



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

**ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ACTIVIDAD
ESPECÍFICA DE RADIONUCLEIDOS EN EL SUELO DE LA
PROVINCIA DE TUNGURAHUA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

FÍSICO

AUTOR: CRISTIAN SANTIAGO SEGURA CRUZ

DIRECTOR: Dr. CELSO GUILLERMO RECALDE MORENO PhD.

Riobamba-Ecuador

2022

© 2022, Cristian Santiago Segura Cruz

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

Yo, CRISTIAN SANTIAGO SEGURA CRUZ, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo 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, 10 de junio del 2022



Cristian Santiago Segura Cruz

060396277-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ACTIVIDAD ESPECÍFICA DE RADIONUCLEIDOS EN EL SUELO DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA**, realizado por el señor: **CRISTIAN SANTIAGO SEGURA CRUZ**, 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

Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo Msc.

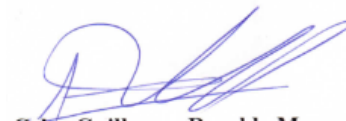
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2022-06-10

Dr. Celso Guillermo Recalde Moreno PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2022-06-10

Dra. Jheny del Carmen Orbe Ordoñez PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



2022-06-10

DEDICATORIA

Dedicó este trabajo de titulación a mi hermano menor Isaí, espero que sea una inspiración para ti todo lo que hemos logrado gracias a nuestra hermandad y sepas que tu esfuerzo, coraje y resiliencia te lleven tan lejos como quieras llegar y en la memoria de mi querido amigo Andrés Carrasco, de todo corazón espero haber cumplido parte de los objetivos tenías sobre mí.

Cristian

AGRADECIMIENTO

Agradezco al grupo de Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA) por permitirme ser parte de este proyecto de investigación que es relativamente nuevo en nuestro país y espero de todo corazón que sigan con esta gran labor.

A toda mi familia principalmente a mis padres Ivonne y Sandro, que han estado conmigo a pesar de mi carácter apoyándome constantemente, gracias a ellos pude seguir avanzando.

A mis hermanos Paul, Sebastián e Isaí, que han sido lo más hermoso en toda mi vida, todas aquellas palabras de aliento y motivación se reflejan en este trabajo, nunca sabré como devolverles todo lo que hicieron por mí.

A mis amigos Christopher y Diego que han sido como hermanos para mí, permaneciendo a mi lado en los buenos y malos momentos como aquel apoyo moral, les doy mis gracias.

Cristian

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del Problema.....	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.4.2. <i>Objetivo Especifico</i>	4
1.5. Bases Teóricas.....	5
1.5.1. <i>Magnitudes Físicas características del Decaimiento Radiactivo</i>	5
1.5.1.1. <i>Radioactividad</i>	5
1.5.1.2. <i>Periodo de semidesintegración</i>	5
1.5.2. <i>Radiación Ionizante</i>	6
1.5.2.1. <i>Radiación α</i>	6
1.5.2.2. <i>Radiación $\beta +$</i>	6
1.5.2.3. <i>Radiación $\beta -$</i>	6
1.5.2.4. <i>Radiación γ</i>	6
1.5.3. <i>Radiación Natural</i>	7
1.5.4. <i>Radiación Terrestre</i>	7
1.5.4.1. <i>Radionucleidos en series radiactivas</i>	8
1.5.4.2. <i>Radionucleidos que no están en series radiactivas</i>	9
1.5.5. <i>Actividad específica</i>	10
1.5.6. <i>Magnitudes de Radiación</i>	11

1.5.6.1.	<i>Tasa de dosis de radiación gamma externa</i>	11
1.5.7.	<i>Detectores de radiación</i>	12
1.5.7.1.	<i>Detector de centelleo</i>	12
1.5.8.	<i>Espectrometría de rayos gamma de alta resolución</i>	12

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	15
2.1.	Tipo de Investigación	15
2.2.	Diseño de Investigación	15
2.3.	Localización del Estudio	15
2.4.	Población de Estudio	16
2.5.	Determinación de los puntos de muestreo y monitoreo	17
2.6.	Puntos de Muestreo y de monitoreo en la Provincia de Tungurahua	17
2.7.	Elaboración del mapa de puntos muestrales	19
2.8.	Instrumentos de medición y herramientas usadas	21
2.9.	Técnicas de muestreo	23
2.10.	Procedimiento de tratamiento de muestras	25
2.11.	Ingreso y análisis de muestras de suelo en la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN)	26
2.12.	Interpretación de los datos	28
2.12.1.	<i>Interpretación de las mediciones obtenidas con el contador Ludlum</i>	28
2.12.2.	<i>Interpretación de los datos obtenidos del análisis por espectrometría gamma</i>	28
2.12.3.	<i>Estadística descriptiva realizada y creación de mapas radiométricos</i>	29

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.1.	Tasa de dosis absorbida (D_{out}) y Tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre ($AEDE_{out}$) de las mediciones tomadas con el instrumento Ludlum	32
3.2.	Actividad específica, tasa de dosis de radiación gamma externa y tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre	34
3.3.	Actividad específica de los aglomerados de unidades geológicas de la provincia de Tungurahua	38
3.4.	Cálculo del estadístico de la Prueba de Shapiron - Wilk	46
3.5.	Mapas de niveles de actividad específica de radionucleidos en la provincia de Tungurahua	47

CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Serie de decaimiento radiactivo del U-235.....	8
Tabla 2-1:	Familia radiactiva del U-238	8
Tabla 3-1:	Familia radiactiva del Th-232.....	9
Tabla 4-1:	Radionucleidos que no pertenecen a ninguna serie o familia radiactiva.	10
Tabla 1-2:	Distribución de puntos muestrales por Geologías.....	17
Tabla 2-2:	Coordenadas y mediciones de los puntos de muestreo de suelos.....	18
Tabla 3-2:	Coordenadas de los puntos de monitoreo tomados	19
Tabla 4-2:	Especificaciones del Contador Ludlum modelo 3.....	21
Tabla 5-2:	Especificaciones del Detector Gamma Ludlum Modelo 44-2	22
Tabla 6-2:	Descripción de herramientas y materiales	23
Tabla 7-2:	Descripción de los equipos	23
Tabla 8-2:	Descripción de software	23
Tabla 9-2:	Registro de las muestras de suelo enviadas para analizar.....	26
Tabla 1-3:	Magnitudes dosimétricas presentes en los puntos monitoreados en la provincia de Tungurahua	32
Tabla 2-3:	Estadística Descriptiva de las magnitudes dosimétricas de los puntos de monitoreo in situ realizado en la provincia de Tungurahua.....	34
Tabla 3-3:	Actividad específica de los radionucleidos presentes en las muestras de suelos de la Provincia de Tungurahua	34
Tabla 4-3:	Actividad específica y magnitudes dosimétricas del Ra-226, Th-232 y K-40, presentes en las muestras de suelo de la provincia de Tungurahua.....	36
Tabla 5-3:	Estadística Descriptiva de la actividad específica del Ra-226, Th-232 y K-40, y de las magnitudes dosimétricas de las muestras de suelo obtenidas en la provincia de Tungurahua.	38
Tabla 6-3:	Concentración de actividad específica de las muestras de suelos en la unidad Facies Distal (QD).....	39
Tabla 7-3:	Concentración de actividad específica de las muestras de suelos en la unidad geológica Facies Volcanosedimentaria (QV)	40
Tabla 8-3:	Concentración de actividad específica de las muestras de suelos en las unidades geológicas Volcano Zumbagua y Unidad Maguzo	40
Tabla 9-3:	Concentración de actividad específica de las muestras de suelos en las unidades geológicas Volcanica Pisayambo y Unidad Aloa Paute	41
Tabla 10-3:	Concentración de actividad específica de las muestras de suelos en la Unidad Agoyan	42

Tabla 11-3: Concentración de actividad específica de las muestras de suelos en los aglomerado de unidades geológicas secundarias	42
Tabla 12-3: Promedio de actividad específica y magnitudes dosimétricas de las unidades geológicas y/o aglomerados en la provincia de Tungurahua	43
Tabla 12-3: Valores de la Prueba de Shapiron Wilk en los estratos o geologías.....	46
Tabla 13-3: Valores de la Prueba de Normalidad de Shapiron-Wilk.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Capacidad de penetración de los tipos de radiaciones a) hoja de papel, b) lámina de metal y c) pared de plomo o concreto.	7
Figura 2-1: Esquema de un contador de centelleo.....	12
Figura 3-1: Esquema del sistema de detección por espectrometría de rayos gamma	14
Figura 1-2: Mapa Físico de la provincia de Tungurahua	16
Figura 2-2: Mapa de geologías de la provincia de Tungurahua	16
Figura 3-2: Mapa en formato “Template” de los puntos de muestreo y monitoreo realizados	20
Figura 4-2: Contador Ludlum Modelo 3.....	21
Figura 5-2: Detector Gamma Ludlum Modelo 44-2.....	22
Figura 6-2: Proceso de recolección de muestras de suelo	24
Figura 7-2: Tratamiento de muestras de suelo	25
Figura 8-2: Cuadro de presentación de las medidas de estadística descriptiva	29
Figura 9-2: Tabla estadística visualizando la media, desviación estándar, mediana, mínimo y máximo.	30
Figura 10-2: Presentación de los diagramas de cajas para los datos recolectados.....	30
Figura 11-2: Prueba de Normalidad de Shapiron-Wilk	31
Figura 12-2: Herramienta de mapeado en ArcMap	31
Figura 1-3: Mapa de niveles de actividad específica del K-40.....	49
Figura 2-3: Mapa de niveles de actividad específica del Ra-226	50
Figura 3-3: Mapa de niveles de actividad específica del Th-232	51
Figura 4-3: Mapa de la dosis efectiva equivalente anual terrestre.....	52

ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Gráfico 1-3:** Comparación de resultados obtenidos a partir de las concentraciones de radionucleidos y mediciones en las muestras PR-11, PR-20 y PR-35.....37
- Gráfico 2-3:** Concentración de K-40 en las geologías de la provincia de Tungurahua.....44
- Gráfico 3-3:** Concentración de Ra-226 en las geologías de la provincia de Tungurahua45
- Gráfico 4-3:** Concentración de Th-232 en las geologías de la provincia de Tungurahua45

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1: Actividad de un radioisótopo	5
Ecuación 2-1: Conversión de Curie a Bequerelio.....	5
Ecuación 3-1: Conversión de Bequerelio a Curie.....	5
Ecuación 4-1: Periodo de semidesintegración	6
Ecuación 5-1: Actividad específica.....	11
Ecuación 6-1: Tasa de dosis de radiación gamma externa	11
Ecuación 7-1: Tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre	11
Ecuación 1-2: Tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre	28
Ecuación 2-2: Calculo analítico del Ra-226	28
Ecuación 3-2: Cálculo analítico del Th-232	29

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PRESENTACIÓN DE LA FICHA TÉCNICA (CRISTIAN SEGURA, 2021)

ANEXO B: PRESENTACIÓN DEL MEMBRETE USADO PARA CADA MUESTRA

ANEXO C: MUESTREO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA

ANEXO D: TRATAMIENTO DE MUESTRAS

ANEXO E: PREPARADO DE MUESTRAS

ANEXO F: ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

ANEXO G: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

ANEXO H: REPORTES DE LOS ANÁLISIS DE MUESTRAS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Cs-137:	Cesio-137
Ra-226:	Radio-226
Rn-220:	Radón-220
Th-232:	Torio-232
U-238:	Uranio-238
Ar-40:	Argón-40
Ca-40:	Calcio-40
K-40:	Potasio-40
Rb-87:	Rubidio-87
Bq:	Bequerelio
CPM:	Cuentas por minuto
CSN:	Consejo de Seguridad Nacional (España)
HPGe:	<i>High-Purity Germanium</i> (Germanio de alta pureza)
Kg:	Kilogramo
mSv:	miliSievert
nGy:	nanoGray
NORM:	<i>Naturally occurring radiative material</i> (Materiales Radiactivos de Origen Natural)
ppm:	Partes por millón
UNSCEAR:	<i>United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i> (Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas)

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue estimar los niveles de concentración de actividad específica de los radionucleidos; Potasio-40 (K-40), Radio-226 (Ra-226) y Torio-232 (Th-232) en un total 44 muestras de suelos recolectadas en la provincia de Tungurahua. Las muestras de suelo se recogieron a una profundidad de 15 a 20 centímetros y se realizó un monitoreo in situ con un equipo Ludlum para radiación gamma en las ubicaciones de donde se extrajeron las muestras, posteriormente se siguió un proceso de secado, triturado y tamizado, para luego ser enviadas a la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares donde se realizaron mediciones por espectrometría gamma con el detector de Germanio Híper Puro (HPGe) y se recibieron informes de la actividad específica de todas las muestras. El análisis estadístico arrojó promedios de actividad específica del K-40 en 445.36 Bq/kg, Ra-226 en 123,83 Bq/kg y el Th-232 en 33,71 Bq/kg, además, se calculó la tasa de dosis de radiación gamma externa que fue de 62,46 nGy/hr y la tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre de 0.08 mSv/año, las mediciones realizadas con el equipo Ludlum estimaron la tasa de dosis absorbida en 0,093 +/- 0,006 μ Sv/hr y la dosis efectiva equivalente anual terrestre en 0,114 +/- 0,007 mSv/año, posteriormente, se crearon mapas de actividad específica del K-40, Ra-226, el Th-232 y dosis efectiva equivalente anual terrestre usando técnicas de interpolación geoestadística. En conclusión, se han obtenido valores elevados de exposición externa por radiación del suelo en los sectores de Chinintahua y Río Negro, además de ser superiores en Ra-226 frente a todas las muestras analizadas que superaron al valor de referencia recomendado por el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas. Se recomienda estudiar sectores aledaños en la parte noreste de la provincia de Tungurahua.

Palabras clave: <RADIONUCLEIDOS>, <ACTIVIDAD ESPECÍFICA>, <RADIACIÓN TERRESTRE>, <GEOESTADÍSTICA>, <TASA DE DOSIS GAMMA>.




1436-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The objective of this research was to estimate the specific activity concentration levels of the radionuclides; Potassium-40 (K-40), Radium-226 (Ra-226) and Thorium-232 (Th-232) in a total of 44 soil samples collected in the province of Tungurahua. The soil samples were collected at a depth of 15 to 20 centimetres and were monitored in situ with Ludlum equipment for gamma radiation at the locations from which the samples were extracted, followed by a process of drying, crushing and sieving, and then sent to the Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares where measurements were made by gamma spectrometry with the Hyper Pure Germanium (HPGe) detector and reports were received on the specific activity of all the samples. The statistical analysis yielded specific activity averages of K-40 at 445.36 Bq/kg, Ra-226 at 123,83 Bq/kg and Th-232 at 33,71 Bq/kg, in addition, the external gamma radiation dose rate was calculated to be 62,46 nGy/hr and the annual terrestrial effective dose equivalent rate was 0.08 mSv/yr, the measurements performed with the Ludlum equipment estimated the absorbed dose rate at 0,093 +/- 0,006 µSv/hr and the annual terrestrial effective dose equivalent at 0,114 +/- 0,007 mSv/yr. Subsequently, specific activity maps were created for K-40, Ra-226, Th-232 and annual terrestrial effective dose equivalent using geostatistical interpolation techniques. In conclusion, high values of external exposure due to ground radiation were obtained in the Chinintahua and Río Negro sectors, in addition to being higher in Ra-226 than in all the samples analysed, which exceeded the reference value recommended by the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. It is recommended to study neighbouring sectors in the north-eastern part of the province of Tungurahua.

Keywords: <RADIONUCLIDES>, <SPECIFIC ACTIVITY>, <TERRADIATION TERRESTRIAL>, <GEOSTATISTICS>, <GAMMA DOSE RATE>.



Dra. Carmita Eulalia Rojas Castro. Mgs.

0602890469

INTRODUCCIÓN

Se conoce que la radiación ambiental y la exposición externa está completamente relacionada debido a que la radiación gamma tiene dependencia por las condiciones geológicas, geográficas y altitud de las diferentes áreas geográficas que existen en el planeta (Akweetelela et al, 2020, pp. 112-114). En muchos países, se han llevado a cabo programas de investigación relacionados con el monitoreo de lugares que emiten un alto nivel de exposición de radiación natural terrestre que puedan afectar a las personas, encontrándose principalmente gases radiactivos como el Rn-222 y Ra-220 y minerales radiactivos de origen natural que se encuentran en el suelo, implicando que se mapeen detalladamente los valores medidos de estos isótopos radiactivos (Lucchetti et al. 2019, p. 4) , siendo de gran interés para estudios científicos ya que, además se encuentran en toda la superficie terrestre dentro de las formaciones geológicas. Encontrándose más de 60 materiales radiactivos de origen natural (NORM) donde la gran parte de estos son isótopos hijos de las series de desintegración del U-Ra y Th, mientras que el K es el más abundante en toda la corteza terrestre y en los suelos. El mejor método para estimar la radiación terrestre y su tasa de dosis absorbida es estudiando el suelo, ya que este presenta una dependencia por la naturaleza de su formación y de la roca madre (Belyaeva et al, 2021, pp. 129-173).

Al estar la provincia de Tungurahua en una zona de origen volcánico y con un volcán activo, se asocia la ocurrencia de isótopos radiactivos contenidos en las rocas de origen volcánico, generalmente estas rocas volcánicas son usadas como materiales de construcción tomando como ejemplo el granito y las areniscas (Capaccioni et al. 2012, p. 26-36). El presente trabajo de investigación está estructurado en tres capítulos, el Capítulo I se enfoca en establecer el conocimiento necesario para haber desarrollado del estudio.

Dentro del Capítulo II describe la estructura para crear el método de muestreo usado y las técnicas usadas para recolectar los datos que fueron preparados para ser analizados en el laboratorio de la SCAN e interpretar la información recopilada en programas como Infostat para su descripción estadística y ArcGis para la creación de los mapas radiométricos.

Y, por último, el Capítulo III contempla los resultados, análisis y discusión que se obtuvieron a partir de la información proporcionada de los análisis, de esta forma se encontraron datos de gran interés que pueden ser considerados para un estudio posterior en sectores o localización similares.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

La espectrometría gamma por HPGe es altamente usada para medir la concentración de materiales radiactivos en suelos y rocas, ya que llega a tener una eficiencia relativa que se encuentra entre el rango de 11,4% - 40%, gracias a ello en Turquía, específicamente en la zona de Sakarya se analizaron 30 muestras de rocas plutónicas que al medirlas contenían radionucleidos de origen natural con medias de K-40 (1295,3 Bq/kg) > Th-232 (132,1 Bq/kg) > Ra-226 (119,7 Bq/kg) debido a las altas concentraciones de granito y metagranito que son consideradas rocas plutónicas y esquistos cloríticos (Yalcin et al, 2020, p. 15).

Otro trabajo que estimó los niveles de actividad específica, de piedra pómez turca en regiones ubicadas en la Anatolia Central y del Este, regiones del Mediterráneo y Egeo encontraron el rango de 12,7 +/- 0,5 a 256,2 +/- 9,1 Bq/kg para el Ra-226, 12,3 +/- 1,0 a 237,9 +/- 12,2 Bq/kg para el Th-232 y 300,1 +/- 5,5 a 1899,0 +/- 65,2 Bq/kg para el K-40 llegan a concluir que este tipo de piedra pómez tiene una actividad específica relativamente pequeña al momento que se la usa para crear materiales de construcción como el cemento, aunque no todas presentan un riesgo, existieron muestras que emitían valores elevados de radiación al ambiente y por lo cual deberían regularse el uso de los mismos (Turhan y Gündüz, 2008, pp 330-340).

Trabajos como el estudio radiológico del sistema volcánico de la región “La Garrotxa” (Catalonia, España), arrojaron una cantidad de radón en el agua menores a 30 Bq/l, contenidos en depósitos aluviales y coluviales. Encontrando así, altos niveles de Radón en esta región volcánica, además, se comprobó la existencia de depósitos de sedimentos que contienen elevadas cantidades medias de concentración de K-40, Th-232 y Ra-226, cuyas medidas fueron 448 +/- 70 Bq/kg, 38 +/- 5 Bq/kg, 35 +/- 5 Bq/kg respectivamente (Moreno et al. 2014, pp. 1-8.). Al este de las Islas Canarias (Lanzarote, Fuerteventura y Gran Canaria, en España), Arnedo y otros (2017, pp. 242-258), midieron la tasa de dosis media de los rayos gamma existentes en el aire a un metro del suelo, obteniendo así 32 nGy/h en Fuerteventura, 25 nGy/h en Lanzarote y 73 nGy/h en Gran Canaria, para tener un estudio radiológico completo del área volcánica, se tomaron unas 350 muestras de tierra, de esta manera se consiguió por espectrometría gamma de alta resolución, las medidas de concentración de los radionucleidos de Ra-226, Th-232 y K-40, se obtuvieron valores medios los cuales fueron 25.2 Bq/kg 28.9 Bq/kg y 384.4 Bq/kg.

