



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DETERMINACIÓN DE LA RADIACIÓN GAMMA EN EL SUELO**  
**DE LA PROVINCIA DEL AZUAY**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORES:**

**JEFERSON JAVIER CUSQUILLO GUAMÁN**

**CINDY PAOLA GARCÍA AMAGUAYA**

Riobamba - Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DETERMINACIÓN DE LA RADIACIÓN GAMMA EN EL SUELO  
DE LA PROVINCIA DEL AZUAY**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORES: JEFERSON JAVIER CUSQUILLO GUAMAN**

**CINDY PAOLA GARCÍA AMAGUAYA**

**DIRECTOR: Dr. BOLIVAR EDMUNDO FLORES HUMANANTE, MSc.**

Riobamba - Ecuador

2022

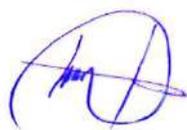
**©2022, Jeferson Javier Cusquillo Guaman & Cindy Paola García Amaguaya**

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

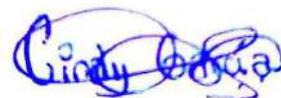
Nosotros, JEFERSON JAVIER CUSQUILLO GUAMAN y CINDY PAOLA GARCÍA AMAGUAYA, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 9 de noviembre de 2022



**Jeferson Javier Cusquillo Guaman**  
**C.I. 060468217-9**



**Cindy Paola García Amaguaya**  
**C.I. 060523600-9**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal de Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto de Investigación, **DETERMINACIÓN DE LA RADIACIÓN GAMMA EN EL SUELO DE LA PROVINCIA DEL AZUAY**, realizado por los señores **JEFERSON JAVIER CUSQUILLO GUAMÁN Y CINDY PAOLA GARCÍA AMAGUAYA** 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.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Segundo Hugo Calderón, MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2022-11-09
Dr. Bolivar Edmundo Flores Humanante, MSc. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2022-11-09
Dr. Celso Guillermo Recalde Moreno, PhD. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2022-11-09

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a mi “mami Yoly” y mi mamá Verónica, ya que ellas han sido las que me han inspirado toda mi vida por ser una mujeres luchadoras y valientes al enfrentarse a la vida como madres solteras por brindarme apoyo, fuerza, darme consejos y a lo largo de mi niñez y por la sabiduría y motivación para hoy estar en el lugar que me encuentro y no decaer en la mitad del camino. A mi padre por haberme apoyado en todo este tiempo de universidad y poder cumplir una de mis metas, también a mi familia por sus apoyos constantes en el transcurso de la carrera. De la misma manera agradezco a mis amigos de carrera ya que sin ese apoyo grupal no estaríamos culminando la vida universitaria.

*Cindy*

Dedico esta investigación a mi “madre Olivia” y a todos mis hermanos Alex, Dina y Fredy, ya que ellos han sido los que me han motivado toda mi vida, brindarme apoyo, fuerza, dándome consejos y a lo largo de mi niñez y por la sabiduría y motivación para hoy estar en el lugar que me encuentro y no decaer en la mitad del camino. Mi mami quien a sido el apoyo económico siendo padre y madre a la vez quien con su fortaleza infinita ha logrado educarme. De igual manera agradezco a mis amigos de carrera quienes han estado ahí mediante el apoyo grupal para culminar la universidad.

*Jeferson*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primera instancia agradezco a Dios por bendecirme en cada paso que he dado y darme la fuerza necesaria para seguir siempre adelante, a los ingenieros Gilson Pucha, Celso Recalde y Bolívar Flores por ser guías en este trabajo de investigación, por brindar sus conocimientos para poder culminar el presente proyecto. Finalmente agradezco a mi madre por haberme apoyado durante mis últimos años del colegio y hasta el día de hoy en la universidad por darme la vida y aprender de experiencias de este mundo y llevarlos en mi mente como testimonio de vida. Para así en algún momento poder compartir mis experiencias y conocimientos con quienes más lo necesiten.

*Cindy*

Primeramente, doy gracias a Dios por permitirme culminar mis estudios universitarios dándome la fuerza para no decaer, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme ser un profesional en lo que tanto me apasiona, al técnico docente Gilson Pucha, a nuestros guías de la investigación Celso Recalde y Bolívar Flores ya que mediante sus conocimientos nos permitieron culminar el presente trabajo de investigación. A mi madre a quien agradezco por apoyarme día a día al brindarme la educación desde la escuela hasta la universidad aprendiendo grandes experiencias de su vida que han sido vitales para poder llegar a donde estoy ahora y en futuro poder compartir las experiencias de vida y conocimientos a los que necesitan.

*Jeferson*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	3
1.1.	Planteamiento del Problema.....	3
1.2.	Limitaciones y delimitaciones .....	3
1.3.	Problema General de Investigación.....	4
1.4.	Problemas Específicos de Investigación.....	4
1.5.	Objetivos .....	4
1.5.1.	<i>Objetivo General</i> .....	4
1.5.2.	<i>Objetivos Específicos</i> .....	4
1.6.	Justificación de la Investigación.....	5
1.6.1.	<i>Justificación Teórica</i> .....	5
1.6.2.	<i>Justificación Metodológica</i> .....	6
1.6.3.	<i>Justificación Práctica</i> .....	6
1.7.	Hipótesis.....	7

### CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO .....	8
2.1.	Antecedentes de Investigación .....	8
2.2.	Referencias Teóricas .....	10
2.2.1.	<i>Elementos de estructura nuclear</i> .....	10
2.2.2.	<i>Radiación Natural</i> .....	11
2.2.2.1.	<i>Radiación Cósmica</i> .....	11
2.2.2.2.	<i>Radiación de origen terrestre</i> .....	11
2.2.3.	<i>Radiaciones ionizantes</i> .....	12

<b>2.2.4.</b>	<b><i>Series radioactivas naturales</i></b> .....	13
<b>2.2.4.1.</b>	<i>Radionúclidos no en serie</i> .....	13
<b>2.2.4.2.</b>	<i>Radionúclidos en serie</i> .....	14
<b>2.2.5.</b>	<b><i>Tipos de radiaciones ionizantes</i></b> .....	15
<b>2.2.5.1.</b>	<i>Partículas Alfa</i> .....	16
<b>2.2.5.2.</b>	<i>Partículas Beta</i> .....	16
<b>2.2.5.3.</b>	<i>Partículas Gamma</i> .....	17
<b>2.2.6.</b>	<b><i>Impactos a la salud</i></b> .....	17
<b>2.2.7.</b>	<b><i>Magnitudes dosimétricas de radiación ionizante</i></b> .....	20
<b>2.2.7.1.</b>	<i>Dosis absorbida</i> .....	21
<b>2.2.7.2.</b>	<i>Dosis equivalente</i> .....	21
<b>2.2.7.3.</b>	<i>Dosis efectiva</i> .....	21
<b>2.2.8.</b>	<b><i>Material radiactivo de origen natural NORM</i></b> .....	22
<b>2.2.8.1.</b>	<i>Elementos NORM en rocas intrusivas</i> .....	22
<b>2.2.8.2.</b>	<i>Elementos NORM en rocas metamórficas</i> .....	22
<b>2.2.8.3.</b>	<i>Norm y Tenorm</i> .....	22
<b>2.2.9.</b>	<b><i>Estatutos respecto a NORM</i></b> .....	23
<b>2.2.10.</b>	<b><i>Principales elementos radiactivos</i></b> .....	24
<b>2.2.10.1.</b>	<i>Uranio</i> .....	24
<b>2.2.10.2.</b>	<i>Radio</i> .....	26
<b>2.2.10.3.</b>	<i>Torio</i> .....	27
<b>2.2.10.4.</b>	<i>Potasio</i> .....	29
<b>2.2.11.</b>	<b><i>Equipos para la detección de radiación</i></b> .....	30
<b>2.2.11.1.</b>	<i>Detectores de centelleo (NaI)</i> .....	30
<b>2.2.12.</b>	<b><i>Provincia de Azuay</i></b> .....	32

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	33
<b>3.1.</b>	<b>Enfoque de Investigación</b> .....	33
<b>3.2.</b>	<b>Nivel de Investigación</b> .....	33
<b>3.3.</b>	<b>Diseño de Investigación</b> .....	33
<b>3.3.1.</b>	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i> .....	33
<b>3.3.2.</b>	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i> .....	33
<b>3.4.</b>	<b>Tipo de estudio</b> .....	33
<b>3.5.</b>	<b>Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra</b> .....	34

3.5.1.	<i>Población y planificación de Estudio</i> .....	34
3.5.2.	<i>Selección y cálculo del tamaño de la muestra</i> .....	34
3.6.	<b>Métodos, técnicas e instrumentos de investigación</b> .....	34
3.6.1.	<i>Técnicas de Recolección de Datos</i> .....	34
3.6.1.1.	<i>Determinación de los puntos muestrales tentativos</i> .....	34
3.6.1.2.	<i>Elaboración del mapa de puntos muestrales</i> .....	34
3.6.2.	<b>Monitoreo de la radiación gama en la provincia del Azuay</b> .....	39
3.6.2.1.	<i>Rutas de puntos Muestrales</i> .....	39
3.6.2.2.	<i>Localización de los puntos muestrales</i> .....	39
3.6.2.3.	<i>Medición de la radiación gamma de la provincia de Azuay</i> .....	39
3.6.3.	<b>Características de los equipos y materiales utilizados</b> .....	40
3.6.3.1.	<i>Multi-Detector Ratemeter / SCA model 3003 Series</i> .....	40
3.6.3.2.	<i>Gamma Detector Model 44-10</i> .....	41
3.6.3.3.	<i>Recolección de los datos de radiación gamma en los puntos de muestreo</i> .....	44
3.6.4.	<b>Técnicas para el análisis de resultados</b> .....	45
3.6.4.1.	<i>Método de obtención de resultados</i> .....	45

## CAPÍTULO VI

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	47
4.1.	<b>Diseño del mapa de localización de puntos definitivos donde se realizó el monitoreo de la provincia de Azuay</b> .....	47
4.2.	<b>Estimación de niveles de radiactividad en los puntos monitoreo</b> .....	47
4.3.	<b>Tasa de Dosis Efectiva a la que está expuesta la población de la provincia de Azuay</b> .....	73
4.3.1.	<i>Tasa de Dosis Efectiva según los Cantones</i> .....	73
4.4.	<b>Test de normalidad</b> .....	99
4.4.1.	<i>Método de Anderson-Darling y Kolmogorov-Smirnov</i> .....	99
4.4.2.	<i>Prueba de Kruskal-Wallis</i> .....	100
4.5.	<b>Mapa radiométrico de dosis efectiva de la provincia del Azuay</b> .....	100

## CAPÍTULO V

5.	<b>MARCO PROPOSITIVO</b> .....	102
5.1.	<b>Propuesta</b> .....	102
5.2.	<b>Gestión del proyecto de investigación</b> .....	102

<b>5.3. Cronograma.....</b>	<b>103</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>105</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>106</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Radionúclidos no en serie .....	14
<b>Tabla 2-2:</b>	Radionúclidos en serie .....	15
<b>Tabla 1-3:</b>	Puntos de monitoreo por unidad geológica de la Provincia de Azuay .....	37
<b>Tabla 2-3:</b>	Área de catastro minero de la Provincia de Azuay .....	39
<b>Tabla 3-3:</b>	Ficha de datos de las diez repeticiones de medición de radiación gamma de los diferentes puntos de monitoreo que se realizó en la provincia de Azuay. ....	40
<b>Tabla 4-3:</b>	Descripciones técnicas del Multi-Detector Ratemeter / SCA model 3003 Series .....	41
<b>Tabla 5-3:</b>	Especificaciones técnicas de Gamma Detector Model 44-10 .....	42
<b>Tabla 6-3:</b>	Listado de las ecuaciones de magnitudes dosimétricas.....	45
<b>Tabla 1-4:</b>	Niveles de radiación para el Cantón Cuenca.....	48
<b>Tabla 2-4:</b>	Niveles de radiación para el Cantón Girón .....	50
<b>Tabla 3-4:</b>	Niveles de radiación para el Cantón Gualaceo.....	51
<b>Tabla 4-4:</b>	Niveles de radiación para el Cantón Nabón .....	51
<b>Tabla 5-4:</b>	Niveles de radiación para el Cantón Paute .....	52
<b>Tabla 6-4:</b>	Niveles de radiación para el Cantón Pucará.....	53
<b>Tabla 7-4:</b>	Niveles de radiación para el Cantón San Fernando.....	54
<b>Tabla 8-4:</b>	Niveles de radiación para el Cantón Santa Isabel .....	54
<b>Tabla 9-4:</b>	Niveles de radiación para el Cantón Sigsig.....	55
<b>Tabla 10-4:</b>	Niveles de radiación para el Cantón Oña .....	56
<b>Tabla 11-4:</b>	Niveles de radiación para el Cantón Chordeleg y Guachapala .....	56
<b>Tabla 12-4:</b>	Niveles de radiación para el Cantón El Pan .....	57
<b>Tabla 13-4:</b>	Niveles de radiación para el Cantón Sevilla de Oro.....	57
<b>Tabla 14-4:</b>	Niveles de radiación para el Cantón Camilo Ponce Enríquez.....	58
<b>Tabla 15-4:</b>	Estadística descriptiva de niveles de radiactividad los cantones.....	58
<b>Tabla 16-4:</b>	Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Rocas piroclásticas y lavas andesíticas a riolíticas .....	59
<b>Tabla 17-4:</b>	Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Esquistos grafitosos .....	62
<b>Tabla 18-4:</b>	Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para las geologías Bloques, cantos rodados y arena y también Gneises, granito deformado y esquistos.....	63
<b>Tabla 19-4:</b>	Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Metalvas básicas y esquistos verdes .....	64

