gas radón; también tiene un enfoque cuantitativo, ya que se recolectaron datos de una muestra los cuales serán analizados posteriormente y se hizo uso de herramientas estadísticas para el entendimiento de los resultados. Además, esta investigación es transversal debido a que se realizó una sola medición dividida en dos fases.

2.3.2. Identificación de variables

- Concentración del gas radón
- Suelo de las parroquias Cajabamba y San Juan

2.3.3. Diseño de la investigación

- Selección de la muestra

Para realizar la medición se utilizó un muestreo discreto que se basa en una cuadrícula de puntos equidistantes ubicados, en el sector de Sicalpa, parroquias Cajabamba- Colta. Los puntos tienen una distancia aproximadamente de 500 m, en virtud de las características locales del suelo ya sea por predios privados, pendientes, quebradas y uso del suelo los puntos de muestreo se fueron modificando ligeramente.

Posteriormente se recolectará las muestras de suelo en cada punto para análisis físico químico en el laboratorio y con el Multiparamétrico ambiental Kestrel-3500 se medirá la temperatura del aire exterior y el dispositivo Ibuttons de Thermochrons medirá la temperatura dentro de la configuración experimental de cada zona muestreada cada 2 horas por 10 días.

2.3.4. Instrumentos utilizados

- Sistema E-PERM-SLT

El gas radón en el suelo se midió con el sistema E-PERM constituido en un detector pasivo (Electret Long Term) atornillado en la parte inferior de una cámara de ionización modelo S.

- Cámara de ionización

La cámara denominada S es una estructura con forma de cúpula que tiene una capacidad de 210 ml y cuenta con un sistema de émbolo. Está confeccionada a partir de un plástico conductor especial. Esta cámara ha sido diseñada específicamente para llevar a cabo mediciones de gas radón en períodos cortos de tiempo. Cuando el émbolo se encuentra cerrado, la cámara S impide que el gas radón interactúe con el Electret, garantizando así la capacidad de iniciar y detener la medición de gas radón según se requiera (Kotrappa et al., 1990, pág.6).

Características:

- Diámetro: 10 cm
- Altura: 10 cm
- Peso: 115 gramos



Ilustración 2-2: Cámaras de Ionización

Fuente: (Rad Elect In., 2015).

- Lector de voltaje Rad Electret

El SPER-1E es una nueva incorporación a la familia Rad Elec de lectores SPER (Lector de Electret de Potencial de Superficie). La tecnología de microprocesador permite proporcionar una gama de capacidades a través de variaciones del firmware instalado.

En la parte superior del lector está la pantalla donde se muestran las indicaciones del usuario, los datos y los resultados. Debajo de la pantalla LCD está el receptáculo de Electret con el obturador en la posición cerrada. En la parte inferior derecha está la manija del obturador (Rad Elect In., 2015,pág .3).



Ilustración 2-3: Rad Elec SPER-1E Electret voltage lector

Fuente: (Rad Elect In., 2015).

- Electret E-PERM (Electret-Passive Environmental Radón Monitor)

El Electret Long Term es un disco cargado que sirve como fuente para la recolección de iones y como sensor integrador de iones. Los iones negativos producidos dentro de una cámara adjunta se acumulan en el Electret con carga positiva, lo que provoca una reducción de su carga superficial (Rad Elect In., 2015, pág.6).

El inventor del Electret Long Term dice que estos están destinados a mediciones de radón a largo plazo de tres meses a un año para medidas en aire interior, en este estudio se los utilizó en el suelo por 10 días ya que existe mayores concentraciones de radón (Rad Elect In., 2015, pág.2).

Características:

- Diámetro: 8 cm
- Altura: 2 cm
- Peso: 30 gramos



Ilustración 2-4: Electrets

Fuente: (Rad Elect In., 2015).

- Gamma Scout Online

Este modelo tiene la opción de visualización en tiempo real, es decir. la transmisión simultánea de los valores medidos a una pantalla externa. Mientras el dispositivo está conectado a la PC a través de la interfaz USB, el Gamma-Scout recibe alimentación externa. El GS ONLINE también ofrece la opción

de evaluar los valores almacenados mediante una herramienta gráfica. Además, Gamma-Scout ONLINE contiene todas las propiedades de GS ALERT. Tanto el almacenamiento de datos como la función de teletipo y alarma permanecen activos durante la transferencia de datos (GAMMA-SCOUT, 2015, pág.5).



Ilustración 2-5: Gamma-Scout medidor de la radioactividad

Fuente: (GAMMA-SCOUT, 2015).

- Ibutton

El iButton es un microchip encajado en un revestimiento de acero inoxidable con un grosor de 16 mm. Gracias a esta carcasa duradera y distintiva, los datos actualizados pueden acompañar a una persona o a un objeto a cualquier lugar al que vayan. La versión en acero del iButton es lo suficientemente resistente como para ser instalada en prácticamente cualquier ubicación, ya que puede soportar condiciones extremas, tanto en interiores como en exteriores. Funciona como un termómetro digital que registra la temperatura del entorno u objeto al que está adherido. Al tocar el dispositivo con una punta especial, es posible visualizar la temperatura, la cual puede variar desde -55°C hasta 100°C (iButton, 2015, pág.3).

Para transferir la información de los iButtons a la computadora se utiliza 4 dispositivos en forma secuencial, primero se coloca los iButtons a un conector puede ser un Blue dot, u otro tipo análogo, posteriormente se vincula con un adaptador que puede ser serial o USB y finalmente se utiliza el software llamado “eTemperature” el cual nos dará los datos medidos.



Ilustración 2-6: Equipo que mide la temperatura

Fuente: (iButton, 2015).

- Kestrel- 3500

El medidor meteorológico Kestrel 3500 está diseñado para ser un medidor meteorológico ambiental compacto, fácil de usar y con funciones completas. Retirando la funda protectora de goma del medidor meteorológico Kestrel 3500 y tendrá acceso a todos los datos ambientales pertinentes para ayudarlo a tomar la mejor decisión informada (SOFREP, 2017, pág.6)

El medidor meteorológico Kestrel 3500 mide la humedad relativa, presión barométrica, velocidad del viento y temperatura ambiental.



Ilustración 2-7: Medidor Ambiental Kestrel 3500

Fuente: (SOFREP, 2017).

2.4. Metodología de medición de gas radón-222 en el suelo con la técnica electret-passive environmental radon monitor

La configuración experimental consiste en el sistema de detección SLT y un tubo PVC de longitud 1.30 m y con diámetro de 0,21m que contiene una estructura metálica de 1,20m y diámetro de 0,13m, tiene tres compartimentos, en la parte baja se coloca el sistema de detección SLT y en la mitad el sensor IButton, como podemos observar en la Ilustración 2-8.



Ilustración 2-8: Configuración experimental

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

Para medir la concentración del gas radón en el suelo y temperatura dentro del tubo se realizó lo siguiente:

- a) Se coloca el Gamma Scout Online (Ilustración 2-9) a 50 cm del suelo para cuantificar la tasa de dosis Gamma en cada punto de muestreo.



Ilustración 2-9: Gamma-Scout

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

- b) Se procede a realizar una perforación en el suelo a 1,30m de profundidad.
- c) Se midió el voltaje inicial del Electret, usando el medidor de voltaje SPERM-1, y se procede atornillarlo en la base de la cámara, y se coloca en el interior del tubo PVC a 1,30m de profundidad junto con el iButton, los mismos que fueron programados previamente para medir la temperatura cada 120 minutos por 10 días.



Ilustración 2-10: Instalación de la configuración experimental que mide la concentración del radón y la temperatura

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

- d) Transcurrido el tiempo de exposición del detector se retira y se procede a medir el voltaje final de cada uno de los Electrets usando el equipo SPERM-1 y se obtiene la temperatura de cada punto mediante el software eTemperature que con la ayuda de un adaptador que se conecta a un computador nos da los valores durante la exposición.
- e) Se procede a calcular la concentración del gas radón con la ecuación 2-1 de (Kotrappa, 1990, p.3):

$$[Rn] = \frac{(V_i - V_f)}{(T)(FC)} - BG$$

Ecuación 2-1: Concentración del gas Radón

- $[Rn]$ = Concentración de gas radón en $\frac{Bq}{m^3}$
- V_i = Voltaje inicial (V)
- V_f = Voltaje final (V)
- T = Tiempo de exposición en días
- FC = Factor de calibración en $\frac{VBq}{m^3 * días}$
- BG = Equivalente de radón por unidad de radiación gamma pCi L.