En el Ecuador se realizó un estudio que comprendió un análisis de las concentraciones de radionucleidos de la provincia de Chimborazo, donde se tomaron cerca de 120 muestras de suelos a una profundidad de 5 cm que fueron analizadas y dieron como resultados que unidades

geológicas como la Unidad Guasuntos en K-40 sobrepasa en 6,55%, la Unidad Peltetec en Th-232 y K-40 sobrepasan en 25,17% y 29,35% la media mundial de concentración de actividad específica, esto se le atribuyo a la radiactividad emitida por rocas pizarras y basaltos (Camacho y Pucha, 2017, pp. xx). En Tungurahua se realizó un estudio preliminar que considero solo analizar la radiación natural realizando 400 mediciones con un detector portable Geiger Müller en 80 puntos encontrándose a un metro de altura del suelo, además de tomar la correlación existente entre la altitud y la radiación natural estimada, se calculó un promedio de radiación ambiental de 2,08 mSv/año estando un 13,33% debajo de la media mundial (Fiallos y Carrillo, 2017, pp. xvi).

1.2. Planteamiento del Problema

Son pocos los estudios radiológicos realizados recientemente en Ecuador. En el Mapa de Radiación Natural de Fondo de la provincia de Tungurahua, la radiación natural resulto mayor al promedio mundial siendo 2,4 mSv (Fiallos y Carrillo, 2017, pp. xvi). El suelo de la provincia de Tungurahua se ha visto afectado por procesos naturales tal como movimiento de masas (deslizamientos), terremotos, incendios forestales y erupciones volcánicas que redistribuyen los radionucleidos en el medio ambiente provocando un aumento en los niveles de radiactividad natural, en efecto, aumentando la exposición a la radiación terrestre en la población (Atwood 2013, pp. 22-23).

Dentro de la línea base sobre la radiación terrestre en diferentes partes del mundo de la Comisión de Científicos de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas, en sus siglas en inglés (UNSCEAR) no cuenta con estudios en zonas de origen volcánico de la cordillera Norte de América del Sur (UNSCEAR, 2008, pp 233-236). Con ello, se puede plantear la siguiente pregunta ¿Cuáles serían los niveles de concentración de actividad específica en las geologías presentes a lo largo de la provincia de Tungurahua?

1.3. Justificación

De hecho, los procesos de sobre explotación de los recursos naturales, el desarrollo del sector industrial y la expansión de las ciudades y/o centros urbanos, han provocado que existan lugares donde se ha ralentizado la regeneración de la naturaleza, además el mal tratamiento de residuos mineros o de la industria de la construcción provocan que el medio tanto el suelo como el aire contengan altas concentraciones de elementos nocivos y radiactivos que han estado perjudicando a la población. Además, en el sector agrícola ha dependido de fertilizante fosfatados, que han incrementado los niveles de radiactividad natural en el entorno donde se han utilizado, esto de hecho ha mejorado la calidad de los suelos agrícolas.

Estos materiales radiactivos de origen natural (NORM), están presentes en la mayoría de las industrias, pero las industrias de extracción ya sea petrolera o de gas en el proceso de extracción se topan con estos materiales que se encuentran en las geologías y se mezclan con el agua subterránea, dejando que gran parte de estos radionucleidos de origen natural sean transportados a la superficie donde deben ser tratados para evitar el mayor impacto posible al medio ambiente. Esta clase de investigaciones podrían ser el precursor de análisis poblacionales que puedan establecer patrones en la existencia de zonas que puedan ser perjudiciales para las poblaciones, como problemas de salud relacionados con el cáncer y malformaciones genéticas, debido a la alta concentración de radiación natural ya sea por efectos terrestres o provenientes del ambiente o espacio. De igual manera en zonas donde han ocurrido derrames de petróleo o mal tratamiento de residuos mineros

El presente trabajo de integración curricular beneficia a la población de la provincia de Tungurahua, mediante el aporte importante de información base que genera relevancia social, ya que permitirá contribuir a la cuantificación de la radiactividad terrestre, dosis absorbida, dosis efectiva anual, gracias al “CONVENIO DE COOPERACION INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL MINISTERIO DE ENERGIA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES "MERNNR" Y LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO "ESPOCH"”.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Estimar los niveles de concentración de actividad específica radiactiva en el suelo de la Provincia de Tungurahua

1.4.2. Objetivo Especifico

- Diseñar un esquema para los puntos de muestreo de suelos.
- Monitorear y calcular las magnitudes de radiación gamma emitidos por la concentración de radionucleidos.
- Crear un mapa de radiación natural gamma emitido del suelo de la Provincia de Tungurahua.

1.5. Bases Teóricas

1.5.1. Magnitudes Físicas características del Decaimiento Radiactivo

1.5.1.1. Radioactividad

Es un fenómeno que representa la transmutación de un elemento a otro acompañado de la emisión de partículas y radiación en un intervalo de tiempo. Es propio de los isotopos radioactivos (radioisótopo) que conforman un elemento químico, existe radioisótopos naturales como el U-238, Th-232, K-40, así mismo puede haber isótopos radioactivos artificiales como Co-60, Cs-137, entre otros que experimenten este proceso. El cambio de la tasa de núcleos idénticos emitidas por el elemento en un determinado tiempo es definido como actividad del radioisótopo.

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

Ecuación 1-1: Actividad de un radioisótopo.

Sabiendo que:

A : es la Actividad de una muestra en un tiempo establecido.

A_0 : es la Actividad inicial de la muestra.

λ : es la constante de decaimiento radiactivo.

En la actualidad se usa en el Sistema Internacional (SI) el Bequerelio como unidad de actividad, que corresponde a la desintegración por segundo $1Bq = 1dps$.

La relación entre un Curie (unidad de medida de actividad radiactiva antigua) con el Bequerelio es (CSN, 2009, pp. 5-13):

$$1Ci = 3,7 \times 10^{10} Bq$$

Ecuación 2-1: Conversión de Curie a Bequerelio.

$$1Bq = 2,7 \times 10^{-11} Ci$$

Ecuación 3-1: Conversión de Bequerelio a Curie.

1.5.1.2. Periodo de semidesintegración

El período de semidesintegración o periodo $T_{1/2}$, es aquel tiempo necesario para que un determinado número de átomos radiactivos iniciales (N_0) puedan desintegrarse, reduciéndose a la mitad (Del Pilar y Ávila, 2018, pp. 57-59), teniendo así la ecuación:

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

Ecuación 4-1: Periodo de semidesintegración.

1.5.2. Radiación Ionizante

Se la puede definir como aquella interacción que existe entre las partículas y la materia, produciendo la ionización de la misma, creando así partículas con carga eléctrica (iones). Estas radiaciones son de origen atómico, pueden ser electromagnéticas (rayos X, rayos gamma γ) o de naturaleza corpuscular (partículas subatómicas) (Carrera y Benés, 2001, pp. 2-3).

1.5.2.1. Radiación α

Son los núcleos de helio cargados positivamente, contienen una energía muy alta, además de tener una muy baja capacidad de penetración y se las puede detener con una hoja de (Carrera y Benés, 2003, pp. 2-3).

1.5.2.2. Radiación $\beta +$

Es aquella emisión de un positrón, la antipartícula del electrón, tiene un nivel de energía menor que la α , pero una mayor capacidad de penetración y pueden ser absorbidas por una lámina de metal (Carrera y Benés, 2003, pp. 2-3).

1.5.2.3. Radiación $\beta -$

Son electrones que se emiten desde el núcleo y son producto de la transformación de un neutrón en un protón y un electrón (Carrera y Benés, 2003, pp. 2-3).

1.5.2.4. Radiación γ

Es una radiación electromagnética que procede del núcleo del átomo, por lo que tiene un nivel de energía mucho menor que las radiaciones α y β , de manera que tiene una mayor capacidad de penetración, requiriendo de un mayor recubrimiento para absorberla, por lo general suele usarse una pared de plomo o concreto (Carrera y Benés, 2003, pp. 2-3) (Dorado y Viduarre, 2012, pp. 17).

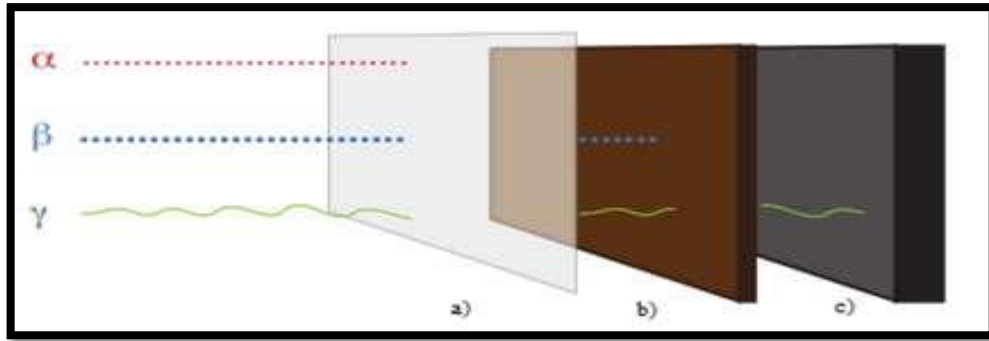


Figura 1-1: Capacidad de penetración de los tipos de radiaciones a) hoja de papel, b) lámina de metal y c) pared de plomo o concreto.

Fuente: (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012).

1.5.3. *Radiación Natural*

Son aquellas fuentes de radiación ionizantes que interactúan con nosotros a todo momento, ya sea como los rayos cósmicos, incorporados en los alimentos, otros en materiales radiactivos que se presentan en la corteza terrestre y el aire, hasta el propio organismo humano contiene sustancias radiactivas (C-14, K-40, etc.) (Dorado y Viduarre, 2012, pp. 7).

1.5.4. *Radiación Terrestre*

Son principalmente los elementos radiactivos naturales, se encuentran distribuidos entre las rocas y los suelos de todo el planeta, constituidos en su mayoría por basalto y granito. Las formaciones de granitos, ubicados en toda la corteza terrestre, contienen concentraciones de torio que fluctúa entre 6 y 30 ppm y de uranio que varía entre 2 y 6 ppm. De cierto modo, existen regiones en donde sus formaciones geológicas y su geoquímica, provoca que las concentraciones de estos elementos radiactivos sean demasiado altas (Benés, 2001, pp. 3-5).

Entre los materiales radiactivos encontrados con mayor proporción en la corteza terrestre y contribuyendo en una alta medida a la dosis de radiación en la población tenemos: a las correspondientes series de U-238 su vida media es muy larga de aproximadamente 4.47×10^8 años, del U-235 su vida media es de 7.04×10^9 años y Th-232 con una vida media de 1.41×10^{10} años, además del K-40 con la vida media de 1.28×10^9 años (Beer, et al, 2012, pp. 19–21). Según estima la UNSCEAR, en el mundo cada persona recibe, un promedio de dosis efectiva cerca a los 0.48 mSv anualmente, siendo esta exposición externa por fuentes terrestres (Crick et al, 2016, pp. 28-30).

1.5.4.1. Radionucleidos en series radiactivas

Son aquellos radionucleidos como el uranio natural que es la mezcla entre tres isótopos, el U-234 con 0.0056%, con 0.7205% es U-235 y el 99.2738% restante es U-238, junto con el Th-235, que producen una serie de desintegraciones radiactivas hasta llegar a un isótopo estable. La serie del Uranio-235 al realizar todo el proceso de desintegración radiactiva llega hasta el Plomo-207 como un isótopo estable (Núñez y Roglá, 2011, pp. 50).

Tabla 1-1: Serie de decaimiento radiactivo del U-235.

Cadena Principal			Cadena Secundaria		
Nucleído	Desintegración	Periodo	Nucleído	Desintegración	Periodo
U-235	Alfa	7,04 x 10 ⁹ años			
Th-231	Beta	25,2 horas			
Pa-231	Alfa	32700 años			
Ac-227	Beta	21,77 años	Ac-227	Alfa	21,77 años
Th-227	Alfa	18,72 días	Fr-223	Alfa	21,8 s
Ra-223	Alfa	11,43 días	At-219	Alfa	54 s
Rn-219	Alfa	3,96 s	Bi-215	Beta	7,4 min
Po-215	Alfa	1,78 ms	Po-215	Beta	1,78 ms
Pb-211	Beta	36,1 min	At-215	Alfa	100 μs
Bi-211	Alfa	2,14 min	Bi-211	Beta	2.14 min
Tl-207	Beta	4,77 min	Po-211	Alfa	0.52 s
Pb-207		Estable	Pb-207		Estable

Fuente: Núñez M., Roglá L. 2011 (Revista LOGOS CIENCIA & TECNOLOGÍA).

Realizado por: Segura C. 2022.

El isótopo Uranio-238 se encuentra en toda la corteza terrestre, se ha calculado que presenta una concentración promedio en los suelos con un valor de 35 Bq/kg, al terminar la serie de desintegración llega al Plomo-206 como un isótopo estable (Núñez y Roglá, 2011, pp. 50-56).

Tabla 2-1: Familia radiactiva del U-238.

Cadena Principal			Cadena Secundaria		
Nucleido	Desintegración	Periodo	Nucleido	Desintegración	Periodo
U-238	Alfa	4,47x 10 ⁸ años			
Th-234	Beta	24,1 días			
Pa-234	Beta	6,70 horas			
U-234	Alfa	245000 años			
Th-230	Alfa	75400 años			
Ra-226	Alfa	1600 años			
Rn-222	Alfa	3,82 días			
Po-218	Alfa	3,11 min	Po-218	Beta	3,11 min

Pb-214	Beta	26,9 min	At-218	Alfa	1,6 s
Bi-214	Beta	19,9 min	Bi-214	Alfa	19,9 min
Po-214	Alfa	163 μ s	Tl-210	Beta	1,30 min
Pb-210	Beta	22,3 años	Pb-210	Alfa	22,3 años
Bi-210	Beta	5,01 días	Hg-206	Beta	8,5 min
Po-210	alfa	138,4 días	Tl-206	Beta	4,20 min
Pb-206		Estable	Pb-206		Estable

Fuente: Núñez M., Rogla L. 2011 (Revista LOGOS CIENCIA & TECNOLOGÍA, vol. 2, 2011).

Realizado por: Segura C. 2022.

Esta última serie que tiene como isótopo padre al torio-232, está presente en rocas, el suelo, agua, plantas y animales, además se ha encontrado en minas bajo tierra elevadas concentraciones de este isótopo, encontrándose además que en el suelo existe un promedio de 6 ppm, teniendo como vida media 14×10^{10} de años, la serie termina con el isótopo estable del plomo-208 (Núñez y Rogla, 2011, pp. 56-61).

Tabla 3-1: Familia radiactiva del Th-232.

Cadena Principal			Cadena Secundaria		
Nucleído	Desintegración	Periodo	Nucleído	Desintegración	Periodo
Th-232	Alfa	$1,4 \times 10^{10}$ años			
Ra-228	Beta	5,75 años			
Ac-228	Beta	6,13 horas			
Th-228	Alfa	1,91 años			
Ra-224	Alfa	3,66 días			
Rn-220	Alfa	55,6 s			
Po-216	Alfa	0,15 s	Po-216	Beta	0,15 s
Pb-212	Beta	10,64 horas	At-216	Alfa	300 μ s
Bi-212	Alfa	1,009 horas	Bi-212	Beta	1,009 horas
Tl-208	Beta	3,052 min	Po-212	Alfa	0,3 μ s
Pb-208		Estable	Pb-208		Estable

Fuente: Núñez M., Rogla L. 2011 (Revista LOGOS CIENCIA & TECNOLOGÍA, vol. 2, 2011).

Realizado por: Segura C. 2022.

1.5.4.2. Radionucleidos que no están en series radiactivas

Son aquellos radionucleidos que no tienen una serie de desintegración, además los radionucleidos que no están en serie radiactivas contribuyen esencialmente a la dosis de radiación terrestre, como el ^{87}Rb y ^{40}K que son dos radionucleidos primordiales ya que estos isótopos decaen de forma directa a un isótopo estable. De los tres isótopos del potasio el ^{40}K es el único inestable, ya que tiende a decaer por una emisión beta (β) a ^{40}Ca o con una probabilidad muy baja llegue a un estado excitado del ^{40}Ar .

El potasio es el séptimo elemento más abundantes en la corteza terrestre y conjuntamente es el sexto elemento más abundante en los océanos. La concentración promedio en la corteza Terrestre tiene un valor de 1.8 mg/kg, sin olvidar la actividad específica que realiza tiene un valor de 0.6 Bq/g en las rocas de la corteza terrestre.

El rubidio-87 también entran dentro de esta lista, ya que emite radiación beta (β), es el dieciseisavo elemento más abundante en las rocas de la corteza terrestre, su concentración promedio es de un total de 1 mg/kg, con una actividad específica correspondiente del 0.07 Bq/kg (Froehlich y Masarik, 2009, pp. 4-5).

Tabla 4-1: Radionucleidos que no pertenecen a ninguna serie o familia radiactiva.

Nucleído	Abundancia relativa (%)	Nucleído Hijo	Vida media (años)
K-40	0,0118	Ar-40, Ca-40	$1,28 \times 10^9$
V-50	0,24	Ti-50, Cr-50	$6,00 \times 10^{15}$
Rb-87	27,85	Sr-87	$4,70 \times 10^{14}$
In-115	96,67	Sb-115	$1,20 \times 10^{13}$
Te-123	0,87	Sb-123	$1,20 \times 10^{13}$
La-138	0,089	Ba-138, Ce-138	$1,10 \times 10^{11}$
Ce-142	11,7	Ba-138	$5,00 \times 10^{15}$
Nd-144	23,8	Ce-140	$2,40 \times 10^{15}$
Sm-147	15,1	Nd-143	$1,06 \times 10^{11}$
Sm-148	11,35	Nd-144	$1,20 \times 10^{13}$
Sm-149	14,0	Nd-145	$4,00 \times 10^{14}$
Gd-152	0,205	Sm-148	$1,10 \times 10^{14}$
Dy-156	0,057	Gd-152	$2,00 \times 10^{14}$
Hf-174	0,163	Yb-170	$4,30 \times 10^{15}$
Lu-176	2,588	Hf-176	$2,20 \times 10^{10}$
Re-187	62,93	Os-187	$4,00 \times 10^{10}$
Pt-190	0,0127	Os-186	$7,00 \times 10^{11}$
Pb-204	1,4	Hg-200	$1,40 \times 10^{17}$

Fuente: Froehlich, 2009 (Environmental radionuclides: Tracers and timers of terrestrial processes).

Realizado por: Segura C. 2022.

1.5.5. Actividad específica

Conocida como la concentración de actividad específica (Bq/ kg) es aquel equilibrio secular para diferentes actividades isotópicas dentro de las cadenas de desintegración, definida por la actividad por unidad de masa de la muestra (Arias y Cortés, 2016, pp. 55-62), expresada en la siguiente ecuación:

$$A = \frac{C_n}{\varepsilon_f P_\gamma t_s m}$$

Ecuación 5-1: Actividad específica.

Donde:

A es la concentración de actividad de un isótopo en unidades Bq/kg, C_n el recuento neto al pico total de energía, ε_f es la eficiencia detectada del pico de energía absoluta, P_γ la probabilidad de emisión por desintegración que corresponde a la energía de rayos gamma específica, t_s equivale al tiempo de conteo en segundos y m la masa de la muestra del suelo en la unidad de kg.

1.5.6. *Magnitudes de Radiación*

1.5.6.1. *Tasa de dosis de radiación gamma externa*

Para analizar la tasa de dosis se toman en consideración las concentraciones específicas de Ra-226, Th-232 y K-40 obtenidas del suelo, con ello se aplica la siguiente ecuación:

$$D_{out} = 0.462C_{Ra} + 0.604C_{Th} + 0.0417C_K$$

Ecuación 6-1: Tasa de dosis de radiación gamma externa.

Siendo en este caso los valores de 0.462, 0.604 y 0.0417 son factores de conversión de Ra-226, Th-232 y K-40 respectivamente, con dichos factores se busca realizar la conversión de actividad específica en dosis absorbida (en unidades hablamos de Bq/kg por nGy /hr).

Además, se puede encontrar los valores de dosis efectiva equivalente anual terrestre, con el resultado de la ecuación (6), teniendo la ecuación:

$$AEDE = D_{out} \times DCF \times OF \times T$$

Ecuación 7-1: Tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre.

Aquí, el factor de conversión de dosis (DCF) tiene un valor de 0.7 Sv/Gy, siendo OF como el factor de ocupación (0.2) usado para dosis externa y T como el tiempo (8760 hr/y), este resultado es medido en mSv/y, se estima que el valor promedio de $AEDE$ en el planeta es de 0.7 mSv/año (Belyaeva et al, 2021, pp. 129-173).

1.5.7. Detectores de radiación

Los detectores de radiación son instrumentos, en su mayoría portátiles y de lectura directa, que arrojan medidas con respecto a la tasa de radiación, en otras palabras, la dosis por unidad de tiempo. Siendo muy útiles en la toma de medidas de contaminación radiactiva o radiactividad ambiental (Benés, 2001, pp. 3-5). Se conoce que existen al menos tres clases de detectores, el mayormente usado son los detectores gaseosos o mejor conocido contador Geiger-Müller, los detectores de centelleo y los detectores semiconductores, el contador Geiger-Müller funciona basado en el fenómeno de ionización, mientras que los detectores de centelleo y semiconductores, toman en consideración el fenómeno de luminiscencia (Moreno,2001, pp. 218-220).