<b>Tabla 20-4:</b>	Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Granodiorita .....	64
<b>Tabla 21-4:</b>	Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Diorita.....	65
<b>Tabla 22-4:</b>	Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Piroclastos y lavas intermedias a ácidas .....	66
<b>Tabla 23-4:</b>	Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Lutitas, calizas y volcanoclastos .....	68
<b>Tabla 24-4:</b>	Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Arcillas marinas destuario .....	69
<b>Tabla 25-4:</b>	Estadística descriptiva de niveles de radiactividad por unidad geológica.....	70
<b>Tabla 26-4:</b>	Datos atípicos del monitoreo.....	72
<b>Tabla 27-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Cuenca.....	73
<b>Tabla 28-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Girón .....	75
<b>Tabla 29-4.</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Gualaceo .	76
<b>Tabla 30-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Nabón.....	77
<b>Tabla 31-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Paute.....	78
<b>Tabla 32-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Pucará.....	79
<b>Tabla 33-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón San Fernando .....	80
<b>Tabla 34-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Santa Isabel .....	80
<b>Tabla 35-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Sigsig.....	81
<b>Tabla 36-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Oña.....	82
<b>Tabla 37-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para los Cantones Chordeleg y Guachapala.....	83
<b>Tabla 38-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón El Pan.....	83
<b>Tabla 39-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Sevilla de Oro .....	84
<b>Tabla 40-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Camilo Ponce Enríquez.....	85
<b>Tabla 41-4.</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Rocas piroclásticas y lavas andesíticas a riolíticas .....	86
<b>Tabla 42-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Esquitos grafitosos .....	89
<b>Tabla 43-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para las geologías QA y L90	
<b>Tabla 44-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Metalvas	

	básicas y esquistos verdesSS.....	91
<b>Tabla 45-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Granodiorita .....	92
<b>Tabla 46-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Diorita ...	93
<b>Tabla 47-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Piroclastos y lavas intermedias a ácidas .....	94
<b>Tabla 48-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Lutitas, calizas y volcanoclastos .....	96
<b>Tabla 49-4:</b>	Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Arcillas marinas destuario .....	97
<b>Tabla 50-4:</b>	Resultado del método Anderson-Darling y Kolmogorov-Smirnov .....	99
<b>Tabla 51-4:</b>	Resultado de la prueba de Kruskal-Willis.....	100
<b>Tabla 1-5:</b>	Presupuesto de la investigación.....	102
<b>Tabla 2-5:</b>	Cronograma de la investigación.....	103

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b>	Inestabilidad nuclear .....	10
<b>Ilustración 2-2:</b>	Comparación de longitud de onda, frecuencia y energía para el espectro electromagnético .....	12
<b>Ilustración 3-2:</b>	Ionización y excitación.....	13
<b>Ilustración 4-2:</b>	Daño celular provocado por la radiación ionizante.....	18
<b>Ilustración 5-2:</b>	Efectos sobre la salud de la radiación ionizante a dosis y tasas altas.....	19
<b>Ilustración 6-2:</b>	Efectos en la salud de la radiación ionizante a dosis y tasas bajas.....	20
<b>Ilustración 7-2:</b>	Lesiones humanas por radiación ionizante.....	20
<b>Ilustración 1-3:</b>	Mapa tentativo de puntos muestrales .....	35
<b>Ilustración 2-3:</b>	Mapa tentativo de puntos muestrales según accesibilidad y cercanía a la población.....	36
<b>Ilustración 3-3:</b>	Mapa tentativo de puntos muestrales según la geología .....	37
<b>Ilustración 4-3:</b>	Mapa tentativo de puntos muestrales según concesiones mineras .....	39
<b>Ilustración 5-3:</b>	Multi-Detector.....	40
<b>Ilustración 6-3:</b>	Gamma Detector .....	42
<b>Ilustración 7-3:</b>	Procedimiento general para la recolección de datos de radiación gamma ..	44
<b>Ilustración 1-4:</b>	Mapa final de puntos que se monitorearon en la Provincia de Azuay .....	47
<b>Ilustración 2-4:</b>	Diagrama de cajas y bigotes de dosis absorbida en los cantones de la Provincia de Azuay .....	71
<b>Ilustración 3-4:</b>	Diagrama de cajas y bigotes de la dosis absorbida por unidad geológica...	71
<b>Ilustración 4-4:</b>	Diagrama de cajas y bigotes de dosis efectiva y cantones en la Provincia de Azuay .....	86
<b>Ilustración 5-4:</b>	Diagrama de cajas y bigotes de dosis efectiva y unidad .....	99
<b>Ilustración 6-4:</b>	Mapa radiométrico de la provincia de Azuay .....	101

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** MALLA DE PUNTOS TENTATIVOS EN ARCGIS
- ANEXO B:** CORTE DEL MAPA SEGÚN UNIDAD GEOLÓGICA EN ARCGIS
- ANEXO E:** RECONOCIMIENTO DEL LUGAR A MONITOREAR
- ANEXO F:** CAPACITACIÓN PARA EL BUEN USO DE LOS EQUIPOS
- ANEXO G:** TOMA DE DATOS IN SITU
- ANEXO H:** GPS ARROJANDO EL DATO DE ALTURA CON SU RESPECTIVO ERROR
- ANEXO I:** FICHA TÉCNICA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE MONITOREO
- ANEXO J:** PROGRAMACIÓN EN RSTUDIO DE LA NORMALIDAD
- ANEXO K:** CODIFICACIÓN EN RSTUDIO DE RESULTADOS POR EL MÉTODO DE KRUSKAL WALLIS
- ANEXO L:** CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo la elaboración de un mapa radiométrico de radiación gamma en el suelo de la provincia del Azuay, se utilizó el programa ArcGIS y la información geográfica, se elaboró una malla de 5 km entre puntos, posteriormente se desarrolló el monitoreo in situ con la ayuda de un multi-detector y una sonda gamma de centelleo de NaI tomando en consideración una altura de 1 m sobre el suelo, 50 m de distancia de edificaciones y 10 m en vías, obteniendo 10 mediciones por punto. Finalmente se realizó la estadística descriptiva de 217 puntos monitoreados, donde se evidenció que la unidad geológica GGd (Granodiorita) presentó el menor nivel de dosis efectiva 0,04 mSv/año, seguido de las unidades geológicas QA (Bloques, cantos rodados y arena) y L (Gneises, granito deformado y esquistos), con promedio de 0,07 mSv/año, para KY (Lutitas, calizas y volcanoclastos) y JAa (Metalvas básicas y esquistos verdes) los niveles se encontraron en 0,08 mSv/año, las geologías DD (Diorita) Y QTM (Arcillas marinas destuario) presentaron promedios de 0,09 mSv/año, para EOS (Rocas piroclásticas y lavas andesíticas a riolíticas) y MZ (Piroclastos y lavas intermedias a ácidas) los promedios fueron de 0,10 mSv/año, en cuanto a JAE (Esquistos grafitosos) presentó el nivel más alto de dosis efectiva con 0,11 mSv/año. De los resultados que se adquirieron el 68,7% de medidas superaron los 0,07 mSv/año para exposición de rayos gamma externa de origen natural según el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR). Con la utilización del método de interpolación Ponderación de Distancia Inversa (IDW) se cargó los resultados y se obtuvo el mapa radiológico donde se evidenció el valor más alto de radiación con 0,36 mSv/año en las coordenadas (X= 672532; Y= 9641448) perteneciente al cantón Pucará. Se recomienda que los puntos a monitorear sean superiores a 3 para obtener una buena estadística.

**Palabras clave:** <RADIACIÓN IONIZANTE>, <RADIACIÓN GAMMA>, <GEOLOGÍA>, <MAPA RADIOMÉTRICO>, <ARCGIS (SOFTWARE)>.



2490-DBRA-UPT-2022

## SUMMARY

The research objective work was the elaboration of a radiometric map of gamma radiation in the soil of the province of Azuay, using ArcGIS software and geographic information, a 5 km grid between points was elaborated, then in situ monitoring was developed with the help of a multi-detector and a NaI scintillation gamma probe, taking into consideration a height of 1 m above the ground, 50 m distance from buildings and 10 m on roads, obtaining 10 measurements per point. Finally, descriptive statistics were performed for 217 monitored points, where it was found that the geological unit GGd (Granodiorite) presented the lowest effective dose level of 0.04 mSv/year, followed by the geological units QA (Blocks, boulders and sand) and L (Gneisses, deformed granite and schists), with an average of 0.07 mSv/year for KY (Lutites, limestones and volcano clasts), (Blocks, boulders and sand) and L (Gneisses, deformed granite and schists), with an average of 0.07 mSv/year, for KY (Lutites, limestones and volcano clasts) and JAa (Basic metallvas and green schists) the levels were found at 0.08 mSv/year, 0.08 mSv/year, the DD (Diorite) and QTM (Destuary marine clays) geologies presented averages of 0.09 mSv/year, for EOS (Pyroclastic rocks and andesitic to rhyolitic lavas) and MZ (Pyroclasts and intermediate to acid lavas) the averages were 0.10 mSv/year, while JAE (Graphitic schists) presented the highest level of effective dose with 0.11 mSv/year. From the results acquired, 68.7% of the measurements exceeded 0.07 mSv/year for exposure to external gamma rays of natural origin according to the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Using the Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation method, the results were loaded and a radiological map was obtained showing the highest radiation value of 0.36 mSv/year at the coordinates (X= 672532; Y= 9641448) belonging to the Pucará canton. It is recommended that the points to be monitored be greater than 3 in order to obtain good statistics.

**Keywords:** <IONIZING RADIATION>, <GAMMA RADIATION>, <GEOLOGY>, <RADIOMETRIC MAPPING>, <ARCGIS (SOFTWARE)>.



Dra. Nanci Margarita Inca Chunata, Mgs.

C.I. 060292671-9

## INTRODUCCIÓN

El gran interés mostrado en el mundo por el estudio de la radiación gamma y la radiactividad ambiental ha llevado a la realización del presente estudio que contribuirá a la evaluación de las tasas de dosis públicas, así como, para mantener registros de datos de referencia, a fin de determinar posibles cambios en la radiactividad ambiental debido a industrias mineras y otras actividades humanas desarrolladas dentro de la provincia del Azuay. La radiación gamma natural ambiental varía con la estructura geológica y geográfica y domina la dosis de radiación externa al cuerpo humano. El estudio de radiactividad natural es necesario no solo por su impacto radiológico sino también porque actúan como excelentes trazadores bioquímicos y geoquímicos en el medio ambiente ya que, en este tipo de ambientes, las actividades de monitoreo se deben llevar a cabo primero para determinar la contribución de la radiación gamma, si se encuentran niveles altos, se deben realizar estudios más detallados en estos ambientes. Según (UNSCEAR, 2000) la radiación natural supera el 70% de la radiación total a la que estamos expuestos los humanos, se deriva de la radiación cosmogénica y de los radionucleidos terrestres. Estos últimos merecen especial atención debido a que aportan más del 84% de la exposición de los seres vivos.

La radiación gamma terrestre contribuye a la radiación natural, las principales fuentes incluyen los radionucleidos terrestres como  $^{40}\text{K}$  y de la serie  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , estos se pueden encontrar en niveles de trazas en la mayoría de los suelos. Los radionucleidos primordiales se forman mediante el proceso de nucleosíntesis en las estrellas y se caracterizan por vidas medias comparables a la edad de la Tierra (Tzortzis et al., 2003, p.2)

Durante la realización de la presente investigación se tomó en cuenta los siguientes capítulos. El capítulo I, se abordaron temas como el planteamiento del problema por tanto se realiza en base a que no existe mediciones de radiación terrestre y/o NORM en la provincia del Azuay. Con el objetivo de cuantificar la radiación terrestre a la que está expuesta su población y obtener una línea base de referencia la cual es importante obtener como referencia para futuras evaluaciones radiológicas, este estudio se enfoca en realizar un estudio radiométrico a nivel provincial en lugares estratégicos desde el punto de vista de la protección radiológica, el estudio radiométrico en este sector se justifica por la poca o nada información referente a radiación gamma en el suelo y los impactos negativos al ambiente son procedentes de pequeña minería y minería artesanal realizada de manera antitécnica, causan una contaminación al ecosistema principalmente, luego se presenta la hipótesis haciendo énfasis en la influencia de las geologías en relación a la radiación gamma. En el capítulo II se enfocó en los antecedentes estos aportando a nuestra investigación con sus metodologías y parámetros importantes al momento del monitoreo para desarrollar y las referencias teóricas en donde se detallan conceptos y de

radiación ionizante natural y las principales fuentes de emisión de rayos gamma así también los estatutos a nivel local y mundial con respecto a los materiales de origen natural conocido por sus siglas (NORM). Durante el capítulo III se desarrolló la investigación con el marco metodológico donde por medio de revisión bibliográfica y la utilización de programas se elaboró el mapa de los puntos muestrales para el monitoreo de la radiación gamma en el suelo de la provincia del Azuay. Para el capítulo IV se realizó el análisis los resultados obtenidos durante el monitoreo para poder obtener el mapa dosimétrico de la provincia. Finalmente, el capítulo V donde se realizó un marco propositivo esperando a futuro mitigar una parte del problema implementando medidas de protección radiológica en especial a los trabajadores de concesiones mineras, por otra parte, se debería implementar un documento legal que permita ejercer y regular adecuadamente la exposición a radiación gamma terrestre, seguido de las conclusiones y recomendaciones del proyecto de investigación.

## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del Problema

En el año 2015, Ecuador produjo 6.2 mil kg de oro, del cual más del 50% se extrajo de la provincia del Azuay (Banco Central del Ecuador, 2016), la provincia tiene un alto potencial minero especialmente de Au y ciertos depósitos polimetálicos, concesiones se encuentran distribuidos por todo su territorio (ARCOM, 2019). Según las organizaciones internacionales tal como, *International Atomic Energy Agency* (IAEA) y la Comunidad Europea (EU) algunas minerías extractivas son catalogadas como sector industrial que generan material radiactivo de origen natural (NORM) hacia la superficie (IAEA, 2018), esto es debido por que extraen minerales que contienen NORM de la corteza terrestre, de una u otra forma, pueden incrementar la exposición de los trabajadores y, en caso que el material se libere al medio ambiente, incrementa la exposición a la población, en el peor de los casos, si las actividades no son bien manejadas, representan un riesgo ambiental contaminando el suelo, agua y aire. No existe mediciones de radiación terrestre en la provincia del Azuay. Con el objetivo de cuantificar la radiación terrestre a la que está expuesta su población y obtener una línea base de referencia la cual es importante obtener como referencia para futuras evaluaciones radiológicas, este estudio se enfoca en realizar un estudio radiométrico a nivel provincial en lugares estratégicos desde el punto de vista de protección radiológica

Se han realizado mediciones de radón dentro de viviendas en algunas parroquias del cantón Cuenca y un monitoreo de radiactividad en sedimentos carbonatados al suroeste, sin embargo, no se ha realizado una evaluación a nivel cantonal y a su vez a nivel provincial de la radiación gamma proveniente del suelo y su contribución a la exposición de la población por la radiación terrestre. Los datos de radón son importantes conocer por que contribuyen a la exposición por inhalación en lugares cerrados, pero conocer los niveles de radiación terrestre del suelo permite estimar la dosis absorbida que recibe la población por exposición externa al aire libre. Existen radionucleidos en el suelo tal como el  $^{40}\text{K}$  y algunos productos de la cadena de desintegración del  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$  que emiten radiación gamma y tienen mayor alcance que radionucleidos con emisiones de partículas alfa (ej. radón) y beta.

#### 1.2. Limitaciones y delimitaciones

- Para el monitoreo nos limitamos a puntos que tengan altitud menor a 3500 msnm, por

tanto, se descarta puntos mayores ya que la mayor contribución de radiación gamma es de tipo cósmica.

