



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA QUÍMICA

**DETERMINACIÓN DE RADIONUCLEIDOS NATURALES Y
ARTIFICIALES EN LA ZONA ALTA DE LA PROVINCIA DE
CHIMBORAZO.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

QUÍMICO

AUTOR: VICTOR STALYN ARMIJOS VANEGA

DIRECTOR: Dr. CELSO GUILLERMO RECALDE MORENO PhD.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Victor Stalyn Armijos Vanega

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

Yo, Victor Stalyn Armijos Vanega, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 18 de diciembre de 2023






Victor Stalyn Armijos Vanega

2100780390-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA QUIMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **DETERMINACIÓN DE RADIONUCLEIDOS NATURALES Y ARTIFICIALES EN LA ZONA ALTA DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.**, realizado por el señor: **VICTOR STALYN ARMIJOS VANEGA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Edmundo Rodrigo Caluña Sánchez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023/12/18
Dr. Celso Guillermo Recalde Moreno PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023/12/18
Dr. Bolívar Edmundo Flores Humanante ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023/12/18

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se encuentra dedicado a todos mis familiares y amigos que me brindaron su apoyo y sus conocimientos contribuyendo de esa manera a mi desarrollo tanto personal como profesional, en especial a mis padres Victor y María, quienes se han convertido en mi modelo a seguir, por su espíritu de liderazgo y nobleza.

Victor

AGRADECIMIENTO

De manera muy especial agradezco a mis padres por permitirme culminar este paso tan importante en mi vida. Agradezco la comprensión brindada por mis familiares y de igual manera agradecer el apoyo tanto económico como moral que me brindaron en el transcurso del desarrollo de este trabajo. Mis más sinceros agradecimientos a los tutores de mi tesis por la guía brindada y el apoyo en el desarrollo del trabajo de investigación.

Victor

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY / ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.1.1. Enunciado del problema	2
1.1.2. Problema general de Investigación	3
1.1.3. Problemas específicos de Investigación	3
1.2. Justificación.....	4
1.3. Objetivos.....	6
1.3.1. Objetivo General	6
1.3.2. Objetivos Específicos	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de Investigación	7
2.2. Referencias Teóricas.....	8
2.2.1. Radiactividad.....	8
2.2.2. Desintegración radiactiva	8
2.2.3. Cinética de la desintegración radiactiva	9
2.2.4. Actividad específica.....	10
2.2.5. Vida media.....	10
2.2.6. Radiactividad natural.....	11
2.2.7. Radiactividad artificial.....	13
2.3. Bases conceptuales	14

2.3.1.	<i>Radioactividad y Geología</i>	14
2.3.2.	<i>Geología de la Provincia de Chimborazo</i>	15
2.3.3.	<i>Espectrometría de rayos Gamma</i>	16

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	17
3.1.	Tipo de Investigación	17
3.2.	Diseño de la Investigación	17
3.2.1.	<i>Diseño Experimental</i>	17
3.2.1.1.	<i>Identificaciones variables</i>	18
3.2.1.2.	<i>Planteamiento de la hipótesis</i>	18
3.2.1.3.	<i>Localización del Estudio</i>	18
3.2.1.4.	<i>Población de estudio</i>	19
3.2.1.5.	<i>Tamaño de la muestra</i>	19
3.2.1.6.	<i>Método de muestreo</i>	20
3.2.2.	<i>Técnicas de recolección de datos</i>	20
3.2.2.1.	<i>Fase de reconocimiento</i>	20
3.2.2.2.	<i>Selección de lugares de referencia</i>	20
3.2.2.3.	<i>Muestreo</i>	20
3.2.2.4.	<i>Tratamiento de muestras</i>	21
3.2.2.5.	<i>Análisis de las muestras</i>	21
3.3.	Cadena de custodia	23
3.4.	Análisis e interpretación de datos	23
3.5.	Característica del equipo	25
3.5.1.	<i>Espectrómetro gamma con ventana de berilio (BSI GCD-40180X)</i>	25
3.5.2.	<i>Especificaciones técnicas del equipo</i>	25
3.6.	Materiales utilizados	27
3.7.	Presupuesto y cronograma de actividades	28
3.7.1.	<i>Presupuesto</i>	28
3.7.1.1.	<i>Económico</i>	29
3.7.1.2.	<i>Financiero</i>	30

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	31
4.1.	Identificación de radionucleidos.....	31
4.2.	Actividad específica y exposición externa zona alta de la provincia de Chimborazo.....	32
4.3.	Actividad específica en las cordilleras de la zona alta de la provincia de Chimborazo.....	36
4.3.1.	<i>Estadística descriptiva de la actividad específica de los radionucleidos en la Cordillera Oriental</i>	36
4.3.1.1.	<i>Concentración de actividad de los radionucleidos ^{226}Ra, ^{232}Th y ^{40}K, pertenecientes a la Cordillera Oriental</i>.....	37
4.3.2.	<i>Estadística descriptiva de la actividad específica de los radionucleidos en la Cordillera Occidental</i>	38
4.3.2.1.	<i>Concentración de actividad de los radionucleidos ^{226}Ra, ^{232}Th y ^{40}K, pertenecientes a la Cordillera Occidental</i>.....	40
4.4.	Discusión	41

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
5.1.	Conclusiones	43
5.2.	Recomendaciones	44

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Vidas medias de algunos radionucleidos comunes.....	11
Tabla 2-2: Concentración de la actividad de algunos radionucleidos en muestras de suelos	12
Tabla 2-3: Dosis media de radiación de fuentes naturales	13
Tabla 2-4: Vidas medias de algunos radionucleidos artificiales	14
Tabla 3-1: Ejemplo de distribución de los datos para el diseño experimental	18
Tabla 3-2: Registro de los puntos muestreados, analizados en la SCAN	22
Tabla 3-3: Actividad específica de los radionucleidos presentes en la zona alta de la provincia de Chimborazo.....	23
Tabla 3-4: Características Técnicas del Espectrómetro Gamma Modelo GCD-40180X.....	26
Tabla 3-5: Descripción de las herramientas y materiales usados en campo	27
Tabla 3-6: Descripción de equipos y materiales usados en el laboratorio	27
Tabla 3-7: Descripción programas utilizados	28
Tabla 3-8: Descripción financiero de materiales utilizados	29
Tabla 3-9: Análisis financiero de las fuentes de financiamiento	30
Tabla 4-1: Radionucleidos presentes en la zona alta de la provincia de Chimborazo	31
Tabla 4-2: Concentración de actividad de los radionucleidos ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K , y la exposición externa en el suelo de la zona alta de la provincia de Chimborazo.....	32
Tabla 4-3: Análisis descriptivo de la actividad específica de ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K , exposición externa muestras de suelo de la zona alta en la Provincia de Chimborazo.	32
Tabla 4-4: Resumen estadístico descriptivo de los radionucleidos encontrados en las muestras de suelo, de la cordillera oriental	36
Tabla 4-5: Análisis descriptivo de la actividad específica de ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K , exposición externa muestras de suelo de la Cordillera Oriental en la Provincia de Chimborazo	37
Tabla 4-6: Resumen estadístico descriptivo de los radionucleidos encontrados en las muestras de suelo, de la cordillera occidental	38
Tabla 4-7: Análisis descriptivo de la actividad específica de ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K , exposición externa muestras de suelo de la Cordillera Occidental en la Provincia de Chimborazo.....	40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Series radiactivas del ^{238}U , ^{235}U y ^{232}Th	8
Ilustración 2-2: Mapa geológico de la provincia de Chimborazo	15
Ilustración 3-1: Ubicación de los puntos de muestreo.....	19
Ilustración 3-2: Diagrama del tratamiento de muestras.....	21
Ilustración 3-3: Diagrama de ingreso de las muestras al SCAN	22
Ilustración 4-1: Mapa actividad específica del ^{232}Th , en la zona alta de la	33
Ilustración 4-2: Mapa actividad específica del radionucleido ^{226}Ra en la zona alta de la provincia de Chimborazo.....	34
Ilustración 4-3: Mapa actividad específica del radionucleido ^{40}K en la zona alta de la provincia de Chimborszo.	35
Ilustración 4-4: Cuartiles de la actividad de ^{214}Bi , ^{40}K y ^{214}Pb de las cordilleras Occidental y Oriental	38
Ilustración 4-5: Cuartiles de la actividad de ^{228}Ac y ^{212}Pb en las cordilleras Occidental y Oriental	39
Ilustración 4-6: Mapa de radiación gamma terrestre, en la zona alta de la provincia de Chimborazo.....	41

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1: Tasa de desintegración radiactiva	9
Ecuación 2-2: Actividad del radionucleido.....	9
Ecuación 2-3: Número total de átomos radiactivos	9
Ecuación 2-4: Actividad total de átomos radiactivos.....	10
Ecuación 2-5: Actividad específica.....	10
Ecuación 2-6: Constante de decaimiento	10
Ecuación 2-7: Primera representación de una reacción nuclear.....	13
Ecuación 2-8: Segunda representación de una reacción nuclear.....	13
Ecuación 3-1: Dosis absorbida mediante actividad de los radionucleidos.....	24
Ecuación 3-2: Dosis anual equivalente efectiva exposición aire libre	24
Ecuación 3-3: Dosis anual equivalente efectiva ambiente interior	24

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: FORMATO DE SOLICITUD DE SERVICIOS DE LA DIRECCION DE APLICACIONES NUCLEARES – ANÁLISIS DE RADIATIVIDAD

ANEXO B: FORMATO – TRAMITE ANALISIS ESPECTROMETRÍA GAMMA DE MUESTRAS

ANEXO C: CADENA DE CUSTODIA DE LAS MUESTRAS ENTREGADAS A LA SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES (SCAN), PARA LOS RESPECTIVOS ANÁLISIS.

ANEXO D: INFORME DE ANALISIS DE CONTENIDO RADIATIVO

ANEXO E: MUESTREO UTILIZADO EN LOS DISTINTOS PUNTOS SELECCIONADOS

RESUMEN

La provincia de Chimborazo, ubicada en una región volcánica y enclavada entre dos cordilleras, enfrenta incertidumbres sobre la presencia y distribución de radionucleidos en su zona alta, con posibles consecuencias para la salud y el medio ambiente. El estudio se propuso como objetivo determinar la concentración de radionucleidos naturales y artificiales en el suelo de la zona alta de la provincia de Chimborazo. Adoptando un enfoque cuantitativo y experimental, se empleó la espectrometría gamma en un diseño estratificado de muestreo, asignando aleatoriamente puntos en dos cadenas montañosas. Los resultados revelaron concentraciones notables, especialmente para el ^{226}Ra , con un promedio de 157,2 Bq/kg, significativamente superior al promedio mundial. El ^{232}Th mostró concentraciones dentro del rango global, mientras que el ^{40}K exhibió niveles ligeramente inferiores. El punto RAN39-05 destacó con concentraciones excepcionales, especialmente para el ^{226}Ra y el ^{232}Th . Además, el análisis de radiación gamma terrestre identificó tres zonas con diferentes intensidades, todas superando el promedio mundial. La variabilidad en las concentraciones y los niveles de radiación sugiere una complejidad geológica y ambiental que influye en la distribución de radionucleidos en la zona. En conclusión, se recomienda un monitoreo continuo y consideraciones en la planificación del uso del suelo para mitigar posibles riesgos ambientales y proteger la salud de la población en la zona alta de Chimborazo. Este estudio contribuye al entendimiento de la radiación en la región y destaca la importancia de futuras investigaciones para abordar las posibles implicaciones ambientales y de salud.

Palabras clave: <RADIONUCLEIDOS >, <CHIMBORAZO>, <ESPECTROMETRÍA GAMMA >, <DOSIS ABSORBIDA>, <RADIACIÓN>.

0121-DBRA-UPT-2024



ABSTRACT

The province of Chimborazo, located in a volcanic region and nestled between two mountain ranges, faces uncertainties about the presence and distribution of radionuclides in its highlands, with possible consequences for health and the environment. The objective of the study was to determine the concentration of natural and artificial radionuclides in the soil of the highlands of Chimborazo province. Gamma spectrometry was employed in a stratified sampling design, randomly assigning points in two mountain ranges and adopting a quantitative and experimental approach. The results revealed remarkable concentrations, especially for ^{226}Ra , averaging 157.2 Bq/kg, significantly higher than the global average. ^{232}Th showed concentrations within the international range, while ^{40}K exhibited slightly lower levels. Point RAN39-05 stood out with exceptional concentrations, especially for ^{226}Ra and ^{232}Th . In addition, the analysis of terrestrial gamma radiation identified three zones with different intensities, all exceeding the global average. The variability in concentrations and radiation levels suggests geological and environmental complexity that influences the distribution of radionuclides in the area. In conclusion, continuous monitoring and considerations in land use planning are recommended to mitigate potential environmental risks and protect the population's health in the upper Chimborazo zone. This study contributes to the understanding of radiation in the region and highlights the importance of future research to address potential environmental and health implications.

Keywords: <RADIONUCLIDES>, <CHIMBORAZO>, <GAMMA SPECTROMETRY>, <ABSORBED DOSE >, < RADIATION>.

0121-DBRA-UPT-2024



Lic. Edison Renato Ruiz López

C.I: 0603957044

INTRODUCCIÓN

El estudio de la determinación de radionucleidos naturales y artificiales en la zona alta de la provincia de Chimborazo tiene la finalidad de aportar información de la concentración de los radionucleidos principales, sobre todo su aportación en la actividad de los radioisótopos. Este enfoque permitirá profundizar en los posibles factores que contribuyen a estas concentraciones, proporcionando información valiosa para futuras investigaciones y medidas de gestión ambiental.

Este trabajo de investigación está estructurado en cinco capítulos, los cuales se enumerarán a continuación, junto con un resumen detallado de la información abordada en cada uno de ellos:

En el primer capítulo, aborda el problema de investigación el cual se centra en la falta de información actualizada sobre la concentración y la distribución de radionucleidos en la zona alta de la provincia de Chimborazo, permitiéndonos discernir las preocupaciones sobre posibles riesgos radiológicos para la salud y el medio ambiente.

En el segundo capítulo, denominado marco teórico, se aborda la influencia procesos geológicos relacionados con la radiación terrestre, especialmente en las cordilleras, la presencia de radionucleidos naturales y artificiales en el suelo.

En el tercer capítulo, el marco metodológico, se plantea el diseño de la investigación, el cual es un diseño estratificado de muestreo, asignando aleatoriamente puntos en dos cadenas montañosas y analizadas mediante espectrometría gamma.

En el cuarto capítulo, se profundiza en la interpretación de la información recolectada, utilizando diversas técnicas de investigación. El objetivo central es responder a la pregunta fundamental: ¿Existen radionucleidos naturales y artificiales en la zona alta de la provincia de Chimborazo?