(Kotrappa, 1990, pág.3), indica la ecuación con la que se conoce el factor de calibración (FC) para cada punto.

$$FC (LT) = 0,00481 + 0,0000168 * \frac{(V_i + V_f)}{2}$$

Ecuación 2-2: Factor de Calibración

- $CF(LT)$ = Factor de calibración para E-PERM de larga duración $\frac{VBq}{m^3 * día}$

2.5. Metodología para el muestreo de suelo para el análisis físico químico

- a) Al haber hecho la perforación del suelo a 1.30m de profundidad como se observa en la Ilustración 2-11, se toma una muestra de suelo y se guarda en una funda ziploc para su posterior estudio en el laboratorio.



Ilustración 2-11: Hoyo para recolección de muestra de suelo

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

- b) Para calcular la densidad aparente del suelo, se ocupó el método del cilindro en el que se introduce el cilindro al fondo de la perforación del suelo, se golpea delicadamente hasta que el suelo se encuentre dentro del cilindro, se procede a retirar y con un plástico film se lo envuelve para evitar que se pierda la humedad.

En el laboratorio de impactos ambientales se determinó las características fisicoquímicas del suelo: pH, conductividad eléctrica, densidad aparente, materia orgánica.

- Ph y conductividad

Para medir el pH se utiliza el método del potenciómetro, siguiendo estos pasos:

- a) Se pesó 20 gramos de la muestra de suelo en la balanza analítica y en un vaso plástico se agrega 80 ml de agua destilada más los 20 gramos.
- b) Se agita por 10 minutos con una varilla de vidrio como se ve en la Ilustración 2-12, y se lo dejó reposar 5 minutos.



Ilustración 2-12: Agitación de la muestra para medir el pH y Conductividad eléctrica

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

- c) A continuación, con la ayuda del potenciómetro de mesa se midió el pH.
- d) Estos pasos se realizaron para cada una de las muestras.

Para medir la conductividad:

- a) Con las muestras preparadas de suelo para medir el pH, se las dejó reposar por 24 horas.
- b) Después del tiempo indicado de reposo, se procede a la medición de la conductividad eléctrica con ayuda del conductímetro como se puede apreciar en la Ilustración 2-13. Todos los datos fueron ingresados a la base.



Ilustración 2-13: Conductímetro

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

- Densidad aparente

Para el cálculo de la densidad aparente se aplica el método del cilindro de volumen, Ilustración 2-14, para esto se realiza lo siguiente:

- a) En la balanza analítica se pesa la canasta vacía, donde se coloca la muestra de suelo.
- b) Se retira el plástico film envuelto en los cilindros y rápidamente se coloca la muestra de suelo en la canasta para ser medida por la balanza analítica obteniendo el peso húmedo.
- c) Seguido estas muestras se colocan en la estufa a 105°C por 24 horas como se ve en la Ilustración 2-15.



Ilustración 2-14: Método del Cilindro

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.



Ilustración 2-15: Muestra en la estufa

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

Luego transcurrido las 24 horas, se tomó el peso en seco para poder colocar en la base de datos y utilizando la ecuación se conoce la densidad aparente del suelo:

$$Da = \frac{\text{Peso seco del suelo (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^3\text{)}}$$

Ecuación 2-3: Densidad Aparente

- Textura

Según lo mencionado por Ciancaglini (s.f.,pág.6), la textura del suelo se compone de diversas fracciones y partículas minerales de variados tamaños, siendo las más grandes las arenas, las de tamaño intermedio son los limos y las más pequeñas corresponden a las arcillas. También se explica que es posible determinar la textura del suelo mediante métodos organolépticos, los cuales se detallan en la tabla 1-2, explicada en el capítulo I.

- Estructura

La configuración de las partículas en el suelo, denominada estructura, constituye uno de los parámetros más esenciales para la caracterización de cada estrato del suelo, siendo discernible de manera evidente para el observador humano. De acuerdo con lo manifestado por Moreno et al, (2020. p.7), la estructura hace referencia a la manera en que las partículas individuales del suelo se unen formando entidades de mayor envergadura conocidas como agregados, los cuales son el resultado de procesos pedogenéticos.

A continuación, se exhibe la categorización de las estructuras de los suelos en función de su dimensión en la tabla 2-3.

Tabla 2-1: Clasificación de las estructuras por su tamaño

| Clasificación de las estructuras del suelo por su tamaño | |
|---|-----------|
| Muy Gruesa | >10 mm |
| Gruesa | 5 a 10 mm |
| Mediana | 2 a 5 mm |
| Fina | 1 a 2 mm |
| Muy fina | <1mm |

Fuente: (Inkari, 2015).

- Materia Orgánica

Se ocupa el método de pérdida de peso por ignición (calcinación o muflado), para estimar el contenido de materia orgánica de la muestra de suelo.

Para determinar el porcentaje de materia orgánica contenido en una muestra de suelo se realiza lo siguiente:

- Se debe tarar los crisoles llevándolos a la mufla a una temperatura de 800 °C durante 2 horas, a continuación, los crisoles se los coloca en el desecador con silica gel, procedemos a pesar cada crisol y lo anotamos en la base de datos como Masa 1.

- En cada crisol tarado se debe pesar 5 gramos de cada muestra de suelo, como se puede ver en la Ilustración 2-16.

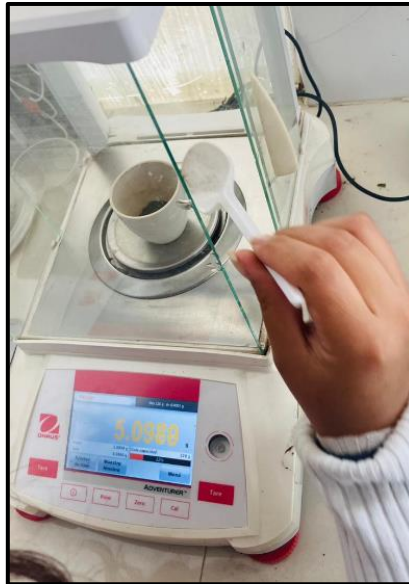


Ilustración 2-16: Muestra de suelo en crisoles tarados

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

- A continuación, las muestras de suelo se las debe poner en la estufa a 105°C, durante 24 horas, al transcurrir este tiempo las muestras de suelo se coloca en el desecador y procedemos a pesar, obteniendo la Masa 3.
- Finalmente, los crisoles con la muestra de suelo se colocan en la mufla por un periodo de 2 horas a 360°C, después de transcurrir este tiempo se los coloca en el desecador y procedemos a pesar obteniendo la Masa 4.

La siguiente ecuación nos dará como resultado el porcentaje de materia orgánica contenido en cada muestra de suelo.

$$\%MO = \frac{(Masa\ 3 - Masa\ 4)}{(Masa\ 3 - Masa\ 1)} * 100$$

Ecuación 2-4: Porcentaje de Materia orgánica

% MO = Porcentaje de Materia Orgánica

Masa 1 = Peso del crisol tarado (g)

Masa 3 = Peso de crisol + muestra luego de 24 horas en la estufa (g)

Masa 4 = Peso de crisol + muestra luego de 2 horas a 360°C en la mufla (g)

- Carbono Orgánico

De acuerdo con Martínez et al., (2008, p.2), el Carbono Orgánico del Suelo (COS) desempeña una función significativa en el ciclo global del carbono, funcionando como una reserva o fuente de carbono en el suelo. El COS se encuentra interrelacionado con la cantidad y disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo. Su impacto en las características físicas se manifiesta a través de la modificación de la estructura del suelo y la distribución de la porosidad. La cantidad de COS presente en el suelo varía en función de las condiciones ambientales locales y es fuertemente influenciada por las prácticas de manejo.