- Se realiza una reubicación de varios puntos por la inaccesibilidad y cercanía a la población.
- Uno de los obstáculos en el desarrollo de la investigación ha sido el no poder recolectar las muestras donde más radiación gamma arroje el detector, debido a que no existe un convenio previo de la institución con las concesiones mineras.
- La ejecución de la investigación se delimitará solo a recolección de los datos en el monitoreo para la realización del mapa radiométrico por el corto tiempo para la entrega del escrito, falta de convenios con los cantones y concesiones mineras aledañas a la provincia de estudio.

### **1.3. Problema General de Investigación**

Conocer la contribución de la radiación gamma del suelo en la población de la provincia del Azuay.

### **1.4. Problemas Específicos de Investigación**

¿Cómo se elabora los mapas de distribución muestral y geográfica?

¿Qué nivel de radiactividad existe en el suelo de la provincia del Azuay?

¿Cuál es la cantidad de dosis de radiación a la que está expuesta la población del Azuay?

### **1.5. Objetivos**

#### ***1.5.1. Objetivo General***

Determinar la radiación gamma en el suelo de la provincia del Azuay mediante el monitoreo para la cuantificación de los niveles de radiactividad.

#### ***1.5.2. Objetivos Específicos***

- Diseñar un mapa de localización de puntos de medición mediante un sistema de información geográfica (SIG).
- Determinar los niveles de radioactividad del suelo en la zona de la provincia de Azuay.
- Estimar la tasa de dosis efectiva a la que está expuesta la población de la provincia de Azuay.

- Elaborar un mapa radiométrico de la provincia del Azuay.

## **1.6. Justificación de la Investigación**

### ***1.6.1. Justificación Teórica***

En Azuay, las actividades de comercio, industria manufacturera y agricultura representan el 51% de la población económicamente activa (PEA), el resto desarrolla actividades en la explotación de minas y canteras (Gobierno Municipal de El Carmen, 2012), pero el año 2017, esta cifra aumento al 85% (Banco Central del Ecuador, 2017). En el 2019, se registró 41 concesiones mineras de oro en el Distrito Minero Camilo Ponce Enríquez (DMCPE), mismo fue reportado por la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM) (ARCOM, 2019). Así mismo, en los últimos años los proyectos mineros de gran escala tal como Loma Grande y Rio Blanco comenzaron con la explotación de oro en la provincia. Los impactos negativos al ambiente son procedentes de pequeña minería y minería artesanal realizada de manera antitécnica, causan una contaminación al ecosistema, principalmente en la extracción de los metales pesados (arsénico, mercurio, plomo, zinc, plomo y los radionucleidos) y de cianuro. Además, en la provincia existen minerías abandonadas donde se desarrollaron extracciones intensas de oro a principios de la década de 1980, por ejemplo, en Pijili. El desarrollo de la provincia de estudio se cimienta principalmente actividades mineras de Au, la mayoría de pequeña minería y minería artesanal, sin embargo, se debe preservar la biodiversidad, el medio ambiente y sobre todo la salud de la población.

Estudios radiométricos muestran lugares con altas concentraciones de radón. (Loayza, 2018) localiza en la parroquia Totoracocha y Yanuncay niveles próximos a los límites máximos (150 Bq/m<sup>3</sup>) establecidos por la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos de América (EPA) para la concentración de radón. Por otro lado, (Arteaga & Lliguin, 2018) obtuvieron concentraciones de radón que sobrepasan los límites permisibles de EPA en la parroquia Victoria del Portete, alcanzando un promedio de 578.22 Bq/ m<sup>3</sup>. La exposición a estos niveles de radón aumenta el valor dosis absorbida por inhalación, sobrepasando el límite de 1,2 mSv/año, establecido por la United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (UNSCEAR, 2000). El radón es un producto intermedio de la cadena de desintegración del <sup>238</sup>U y <sup>232</sup>Th que se encuentra en el suelo y materiales provenientes de la corteza terrestre y al ser un gas se difunde hacia la atmosfera, altas concentraciones dependen fuertemente de la geología y de ciertas actividades extractivas. En 1966, la International Atomic Energy Agency (IAEA) identifica alta radiactividad en sedimentos carbonatados a 20 km al

suroeste de Cuenca, en el borde de una cuenca sedimentaria de agua dulce del Mioceno, la evaluación mediante excavación de zanjas, determino concentraciones de uranio, con un promedio de 30 ppm y alcanzando un rango de 400 ppm.

### ***1.6.2. Justificación Metodológica***

El desarrollo de un estudio radiométrico en este sector se justifica por la poca o nada información referente a radiación gamma en el suelo y conocer los niveles de radiación terrestre a la que está expuesta la población. Lo que implica el monitoreo de datos de radiación gamma de esta área estratégica productiva del país, donde se estima que mencionadas actividades extractivas aumentará de manera importante.

En cuanto al cumplimiento de los objetivos planteados, las actividades a desarrollarse durante el estudio son: Delineación de un mapa de puntos muestrales en el área de estudio, monitoreo de radiación gamma del suelo a nivel provincial y análisis de resultados.

Se cuenta con el apoyo del Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA-ESPOCH) y la Subsecretaria de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) en la realización de estudios radiométricos mediante un convenio interinstitucional vigente, contando también con la instrumentación necesaria y el recurso humano capacitado. Además, la colaboración de expertos internacionales.

### ***1.6.3. Justificación Práctica***

En el área no se han identificado y cuantificado radionucleidos naturales mediante detectores actualizados y de alta eficiencia que miden la radiación gamma, mismos contribuyen a la exposición externa de radiación terrestre, esto conlleva al interés de la comunidad científica nacional e internacional a realizar estudios de monitoreo radiométricos para determinar la contribución de exposición a la población circundante, Por otro parte, para la implementación de normas que protejan el medio ambiente y la salud contra los efectos dañinos de las radiaciones ionizantes como es la radiación gamma, teniendo en cuenta los criterios medioambientales basados en datos científicos internacionalmente reconocidos, como los publicados por la Comisión Internacional de Protección radiológica (ICRP), el UNSCEAR, el IAEA y por la Comunidad Europea (EU), es imprescindible estimar la exposición a radiación terrestre y evaluar los posibles efectos a la salud.

Se tiene registros del Producto Interno Bruto (PIB) minero nacional que incremento ligeramente desde el 2010 hasta el 2019 con un aporte de 1.64% al PIB. En los últimos años, existe el apoyo nacional y la inversión extranjera en las actividades mineras (Ministerio de Energía y Recursos

Naturales no Renovables, 2020). Surge el interés de la académica en realizar estudios radiométricos en lugares estratégicos del país, así mismo, el interés del organismo de control, ministerios se ve reflejado en el apoyo técnico en estos estudios que son necesarios para evaluar el riesgo a la salud.

El presente trabajo de integración curricular beneficia a la población de la zona de estudio, 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 e índices de riesgo de cáncer, las cuales están limitadas por estándares internacionales.

### **1.7. Hipótesis**

Influye la geología en la tasa de dosis de radiación gamma.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de Investigación

Hoy en día debido a la gran escalada de explotación minera se ve la necesidad de realizar un mapa sobre la radiación gamma al aire libre, ya que es importante para la comunidad científica, así como dentro del ámbito de la salud poblacional. La radiactividad es un fenómeno físico, en el cual el núcleo de un átomo existe un desfase en la cantidad de neutrones y protones por lo que provoca que el átomo se torne inestable y, en la búsqueda de estabilidad va a emitir radiación (Sohrabi, 1998). La radiación gamma naturalmente es emitida por el suelo por el contenido de radionucleidos tal como ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$ ). Altas concentraciones de esos influyen sobre el organismo humano produciendo ciertos efectos negativos a largo plazo (IAEA, 2003). Más aún, si la explotación los libera de su sitio de origen, lo cual provoca un aumento de los niveles de radiación (Quintero, 2018, p.4).

La radiación gamma emitida por radioisótopos naturales, como los radionúclidos de las series  $^{232}\text{Th}$  y  $^{238}\text{U}$  y  $^{40}\text{K}$  (también llamada radiación de fondo terrestre), que existe a niveles de trazas en todas las formaciones geológicas, representa la principal fuente externa de irradiación al cuerpo humano. El estudio de la distribución de estos radionucleidos primordiales permite comprender la implicación radiológica de estos elementos debido a la exposición externa del cuerpo a los rayos gama y la posible irradiación interna del tejido pulmonar por inhalación de radón y sus derivados.

Un gran ejemplo ha sido España, el cual mediante el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) resguarda la seguridad de las instalaciones nucleares y radiactivas, vigila los niveles de radiactividad que existen dentro y fuera de dichas instalaciones, controla las dosis de radiación que reciben sus trabajadores y limita el impacto radiológico en las personas y en el medio ambiente (CSN, 2010, p.1).

Según la investigación realizada por Abba et al. (2017, p.2) con el tema “Niveles de dosis de radiación gamma terrestre (TGRD) en la zona norte de Jos Plateau, Nigeria: relación estadística entre tasas de dosis y formaciones geológicas” para sus mediciones usaron un medidor de sondeo portátil (Modelo 19) fabricado por Ludlum Measurement, EE. UU. Dando lecturas en  $\mu\text{R h}^{-1}$ . La respuesta de energía lineal del detector para el rango de energía fue de 0.08 y 1,2 MeV siendo excelente para cubrir la mayoría de las energías gamma de interés de fuentes de radiación gamma natural. Una vez realizado las mediciones las tasas de TGRD en todas las mediciones oscilaron entre 40 a 1265 nGy  $\text{h}^{-1}$  con un valor medio de 250 nGy  $\text{h}^{-1}$ . Este tipo de

determinación de radiación ambiental, como base de datos sirven para posibles contaminaciones ambientales por fuentes artificiales para la evaluación de tasa de dosis a la población y realización de estudios epidemiológicos.

En nuestro país según Fiallos y Carrillo (2017, p.3) se realizó la “Detección de radiación natural en la provincia de Tungurahua”, en donde se determinó la tasa de exposición, la tasa de dosis equivalente recibida por población. Las mediciones de radiación natural se efectuaron mediante un detector portable Geiger Müller modelo GCA-07W en 80 puntos y en cada punto se tomaron 5 medidas, obteniendo un total de 400 datos. El promedio de radiación natural que posee la provincia de Tungurahua es de 2,08 mSv/año, es decir un 13,33% por debajo del promedio mundial recomendado por el Comité Científico de Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica.

Según López et al. (2021, p.6). En la investigación realizada en las Islas Canarias con el tema denominado “Radionucleidos emisores de rayos gamma naturales y artificiales en suelos volcánicos de Canarias Occidental”. Las tasas de dosis absorbida de rayos gamma terrestres, así como la distribución espacial de los radionucleidos emisores de rayos gamma  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  y  $^{232}\text{Th}$  y  $^{137}\text{Cs}$  en los suelos fue en promedio de  $(71,4 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1})$  los valores fueron ligeramente superiores a los valores informados anteriormente para las islas orientales de este archipiélago  $(43 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1})$  y cercana al promedio mundial  $(59 \text{ nGy}\cdot\text{h}^{-1})$ . En algunas de las muestras recolectadas se midieron concentraciones de actividad de  $^{137}\text{Cs}$  relativamente altas, de hasta  $100 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ . En términos de riesgo radiológico, las dosis absorbidas de rayos gamma reportadas (exposición externa) no representan ningún riesgo para la población local. Sin embargo, la contribución de las concentraciones de actividad de  $^{137}\text{Cs}$  del suelo a la dosis absorbida de rayos gamma llegó al 50% en algunos pocos lugares.

En Perú el autor Julio Manosalva realizó un análisis titulado “Radiación ambiental en la zona central del Perú” en los meses de julio y agosto del año 2006, desde los 0 a los 4800 metros sobre el nivel del mar, en el cual pudo conseguir un número de doscientas cincuenta medidas de radiación en la ciudad de Lima y Morococha. Dónde pudo registrar  $240 \text{ nSv/h}$  en la región de Chala donde su altitud estaba en el rango de 0-500 msnm, con respecto a la región de Yunga obtuvo radiación de  $260.8 \text{ nSv/h}$  esta tiene una altitud de entre 2300 a 3500 msnm, en la región de Jalca con  $404.2 \text{ nSv/h}$  esta con altitud en rangos de 3500 a 4000 msnm, su región Quechua lo realizaron entre altitudes de 2300 a 3500 teniendo un promedio de radiación de  $341.4 \text{ nSv/h}$  y por último en la región de Puna constatan radiación de  $515 \text{ nSv/h}$  en alturas de 4000 a 4800msnm, realizando los respectivos cálculos obtienen un promedio de  $3.2 \text{ mSv}$  de dosis equivalente anual en este país. (Manosalva, 2006, p.4).

## 2.2. Referencias Teóricas

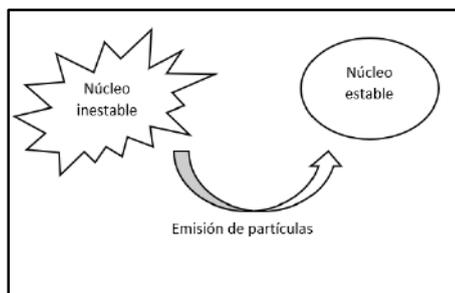
### 2.2.1. Elementos de estructura nuclear

Los protones y neutrones son componentes del núcleo también llamados nucleones que son los que forman el centro de fuerzas y masa de un átomo. Existen tres factores que son importantes en la estructura de una molécula como el tipo, número de átomos que la constituyen y la distribución espacial entre núcleos y su conectividad (Oriol, 2013, p.23).

Mediante el número atómico de un átomo se puede identificar a un elemento en particular, por tanto, se puede decir que cada tipo de átomo tiene una combinación única de protones y neutrones. Cada nucleido se indica mediante la simbología del elemento a tratar también se escribe como subíndice el número atómico conocido por la simbología de la letra mayúscula ( $Z$ ) y de igual manera por su número másico con la letra mayúscula ( $A$ ) como superíndice como se puede describe a continuación:



Por la razón que cada elemento tiene un nombre, símbolo químico y número atómico únicos, se necesita solo uno de estos para identificar algún elemento debido a esto los nucleidos también pueden identificarse por el nombre o el símbolo químicos seguido del número de masa para tener claro se describe el siguiente ejemplo,  ${}^{235}\text{U}$  o uranio-235. Los núcleos atómicos de un elemento que contiene igual número de protones, pero diferentes números de neutrones se denominan isótopos. Existen elemento que tienen dos o más isótopos naturales estables. Se puede decir que un núcleo que se encuentra en un estado energéticamente inestable pierde energía, ya sea a través de la emisión de partículas o de radiación electromagnética (decaimiento) como se puede visualizar en la Ilustración.