Por otro lado, el quinto capítulo está enfocado en la resolución de la problemática planteada. Este logro se materializa mediante la identificación de los radionucleidos presentes y la elaboración de un mapa que ilustra los niveles de actividad de la radiactividad natural en la zona de estudio.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La distribución de los radionucleidos naturales y artificiales presentes en el medio ambiente, representan una fuente de exposición de radiación para los seres vivos, la radiación que es emitida principalmente es la gamma y proviene de la desintegración radionucleidos de las series del ^{238}U , ^{232}Th y del ^{40}K , los niveles altos de radiación están asociados a rocas ígneas, como el granito y algunas rocas de fosfato, este tipo de rocas están presentes en los Andes del Ecuador (UNSCEAR, 2000, pág. 89). Niveles elevados de radiación pueden originar efectos a la salud, como disminución en el funcionamiento de órganos y tejidos, además producir efectos en la piel o caída del cabello, estas alteraciones son más agudas a dosis más elevadas (OMS, 2016).

Existe poca información acerca de los valores de concentración y distribución de estos radionucleidos en la zona alta de la provincia de Chimborazo, sobre todo en sitios de referencia, con poca o nula actividad humana, estos son sitios óptimos que permiten identificar la variabilidad de las concentraciones de los radioisótopos con el paso del tiempo, un reciente estudio estableció el patrón de cuatro radionucleidos naturales como lo son (^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{228}Th y ^{40}K) y uno artificial (^{137}Cs) en la zona media-baja de la provincia de Chimborazo, este estudio se lo realizó en sitios con actividades humanas conocidas (Pucha et al., 2023, págs. 1-6). Es importante conocer los valores en sitios de referencia, ya que la distribución de los radionúclidos puede verse afectada por actividades antropogénicas como combustión del carbón, industria minera, industria de los fertilizantes, desechos radiactivos entre otros (Mitrović, 2016, pág. 273).

1.1.1 Enunciado del problema

La zona alta de la provincia de Chimborazo presenta características geológicas y geográficas que podrían influir en la presencia de radionucleidos naturales y artificiales en el suelo. Sin embargo, existe una falta de información actualizada sobre la concentración y distribución de estos radionucleidos en la región. Esta situación plantea la necesidad de realizar un estudio detallado para determinar la concentración de radionucleidos y establecer su distribución espacial en la zona alta de la provincia. La información resultante permitirá evaluar los posibles riesgos radiológicos para la población y el medio ambiente, así como contribuir al conocimiento científico de la

radiación terrestre en la región. Por tanto, el presente estudio tiene como objetivo principal “Determinar la concentración de los radionucleidos naturales y artificiales en el suelo de la zona alta de la provincia de Chimborazo”, con el fin de proporcionar datos actualizados y relevantes que contribuyan a la gestión de la radiación en la zona alta de la provincia de Chimborazo.

1.1.2 Problema general de Investigación

¿Existen radionucleidos naturales y artificiales en la zona alta de la provincia de Chimborazo?

1.1.3 Problemas específicos de Investigación

En el progreso del presente trabajo, se plantearon las siguientes interrogantes, con el propósito de responder a la temática planteada.

- ¿Cómo se hará la cuantificación de los radionucleidos naturales y artificiales presentes en la zona alta de la provincia de Chimborazo?
- ¿Cuál es la distribución de los radionucleidos presente en la zona alta de la provincia de Chimborazo?

1.2 Justificación

La radiactividad es el proceso que de forma natural o artificial en núcleos inestables, se transforma en otro núcleo liberando energía, en forma de radiación ionizante, este proceso sucede a las series de desintegración del ^{238}U , ^{232}Th y del ^{40}K , el conocer que cantidad de energía liberan los núcleos de estos átomos al ambiente es importante, ya que la radiación puede atravesar la materia y excitarla, produciendo daños biológicos por la cantidad de energía depositada, existen valores dosis per cápita procedentes de la radiación natural de fondo el cual es de 2,4 mSv (UNSCEAR, 2010a, pág. 5).

La provincia de Chimborazo cuenta con una extensión jurisdiccional de 6.578,10 km², con rango altitudinales que van desde los 135 m.s.n.m hasta los 6310 m.s.n.m, de la extensión el 17,58 % de la superficie se encuentra en conservación, ya sea como reservas biológicas públicas o privadas, siendo estas perfectas zonas de referencia para la determinación de radionucleidos naturales como artificiales en la zona alta de la provincia (GADCH, 2020, págs. 17-34).

En la actualidad, existe poca información acerca de la presencia de los radionucleidos tanto naturales como artificiales presentes en la zona alta de la provincia de Chimborazo, en sitios en los que el hombre no haya intervenido, estas zonas son de gran importancia para poder medir la variabilidad de la radiación natural y artificial con el paso del tiempo, es por ello que deben cumplir ciertos criterios, como por ejemplo, el lugar de referencia ideal no tiene que haber experimentado pérdida de suelo o deposición de sedimentos, tiene que estar bajo una cubierta vegetal continuo, entre otras características, es por ello que las áreas protegidas son una excelente zona para utilizar como lugar de referencia (Pennock y Appleby, 2003b, págs. 22-24).

Mediante la identificación y determinación de los radionucleidos en lugares de referencia como son los sitios identificados como suelos vírgenes, nos permite tener valores referenciales y estimar la exposición que se encuentra sometida la población de esta zona, permitiendo así elaborar normas de protección radiológica si son requeridas. Esta información además será de gran utilidad para medir procesos naturales del suelo como la redistribución, erosión, lixiviación entre otros a lo largo del tiempo y determinar las principales causas que lo producen, ya sean por causas naturales o por procesos antropogénicos.

Para el desarrollo de la metodología se pondrá en práctica diferentes procedimientos aprendidos en las cátedras, así como también realizando las distintas metodologías pertenecientes al

muestreo, mientras que el análisis de las muestras se llevarán a cabo en un equipo de espectroscopia gamma, el cual será un espectrómetro gamma de alta resolución perteneciente a la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN), en el cual nos permitirá el análisis e identificación de los radionucleidos en estudio.

La justificación económica principalmente se generará a partir de autogestión y apoyo por parte del Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA), perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar la concentración de los radionucleidos naturales y artificiales en el suelo de la zona alta de la provincia de Chimborazo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar las muestras y cuantificar los radionucleidos naturales y artificiales presentes mediante espectrometría gamma.
- Establecer la distribución de los radionucleidos, mediante el diseño de un mapa de los niveles de radiación terrestre presentes en la zona alta de la provincia de Chimborazo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de Investigación

Con el objetivo de sustentar este trabajo investigativo, es necesario tomar en cuenta otras investigaciones realizadas precedentemente, con ciertas similitudes respecto a la temática; siendo necesario la identificación de las conclusiones determinadas por los diferentes autores de estos trabajos.

Un primer antecedente corresponde a (Pucha y Camacho, 2018, pág. 20), en su Trabajo de Integración Curricular titulada “Caracterización de radionucleidos presentes en el suelo de la provincia de Chimborazo”, el objetivo general fue de caracterizar los radionucleidos presentes en el suelo de la provincia de Chimborazo. Para el desarrollo se realizó una investigación tipo transversal, donde, para los puntos de recolección se utilizó un muestreo estratificado aleatorio y se consideró la viabilidad que permitiera un acceso seguro a la toma de muestra. Los autores concluyeron que se identificaron tres radionucleidos principales ^{40}K , y los productos de la serie del ^{238}U y el ^{232}Th , los cuales contribuyen principalmente con la exposición natural terrestre.

La investigación citada se vincula a la planteada ya que nos permite, tener una base de los radionucleidos presentes en la provincia y ser relacionados con los puntos seleccionados en esta investigación, el cual permitirá otorgar datos y completar con la investigación descrita.

Otro antecedente perteneciente a (Pucha et al., 2023, págs. 1-6), en su artículo de investigación titulado “Radiactividad del suelo en la región volcánica más alta de los Andes del Norte”, donde el objetivo general fue estimar las concentraciones de actividad de radionucleidos en el suelo para evaluar futuras alteraciones en las distribuciones de radionucleidos debido a la actividad volcánica. Los autores concluyeron que se ha observado que las concentraciones de actividad promedio de ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{228}Th y ^{40}K no superan el promedio mundial, mientras que solo en la geología “JGg” la concentración de actividad de ^{40}K es superior al promedio mundial. Estas altas concentraciones de actividad se atribuyen a la acumulación de radionucleidos en rocas plutónicas y metamórficas.

2.2 Referencias Teóricas

2.2.1 Radiactividad

La radiactividad es el proceso que se genera a partir de los núcleos atómicos inestables, donde estos núcleos intentan transformarse en núcleos atómicos energéticamente más estables. Este es un fenómeno natural, presente en todo el universo, es así que alrededor del 95% de los núclidos conocidos son radiactivos, la energía nuclear natural estimula procesos geológicos de la tierra, como por ejemplo, terremotos, convección interna entre otros (Guinn, 2003, pág. 2; Szymczak, 2012, pág. 1).

2.2.2 Desintegración radiactiva

Una desintegración radiactiva se puede describir como la transformación que ocurre en el núcleo de un átomo de manera espontánea, esta reacción no se ve afectada por condiciones como la presión, temperatura, entre otras, a excepción de ciertos radionucleidos. La desintegración radiactiva está presente en átomos con mayor número de protones y neutrones, que presenten una menor estabilidad nuclear, de este modo en átomos con menor número atómico existe una poca o nula desintegración radiactiva. Esta reacción se produce cuando los radionucleidos que están inestables intentan estabilizarse, mediante la transformación nuclear de átomos a especies con diferente número de masa o número atómico (Choppin, 2013, pág. 86; Abubakar, 2019, pág. 1).

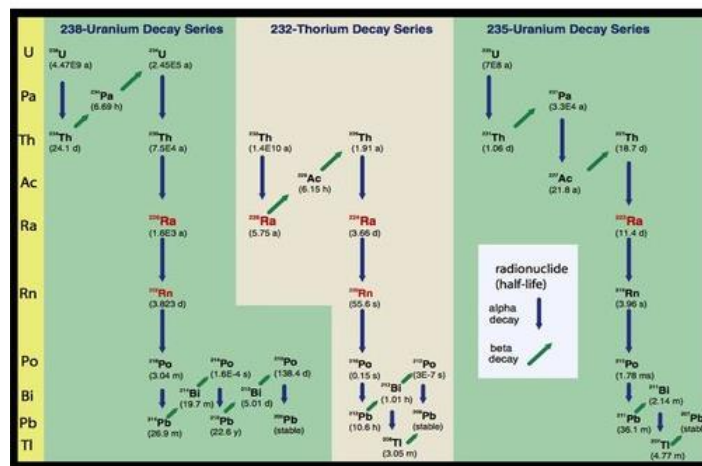


Ilustración 2-1: Series radiactivas del ^{238}U , ^{235}U y ^{232}Th

Fuente: Sebele, 2017, pág.5.

2.2.3 *Cinética de la desintegración radiactiva*

La desintegración radiactiva es un proceso inherentemente aleatorio, por lo cual es imposible conocer qué átomo de una sustancia o una molécula se desintegra en un determinado tiempo. Al entender esto, entonces solo podemos mencionar del número medio de radionúclidos que se desintegran en un tiempo específico, proporcionando el número de desintegración por unidad de tiempo (ver ecuación 2-1), lo que corresponde a la tasa de desintegración de un radionucleido en específico (Saha, 2001, págs. 21-33).

Ecuación 2-1: Tasa de desintegración radiactiva

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

N , es la cantidad de átomos radioactivos presentes, mientras λ , se conoce como la constante de desintegración del radionucleido en específico.

La tasa de desintegración radiactiva, también conocida como radiactividad o simplificando actividad del radionucleido, a partir de la igualdad algebraica (ver ecuación 2-1), la misma cantidad de radioactividad significa igual tasa de desintegración para cualquier radionucleido, sin embargo, el número total de átomos y las constantes de desintegración, son diferentes para cada radionucleido. Dado lo expuesto previamente, es posible reformular la ecuación de la siguiente manera (Saha, 2001, págs. 21-33).

Ecuación 2-2: Actividad del radionucleido

$$A = \lambda N$$

Considerando la comprensión de la constante de desintegración y la actividad de un radionucleido, es posible calcular la masa del radionucleido presente o su número total de átomos. Este cálculo se lleva a cabo mediante el uso del número de Avogadro y la resolución de la ecuación diferencial de primer orden asociada.

Ecuación 2-3: Número total de átomos radiactivos

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

N_0 corresponde al número de átomos radiactivos presentes en $t = 0$, mientras que N_t , corresponde al número de átomos radiactivos presentes en un tiempo t .

Reescribiendo (ecuación 2-3) en términos de actividad se obtiene:

Ecuación 2-4: Actividad total de átomos radiactivos

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t}$$

2.2.4 *Actividad específica*

La actividad específica puede definirse como la actividad de un radioisótopo por su unidad de masa (Bq/kg) del material que lo contiene (ecuación 2.5).

Ecuación 2-5: Actividad específica

$$A_e = \frac{A}{m}$$

2.2.5 *Vida media*

Cuando se habla de vida media de un radionucleido, nos referimos al tiempo necesario para reducir su actividad inicial a la mitad, por lo cual cada valor es único para cada radionúclido y está relacionado con la constante de decaimiento. Las vidas medias tienden a variar dependiendo del radionucleido, desde fracciones de segundos, hasta millones de años, cuando los valores de vidas medias están en intervalos entre un minuto y un año, se pueden determinar fácilmente en el laboratorio, por su parte la determinación de vidas medias muy cortas requiere de una elaborada técnica e instrumentación (Saha, 2001, págs. 21-23; Choppin et al., 2013, pág. 86).

Ecuación 2-6: Constante de decaimiento

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}}$$

Tabla 2-1: Vidas medias de algunos radionucleidos comunes

Radionucleido	Vida Media		
	Radiológico	Biológico	Efectivo
H-3	12 años	12 días	12 días
C-14	5560 años	10 días	10 días
P-32	14 días	257 días	14 días
S-35	87 días	90 días	44 días
Co-60	5 años	10 días	9.5 días
Sr-90	28 años	50 años	18 años
I-131	8 días	138 días	7.6 días
Po-210	138 días	60 días	42 días
Ra-226	1620 años	45 años	44 años

Fuente: Waller et al., 2002, pág. 42.

Realizado por: Armijos V., 2023

2.2.6 Radiactividad natural

La radiactividad natural está comprendida por la radiación cósmica y la radiación proveniente de la desintegración de los radionucleidos naturales, estos incluyen elementos radiactivos primordiales de la corteza terrestre, estos radionucleidos primordiales tienen vidas medias comparables a la edad de la tierra, mientras que los radioisótopos cosmogénicos son producidos continuamente mediante el bombardeo de nucleidos estables por los rayos cósmicos en la atmósfera (EPA, 1999, págs. 22-33).

El origen de los radionucleidos primordiales de la Tierra está asociado al fenómeno de la nucleosíntesis, que ocurre durante las etapas de formación y evolución de las estrellas, así como en la explosión de supernovas. La nucleosíntesis primordial tiene lugar en las primeras fases del universo y durante la explosión de supernovas. En estas condiciones extremas, los elementos más ligeros, como el hidrógeno y el helio, se fusionan para formar elementos más pesados, incluyendo radionucleidos primordiales como el uranio, el torio y el potasio-40.