La ecuación subsiguiente ofrece la estimación del porcentaje de carbono orgánico contenido en una muestra de suelo, empleando el factor de Van Benmelen de 1,724, que se obtiene a partir de la suposición de que la materia orgánica del suelo contiene un 58% de carbono ($1/0,58=1,724$).

$$\%CO = \frac{\%MO}{1,724}$$

Ecuación 2-5: Porcentaje de carbono orgánico

CAPÍTULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Variables meteorológicas

En la Tabla 3-1 se muestra los valores de altitud, temperatura del aire, velocidad del viento, humedad relativa y presión barométrica, en cada punto de muestreo de la zona de estudio. Existe un rango de altitud con una diferencia de 117m entre el punto C1 y C4. La temperatura, velocidad del viento, la humedad y la presión barométrica en los 4 puntos estudiados no presenta grandes fluctuaciones.

Tabla 3-1: Datos de las variables meteorológicas

| Punto | Altitud (m) | Temperatura del aire (°C) | Velocidad de viento (m/s) | Humedad Relativa (%) | Presión Barométrica (hP) |
|--------|-------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|
| | | | Promedio | | |
| C1 | 3213 | 15,5 | 0,6 | 54,7 | 682,4 |
| C2 | 3260 | 15,2 | 0,6 | 55,5 | 684,8 |
| C3 | 3427 | 15,3 | 0,7 | 46,2 | 696,8 |
| C4 | 3390 | 17,6 | 0,8 | 49,6 | 699,8 |
| MEDIAS | 3322,50 | 15,90 | 0,68 | 51,50 | 690,95 |
| SD | 102,263 | 1,140 | 0,096 | 4,395 | 8,631 |

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

3.2. Variación de la temperatura bajo el suelo un metro y treinta de profundidad durante diez días

En la ilustración 3-1 se muestra la variación de la temperatura media diaria bajo el suelo durante 10 días, a un metro y treinta de profundidad en el punto de muestreo C1. Como se puede evidenciar las medias de temperatura son iguales dentro de las incertidumbres experimentales (1σ), cabe recalcar que la temperatura fue constante en los últimos cuatro días, es por ello que no se observa una barra de error.

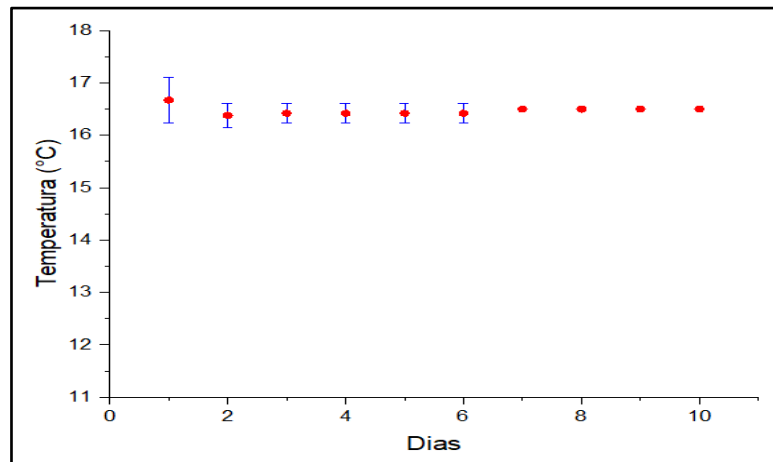


Ilustración 3-1: Temperatura bajo el suelo a un metro y treinta de profundidad durante diez días en el punto de muestreo C1

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

En la ilustración 3-2 se muestra la variación de la temperatura media diaria del suelo a un metro y treinta de profundidad durante diez días en el punto de muestreo C2, Al observar el grafico se puede apreciar también que los valores de diez días son compatibles dentro de las incertidumbres experimentales (1σ). Es importante mencionar que en los días: uno, dos, cuatro, seis, siete y ocho la temperatura fue constante.

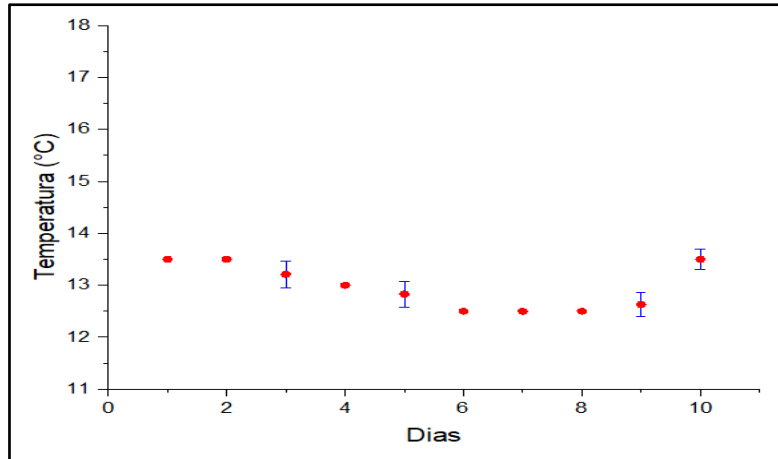


Ilustración 3-2: Temperatura bajo el suelo a un metro y treinta de profundidad, durante diez días en el punto de muestreo C2

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

En la ilustración 3-3 se muestra la variación de la temperatura media diaria del suelo a un metro y treinta de profundidad durante diez días en el punto de muestreo C3, es evidente que los valores decrecen levemente los cuatro primeros días y durante los seis días restantes la media es constante por lo que no se observa una barra de error.

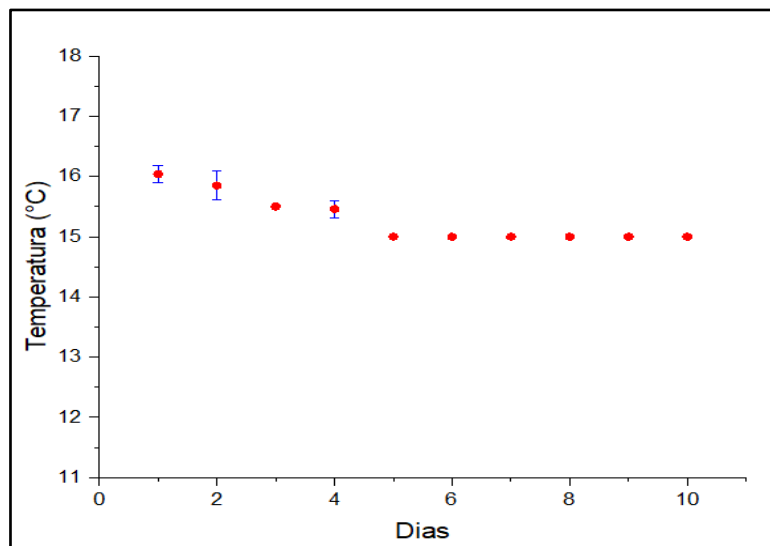


Ilustración 3-3: Temperatura bajo el suelo a un metro y treinta de profundidad durante diez días en el punto de muestreo C3

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

En la ilustración 3-4 se muestra la variación de la temperatura del suelo a un metro y treinta de profundidad durante diez días en el punto de muestreo C4, se puede inferir que las medias de temperatura de diez días son iguales dentro de las incertidumbres (1σ), cabe señalar que la temperatura fue constante en los dos primeros días en consecuencia no tienen barras de error.

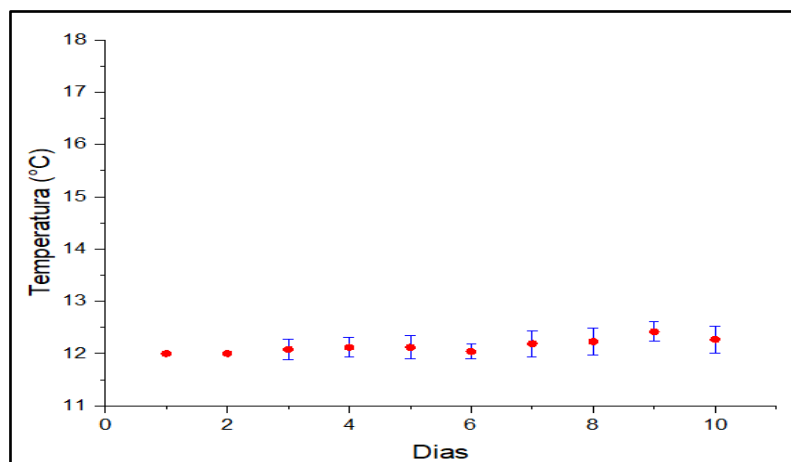


Ilustración 3-4: Temperatura bajo del suelo a un metro y treinta de profundidad durante diez días en el punto de muestreo C4

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

De lo antes mencionado se puede deducir que la temperatura debajo del suelo en los mismos 10 días para los 4 puntos es constante. los puntos C1 y C3 presentan temperaturas más altas que los puntos C2 y C4.