**Ilustración 1-2:** Inestabilidad nuclear

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

### ***2.2.2. Radiación Natural***

Todos vivimos en un ambiente naturalmente radiactivo por tanto se puede decir que nuestro planeta está infatigablemente bombardeado con partículas del espacio llamadas rayos cósmicos, que consisten principalmente en protones, núcleos pesados, partículas alfa, beta y radiación gamma. La atmósfera actúa como filtro y reduce la cantidad de esta radiación que llega a la Tierra, pero no toda (González y Lema, 2011).

#### ***2.2.2.1. Radiación Cósmica***

Diferentes tipos de partículas como electrones, partículas alfa, protones y varias partículas de alta energía forman rayos cósmicos. Según su origen, se pueden dividir en partículas atrapadas, rayos cósmicos galácticos y partículas de radiación solar (Curtis et al., 1986, p.78). Las partículas atrapadas se encuentran en órbita en torno a la Tierra bajo la influencia de un campo magnético, y están compuestas principalmente por electrones y protones. La radiación cósmica galáctica compuesta por protones acompañados de helio e iones más pesados, que provienen del exterior del sistema solar, persiste en nuestra galaxia durante un promedio de 200 millones de años, y las energías de la mayoría de las partículas cósmicas oscilan entre  $10^2$  y  $10^5$  MeV (Fernández y Armas, 2000, p.89).

La radiación solar, como la radiación cósmica, consta de protones con helio, también de iones pesados, emiten constantemente partículas de baja energía y durante la perturbación del campo magnético, producen la mayor porción de partículas energéticas. En el ciclo solar de once años provoca una emisión de partículas con mayor energías estas oscilan entre 1 a 1000 MeV, existen casos en los que estos superan el 1 GeV (O'Brien et al., 1992, p.9).

Otra clasificación de los rayos cósmicos consiste en rayos cósmicos primarios y rayos cósmicos secundarios. Los rayos cósmicos primarios son rayos de alta energía que ingresan a la atmósfera terrestre y pueden originarse en las galaxias y el Sol. Los rayos cósmicos secundarios se producen como resultado de las interacciones entre los rayos cósmicos primarios y los núcleos atómicos en la atmósfera (Fry y Nachtwey, 1988, p.78).

#### ***2.2.2.2. Radiación de origen terrestre***

Los isótopos que se encuentran en la parte externa de la capa terrestre son los que mayor fuente de radiación contribuyen posicionándose en segundo lugar por este motivo. Existen aproximadamente setenta isótopos radiactivos de origen natural, entre ellos los principales que contribuyen la mayor cantidad de dosis en la corteza terrestre son  $^{40}\text{K}$  con un tiempo de vida media de  $1,28 \times 10^9$  años, los materiales radiactivos correspondientes con cadenas de

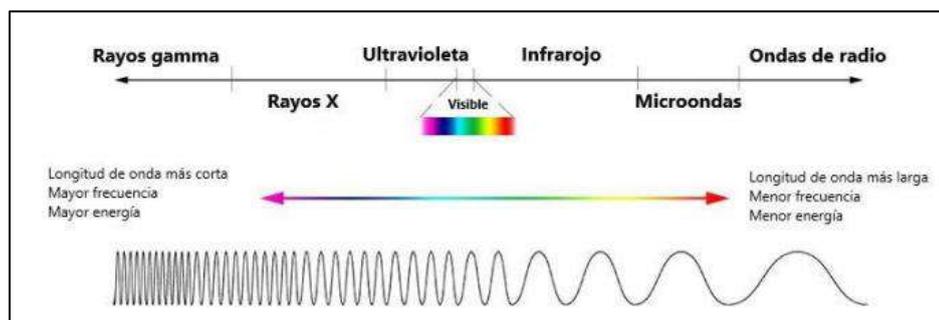
desintegración es el  $^{238}\text{U}$  teniendo una vida media de  $4,47 \times 10^9$  y  $^{232}\text{Th}$  horas en vida media de  $1,41 \times 10^{10}$  años, Con respecto al  $^{235}\text{U}$  se tiene  $7,04 \times 10^8$  años y el  $^{87}\text{Rb}$  con vida media de  $4,7 \times 10^{10}$  años estos parecen ser relativamente menos importantes en sus dosis para los seres humanos (Beer et al., 2012, p.8).

Estos radionucleidos, que tienen una vida media similar a la edad de la Tierra, han estado en ellos desde su aparición (Beer et al., 2012, p.89). La proporción de radiación de la Tierra va a hacer distinta en cada sitio debido a las concentraciones relativas de radionúclidos presentes en varios minerales del suelo.

### 2.2.3. Radiaciones ionizantes

Los átomos emiten una forma de energía y estas viajan en forma de ondas electromagnéticas (ya sea como rayos  $\gamma$  o rayos X), puede ser también como partículas ( $\beta$ ,  $\alpha$  o neutrones). La descomposición automática de los átomos se llama radiactividad, mientras que la excedencia de energía libre es un tipo de radiación ionizante. Los radionucleidos son aquellos elementos inconsistentes que se descomponen y emiten radiación ionizante. Para identificar los radionucleidos se mira el tipo de radiación que desprenden, la vida media y la energía de radiación (World Health Organization, 2016, p.67).

Según el Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU. (Hofmann, 2011), la radiación ionizante es una radiación electromagnética con suficiente energía para eliminar 10 electrones de un átomo (ver Ilustración 2-2). La ionización conduce a la generación de electrones libres con carga negativa y átomos ionizados con carga positiva. La radiación ionizante se puede clasificar en dos tipos: fotones (rayos X y rayos gamma) y partículas (partículas alfa y beta y neutrones).

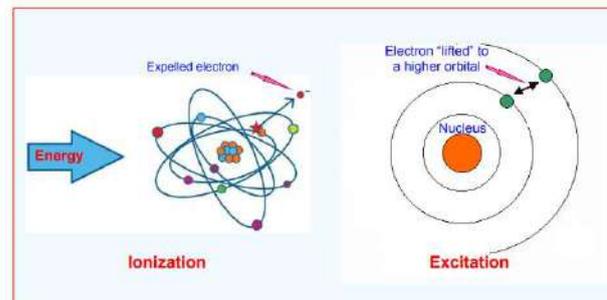


**Ilustración 2-2:** Comparación de longitud de onda, frecuencia y energía para el espectro electromagnético

Fuente: NASA, 2013.

Cuando la radiación de fuentes radiactivas golpea el material, choca con los átomos y moléculas

que lo componen, lo que conduce a la formación de iones y moléculas excitados. La radiación en sí perderá energía gradual y eventualmente se detendrá, y la profundidad de penetración varía mucho según el tipo de radiación y el tipo de material de impacto (Lynnebakken, 2014).



**Ilustración 3-2:** Ionización y excitación

Fuente: Lynnebakken, 2014.

Durante la ionización, el electrón expulsado pierde energía en interacción con otras moléculas (incluso puede ionizar nuevas moléculas) y termina en la molécula formando un ion negativo. En cambio, la excitación es el átomo resultante, que en el proceso no tiene suficiente energía para la ionización (Lynnebakken, 2014, p.7).

#### **2.2.4. Series radioactivas naturales**

Son elementos radiactivos que tienen origen desde la creación de lo que se conoce como planeta son vida media similar a la de la Tierra, siempre presente en desproporción y también producen otros elementos radiactivos.

Hay cuatro radionucleidos de origen natural, de los cuales solo tres se encuentran en la naturaleza porque son dirigidos por radionucleidos con vidas medias del mismo tiempo que la Tierra.

A los elementos primitivos naturales se los puede clasificar en dos grupos:

Los elementos primitivos se degradan directamente a un nucleótido estable (no secuenciado).

Los elementos elementales se desintegran en la siguiente serie con un diagrama de probabilidad (secuencia), que distinguimos la del torio, el uranio y también al actinio (López, 2020, p.3).

Por lo tanto, la exposición externa a la radiación se debe principalmente por el Potasio-40, radio 226, el radón-222 y el thorio-232, esto por estar en la corteza terrestre (Masarik, 2009, p.43).

##### **2.2.4.1. Radionúclidos no en serie**

Hay dos radionucleidos primordiales que contribuyen a la dosis de radiación terrestre natural,

$^{40}\text{K}$  y  $^{87}\text{Rb}$ , que se descomponen directamente en un isótopo estable.  $^{40}\text{K}$  es el único inestable de los tres isótopos de potasio naturales, que se desintegra por emisión beta ( $\beta$ ) a  $^{40}\text{Ca}$  y por captura de electrones a un estado excitado de  $^{40}\text{Ar}$ . El potasio es el séptimo elemento más abundante en la corteza terrestre y el sexto más abundante en los océanos. La contribución de la dosis externa puede variar debido a las concentraciones en las rocas y el suelo, por lo que una actividad específica de  $0,6 \text{ Bq / g}$  corresponde a una concentración promedio en el suelo de  $1,8 \text{ mg kg}^{-1}$  (Masarik, 2009). El  $^{87}\text{Rb}$  es un isótopo del rubidio que se encuentra en la naturaleza, es un emisor beta y la concentración de roca ( $1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) corresponde a una actividad específica de  $0,07 \text{ Bq / g}$  (Korman y Sait, 2019, p.87).

**Tabla 1-2:** Radionúclidos no en serie

Nuclide	Relative abundance	Daughter nuclide	Half-life (years)	Major radiation
$^{40}\text{K}$	0,0118	$^{40}\text{Ar}$ , $^{40}\text{Ca}$	$1,28 \times 10^9$	$\beta^-$ (89%), EC (11%)
$^{50}\text{V}$	0,24	$^{50}\text{Ti}$ , $^{50}\text{Cr}$	$6,00 \times 10^{15}$	$\beta^-$ (30%), EC (70%)
$^{87}\text{Rb}$	27,85	$^{87}\text{Sr}$	$4,70 \times 10^{14}$	$\beta^-$
$^{115}\text{In}$	96,67	$^{115}\text{Sb}$	$1,20 \times 10^{13}$	
$^{123}\text{Te}$	0,87	$^{123}\text{Sb}$	$1,20 \times 10^{13}$	
$^{138}\text{La}$	0,089	$^{138}\text{Ba}$ , $^{138}\text{Ce}$	$1,10 \times 10^{11}$	
$^{142}\text{Ce}$	11,7	$^{138}\text{Ba}$	$5,00 \times 10^{15}$	
$^{144}\text{Nd}$	23,8	$^{140}\text{Ce}$	$2,40 \times 10^{15}$	
$^{147}\text{Sm}$	15,1	$^{143}\text{Nd}$	$1,06 \times 10^{11}$	
$^{148}\text{Sm}$	11,35	$^{144}\text{Nd}$	$1,20 \times 10^{13}$	
$^{149}\text{Sm}$	14,0	$^{145}\text{Nd}$	$4,00 \times 10^{14}$	
$^{152}\text{Gd}$	0,205	$^{148}\text{Sm}$	$1,10 \times 10^{14}$	
$^{156}\text{Dy}$	0,057	$^{152}\text{Gd}$	$2,00 \times 10^{14}$	
$^{174}\text{Hf}$	0,163	$^{170}\text{Yb}$	$4,30 \times 10^{15}$	
$^{176}\text{Lu}$	2,588	$^{176}\text{Hf}$	$2,20 \times 10^{10}$	
$^{187}\text{Re}$	62,93	$^{187}\text{Hf}$	$2,20 \times 10^{10}$	
$^{190}\text{Pt}$	0,0127	$^{186}\text{Os}$	$7,00 \times 10^{11}$	
$^{204}\text{Pb}$	1,4	$^{200}\text{Hg}$	$1,40 \times 10^{17}$	

Fuente: Masarik, 2009.

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

#### 2.2.4.2. Radionúclidos en serie

Las series  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{235}\text{U}$  tienen un periodo de semidesintegración del orden de magnitud que la edad de la tierra. Estas series también disponen de descendientes emisores de radiación alfa, beta y gamma y contribuyen a campos de radiación externa e interna. El uranio natural que se encuentra en la tierra consta de cuatro isótopos que son:  $^{230}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ , abundancia máxima  $^{238}\text{U}$ , período de desintegración corresponde a  $4,4638 \times 10^9$ , este se encuentra en todo tipo de rocas y tierra de igual manera su descendencia.  $^{222}\text{Rn}$  es un descendiente radiactivo que se encuentra en condiciones normales es un gas, se lo puede encontrar en una mezcla con los gases de la atmósfera (Hess et al., 1985, p.6).

El  $^{232}\text{Th}$  tiene una vida media de  $1405 \times 10^{10}$  años, uno de sus descendientes radiactivos es el  $^{220}\text{Rn}$ , también conocido como Torón, un gas similar al radón en condiciones normales. El  $^{235}\text{U}$  tiene una vida media de  $7037 \times 10^8$  años, un componente de la serie es el  $^{219}\text{Rn}$  que, en condiciones normales, como en las series  $^{235}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$ , es un gas y puede difundirse a la atmósfera (Masarik, 2009, p.8).

**Tabla 2-2:** Radionúclidos en serie

Nuclide	Half-life	Radiation	Nuclide	Half-life	Radiation
	<b>Uranium Series</b>			<b>Thorium series</b>	
$^{238}\text{U}$	$4,5 \times 10^9$ years	$\alpha, \gamma$	$^{232}\text{Th}$	$1,4 \times 10^{10}$ years	$\alpha, \gamma$
$^{234}\text{Th}$	24 days	$\beta, \gamma$	$^{228}\text{Ra}$	6,7 years	$\beta$
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	1,2 min	$\beta, \gamma$	$^{228}\text{Ac}$	6,13 h	$\beta, \gamma$
$^{234}\text{U}$	$2,5 \times 10^5$ years	$\alpha, \gamma$	$^{228}\text{Th}$	1,19 years	$\alpha, \gamma$
$^{230}\text{Th}$	$8,0 \times 10^4$ years	$\alpha, \gamma$	$^{224}\text{Ra}$	3,64 days	$\alpha, \gamma$
$^{226}\text{Ra}$	1,622 years	$\alpha, \gamma$	$^{220}\text{Rn}$	55 s	$\alpha, \gamma$
$^{222}\text{Rn}$	3,8 days	$\alpha, \gamma$	$^{216}\text{Po}$	0,16 s	$\alpha$
$^{218}\text{Po}$	3,05 min	$\alpha$	$^{212}\text{Pb}$	10,6 h	$\beta, \gamma$
$^{214}\text{Pb}$	26,8 min	$\beta, \gamma$	$^{212}\text{Bi}$	60,5 min	$\beta, \alpha, \gamma$
$^{218}\text{At}$	1,5-2,0 s	$\alpha$	$^{212}\text{Po}$	$3,04 \times 10^{-7}$ s	$\alpha, \gamma$
$^{214}\text{Bi}$	19,7 min	$\beta, \alpha$	$^{208}\text{Tl}$	3,1 min	$\beta, \gamma$
$^{214}\text{Po}$	$1,64 \times 10^{-4}$ s	$\alpha, \gamma$	$^{208}\text{Pb}$	Stable	
$^{210}\text{Tl}$	1,3 min	$\beta, \gamma$			
$^{210}\text{Pb}$	22 years	$\beta, \gamma$			
$^{210}\text{Bi}$	5,0 days	$\beta, \alpha$			

Fuente: Masarik, 2009.