Tabla 2-2: Concentración de la actividad de algunos radionucleidos en muestras de suelos

Región/País	Concentración de actividad					
	⁴⁰ K		²³⁸ U (Series)		²³² Th (Series)	
	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango
Norte América (USA)	370	100 - 700	35	4 - 140	35	4 - 130
Este de Asia (R.P. China)	440	9 - 1800	33	2 - 690	41	1 - 360
Oeste de Asia (Armenia)	360	310 - 420	46	20 - 78	30	29 - 60
Norte de Europa (Lituania)	600	350 - 850	16	3 - 30	25	9 - 46
Oeste de Europa (Irlanda)	350	40 - 800	37	8 - 120	26	3 - 60
Este de Europa (Rusia)	520	100 - 1400	19	0 - 67	30	2 - 79
Sur de Europa (Grecia)	360	12 - 1570	25	1 - 240	21	1 - 190
Siria (trabajo citado)	336	85 - 735	19	6 - 69	24	3 - 50

Fuente: Al-Masri et al., 2006, pág.341.

Realizado por: Armijos V., 2023.

Todos los organismos vivos están constantemente expuestos a radiación ionizante, ya sea por la exposición a rayos cósmicos o a radionucleidos terrestres presentes en materiales de construcción o en el aire. La intensidad de los rayos cósmicos aumenta con la altitud, y las concentraciones de uranio y torio en el suelo son más elevadas en ubicaciones específicas (UNSCEAR, 2000a, págs. 10-11).

Esta exposición constante a la radiación ionizante, aunque en niveles bajos y generalmente seguros, es un aspecto que considerar en el estudio de la radioprotección y la evaluación de riesgos asociados con la radiación ambiental. Las investigaciones en este campo son esenciales para comprender mejor los efectos a largo plazo y para establecer estándares que garanticen la seguridad de las poblaciones expuestas.

Tabla 2-3: Dosis media de radiación de fuentes naturales

Fuente	Dosis efectiva anual promedio mundial (mSv)	Rango típico (mSv)
Exposición externa		
Rayos cósmicos	0.4	0.3-1.0 ^a
Rayos gamma terrestres	0.5	0.3-0.6 ^b
Exposición interna		
Inhalación (radón principalmente)	1.2	0.2-10 ^c
Ingestión	0.3	0.2-0.8 ^d
Total	2.4	1-10

a Varía con la altitud.

b Depende de la composición de radionucleidos del suelo y de los materiales de construcción.

c Depende de la acumulación interior del radón.

d Depende de la composición de radionucleidos de los alimentos y del agua potable.

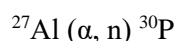
Fuente: UNSCEAR, 2000a, págs. 10-11.

Realizado por: Armijos V., 2023.

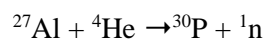
2.2.7 Radiactividad artificial

La radiactividad artificial se produce cuando se bombardea con partículas subatómicas a núcleos estables, dando como resultado radionucleidos artificiales, este es el método más común para producir estos radioisótopos. El primer radionúclido artificial fue producido en 1934 por Joliot y Curie, en el cual al aluminio 27 se lo bombardeó con partículas alfa, produciendo así fósforo 30 (Valković, 2019, págs. 1-3). A continuación, la reacción:

Ecuación 2-7: Primera representación de una reacción nuclear



Ecuación 2-8: Segunda representación de una reacción nuclear



Las reacciones nucleares por lo general se representan como en ecuación 2:7 y 2:8, en (ecuación 2:7) a la izquierda está el nucleido objetivo, en este caso el ${}^{27}\text{Al}$, primer símbolo entre paréntesis representa el proyectil, en este caso partículas alfa, el segundo símbolo representa partículas

emitidas, neutrones y símbolo a la derecha representa producto ^{30}P . Mientras que en (ecuación 2:8) izquierda muestra sistemas de reactivos y derecha sistemas de productos.

Los radionucleidos de origen artificial a lo largo del siglo XX y XXI se han ido liberando al medio ambiente, mediante diferentes procesos antropogénicos, entre los cuales tenemos principalmente al cesio 137, con una vida media aproximada de 30 años, puede depositarse sobre el suelo y plantas por la lluvia radiactiva, ya que estos radionucleidos se generaron debido a diferentes tipos de actividades nucleares como pruebas previas de armas nucleares o accidentes nucleares (El Samad et al., 2013, pág. 1).

Tabla 2-4: Vidas medias de algunos radionucleidos artificiales

Radionucleido	Radiación emitida	Vida media (años)
Cs-137	β, γ	30
Cs-134	β, γ	2.1
Sr-90	β	29
I-131	β, γ	0.022

Fuente: WHO, 2022, pág. 228.

Realizado por: Armijos V., 2023.

2.3 Bases conceptuales

2.3.1 Radioactividad y Geología

La distribución y concentración de los radionucleidos está directamente relacionado con factores geológicos y geográficos, debemos tener en cuenta también que los elementos geológicos que contienen niveles altos de minerales pesados en general están asociados frecuentemente con una mayor concentración de radionucleidos más pesados, como el uranio y el torio (Bezuidenhout, 2019, pág. 93; de Meijer, 1998, pág. 82).

La radiación de las rocas y del suelo, depende de su composición mineralógica, por ejemplo las rocas compuestas de minerales con alto contenido de uranio, torio y potasio, poseen radiactividad natural relativamente alta, es así, que los suelos en general reflejan la radiación de la roca madre (Missimer et al., 2019, pág. 2).

2.3.2 Geología de la Provincia de Chimborazo

El Ecuador continental se la puede separar en tres fisiografías, la zona costera, los Andes y el oriente, del cual los Andes Ecuatorianos representan una sección de 650km de largo y 150km de ancho, en donde prácticamente la totalidad del territorio ecuatoriano está dividido por dos cadenas montañosas paralelas, las cuales son la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental, que poseen elevaciones promedio de 3500 a 4000 m.s.n.m, con volcanes cuyas cumbres pueden alcanzar los 6263 m.s.n.m, como lo es el volcán Chimborazo, estas cordilleras están separadas por una depresión intermedia, conocida como el Valle Interandino (Hall et al., 2008, pág. 1).

Desde un punto de vista litológico, la provincia de Chimborazo cuenta con algunas unidades geológicas, como rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, que han sido depositadas desde el periodo Triásico hasta depósitos del Cuaternario, estas formaciones se ven afectadas por la Falla Pallatanga, que se intuye que causo el terremoto en Riobamba en el año 1797 (Carrión et al., 2021, pág. 4).

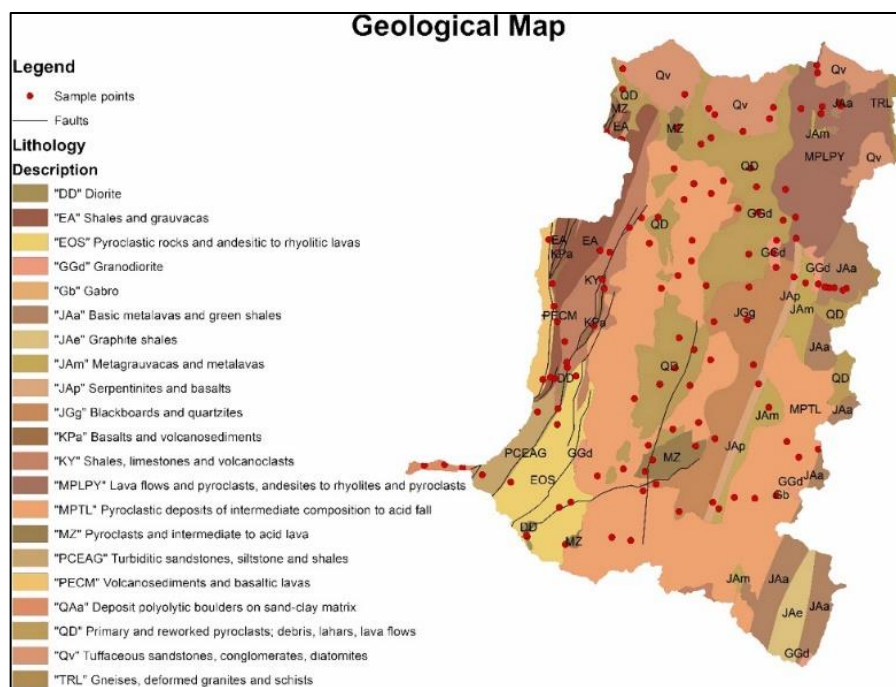


Ilustración 2-2: Mapa geológico de la provincia de Chimborazo

Fuente: Pucha et al., 2023, págs. 1-6

2.3.3 *Espectrometría de rayos Gamma*

Es un método analítico que permite la cuantificación e identificación de isótopos emisores de rayos gamma, permitiendo detectar los radionucleidos en una muestra con poca preparación de la muestra, entre algunas aplicaciones de la espectrometría gamma tenemos, medicina nuclear, ciencia ambiental, industria de usos de los radioisótopos entre otras (Reguigui, 2014, pág. 6).

Para que un detector funcione como espectrómetro de rayos gamma, tiene que realizar dos funciones distintas, primeramente tiene que actuar como medio de conversión, en el cual los rayos incidentes tengan una probabilidad razonable de interactuar para producir uno o más electrones rápidos y en segundo lugar debe funcionar como un detector convencional de los electrones secundarios, los cuales salieron del material una vez que se el rayo incidente compartió parte de su energía (Knoll, 2010, págs. 348-349).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

La investigación por realizar se trata de una investigación de tipo cuantitativa, ya que implica la recolección y análisis de datos numéricos relacionados con la concentración de radionucleidos. En cuanto al objetivo, se considera como una investigación aplicada, puesto que tiene como finalidad obtener conocimiento que puedan ser utilizados en la práctica para comprender la presencia de radionucleidos naturales y artificiales en el suelo de la zona alta de la provincia de Chimborazo. Respecto al nivel de profundización, se tiene como una investigación explicativa, ya que se pretende explorar los factores o variables que podrían influir en las concentraciones de radionucleidos. En términos de la manipulación de variables, viene a ser experimental, ya que se está manipulando la ubicación de los puntos de muestreo en las cordilleras para evaluar la concentración de radionucleidos en cada una. Con relación al tipo de inferencia, se considerada como deductiva, ya que se parte de teorías y conceptos previos para realizar mediciones y observaciones con el fin de obtener conclusiones específicas sobre los radionucleidos en la zona estudiada. Por último, en términos del periodo temporal, es una investigación transversal, ya que implica la recolección de datos en un periodo de tiempo.

3.2 Diseño de la Investigación

3.2.1 *Diseño Experimental*

En este diseño, las unidades experimentales (las muestras de suelo) se asignarán aleatoriamente a los grupos de tratamiento (las dos cadenas montañosas). Además, se optó por realizar el muestreo estratificado sin repeticiones, obteniendo así una imagen fiel de la distribución en un momento específico, esto nos asegura que cualquier diferencia en los niveles de radionucleidos entre las dos cadenas montañosas se deba al tratamiento y no a otros factores, mientras que los datos serían los niveles de radionucleidos en las muestras de suelo, así mismo, se utilizará estadística descriptiva, como medidas de tendencia central, variabilidad, posición, como un complemento al diseño experimental.

Tabla 3-1: Ejemplo de distribución de los datos para el diseño experimental

Ubicación de la muestra	Cordillera	Concentración de radionucleidos (Bq/kg)		
		^{235}U	^{40}K	^{212}Pb
RAN37-01	Real	X	Y	Z
RAN40-02	Real	X	Y	Z
RAN38-03	Real	X	Y	Z
RAN41-04	Occidental	X	Y	Z
RAN39-05	Occidental	X	Y	Z
RAN39-06	Occidental	X	Y	Z

Realizado por: Armijos V., 2023.

3.2.1.1 Identificaciones variables

Variable dependiente: Concentración de radionucleidos naturales y artificiales

Variable independiente: Zona alta de la provincia de Chimborazo

3.2.1.2 Planteamiento de la hipótesis

La concentración de radionucleidos naturales y artificiales en el suelo de la zona alta de la provincia de Chimborazo es mayor que la concentración de radionucleidos en la zona media-baja de la provincia.

3.2.1.3 Localización del Estudio

El área de estudio establecido se encuentra en la región andina central del Ecuador, en varios sectores de la provincia de Chimborazo, centrándonos en las cordilleras de la provincia, como lo son la Occidental (-1.455803,-78.784542 hasta -2.277314,-79.059947) y la Oriental (-1.503330,-78.403814, hasta -2.510754,-78.607672), con elevaciones promedio entre 3500 y 4000 metros sobre nivel del mar.

La provincia de Chimborazo cuenta con una extensión jurisdiccional de 6.578,10 km², de los cuales el 17,58 % de la superficie se encuentra en conservación, ya sea como reservas biológicas públicas o privadas, siendo una perfecta zona de muestreo para el inventario (GADCH, 2020, págs 17-34).

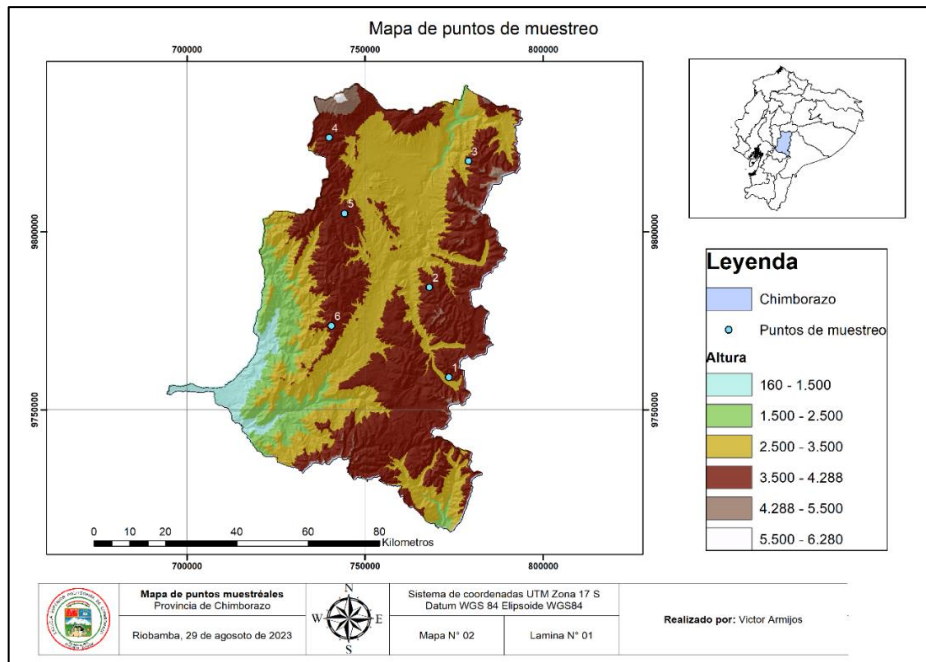


Ilustración 3-1: Ubicación de los puntos de muestreo

Realizado por: Armijos V., 2023.