3.3. Comparación de la temperatura del exterior versus la temperatura bajo al suelo

El gráfico 3-5 muestra una comparación de la temperatura bajo el suelo a un metro y treinta de profundidad versus la temperatura del aire exterior. Se puede observar que la temperatura media del aire exterior es más alta que la media de media de la temperatura bajo el suelo, a excepción en el punto C1.

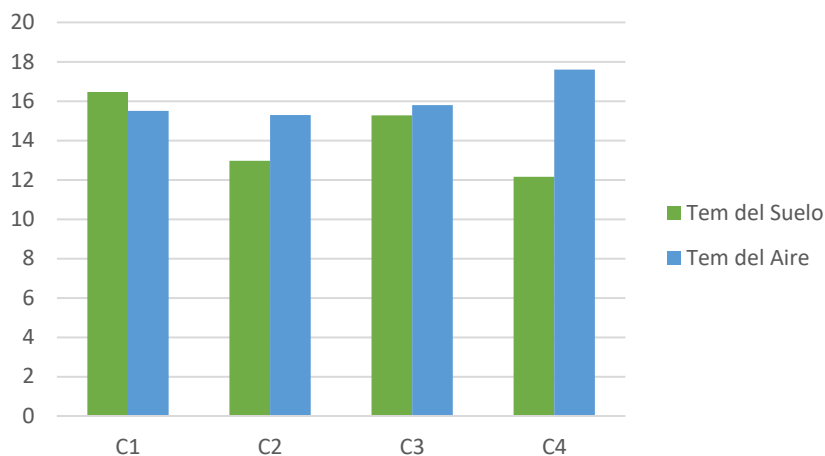


Ilustración 3-5: Comparación de temperaturas debajo del suelo versus temperatura del aire exterior

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

3.4. Concentración del gas radón en el suelo

En la Tabla 3-2 se indica los puntos de muestreo, las fechas del experimento, el tiempo de exposición de los Electrets, el factor de calibración, la concentración de radón equivalente al fondo de radiación Gamma natural y la concentración de gas radón en el suelo calculada con la ecuación 2-1, explicada en el Capítulo II.

Tabla 3-2: Concentración de gas radón en cada punto de muestreo.

| Punto | Fecha inicial | Fecha final | Tiempo de exposición (días) | Factor de Calibración (FC) | Concentración de gas radón equivalente al fondo de radiación Gamma natural Bq/m^3 | Concentración de gas radón en el suelo Bq/m^3 |
|-------|--------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------|---|---|
| C1 | 17/06/2023 (12h38) | 27/06/2023 (11h38) | 10 | 0,0139 | 49,81 | 2281 |
| C2 | 17/06/2023 (11h47) | 27/06/2023 (10h57) | 10 | 0,0119 | 49,07 | 4620 |
| C3 | 17/06/2023 (10h41) | 27/06/2023 (09h58) | 10 | 0,0123 | 53,32 | 4146 |
| C4 | 17/06/2023 (09h49) | 27/06/2023 (09h29) | 10 | 0,0122 | 52,88 | 4186 |

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

El punto de muestreo C1 se encuentra a la altitud más baja y presenta una concentración de gas radón en el suelo menor con respecto a los puntos de muestro C2, C3 y C4, que estas están a mayor altitud, por lo que es posible hipotetizar que hay una relación directamente proporcional entre los niveles de gas radón y la altitud de los puntos de muestreo.

Los niveles de gas radón en el suelo en Cajabamba y San Juan, provincia de Chimborazo, Ecuador son bajos respecto a valores medidos en diferentes partes del mundo, por ejemplo, en un estudio realizado en las Islas Canarias Orientales, España se encontró una concentración máxima de 150000 Bq/m^3 (Alonso et al., 2019). En Rossanés, Sur de Italia se determinó que el nivel de gas radón fue de 90000 Bq/m^3 (Iovine et al., 2018). En Beijing, China se observó valores de 14000 Bq/m^3 , según (Sun et al., 2004). Las concentraciones en este estudio oscilaron en el intervalo entre 2281 Bq/m^3 y 4620 Bq/m^3 , valores son inferiores a los antes mencionados.

3.5. Características de suelo y concentración de gas Radón

- Densidad Aparente

Con los datos obtenidos en el laboratorio de peso de la canasta, peso del suelo húmedo, peso del suelo seco después de estar en la estufa por 24 horas a 105°C, se consigue el % de humedad de cada muestra de suelo y aplicando la Ecuación 2-3 explicada en el Capítulo II, se obtuvo la densidad aparente como se puede observar en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Densidad aparente y % de humedad del suelo

| PUNTO | Peso de la canasta (g) | Peso del suelo húmedo (g) | P. suelo seco 105°C (g) | V. Cilindro (cm^3) | Humedad (%) | Densidad aparente (g/cm^3) |
|-------|------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-------------|--------------------------------|
| C1 | 5,9153 | 144,2292 | 115,1288 | 73,817 | 20,18 | 1,56 |
| C2 | 5,9984 | 125,7254 | 114,4420 | 73,993 | 8,97 | 1,55 |
| C3 | 6,0825 | 137,4694 | 112,9735 | 71,992 | 17,82 | 1,57 |
| C4 | 5,8849 | 135,7137 | 112,1348 | 74,789 | 17,37 | 1,50 |

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

El ilustración 3-6 muestra que no existe una correlación ($R^2 = 0.096$), entre la concentración de radón y la densidad aparente del suelo.

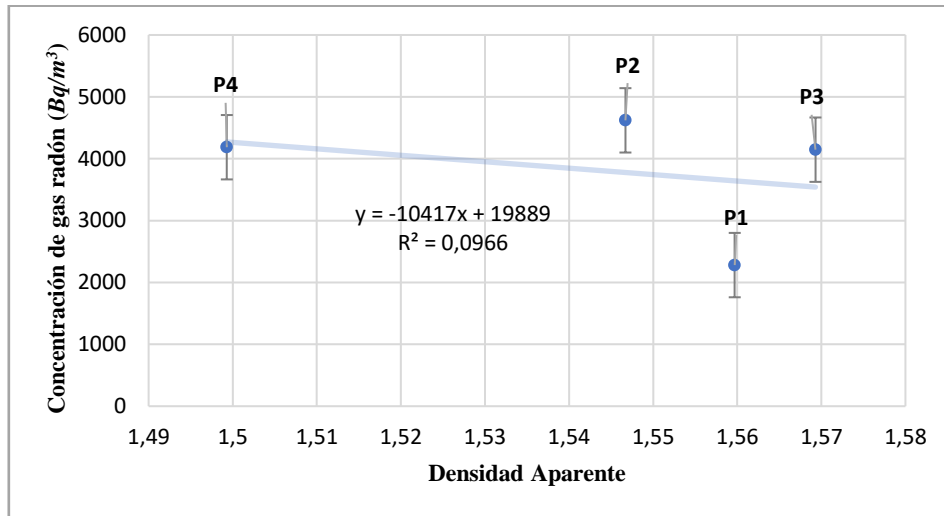


Ilustración 3-6: Concentración Rn222 vs Densidad Aparente

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

La Tabla 3-3 presenta el % de humedad relativa del suelo, el Gráfico 3-7, muestra una correlación ($R^2 = 0.51$) entre la concentración de gas radón y el contenido de humedad presente en el suelo, este resultado está de acuerdo con la bibliografía científica de (Stranden et al., 1984).