1.5.7.1. Detector de centelleo

Estos detectores utilizan en su mecanismo sustancias, que tienen la propiedad de emitir haces de luz luego de que por ellas se deposite energía dada por el cruce de una partícula que está cargada, existiendo diferentes tipos de sustancias que pueden ser cristalino o líquidos, además, de ser susceptibles cuando interaccionan con un haz de partículas alfa, beta, del tipo gamma, entre otros.

Un equipo denominado contador de centelleo está compuesto por cuatro componentes esenciales, los cuales son: una sustancia de carácter luminiscente, un fotomultiplicador, para la espectrometría un selector de pulsos y por último la escala de conteo. Tienen muchas funciones, por ende, son capaces de medir todos los tipos de radiación conocidos, teniendo una gran sensibilidad (Bushong y Stewart, 2020, pp. 563-564).

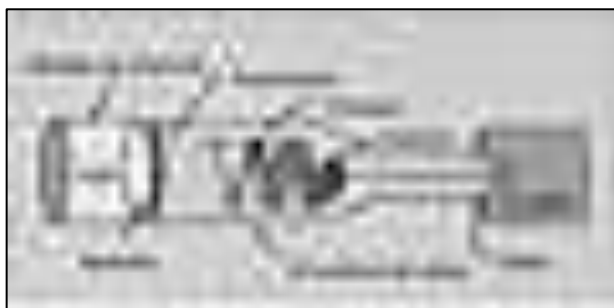


Figura 2-1: Esquema de un contador de centelleo.
Fuente:(Bushong & Stewart 2017).

1.5.8. Espectrometría de rayos gamma de alta resolución

Es aquella técnica de medición no destructiva, recurrentemente usada para analizar radionucleidos que pueden emitir rayos gamma en muestras obtenidas del ambiente (sedimentos, suelos, aguas superficiales y subterráneas, alimentos, rocas). Para lograr una calibración de energía total, es

necesario precisar la determinación de los radionucleidos antropogénicos y naturales en las muestras ambientales. Además, existen casos donde, el estándar de rayos gamma emitidos por un punto o superficies volumétricas son inaccesibles, los materiales de referencia certificados (CRMs) logran ser fuentes de calibración adecuadas para lograr determinar la eficiencia de detección los detectores de Germanio Hiperpuro (HPGe).

Los CRM son de origen natural, entonces son una solución eficaz ya que su costo es bajo y por tener presente radionucleidos con vidas medias muy largas con respecto a fuentes estándar. Entre sus principales ventajas, tenemos la facilidad para ser administradas en laboratorios para que puedan reproducir geometrías de conteo y rangos de densidad específicos. El uso de estos CRM, es adecuado para realizar la determinación de la radiactividad ambiental, ya que contiene radionucleidos que tienen un rango de energía desde 46,5 keV(^{210}Pb) hasta 2614 keV(^{208}Tl) (Xhixha et al. 2016, pp. 1507-1517).

Al ser un método analítico la espectrometría de rayos gamma ha permitido cuantificar e identificar los isotopos que emiten radiación gamma. Con tan solo una medida, un intervalo de tiempo definido y una preparación estándar de la muestra, este tipo de espectrometría de rayos gamma con HPGe llega a ser mucho más eficiente.

Entonces, ya sea la muestra ambiental o una fuente de radiación gamma que será analizada debe ser colocada sobre el detector HPGe, el cual esta enfriado por nitrógeno líquido y con una fuente de alto voltaje. Son emitidos rayos gamma por lo fuente en análisis que logran incidir sobre el detector, generan pulsos eléctricos que son producto de la ionización del medio en el que se encuentra siendo amplificados, analizados y registrados por dispositivos electrónicos que están conectados con el espectrómetro.

Por lo que, el parámetro que determina dicho método es la actividad específica (Bq/kg) emitido por todos los radionucleidos naturales o artificiales que se encuentran en la muestra o fuente de rayos gamma en estudio, llegando a estar presente cantidades superiores a las mediciones que detecta el sistema. Siendo así que la cantidad mínima detectada difiere por el tipo y el número de radionucleidos presentes en la muestra. Dicho esto, es posible realizar un esquema que pueda explicar el sistema de detección y adquisición de los datos obtenidos por la espectrometría de rayos gama de alta resolución, el cual es:

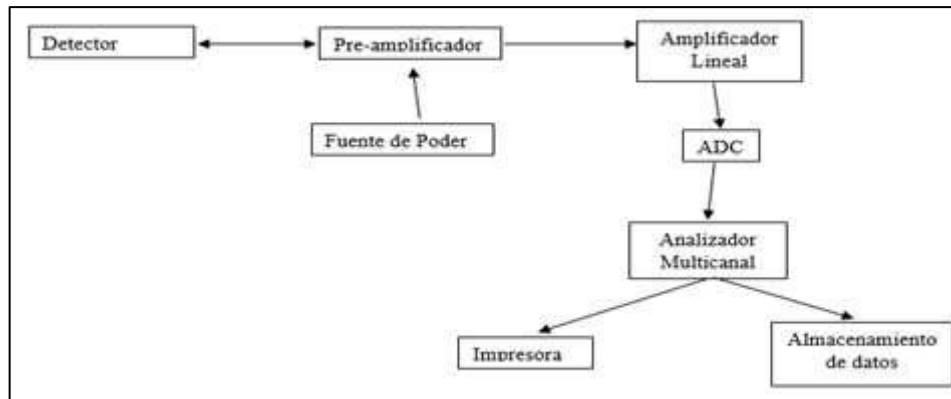


Figura 3-1: Esquema del sistema de detección por espectrometría de rayos gamma.

Fuente: Satán, Araceli. 2016.

Conociendo que la dependencia de la altura del pulso eléctrico que se ha generado está dada por la energía del fotón gamma que incide, dichos pulsos son registrado, clasificados y por último contados. De esta forma se obtiene un espectro de energías dentro de un histograma con el número de pulsos o las desintegraciones totales detectadas en el tiempo que ha durado la medición, se consigue el pico de emisión total que es característico de la energía incidente específica.

Para identificar los radionucleidos, se procede a usar programas o softwares que contienen bibliotecas de radionucleidos basadas en la emisión de energías de los fotones gamma que corresponderán a cada una de las transiciones y con sus respectivas probabilidades de emisión por cada desintegración (Satán, 2019, pp.44-46).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de Investigación

La investigación que se ha realizado es de carácter cuantitativo con alcance descriptivo y correlacional, se toma en consideración como variable independiente el suelo que conforma la provincia de Tungurahua, por otra parte, la variable experimental en el estudio, corresponde a los niveles de concentración de actividad específica de radionucleidos (Bq/kg) emitido de las muestras de suelos de la provincia de Tungurahua.

2.2. Diseño de Investigación

A continuación, se detalla las estrategias utilizadas para lograr resolver los problemas al momento de ejecutarse el estudio, siendo recolectadas muestras de suelos que fueron tratadas y enviadas a análisis a la subsecretaría de control y aplicaciones nucleares (SCAN). Donde los resultados obtenidos fueron utilizados para establecer su estadística descriptiva y realizar mapas de las actividades específicas de los radionucleidos K-40, Ra-226 y Th-232 que luego fueron examinados.

2.3. Localización del Estudio

La provincia de Tungurahua está situada en la Sierra Centro del Ecuador, cuya capital es el cantón Ambato, siendo la segunda provincia más pequeña del país, con una extensión de 3335 kilómetros cuadrados de superficie, lo que representa el 1,24% del espacio nacional, además de encontrarse a 2620 m.s.n.m. Específicamente, está ubicada en los hemisferios Sur y Occidental del planeta, está comprendida entre los paralelos 00°55'00''S y 01°35'00'' y los meridianos 78°06'51'' y 78°55'49''. El 49,32% de su superficie corresponde a áreas naturales siendo alrededor de 167.161 hectáreas (HGPT, 2021).



Figura 1-2: Mapa Físico de la provincia de Tungurahua.
Fuente: (Instituto Geográfico Militar, 2012).

2.4. Población de Estudio

Al tener presente la formación litológica del suelo de la provincia de Tungurahua y el difícil acceso a sectores montañosos se tomaron en total 44 puntos de muestreo gracias al apoyo logístico proporcionado por el Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA) de la ESPOCH, se consideraron 6 aglomerados que contienen las siguientes formaciones geológicas: la unidad Facie Distal; la unidad geológica Facie Volcanosedimentaria; las unidades geológicas Volcano Zumbagua y Unidad Maguzo; las unidades geológicas Volcánica Pisayambo y Unidad Aloa Paute; la Unidad Agoyan; aglomerado de unidades geológicas secundarias (compuesta por Formación de Granito, Formación Tena y Formación Upano). Adicionalmente se tomaron 15 puntos de monitoreo.

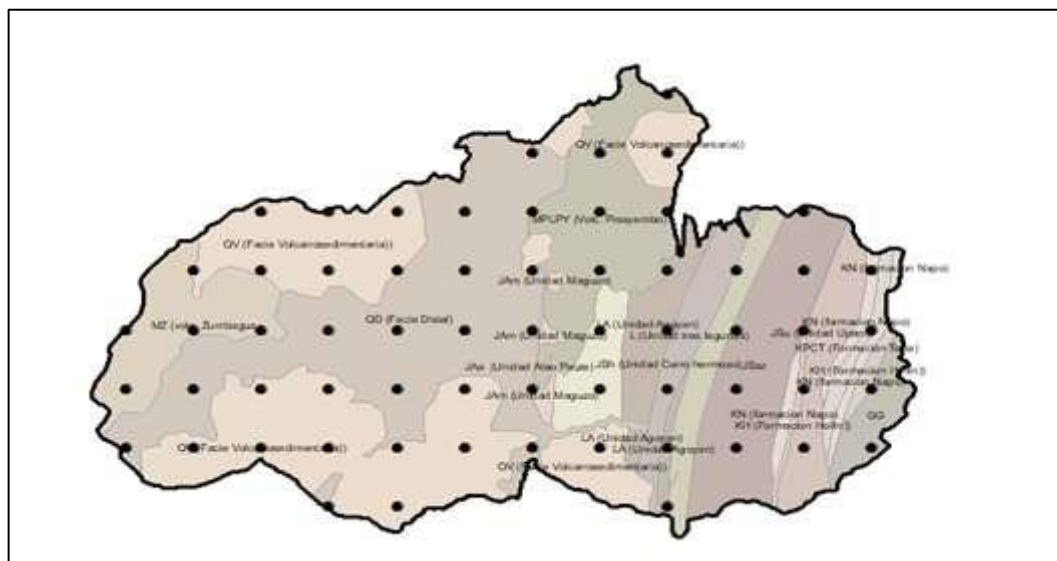


Figura 2-2: Mapa de geologías de la provincia de Tungurahua.
Fuente: (GEAA-ESPOCH, 2021).

2.5. Determinación de los puntos de muestreo y monitoreo

Inicialmente se consideró el método de muestreo sistemático, la distancia entre la mayoría de puntos de muestreo fue de 7,5 km la distancia se midió con la herramienta Fishnet propia del software ArcMap 10.3 en la provincia de Tungurahua para conocer la existencia de algún tipo de homogeneidad, pero debido a las características del terreno fue imposible ingresar a la mayor parte del sector Noreste de la provincia donde se encuentra el Parque Nacional Llanganates, por ello solo se consideraron 5 geologías y 1 aglomerados. Con la finalidad de cubrir toda el área provincial, así como cubrir todas las geológicas del área.

Tabla 1-2: Distribución de puntos muestrales por Geologías.

GEOLOGÍAS Y/O AGLOMERADOS	LITOLOGÍA	Nº DE PUNTOS MUESTRALES
Unidad Facie Distal (QD)	Piroclastos primarios y retrabajados	11
Unidad geológica Facie Volcanosedimentaria (QV)	Areniscas tobáceas, conglomerados, diatomitas	11
Unidades geológicas Volcano Zumbagua y Unidad Maguzo (MZ y JAm)	Piroclasto y lavas intermedias Metagrauvas y metalavas	6
Unidades geológicas Volcánica Pisayambo y Unidad Aloa Paute (MPLP y JAa)	Andesitas a riolitas y piroclastos	7
Unidad Agoyan (LA)	Esquistos y gneises semipelíticos	4
Aglomerado de unidades geológicas secundarias (UGS)	Granito, lutitas, capas rojas, esquistos, metalavas y metagrauvas	5

Realizado por: Segura C. 2021.

2.6. Puntos de Muestreo y de monitoreo en la Provincia de Tungurahua

Entonces, las ubicaciones geográficas de cada uno de los puntos de muestreo de suelos fueron:

Tabla 2-2: Coordenadas y mediciones de los puntos de muestreo de suelos.

Código muestra	Coordenadas (UTM) WGS84 Zona 17S		Altura (m)
	X	Y	
PR-01	740944	9844324	4086
PR-02	732944	9842635	4187
PR-03	733697	9850774	4065
PR-04	740599	9851167	3924
PR-05	737378	9855353	3789
PR-06	739395	9860042	3694
PR-07	741522	9868628	3971
PR-08	747463	9858150	3143
PR-09	755922	9857852	2871
PR-10	755758	9850507	3442
PR-11	770261	9875110	2633
PR-12	771853	9880066	2881
PR-13	778825	9878685	3007
PR-14	771225	9865587	2710
PR-15	771140	9856891	2724
PR-16	763328	9851347	2921
PR-17	762471	9842922	3143
PR-18	763434	9873261	3275
PR-19	764298	9865705	3299
PR-20	755357	9866661	3342
PR-21	786023	9880786	3889
PR-22	786025	9880769	3660
PR-23	781426	9872066	3573
PR-24	776526	9865181	2704
PR-25	780068	9857746	2734
PR-26	784339	9851238	3082
PR-27	786706	9852769	2922
PR-28	779493	9849015	2165
PR-29	778530	9843498	2471
PR-30	810522	9848471	1609
PR-31	784601	9848920	2727
PR-32	785696	9850426	3134
PR-33	785907	9842813	2194
PR-34	770943	9843352	3414
PR-35	814682	9842160	1282
PR-36	808400	9844021	1288
PR-37	800837	9845036	1545
PR-38	789047	9851184	2354
PR-39	788983	9855361	2548

PR-40	811712	9850631	1637
PR-41	790022	9857892	2628
PR-42	808841	9840269	1504
PR-43	749341	9851300	3652
PR-44	748507	9865418	3794

Realizado por: Segura C. 2021.

Además, se presentan los puntos de monitoreo con el contador Ludlum junto al detector gamma usado para tomar mediciones de la radiación gamma en cuentas por minuto (cpm) que se obtuvieron en toda la provincia de Tungurahua.

Tabla 3-2: Coordenadas de los puntos de monitoreo tomados.

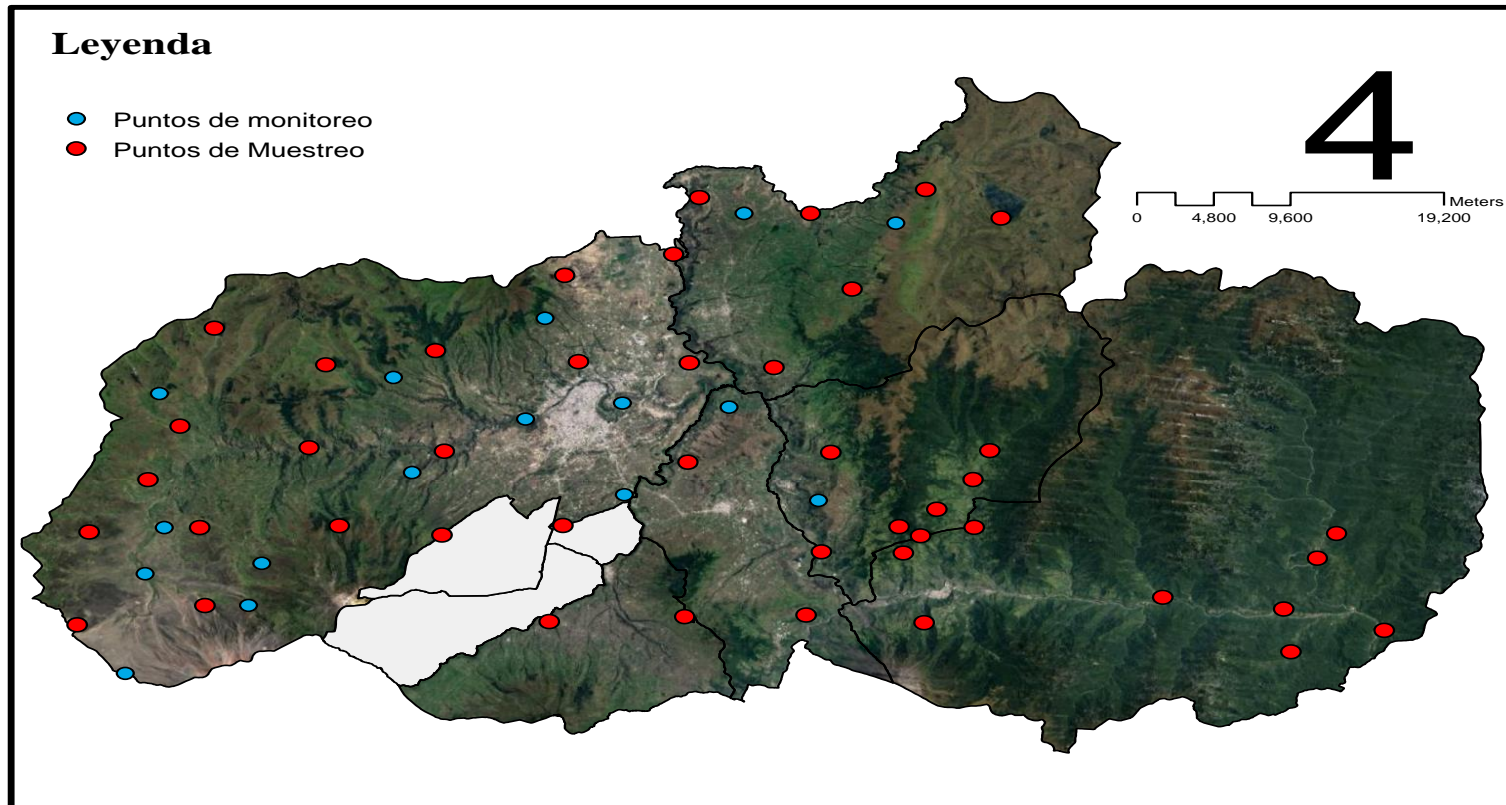
Código monitoreo	Coordenadas (UTM) WGS84 Zona 17S		Altura (m)
	X	Y	
PM-01	743654	9844324	4092
PM-02	744489	9848021	3787
PM-03	753910	9855984	3207
PM-04	735942	9838376	4342
PM-05	737187	9847120	3898
PM-06	738393	9851167	3580
PM-07	738096	9862886	3906
PM-08	775073	9876373	3081
PM-09	778825	9878685	2828
PM-10	773719	9861719	2570
PM-11	767169	9854021	2698
PM-12	755357	9866661	3342
PM-13	760978	9860647	2957
PM-14	767049	9862050	2448
PM-15	763276	9851655	2934

Realizado por: Segura C. 2022.

2.7. Elaboración del mapa de puntos muestrales.

Con la ayuda del software ArcMap 10.4.1 a una escala de 1: 400000 se procedió a usar mapas guardados en la base de datos de Arcgis Online, lo cual facilitó la creación del archivo “Tungurahua.shp”, donde se ubicaron los 44 puntos de muestreo de suelos recolectados y los 15 puntos de monitoreo, usando archivos de texto (.txt) para que sean transformadas en el software y logren visualizarse en el mapa de la provincia de Tungurahua.

MAPA DE PUNTOS ANALIZADOS EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA



Realizado Por: Cristian Segura

Figura 3-2: Mapa en formato “Template” de los puntos de muestreo y monitoreo realizados.

Realizado Por: Segura C. 2022.

2.8. Instrumentos de medición y herramientas usadas

- Contador Ludlum modelo 3



Figura 4-2: Contador Ludlum Modelo 3.

Fuente:(Segura Cristian, 2021).

Es un medidor analógico portátil de medición de radiación que tiene precisión y durabilidad, además, tiene la capacidad de admitir detectores de centelleo y GM (Geiger- Müller), siendo su unidad de medición las cuentas por minuto (cpm).

Tabla 4-2: Especificaciones del Contador Ludlum modelo 3.