3.2.1.4 Población de estudio

La población de estudio está comprendida con los puntos de muestreo ubicados sobre los 3700 m.s.n.m y que cumplan criterios como: zonas con poca o nula actividad antropogénica, cobertura vegetal constante etc. Estos puntos fueron seleccionados de forma estratificada aleatoria y estratégicamente, considerando tanto la cordillera oriental como la cordillera occidental de la provincia.

3.2.1.5 Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra en la investigación es de 6 puntos de muestreo. Estos puntos se dividen en dos grupos, la cordillera oriental y la cordillera occidental, con 3 puntos de muestreo en cada una. Cada punto de muestreo representa una muestra individual de suelo que será analizada para cuantificar la presencia de radionucleidos naturales y artificiales mediante espectrometría gamma. La selección de estos 6 puntos de muestreo se realizó de manera aleatoria dentro de cada cordillera, asegurando una representación equitativa de ambos sectores de la zona alta de la provincia. Este tamaño de muestra se consideró adecuado para obtener resultados representativos y significativos que permitan cumplir con los objetivos de la investigación y contribuir al conocimiento sobre la radiación ambiental en esta región.

3.2.1.6 *Método de muestreo*

El método de muestreo utilizado es el muestreo estratificado aleatorio. Se ha estratificado las muestras en dos grupos: la cordillera oriental y la cordillera occidental. Seguidamente se han seleccionado de forma aleatoria los puntos de muestreo dentro de cada estrato. Este enfoque nos permitirá obtener una muestra representativa de ambas cordilleras y tomar en cuenta la diversidad de condiciones y características presentes en cada una.

3.2.2 *Técnicas de recolección de datos*

3.2.2.1 *Fase de reconocimiento*

Etapas preliminares del reconocimiento según (Pennock y Appleby, 2003b, págs. 55-65).

- Recopilar información ambiental y socioeconómica
- Recopilar información sobre las condiciones ambientales y las prácticas culturales que pueden a ser un parámetro en los procesos de erosión y sedimentación de la zona
- Visita de campo

3.2.2.2 *Selección de lugares de referencia*

Selección de lugares de referencia acorde al autor (Pennock y Appleby, 2003b, págs. 55-65).

- En primer lugar, el lugar de referencia ideal es esencial que no haya experimentado ni pérdida de suelo ni deposición de sedimentos, por ello se busca lugares llanos que no reciben flujos procedentes de laderas.
- Tiene que estar bajo una cubierta vegetal continuo (la óptima es una cubierta herbácea baja), durante el periodo transcurrido desde que comenzó la deposición de a principios de los años cincuenta.
- Las áreas protegidas es una excelente zona para utilizar como lugar de referencia.

3.2.2.3 *Muestreo*

Una vez que se localizó el punto de muestreo, se limitó el área a un metro cuadrado, seguidamente se limpió el área establecida, marcando cuadrados de 0.25 m, en los 4 vértices y en el centro del área limitada para la extracción de 5 submuestras de 5 cm de profundidad, una vez quitado la

primera capa de 5cm, con mayor contenido de materia orgánica. En cada punto de muestreo se obtuvo una muestra compuesta de aproximadamente 7kg que fue guardada en fundas ziploc.

3.2.2.4 Tratamiento de muestras

Tratamientos de la muestras según (Pennock y Appleby, 2003a, págs. 15-40).

1. Secado al aire (para cantidades grandes de muestras) y al horno (105 °C)
2. La muestra se desagrega (a mano o mecánicamente)
3. Se pasa por un tamiz de malla de 2mm (sin someter a mucha fuerza)
4. Si el contenido de fragmentos de roca es >5% de la masa total de la muestra, ésta debe ser apartada para análisis posteriores.

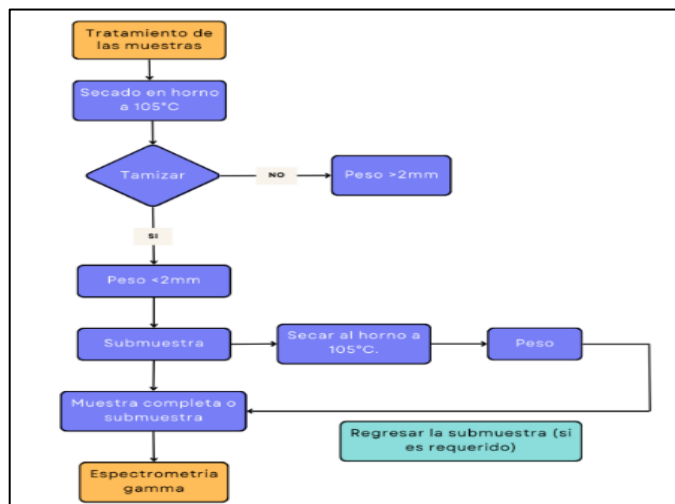


Ilustración 3-2: Diagrama del tratamiento de muestras

Realizado por: Armijos V., 2023.

3.2.2.5 Análisis de las muestras

Las muestras preparadas son ingresadas al Departamento de Vigilancia Ambiental perteneciente a la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) del Ministerio de Energía y Minas en la ciudad de Quito. Las muestras deben cumplir los siguientes criterios, estas son recomendaciones de parte de la SCAN:

- 1) En lo posible estar libres de cuerpos extraños, como son hojas, ramas, insectos u otros como piedras (si usted requiere analizar el contenido total estas piedras deben ser molidas a tamaño de partícula menor a 100 mesh, de lo contrario deben ser retiradas).

- 2) Porcentaje de humedad inferior al 5% para poder reportar en base seca.
- 3) Identificación clara, legible, única para cada muestra.
- 4) Favor incluir la cadena de custodia de las muestras en el trámite.
- 5) El volumen de muestra debe ser de aproximadamente un litro, lo que en dependencia de la densidad del suelo podrá ser muy superior a 1 Kg, en todo caso la cantidad mínimo debe corresponder a 1000 cm³.

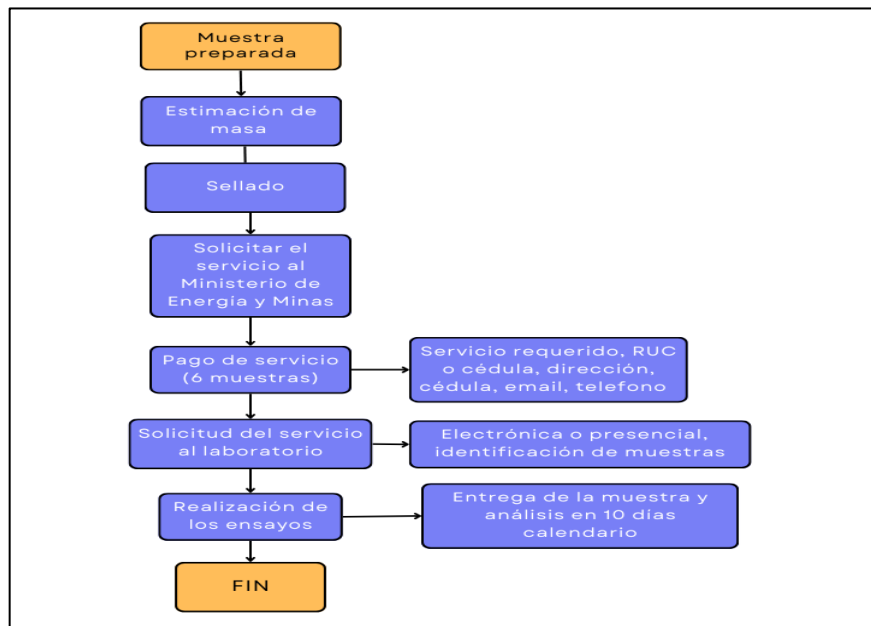


Ilustración 3-3: Diagrama de ingreso de las muestras al SCAN

Realizado por: Armijos V., 2023.

Tabla 3-2: Registro de los puntos muestreados, analizados en la SCAN

Punto	Código ARAD	Código	Cordillera	Coordenada (X)	Coordenada (Y)	Altitud (m)
1	ARAD-2023-043.01	RAN37-01	Oriental	773481	9759154,9	3719
2	ARAD-2023-043.02	RAN40-02	Oriental	768076,9	9784408,6	4060
3	ARAD-2023-043.03	RAN37-03	Oriental	779076,5	9819895,1	3798
4	ARAD-2023-043.04	RAN41-04	Occidental	739892	9826473,1	4170
5	ARAD-2023-043.05	RAN39-05	Occidental	744272,3	9805174,6	3983
6	ARAD-2023-043.06	RAN39-06	Occidental	740561,4	9773606,1	3912

Realizado por: Armijos V., 2023

3.3 Cadena de custodia

El manejo y transporte de las muestras físicas en el campo u otros lugares son actividades críticas dentro de cualquier fase de recolección de muestras, ya sean de suelo, agua etc. Es por ello, que es de suma relevancia el llevar una documentación que garantice que las muestras se han manejado adecuadamente, el cual proporciona un mecanismo para rastrear las muestras a través de su recolección, procesamiento y análisis. Este documento proporciona información valiosa como por ejemplo, fecha y persona responsable de los distintos pasos de manipulación asociados a cada muestra, datos de la georreferenciación e información complementaria Ver Anexo A (EPA, 2008, pág. 1).

3.4 Análisis e interpretación de datos

Para determinar la actividad específica de los radionucleidos principales, se calcularon manera indirecta, mediante el valor medio aritmético, de sus productos de desintegración radiactiva, del reporte entregado de los análisis realizados en la SCAN, Ver Anexo B, la actividad específica el ^{238}U , se calcula como actividad del ^{226}Ra y para este sus productos de desintegración (^{214}Bi , ^{214}Pb), así mismo se lo realizó para el ^{232}Th con sus productos de desintegración (^{228}Ac , ^{212}Pb) (Turhan y Gündüz, 2008, pág. 4) .

Tabla 3-3: Actividad específica de los radionucleidos presentes en la zona alta de la provincia de Chimborazo

Código	Cordillera	Actividad específica (Bq/kg)				
		A_{eU-238}		$A_{eTh-232}$		A_{eK-40}
		$A_{eRa-226}$		$A_{eAc-228}$	$A_{ePb-212}$	A_{eK-40}
		$A_{eBi-214}$	$A_{ePb-214}$			
RAN37-01	Oriental	101	95	21	21	329
RAN40-02	Oriental	222	217	26	26	353
RAN37-03	Oriental	76	75	18	18	236
RAN41-04	Occidental	71	72	14	16	198
RAN39-05	Occidental	420	326	37	32	293
RAN39-06	Occidental	115	96	22	23	322

Realizado por: Armijos V., 2023.

La tasa de dosis absorbida en el aire, a una altura de 1 metro sobre el suelo se emplea para caracterizar la exposición de la población a la radiación gamma proveniente de los radionucleidos como el ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K . Esta dosis absorbida se determina mediante el cálculo basado en las concentraciones de actividad de estos radionucleidos utilizando la siguiente fórmula (Kardan et al., 2017, pág. 4):

Ecuación 3-1: Dosis absorbida mediante actividad de los radionucleidos

$$D = 0.426 \times C_{238\text{U}_{\text{serie}}} + 0.604 \times C_{232\text{Th}_{\text{serie}}} + 0,042 \times C_K$$

Donde,

- D, es la tasa de dosis en nGyh^{-1}
- $C_{238\text{U}_{\text{serie}}}$, es la actividad específica en (Bq/kg)
- $C_{232\text{Th}_{\text{serie}}}$, es la actividad específica en (Bq/kg)
- C_K , es la actividad específica en (Bq/kg)

La tasa de dosis efectiva anual, tanto en el entorno externo como interno, se deriva de la tasa de dosis absorbida en el aire. Las siguientes fórmulas se utilizan para calcular la dosis efectiva anual equivalente (Kardan et al., 2017, pág. 4). La tasa de dosis efectiva anual total es el resultado de la suma de la tasa de dosis efectiva anual externa e interna.

Ecuación 3-2: Dosis anual equivalente efectiva exposición aire libre

$$\text{DAEEAL} = \text{TDAP} \times \text{FCD} \times \text{FE} \times \text{T}$$

Ecuación 3-3: Dosis anual equivalente efectiva ambiente interior

$$\text{DAEEAI} = \text{TDAP} \times \text{FCD} \times \text{FI} \times \text{T} \times \text{RIE}$$

Donde,

- DE (Dosis exterior) = DAEEAL: dosis anual equivalente efectiva en el entorno al aire libre
- DI (Dosis interior) = DAEEAI: dosis anual equivalente efectiva en el ambiente interior

- TDAP: tasa de dosis absorbida promedio
- FCD: factor de conversión de dosis 0.7 (Sv/Gy)
- Factor de ocupación en exteriores (FE, con un valor de 0.2) y en interiores (FI, con un valor de 0.8), respectivamente.
- RIE: la relación entre el interior y el exterior (1.4)
- T: tiempo (8760h*y-1)

3.5 Característica del equipo

3.5.1 *Espectrómetro gamma con ventana de berilio (BSI GCD-40180X)*

El espectrómetro gamma se estructura a partir de:

- Detector de rayos gamma basado en un cristal de germanio hiperpuro con configuración coaxial (HPGe)
- Criostato vertical
- Recipiente criogénico Dewar de 30 L
- Escudo de plomo que incluye mesa de soporte
- Sensor para monitorear el nivel de nitrógeno líquido
- Dispositivo de espectrometría denominado MCA-527
- Conjunto de cables y conectores
- Software SpectraLine Gamma Precisión (GP)
- Software Nuclide Máster Plus
- Una impresora portátil con tecnología laser

3.5.2 *Especificaciones técnicas del equipo*

Tabla 3-4: Características Técnicas del Espectrómetro Gamma Modelo GCD-40180X

No	NOMBRE DE LOS PARÁMETROS	VALOR
1	Intervalo de energía de radiación gamma en Kv	5-10000
2	Resolución de energía para las energías, con un límite superior de 1332 Kv y un límite inferior de 122 Kv.	<875; <1800
3	Voltaje óptimo de funcionamiento de SCD (HV), con polaridad positiva	1000-4000
4	Factor de conversión, no menos que, mV/MV	220
5	Tiempo de respuesta de la señal, en microsegundos (μ s), al aumentar la tensión, con un límite superior	0.15
6	Tiempo de respuesta de la señal, en microsegundos (μ s), al disminuir la tensión, con un límite superior	50
7	Diámetro (mm) Profundidad (mm) Espesor de contactos frontales (μ m)	61.4 61.4 0.3
8	Grosor de la cubierta de fibra de carbono, en milímetros (mm).	0.8
9	Espacio entre la cara del detector y la ventana extremo de la tapa(mm)	8
10	Tasa máxima de energía, no inferior a MV por segundo (MV/s)	2000000
11	Tiempo de enfriamiento, con un límite superior, expresado en horas (h).	8
12	Intervalo de tiempo para recargar nitrógeno líquido, en días (d).	15
13	Recipiente criogénico Dewar	30
14	Dimensión total de la parte componente del espectrómetro (mm) no más de: - Unidad de detección con blindaje de plomo y mesa de ayuda - MCA-527	629x539x1344 164x11x45

Fuente: Chavez, 2016, pp.55-56.