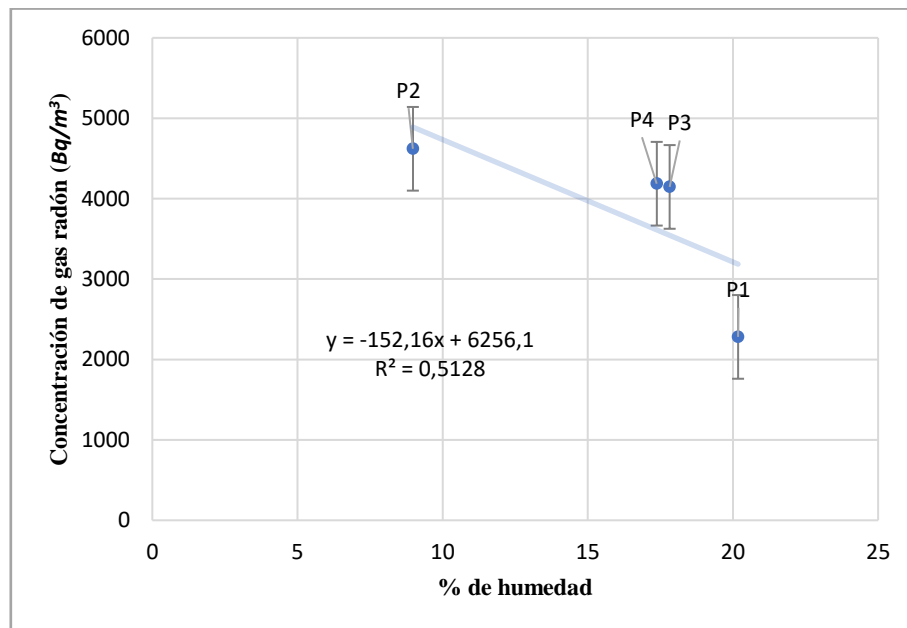


Ilustración 3-7: Concentración Rn222 vs % humedad

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

- pH y Conductividad Eléctrica

En la Tabla 3-4, se muestran los valores obtenidos en el laboratorio de pH y conductividad eléctrica mediante el uso de equipos que son el potenciómetro y el conductímetro.

Tabla 3-4: Valores de pH y Conductividad eléctrica del suelo

| PUNTO | pH Húmedo | Conductividad Húmedo (uS/cm) |
|-------|-----------|------------------------------|
| C1 | 8,92 | 140,9 |
| C2 | 9,54 | 160,4 |
| C3 | 8,24 | 59,6 |
| C4 | 7,99 | 87,44 |

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

Los valores de pH de cada muestra indica que son suelos alcalinos y con respecto a la concentración de gas radón en el suelo no se obtuvo correlación ($R^2 = 0.0013$), lo que significa que ninguna de estas variables influye con la otra, como se observa en el Gráfico 3-8.

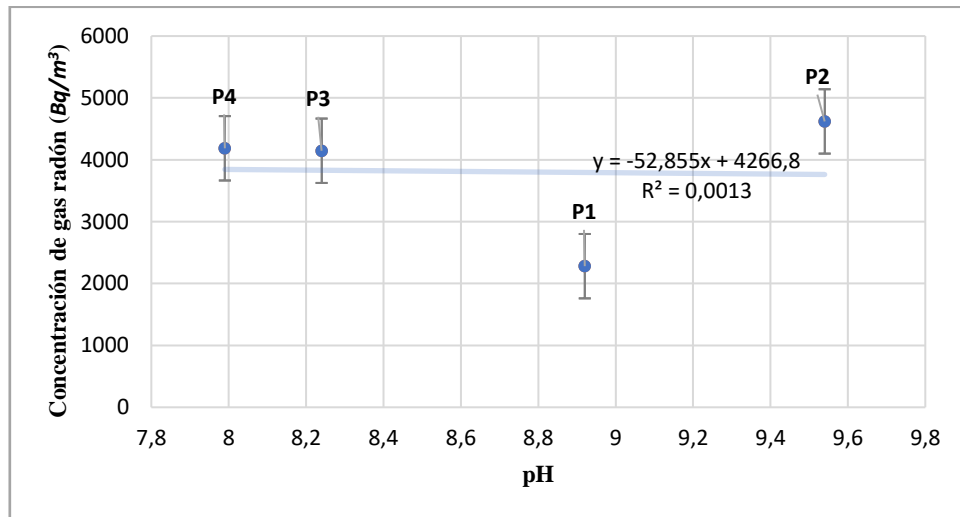


Ilustración 3-8: Concentración de Rn222 vs pH

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

El análisis correlacional entre la concentración de gas radón en el suelo y la conductividad eléctrica, se lo observa en el ilustración 3-9, donde indica que no existe correlación ($R^2 = 0.0478$).

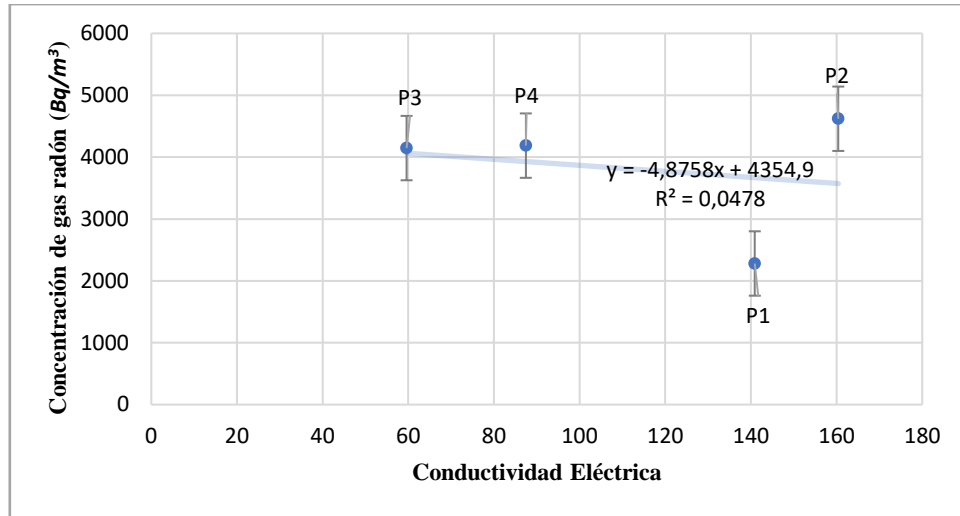


Ilustración 3-9: Concentración de Rn222 vs Conductividad Eléctrica

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

- **Estructura y Textura**

En la Tabla 3-5, se observan las características de textura y estructura del suelo.

Tabla 3-5: Textura y Estructura del suelo

| PUNTO | ESTRUCTURA | | TEXTURA |
|-------|------------|----------|-----------------------|
| C1 | Subangular | Mediana | Franco arcillo limoso |
| C2 | Granular | Muy fino | Franco limoso |
| C3 | Granular | Fino | Franco |
| C4 | Granular | Mediana | Franco arenoso |

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

- **Materia Orgánica y Carbono Orgánico**

La Tabla 3-6 muestra los valores de materia orgánica obtenidos en el laboratorio.

Tabla 3-6: Datos para el cálculo de materia orgánica del suelo

| PUNTO | DATOS PARA CÁLCULOS | | | |
|-------|--|----------------------------|--|---|
| | Peso de suelo tamizado puesto en crisol que ha sido tarado (g) | Peso del crisol tarado (g) | Peso de crisol + muestra después de 24 horas en estufa (g) | Peso de crisol + muestra luego de 2h en la mufla a 360° (g) |
| C1 | 5,0991 | 42,2061 | 49,0067 | 48,8590 |
| C2 | 5,2276 | 39,3357 | 44,4638 | 44,3940 |
| C3 | 5,6561 | 34,7180 | 40,2440 | 40,0375 |
| C4 | 5,087 | 30,2727 | 35,2001 | 35,1108 |

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

Utilizando los datos de la tabla 3-6, utilizaremos la *Ecuación 2-4* y *Ecuación 2-5* del capítulo II, para calcular el porcentaje de materia y carbono orgánicos presente en la muestra de suelo. En la siguiente tabla se observan los resultados:

Tabla 3-7: Resultado % de Materia Orgánica y % de Carbono Orgánico

| PUNTO | RESULTADOS | | | | |
|-------|---|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Peso de muestra seca después de 24 horas en estufa a 105° (sin humedad) (g) | Peso de muestra calcinada, luego de 2h en la mufla a 360° (sin humedad, ni materia orgánica) (g) | MATERIA ORGÁNICA (g) | MATERIA ORGÁNICA (%) | CARBONO ORGÁNICO (%) |
| C1 | 6,8006 | 6,6529 | 0,1477 | 2,1719 | 1,2598 |
| C2 | 5,1281 | 5,0583 | 0,0698 | 1,3611 | 0,7895 |
| C3 | 5,5260 | 5,3195 | 0,2065 | 3,7369 | 2,1675 |
| C4 | 4,9274 | 4,8381 | 0,0893 | 1,8123 | 1,0512 |

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

En el gráfico 3-10 se observa la correlación entre la concentración de gas radón en el suelo con el porcentaje de materia orgánica presente en la muestra, no se obtiene una correlación ($R^2 = 0.0066$) y no hay influencia entre estas dos variables.