Uso	Detección gamma de bajo nivel
Detectores compatibles	GM, centelleo
Rango de detección	Dependiente de la sonda o detector
Linealidad	Lectura dentro del 10% del valor real con el detector conectado
Dial del medidor	0 - 500 kcpm, PRUEBA DE BAT
Controles	<p>Interruptor selector giratorio: Cambia entre: Instrumento apagado; Comprobación de la batería; Rangos: x0.1, x1, x10, x100</p> <p>Interruptor de respuesta: alterna entre RÁPIDO (4 s) o LENTO (22 s) del 10% al 90% de la lectura final.</p> <p>Botón de reinicio: pone a cero el medidor</p> <p>Interruptor de audio: Encendido / apagado de audio, altavoz integrado, superior a 60 dB a 0,6 metros (2 ft.).</p> <p>Controles de calibración: accesibles desde la parte frontal del instrumento (cubierta protectora incluida)</p>
Alto voltaje	Ajustable de 400 a 1500 V DC
Umbral	Fijo a $-30 \text{ mV} \pm 10 \text{ mV}$
Poder	Dos baterías tipo "D"
Conector	Serie "C"
Dimensiones	16,5 x 8,9 x 21.6 cm (6,5 x 3,5 x 8,5 in.)
Peso	1.6 kg (3,5 libras)
Aplicaciones	Decaimientos alfa, beta y gamma

Fuente: (LUDLUM MEASUREMENTS. INC. 2016).

Realizado por: Segura C. 2021.

- Detector Gamma Modelo 44-2



Figura 5-2: Detector Gamma Ludlum Modelo 44-2.

Fuente:(LUDLUM MEASUREMENTS, INC. 2021).

Tabla 5-2: Especificaciones del Detector Gamma Ludlum Modelo 44-2.

Aplicaciones	Decaimientos gamma
Tipo de detector	Centelleo de NaI (TI), 2,5 cm de diámetro
Sensibilidad (¹³⁷Cs gamma)	175 cpm por 1 μR/hr o 0,01 μSv/hr
Rango de energpia recomendado	20 keV a 1.5 MeV
Fondo típico (en el campo de 10 μR/h)	1800 cpm
Eficiencia (4π)	¹²⁵ I: 7% ⁵⁷ Co: 10% ⁶⁰ Co:3% ¹³⁷ Cs: 3%
Voltaje de funcionamiento	De 500 a 1200 V
Conector	Serie "C"
Dimensiones	5,1 x 21 cm
Peso	0,5 kg (1 libras)

Fuente: (LUDLUM MEASUREMENTS. INC. 2021).

Realizado por: Segura C. 2021.

Las tablas 6-2, 7-2 y 8-2, muestran las herramientas, materiales, equipos y softwares que se usaron para tratar las muestras de suelos y para el posterior análisis de los resultados obtenidos.

Tabla 6-2: Descripción de herramientas y materiales.

Herramientas	Características	Uso
Pala de jardinería	Metálica, señalada en 20 cm	Recolección de muestra de suelo de 15 a 20 cm.
Trípode	Altura máxima de 1.20 metros	Como base para que el contador pueda estar a una altura definida y sea capaz de tomar mediciones similares.
Estacas	Metálicas de 30 cm	Delimitación del área de recolección de la muestra de suelo.
Pala	Metálica	Recolección y obtención de las muestras de suelos
Bolsas plásticas ziploc	Bolsas herméticas, dimensiones (27 cm x 28 cm)	Depósito y transporte de las muestras de suelos recolectadas.
Franelas	Hechas de lana	Limpieza para los instrumentos usados en la recolección.
Bandejas	De aluminio de dimensiones: 32 cm x 27 cm	Secado de las muestras de suelo en el proceso de pretratamiento

Realizado por: Segura C. 2021.

Tabla 7-2: Descripción de los equipos.

Equipo/ Material	Características	Uso
Balanza digital	Sensibilidad: 1 gramo	Pesado de las muestras de suelo en el pretratamiento
Mufla	Temperatura a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$	Secado de las muestras en el proceso de pretratamiento
Computadora	HP Core i5 portátil	Procesamiento de datos y su respectivo almacenamiento

Realizado por: Segura C. 2021.

Tabla 8-2: Descripción de software.

Software	Licencia	Uso
ArcGis	Licencia pagada	Creación de mapas
Infostat	Libre acceso	Procesamiento y graficado de datos

Realizado por: Segura C. 2021.

2.9. Técnicas de muestreo

- Trabajo de campo

En cada uno de los puntos de muestreo se usó un GPS marca Garmin para llegar a respectivas localizaciones, además, se consideraron rutas con una mayor accesibilidad vial, en algunos casos los sectores de recolección de muestras eran inaccesibles, siendo reubicados los puntos de

muestreo en sectores no cultivados o en lugares ubicados a 0,5 o 1 kilómetro de zonas pobladas más cercanas del punto de muestreo inaccesible y en concesiones mineras.

Se estableció un área de 1 m² que no contenga abundante vegetación, para luego excavar con una pala a una profundidad de entre 15 - 20 cm, está considerada dentro del rango establecido en guías internacionales (0- 30 cm de profundidad) (UNSCEAR,1977, pp. 72-73). recolectando 5 submuestras de suelo dentro del área, las submuestras de suelo se mezclaron para homogenizarlas, luego se las empaquetó en bolsas plásticas con cierres herméticos, las herramientas usadas se presentan en la tabla 6-2-

Con la finalidad de evitar que las muestras se vean contaminadas, después de tomar cada una de las muestras se limpiaron las herramientas por completo con franelas de lana. Conjuntamente, en cada uno de los puntos de recolección de muestras de suelo, se procedió a tomar cinco medidas con un contador Ludlum modelo 3 conectado a un detector gamma modelo Ludlum serie 44-2 que midió en cuentas por minuto (cpm) en un lapso de tiempo de 10 minutos, este proceso de mediciones se realizó de igual forma en los puntos de monitoreo que se tomaron.

Este proceso se lo puedo representar en el siguiente diagrama de flujo:

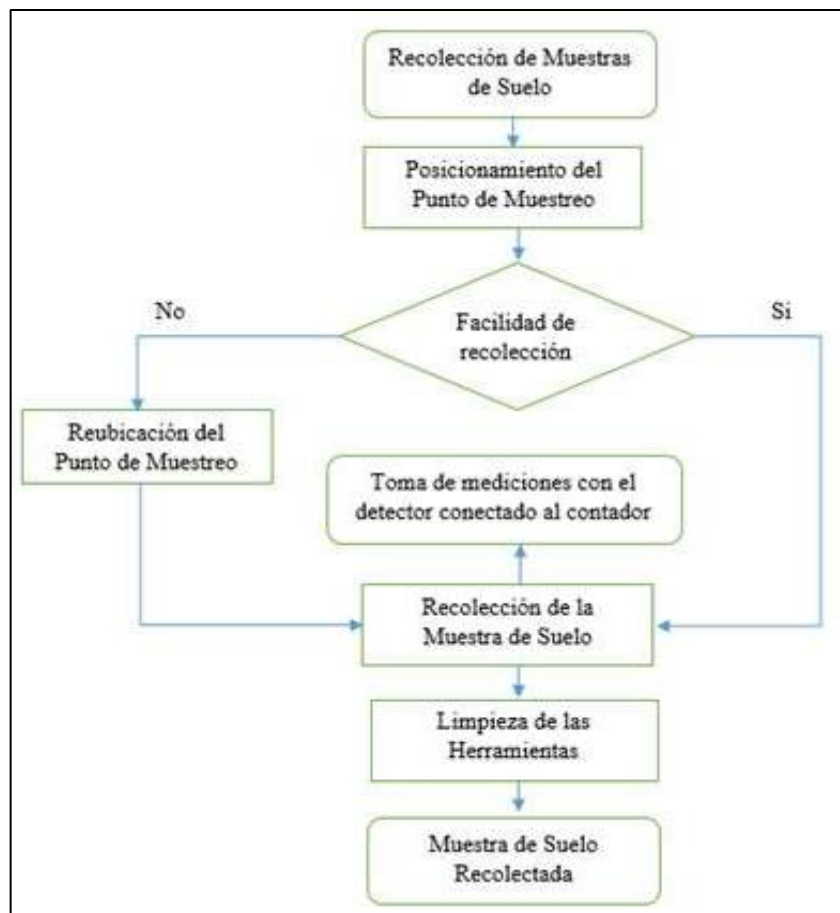


Figura 6-2: Proceso de recolección de muestras de suelo.

Realizado por: Segura C. 2021.

2.10. Procedimiento de tratamiento de muestras

En el Laboratorio de Bioremediación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ya obtenidas las 44 muestras de suelo se procedió a tratarlas, siguiendo el proceso:

- Primero se pesó las muestras de suelo hasta un total de 2 kg cada una de ellas y ubicarlas en bandejas de dimensiones de 32 cm * 27 cm.
- Luego se colocó la muestra de suelo dentro del equipo “Mufla”, el equipo se ajustó a una temperatura de 110 °C aproximadamente al cabo de unas 48 y/o 72 horas las muestras se secaron.
- Se realizó un triturado de piedras y reducción de las muestras de suelo.
- Por último, se usó un tamiz de 850 o 1000 nm para retener la mayor parte de residuos orgánicos y piedras que no pasen por el tamiz.
- La muestra de suelo que resulto del proceso de tamizado se la reubicó en una bolsa plástica hermética para enviarla a su respectivo análisis.

Estos pasos pueden ser representados en el siguiente diagrama:

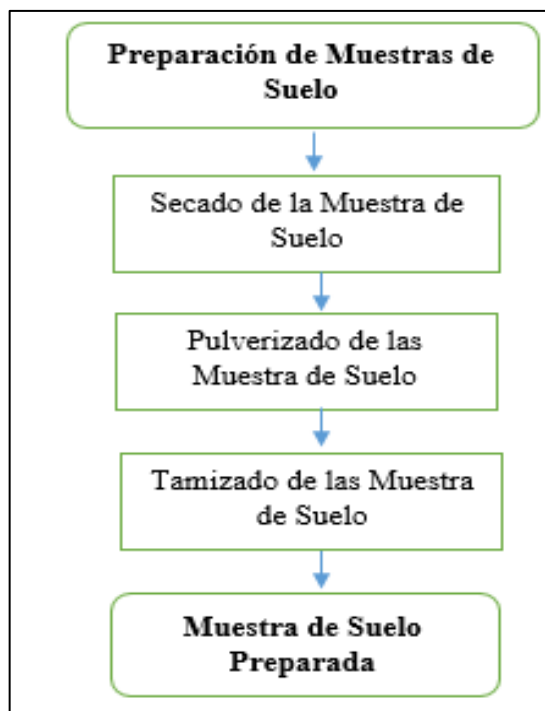


Figura 7-2: Tratamiento de muestras de suelo.

Realizado por: Segura C. 2021.

2.11. Ingreso y análisis de muestras de suelo en la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN)

- Ingreso de las muestras de suelos

Al tener las muestras de suelo ya preparadas, fueron ingresadas al laboratorio perteneciente a la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (SCAN) en la ciudad de Quito. De acuerdo a las especificaciones dadas por los técnicos de la SCAN, se recomendó enviar cada una de las muestras de suelo con una masa de entre 1,0 y 1,3 kg para que sean analizadas, además, se aplicaron membretes tomando las siguientes consideraciones; Coordenadas, Altura, Lugar de recolección, Tipo de muestra, Número de muestra, Fecha de Ingreso y Encargado de entregar, tal y como se muestra en el Anexo B.

Tabla 9-2: Registro de las muestras de suelo enviadas para analizar.

CÓDIGO ARAD	Altura (m.s.n.m)	PESO empaquetado (gr)	Lugar de recolección	Tipo de suelo
ARAD-2021-057.01	4086	1000	Pilahuin	Arenoso
ARAD-2021-057.02	4187	1000	Pilahuin	Arcilloso
ARAD-2021-057.03	4065	1000	Pilahuin	Andisol (color oscuro)
ARAD-2021-057.04	3924	1000	Pilahuin	Mollisol (color marrón)
ARAD-2021-057.05	3789	1000	Pilahuin	Andisol (color oscuro)
ARAD-2021-057.06	3694	1000	Pilahuin	Andisol (color oscuro)
ARAD-2021-057.07	3971	1000	Pilahuin	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.08	3143	1000	San Antonio de Pasa	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.09	2871	1000	San Antonio de Pasa	Mollisol (color marrón)
ARAD-2021-057.10	3442	1000	Tisaleo	Extraído de una cantera
ARAD-2021-057.11	2633	1300	Chinintahua	Extraído de una cantera
ARAD-2021-057.12	2881	1300	Chinintahua	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.13	3007	1300	Yanayacu	Andisol (color oscuro)
ARAD-2021-057.14	2710	1300	Ambato	Mollisol (color marrón)
ARAD-2021-057.15	2724	1300	El Rosario	Mollisol (color marrón)
ARAD-2021-057.16	2921	1300	Moltavo	Mollisol (color marrón)
ARAD-2021-057.17	3143	1300	Mocha	Mollisol (color marrón)
ARAD-2021-057.18	3275	1300	Pillaro	Mollisol (color marrón)

ARAD-2021-057.19	3299	1300	Ambato	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.20	3342	1300	Ambato	Extraído de una cantera (áridos)
ARAD-2021-057.21	3889	1300	Pillaro	Andisol (color oscuro)
ARAD-2021-057.22	3660	1000	Pillaro	Andisol (color oscuro)
ARAD-2021-057.23	3573	1200	Pillaro	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.24	2704	1200	Patate	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.25	2734	1000	Patate	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.26	3082	1200	Baños	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.27	2922	1200	Baños	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.28	2165	1300	Patate	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.29	2471	1200	Cotalo	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.30	1609	1000	Baños	Andisol (color oscuro)
ARAD-2021-057.31	2727	1200	Baños	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.32	3134	1000	Baños	Andisol (color oscuro)
ARAD-2021-057.33	2194	1300	Baños	Andisol (color oscuro)
ARAD-2021-057.34	3414	1300	Huambaló	Andisol (color oscuro)
ARAD-2021-057.35	1282	1200	Río Negro	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.36	1288	1300	Río Negro	Arenoso
ARAD-2021-057.37	1545	1300	Río Verde	Andisol (color oscuro)
ARAD-2021-057.38	2354	1200	Baños	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.39	2548	1300	El Triunfo	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.40	1637	1100	Río Negro	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.41	2628	1300	El Triunfo	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.42	1504	1300	Río Negro	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.43	3652	1200	Pilahuin	Inceptisol (color marrón claro)
ARAD-2021-057.44	3794	1300	Tiliví	Andisol (color oscuro)

Realizado por: Segura C. 2022.

- **Análisis de las muestras**

De acuerdo a los técnicos del laboratorio de la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares se utilizó el espectrómetro gamma GCD-40180X, cuyo principio de funcionamiento es el siguiente:

- Los rayos gamma, que son emitidos por la muestra que esta interaccionando con el detector de cristal, da lugar a la formación de pares electrón-hueco que se trasladan accionados por un campo eléctrico.
- Aquellos electrones que se han generado, son recolectados por electrodos, formando un pulso eléctrico.
- La intensidad del pulso generado debe llegar a un convertidor digital, llegando a convertirse en un valor medible y clasificándola en canales.

- Estos valores llegan hasta el analizador multicanal donde son analizado y clasificados dependiendo de su energía y proporcional a la altura del impulso.
- Para terminar, los espectros y los tratamientos de dichos datos llegan a ser visualizados en un ordenador (Satán, 2016, pp 46-48).

2.12. Interpretación de los datos

2.12.1. Interpretación de las mediciones obtenidas con el contador Ludlum

Como se tomaron 5 mediciones por cada punto de muestro de suelo y de monitoreo de radiación gamma terrestre, se procedió a sacar un promedio en cada punto monitoreado, obteniendo así 59 medidas, con lo que se realizó su estadística descriptiva.

Para obtener las magnitudes dosimétricas para las mediciones registradas con el medidor Ludlum, se toma en consideración la sensibilidad de la sonda Ludlum 44-2 que contiene un factor de conversión establecido ($175 \text{ cpm} = 0,1 \mu\text{Sv/hr}$) (LUDLUM MEASUREMENTS, INC. 2021.). Esta conversión permitió calcular la tasa de dosis absorbida (D_{out} , $\mu\text{Sv/hr}$), con este resultado es posible reescribir la ecuación (7-1) que es la Tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre de la siguiente forma:

$$AEDE_{out} = 0.7 * D * T * F */10^3$$

Ecuación 1-2: Tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre.

Donde T es el número total de horas en un año (8760 horas/año) y F es aquel factor de ocupación exterior con un valor de 0.2 (Lucchetti et al. 2019, pp. 4-6).

2.12.2. Interpretación de los datos obtenidos del análisis por espectrometría gamma

De las 44 muestras de suelos se recibieron las respectivas estimaciones de actividad específica de los siguientes radionucleidos; Bi-214, Pb-214, Ac-228, Pb-212 y K-40, que fueron registradas y organizadas.

Los valores de los radionucleidos Ra-226 y Th-232 fueron calculados de manera indirecta, gracias al cálculo del valor medio de sus respectivos radionucleidos hijos, productos de la desintegración en un equilibrio secular (Pb-214, Bi-214 para el Ra-226 y Ac-228, Pb-212 para el Th-232) (Turhan y Gündüz, 2008, pp 330-340) (Belyaeva et al. 2021, p. 129).

$$226_{Ra} = \frac{214_{Pb} + 214_{Bi}}{2}$$

Ecuación 2-2: Calculo analítico del Ra-226.

$${}^{232}\text{Th} = \frac{{}^{212}\text{Pb} + {}^{228}\text{Ac}}{2}$$

Ecuación 3-2: Cálculo analítico del Th-232.

Se procedió a calcular la tasa de dosis de radiación gamma exterior mediante la ecuación (6-1) que está definida por las unidades nGy/hr. A partir del resultado de dosis de radiación gamma exterior se puede obtener tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre que se obtiene a partir de la ecuación (7-1).

2.12.3. Estadística descriptiva realizada y creación de mapas radiométricos

Para realizar la descripción estadística, se usó el software “Infostat” que contiene una interfaz amigable, ya que desde la barra de herramientas se elige la opción estadística, donde se selecciona haciendo click en la opción medidas de resumen y tenemos una gama de valores estadísticos que podemos usar, donde elegimos solo lo marcado en la Figura 6-2.



Figura 8-2: Cuadro de presentación de las medidas de estadística descriptiva.

Fuente: (Infostat, 2022).

Proporcionando los valores estadísticos descriptivos que se procedieron a usar para relacionar las medidas de actividad específica y las medidas dosimétricas que se han calculado.

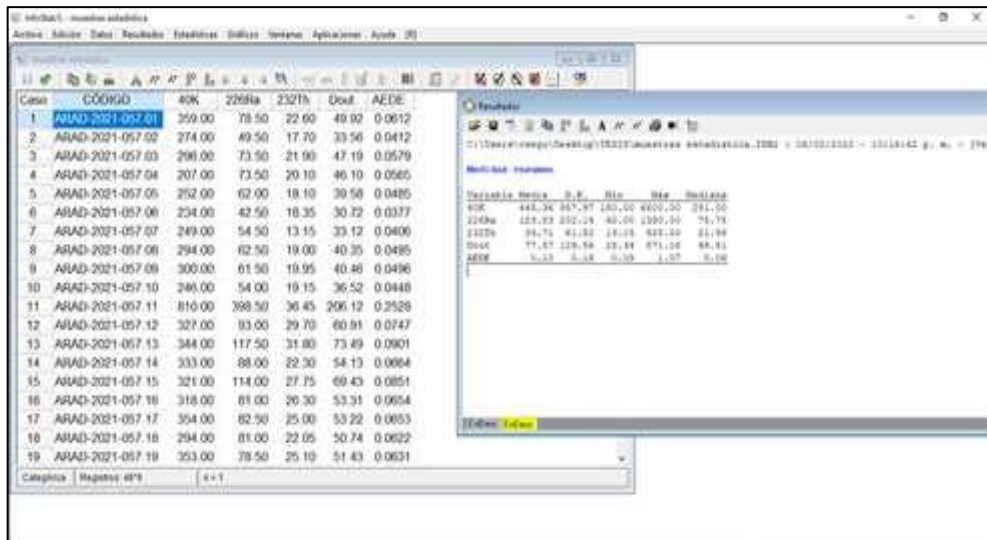


Figura 9-2: Tabla estadística visualizando la media, desviación estándar, mediana, mínimo y máximo.

Fuente: (Infostat, 2022).

Además, fue posible realizar los diagramas de cajas para visualizar la dispersión de los datos y la distribución de sus extremos, con ello fue mucho más certero tomar la prueba de normalidad que más se ajustará a los datos que se obtuvieron.

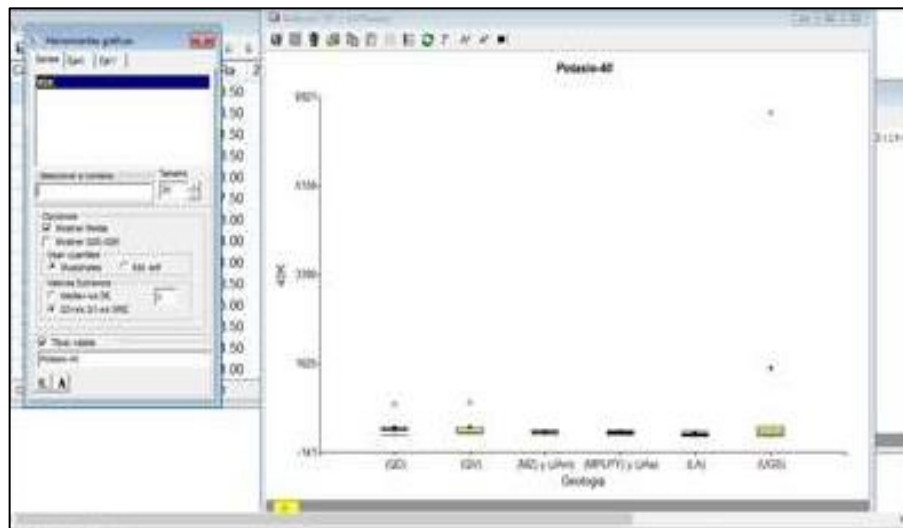


Figura 10-2: Presentación de los diagramas de cajas para los datos recolectados.