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

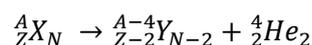
### 2.2.5. Tipos de radiaciones ionizantes

La radiactividad es un fenómeno que ocurre en ciertos núcleos atómicos que es inestable con respecto a las fuerzas que los gobiernan. Los núcleos llamados “padre” se estabilizan al emitir energía por lo que produce un núcleo “hijo” diferente al núcleo parental, estas propiedades estriban del tipo de reacción, debido a su procedencia y singularidad pueden ser inestables. A esto se le conoce como decaimiento radiactivo, por tanto, cuando emite radiación esta interactúa con su alrededor provocando la deposición de energía e ionizando los átomos (Jiménez, 2010, p.7). Inicialmente se distinguieron tres tipos de radiación según las desviaciones de sus trayectorias al pasar por un campo eléctrico, luego se determinaron sus velocidades, la relación q/m entre su carga, masa, naturaleza activa y disponibilidad. Los tipos de radiaciones existentes son: Partículas alfa (núcleos de helio), partículas beta (electrones y positrones) y radiación gamma, de naturaleza electromagnética (Jiménez, 2010, p.4).

#### 2.2.5.1. Partículas Alfa

Una partícula alfa es un conjunto estrechamente unido de dos protones y dos neutrones. Es similar a un núcleo de helio-4 ( ${}^4\text{He}$ ). De hecho, su finalidad tras disipar la mayor fracción de su energía cinética es aprehender dos electrones y transformarse en un átomo de He. Los radionucleidos emitidos por los núcleos alfa suelen ser relativamente pesados (Aramburu y Bisbal, 2009, p.2).

El proceso de desintegración alfa implica que el núcleo pierde la masa equivalente de dos protones y dos neutrones debido a la repulsión de Coulomb entre esta partícula y el núcleo. El proceso se describe a continuación:

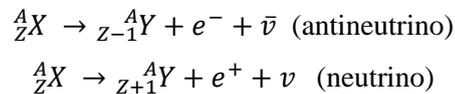


La energía de las partículas alfa emitidas por radionucleidos naturales varía entre 2 MeV y 9 MeV. Los espectros de emisión de energía de partículas alfa son discretos (Jiménez, 2010, p.7). El principal problema de salud es la ingestión o inhalación de sustancias que emiten partículas alfa, que pueden causar daños graves en un área específica de tejido (Aramburu y Bisbal, 2009, p.7).

#### 2.2.5.2. Partículas Beta

Una partícula beta es un electrón o positrón altamente energético. (El positrón es la antipartícula del electrón. Tiene la misma masa y la mayoría de las demás propiedades del electrón, excepto por la carga, tiene el mismo tamaño que el electrón, pero es positivo. Los radionucleidos emisores de beta pueden tener pesos atómicos altos o bajos (Robert y Cherry, 2015, p.8).

Durante la desintegración beta, se pueden emitir un electrón y un antineutrino (desintegración  $\beta^-$ ) o un positrón y un neutrino (desintegración  $\beta^+$ ). En pocas palabras, podemos decir que es el proceso de convertir un protón en un neutrón o viceversa, con la emisión de una partícula beta, cargada, y un neutrino o antineutrino, con muy poca interacción con la materia:



Las partículas beta no son monoenergéticas porque la distribución de energía resulta de un proceso de tres cuerpos. Por lo tanto, proporcionan un espectro de emisión continuo en el rango de keV a muchos MeV. Esta radiación suele producir ionización o excitación directa de átomos en el medio y también en el caso de partículas beta de alta energía, radiación de frenado (Bremsstrahlung) (Jiménez, 2010, p.5).

Puede dañar la piel y el tejido de la superficie, y si el cuerpo ingiere o inhala sustancias que emiten beta, irradiarán los tejidos internos (Aramburu y Bisbal, 2009, p.11).

### 2.2.5.3. Partículas Gamma

La radiación gamma es radiación electromagnética emitida por un núcleo durante su transición de un estado de mayor energía a un estado de menor energía. El número de protones y neutrones en el núcleo no cambia durante estas transiciones. El núcleo puede estar en un estado de mayor energía después de una desintegración alfa o beta previa. Esto significa que los rayos gamma generalmente se emiten inmediatamente después de la desintegración alfa o beta. Los rayos gamma también pueden resultar de la captura de neutrones y la dispersión inelástica de partículas subatómicas por parte del núcleo. La energía más alta de los rayos gamma se observa en los rayos cósmicos (Robert y Cherry, 2015, p.12).

La radiación gamma consiste en radiación electromagnética proveniente del núcleo y energías de 0,1 a 10 MeV, que caracterizan la diferencia de energía entre el estado nuclear excitado y el estado fundamental (Jiménez, 2010). Debido a esto puede ocasionar daños en la piel y en los tejidos más profundos (Aramburu y Bisbal, 2009, p.15).

### 2.2.6. Impactos a la salud

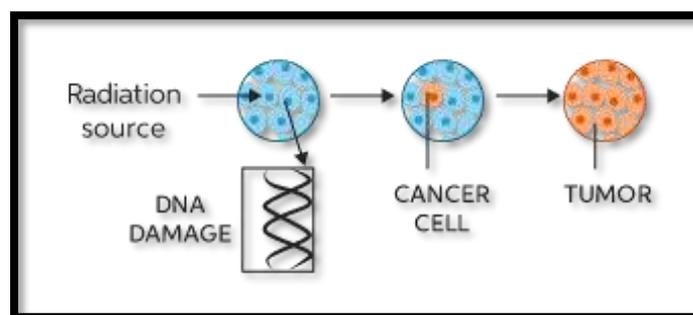
El perjuicio que causa la radiación a los órganos o tejidos va en relación con la dosis a la que se expongan o absorban y se expresa en unidades llamadas Grays (Gy). El potencial de daño va a hacer con relación a que tan sensibles son los diferentes órganos y tejidos. La radiación que

excede ciertos límites puede afectar la función de tejidos y órganos, causando graves consecuencias como: caída del cabello, lo más notorio es el enrojecimiento de la piel dada por las quemaduras, síndrome de radiación aguda. Estos efectos son mucho más severos con dosis muy altas. Un gran ejemplo es el umbral de dosis con relación al síndrome de radiación aguda que puede ser desde un sievert (1000 mSv) (World Health Organization, 2016, p.5).

Si las dosis de radiación son bajas y / o se usan en lapsos largos de tiempo, el riesgo es significativamente menor ya que es más probable que se repare el daño. No obstante, existe el riesgo de complicaciones tardías como el cáncer, que pueden aparecer años o décadas más tarde. Este tipo de efecto no siempre ocurre, pero la probabilidad de que ocurra depende de la dosis de radiación proporcional. Los niños y adolescentes corren un mayor riesgo porque son más sensibles a la exposición a la radiación que los adultos (World Health Organization, 2016, p.7).

La exhibición en estado prenatal a la radiación ionizante afecta el cerebro fetal después de dosis agudas >100 mSv entre las semanas 8 y 15 de gestación y >200 mSv entre las semanas 16 y 25 de gestación. Antes de las 8 semanas o después de las 25 semanas de gestación, los estudios en humanos no han demostrado ningún riesgo radiológico para el desarrollo del cerebro fetal. Los estudios epidemiológicos indican que el riesgo de cáncer después de la exposición a la radiación fetal es similar al de los recién nacidos después de la exposición (World Health Organization, 2016, p.9).

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos US EPA (2019, p.13), La extensión del daño a las células depende de la cantidad y duración de la exposición, así como de los órganos expuestos. Es un factor de riesgo de cáncer en humanos bien estudiado porque las estimaciones numéricas de los riesgos que plantea la radiación son necesarias para comprender los posibles efectos adversos para la salud, con el objetivo de minimizar la exposición y, por lo tanto, maximizar los beneficios del uso de la radiación.



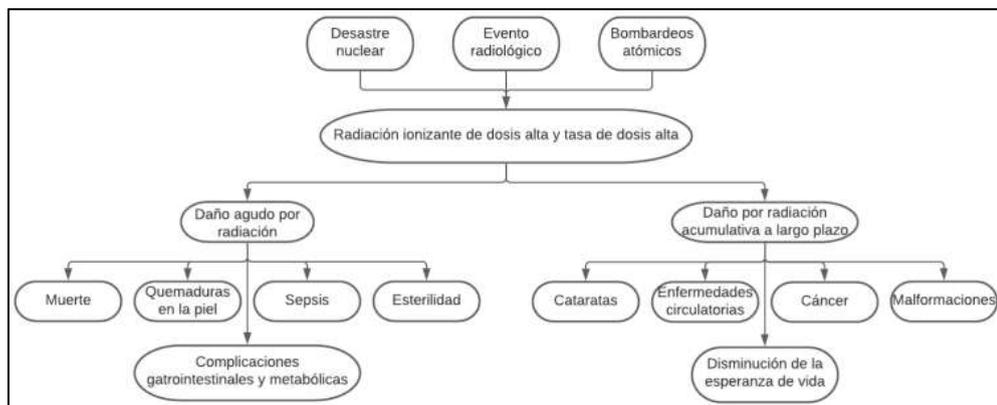
**Ilustración 4-2:** Daño celular provocado por la radiación ionizante

**Fuente:** Chegg, 2020, p.2.

La vida en la Tierra siempre está expuesta a radiación ionizante de fuentes naturales, por ejemplo, los seres humano

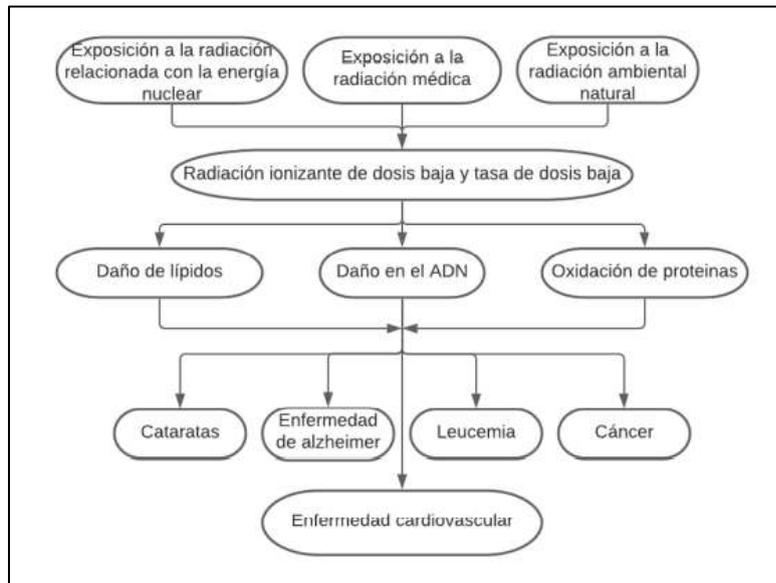
s no pueden evitar la exposición a la radiación de radón natural en particular, lo que aumenta el riesgo de cáncer de pulmón en la familia si la concentración de radiación es alta, especialmente para los fumadores. una investigación ha demostrado que la dosis de radiación anual per cápita era de 3,6 mSv a principios de la década de 1980, y las fuentes médicas contribuían solo con 0,54 mSv a esta dosis, el resto se debía a los rayos cósmicos, el radón, la tierra y los materiales de construcción. Por lo tanto, los investigadores sugieren que existe un riesgo estadísticamente significativo de leucemia asociado con la exposición a fuentes naturales de radiación gamma (ver Ilustración 4-2) (McLean et al., 2017, p.3).

Se ha prestado cada vez más atención a los efectos nocivos de la radiación ionizante en los organismos vivos. Se sabe que la HDR (radiación de alta dosis) es dañino para los organismos vivos, pero los efectos sobre la salud de la radiación de dosis baja no se comprenden completamente. Los seres humanos están inevitablemente expuestos a bajas dosis de rayos infrarrojos naturales y artificiales todos los días. Los infrarrojos se utilizan ampliamente en el cuidado de la salud, la industria, la investigación y otros campos, lo que aumenta la exposición humana (Mu et al., 2018, p.1).

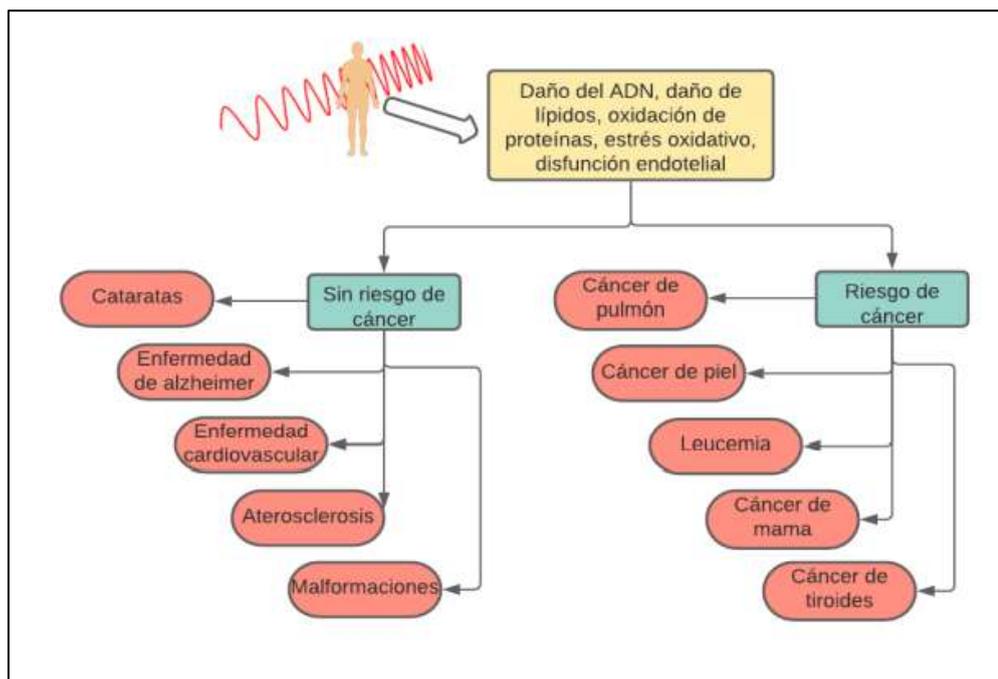


**Ilustración 5-2:** Efectos sobre la salud de la radiación ionizante a dosis y tasas altas

**Fuente:** Mu et al., 2018, p.2.



**Ilustración 6-2:** Efectos en la salud de la radiación ionizante a dosis y tasas bajas  
**Fuente:** Mu et al., 2018.



**Ilustración 7-2:** Lesiones humanas por radiación ionizante.  
**Fuente:** (Mu et al., 2018)

### 2.2.7. Magnitudes dosimétricas de radiación ionizante

La protección hacia la emisión de radionucleidos de emisión gamma se basa en la estimación de riesgos radiológicos, para esto es primordial definir sus magnitudes y unidades que representen estos efectos que causan en la población estudiada. Se conoce que la exposición esta definida

por la variable X determinada como una cantidad dosimétrica en la emisión de rayos alfa, beta y gamma, se la reconoce como la emisión de fotones (luz) de forma natural. Los efectos hacia el cuerpo humano y sus órganos, en directamente proporcional al aire que se respira. Por tanto, esta tasa se considera un valor absoluto de la carga Q de la luz que emiten los radionucleidos por la masa en el aire,  $X = dQ/dm$  (Morales-Aramburo y Puerta, 2020, p.15).