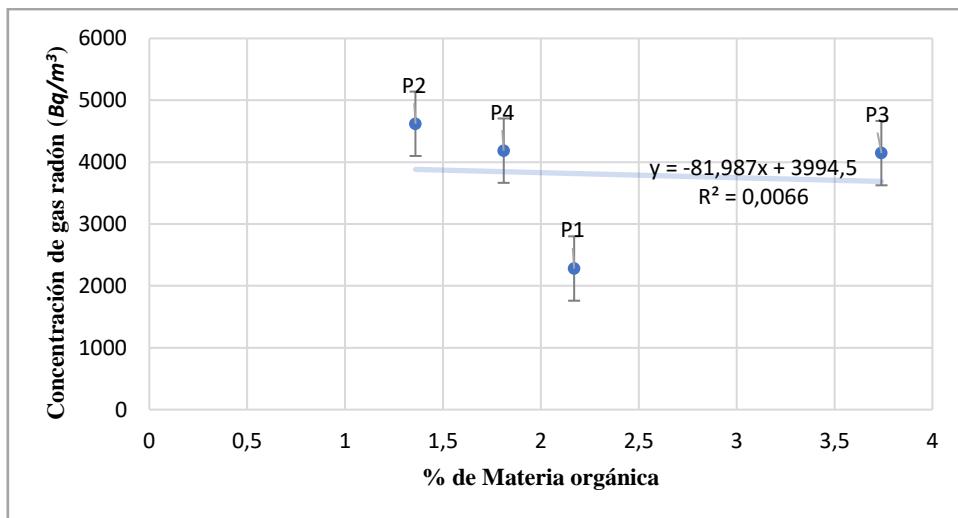


Ilustración 3-10: Concentración de Rn222 vs % Materia orgánica

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

La correlación de la concentración del gas radón en el suelo con el porcentaje de carbono orgánico presente en la muestra de suelo se muestra en el ilustración 3-11, indicándonos que no existe una correlación ($R^2 = 0.0067$) entre estas dos variables.

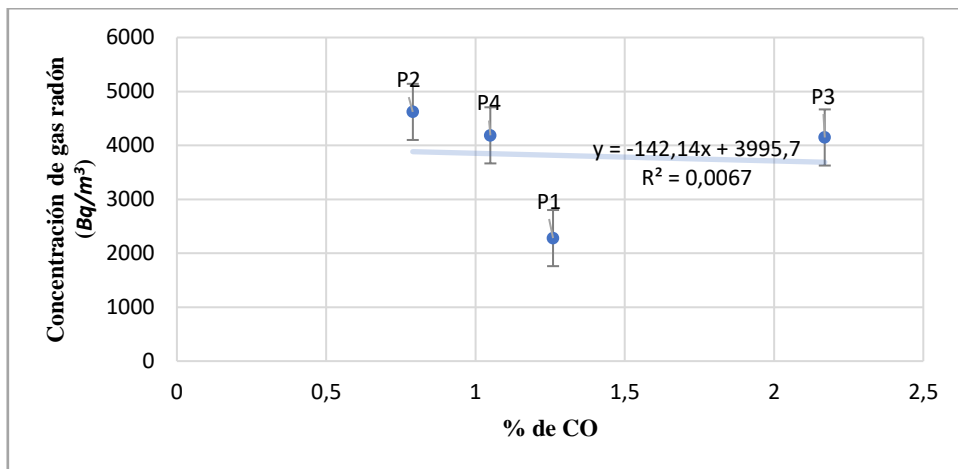


Ilustración 3-11: Concentración de Rn222 vs % Carbono orgánico

Realizado por: Quintana, J., Vasco, J., 2023.

CONCLUSIONES

- En la zona de estudio se midió las variables meteorológicas con el fin de caracterizar esta región de la provincia de Chimborazo, se observó que la temperatura, velocidad del viento, humedad y presión barométrica en los cuatro puntos de muestreo no presentaron grandes fluctuaciones.
- En cada punto de muestreo, con el propósito de determinar las condiciones en las que opera el detector, se midió la temperatura bajo el suelo a un metro y treinta de profundidad, usando los iButtons, a la misma profundidad se instaló el sistema de detección E-PERM SLT, los resultados mostraron que la temperatura bajo el suelo permaneció constante durante los diez días que duraron las mediciones, así mismo se determinó que la temperatura del aire exterior es mayor que bajo el suelo, excepto en el punto de muestreo ubicado en la parte urbana de Cajabamba.
- Las concentraciones de gas radón en cuatro puntos de muestreo del suelo en la zona de estudio, fluctuaron entre 2281 Bq/m³ (C1) y 4620 Bq/m³(C3), se observó que el punto a menor altitud presenta una concentración de radón menor que los puntos a mayor altitud, por lo que se puede inferir que existe una correlación entre los niveles de radón y la altitud.
- En cada punto de muestreo se colectó una muestra de suelo a una profundidad de un metro y treinta, se determinó las propiedades fisicoquímicas del suelo (densidad aparente, pH, conductividad, materia orgánica, humedad relativa y carbono orgánico), los resultados mostraron que no existe correlación entre estos parámetros y la concentración de radón, excepto con la humedad del suelo.

RECOMENDACIONES

- Desarrollar un estudio más amplio que implemente el sistema de detección E-PERM (Electret-Passive Environmental Radon Monitor), debido a que es una técnica que facilita la obtención de resultados confiables.
- Se sugiere que se realice estudios donde se compare la concentración del gas radón con más variables como la porosidad y la permeabilidad del suelo según indica la literatura estudiada.

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, H. et al. (2019). “Assessment of radon risk areas in the Eastern Canary Islands using soil radon gas concentration and gas permeability of soils”. *Science of The Total Environment* [en línea], 2019, 6(4), págs. 449–460. [Consulta: 01 diciembre 2023]. ISSN 1987-1458. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.01.411>

AMANCHA CAGUANA, Jaime Enrique. Evaluación de la concentración del Gas Radón en ladrillos artesanales en las parroquias [en línea]. (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2021, p.5. [Consulta: 2023-05-10]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32363/1/Tesis%20I.%20C.%201446%20-%20Amancha%20Caguana%20Jaime%20Enrique.pdf>

AMANCHA, Jaime. Trabajo Experimental Previo A La Obtención Del Título De Ingeniero Civil [en línea]. (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2021, p.1. [Consulta: 2023-05-10]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32363/1/Tesis%20I.%20C.%201446%20-%20Amancha%20Caguana%20Jaime%20Enrique.pdf>.

AMBIENTAL, CENTRO NACIONAL DE SALUD. *El radón y su salud* [Blog] [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/spanish/nceh/especiales/radon/index.html#:~:text=La%20Agencia%20de%20Protecci%C3%B3n%20Ambiental,quedar%20atrapadas%20en%20los%20pulmones.>

AMBIENTAL, I. et al. Determinación de la línea base y diagnóstico socioambiental para la valorización ambiental y social de bioinsumos dentro de la agroecología en la parroquia de ayora, cantón cayambe, provincia de pichincha. (Trabajo de titulación) (Titulación). Iniversidad Politécnica Salesiana. Quito-Ecuador. 2019. Págs. 1-74.