Fuente: (Infostat, 2022).

Con los datos obtenidos de Ra-226, Th-232 y K-40 se utilizó la herramienta de inferencia basada en una sola variable, para luego usar la prueba de Shapiron-Wilk debido a que los datos obtenidos eran menores a 50 y es mucho más factible usar esta prueba de normalidad para un grupo de datos reducidos.

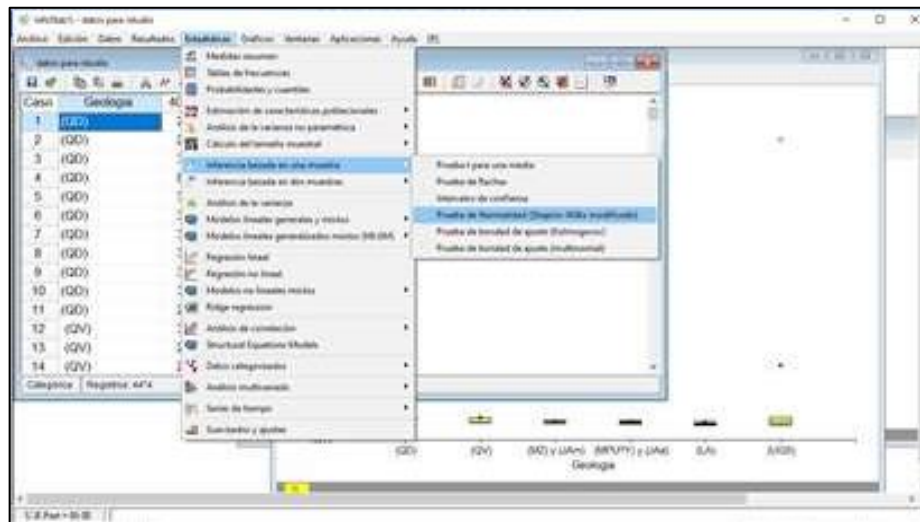


Figura 11-2: Prueba de Normalidad de Shapiron-Wilk.

Fuente: (Infostat, 2022).

Por último, para realizar los mapas de niveles de radiación se usó el software ArcMap 10.4.1, donde al ingresar todas las medidas obtenidas de los radionucleidos (ver sección 3.2), con la herramienta IDW (Inverse Distance Weighted) es capaz de inferir valores, a partir de un conjunto de datos o muestra que se ingresa, dicha herramienta asume que la variable que será mapeada tendrá una influencia proporcional a la distancia de donde se encuentra la ubicación de la muestra.



Figura 12-2: Herramienta de mapeado en ArcMap.

Fuente: (ArcMap, 2022).

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Tasa de dosis absorbida (D_{out}) y Tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre ($AEDE_{out}$) de las mediciones tomadas con el instrumento Ludlum

La tabla 1-3, presenta las conversiones de las cuentas por minuto (cpm) en tasa de dosis absorbida (D_{out}) gracias al factor de conversión presentado en la tabla 5-2 y la tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre ($AEDE_{out}$) usando la ecuación 3-2.

Tabla 1-3: Magnitudes dosimétricas presentes en los puntos monitoreados en la provincia de Tungurahua.

CÓDIGO MONITOREO	Promedio (cpm) \pm 10%	MAGNITUDES DOSIMÉTRICAS	
		TASA DE DOSIS ABSORBIDA	TASA DE DOSIS EFECTIVA EQUIVALENTE ANUAL TERRESTRE
		μ Sv/hr (D_{out})	mSv/año ($AEDE_{out}$)
PM-01	1300	0,0743	0,0911
PM-02	1100	0,0629	0,0771
PM-03	1580	0,0903	0,1107
PM-04	1500	0,0857	0,1051
PM-05	1680	0,0960	0,1177
PM-06	1380	0,0789	0,0967
PM-07	860	0,0491	0,0603
PM-08	1500	0,0857	0,1051
PM-09	1520	0,0869	0,1065
PM-10	1660	0,0949	0,1163
PM-11	1660	0,0949	0,1163
PM-12	1580	0,0903	0,1107
PM-13	1600	0,0914	0,1121
PM-14	1860	0,1063	0,1303
PM-15	760	0,0434	0,0533
PR-01	1640	0,0937	0,1149
PR-02	1420	0,0811	0,0995
PR-03	1540	0,0880	0,1079
PR-04	1360	0,0777	0,0953
PR-05	1260	0,0720	0,0883
PR-06	1360	0,0777	0,0953
PR-07	1020	0,0583	0,0715

PR-08	1500	0,0857	0,1051
PR-09	1640	0,0937	0,1149
PR-10	1680	0,0960	0,1177
PR-11	5500	0,3143	0,3854
PR-12	1980	0,1131	0,1388
PR-13	2020	0,1154	0,1416
PR-14	1840	0,1051	0,1289
PR-15	1680	0,0960	0,1177
PR-16	1800	0,1029	0,1261
PR-17	1880	0,1074	0,1318
PR-18	1840	0,1051	0,1289
PR-19	1680	0,0960	0,1177
PR-20	5200	0,2971	0,3644
PR-21	940	0,0537	0,0659
PR-22	1020	0,0583	0,0715
PR-23	1380	0,0789	0,0967
PR-24	1980	0,1131	0,1388
PR-25	1480	0,0846	0,1037
PR-26	1300	0,0743	0,0911
PR-27	1320	0,0754	0,0925
PR-28	1160	0,0663	0,0813
PR-29	1040	0,0594	0,0729
PR-30	900	0,0514	0,0631
PR-31	960	0,0549	0,0673
PR-32	1080	0,0617	0,0757
PR-33	2280	0,1303	0,1598
PR-34	1160	0,0663	0,0813
PR-35	3740	0,2137	0,2621
PR-36	1680	0,0960	0,1177
PR-37	1820	0,1040	0,1275
PR-38	1380	0,0789	0,0967
PR-39	1440	0,0823	0,1009
PR-40	1380	0,0789	0,0967
PR-41	1400	0,0800	0,0981
PR-42	1740	0,0994	0,1219
PR-43	1180	0,0674	0,0827
PR-44	1040	0,0594	0,0729

Realizado por: Segura C. 2022.

Tabla 2-3: Estadística Descriptiva de las magnitudes dosimétricas de los puntos de monitoreo in situ realizado en la provincia de Tungurahua.

Estadística Descriptiva	Promedio	MAGNITUDES DOSIMÉTRICAS	
		TASA DE DOSIS ABSORBIDA	TASA DE DOSIS EFECTIVA EQUIVALENTE ANUAL TERRESTRE
		D _{out} (μSv/hr)	AEDE (mSv/año)
		0,093	0,114
	Desviación Estándar	0,047	0,058
Mínimo	0,0434	0,0533	
Máximo	0,3143	0,3854	

Realizado por: Segura C. 2022.

Las mediciones que se realizaron conjuntamente con el medidor Ludlum Model 3 y el detector Ludlum 44-2, permitieron determinar tanto la tasa de dosis absorbida con el valor medio de $0,093 \pm 0,006 \mu\text{Sv/hr}$ y cuya tasa de dosis anual absorbida equivalente dio como resultado $0,114 \pm 0,007 \text{ mSv/año}$ (57,14% sobre la media mundial).

3.2. Actividad específica, tasa de dosis de radiación gamma externa y tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre

A continuación, se presentan las mediciones de actividad específica que se han obtenido a partir de los análisis realizados con el espectrómetro gamma de Germanio Híper puro (HPGe) en la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares;

Tabla 3-3: Actividad específica de los radionucleidos presentes en las muestras de suelos de la Provincia de Tungurahua.

CÓDIGO MUESTRA	ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/Kg)				
	Bi-214 Bq/kg	Pb-214 Bq/kg	Ac-228 Bq/kg	Pb-212 Bq/kg	K-40 Bq/kg
PR-01	42	115	21.3	23.9	359
PR-02	9	90	16.1	19.3	274
PR-03	48	99	21.7	22.1	296
PR-04	50	97	19.5	20.7	207
PR-05	39	85	17	19.2	252
PR-06	12	73	17.9	18.8	234
PR-07	33	76	8.9	17.4	249
PR-08	43	82	19.3	18.7	294
PR-09	42	81	19.8	20.1	300
PR-10	34	74	18.7	19.6	246

PR-11	267	530	64	8.9	810
PR-12	61	125	26.3	33.1	327
PR-13	81	154	28.5	35.1	344
PR-14	57	119	21.7	22.9	333
PR-15	105	123	27	28.5	321
PR-16	51	111	25.9	26.7	318
PR-17	54	111	23.2	26.8	354
PR-18	53	109	21.1	23	294
PR-19	50	107	21.7	28.5	353
PR-20	292	570	67	94	850
PR-21	53	98	26.1	28.1	267
PR-22	27	77	10.2	16.8	236
PR-23	25	80	18.3	19.3	219
PR-24	54	118	26.3	30.6	281
PR-25	28	72	15.9	17.2	209
PR-26	48	84	17.9	19.7	253
PR-27	26	71	17.5	17	228
PR-28	52	100	24.4	23.9	266
PR-29	55	122	22.6	25.2	352
PR-30	27	57	10.6	19	180
PR-31	72	155	20.2	22.4	302
PR-32	43	87	16.2	17.6	239
PR-33	62	134	23.1	25.5	352
PR-34	60	129	24	25.3	348
PR-35	890	1770	370	480	6600
PR-36	92	198	50	67	361
PR-37	177	350	43	40	281
PR-38	40	74	22	23.1	187
PR-39	31	99	18.1	21.7	198
PR-40	43	87	19.8	20.6	278
PR-41	47	102	18	19.2	231
PR-42	57	135	34.2	41	195
PR-43	32	170	14.3	15.9	234
PR-44	47	86	17.1	17.1	284

Fuente: (Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares, 2022).

Realizado por: Segura C. 2022.

Dentro de la presente investigación se obtuvieron los siguientes resultados que nos han proporcionado, para haber encontrado la concentración de actividad específica de los radionucleidos Ra-226 y Th-232 se usaron las ecuaciones 2-2 y 3-2 para presentándolas en la tabla 4-3 y se calcularon las magnitudes dosimétricas de tasa de dosis de radiación gamma exterior (D_{out}) y la tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre (AEDE).

Tabla 4-3: Actividad específica y magnitudes dosimétricas del Ra-226, Th-232 y K-40, presentes en las muestras de suelo de la provincia de Tungurahua.

CÓDIGO MUESTRA	ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)			MAGNITUDES DOSIMÉTRICAS	
				TASA DE DOSIS DE RADIACIÓN GAMMA EXTERIOR	TASA DE DOSIS EFECTIVA EQUIVALENTE ANUAL TERRESTRE
	K-40	Ra-226	Th-232	D _{out} (nGy/hr)	AEDE (mSv/año)
PR-01	359	78,5	22,6	64,89	0,0796
PR-02	274	49,5	17,7	44,99	0,0552
PR-03	296	73,5	21,9	59,53	0,0730
PR-04	207	73,5	20,1	54,73	0,0671
PR-05	252	62	18,1	50,08	0,0614
PR-06	234	42,5	18,35	40,48	0,0496
PR-07	249	54,5	13,15	43,50	0,0534
PR-08	294	62,5	19	52,61	0,0645
PR-09	300	61,5	19,95	52,97	0,0650
PR-10	246	54	19,15	46,77	0,0574
PR-11	810	398,5	36,45	239,90	0,2942
PR-12	327	93	29,7	74,54	0,0914
PR-13	344	117,5	31,8	87,84	0,1077
PR-14	333	88	22,3	68,01	0,0834
PR-15	321	114	27,75	82,81	0,1016
PR-16	318	81	26,3	66,57	0,0816
PR-17	354	82,5	25	67,98	0,0834
PR-18	294	81	22,05	63,00	0,0773
PR-19	353	78,5	25,1	66,15	0,0811
PR-20	950	431	80,5	283,19	0,3473
PR-21	267	75,5	27,1	62,38	0,0765
PR-22	236	52	13,5	42,02	0,0515
PR-23	219	52,5	18,8	44,74	0,0549
PR-24	281	86	28,45	68,63	0,0842
PR-25	209	50	16,55	41,81	0,0513
PR-26	253	66	18,8	52,40	0,0643
PR-27	228	48,5	17,25	42,33	0,0519
PR-28	266	76	24,15	60,79	0,0746
PR-29	352	88,5	23,9	70,00	0,0858
PR-30	180	42	14,8	35,85	0,0440
PR-31	302	113,5	21,3	77,90	0,0955
PR-32	239	65	16,9	50,20	0,0616
PR-33	352	98	24,3	74,63	0,0915
PR-34	348	94,5	24,65	73,06	0,0896

PR-35	6600	1330	425	1146,38	1,4059
PR-36	361	145	58,5	117,38	0,1440
PR-37	281	263,5	4,5	158,52	0,1944
PR-38	187	57	22,55	47,75	0,0586
PR-39	198	65	19,9	50,31	0,0617
PR-40	278	65	20,2	53,82	0,0660
PR-41	231	74,5	18,6	55,29	0,0678
PR-42	195	96	37,6	75,19	0,0922
PR-43	234	101	15,1	65,54	0,0804
PR-44	284	66,5	17,1	52,89	0,0649

Realizado por: Segura C. 2022.

Para la estadística general presentada en la tabla 4-3, no se tomaron en cuenta los valores de actividad específica y magnitudes dosimétricas de las muestras de suelo PR-11, PR-20 y PR-35 ya que presentan valores muy superiores que elevarían las medidas de dispersión, pero son consideradas en los cálculos estadísticos de las geologías.

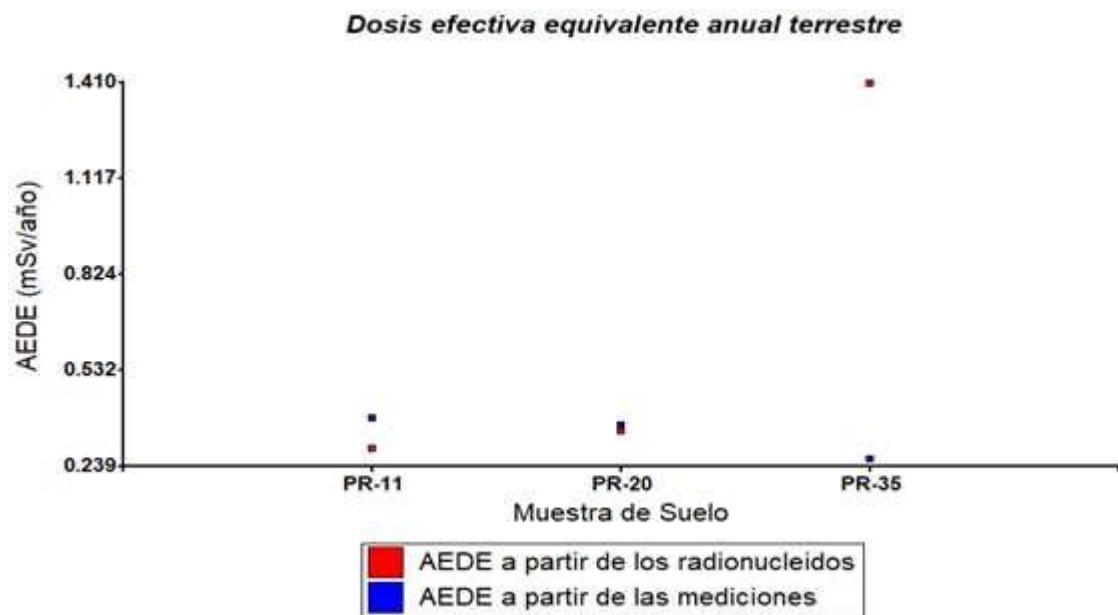


Gráfico 1-3 Comparación de resultados obtenidos a partir de las concentraciones de radionucleidos y mediciones en las muestras PR-11, PR-20 y PR-35.

Realizado por: Segura C. 2022.

Adicionalmente se debe mencionar que estos datos son reproducibles ya que las mediciones in situ mostradas en la tabla 1-3 de estas muestras de suelo presentan valores en la tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre muy cercanos en las muestras PR-11 y PR-20, mientras que en la muestra PR-35 el valor calculado a partir de las concentraciones de Ra-226, Th-232 y K-40 es muy superior que el valor calculado de acuerdo a las mediciones con el detector.

Tabla 5-3: Estadística Descriptiva de actividad específica del Ra-226, Th-232 y K-40, y de las magnitudes dosimétricas de las muestras de suelo obtenidas en la provincia de Tungurahua.

Media	ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/Kg)			MAGNITUDES DOSIMÉTRICAS	
				TASA DE DOSIS DE RADIACIÓN GAMMA EXTERIOR	TASA DE DOSIS EFECTIVA EQUIVALENTE ANUAL TERRESTRE
	K-40	Ra-226	Th-232	D _{out} (nGy/hr)	AEDE (mSv/año)
	276,49	80,22	22,06	62,46	0,08
Mediana	278,00	74,50	20,20	59,53	0,07
Desviación Estándar	53,75	5,76	1,27	21,92	0,03
Mínimo	180,00	42,00	13,15	35,85	0,04
Máximo	361,00	263,50	58,50	158,52	0,19
Promedio mundial (UNSCEAR, 2008)	420	32	45	60	0,07

Realizado por: Segura C. 2022.

La estadística descriptiva, arrojo los promedios de 276,49 Bq/kg, 80,22 Bq/kg y 22,06 Bq/kg, respectivamente para el K-40, Ra-226 y Th-232, tanto la media calculada del K-40 y del Th-232 están por debajo del promedio mundial establecido por la UNSCEAR, mientras el ²²⁶Ra presenta ese valor elevado debido a que en los análisis los radionucleidos Pb-214 y Bi-214 en la tabla 3-3, mostraron una concentración elevada.

Con respecto a las magnitudes dosimétricas, la tasa de radiación gamma en el aire o dosis absorbida es de $62,46 \pm 3,42$ nGy/hr un valor mayor del 4,10% al promedio mundial, además, fue posible calcular la dosis anual efectiva equivalente externa gamma (AEDE) que fue de aproximadamente 0,08 mSv/año (superando al valor medio mundial con el 14,29%).

3.3. Actividad específica de los aglomerados de unidades geológicas de la provincia de Tungurahua

Se agruparon las concentraciones de radionucleidos de cada muestra de suelo recolectada de acuerdo a la unidad geológica de donde fue extraída como se presenta en la tabla 1-2, en un caso especial se procedió a agrupar unidades geológicas pequeñas que contenían 1 y 2 muestras de suelo.

Tabla 6-3: Concentración de actividad específica de las muestras de suelos en la unidad Facie Distal (QD).

CÓDIGOS MUESTRA	LUGAR	Coordenadas (UTM) WGS84 Zona 17S (m)			ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/Kg)		
		X	Y	ALTURA	K-40	Ra-226	Th-232
PR-02	Pilahuin	763434	9873261	3275	274	49,5	17,7
PR-04	Pilahuin	755357	9866661	3342	207	73,5	20,1
PR-09	San Antonio de Pasa	780068	9857746	2734	300	61,5	19,95
PR-11	Chinintahua	786706	9852769	2922	810	39,5	36,45
PR-12	Chinintahua	779493	9849015	2165	327	93	29,7
PR-13	Yanayacu	778530	9843498	2471	344	117,5	31,8
PR-14	Ambato	810522	9848471	1609	333	88	22,3
PR-15	El Rosario	784601	9848920	2727	321	114	27,75
PR-16	Montalvo	785696	9850426	3134	318	81	26,3
PR-19	Ambato	814682	9842160	1282	353	78,5	25,1
PR-24	Patate	776526	9865181	2704	281	86	28,45
Estadística Descriptiva		Media			351,64	112,82	25,96
		Mediana			321	86	26,3
		Desviación Estándar			157,41	96,82	5,66
		Mínimo			207	49,5	17,7
		Máximo			810	398,5	36,45

Realizado por: Segura C. 2022.

Se considera que los valores de actividad específica de Th-232 están por debajo del promedio mundial. Al haber obtenido los valores de la media del K-40, Ra-226 y Th-232, el único valor que sobrepasa valores establecidos por la UNSCEAR es el ^{226}Ra con el valor de 112,82 Bq/Kg debido a los valores de las muestras PR-13 y PR-15.

Tabla 7-3: Concentración de actividad específica de las muestras de suelos en la unidad geológica Facie Volcanosedimentaria (QV).