Realizado por: Armijos V., 2023.

3.6 Materiales utilizados

Tabla 3-5: Descripción de las herramientas y materiales usados en campo

HERRAMIENTA	MARCA	CARACTERÍSTICA	USO
Pala	Comercial	Metálica	Remoción de tierra a 5 cm
Estacas	Comercial	Madera, 20cm	Limitar el área a muestrear
Fundas ziploc	Comercial	Polietileno, tamaño (16x9) cm	Almacenado de muestras
Espátula pequeña	Comercial	Metálica	Remoción de tierra
Marcador	Comercial	Pequeño permanente	Señalización de muestras
Poncho impermeable	Comercial	Plástico grande	Protección de lluvia
Mochila grande	Comercial	50 litros	Movilización de las muestras
Fundas de basura	Comercial	(58,5x70) cm	Almacenado de las muestras
Balanza de mano	Comercial	Plástico – 5kg	Pesado de muestras en campo

Realizado por: Armijos V., 2023.

Tabla 3-6: Descripción de equipos y materiales usados en el laboratorio

HERRAMIENTA	MARCA	CARACTERÍSTICA	USO
Balanza mecánica	Comercial	Calibrada	Pesado muestras en la preparación
Balanza analítica	METTLER TOLEDO / MODELO PB1502-S	Calibrada 0.1 g	Pesada muestra tratada

Estufa de secado	RED LINE/ MODELO RE115	Temperatura, desde 7 sobre la temperatura ambiente hasta 220	Secado de preparación de muestras
Bandejas	Comercial	Metálicas tamaño (36x15) cm	Secado de preparación de muestras
Computador	Hp Pavilion Ryzen 5 4500U	Portátil	Almacenado y procesamiento de datos
GPS 1	*GPS Portátil (GARMIN etrex 30x)	Portátil	Georreferenciación de los puntos muestreados
GPS 2	GPS Portátil (GARMIN GPS Map 78sc)	Portátil	Georreferenciación de los puntos muestreados

Realizado por: Armijos V., 2023.

Tabla 3-7: Descripción programas utilizados

Programa	Licencia	USO
ArcGis	Software bajo licencia	Creación de mapas
R Studio	Software libre	Procesamiento y graficador de datos
Microsoft Office	Software bajo licencia	Escritura, tabulación de datos
Python	Software libre	Procesamiento y graficador de datos
Google Earth Pro	Software libre	Localización preliminar de puntos a muestrear

Realizado por: Armijos V., 2023

3.7 Presupuesto y cronograma de actividades

3.7.1 Presupuesto

3.7.1.1 Económico

Tabla 3-8: Descripción financiero de materiales utilizados

Gasto	Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo total estimado (\$)
Material de campo	Pala pequeña	1	2.00	2.00
	Estacas	20	0.2	4.00
	Fundas ziploc	40	0.25	10.00
	Espátula pequeña	1	2.00	2.00
	Marcador	1	1.00	1.00
	Poncho impermeable	2	7.00	14.00
	Mochila grande	1	1.00	17.00
	Fundas de basura	20	0.10	2.00
	Balanza de mano	1	5.00	5.00
	*GPS Portátil (GARMIN etrex 30x)	1	350.00	350.00
	*GPS Portátil (GARMIN GPS Map 78sc)	1	450.00	450.00
Preparación de la muestra	** Estufa de secado red LINE (RE115)	336 horas	0.756	254.02
Análisis de las muestras	Espectrometría gamma en muestras (SCAN)	6	89.60	537.60
Transporte	**ESPOCH	24 horas	4.55	109.20
	Externo	3 días	16.67	50.01
Personal técnico	**ESPOCH	40 horas	6.79	271.60
	Externo	8 horas	2.81	22.48
Otros gastos	Imprevistos	10%	10%	210.19
Total				2312.10

Realizado por: Armijos V., 2023.

* Grupo de Energías Alternativas y Ambiente

** Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

3.7.1.2 *Financiero*

Tabla 3-9: Análisis financiero de las fuentes de financiamiento

Fuente de financiamiento	Valor (%)
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo	30.20
Grupo de Energías Alternativas y Ambiente	38.06
Propios	31.74
Total	100

Realizado por: Armijos V., 2023

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Identificación de radionucleidos

Tabla 4-1: Radionucleidos presentes en la zona alta de la provincia de Chimborazo

Código	Cordillera	Radionucleido								
		²¹⁴ Bi	²¹⁴ Pb	²²⁶ Ra	²²⁸ Ac	²¹² Pb	²³² Th	²³⁵ U	²¹⁰ Pb	⁴⁰ K
RAN37-01	Oriental	x	x	x	x	x	-	-	x	x
RAN40-02	Oriental	x	x	x	x	x	-	x	x	x
RAN37-03	Oriental	x	x	x	x	x	-	-	-	x
RAN41-04	Occidental	x	x	-	x	x	-	-	x	x
RAN39-05	Occidental	x	x	-	x	x	-	x	x	x
RAN39-06	Occidental	x	x	x	x	x	-	-	-	x

Realizado por: Armijos V., 2023

Los radionucleidos presentes en todas las muestras analizadas en la zona alta de Chimborazo son: ²¹⁴Bi, ²¹⁴Pb, ²¹²Pb, ²²⁸Ac y ⁴⁰K, mientras que el ²²⁶Ra, ²³⁵U y ²¹⁰Pb se encontraron en ciertas muestras, finalmente el ²³²Th, no se encontró en ninguna de las muestras analizadas.

La exposición a radiación ionizante es una realidad omnipresente para todos los organismos, resultante de diversas fuentes naturales. Por un lado, los rayos cósmicos, provenientes del espacio exterior, incrementan su intensidad a mayor altitud, lo que implica que las poblaciones ubicadas en regiones elevadas experimentan una exposición más significativa.

4.2 Actividad específica y exposición externa zona alta de la provincia de Chimborazo

Tabla 4-2: Concentración de actividad de los radionucleidos ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K , y la exposición externa en el suelo de la zona alta de la provincia de Chimborazo.

Código	Actividad específica (Bq/kg)			Magnitudes dosimétricas			
	$^{226}\text{Ra}^*$	$^{232}\text{Th}^*$	^{40}K	D(nGy/h)	D _{Exterior} (mSv/año)	D _{Interior} (mSv/año)	D _{Total} (mSv/año)
RAN37-01	98	21	329	68,25	0,0837	0,4687	0,5524
RAN40-02	219,5	26	353	124,04	0,1521	0,8519	1,004
RAN37-03	75,5	18	236	52,95	0,06493	0,3636	0,4286
RAN41-04	71,5	15	198	47,84	0,05866	0,3285	0,3872
RAN39-05	373	34,5	293	192,04	0,2355	1,319	1,544
RAN39-06	105,5	22,5	322	72,06	0,08837	0,4949	0,5832

Realizado por: Armijos V., 2023.

*Valores calculados indirectamente, mediante los hijos de su cadena de desintegración, explicados en la sección 3.4

Se observa una variación significativa en las concentraciones de ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K en las muestras de la zona alta de la provincia de Chimborazo. Esta variabilidad podría estar relacionada con la geología y composición del suelo, así como con otros factores ambientales.

Tabla 4-3: Análisis descriptivo de la actividad específica de ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K , exposición externa muestras de suelo de la zona alta en la Provincia de Chimborazo.

Estadística descriptiva	Actividad específica (Bq/kg)			Magnitudes dosimétricas			
	$^{226}\text{Ra}^*$	$^{232}\text{Th}^*$	^{40}K	D(nGy/h)	D _{Exterior} (mSv/año)	D _{Interior} (mSv/año)	D _{Total} (mSv/año)
Promedio estudio	157,2	22,83	288,5	92,86	0,1139	0,6378	0,7516
Mediana	101,8	21,75	307,5	70,15	0,08604	0,4818	0,5678
Desviación estándar	118,7	6,846	59,82	55,62	0,06821	0,3820	0,4502
Mínimo	71,5	15	198	47,84	0,05867	0,3285	0,3872
Máximo	373	34,5	353	192,04	0,2355	1,319	1,5544
Promedio mundial (UNSCEAR)	37 ± 4	33 ± 3	400 ± 24	59	0,066	0,41	0,48

Realizado por: Armijos V., 2023.

*Valores calculados indirectamente, mediante los hijos de su cadena de desintegración, explicados en la sección 3.4

Los resultados del análisis estadístico descriptivo arrojaron valores promedios de 157,2 Bq/kg para el ^{226}Ra (324,86% por encima del promedio mundial), 22,83 Bq/kg para el ^{232}Th (30,82% por debajo del promedio mundial) y 288,5 Bq/kg para el ^{40}K (27,88 % por debajo del promedio mundial). Asimismo, se registraron valores de 92,86 nGy/h para la dosis absorbida debido a emisores gamma (**D**) (57,39% por encima del promedio mundial), 0,1139 mSv/año para la dosis efectiva anual exterior (**D_{Exterior}**) (72.58% por encima del promedio mundial), 0,6378 mSv/año para la dosis efectiva anual interior (**D_{Interior}**) (55.56% por encima del promedio mundial), 0,7516 mSv/año para la dosis efectiva anual total (**D_{Total}**) (56.58% por encima del promedio mundial).

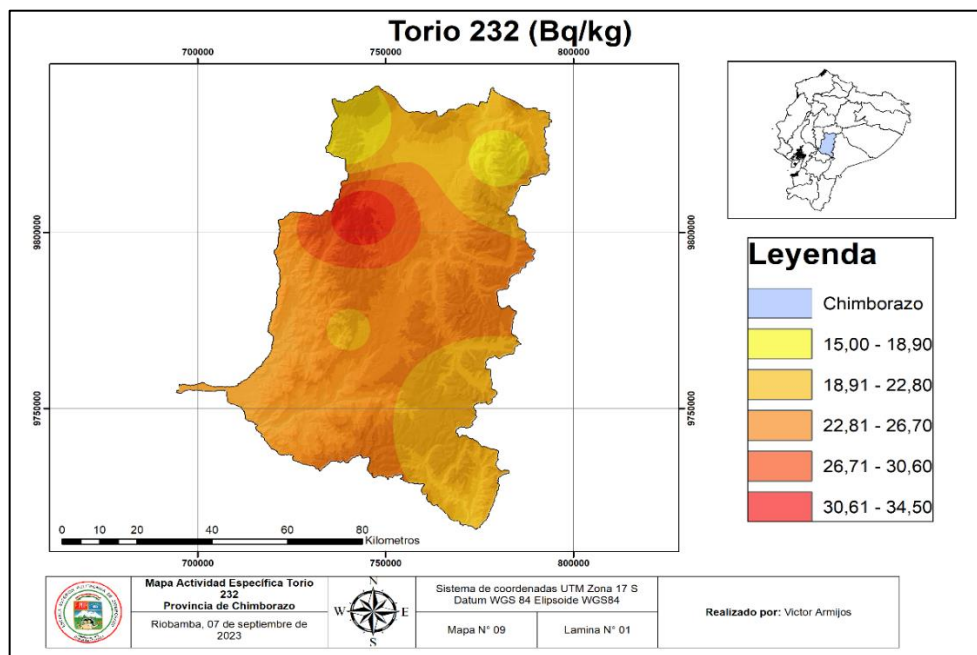


Ilustración 4-1: Mapa actividad específica del ^{232}Th , en la zona alta de la provincia de la Chimborazo.

Realizado por: Armijos V., 2023.

A través de la ilustración 4-1, se evidencia que el punto 5, identificado como RAN39-05, ubicado en la cordillera occidental con coordenadas X (744272,3) e Y (9805174,6) y una altitud de 3983 m, perteneciente al cantón Colta, destaca como la zona con mayor actividad para el radionucleido ^{232}Th . La concentración registrada en este punto cae en el rango de 30,61 a 34,50 Bq/kg.

Es relevante señalar que, según el promedio mundial, la concentración de ^{232}Th en el suelo es de 33 ± 3 Bq/kg. En este contexto, se observa que el valor registrado en el punto 5, así como en toda la provincia, se encuentra dentro del promedio mundial. Este hallazgo sugiere que, a pesar de la variabilidad en las concentraciones dentro de la provincia de Chimborazo, la actividad de ^{232}Th

en la zona específica de RAN39-05 no supera los estándares globales establecidos para este radionucleido en el suelo.

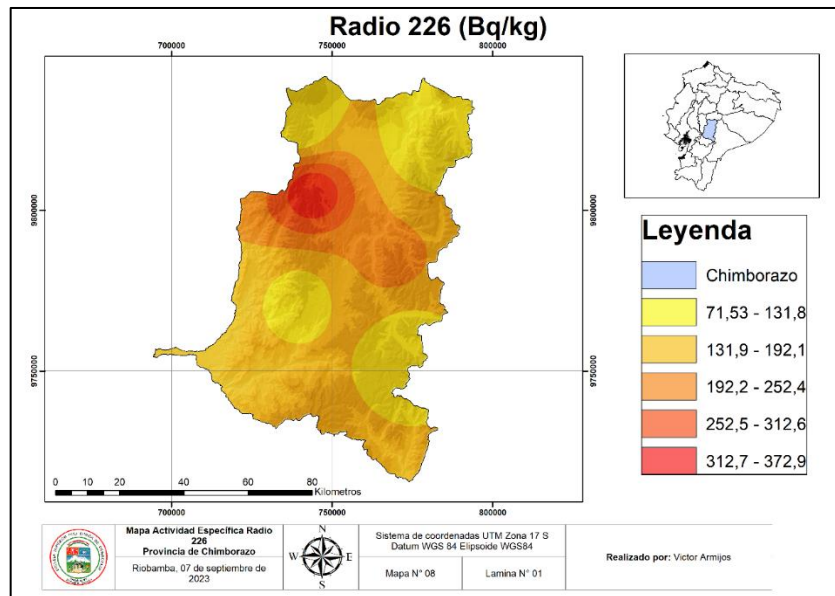


Ilustración 4-2: Mapa actividad específica del radionucleido ^{226}Ra , en la zona alta de la provincia de Chimborazo.

Realizado por: Armijos V., 2023.

Según la ilustración 4-2, se observa que el punto 5, identificado como RAN39-05, situado en la cordillera occidental con coordenadas X (744272,3); Y (9805174,6) y una elevación de 3983 m, y perteneciente al cantón Colta, destaca como la región con mayor actividad para el radionucleido ^{226}Ra . La concentración medida en este punto se encuentra en el rango de 312,7 a 372,9 Bq/kg.

Es importante señalar que, en comparación con el promedio mundial para el ^{226}Ra en el suelo, que es de 37 ± 4 Bq/kg, tanto el valor registrado en el punto 5 como en toda la provincia de Chimborazo están significativamente fuera del rango del promedio mundial. Este hallazgo sugiere que la actividad de ^{226}Ra en la región es considerablemente superior a los niveles globales típicos para este radionucleido en el suelo.