#### 2.2.7.1. Dosis absorbida

Se define como (D), y se trata de una cantidad física para cuantificar la exposición a todos los tipos de radiación ionizante y está representada por la energía que se absorbe  $\epsilon$  por cualquier parte del cuerpo humano, sobre su masa, por lo tanto, está expresada en julios por kilogramo (J / kg), y la unidad de medición es Gy (ICRP, 2010; Menzel y Harrison, 2012).

$$D = \frac{d\epsilon}{dm}$$

#### 2.2.7.2. Dosis equivalente

La magnitud se denominada H y representa a la dosis equivalente, multiplicada por un coeficiente  $W_R$ , según el tipo de radiación está expresada en J/kg, y su unidad de medida es sieverts (Sv) (ICRP, 2010) (Ubeda et al., 2018, p.1).

$$H_{T,R} = W_R * D_{T,R}$$

Donde:

$D_{T,R}$  media de la dosis absorbida debido a la radiación

R en cualquier parte del cuerpo humano

T, y  $W_R$  es el factor de ponderación de emisión de radiación.

#### 2.2.7.3. Dosis efectiva

Es la medida del riesgo de aparición de efectos a largo plazo de la radiación ionizante en el cuerpo, los órganos y los tejidos humanos, teniendo en cuenta su sensibilidad a la radiación, por ende, su definición está dada por el producto de la dosis equivalente ( $H_T$ ) recibida por la población, por el factor de ponderación de este ( $W_T$ ). Se expresa en J/kg o la unidad especial denominada Sievert (Sv) (ICRP, 2010) (Krivosheev y Kolbasov, 2018, p.2).

$$E = W_T * H_T$$

## ***2.2.8. Material radiactivo de origen natural NORM***

### *2.2.8.1. Elementos NORM en rocas intrusivas*

Las rocas ígneas intrusivas se enfrían bajo tierra. En lo profundo de la corteza, el magma se enfría. El enfriamiento lento brinda una oportunidad para el crecimiento de cristales. Las rocas ígneas intrusivas tienen cristales relativamente grandes que son fáciles de ver. Las rocas ígneas intrusivas también se conocen como plutónicas. Una roca plutónica es un cuerpo rocoso que se forma entre la corteza (Foundation, 2021, p.4).

Pero la radioactividad no se limita a estas rocas porque, en ocasiones, los depósitos de rocas se forman al acumular sedimentos o sedimentos aglomerados, arcillas, areniscas, lutitas, calizas, etc. al ser porosas y permeables alojan bien minerales de U y Th dando lugar a yacimientos importantes de minerales radiactivos (Válgoma, 2014, p.2).

Las rocas y los suelos de la corteza terrestre contienen concentraciones variables del elemento radiactivo de potasio-40 ( $^{40}\text{K}$ ) y de los miembros de las familias radiactivas del uranio, del torio y del actino (Cardenas, 2021, p.3).

### *2.2.8.2. Elementos NORM en rocas metamórficas*

Las rocas metamórficas son rocas que se producen a partir de rocas existentes, ya sean sedimentarias, ígneas o incluso metamórficas. A medida que la temperatura y la presión aumentan debido a procesos geológicos como el entierro o la intrusión de magma, experimenta cambios tanto en su mineralogía como en su composición a nivel químico. Este cambio siempre ocurre para otras rocas duras (Ingeoexpert, 2019, p.27).

Las rocas metamórficas (mármol, cuarcita, esquistos metamórficos, gneis, esquistos, etc.), formadas a altas presiones a partir de rocas ígneas o sedimentarias, tienden a mantener una alta proporción de los minerales radiactivos de las rocas madres (Válgoma, 2014, p.26).

### *2.2.8.3. Norm y Tenorm*

NORM por sus siglas en inglés significa (Naturally-Occurring Radiactive Materials) es decir son (materiales radiactivos naturales), que se definen como materiales radiactivos que contienen cantidades apreciables de radionucleidos, medio por el cual los niveles de radionucleidos naturales se modifican mediante el procesamiento es denominado TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radiactive Materials) lo que significa (material radiactivo natural técnicamente avanzado) (Sonsoles y Diaz, 2018, p.16).

Por lo tanto, TENORM son materiales radiactivos naturales que se han concentrado o expuesto al medio ambiente como resultado de las actividades humanas. Tecnología avanzada significa que las propiedades radioactivas, físicas y químicas de una sustancia radiactiva se han concentrado o alterado aún más como resultado del procesamiento de una manera que aumenta la exposición de los seres humanos y / o el medio ambiente, es así que la manipulación de NORM con fines económicos, como la minería, el procesamiento de minerales, la extracción de combustibles fósiles y la aviación comercial, puede conducir a la existencia de TENORM (Vearrier et al., 2009, p.13). La presencia de TENORM aumenta el riesgo de exposición humana a la radiación. Los trabajadores de las industrias de fabricación de TENORM pueden estar expuestos a la radiación ocupacional con actividades promedio que exceden las exenciones recomendadas por las regulaciones de seguridad (Marakby et al., 2021, p.7).

### ***2.2.9. Estatutos respecto a NORM***

Actualmente más países adoptan medidas con el fin de controlar la incidencia de la radiactividad natural en las personas, a continuación, se detalla algunas normativas vigentes:

- **Ecuador**

El Convenio N° 115 suscrito por el Gobierno Nacional y la Organización Internacional de Trabajo (OIT, 1960, p.1), respecto a la seguridad que se debe tener contra las Radiaciones de origen natural en vigencia desde el 17 de junio de 1962, es aplicable para acciones que incluyan la protección de trabajadores frente a las radiaciones, en pleno desarrollo de su labor, exhortando a adoptar medidas necesarias para obtener una protección eficaz.

- **Unión Europea**

En esta región donde se maneja múltiples fuentes de obtención de energía atómica, existen normativas para protección contra materiales utilizados por las empresas de energía y su aplicabilidad está extendida hacia las fuentes de origen natural por los siguientes códigos:

El principio de regulación y protección radiaciones ionizantes en materiales de construcción conocido como Radiation Protection 112 emitido por la comisión europea en 1999.

Y la siguiente legislación enmarcada en las empresas proveedoras de energía con el siguiente reglamento: “Radiation Protection 122. Practical use of the concepts of clearance and exemption. Part II. Application of the concepts of exemption and clearance to natural radiation sources”, 2002.

- **Estados Unidos**

EPA es la agencia estadounidense para la protección del medio ambiente, se ha puesto en marcha, realizado diversos estudios fundamentados en la radiactividad natural, para diagnosticar el riesgo que ofrece para la salud y el ambiente la radiación proveniente de los NORM generados en la industria, ya que la extracción y procesamiento de estos recursos pueden exponer o concentrar NORM, haciendo que se clasifiquen como TENORM, considerándose a la minería, la producción de energía, el tratamiento de agua y los materiales de consumo entre ellos los de construcción, como los principales sectores industriales.

### ***2.2.10. Principales elementos radiactivos***

Los radionucleidos naturales, distribuidos de forma ubicua en el medio ambiente natural, constan de tres series radiactivas bien conocidas, es decir, la serie de uranio aparece con  $^{238}\text{U}$ , la serie de torio con  $^{232}\text{Th}$  y el actinio con  $^{235}\text{U}$ . También hay varios radionucleidos que se encuentran aislados; el más importante es el  $^{40}\text{K}$  porque es un emisor de rayos gamma además de las desintegraciones beta y, por lo tanto, contribuye significativamente a la exposición a la radiación gamma (Papaefthymiou & Gouseti, 2008). Los miembros de las cadenas de desintegración radiactiva de  $^{232}\text{Th}$  (14%),  $^{235}\text{U}$  y  $^{238}\text{U}$  (55,8%), junto con  $^{40}\text{K}$  (13,8%) son responsables de las principales contribuciones a la dosis de radiación natural (Lu et al., 2014). Como la proporción de  $^{235}\text{U}$  a  $^{238}\text{U}$  es inferior al 1% (Papaefthymiou & Gouseti, 2008), la contribución de  $^{235}\text{U}$  a la dosis ambiental es muy pequeña. Dado que el 98,5% de los efectos radiológicos de la serie del uranio son producidos por  $^{226}\text{Ra}$  y sus productos secundarios, normalmente se ignora la contribución del  $^{238}\text{U}$  y los otros precursores de  $^{226}\text{Ra}$  (Chiozzi et al., p.19).

#### ***2.2.10.1. Uranio***

Esta considerado en la tabla periódica como un metal de (18,7 g/cm<sup>3</sup>) de densidad, siendo un elemento químico con número atómico  $Z = 92$ , su forma de manifestarse en la naturaleza es a partir de sus isotopos,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  y  $^{238}\text{U}$  en proporciones 0,005% el 0,7% y el 99,3% respectivamente. Es importante saber que se lo encuentra en minerales como la uraninita  $\text{UO}_2$  y (actualmente la pechblenda es una derivación del mineral), fue descubierta por Klaproth y en 1789 Peligot pudo aislarla por primera. Su concentración en la superficie terrestre esta estipulada en 4g/Tm y no se puede encontrar de forma concentrada. Siendo el agua un aislante en los océanos su proporción ese 0,003g/Tm. En cuanto a los isotopos, son ampliamente

contaminantes e inestables puesto que emiten radiación en forma de rayos alfa, beta y gamma, esto de acuerdo a la distribución neutrones y protones en el núcleo, fue Henri Becquerel, en 1896 quién pudo medir por primera vez la radiación natural.

A parte de los isotopos naturales existen también de forma artificial como es el caso del  $^{233}\text{U}$  ampliamente utilizado en la obtención de energía. Es decir que el uranio cuenta con 16 isotopos entre artificiales y naturales (Pena y Puig, 2001, p.37).

- **Características Físicas del Uranio**

La actividad específica es una propiedad que caracteriza al uranio, esto significa el tiempo en segundos que tarda en desintegrarse la muestra (masa). El uranio que se encuentra en forma natural maneja tres isotopos, y su concentración por gramo de muestra es de  $2,5 \times 10^4$  Bq, siendo un valor relativamente bajo. La semidesintegración o periodo está estrechamente ligada a la actividad, si esta disminuye con el tiempo significa que la actividad se ha reducido a la mitad, para el isotopo  $^{234}\text{U}$  su tiempo de vida media es de  $2,5 \times 10^5$  años, en el caso del  $^{235}\text{U}$  su tiempo está en  $7,1 \times 10^8$  años y finalmente el  $^{238}\text{U}$  se calcula en  $4,5 \times 10^9$  años (Pena y Puig, 2001, p.3).

- **Características químicas del Uranio**

El uranio al ser un elemento natural se encuentra en todas las rocas y suelos, así como en muestras de agua natural, químicamente se ha detectado en el aire, suelos y cenizas volantes, siendo el resultado de la deposición de partículas. La movilidad del uranio en la naturaleza está determinada principalmente por varios aspectos como:

Estado de oxidación: El uranio puede presentarse en su estado reducido (U(IV)), que generalmente es inmóvil, o es más soluble y móvil en su estado (U(VI)). También existen casos raros de U(V).

Solubilidad: La solubilidad de los minerales de uranio generalmente pone un límite superior a su concentración en solución.

Complejación: El uranio disuelto se asocia con ligandos orgánicos e inorgánicos para formar varias especies en solución tiene un impacto significativo en su movilidad ambiental.

Sorción: La unión del uranio disuelto en las superficies de las sustancias naturales se denomina sorción. La naturaleza de esta interacción puede incluir procesos como la adsorción en superficies de óxido de hierro, el intercambio de iones en las capas intermedias de minerales arcillosos o la unión de sustancias húmicas.

Geomicrobiología: En los últimos años, se ha comprendido que el comportamiento del uranio está significativamente influenciado por la interacción con microorganismos ubicuos.

Biodisponibilidad: Es la capacidad de las plantas y los organismos para acumular uranio. El uranio suele estar presente en las aguas subterráneas oxidantes como especie de uranilo catiónico ( $UO_2^{2+}$ ). Sin embargo, esta especie generalmente existe solo en forma no complejada a valores de pH bajos. La química del uranilo en solución está completamente alterada por la presencia de muchos ligandos que forman complejos y esto puede tener una influencia dramática en su movilidad. La especiación del uranio se ve afectada por ligandos inorgánicos como el fosfato o el fluoruro, ligandos orgánicos como el citrato y ligandos orgánicos naturales, incluidos los materiales húmicos y fúlvicos.

### 2.2.10.2. Radio

El radio fue uno de los primeros elementos descubiertos por sus propiedades radiactivas, por lo que estuvo íntimamente ligado al descubrimiento de la radiactividad, es un metal alcalinotérreo de número atómico 88, perteneciente al Grupo IIA de la tabla periódica, estos elementos solo están presentes en la naturaleza en el estado de oxidación +2. Hay varias tendencias en el comportamiento en todo el grupo debido al aumento del radio iónico con el número atómico. Tanto el radio como el Bario actúan de manera similar por el comportamiento iónico parecido, Por lo tanto, cuando los datos de Ra no están disponibles, el Ba se ha utilizado ampliamente a lo largo de los años para detectar el comportamiento del Ra.

En la actualidad es difícil saber dónde surgió la radiación, no se pudieron rastrear hasta ninguna fuente de energía conocida. Esta propiedad de la materia consistente en la emisión de rayos se denominó radiactividad. Posteriormente, la investigación de Pierre y Marie Curie mostró que la radiactividad es alta tanto en U como en Th, pero que esta era su única característica común.

Hay cuatro isótopos radiactivos naturales presentes en el medio ambiente porque forman parte de una serie de desintegración de radionucleidos primordiales.

El  $^{226}Ra$  proviene de la serie radioactiva del  $^{238}U$ ,  $^{223}Ra$  forma parte del  $^{235}U$  y  $^{224}Ra$  y  $^{228}Ra$  son parte de la serie  $^{232}Th$ . El único isótopo antropogénico con una vida media significativa es  $^{225}Ra$  ( $t_{1/2} = 14,9$  d) de la serie  $^{237}Np$ , donde el padre inmediato es  $^{229}Th$  ( $t_{1/2} = 7880$  a). Este isótopo Ra se ha utilizado como trazador de rendimiento para la química Ra y como tema de estudios de física nuclear, pero no se ha informado en el medio ambiente (Iaea, 2012, p.2).