CÓDIGOS MUESTRA	LUGAR	Coordenadas (UTM) WGS84 Zona 17S (m)			ACTIVIDAD ESPECIFICA (Bq/Kg)		
		X	Y	ALTURA	K-40	Ra-226	Th-232
PR-01	Pilahuin	740944	9844324	4086	359	78,5	22,6
PR-07	Pilahuin	741522	9868628	3971	249	54,5	13,15
PR-10	Tisaleo	755758	9850507	3442	246	54	19,15
PR-17	Mocha	762471	9842922	3143	354	82,5	25
PR-18	Pillaro	763434	9873261	3275	294	81	22,05
PR-20	Ambato	755357	9866661	3342	850	431	80,5
PR-29	Cotalo	778530	9843498	2548	352	88,5	23,9
PR-33	Baños	785907	9842813	1637	352	98	24,3
PR-34	Huambaló	770943	9843352	2628	348	94,5	24,65
PR-43	Pilahuin	749341	9851300	3652	234	101	15,1
PR-44	Tiliví	748507	9865418	3794	284	66,5	17,1
Estadística Descriptiva		Media			356,55	111,82	26,14
		Mediana			348	80,5	22,6
		Desviación Estándar			170,76	107,07	18,49
		Mínimo			234	54	13,15
		Máximo			850	431	80,5

Realizado por: Segura C. 2022.

Se obtuvo que la actividad específica del K-40 y Th-232 tienen valores promedios de 356,55 Bq/kg y 26.14 Bq/kg respectivamente, que se encuentran por debajo del promedio mundial, además el valor promedio del Ra-226 fue de 111.82 Bq/kg el cual sigue siendo un valor muy elevado y llegó a tener un valor mínimo de 54 Bq/kg.

Tabla 8-3: Concentración de actividad específica de las muestras de suelos en las unidades geológicas Volcano Zumbagua y Unidad Maguzo.

CÓDIGOS MUESTRA	LUGAR	Coordenadas (UTM) WGS84 Zona 17S (m)			ACTIVIDAD ESPECIFICA (Bq/Kg)		
		X	Y	ALTURA	K-40	Ra-226	Th-232
PR-03	Pilahuin	733697	9850774	4065	296	73,5	21,9
PR-06	Pilahuin	737378	9855353	3789	252	62	18,1
PR-05	Pilahuin	739395	9860042	3694	234	42,5	18,35
PR-08	San Antonio de Pasa	747463	9858150	3143	294	62,5	19
PR-25	Patate	780068	9857746	2734	209	50	16,55

PR-28	Patate	779493	9849015	2165	266	76	24,15
Estadística Descriptiva		Media			258,5	61,08	19,68
		Mediana			259	62,25	18,68
		Desviación Estándar			34.1	13,02	2,81
		Mínimo			209	42,5	16,55
		Máximo			296	76	24,15

Realizado por: Segura C. 2022.

Los resultados del análisis estadístico de la actividad específica en las unidades geológicas Volcano Zumbagua y Unidad Maguzo denota que tanto el K-40 y Th-232 con valores de 258.5 Bq/Kg y 19.68 Bq/Kg respectivamente, están por debajo del promedio mundial, aunque el resultado del Ra-226 de 61.08 Bq/Kg tiende a superar en gran medida.

Tabla 9-3: Concentración de actividad específica de las muestras de suelos en las unidades geológicas Volcanica Pisayambo y Unidad Aloa Paute.

CÓDIGOS MUESTRA	LUGAR	Coordenadas (UTM) WGS84 Zona 17S (m)			ACTIVIDAD ESPECIFICA (Bq/Kg)		
		X	Y	ALTURA	K-40	Ra-226	Th-232
PR-21	Pillaro	786023	9880786	3889	267	75,5	27,1
PR-22	Pillaro	786025	9880769	3660	236	52	13,5
PR-23	Pillaro	781426	9872066	3573	219	52,5	18,8
PR-26	Baños	784339	9851238	3082	253	66	18,8
PR-27	Baños	786706	9852769	2922	228	48,5	17,25
PR-31	Baños	784601	9848920	2727	302	113,5	21,3
PR-32	Baños	785696	9850426	3134	239	65	16,9
Estadística Descriptiva		Media			249.14	67,57	19,09
		Mediana			239	65	18,8
		Desviación Estándar			28,16	22,42	4,26
		Mínimo			219	48,5	13,5
		Máximo			302	113,5	27,1

Realizado por: Segura C. 2022.

Tanto las concentraciones de actividad específica del K-40 con 249,14 Bq/kg y Th-40 con 19,09 Bq/Kg (el K-40 con 59,32% y el Th-232 de 42.42% no llegan a sobrepasar la media mundial) establecida para cada uno de estos radionucleidos, por otro lado, el Ra-226 presento un valor máximo de 113,5 Bq/Kg y su media un valor de 67,57 Bq/Kg.

Tabla 10-3: Concentración de actividad específica de las muestras de suelos en la Unidad Agoyan.

CÓDIGOS MUESTRA	LUGAR	Coordenadas (UTM) WGS84 Zona 17S (m)			ACTIVIDAD ESPECIFICA (Bq/Kg)		
		X	Y	ALTURA	K-40	Ra-226	Th-232
PR-37	Baños	800837	9845036	1545	281	263,5	41,5
PR-38	Baños	789047	9851184	2354	187	57	22,55
PR-39	Baños	788983	9855361	2548	198	65	19,9
PR-41	Baños	790022	9857892	2628	231	74,5	18,6
Estadística Descriptiva		Media			224,25	115	25,64
		Mediana			270,5	69,75	21,23
		Desviación Estándar			42,2	99,26	10,7
		Mínimo			187	57	18,6
		Máximo			281	263,5	41,5

Realizado por: Segura C. 2022.

Se obtuvo, que los promedios de concentraciones de K-40 con 224,25 Bq/Kg y Th-232 con 25,64 Bq/Kg están por debajo de la media mundial con porcentajes de 53,39% y 56,96% respectivamente, la estimación de valor de concentración específica de Ra-226, ya que la unidad geológica Agoyan está formada por esquistos de origen volcánico, estos contienen altas concentraciones de radionucleidos que emiten radiación gamma (Lucchetti et al. 2019, pp. 7-9).

Tabla 11-3: Concentración de actividad específica de las muestras de suelos en los aglomerado de unidades geológicas secundarias.

CÓDIGOS MUESTRA	LUGAR	Coordenadas (UTM) WGS84 Zona 17S (m)			ACTIVIDAD ESPECIFICA (Bq/Kg)		
		X	Y	ALTURA	K-40	Ra-226	Th-232
PR-30	Río Negro	810522	9848471	1609	180	42	14,8
PR-35	Río Negro	814682	9842160	1282	6600	1330	425
PR-36	Río Negro	808400	9844021	1288	361	145	58,5
PR-40	Río Negro	811712	9850631	1637	278	65	20,2
PR-42	Río Negro	808841	9840269	1504	195	96	37,6
Estadística Descriptiva		Media			1522,8	335,6	111,22
		Mediana			278	96	37,6
		Desviación Estándar			2839,16	557,22	176,24
		Mínimo			180	42	14,8
		Máximo			6600	1330	425

Realizado por: Segura C. 2022.

En este aglomerado, donde se agruparon varias unidades geológicas (como la formación Napo, formación Hollin y de Granito) se tiene que la muestra PR-35 perteneciente a la formación de Granito, consigue alterar la media calcula del K-40 con 1522.8 Bq/Kg, Ra-226 con 335.6 Bq/kg y Th-232 con 111.22 Bq/kg. Algunos investigadores afirman que el alto valor de la desviación estándar es debido a las diferentes ubicaciones en donde se tomaron las muestras de suelo y a la composición química de las mismas, esto se visualiza en los términos de los máximos y mínimos calculados (Yalcin et al. 2020, p. 7).

Con las 5 unidades geológicas y un aglomerado, podemos organizar los promedios calculados en una tabla que muestra las actividades específicas de las muestras en la provincia de Tungurahua.

Tabla 12-3: Promedio de actividad específica y magnitudes dosimétricas de las unidades geológicas y/o aglomerados en la provincia de Tungurahua.

GEOLOGÍAS Y/O AGLOMERADOS	ACTIVIDAD ESPECIFICA (Bq/Kg)			MAGNITUDES DOSIMÉTRICAS	
	K-40	Ra-226	Th-232	D _{out} (nGy/hr)	AEDE (mSv/año)
Unidad Facie Distal (QD)	351,64	112,82	25,96	67,80	0,0832
Unidad geológica Facie Volcanosedimentaria (QV)	356,55	111,82	26,14	67,45	0,0827
Unidades geológicas Volcano Zumbagua y Unidad Maguzo (MZ y JAm)	258,5	61,08	19,68	40,11	0,0492
Unidades geológicas Volcanica Pisayambo y Unidad Aloa Paute (MPLP y JAa)	249,14	67,57	19,09	42,75	0,0524
Unidad Agoyan (LA)	270,5	69,75	21,23	48,46	0,0594
Aglomerado de unidades geológicas secundarias (UGS)	1522,8	335,6	111,22	222,23	0,2725
Promedio mundial (UNSCEAR, 2008)	420	32	45	60	0,07

Realizado por: Segura C. 2022.

Si analizamos todos los promedios obtenidos, tenemos que la mayoría de las geologías se estimaron valores menores que la media mundial con respecto a K-40 y Th-232 que se ha establecido, mientras que el Ra-226 es muy elevado en todas las geologías estudiadas, con el aglomerado de unidades geológica secundarias (compuesta por Formación de Granito, Formación Tena y Formación Upano) contiene valores mucho mayores al promedio establecido por la UNSCEAR (370 Bq/kg para el K-40, 35 Bq/kg en Ra -226y 45 Bq/kg en el Th-232).

A continuación, se presentarán diagramas de cajas de las concentraciones de actividad específica del K-40, Ra-226 y Th-232, junto al promedio mundial.

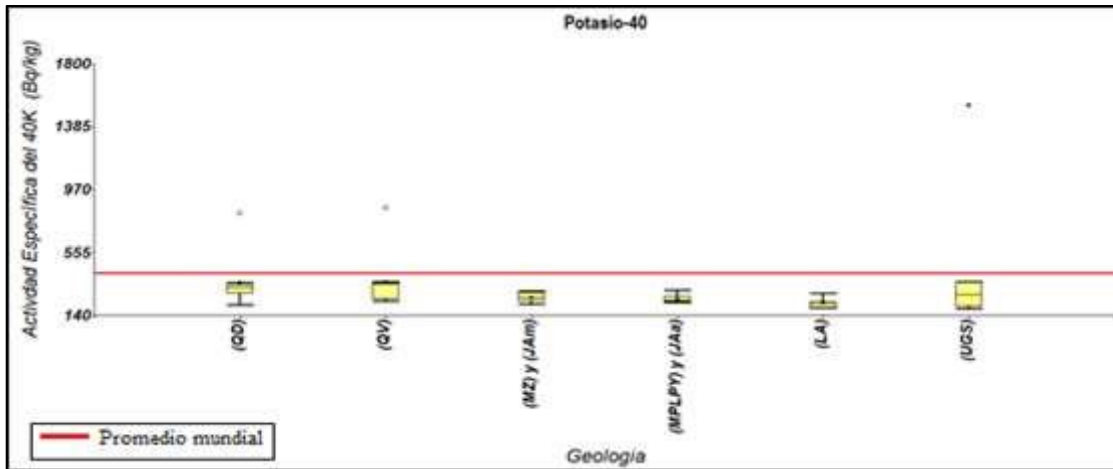


Gráfico 2-3: Concentración de K-40 en las geologías de la provincia de Tungurahua.

Realizado por: Segura C. 2022.

La concentración de la actividad específica de K-40 en las muestras de suelo que se han recolectado en la provincia de Tungurahua, tienden a estar dentro de un rango de 140 – 850 Bq/kg (UNSCEAR, 2000, pp. 115-117), Las dos muestras de suelos que se encontraron al norte de la provincia, la muestra PR-11 con una concentración de 810 Bq/Kg estaba dentro de una concesión minera registrada en la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM) de donde se extraía piedra pómez y la muestra PR-20 con 850 Bq/Kg, se encontró en una posible mina abandonada y no registrada, la tierra de color amarillento era muy evidente y el removimiento de tierra parecía recientemente. Y por último la muestra PR-35 con el valor 6600 Bq/Kg se puede justificar debido a proceso de lixiviación provocados por lluvias significativas o el clima templado existente en el área de Río Negro (Luiz do Carmo Lear et al. 2020, pp. 5-7).

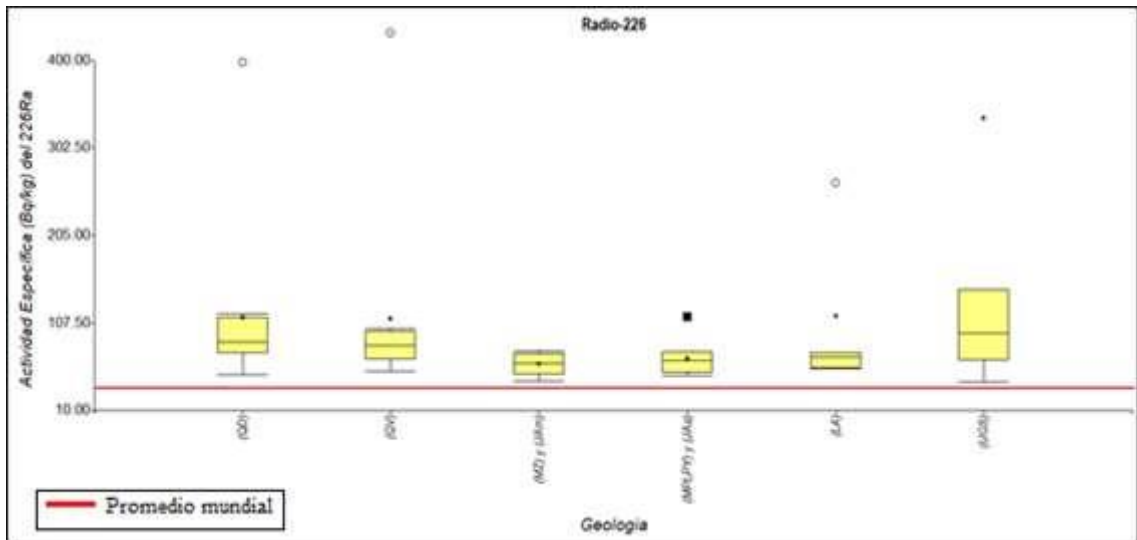


Gráfico 3-3: Concentración de Ra-226 en las geologías de la provincia de Tungurahua.

Realizado por: Segura C. 2022.

Todos los puntos donde se obtuvieron las muestras de suelo contienen valores elevados de Ra-226 que sobrepasan el promedio mundial de 32 Bq/Kg establecido por la UNSCEAR, además, las altas concentraciones de radionucleidos están asociados con los minerales que se encuentran en los suelos (Luiz do Carmo Leal et al. 2020, p. 5-7), proporcionan valores elevados de Ra-226 cercanos a 77 Bq/Kg (UNSCEAR, 2008, pp 233-235).

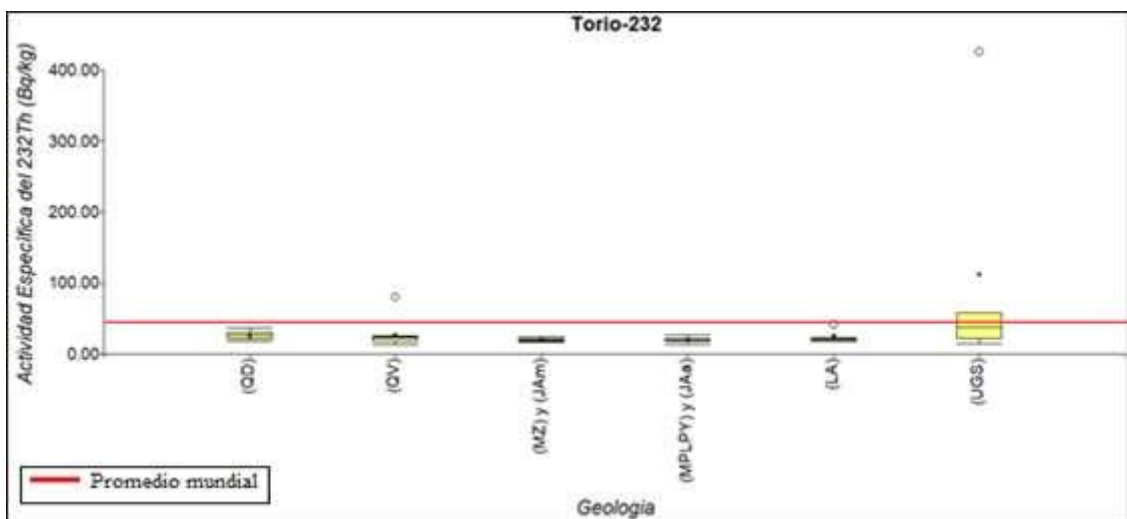


Gráfico 4-3: Concentración de Th-232 en las geologías de la provincia de Tungurahua.

Realizado por: Segura C. 2022.

Los valores obtenidos en concentración de actividad de Th-232, de las 44 muestras de suelos analizadas, 41 están con valores dentro del rango de 17 – 60 Bq/Kg (UNSCEAR, 2000, 115-117), respecto a PR-20 con un valor de 80.5 Bq/Kg ubicada en una mina no registrada, PR-35 con 425 Bq/Kg ubicado en la unidad geológica de granito y PR-36 con el valor de 58.5 Bq/Kg

pertenciente a la unidad Upano que está dentro del aglomerado de geologías secundarias, superan la media mundial de 45 Bq/Kg (UNSCEAR, 2008, pp. 233-235).

3.4. Cálculo del estadístico de la Prueba de Shapiro - Wilk

Como se tienen 44 datos obtenidas del estudio, se procede a usar la prueba estadística de Shapiro-Wilk para probar las siguientes hipótesis

- **H₀**: Las muestras de suelos ubicadas en las geologías de la provincia de Tungurahua tienden a una distribución normal de las concentraciones de actividad específica de los radionucleidos.
- **H₁**: Las muestras de suelos ubicadas en las geologías de la provincia de Tungurahua no tienden a una distribución normal de las concentraciones de actividad específica de los radionucleidos.

Considerando que tomamos un nivel de significancia de 5%, se obtiene lo siguiente:

Tabla 13-3: Valores de la Prueba de Shapiro Wilk en las geologías.

Radionucleido	Estadístico de Shapiro-Wilk	p-Valor
K-40	0,60	0,0002
Ra-226	0,70	0,0040
Th-232	0,59	0,0002

Realizado por: Segura C. 2022.

Como el p-Valor obtenido es menor al nivel de significancia se rechaza la hipótesis nula H₀, con ello se considera la hipótesis que las muestras de suelos ubicadas en las geologías de la provincia de Tungurahua no tienden a una distribución normal de las concentraciones de actividad específica de los radionucleidos. Esto resulta de las altas concentraciones de actividad ubicadas donde se tomaron las muestras PR-11, PR-20 y PR-35 afectan al promedio calculado en las geologías unidad Facie Distal (QD), unidad Facie Volcanosedimentaria (QV) y Aglomerado de unidades geológicas secundarias (UGS) respectivamente.

Siguiendo el mismo procedimiento y usando la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk, se tomó en consideración la hipótesis específica;

- **H₀**: Todos los puntos de muestreo de suelos en la provincia de Tungurahua tienen una tasa de dosis gamma de radionucleidos que siguen una distribución normal.

- **H₁:** Todos los puntos de muestreo de suelos en la provincia de Tungurahua no tienen una tasa de dosis gamma de radionucleidos que siguen una distribución normal.

Tabla 14-3: Valores de la Prueba de Normalidad de Shapiron-Wilk.

Estadístico de Shapiron-Wilk	p-Valor
0,36338	< 0,0001

Realizado por: Segura C. 2022.

Al tener una probabilidad muy pequeña, se rechaza la hipótesis nula, por lo cual se llega a considerar que todos los puntos de muestreo de suelos en la provincia de Tungurahua no tienen una tasa de dosis gamma de radionucleidos que siguen una distribución normal, con el 5% de significancia en la prueba.

3.5. Mapas de niveles de actividad específica de radionucleidos en la provincia de Tungurahua

Se puede visualizar en los tres mapas los niveles de actividad específica de K-40, Ra-226 y Th-232 existen tres localizaciones que tienen valores elevados de estos radionucleidos, las dos ubicaciones que se encuentran al norte de la provincia de Tungurahua, donde se tomaron las muestras de suelo PR-11 perteneciente a una concesión minera de piedra pómez y la PR-20 una cantera de arena sin registro que se encuentra en la geología (QV) que está conformada por areniscas tobáceas y diatomita (un material usado para desarrollar filtrantes de líquidos, absorbentes, aislantes y en la industria de la construcción) (Díaz y Ramírez, 2010, p. 52) , mientras que la muestra PR-35 ubicada en una formación de granito y que presentaba un proceso reciente de lixiviación (desplazamiento de sedimentos o suelos), arroja el mayor valor en todos los radionucleidos estudiados; 6600 Bq/kg, 1330 Bq/kg y 425 Bq/kg respectivamente para el K-40, Ra-226 y Th-232 , siendo necesario reajustar en 5 niveles o frecuencias en cada uno de los mapas. Por ello en el gráfico de 1-3, el mapa del K-40 los dos últimos niveles de actividad específica 290.1 – 682 Bq/kg y 682.1 - 6600 Bq/kg se encuentran parte de los datos que superan valores establecidos por la UNSCEAR.