ARNEDO AYENSA, Miguel Ángel. Evaluación del fondo radioactivo natural de las Islas Canarias Orientales, implicaciones radiológicas sobre la población. [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Las Palamas, Colombia. 2014, p.5. [Consulta: 2023-05-10]. Disponible en: https://node1.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/002/713/2713596.pdf.pdf?X-Amz-Content-

Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=7PKKQ3DUV8RG19BL%2F20220629%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20220629T152450Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=600&X-Amz-Signature=8f9cc590764e3f0a17993e7db5badaa1c633af15d16ff8bde2c80ef843331dbb

BAEZA, A. et al. *Indoor radon levels in buildings in the autonomous community of Extremadura*. EE.UU: Nacional Library of Medicine, 2003, p.34.

BAEZA, N. et al. *Radiation Protection Dosimetry*, EE.UU: Edit Books News, 2003. p. 263-268.

BALTÀ MORENO, Victòria. El Radó en Activitats Laborals [en línea]. (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España. 2012, p.9. [Consulta: 2023-05-10]. Disponible en: <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/96425/vmb1de4.pdf?sequence=1>

BALTÀ, Victòria. El radon en actividades laborales [en línea]. (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad de Valencia, Valencia, España. 2012, p.12. [Consulta: 2023-05-10]. Disponible en: <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/96425/vmb1de4.pdf?sequence=1>.

BELTRÁN TORRES, S. Et al. Estimated versus field measured soil gas radon concentration and soil gas permeability. *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], 2023, 1(2), págs. 19–46. [Consulta: 01 diciembre 2023]. ISSN 2019-8547. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2023.107224>

CARRASCO, Jorge. Et al. *Caracterizacion De Un Suelo Para El Establecimiento De Un Huerto Frutal*. [en línea]. Ecuador: Ediciones Ambientales, 2008. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7335/NR37052.pdf?sequence=9&isAllowed=y>.

CARVALHO, S. Et al. *The environmental behaviour of uranium*. Madrid-España: IAEA, 2023, pág.2.

CASTRO PILCO, Jorge Arturo. Evaluación y Zonificación de los Procesos Geodinámicos que influyen en el Área Urbana del Cantón Guaranda [en línea]. (Trabajo de titulación). (Titulación)

Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2013, pp.1-12. [Consulta: 2023-05-10]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2284>

CHERLINKA, Vasyl. *El Control De La Humedad Del Suelo: Un Factor Clave* [Blog]. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://eos.com/es/blog/humedad-del-suelo/#:~:text=Unos%20niveles%20suficientes%20de%20humedad,como%20regulador%20de%20la%20temperatura..>

CIANCAGLINI, L. R- 001- *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico* [en línea]. Ecuador: Impresiones manuales, 2019. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf

CIANCAGLINI, Nicolás. *Instructivo. R-001 Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico.* [en línea]. Ecuador: Impresiones Nuevo Amanecer, sf. [consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf.

DI FISICA, D. Radon measurement techniques in building materials and water using Italian and Ecuadorian samples.(Trabajo de titulación) Universita' Della Calabria. Valencia-España. 2020. págs.. 1-75.

ECUADOR CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL 2008. *Decreto Legislativo Cero*

EDEA. Textura y estructura [Blog]. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: https://edeajuntadeandalucia.es/bancorecursos/file/1a663d21-0626-4104-8095-b9c5cf6c4835/1/es-an_2019042412_9110826.zip/11_texturas_y_estructuras.html?temp.hn=true&temp.hb=true

EDU.AR. *La imagen y el ojo.* Argentina: Ediciones Amanecer, 2020. pp.16-18.

EQUIPOS Y LABORATORIO DE COLOMBIA. *El gas Radón-Actividad Sísmica y Vulcanológica.* En: *Equipos y Laboratorio de Colombia* [Blog]. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/el-gas-radon-actividad-sismica-y-vulcanologica>

EQUIPOS. *El gas radon - actividad sísmica y vulcanológica* [Blog]. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/el-gas-radon-actividad-sismica-y-vulcanologica>.

FERNANDEZ, Talía Beatriz TENE. 2017. *Environmental Radon Measurements using a closed chamber for building materials and water and a feasible program for Ecuador.* [en línea]. Ecuador: Nuevas Impresiones, 2017. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/98/27598/3f23fc987dbbeda82587753c9796000a.pdf>

GAMMA-SCOUT. *Gamma-Scout.* [Blog] [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.gamma-scout.com/de/online/>.

GARGANTILLA, Pedro. 2018. El gas radón: la radiación que viene del suelo y puede entrar en casa [en línea]. Ecuador: ABC Ciencia, 2018. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: https://www.abc.es/ciencia/abci-radon-radiacion-viene-suelo-y-puede-entrar-casa-201802012132_noticia.html [consulta: 23 mayo 2022]

GARGANTILLA, Pedro. *El gas radón: la radiación que viene del suelo y puede entrar en casa* [Blog]. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: https://www.abc.es/ciencia/abci-radon-radiacion-viene-suelo-y-puede-entrar-casa-201802012132_noticia.html.

GUAPIZACA, Curi. Implementación de un método de detección del gas ^{222}Rn en agua proveniente de las vertientes naturales del volcán Carihuairazo [en línea]. (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018, p.5. [Consulta: 2023-05-10]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/8357/1/86T00048.pdf>

GUAPIZACA, Curi. Implementación De Un Método De Detección Del Gas ^{222}Rn En Agua Proveniente De Las Vertientes Naturales Del Volcán Carihuairazo [en línea]. (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobama, Ecuador. 2018, pp.1-72.

[Consulta: 2023-05-10]. Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8357/1/86T00048.pdf>.

GUEVARA, Susana. Evaluación de gas radon en la provincia de Chimborazo, secto San Juan [en línea]. (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015, p.90. [Consulta: 2023-05-10]. Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3878/1/86T00017%20UDCTFC.pdf>.

GUEVARA, Susana. Evaluacion de gas radon en los paramos de la provincia de Chimborazo [en línea]. (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015, pp.1-92. [Consulta: 2023-05-10]. Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3878/1/86T00017%20UDCTFC.pdf>.

GUTIÉRREZ, Ana Rubio. *La Densidad Aparente En Suelos Forestales Del Parque Natural Los Alcornocales* [en línea]. Ecuador: Santillana, 2010. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en:
<https://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>.

HERNÁNDEZ, Héctor. *Actividades laborales y el contacto con el Radón.* Ecuador: Impresiones Otavalo, 2015, p.5.

HERNÁNDEZ, Héctor. *Radon y los efectos en el suelo.* Argentina: McEdiciones, 2015, p.23.

HERNÁNDEZ, Juan Carlos. *Densidad de los suelos en el Ecuador* [en línea]. Ecuador: Escuela de Ingeniería, 2008. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en:
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/34529366/Tesis_Ensayos_de_mecanica_de_Suelos_y_Asfaltos-libre.pdf?1408959355=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCARACTERISTICAS_FISICAS_Y_PROPIEDADES_ME.pdf&Expires=1689879721&Signature=ZvH4VaE8HfONeRA.

HERRERA, Darwin. Concentraciones de radón-222 en el suelo de una zona del cantón riobamba perpendicular a la falla pallatanga. (Trabajo de titulación) (Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Colombia. 2022. págs.. 1-25.

IBÁNES, Juan. *Temperatura del Suelo y Microclimatología* [Blog]. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/21/82825>.

IBUTTON. *Qué es ibutton* [Blog]. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://ibutton.cl/que-es-ibutton/>.

INKARI. Contaminación por gas radón [Blog]. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/Inkarifxt/estructura-del-suelo-123>.

IOVINE, G. Et al. “Soil-gas radon anomalies in three study areas of central-northern Calabria”. *Southern Italy*. [en línea], 2018, 3(7), págs. 1-8. [Consulta: 01 diciembre 2023]. ISSN 1549-9696. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2839-x>

JULCA, Alberto, et al. . “La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura”. *Scielo* [en línea], 2006, (Ecuador) 1(2), p.2. [Consulta: 20 mayo 2023]. ISSN: 1010-1510. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292006000100009

LASTRA, Martha. *Research about different measurement techniques of radon exhalation in soils*. Inglaterra: Mc-Book, 2016, págs. 1-37.

LLUMIGUANO, Mariuxi. "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 ESPE* [En línea], 2018, (Ecuador) 1(2), p.2. [Consulta: 20 mayo 2023]. ISSN 1547-8521. Disponible en: <http://geo1.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2018/11/9.pdf>.