- **Características químicas del Radio**

El radio es divalente y su química es parecida a la del Ba, también se lo puede encontrar en minerales discretos, como  $RaSO_4$ , este no se encuentra en los materiales terrestres, y sus

concentraciones en contacto con el agua están limitados por la adsorción (p. ej., por óxidos hidratados de Fe, Mn y Al) y las reacciones de precipitación. El  $\text{RaSO}_4$  presenta baja solubilidad ( $K_{sp} = 4,25 \times 10^{-11}$  a 20 °C), esto supone que por la presencia del sulfato limita la movilidad ambiental del radio. Como resultado de la presencia común de sulfato en las salmueras de producción de petróleo (y la formación de incrustaciones de barita con radio ( $\text{BaSO}_4$ ) en las paredes de las tuberías que manejan tales aguas en los pozos de petróleo), y el uso generalizado de ácido sulfúrico en las operaciones de procesamiento de minerales (la mayoría en particular, la molienda de uranio), el Ba (Ra) $\text{SO}_4$  representa una importante fase de acogida en las consideraciones ambientales relacionadas con NORM.

El  $\text{Ra}^{2+}$  forma el ion hidratado más pequeño en comparación con otros cationes alcalinotérreos (como  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ ). Esto implica una alta densidad y un aumento de la carga electrostática al igual que la selectividad en sustratos de intercambio iónico como los minerales arcillosos. La baja hidratación del catión radio permite el colapso de la capa intermedia y la fijación en micas sintéticas. Esto hace que estas arcillas sean materiales ideales para la inmovilización del radio en suministros de agua y otros tratamientos.

### 2.2.10.3. Torio

El torio, Th, con número atómico 90, es parte de los actínidos, siendo el segundo elemento. Son seis isótopos naturales del torio, de los cuales el más abundante y longevo es el  $^{232}\text{Th}$ . Este isótopo, el primer miembro de la serie radiactiva natural 4n. A lo largo del tiempo en la naturaleza solo se encuentran dos isótopos de larga duración. El principal es  $^{232}\text{Th}$  con una abundancia de más del 99,99% y un tiempo medio de 1,405E10 años. Los isótopos como el  $^{232}\text{Th}$  es de particular interés ya que puede absorber neutrones lentos y se convierte en  $^{233}\text{U}$ , que a su vez es fisionable por neutrones lentos y, por lo tanto, se puede utilizar como combustible nuclear en reactores reproductores. El otro isótopo natural importante del torio  $^{230}\text{Th}$  está generalmente presente en minerales que contienen uranio y su vida media se calcula en 80.000 años. El número de isótopos de torio son 227, 228, 230, 231 y 234 son nucleidos de vida corta que son miembros de las series de desintegración  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$  (Mernagh y Miezitis, 2008, p.2).

El toro es de naturaleza marcadamente oxifílica y se presenta principalmente como óxidos, silicatos y fosfatos. También existen ciertas similitudes en la química del torio y el uranio a altas temperaturas. En los minerales suele haber un reemplazo extenso (diadoquía) de Zr por Th en los minerales de circonio; Y, Ce y otros lantánidos por Th en la mayoría de los minerales de tierras raras; y U por Th en ciertos minerales de uranio como resultado del tamaño iónico y otras consideraciones energéticas. Son posibles tres estados de oxidación positivos para el torio, 2, 3 y 4, pero el estado tetravalente es de principal importancia en geoquímica (Boyle, 1982, p.21).

El torio comparte muchas propiedades con el uranio, pues estos son los únicos actínidos de origen natural en la tabla periódica, propiedades tales como: su promedio de vida de sus isótopos más abundantes ( $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$ ), sus modos primarios de la desintegración radiactiva y los altos puntos de fusión y la insolubilidad en agua de sus óxidos; incluso fueron descubiertos en puntos similares de la historia (Degueldre y Joyce, 2020, p.3).

- **Características químicas del Torio**

Uno de los elementos que produce radiación natural es el torio. La mayoría de los isótopos de torio son naturales, pero algunos isótopos son producidos artificialmente por tanto estos son radiactivos. Está presente en niveles muy bajos en prácticamente todas las rocas, suelos, y aguas, y por lo tanto se encuentra en plantas y animales también. Sin embargo, es más abundante y tiene concentraciones más altas en rocas de la corteza y minerales.

Los isótopos de torio tienen diferentes propiedades y vidas medias ( $t_{1/2}$ ) de segundos a  $10^{10}$  años. Varían en masa atómica de 212 a 236, y tienen un número atómico de 90 y una oxidación estable principal (+4), bajo todas las condiciones redox en aguas naturales.

El torio se distribuye ampliamente en pequeñas cantidades con una concentración litosférica promedio de 8 a 12  $\text{mg g}^{-1}$  en la corteza terrestre (a una concentración promedio de 6  $\text{mg g}^{-1}$  en el suelo). Esto hace que sea dos veces más abundante que el uranio. En rocas sedimentarias, su concentración es de sólo unas pocas partes por millones (ppm), mientras que, en rocas ígneas ácidas, su concentración puede ser 10 veces mayor. Comúnmente se supone que el torio aparece en el residuo insoluble de las rocas carbonatadas, principalmente en el material arcilloso.

Solubilidad: Aunque es insoluble, puede formar complejos solubles con materiales orgánicos y por lo tanto es capaz de migrar en el suelo. La presencia de materia orgánica puede también favorecer su adsorción en la superficie de los cristales de hematites.

Ubicación: El torio es un componente importante de varios minerales y contribuye a la radiactividad de fondo general. Los minerales en los que se encuentra principalmente el torio se originan de rocas ígneas, como minerales diseminados y discretos.

El torio también se encuentra en minerales que forman parte de la fracción mineral pesada en arenas de playa (principalmente monacita). El torio no es tan soluble como el uranio y, por lo tanto, no es tan móvil en el ambiente "químico", pero se mueve por procesos mecánicos como granos minerales resistentes discretos. El torio suele ser asociado con U y los elementos de tierras raras. También ocurre en rocas similares al uranio, como granito, pegmatita y gneis. Los minerales más importantes que contienen torio son monacita (un fosfato de las tierras raras ligeras), generalmente asociado con sílice.

La concentración de óxido de torio en arenas de monacita es alrededor de 3 – 10%. El torio

también se encuentra en los minerales torita (silicato de torio), torianita, uranothorita (torio mixto y óxidos de uranio) y thorogummite. Terrestre arrastrado por el viento el polvo y las erupciones volcánicas son dos importantes fuentes naturales de liberación de torio en el aire.

#### 2.2.10.4. Potasio

El potasio químicamente en la tabla de elementos está representado por el símbolo K con  $Z=19$  y  $A=39,098$ . fue descubierto por primera vez en 1807 por el británico Sir Humphry Davy, fue un elemento aislado por medio electrolisis en forma de (KOH) conocido como potasa, perteneciente a los metales alcalinos. Es conocido por su color plata y de gran abundancia en el planeta, se calcula que forma un 2,5% de la corteza de la tierra en todas sus formas combinadas. Su nivel de abundancia en el agua es de 380 ppm de potasio esto lo convierte en el sexto elemento de gran abundancia en la corteza (Gazineu y Hazin, 2008, p.3).

El potasio-40 ( $^{40}\text{K}$ ) es un isótopo radiactivo natural del potasio. La vida media de  $^{40}\text{K}$  es  $1,248 \times 10^9$  años, sus orígenes son primordiales.  $^{40}\text{K}$  tiene una abundancia de porcentaje atómico de 0,0117%. ( $^{39}\text{K}$  es 93,1% y  $^{41}\text{K}$  es 6,88%, ambos son estables) (Canadian Nuclear Society, 2015, p.1).

Es un isotopo insoluble se lo obtiene únicamente como un combinado en forma de sales a partir de cualquier mineral de potasio (camalita, langbeinita, polihaiita y silvina), procesarlo de esta forma es económicamente viable debido a sus aplicaciones múltiples (Whaley, 2016, p.54).

- **Características químicas del Potasio**

El potasio pertenece a la serie de los alcalinos su principal característica es de apreciación blanda y de color blanco-plata, se oxida fácilmente en el aire, su estado de oxidación 1+. Otra de sus características es ser vigorosamente reactivo con el agua.

También está presente en el cuerpo humano ya que es vital para regular el sistema eléctrico, con  $\text{Na}^+$  ayudando a regular el agua en el cuerpo.

Entre los metales alcalinos, la existencia de  $^{137}\text{Cs}$  comúnmente formado como un subproducto de la industria nuclear permite la interacción entre la absorción de  $\text{Cs}^+$  y  $\text{K}^+$  en las plantas, una distribución que ha sido ocasionalmente explorado en la literatura de investigación debido a la similitud de sus estados acuoso y sólido química. Hay varios radionúclidos de potasio, cuenta con 28 isótopos conocidos; esto incluye solo tres naturales isótopos ( $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{41}\text{K}$ ).

La vida media biológica de potasio es de 30 días. Este se encuentra en minerales incrustado en polvos y rocas debido a esto logra integrarse en suelos, fertilizantes y minerales, y es a menudo un electrolito soluble en agua. En términos de haluro especiación y movilidad de iones, hay varios informes que han monitoreado el catión de potasio que migra de los suelos a plantas.

### ***2.2.11. Equipos para la detección de radiación***

La radiación ionizante reside en el espectro electromagnético fuera de la región de percepción del ojo humano (región visible) y no tiene olor. Por lo que, no puede ser detectado por los sentidos humanos. Dado que la radiación ionizante no se detecta fácilmente y además posee un alto poder ionizante y fuerza de penetración, establece un peligro para la salud, cuando se encuentra fuera de sus límites aceptables. Además, sus efectos adversos de la radiación de origen natural en la salud humana deben ser monitoreados sistemáticamente para evitar daños, sobreexposición o incluso la muerte. La capacidad de identificar fuentes de radiación, radioisótopos específicos y medir cantidades de radiación es crucial para el monitoreo ambiental, la protección radiológica y el desarrollo de programas de seguridad (Silva, 2015, p.1).

Principalmente su detección está basada en los efectos que causa en cualquier medio, se conoce que los detectores de radiación aparecieron junto con medición y sus efectos. El material radiactivo emite radiaciones ionizantes sin haber sido sometido a ninguna influencia externa. El tipo de radiación emitida y su energía asociada es característico del tipo de sustancia radiactiva. El objetivo de los detectores es conocer la energía en forma de radiación que emiten cada isótopo al desintegrarse (espectrometría).

Como sabemos hoy, las herramientas para detectar la radiación ionizante existían, en principio, bastante temprano: entre el siglo XVII, fue donde se logró descubrir la termoluminiscencia, para el siguiente siglo XVIII uno de los equipos que revolucionó fue el electroscopio de oro; los pioneros fueron en 1895 Rontgen y Becquerel en 1896 (Flakus, 2019, p.69.).

Cuando la radiación ionizante interactúa con un material sensible que constituye el dispositivo detector, genera una señal, que puede ser un pulso, un orificio, una señal luminosa y muchas otras. La detección de la radiación depende de las interacciones particulares con el material sensible, y existen tres posibilidades principales y bien establecidas para relacionar y categorizar la radiación inducida con la señal generada en el detector, como se muestra a continuación:

En un detector de radiación la señal emitida por los isótopos es contada de acuerdo con el número de iteraciones, en el sensible del detector. La onda de luz incide lo que hace es generar señal la cual se mide en forma de energía que ha llegado al detector. El detector se llama espectrómetro. El detector mide la energía media incidente en un punto específico del volumen sensible, es decir, la dosis de radiación absorbida. Estos detectores se conocen como dosímetros (Silva, 2015, p.3).

#### ***2.2.11.1. Detectores de centelleo (NaI)***

Su principio básico se desarrolla cuando la radiación golpea el centelleador, hace que emita fotones de luz visible (esa es la parte centelleante). Estos fotones pasan a través del cristal y golpean una delgada lámina de metal llamada fotocátodo; cuando esto sucede, la luz ingresa a la segunda parte del detector, llamada tubo fotomultiplicador (PMT). Cuando el fotón golpea el fotocátodo, hace que un electrón sea expulsado del fotocátodo. Justo después del fotocátodo hay un conjunto de copas de metal, cada una con un voltaje aplicado (típicamente varios cientos a miles de voltios) – el electrón es acelerado por este voltaje a una energía alta y golpea la copa con suficiente energía que golpea suelta una serie de otros electrones. Cada uno de ellos, a su vez, es acelerado hacia la siguiente copa de metal, donde cada uno de los "nuevos" electrones libera varios electrones adicionales; al final del (PMT), la señal inicial se ha multiplicado por un factor de un millón o más.

La espectrometría de rayos gamma con detectores de centelleo es uno de los métodos más importantes en la investigación de diferentes aplicaciones de la ciencia nuclear. Cubre, por ejemplo, un estudio básico de física de alta energía y física nuclear, estudios ambientales, medicina nuclear y, recientemente, equipos de seguridad nacional. La gran importancia de los detectores de centelleo está asociada a su alta eficiencia de detección de radiación nuclear, su capacidad para medir espectros de energía, la posibilidad de trabajar con una tasa de conteo muy alta de hasta 10<sup>7</sup> conteos/s y la mejor. Su capacidad para radiaciones, incluidos rayos gamma y rayos x, su gran variedad en tamaño y constitución de centelleadores los convierten en la mejor opción en diferentes aplicaciones.

El centelleador NaI(Tl) es uno de los primeros detectores gamma utilizados para espectroscopia gamma al aire libre debido a su combinación de costo modesto y alta confiabilidad. El muy complicado proceso de convertir la energía ionizante en una señal eléctrica provoca una compleja dependencia de la temperatura de la salida de luz del centelleador. Se considera la respuesta luminiscente de los centelleadores de NaI(Tl) como un proceso dominante único con una constante de decaimiento dependiente de la temperatura y una dependencia compleja de la temperatura (T) del rendimiento fluorescente.

Para la espectrometría de rayos  $\gamma$ , las siguientes propiedades de los materiales de centelleo son esenciales:

- Alta densidad del material y alto número atómico del elemento mayoritario lo que asegurará una alta eficiencia de detección de los rayos  $\gamma$  y una alta fotofracción.
- Alta salida de luz responsable de la alta precisión estadística de la señal entregada.
- Rápido tiempo de decaimiento del pulso de luz que refleja el tiempo de decaimiento de los componentes de fluorescencia del cristal y permite mediciones de alta tasa de conteo.
- Baja degradación de la resolución energética del centelleador, lo que se asocia principalmente a sus características de no proporcionalidad.