Este resultado podría tener implicaciones ambientales y de salud, ya que concentraciones elevadas de ^{226}Ra pueden estar asociadas con fuentes geológicas específicas en la zona o actividades antropogénicas.

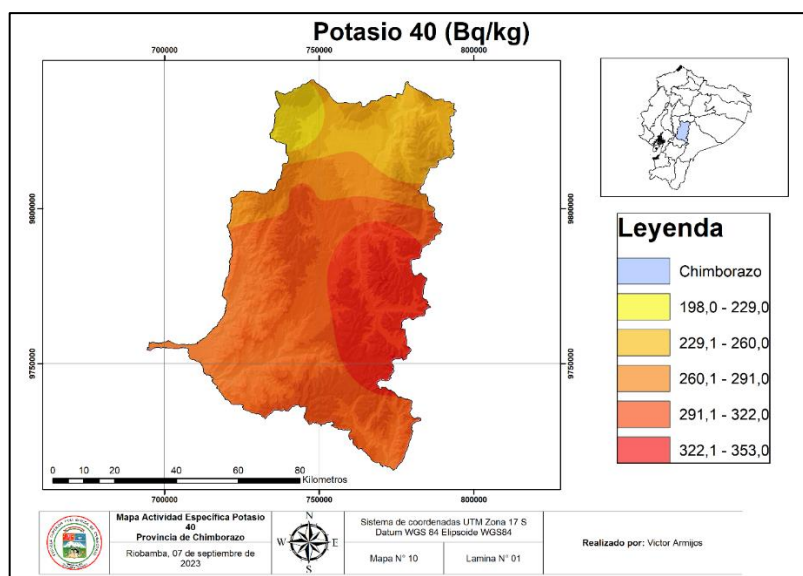


Ilustración 4-3: Mapa actividad específica del radionucleido ^{40}K , en la zona alta de la provincia de Chimborazo.

Realizado por: Armijos V., 2023.

La ilustración 4-3 revela que gran parte del cantón Guamote y la parte norte del cantón Alausí, que abarca dos puntos identificados como RAN37-01 y RAN40-02 en la cordillera oriental con coordenadas ($X = 773481$; $Y = 9759154,9$) y ($X = 7768076,9$; $Y = 9784408,6$), y elevaciones de 3719 m y 4060 m respectivamente, sobresalen como la región con mayor actividad para el radionucleido ^{40}K . La concentración medida en estos puntos se encuentra en el intervalo de 322,1 a 353,0 Bq/kg.

Es esencial destacar que, en comparación con el promedio mundial establecido para el ^{40}K en el suelo, que es de 400 ± 24 Bq/kg, tanto el valor registrado en esta zona como en toda la provincia de Chimborazo se sitúan por debajo del promedio global. Este hallazgo indica que la actividad de ^{40}K en la región es inferior a los niveles típicos observados a nivel mundial para este radionucleido en el suelo.

Aunque la concentración está por debajo del promedio mundial, es crucial interpretar estos resultados en el contexto de los estándares de seguridad y normativas establecidos para la protección del medio ambiente y la salud. A pesar de estar por debajo del promedio global, es necesario realizar evaluaciones más detalladas para garantizar que las concentraciones observadas no presenten riesgos o impactos negativos en la región.

4.3 Actividad específica en las cordilleras de la zona alta de la provincia de Chimborazo.

4.3.1 Estadística descriptiva de la actividad específica de los radionucleidos en la Cordillera Oriental

Tabla 4-4: Resumen estadístico descriptivo de los radionucleidos encontrados en las muestras de suelo, de la cordillera oriental

Medida descriptiva	Altitud (m)	Concentración de radionucleidos (Bq/kg)						
		²¹⁴ Bi	²¹⁴ Pb	²²⁶ Ra	²²⁸ Ac	²¹² Pb	⁴⁰ K	²¹⁰ Pb
Media	3859	133	129	16	22	22	306	89
Mediana	3798	101	95	13	21	21	329	89
Desviación estándar	178	78	77	7	4	4	62	8
Mínimo	3719	76	75	10	18	18	236	83
Máximo	4060	222	217	24	26	26	353	94

Realizado por: Armijos V., 2023.

En términos de concentraciones de radionucleidos, los valores más altos se encuentran en el rango de ²¹⁴Bi y ²¹⁴Pb, con medias de aproximadamente 133 y 129 Bq/kg, respectivamente. Estos valores parecen estar en línea con los niveles de otros radionucleidos como ²²⁶Ra y ²²⁸Ac, que tienen medias de alrededor de 16 y 22 Bq/kg, respectivamente. El radionucleido ⁴⁰K tiene una concentración promedio de 308 Bq/kg, mientras que ²¹⁰Pb tiene una concentración promedio de 89 Bq/kg.

En cuanto a la variabilidad, los radionucleidos ²¹⁴Bi, ²¹⁴Pb y ⁴⁰K muestran desviaciones estándar más altas, lo que sugiere una mayor dispersión en sus concentraciones en comparación con otros radionucleidos. Por otro lado, los radionucleidos ²²⁶Ra, ²²⁸Ac y ²¹⁰Pb tienen desviaciones estándar relativamente bajas, lo que indica una menor variabilidad en sus concentraciones.

Aquí se presenta una evaluación estadística de la información contenida en la tabla 4-2, tomando en cuenta los valores correspondientes a la Cordillera Oriental.

4.3.1.1 Concentración de actividad de los radionucleidos ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K , pertenecientes a la Cordillera Oriental

Tabla 4-5: Análisis descriptivo de la actividad específica de ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K , exposición externa muestras de suelo de la Cordillera Oriental en la Provincia de Chimborazo

Estadística descriptiva	Actividad específica (Bq/kg)			Magnitudes dosimétricas			
	$^{226}\text{Ra}^*$	$^{232}\text{Th}^*$	^{40}K	D(nG y/h)	D _{Exterior} (mSv/año)	D _{Interior} (mSv/año)	D _{Total} (mSv/año)
Promedio estudio	131,0	21,67	306,0	81,74	0,1003	0,5614	0,6617
Mediana	98,00	21,00	329,0	68,25	0,08370	0,4687	0,5524
Desviación estándar	77,46	4,041	61,80	37,42	0,04589	0,2570	0,3029
Mínimo	75,50	18,00	236	52,95	0,06493	0,3636	0,4286
Máximo	219,5	26,00	353	124,04	0,1521	0,8519	1,004
Promedio mundial (UNSCEAR)	37 ± 4	33 ± 3	400 ± 24	59	0,066	0,41	0,48

Realizado por: Armijos V., 2023.

*Valores calculados indirectamente, mediante los hijos de su cadena de desintegración, explicados en la sección 3.4

Los resultados del análisis estadístico descriptivo arrojaron valores promedios de 131,0 Bq/kg para el ^{226}Ra (254,05% por encima del promedio mundial), 21,67 Bq/kg para el ^{232}Th (34,33% por debajo del promedio mundial) y 306,0 Bq/kg para el ^{40}K (23,50 % por debajo del promedio mundial). Asimismo, se registraron valores de 81,74 nGy/h para la dosis absorbida debido a emisores gamma (**D**) (38,54% por encima del promedio mundial), 0,1003 mSv/año para la dosis efectiva anual exterior (**D_{Exterior}**) (51.97% por encima del promedio mundial), 0,5614 mSv/año para la dosis efectiva anual interior (**D_{Interior}**) (36.93% por encima del promedio mundial), 0,6617 mSv/año para la dosis efectiva anual total (**D_{Total}**) (37.85% por encima del promedio mundial).

4.3.2 Estadística descriptiva de la actividad específica de los radionucleidos en la Cordillera Occidental

Tabla 4-6: Resumen estadístico descriptivo de los radionucleidos encontrados en las muestras de suelo, de la cordillera occidental

Medida descriptiva	Altitud (m)	Concentración de radionucleidos (Bq/kg)					
		²¹⁴ Bi	²¹⁴ Pb	²²⁸ Ac	²¹² Pb	⁴⁰ K	²¹⁰ Pb
Media	4022	202	165	24	24	271	126
Mediana	3983	115	96	22	23	293	126
Desviación estándar	133	190	140	12	8	65	91
Mínimo	3912	71	72	14	16	198	62
Máximo	4170	420	326	37	32	322	190

Realizado por: Armijos V., 2023.

Los valores más altos de los radionucleidos encontrados se encuentran con los isótopos ²¹⁴Bi y ²¹⁴Pb, con medias de aproximadamente 202 y 165 Bq/kg, respectivamente. El radionucleido ⁴⁰K tiene una concentración promedio de 271 Bq/kg, mientras que ²¹⁰Pb tiene una concentración promedio de 126 Bq/kg.

En cuanto a la variabilidad, los radionucleidos ²¹⁴Bi, ²¹⁴Pb y ²¹⁰Pb muestran desviaciones estándar más altas, lo que sugiere una mayor dispersión en sus concentraciones en comparación con otros radionucleidos. Por otro lado, los radionucleidos ²²⁸Ac, ²¹²Pb y ⁴⁰K tienen desviaciones estándar relativamente bajas, lo que indica una menor variabilidad en sus concentraciones.

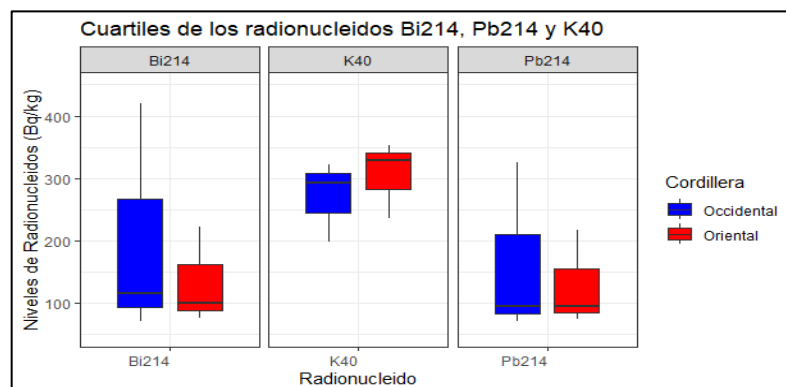


Ilustración 4-4: Cuartiles de la actividad de ²¹⁴Bi, ⁴⁰K y ²¹⁴Pb de las cordilleras Occidental y Oriental.

Realizado por: Armijos V., 2023.

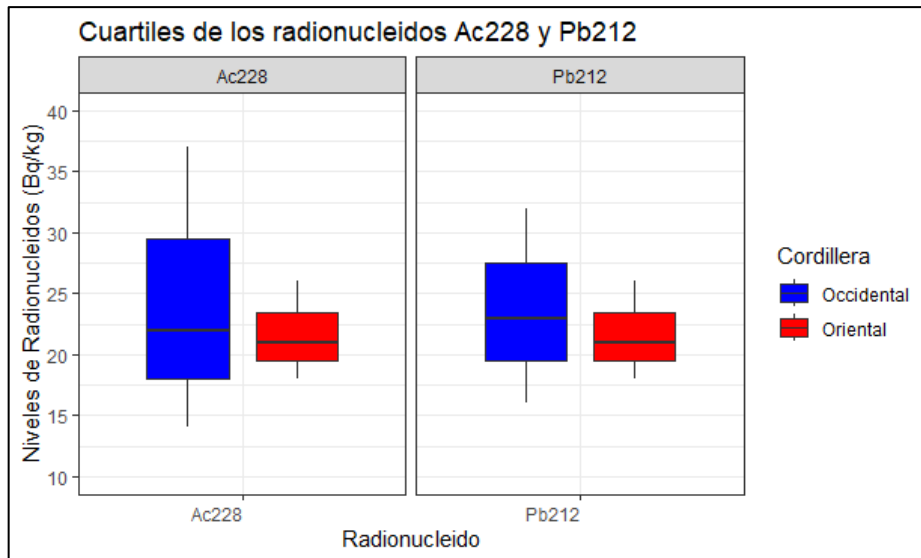


Ilustración 4-5: Cuartiles de la actividad de ^{228}Ac y ^{212}Pb en las cordilleras Occidental y Oriental.

Realizado por: Armijos V., 2023.

Al examinar las ilustraciones 4-4 y 4-5, que representan la distribución de los valores de radionucleidos en diversas cordilleras mediante diagramas de cajas, se observa una tendencia distintiva en la cordillera occidental. En términos generales, se destaca que los valores en esta cordillera tienden a exhibir una mayor dispersión y, en muchos casos, son significativamente más elevados en comparación con la cordillera oriental.

Específicamente, radionucleidos como el ^{214}Bi , ^{214}Pb , ^{212}Ac , y ^{212}Pb muestran valores más pronunciados en la cordillera occidental. Estos hallazgos sugieren una posible influencia de factores geológicos o ambientales específicos de esta región en la concentración de estos radionucleidos.

En contraste, se observa una similitud en los valores y distribución del radionucleido ^{40}K a lo largo de ambas cordilleras. Esta uniformidad indica que, a diferencia de otros radionucleidos, el ^{40}K no sigue la misma tendencia de variabilidad pronunciada en la cordillera occidental.

4.3.2.1 Concentración de actividad de los radionucleidos ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K , pertenecientes a la Cordillera Occidental

Tabla 4-7: Análisis descriptivo de la actividad específica de ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K , exposición externa muestras de suelo de la Cordillera Occidental en la Provincia de Chimborazo

Estadística descriptiva	Actividad específica (Bq/kg)			Magnitudes dosimétricas			
	$^{226}\text{Ra}^*$	$^{232}\text{Th}^*$	^{40}K	D(nGy/h)	D _{Exterior} (mSv/año)	D _{Interior} (mSv/año)	D _{Total} (mSv/año)
Promedio estudio	183,3	24,00	271,0	103,0	0,1275	0,7141	0,8416
Mediana	105,5	22,50	293,0	72,06	0,08837	0,4949	0,5832
Desviación estándar	165,1	9,836	64,86	77,22	0,09470	0,5303	0,6250
Mínimo	71,50	15,00	198,0	47,84	0,05867	0,3285	0,3872
Máximo	373,0	34,50	322,0	192,04	0,2355	1,319	1,554
Promedio mundial (UNSCEAR)	37 ± 4	33 ± 3	400 ± 24	59	0,066	0,41	0,48

Realizado por: Armijos V., 2023.

*Valores calculados indirectamente, mediante los hijos de su cadena de desintegración, explicados en la sección 3.4

Los resultados del análisis estadístico descriptivo arrojaron valores promedios de 183,3 Bq/kg para el ^{226}Ra (395,41% por encima del promedio mundial), 24,00 Bq/kg para el ^{232}Th (27,27% por debajo del promedio mundial) y 271,0 Bq/kg para el ^{40}K (32,25 % por debajo del promedio mundial). Asimismo, se registraron valores de 103,0 nGy/h para la dosis absorbida debido a emisores gamma (**D**) (74,58% por encima del promedio mundial), 0,1275 mSv/año para la dosis efectiva anual exterior (**D_{Exterior}**) (93.18% por encima del promedio mundial), 0,7141 mSv/año para la dosis efectiva anual interior (**D_{Interior}**) (74.17% por encima del promedio mundial), 0,8416 mSv/año para la dosis efectiva anual total (**D_{Total}**) (75.33% por encima del promedio mundial).