En el gráfico 2-3, a partir del tercer nivel en el mapa del Ra-226 los resultados como tal fueron elevados, fue necesario que se reajusten los niveles para que se puedan visualizar con una mejor redistribución en los siguientes intervalos 91 - 82.5 Bq/kg, 182.6 - 269.5 Bq/kg y 269.6 - 1330 Bq/kg. Por último, el mapa del Th-232 (gráfico 3-3) mostro solo dos niveles que llegan a tener concentraciones muy elevadas.

El gráfico 4-3, se visualiza que el mapa de dosis efectiva equivalente anual terrestre muestra un patrón similar a los mapas de actividad específica de los radionucleidos K-40, Ra-226 y Th-232 en los sectores donde se tomaron las muestras PR-11, PR-20 y PR-35, observándose que el nivel más elevado presenta un máximo de 1,06 mSv/año.

Concentración de Actividad del Potasio-40

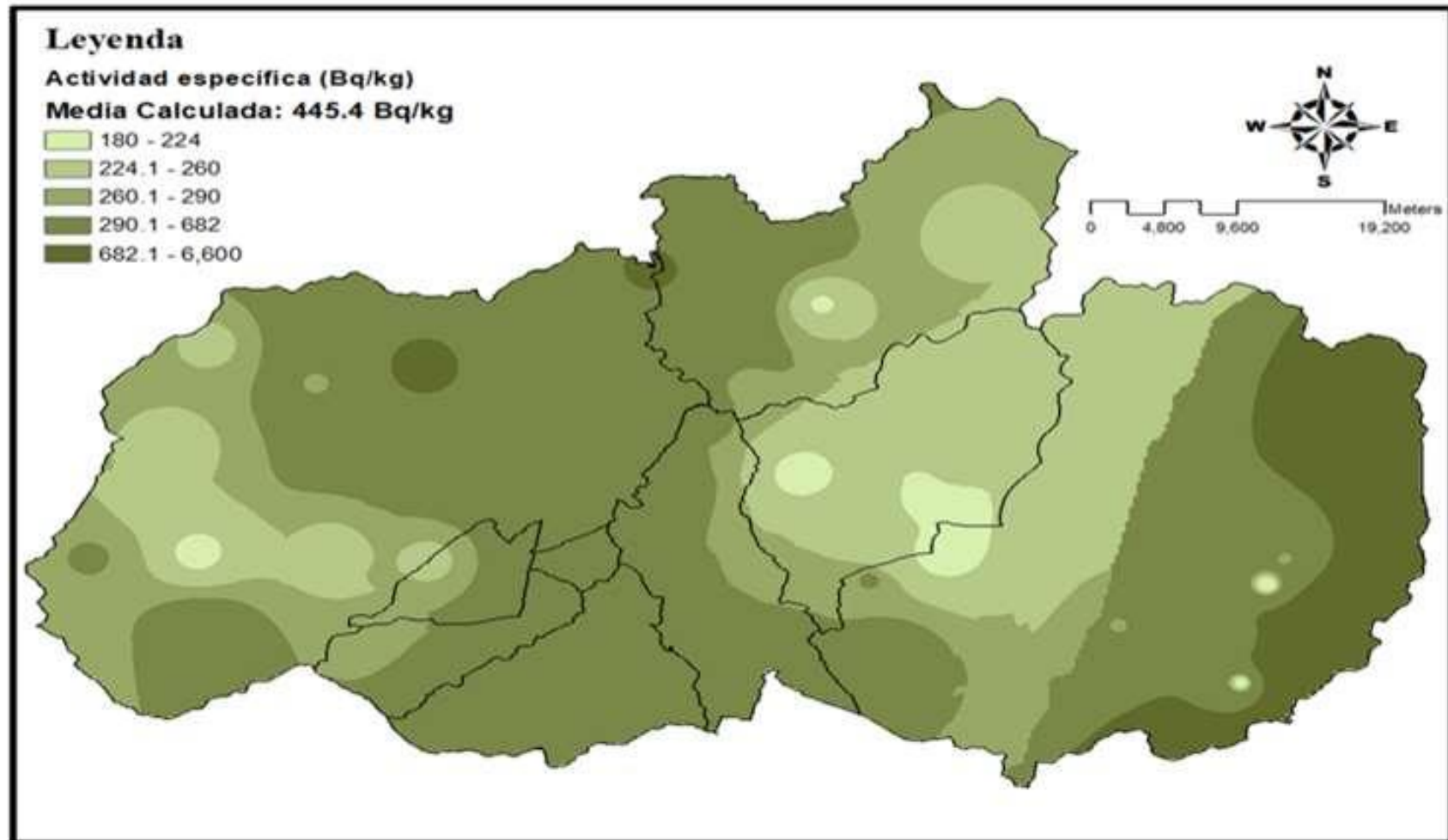


Figura 1-3: Mapa de niveles de actividad específica del K-40

Realizado por: Segura C. 2022.

CONCENTRACIÓN DE ACTIVIDAD DEL RADIO-226

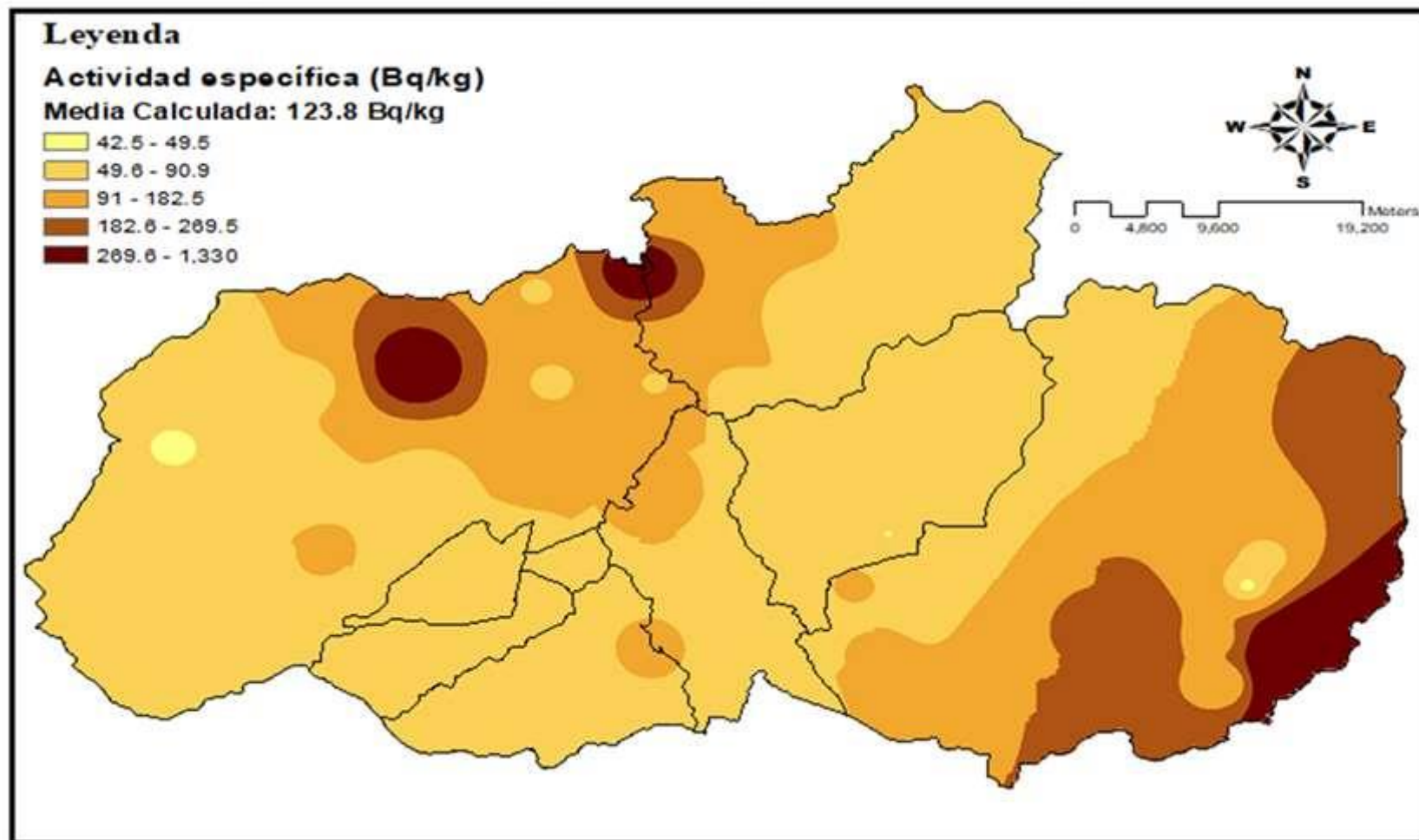


Figura 2-3: Mapa de niveles de actividad específica del Ra-226

Realizado por: Segura C. 2022.

Concentración de Actividad de Torio-232

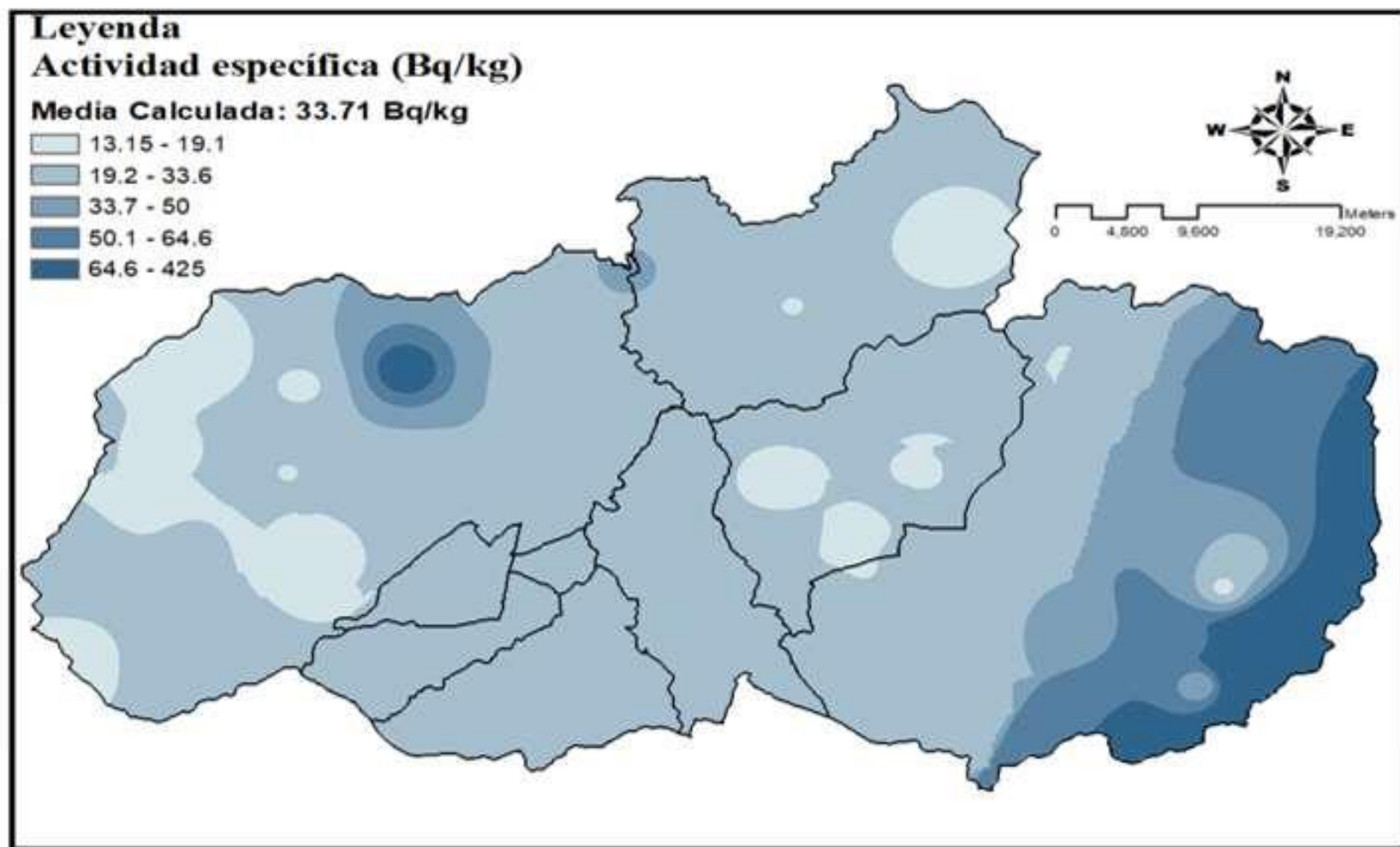


Figura 3-3: Mapa de niveles de actividad específica del Th-232

Realizado por: Segura C. 2022.

Radiación Gamma Anual en la provincia de Tungurahua

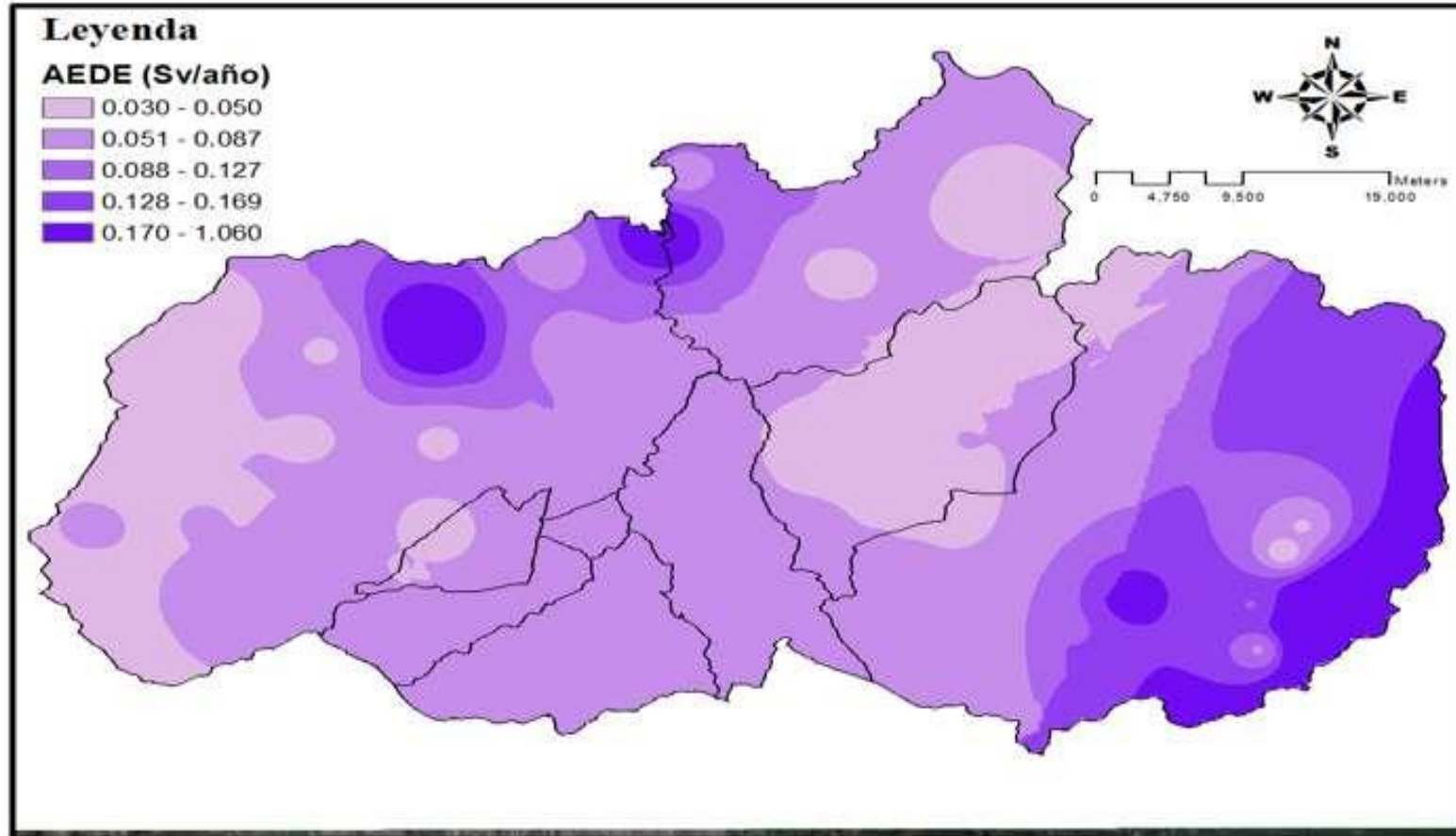


Figura 4-3: Mapa de la dosis efectiva equivalente anual terrestre

Realizado por: Segura C. 2022.

CONCLUSIONES

- Se cuantificó los niveles de concentración de actividad específica radiactiva en el suelo de la Provincia de Tungurahua, desde puntos de muestreo relativamente equidistantes, definidos a partir de las geologías que componen los suelos de la zona de estudio.
- Se estimó los niveles de actividad específica de los radionucleidos ^{40}K , ^{232}Th y ^{226}Ra , este último sobrepasa al promedio mundial recomendado por el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR); así como, a los valores promedios obtenidos en las regiones volcánicas sedimentarias de Garrotxa y las Islas Canarias. Sin embargo, es comparable a resultados obtenidos en Turquía con presencia de granito y metagranito en el suelo.
- Los mapas de actividad específica del ^{40}K , ^{232}Th y ^{226}Ra , de la provincia de Tungurahua, determinan posibles puntos de interés para investigación en radiación ambiental, tal es el caso de Chinintahua y Río Negro que presentan una gran variabilidad en los valores de exposición externa por radiación del suelo.

RECOMENDACIONES

- Ejecutar estudios radiométricos en concesiones mineras ya sean de materiales para la industria de la construcción o extracción de metales a nivel nacional.
- Realizar estudios en el sector noreste aledaño de la provincia de Tungurahua por la tendencia que tienen los datos en el sector.
- Usar otro método de estimación de actividad específica como la espectrometría de fluorescencia de rayos X de reflexión total para comparar los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

AKWEETELELA, Ananias, et al. Environmental radioactivity of groundwater and sediments in the Kuiseb and Okavango-Omatako basins in Namibia. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2020, vol. 120, pp. 112-114 [consultado el 11 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102911>

ARIAS, Leonardo Ramírez; CORTÉS, Julian Uribe. El contador Geiger como herramienta en la enseñanza del concepto de radiación. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias: Góndola, Ens Aprend Cienc*, 2007, vol. 2, no 1, p. 55-62. [consultado el 22 de noviembre del 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7531120>.

ARNEDO, M. A., et al. Mapping natural radioactivity of soils in the eastern Canary Islands. *Journal of environmental radioactivity* [en línea], 2017, vol. 166, pp. 242-258 [consultado el 25 de noviembre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.07.010>.

ATWOOD, David A. (ed.). *Radionuclides in the Environment*. John Wiley & Sons [en línea], 2013. pp 22-23 [consultado el 19 de noviembre del 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=R5ATOUAFRIYC&oi=fnd&pg=PA2&dq=atwood+radionuclides+in+the+environment&ots=kpzy71a8hG&sig=In3JIfipFCDDnarADpfFE7zvYAY#v=onepage&q&f=false>.

BEER, Jurg; et al. 2012"Cosmogenic Radionuclides: Theory and Applications in the Terrestrial and Space Environments" [en línea], New York, pp. 19-21 [consultado el 19 de noviembre del 2021]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=zKA0tZg0HwEC&printsec=frontcover&dq=Cosmogenic+Radionuclides:+Theory+and+Applications+in+the+Terrestrial+and+Space+Environments&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Cosmogenic%20Radionuclides%3A%20Theory%20and%20Applications%20in%20the%20Terrestrial%20and%20Space%20Environments&f=false.

BELYAEVA, Olga, et al. 2021. "Yerevan Soil Radioactivity: Radiological and Geochemical Assessment." *Chemosphere* [en línea]: pp. 129-173 [consultado el 26 de noviembre del 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129173>.

BENÉS, Adoración Pascual. 2001. NTP 728: Exposición laboral a radiación natural. Radiaciones ionizantes: normas de protección. *NTP. Barcelona: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España, Centro Nacional de Condiciones de Trabajo*, pp. 3-5 [consultado el 14 de enero del 2022]. Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_614.pdf/ef28c36c-66d4-4bc9-a5cb-451c705927a9.