LLUMIGUANO, Mariuxi. Factores geodinámicos de la falla geológica Pallatanga - Riobamba y su influencia en la vulnerabilidad del área urbana de la parroquia Santiago-provincia bolívar, ecuador. *Scielo* [en línea], 2018, (Ecuador) 1(2), p.2. [Consulta: 20 mayo 2023]. ISSN: 1010-1510. Disponible en: <http://geo1.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2018/11/9.pdf>

MAHER, Electrónica. *Qué es la conductividad eléctrica y su importancia en los cultivos* [Blog]. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.maherelectronica.com/conductividad-electrica-agricultura/>.

MARTÍNEZ, Eduardo, et al. “Carbono orgánico y propiedades del suelo”. *Scielo* [en línea], 2018, (Ecuador) 1(2), p.2. [Consulta: 20 mayo 2023]. ISSN: 1010-1510. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006#:~:text=El%20carbono%20org%C3%A1nico%20del%20suelo%20\(COS\)%20es%20un%20componente%20importante,1990%2C%20La%2C%201997](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006#:~:text=El%20carbono%20org%C3%A1nico%20del%20suelo%20(COS)%20es%20un%20componente%20importante,1990%2C%20La%2C%201997)

MORENO, H. et al. *La estructura del suelo* [en línea]. España: Impresiones Universitarias, 2020. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8010/estructura.pdf>.

NEILA, Carlos Gonzáles. Radiactividad natural en materiales de construcción [en línea]. (Trabajo de titulación). (Titulación) Universidad de Salamanca, Madrid, España. 2018, p.5. [Consulta: 2023-05-10]. Disponible en: https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/75314/PFC_GonzalezNeilaC_Radiactividad_natural.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

OIEA. 2018. *Protección del público contra la exposición en espacios interiores debida al radón y a otras fuentes naturales de radiación* [En línea]. Ecuador: Ediciones Publicas, 2018. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1651_S_web.pdf.

OIEA. *Protección del público contra la exposición en espacios interiores debida al radón y a otras fuentes naturales de radiación* [en línea]. Perú: Incas Ediciones, 2018. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1651_S_web.pdf.

OIEA. *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad* [en línea]. España: Ediciones NEA, 2016. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1578_S_web.pdf.

OIEA. *Protección Radiológica Y Seguridad De Las Fuentes De Radiación: Normas Básicas Internacionales De Seguridad.*[en línea]. España: Ediciones NEA, 2011. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Normas%20b%C3%A1sicas%20de%20seguridad%20GSR%20parte%203.pdf>.

OMS. *handbook on indoor radon: A public health perspective.* Ginebra, Organización Mundial de la Salud. EE.UU: Green Books, 2009, p.4

ORBE, J. Et al. “An Evaluation of Radon in Drinking Water Supplies in Major Cities of the Province of Chimborazo, Central Andes of Ecuador”. *Scielo* [en línea], 2023, 15(12), págs. 1–58. [Consulta: 01 diciembre 2023]. ISSN 5496-8520. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w15122255>

PDOT. *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2014-2030* [en línea]. Ecuador: Publicaciones de estado Ecuatoriano, 2014. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0660000520001_PDOT_COLTA_2014_15-03-2015_19-11-32.pdf.

PILCO, Jorge Castro. *Insidencia del gas radón en el ambiente.* Ecuador: Publicaciones Ciencias Nuevas, 2013, p.5.

POZO, Lorena. 2021. *Revista Propiedades Físicas y Químicas del Suelo.* [Online] Ecuador: Issuu, 2021. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: https://issuu.com/llopozo/docs/revista_propiedades_fisicas_y_quimicas_del_suelo.

QUINDÓS, L. Et al. “Radón, principal fuente de radiación natural”. *Revista Española de Física*, vol. 3, n°1, (1989), págs.. 22–27.

RAD ELECT IN. *Sper-1/e reader calibration* [Blog]. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.radelec.com/store/services/17-sper-1e-reader-calibration.html>.

RADELEC. *Stieff, Frederick,* [Blog]. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.radelec.com/store/electrets/1-long-term-lt-electret.html>.

RADIANS CONSULTING. *Radiansa Consulting.* [Blog]. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://tienda.radiansa.com/p/e-perm-sistema-de-medicion-de-gas-radon>.

RENGIFO, M. *La falla albarregas: determinación de su traza mediante la detección de gas radón,* Venezuela: Libro Libertad, 2015, p.3.

RIOBAMBA GAD MUNICIPAL. *Falla Geológica - Pallatanga. En: Riobamba GAD Municipal* [en línea]. Ecuador: Nuevo amanecer, 2018. [Consulta: 20 mayo 2023] Disponible en: <https://bibliotecariobamba.wixsite.com/bibliotecamunicipal/single-post/2018/01/08/falla-geológica-pallatanga>

RIOBAMBA GAD. *Falla geológica – Pallatanga* [Blog]. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://bibliotecariobamba.wixsite.com/bibliotecamunicipal/single-post/2018/01/08/falla-geol%C3%B3gica-pallatanga>.

SOFREP. *Kestrel 3500 Weather Meter* [Blog]. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <https://sofrep.com/news/kestrel-3500-weather-meter-quick-look/>.

SOTO, Soriano & DESAMPARADOS, María. *Conductividad eléctrica del suelo.* [en línea]. Ecuador: Publicaciones Universitaria, 2018. [Consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/105110>.

STRANDEN, E. Et al. “The Influence of Moisture and Temperature on Radon Exhalation”. *Radiation Protection Dosimetry*, [en línea], 1984, 1(2), págs. 55–58. [Consulta: 01 diciembre 2023]. ISSN 1542-8546. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a082962>

SUN, K. Et al. “The Effect of Some Soil Characteristics on Soil Radon Concentration and Radon Exhalation from Soil Surface The Effect of Some Soil Characteristics on Soil Radon Concentration”. *Scielo* [en línea], 2004, 41(11), págs. 1113–1117. [Consulta: 01 diciembre 2023]. ISSN 1213-1112. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/18811248.2004.9726337>

SUN, K., Et al. “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, 41(11), págs. 1113–1117. [Consulta: 01 diciembre 2023]. ISSN 1213-1112. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/18811248.2004.9726337>

TELENCHANO, ILBAY, Jonathan Moisés. Evaluación de las concentraciones de Radio-226en muestras de agua subterránea colectadas en los suministros de agua potable de los cantones Colta, Pallatanga y Cumandá [en línea]. (Trabajo de titulación). (Titulación) Escuela Superior Politécnica

de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2021, p.5. [Consulta: 2023-05-10]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15026/1/86T00126.pdf>

TENE, T. Environmental Radon Measurements using a closed chamber for building materials and water and a feasible program for Ecuador [en línea]. (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de la Calabria, Italia. 2017, p.1. [Consulta: 2023-05-10]. Disponible en: <https://dspace.unical.it/handle/10955/1305>

TOBAR, García. "Influencia de las condiciones meteorológicas sobre el nivel de radón a corto plazo en un laboratorio subterráneo". *Scielo* [En línea], 2014, (Ecuador) 1(2), p.1. [Consulta: 20 mayo 2023]. ISSN 1014-8520. Disponible en: [En: SCIELO \[en línea\]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052014000200005.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052014000200005)


TOBAR, García. "Influencia de las condiciones meteorológicas sobre el nivel de radón a corto plazo en un laboratorio subterráneo". *Scielo* [en línea], 2014, (Ecuador) 4(2), p.2. [Consulta: 20 mayo 2023]. ISSN: 1548-9632. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052014000200005





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 26/010/2024

| |
|--|
| INFORMACIÓN DEL AUTOR |
| Nombres – Apellidos: JOSELYN CAROLINA QUINTANA LUISA JOSELYN FERNANDA VASCO MORALES |
| INFORMACIÓN INSTITUCIONAL |
| Facultad: Ciencias |
| Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental |
| Título a optar: Ingeniera en Biotecnología Ambiental |
|  Dra. Madgy Mileni Echeverría Guadalupe, PhD. Directora del Trabajo de Titulación  Dra. Jheny del Carmen Orbe Ordoñez, PhD. Asesora del Trabajo de Titulación |