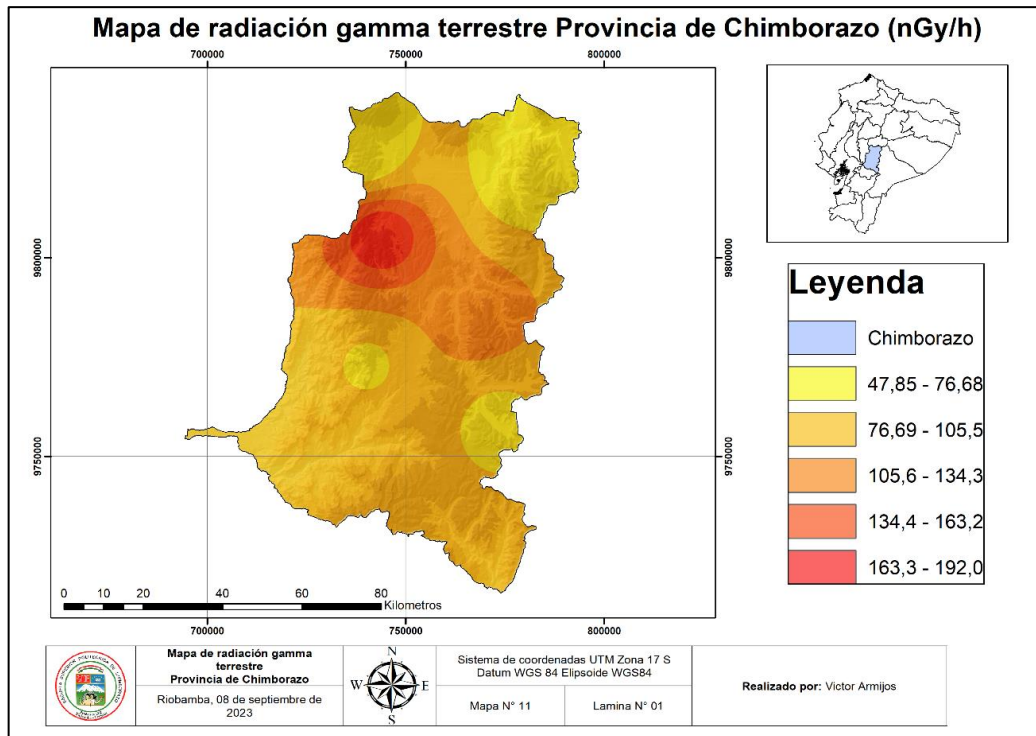


Ilustración 4-6: Mapa de radiación gamma terrestre, en la zona alta de la provincia de Chimborazo.

Realizado por: Armijos V., 2023

En el mapa de niveles de radiación gamma terrestre, se distinguen cinco categorías de radiación. La zona de menor radiación terrestre abarca el rango de (47,85-76,68) nGy/h y se representa con el color amarillo. La zona de radiación terrestre intermedia se sitúa en el intervalo de (76,69-163,2) nGy/h, la cual está comprendida por tres coloraciones. Finalmente, la zona con mayor radiación terrestre comprende el intervalo (163,3-192,0) nGy/h, identificada por el color rojo. Estos valores superan el promedio mundial de radiación gamma terrestre, teniendo en cuenta que el promedio mundial se encuentra en el intervalo de 50-59 nGy/h (UNSCEAR, 2010, p.233), resaltando la variabilidad en los niveles de radiación en la región y sugiriendo la necesidad de un análisis detallado para comprender las posibles causas.

4.4 Discusión

La complejidad geológica en el punto RAN39-05, situado en la Cordillera Occidental de Chimborazo, se destaca por la presencia de formaciones volcánicas de composición andesítica a riolítica, específicamente los Volcánicos Pisayambo (1000-2000m). Esta diversidad geológica se extiende a la Cordillera Oriental, donde se encuentran Andesitas a riolitas y piroclastos, y al Valle

Interandino, caracterizado por Volcánicos Pisayambo (1000-2000m) compuestos por andesitas a riolitas y piroclastos, datados en el periodo Plioceno-Mioceno.

En el contexto de la discusión técnica, la variabilidad geológica entre estas zonas puede influir significativamente en la distribución de radionucleidos en el suelo. Los flujos de lava y piroclastos, junto con la composición andesítica a riolítica, introducen factores que pueden afectar la retención y migración de radionucleidos. La presencia de andesitas a riolitas en la Cordillera Oriental y el Valle Interandino agrega otra capa de complejidad a la interacción entre la geología local y la distribución de radionucleidos.

La información geológica subraya la necesidad de considerar detalladamente las propiedades físicas y químicas del suelo al interpretar los resultados radiológicos. Además, la relación entre la geología y la actividad tectónica, especialmente cerca de la Falla de Pallatanga, podría tener implicaciones significativas en la movilidad de los radionucleidos. Esta discusión técnica resalta la importancia de abordar la interrelación entre la geología y la distribución de radionucleidos para comprender integralmente los factores que influyen en la radiactividad del suelo en la región. La presencia de la Falla de Pallatanga en las inmediaciones del punto RAN39-05, ubicado en la Cordillera Occidental de Chimborazo, introduce consideraciones técnicas adicionales en la interpretación de los resultados radiológicos. Las fallas tectónicas, como la de Pallatanga, pueden desempeñar un papel crucial en la redistribución de radionucleidos debido a la complejidad de los procesos geodinámicos asociados.

La actividad tectónica en la región puede afectar la permeabilidad del subsuelo, creando rutas preferenciales para la migración de fluidos que transportan radionucleidos. Este fenómeno podría explicar, al menos parcialmente, las concentraciones significativas de ^{226}Ra y ^{232}Th observadas en el punto de estudio. La combinación de flujos de lava y piroclastos con la actividad de la falla sugiere una interacción compleja entre la geología local y los procesos tectónicos.

Desde la perspectiva radiológica, la mayor exposición a la radiación gamma en el área cercana a la Falla de Pallatanga indica la posibilidad de que la actividad tectónica esté contribuyendo a la liberación de radionucleidos en la superficie. La relación entre la actividad sísmica y la liberación de gases radiactivos ha sido documentada en estudios anteriores.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La determinación de la concentración de radionucleidos naturales y artificiales en el suelo de la zona alta de la provincia de Chimborazo ha revelado una variabilidad significativa en los niveles de radiactividad. Se han identificado puntos específicos, como el notable RAN39-05, con concentraciones que superan o se sitúan por debajo del promedio mundial. Este hallazgo sugiere una compleja interacción de factores geológicos y ambientales que influyen en la distribución de los radionucleidos en la región.
- Se identificaron los radionucleidos clave, como el ^{40}K y los productos derivados de las series del ^{238}U y ^{232}Th , que contribuyen de manera significativa a la exposición natural externa en la superficie terrestre. La detección de estos radionucleidos en el suelo se llevó a cabo mediante espectrometría gamma.
- La tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma fue determinada, revelando que la contribución de los radionucleidos ^{232}Th y ^{40}K se mantiene en línea con el promedio mundial. No obstante, la presencia del ^{226}Ra supera significativamente el promedio global, registrando un aumento del aproximadamente 324,86% en comparación con dicho promedio mundial.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda una investigación más detallada para comprender las causas detrás de estas concentraciones elevadas y evaluar posibles riesgos para el medio ambiente y la salud pública en la región.
- Se sugiere continuar con investigaciones en la zona comprendida RAN39-05, la cual fue la zona con mayor concentración del radionucleido ^{226}Ra .

BIBLIOGRAFÍA

ABUBAKAR, M., 2019. An Introduction to the concept of Radioactive Decay and Radioactivity in Nuclear Chemistry. ,

BEZUIDENHOUT, J., 2019. The relationship among naturally occurring radionuclides, geology, and geography: Tsodilo Hills, Botswana. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* [en línea], vol. 12, no. 1, ISSN 1687-8507. DOI <https://doi.org/10.1080/16878507.2019.1593717>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687850721000029>.

CARRIÓN, P., BORJA, C., HERRERA F, G., MORANTE, F., JAYA, M., MALDONADO-ZAMORA, A. y BERREZUETA, E., 2021. Geosites and Geotourism in the Local Development of Communities of the Andes Mountains. A Case Study. *Sustainability*, vol. 13, DOI 10.3390/su13094624.

CHAVEZ, E., 2016. *Caracterización de radionucleidos presentes en materiales de construcción de minas y canteras de la Provincia de Chimborazo y estimación de los niveles de riesgo asociados para la población (Trabajo de Titulación)* [en línea]. S.l.: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6185/1/86T00035.pdf>.

CHOPPIN, G., LILJENZIN, J.-O., RYDBERG, J. y EKBERG, C., 2013. Chapter 5 - Unstable Nuclei and Radioactive Decay. En: G. CHOPPIN, J.-O. LILJENZIN, J. RYDBERG y C.B.T.-R. and N.C. (Fourth E. EKBERG (eds.) [en línea]. Oxford: Academic Press, pp. 85-123. ISBN 978-0-12-405897-2. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124058972000057>.

DE MEIJER, R.J., 1998. Heavy minerals: from 'Edelstein' to Einstein. *Journal of Geochemical Exploration* [en línea], vol. 62, no. 1, ISSN 0375-6742. DOI [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(97\)00073-3](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(97)00073-3). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375674297000733>.

EL SAMAD, O., BAYDOUN, R., NSOULI, B. y DARWISH, T., 2013. Determination of natural and artificial radioactivity in soil at North Lebanon province. *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], vol. 125, ISSN 0265-931X. DOI

<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.02.010>. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X13000477>.

EPA, 1999. *Evaluation of Guidelines for Exposures to Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials*. Washington (DC): National Academies Press (US). ISBN 0-309-06297-7.

EPA, 2008. Sample Handling and Custody. [en línea], vol. II, Disponible en:
<https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/qa/vol2sec08.pdf>.

GADCH, 2020. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Chimborazo. .
Riobamba:

GUINN, V.P., 2003. Radioactivity. En: R.A.B.T.-E. of P.S. and T. (Third E. MEYERS (ed.) [en línea]. New York: Academic Press, pp. 661-674. ISBN 978-0-12-227410-7. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0122274105006438>.

HALL, M.L., SAMANIEGO, P., LE PENNEC, J.L. y JOHNSON, J.B., 2008. Ecuadorian Andes volcanism: A review of Late Pliocene to present activity. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* [en línea], vol. 176, no. 1, ISSN 0377-0273. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.06.012>. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377027308003491>.

KARDAN, M.R., FATHABDI, N., ATTARILAR, A., ESMAEILI-GHESHLAGHI, M.T., KARIMI, M., NAJAFI, A. y HOSSEINI, S.S., 2017. A national survey of natural radionuclides in soils and terrestrial radiation exposure in Iran. *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], vol. 178-179, ISSN 0265-931X. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.08.010>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X17303569>.

KNOLL, G., 2010. *Radiation Detection and Measurement* [en línea]. Fourth. S.I.: Wiley. ISBN 9780470131480. Disponible en: <https://indico-tkli.sjtu.edu.cn/event/171/contributions/2123/attachments/982/1592/Knoll4thEdition.pdf>.

MISSIMER, T.M., TEAF, C., MALIVA, R.G., DANLEY-THOMSON, A., COVERT, D. y HEGY, M., 2019. Natural Radiation in the Rocks, Soils, and Groundwater of Southern Florida with a Discussion on Potential Health Impacts. *International journal of environmental research and public health*, vol. 16, no. 10, ISSN 1660-4601 (Electronic). DOI 10.3390/ijerph16101793.

MITROVIĆ, B., AJTIĆ, J., LAZIĆ, M., ANDRIĆ, V., KRSTIĆ, N., VRANJEŠ, B. y VIĆENTIJEVIĆ, M., 2016. Natural and anthropogenic radioactivity in the environment of Kopaonik mountain, Serbia. *Environmental Pollution* [en línea], vol. 215, ISSN 0269-7491. DOI <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.031>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749116304195>.

OMS, 2023. Efectos en la salud de las radiaciones ionizantes. [en línea]. [consulta: 7 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-and-health-effects>.

PENNOCK, D.J. y APPLEBY, P.G., 2003a. Sample Processing BT - Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides. En: F. ZAPATA (ed.) [en línea]. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 59-65. ISBN 978-0-306-48054-6. Disponible en: https://doi.org/10.1007/0-306-48054-9_4.

PENNOCK, D.J. y APPLEBY, P.G., 2003b. Site Selection and Sampling Design BT - Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides. En: F. ZAPATA (ed.) [en línea]. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 15-40. ISBN 978-0-306-48054-6. Disponible en: https://doi.org/10.1007/0-306-48054-9_2.

PUCHA, G. y CAMACHO, A., 2018. *Caracterización de radionucleidos presentes en el suelo de la provincia de Chimborazo*. [en línea]. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8970/1/86T00066.pdf>.

PUCHA, G., PÉREZ, M., AGUAY, D., CHÁVEZ, E., CHÁVEZ, N., GIROLETTI, E., REINO, W. y RECALDE, C., 2023. Soil radioactivity in the highest volcanic region of Northern Andes. *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], vol. 262, ISSN 0265-931X. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2023.107142>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X23000358>.

REGUIGUI, N., 2014. *Gamma Ray Spectrometry* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/259533588_Gamma_Ray_Spectrometry.

SAHA, G.B., 2001. Kinetics of Radioactive Decay BT - Physics and Radiobiology of Nuclear Medicine. En: G.B. SAHA (ed.) [en línea]. New York, NY: Springer New York, pp. 21-33. ISBN 978-1-4757-3497-3. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3497-3_3.

SEBELE, M., 2017. RADIOLOGICAL MONITORING IN DRINKING WATER IN NORTHERN AREAS OF BOTSWANA (GROSS ALPHA AND BETA MONITORING). ,

SZYMCZAK, R., 2012. Chapter 4 - Tropical Radiochemical Oceanography. En: J.R.B.T.-R. in the E. TWINING (ed.), *Tropical Radioecology* [en línea]. S.l.: Elsevier, pp. 121-153. vol. 18. ISBN 1569-4860. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080450162000047>.

TURHAN, Ş. y GÜNDÜZ, L., 2008. Determination of specific activity of ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K for assessment of radiation hazards from Turkish pumice samples. *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], vol. 99, no. 2, ISSN 0265-931X. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2007.08.022>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X07002123>.

UNSCEAR, 2000a. *Sources and effects of ionizing radiation*. New York: s.n. vol. I. ISBN 9211422388.

UNSCEAR, 2000b. *The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*. New York: United Nations Pubns. vol. 1. ISBN 9211422388.

UNSCEAR, 2010a. *Sources and effects of ionizing radiation. Volume I : UNSCEAR 2008 report to the General Assembly with Scientific Annexes / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*. New York: s.n. vol. 1. ISBN 9789211422740.