BUSHONG, Stewart C. (ed.). Manual de radiología para técnicos: física, biología y protección radiológica. *Elsevier*, 2020 [en línea]. pp. 563-564. [consultado el 5 de enero del 2022]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=JdzQDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Manual+de+radiolog%C3%ADa+para+t%C3%A9cnicos:+f%C3%ADsica,+biolog%C3%ADa+y+protecci%C3%B3n+radiol%C3%B3gica&ots=dTQ2SBqFg9&sig=ogY3a_BrSNRvXwboZpTu3uW5MY#v=onepage&q=Manual%20de%20radiolog%C3%ADa%20para%20t%C3%A9cnicos%3A%20f%C3%ADsica%2C%20biolog%C3%ADa%20y%20prot%20ecc%C3%B3n%20radiol%C3%B3gica&f=false.

CAMACHO NINABANDA, Alex Javier y PUCHA AMANCHA, Gilson Julian. *Caracterización de radionucleidos presentes en el suelo de la provincia de Chimborazo*, (Tesis) (pregrado), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2019. pp. xx [consultado el 11 de abril del 2022]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/8970>

CAPACCIONI, B., et al. Long-term risk in a recently active volcanic system: Evaluation of doses and indoor radiological risk in the quaternary Vulsini Volcanic District (Central Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* [en línea], 2012, vol. 247, p. 26-36 [consultado el 11 de enero del 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2012.07.014>

CARRERA, Enrique Gadea y BENÉS, Adoración Pascual. 2003. *NTP 614: Radiaciones ionizantes: normas de protección. Barcelona* [en línea]. pp. 2-3 [consultado el 6 de enero del 2022]. Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_614.pdf/ef28c36c-66d4-4bc9-a5cb-451c705927a9.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR [CSN], TEMA 5: MAGNITUDES Y UNIDADES RADIOLÓGICAS. *Material Didáctico CSN* [en línea], España, 2009, pp. 5-13 [consultado el 11 de enero del 2022]. Disponible en: https://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/624874014_241120091324.pdf.

CRICK, Malcolm, et al. Radiación: efectos y fuentes. *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]* [en línea], 2016. pp. 28-30 [consultado el 17 de enero del 2022]. Disponible en: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7790/-Radiation_Effects_and_sources-2016Radiation_-_Effects_and_Sources_SP.pdg.pdf?sequence=7&isAllowed=y.

DEL PILAR, ÁVILA REY María Jesús; VANESA, CALVINO CASILDA; JOSÉ, LÓPEZ PEINADO Antonio. *Introducción a la radioquímica*. Editorial UNED [en línea], 2018, pp. 57-59 [consultado el 20 de enero del 2022]. Disponible en: http://portal.uned.es/portal/page?_pageid=93,23377989&_dad=portal&_schema=PORTAL&IdArticulo=6103412GR_03A01.

DÍAZ VALDIVIEZO, Alejandra; RAMÍREZ CARRIÓN, José Fabricio. Estudio geológico-económico de rocas y minerales industriales de Arequipa y alrededores-. [Boletín B 22]. [en línea] 2010. p.52 [consultado el 19 de mayo del 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/215>.

DORADO, Pedro Justo; VIDAURRE, Juan. Protección radiológica/CSN. *Madrid: Consejo de Seguridad Nuclear* [en línea], 2012, pp. 7-17 [consultado el 22 de enero del 2022]. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/914805/Protecci%C3%B3n%20radiol%C3%B3gica>.

FIALLOS YÉPEZ, Franklin Gustavo; CARRILLO CAYAMBE, Mónica Lucia. *Determinación de la radiación natural de la provincia de Tungurahua*. (Tesis) (pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2017. pp. xvi [consultado el 23 de enero del 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7863>.

FROEHLICH, Klaus (ed.). Environmental radionuclides: Tracers and timers of terrestrial processes. *Elsevier* [en línea], 2009. pp. 4-5 [consultado el 22 de enero del 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1569-4860\(09\)01602-7](https://doi.org/10.1016/S1569-4860(09)01602-7).

HONORABLE GOBIERNO PROVINCIAL DE TUNGURAHUA [HGPT]. *Datos generales*. [en línea]. [consultado el 19 de agosto del 2021]. Disponible en: <https://www.tungurahua.gob.ec/index.php/la-institucion-hgpt/datos-generales>

LUCCHETTI, C., et al. Integrating radon and thoron flux data with gamma radiation mapping in radon-prone areas. The case of volcanic outcrops in a highly-urbanized city (Roma, Italy). *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], vol. 202, no. February, 2019, pp. 4-9. ISSN 18791700. DOI 10.1016/j.jenvrad.2019.02.004. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.02.004>.

LUDLUM MEASUREMENTS, INC. *LUDLUM MODELO 3 MEDIDOR DE RADIACIÓN* [en línea]. [2016] [consultado el 27 de mayo de 2022]. Disponible en: https://ludlums.com/images/product_manuals/M3_Spanish.pdf.

LUDLUM MEASUREMENTS, INC. *LUDLUM MODEL 44-3 GAMMA SCINTILLATOR* [en línea]. [2021] [consultado el 27 de mayo de 2022]. Disponible en: https://ludlums.com/images/product_manuals/M44-2.pdf

LUIZ DO CARMO LEAL, André, et al. Spatial distributions of natural radionuclides in soils of the state of Pernambuco, Brazil: Influence of bedrocks, soils types and climates. *Journal of environmental radioactivity* [en línea], 2020, vol. 211, p. 106046, pp. 5-7 [consultado el 22 de mayo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106046>.

MORENO, Ernesto Belmont. 2001. Práctica: Detectores de Radiación. *II Escuela Mexicana de Física Nuclear* [en línea], México, pp. 218-220 [consultado el 26 de enero del 2022]. Disponible en: <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20269263>.

MORENO, V., et al. Radon levels in groundwaters and natural radioactivity in soils of the volcanic region of La Garrotxa, Spain. *Journal of environmental radioactivity* [en línea], 2014, vol. 128, pp. 1-8 [consultado el 16 de enero del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.10.021>.

NÚÑEZ Lagos y ROGLÁ, Rafael. La radiactividad ambiental. *Revista logos ciencia y tecnología* [en línea], 2011, vol. 2, no. 2, pp. 50-61. [consultado el 2 de enero del 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/5177/517751800005.pdf>.

SATÁN CENTENO, Araceli Noemí, *Validación del método de espectrometría gamma en matrices con densidad de 0.8 a 1.2 g/cm³ en el rango de 200 a 1600 keV del espectrómetro gamma "Software Spectra Line Gamma Precision (GP)" Modelo GCD-40180X del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva de la SCAN, (Tesis) (pregrado), Escuela Superior Politécnica*

de Chimborazo. 2019. [consultado el 11 de abril del 2022].
<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/10949>

TURHAN, Şeref y GÜNDÜZ, Lüfullah. Determination of specific activity of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K for assessment of radiation hazards from Turkish pumice samples. *Journal of environmental radioactivity* [en línea], 2008, vol. 99, no 2, pp. 330-340 [consultado el 20 de marzo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2007.08.022>.

UNSCEAR. 1977 *SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION* [en línea]. New York. pp. 72-73 [consultado el 11 de diciembre de 2021]. Disponible https://www.unscear.org/docs/publications/1977/UNSCEAR_1977_Annex-B.pdf.

UNSCEAR. 2000 *SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION* [en línea]. New York. pp. 115-117 [consultado el 9 de diciembre del 2021]. Disponible en: https://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR_2000_Report_Vol.I.pdf

UNSCEAR. 2008 *SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION* [en línea]. New York. pp. 233-236 [consultado el 7 de enero del 2022]. Disponible en: https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2008_1.html

XHIXHA, Gerti, et al. Calibration of HPGe detectors using certified reference materials of natural origin. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* [en línea], 2016, vol. 307, no 2, pp. 1507-1517. [consultado el 20 de marzo del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10967-015-4360-6>.

YALCIN, Fusun, et al. Estimation of natural radionuclides' concentration of the plutonic rocks in the Sakarya Zone, Turkey using multivariate statistical methods. *Symmetry*, 2020, vol. 12, no 6, p. 1048, pp. 7-15. [consultado el 12 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/sym12061048>.

ANEXOS

ANEXO A: PRESENTACIÓN DE LA FICHA TÉCNICA (CRISTIAN SEGURA, 2021)

ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FICHA TÉCNICA N°: 01

Fecha: 6 octubre 2021
 Lugar: Tigua
 Investigadores: Cristian Segura
 Observaciones Generales:

Tipo de medidas destruidas: C/S
 Estado e Rango de detección: X4

Coordenadas	Nombre	Hora	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5
786025 m E / 5880780 m S	PR-02	08:30	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
786025 m E / 5880780 m S	PR-03	08:30	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
786025 m E / 5880780 m S	PR-04	08:30	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
786025 m E / 5880780 m S	PR-05	08:30	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
786025 m E / 5880780 m S	PR-06	08:30	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
786025 m E / 5880780 m S	PR-07	08:30	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
786025 m E / 5880780 m S	PR-08	08:30	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0

ANEXO B: PRESENTACIÓN DEL MEMBRETE USADO PARA CADA MUESTRA



ANEXO C: MUESTREO EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA



ANEXO D: TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE SUELO



ANEXO E: PREPARADO DE LAS MUESTRAS DE SUELO



ANEXO F: ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

Reubicación de la muestra en el Marinelli



Análisis de la muestra en espectrometría gamma



ANEXO G: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

 Ministerio de Energía y Poder Eléctrico del Ecuador	SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES	 Red Ecuatoriana de Metrología
---	---	---

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE DETECTORES DE RADIACIÓN

SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES
LABORATORIO DE CALIBRACIONES DOSIMÉTRICAS

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No.: **CAL 2526 - 2021**

SOLICITANTE:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO				FECHA DE CALIBRACIÓN:		2021-10-21
DIRECCIÓN:	Hnos Levis entre Junin - Argentinos						
INSTRUMENTO:	EQUIPO ANALOGO	Marca:	LUDLUM	Modelo:	3	Serie:	327475
DETECTOR:	CENTELLEO	Marca:	LUDLUM	Modelo:	44 - 2	Serie:	PR 400436

Condiciones ambientales durante la calibración:

Temperatura (°C): **19,1** Presión (mbar): **708,8** Humedad rel. (%): **65%**

Instrumentos de Referencia:

Cámara de Ionización Marca - Modelo: **PTW - PTW-32002** Serie No.: **576**
 Electrómetro Marca - Modelo: **PTW - UNIDOS Weblíne** Serie No.: **533**

Revisión de Características del Instrumento:

Chequeo Mecánico: **OK**
 Chequeo Audio y/o Alarma: **OK**
 Dispositivo de Calibración: **DISPONIBLE**

Condiciones de pruebas realizadas al instrumento:

Substracción de Background: **SI**
 Se determinó Linealidad: **SI**
 Fuentes de Calibración: **OB6**
 Atenuadores (mm): **0.0**

DATOS DE CALIBRACIÓN PARA TASAS DE EXPOSICIÓN POR RADIACIÓN GAMA CON CESIO 137

ESCALA	FUENTE DE CALIBRACION	TASA DE EXPOSICIÓN DE REFERENCIA	LECTURA PROMEDIO DEL INSTRUMENTO	FACTOR DEL INSTRUMENTO
X 10 (0 - 50000) CPM	CDRS62	116,60 ± 0,00 uR/h	26000 CPM	0,0045 (uR/h)/CPM
X 100 (0 - 500000) CPM	CDRS62	1428,6 ± 0,00 uR/h	250000 CPM	0,0057 (uR/h)/CPM

NOTA 1: LAS MEDICIONES REALIZADAS CON EL EQUIPO DEBEN SER OBLIGATORIAMENTE MULTIPLICADAS POR EL FACTOR INDICADO PARA DETERMINAR EL VALOR REAL

NOTA 2: NO MOVER O MANIPULAR EL DISPOSITIVO DE CALIBRACIÓN

El Laboratorio de Calibraciones Dosimétricas (LCD) del Ecuador, certifica que el instrumento ha sido calibrado bajo las normas y procedimientos establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), tomando como referencia el Reporte de Seguridad Serie 16: Calibración de Instrumentos para Monitoreo de Protección Radiológica.

Este certificado no puede ser reproducido sin la aprobación escrita del laboratorio.

Elaborado por: **Dr. Carlos Chérrez**
 Fecha de Emisión: **2021-10-22**

Revisado por.:



ENRIQUE DAVID AREVALO BARRAGAN

Ing. Enrique Arévalo
Responsable de laboratorio LCD

Aprobado por.:  **RUTH GRACIELA AYABACA CAZAR**
Ayabaca

Directora de Aplicaciones Nucleares y Cooperación Técnica

ANEXO H: REPORTES DE LOS ANÁLISIS DE MUESTRAS



Ministerio de Energía
y Recursos Naturales No Renovables

SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES LABORATORIO DE ANÁLISIS DE RADIATIVIDAD

INFORME DE ANÁLISIS DE CONTENIDO RADIATIVO Código de Laboratorio: ARAD-2021- 057

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

Muestras: MUESTRAS DE SUELOS ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR EL CLIENTE

Fecha de Ingreso al Laboratorio:

PRIMER INGRESO: 28/08/2021 (ARAD-2021-057.04 HASTA ARAD-2021-057.05)

SEGUNDO INGRESO: 30/09/2021 (ARAD-2021-057.06 HASTA ARAD-2021-057.10)

TERCERO INGRESO: 06/10/2021 (ARAD-2021-057.11 HASTA ARAD-2021-057.15)

CUARTO INGRESO: 15/10/2021 (ARAD-2021-057.16 HASTA ARAD-2021-057.20)

Cliente:

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO, (CONVENIO DE COOPERACION INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL MINISTERIO DE ENERGIA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES "MERNNR" Y LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO "ESPOCH"

Panamericana Sur km 1 ½

Riobamba-Ecuador

RADIOACTIVIDAD DETERMINADA EN LAS MUESTRAS CON SU ACTIVIDAD E INCERTIDUMBRE ASOCIADA

CÓDIGO ARAD	CÓDIGO CLIENTE	²¹⁰ Bi Bq/g	²¹⁰ Pb Bq/g	²²⁶ Ra Bq/g	²³² Ac Bq/g	²¹⁰ Pb Bq/g	⁴⁰ K Bq/g
ARAD-2021-057.01	PR-01	0.042	0.115	< 0.001	0.0213	0.0239	0.359
ARAD-2021-057.02	PR-02	0.009	0.090	< 0.001	0.0161	0.0193	0.274
ARAD-2021-057.03	PR-03	0.048	0.099	< 0.001	0.0217	0.0221	0.296
ARAD-2021-057.04	PR-04	0.050	0.097	< 0.001	0.0195	0.0207	0.207
ARAD-2021-057.05	PR-05	0.039	0.085	< 0.001	0.0170	0.0192	0.252
ARAD-2021-057.06	PR-06	0.012	0.073	0.014	0.0179	0.0188	0.234
ARAD-2021-057.07	PR-07	0.033	0.076	< 0.001	0.0089	0.0174	0.249
ARAD-2021-057.08	PR-08	0.043	0.082	< 0.001	0.0193	0.0187	0.294
ARAD-2021-057.09	PR-09	0.042	0.081	< 0.001	0.0198	0.0201	0.300
ARAD-2021-057.10	PR-10	0.034	0.074	< 0.001	0.0187	0.0196	0.246
ARAD-2021-057.11	PR-11	0.267	0.530	0.032	0.0640	0.0089	0.810
ARAD-2021-057.12	PR-12	0.061	0.125	< 0.001	0.0263	0.0331	0.327
ARAD-2021-057.13	PR-13	0.081	0.154	< 0.001	0.0285	0.0351	0.344
ARAD-2021-057.14	PR-14	0.057	0.119	< 0.001	0.0217	0.0229	0.333
ARAD-2021-057.15	PR-15	0.105	0.123	0.024	0.0270	0.0285	0.321
ARAD-2021-057.16	PR-16	0.051	0.111	0.023	0.0259	0.0267	0.318
ARAD-2021-057.17	PR-17	0.054	0.111	< 0.001	0.0232	0.0268	0.354
ARAD-2021-057.18	PR-18	0.053	0.109	< 0.001	0.0211	0.0230	0.294
ARAD-2021-057.19	PR-19	0.050	0.107	0.038	0.0217	0.0285	0.353
ARAD-2021-057.20	PR-20	0.292	0.570	< 0.001	0.0670	0.0940	0.850



ARAD-2021-057

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



SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE RADIOACTIVIDAD

INFORME DE ANÁLISIS DE CONTENIDO RADIOACTIVO
Código de Laboratorio: ARAD-2021- 057.01

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

Muestras: MUESTRAS DE SUELOS ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR EL CLIENTE

Fecha de ingreso al Laboratorio:

QUINTO INGRESO: 22/10/2021 (ARAD-2021-057.21 HASTA ARAD-2021-057.25)

SEXTO INGRESO: 12/11/2021 (ARAD-2021-057.26 HASTA ARAD-2021-057.29)

SEPTIMO INGRESO: 18/11/2021 (ARAD-2021-057.30 HASTA ARAD-2021-057.34)

OCTAVO INGRESO: 24/11/2021 (ARAD-2021-057.35 HASTA ARAD-2021-057.39)

Cliente:

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO. (CONVENIO DE COOPERACION INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL MINISTERIO DE ENERGIA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES "MERNNR" Y LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO "ESPOCH"

Panamericana Sur km 1 ½

Riobamba-Ecuador

*RADIOACTIVIDAD DETERMINADA EN LAS MUESTRAS CON SU ACTIVIDAD
E INCERTIDUMBRE ASOCIADA*

CÓDIGO ARAD	CÓDIGO CLIENTE	²¹⁴ Bi Bq/g	²¹⁴ Pb Bq/g	²²⁶ Ra Bq/g	²³² Ac Bq/g	²¹⁰ Pb Bq/g	¹³⁷ Cs Bq/g
ARAD-2021-057.21	PR-21	0.053	0.098	< 0.001	0.0261	0.0281	0.267
ARAD-2021-057.22	PR-22	0.027	0.077	< 0.001	0.0102	0.0168	0.236
ARAD-2021-057.23	PR-23	0.025	0.080	< 0.001	0.0183	0.0193	0.219
ARAD-2021-057.24	PR-24	0.054	0.118	< 0.001	0.0263	0.0306	0.281
ARAD-2021-057.25	PR-25	0.028	0.072	0.053	0.0159	0.0172	0.209
ARAD-2021-057.26	PR-26	0.048	0.084	< 0.001	0.0179	0.0197	0.253
ARAD-2021-057.27	PR-27	0.026	0.071	< 0.001	0.0175	0.0170	0.228
ARAD-2021-057.28	PR-28	0.052	0.100	< 0.001	0.0244	0.0239	0.266
ARAD-2021-057.29	PR-29	0.055	0.122	< 0.001	0.0226	0.0252	0.352
ARAD-2021-057.30	PR-30	0.027	0.057	< 0.001	0.0106	0.0190	0.180



ARAD-2021-057

**RADIOACTIVIDAD DETERMINADA EN LAS MUESTRAS CON SU ACTIVIDAD
E INCERTIDUMBRE ASOCIADA**

CÓDIGO ARAD	CÓDIGO CLIENTE	²¹⁰ Pb Bq/g	²¹⁰ Pb Bq/g	²²⁶ Ra Bq/g	²²⁸ Ac Bq/g	²¹⁰ Pb Bq/g	⁴⁰ K Bq/g
ARAD-2021-057.31	PR-31	0.072	0.155	< 0.001	0.0202	0.0224	0.302
ARAD-2021-057.32	PR-32	0.043	0.087	0.0160	0.0162	0.0176	0.239
ARAD-2021-057.33	PR-33	0.062	0.134	< 0.001	0.0231	0.0255	0.352
ARAD-2021-057.34	PR-34	0.060	0.129	0.033	0.0240	0.0253	0.348
ARAD-2021-057.35	PR-35	0.890	1.770	0.220	0.370	0.480	6.600
ARAD-2021-057.36	PR-36	0.092	0.198	0.060	0.050	0.067	0.361
ARAD-2021-057.37	PR-37	0.177	0.350	< 0.001	0.0430	0.0400	0.281
ARAD-2021-057.38	PR-38	0.040	0.074	< 0.001	0.0220	0.0231	0.187
ARAD-2021-057.39	PR-39	0.031	0.099	< 0.001	0.0181	0.0217	0.198
ARAD-2021-057.40	PR-40	0.043	0.087	< 0.001	0.0198	0.0206	0.278
ARAD-2021-057.41	PR-41	0.047	0.102	< 0.001	0.0180	0.0192	0.231
ARAD-2021-057.42	PR-42	0.057	0.135	< 0.001	0.0342	0.0410	0.195
ARAD-2021-057.43	PR-43	0.032	0.170	< 0.001	0.0143	0.0159	0.234
ARAD-2021-057.44	PR-44	0.047	0.086	< 0.001	0.0171	0.0171	0.284

Importante: Muestras entregadas por el cliente y recibidas en el laboratorio, los resultados aquí presentados corresponden única y exclusivamente para la(s) muestra(s) entregada(s).
Los datos de identificación de las muestras son de exclusiva responsabilidad del cliente.





epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS
BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y
BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 07 / 07 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Cristian Santiago Segura Cruz
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Física
Título a optar: Físico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

x



1436-DBRA-UTP-2022