UNSCEAR, 2010b. *Sources and effects of ionizing radiation. Volume I : UNSCEAR 2008 report to the General Assembly with Scientific Annexes / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* [en línea]. New York: s.n. ISBN 9789211422740. Disponible en: <https://academic.oup.com/rpd/article/1/4/261/1600245/The-United-Nations-Scientific->

Committee-on-the.

VALKOVIĆ, V., 2019. Chapter 3 - Man-made radioactivity. En: V.B.T.-R. in the E. (Second E. VALKOVIĆ (ed.), *Radioactivity in the Environment* [en línea]. Second. Zagreb, Croatia: Elsevier, pp. 63-122. ISBN 978-0-444-64146-5. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444641465000033>.


WALLER, E., STODILKA, R., LEACH, K. y PRUD'HONNE-LALONDE, L., 2002. Literature Survey on Decorporation of Radionuclides from the Human Body. ,

WHO, 2022. *Guidelines for drinking-water quality* [en línea]. Fourth. Geneva: s.n. ISBN 9789240045064. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK579461/>.



ANEXOS

ANEXO A: FORMATO DE SOLICITUD DE SERVICIOS DE LA DIRECCION DE APLICACIONES NUCLEARES – ANÁLISIS DE RADIATIVIDAD

 Ministerio de Energía y Minas Gobierno del Ecuador WILLERMO LASSO PRESIDENTE	FORMATO DE SOLICITUD DE SERVICIO DE LA DIRECCIÓN DE APLICACIONES NUCLEARES	Código: M-F-S.08-DANCT-19
	ANÁLISIS DE RADIATIVIDAD	Versión: 00

SUBSECRETARIO DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES

De mi consideración


Por medio del presente solicito de la manera más comedida la autorización para prestación de servicios de Análisis de Radiactividad de conformidad con la siguiente información:

1. INFORMACIÓN DEL REPRESENTANTE LEGAL/PROPIETARIO	
Nombre completo: Victor Stalyn Armijos Vanega	
Institución: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo	RUC/CI: 2100780390
Dirección: Avenida Leonidas Proaño y Benjamín Carrión	Ciudad: Riobamba
Teléfono: 0981945732	*Correo electrónico: quim_vicar@hotmail.com
Código Postal:	Puesto/Cargo: Tesista

2. SERVICIOS DE DETERMINACIÓN DE RADIATIVIDAD	
NOMBRE DEL SERVICIO	MARCAR
Análisis de espectrometría gamma por muestra	X
Análisis de tritio en muestras acuosas	
Determinación alfa y beta grueso en aguas	
Determinación de contaminación superficial en el manejo de fuentes abiertas	
Determinación de las características de radiactividad en desechos	
Identificación de contaminantes radiactivos y su actividad	
Caracterización de espectrómetros y fuentes radiactivas	
Monitoreo de fuentes radiactivas por punto monitoreado	
Monitoreo de niveles de radiactividad natural o artificial	
Prueba de fuga en fuentes selladas	
Determinación de Concentraciones de Radón	

* El correo electrónico proporcionado servirá para registrarlo en nuestro sistema, ingresar su trámite en el Sistema Documental Quipux, para recibir cualquier notificación que el laboratorio considere pertinente. La documentación física que se entregará al usuario en las oficinas del MERNNR serán reportes del laboratorio y certificados.

Atentamente:


210078039-0

Fecha: 03/07/2023

ANEXO B: FORMATO – TRAMITE ANALISIS ESPECTROMETRÍA GAMMA DE MUESTRAS



Análisis de espectrometría gamma o muestra

Solicitud No. 00WJ-0DJJ11

2023-07-03

Datos del solicitante

TIPO DE IDENTIFICACIÓN	CÉDULA
IDENTIFICACIÓN	2100780390
NOMBRES Y APELLIDOS	ARMIJOS VANEGA VICTOR STALYN
CORREO ELECTRÓNICO	quim_vicar@hotmail.com
TELÉFONO	0981945732

Información de Solicitud del Trámite

Trámite: Análisis de espectrometría gamma o muestra

Tipo de identificación Cédula (9696)

Nombres y apellidos ARMIJOS VANEGA VICTOR STALYN

Razón social (Empresa) (Vacío)

Correo electrónico quim_vicar@hotmail.com

Teléfono 0981945732

Documento de identificación 2100780390

Solicitud de Análisis de espectrometría gamma o muestra

Información del solicitante

Puesto/Cargo Tesista

Institución Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Provincia Chimborazo

Dirección Avenida Leonidas Proaño y Benjamín Carrion

Teléfono fijo 062343202

Información gamma o muestra

Datos de la muestra

- Descripción de la muestra: 1kg
Código de muestra: ARAD-01
- Descripción de la muestra: 1kg
Código de muestra: ARAD-02
- Descripción de la muestra: 1kg
Código de muestra: ARAD-03
- Descripción de la muestra: 1kg
Código de muestra: ARAD-04



Análisis de espectrometría gamma o muestra	
Solicitud No. 00WJ-0DJJ11	2023-07-03

- Descripción de la muestra: 1kg
Código de muestra: ARAD-05
- Descripción de la muestra: 1kg
Código de muestra: ARAD-06

r1 (Vacío)

Número total de muestras 6



www.gob.ec

Vicen Arroyos

210078039 -0

ANEXO C: CADENA DE CUSTODIA DE LAS MUESTRAS ENTREGADAS A LA SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES (SCAN), PARA LOS RESPECTIVOS ANÁLISIS.

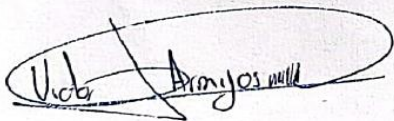
CADENA DE CUSTODIA DE LA MUESTRA

Yo Victor Stalyn Armijos Vanega, me hago responsable en las condiciones que son enviadas las muestras, tamaño particular < 2mm, sin un duplicado de las muestras.

Muestreo

Una vez localizado el sitio, se limitó el área a un metro cuadrado para proceder a limpiar y marcar cuadros de 25 cm en los 4 vértices y en el centro del área limitada para la extracción de 5 submuestras de 5cm de profundidad, la profundidad fue tomada en cuenta luego de los primeros 5cm de materia orgánica. En cada punto de muestreo se obtuvo una muestra compuesta de aproximadamente 6kg que fue guardada en fundas ziplot.

Numero de muestra	Ubicación	Profundidad	Fecha de muestreo	Muestreado por
RAN37-01	-2.176973,-78.541290	5cm	28/06/2023	Victor Armijos
RAN40-02	-1.94878,-78.59019	5cm	05/06/2023	Victor Armijos
RAN38-03	-1.62789,-78.49181	5cm	06/06/2023	Victor Armijos
RAN41-04	-1.56883, -78.84386	5cm	14/06/2023	Victor Armijos
RAN39-05	-1.761339,-78.804296	5cm	15/06/2023	Victor Armijos
RAN39-05	-2.04678,-78.83728	5cm	23/06/2023	Victor Armijos
Entregado a				



Atentamente

Victor Stalyn Armijos Vanega

2100780390

quim_vicar@hotmail.com

ANEXO D: INFORME DE ANALISIS DE CONTENIDO RADIOACTIVO



República del Ecuador

Ministerio de Energía y Minas

INFORME DE ANÁLISIS DE CONTENIDO RADIOACTIVO

Código de Laboratorio: ARAD-2023-043

DIRECCIÓN DE APLICACIONES NUCLEARES Y COOPERACIÓN TÉCNICA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE RADIACTIVIDAD

La Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares perteneciente al Ministerio de Energía y Minas realizó el análisis de Espectrometría Gamma/muestra.

Fecha de análisis instrumental: 11 al 13 de julio de 2023

Fecha de emisión: 18 de julio de 2023

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social:	ARMIJOS VANEGA VÍCTOR STALYN	
Dirección:	AV. Canonimo Ramos	Ciudad: Riobamba
Nombre de contacto:	Victor Armijos	
Teléfono de contacto:	0981945732	Correo electrónico: quim_vicar@hotmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción:	Suelos
Muestreo por:	Victor Armijos
Fecha de muestreo:	28/06/2023; 05/06/2023; 06/06/2023; 14/06/2023; 15/06/2023; 23/06/2023
Fecha de ingreso al laboratorio:	11 de julio de 2023

MÉTODO DE MEDICIÓN

Método: Norma Internacional Standard ISO 9978, Radiation protection-Sealed radioactive, sources-Leakage test methods.

Equipo: Espectrómetro gamma con ventana de berilio BSI GCD-4013UX, rango de lectura de 3 a 1000 KeV.

Técnica de medición empleada para el análisis de la muestra: Determinación de radionúclidos emisores gamma por espectrometría gamma. Los valores reportados seguidamente del signo "<" corresponden a la Actividad Mínima Detectable (AMD) calculada para un 95 % de confianza. Para estos valores no se calcula ni reporta incertidumbre expandida. Nivel máximo permisible (1 Bq/g) para cadenas de desintegración de Uranio, Torio y (10 Bq/g) para K-40; según niveles para NORM recomendados en las Normas Básicas de Seguridad del OIEA (GSR Parte 3).

RESULTADOS DEL ENSAYO

RADIOACTIVIDAD DETERMINADA EN LAS MUESTRAS CON SU ACTIVIDAD E INCERTIDUMBRE ASOCIADA

CÓDIGO ARAD	CÓDIGO DEL CLIENTE	²³⁸ Pb Bq/g	²³⁴ Pb Bq/g	²²⁶ Ra Bq/g	²³⁵ U Bq/g	²³² Pb Bq/g	²³² Th Bq/g	²³⁵ U Bq/g	²³⁸ Pb Bq/g	⁴⁰ K Bq/g
ARAD-2023-043.01	RAN37-01	0.101	0.095	0.024	0.021	0.021	---	---	0.083	0.329
ARAD-2023-043.02	RAN40-02	0.222	0.217	0.013	0.026	0.026	---	0.001	0.094	0.353
ARAD-2023-043.03	RAN38-03	0.076	0.075	0.010	0.018	0.018	---	---	---	0.236
ARAD-2023-043.04	RAN41-04	0.071	0.072	---	0.014	0.016	---	---	0.062	0.198
ARAD-2023-043.05	RAN39-05	0.420	0.326	---	0.037	0.032	---	0.003	0.190	0.293
ARAD-2023-043.06	RAN39-06	0.115	0.096	0.026	0.022	0.023	---	---	---	0.322

Este informe tiene validez únicamente en su forma íntegra y original, no se permite la reproducción parcial o total de este documento, sin la autorización del Laboratorio. Muestra(s) recibida(s) en el laboratorio, los resultados aquí presentados corresponden única y exclusivamente para la(s) muestra(s) entregada(s).



ARAD-2023-043-VICTORARMIJOS

Firma de responsabilidad:



OMAR ALONSO SUÁREZ
OQUENDO

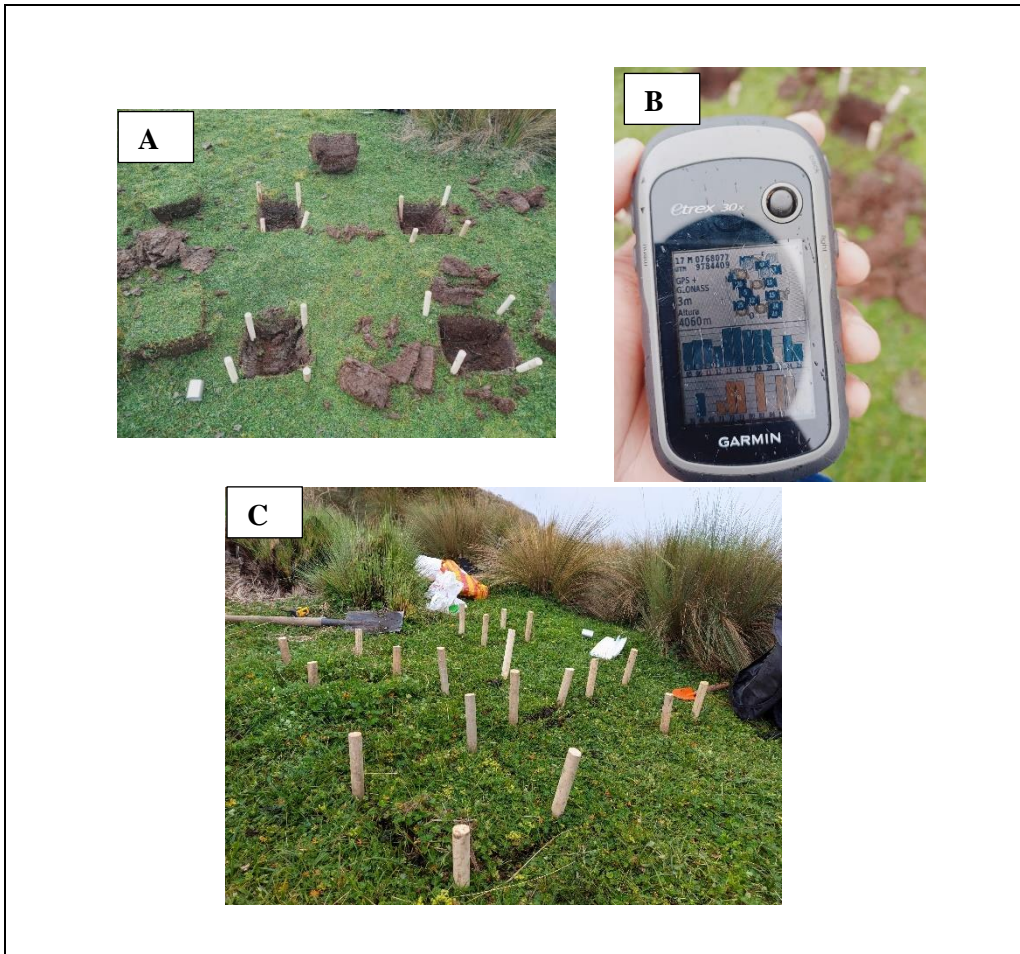
Dr. Omar Suárez Oquendo

Responsable del Laboratorio de Análisis de Radiactividad

Dirección: Av. República de El Salvador N36-64 y Suecia
Código postal: 170135 / Quito - Ecuador
Teléfono: 593-2 3976000
www.rekursosyenergia.gob.ec



ANEXO E: MUESTREO UTILIZADO EN LOS DISTINTOS PUNTOS SELECCIONADOS





NOTAS:	ESCUELA SUPERIOR	MUESTREO DE CAMPO		
<p>A: Muestra de suelo extraída, correspondiente RAN40-02.</p> <p>B: Toma de datos de georreferencia de uno de los sitios muestreados.</p> <p>C: Colocación de los vértices de 25cm², para realizar el muestreo, punto RAN38-03.</p>	<p>POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>CARRERA QUÍMICA</p> <p>MUESTREO DE CAMPO</p> <p>REALIZADO POR:</p> <p>Victor Armijos</p>	LÁMINA	ESCALA	FECHA
		1	1:1	06-06-2023



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

Fecha de entrega: 06/ 02 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Victor Stalyn Armijos Vanega
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Química
Título a optar: Químico
 Firma del Director del Trabajo de Titulación
 Firma del Asesor del Trabajo de Titulación