### ***2.2.12. Provincia de Azuay***

La provincia de Azuay se encuentra en la parte sur del Ecuador, en la cordillera de los Andes por tanto esta provincia se ubica en la Región Interandina para una mejor localización se limita al norte con la provincia de Cañar, al sur con las provincias de El Oro y Loja, al este con las provincias de Morona Santiago y Zamora Chinchipe, y al oeste con la provincia de Guayas.

La capital de esta provincia es la ciudad de Cuenca llamada la "Atenas del Ecuador" la cual cuenta aproximadamente con 330.000 habitantes en el área urbana. En extensión territorial es duodécima, con 8.639 km<sup>2</sup>.

La provincia está conformada por 15 cantones:

- Chordeleg
- Cuenca
- El Pan
- Girón
- Guachapala
- Gualaceo
- Nabón
- Oña
- Paute
- Ponce Enríquez
- Pucará
- San Fernando
- Santa Isabel
- Sevilla de Oro
- Sígsig

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Enfoque de Investigación

La investigación está enfocada en un método cuantitativo, puesto que conlleva la obtención de “valores de radioactividad” y tasa de dosis gamma presente en el suelo de la provincia del Azuay.

#### 3.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación a desarrollar es correlacional entre la geología y la tasa de dosis de radiación gamma.

#### 3.3. Diseño de Investigación

##### *3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente*

Es una investigación no experimental puesto que no es posible manipular la variable independiente establecida en la presente investigación. Debido a que solo se realizará un monitoreo de radiación gamma terrestre mediante un medidor digital conectado a una sonda gamma en la geología de la provincia de Azuay obteniendo mediciones de dosis absorbida debido a emisores de rayos gamma en forma natural.

##### *3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo*

Esta investigación es de tipo transversal ya que la toma de la medida se llevará a cabo en un momento concreto, se llegará al destino mediante una ruta de puntos y se monitoreará la radiación gamma obteniendo 10 mediciones en cada sitio.

#### 3.4. Tipo de estudio

El estudio por realizar es de campo ya que se identificó a la geología como variable, donde se realizará un monitoreo in situ recopilando datos para posteriormente ser analizados.

### **3.5. Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra**

#### ***3.5.1. Población y planificación de Estudio***

En la presente investigación, la población bajo estudio es el territorio perteneciente a la provincia de Azuay con una extensión territorial de 8.639 km<sup>2</sup>. Cuenta con alrededor de 211 concesiones mineras, en los cantones como Pucará, Santa Isabel, Oña, Nabón, Cuenca entre otros, zonas en donde se realizan la Pequeña Minería, Mediana Minería y Gran Minería. Esta provincia está limitada al norte con la Provincia de Cañar, al Sur por la Provincia de Loja, al occidente con Guayas, al suroccidente con la Provincia de El Oro, al este con la Provincia de Morona Santiago y al Sureste con la Provincia de Zamora Chinchipe.

#### ***3.5.2. Selección y cálculo del tamaño de la muestra***

Para seleccionar la muestra, se realiza mediante un monitoreo no probabilístico, este nos permite seleccionar los puntos adecuados para la toma de datos debido a que en estos cantones que pertenecen a la provincia tienen actividades mineras. Primero se realiza un monitoreo sistemático de 5 km entre puntos de monitoreo, llegando a presentar 281 puntos de los cuales por medio de un análisis geoespacial se procederá a delimitar y reubicar los puntos considerando ciertos criterios. Se desarrolla este monitoreo para obtener una mejor distribución en los datos y mejorar la calidad de los resultados al momento de elaborar el mapa radiométrico.

### **3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación**

#### ***3.6.1. Técnicas de Recolección de Datos***

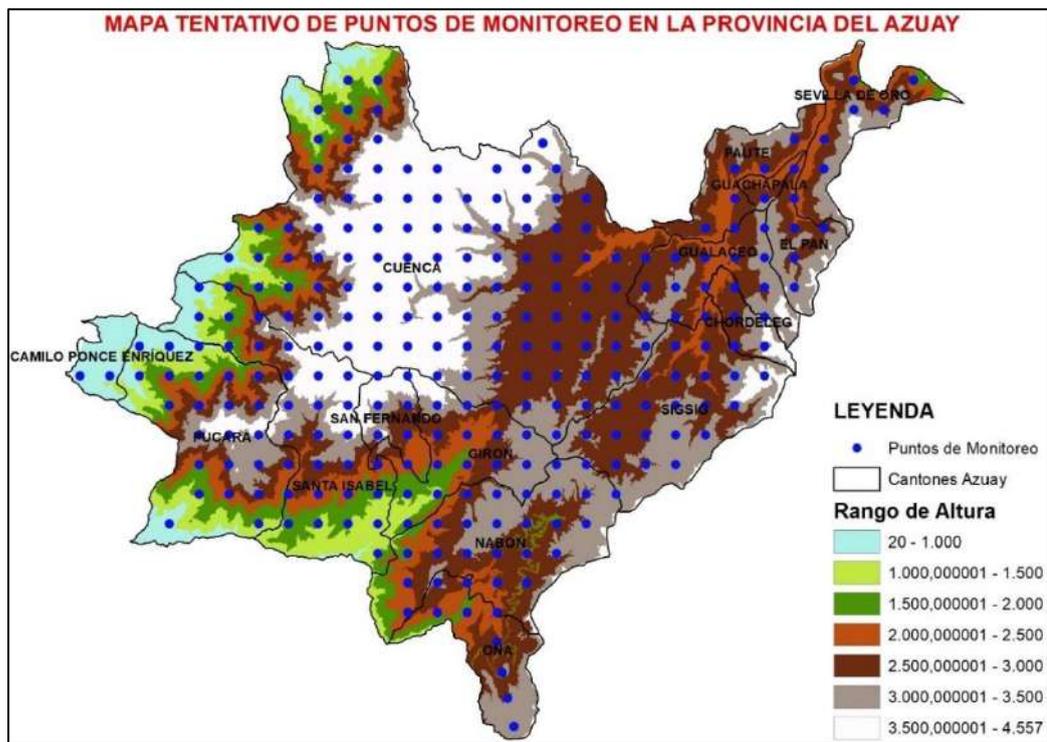
##### ***3.6.1.1. Determinación de los puntos muestrales tentativos***

Para determinar la distribución de los puntos muestrales, se utilizó una cuadrícula regular de aproximadamente de 5 Km entre puntos de monitoreo, para evitar cualquier sesgo previo en el monitoreo y cumplir con el procedimiento establecido. por el Consejo de Seguridad Nuclear (Herranz et al., 2003, p.14).

##### ***3.6.1.2. Elaboración del mapa de puntos muestrales***

Con la ayuda de la página del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM), donde se descargó el mapa geológico de la República del Ecuador 2017 en formato, pdf. a escala 1:1 000 000, publicado en su página oficial, el 21 de julio del 2017. Con la ayuda del sistema de información geográfica libre y de código abierto ArcGis (versión 10.4.1), que crea, edita, visualiza, analiza y publica información geoespacial en Windows, Mac, Linux.

Se elaboró un mapa tentativo con una capa de la provincia del Azuay, mediante una malla de muestreo de 5 kilómetros de distribución en un formato (shp) Obteniendo un total de 281 puntos.



**Ilustración 1-3:** Mapa tentativo de puntos muestrales

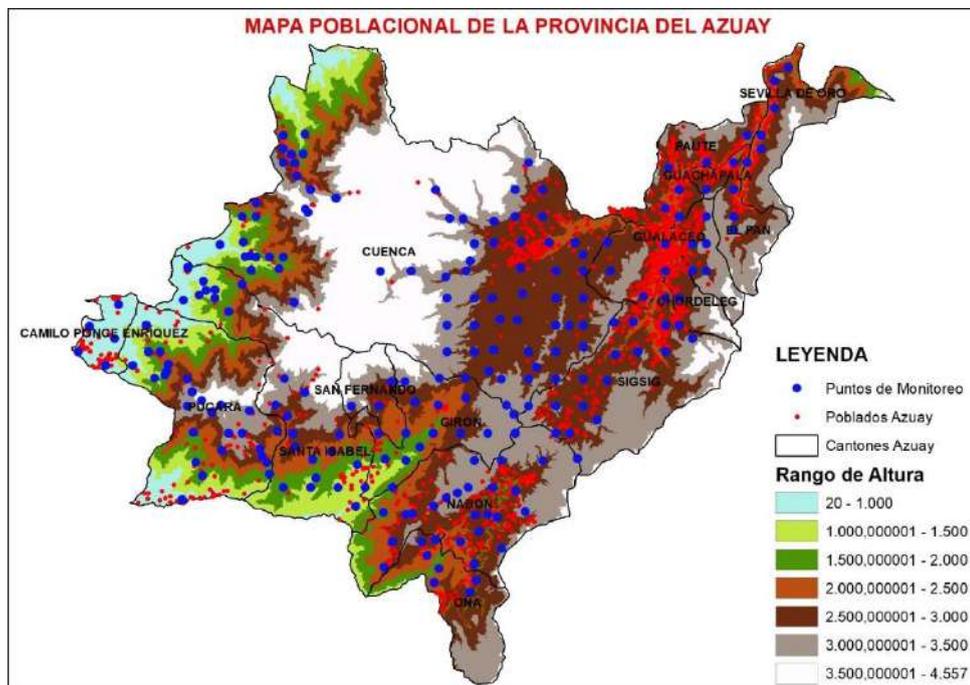
**Realizado por:** Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Se elaboró el mapa de los puntos muestrales con las siguientes propuestas:

### **Propuesta 1**

Con ayuda de una capa ráster enfocada a la altura se descartó puntos, esto según el autor (Arnedo et al., 2017, p.19) en su estudio descarta puntos superiores a 3500 msnm en su mapa ya que a esa altura la mayor contribución de radiación es de fuente cósmica. Por tanto, se obtuvo 225 puntos de monitoreo considerando la accesibilidad y cercanía a la población. También se descartó monitorear humedales, debido a que se realizó un pre-monitoreo donde se pudo constatar la

presencia de humedales, según (Torres et al., 2018, p.78) forman capas de agua impidiendo el paso de la radiación natural terrestre.

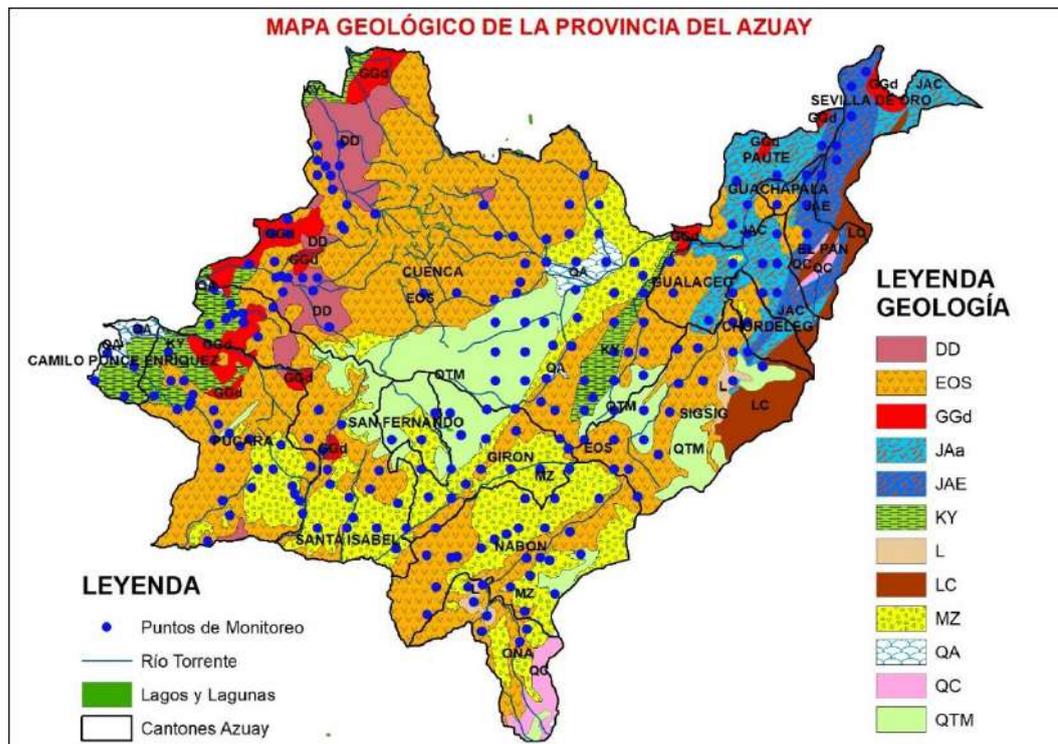


**Ilustración 2-3:** Mapa tentativo de puntos muestrales según accesibilidad y cercanía a la población

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

## Propuesta 2

Con ayuda de una capa obtenida del IG-EPN (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional), se procedió mediante las herramientas de software a obtener la digitalización e información geológica de la provincia de Azuay para la descripción de puntos por unidad geológica.



**Ilustración 3-3:** Mapa tentativo de puntos muestrales según la geología

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 1-3:** Puntos de monitoreo por unidad geológica de la Provincia de Azuay

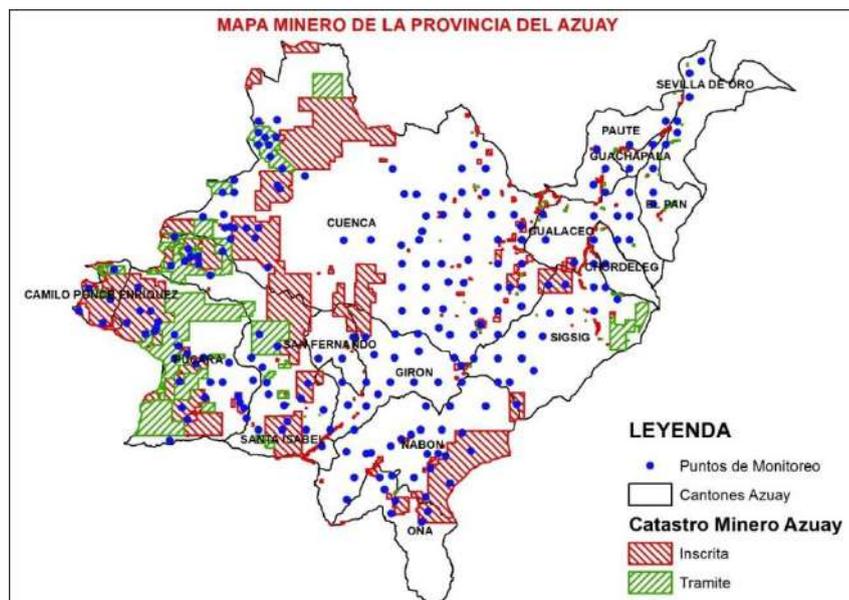
Geologías	Descripción	Nº de puntos de monitoreo
KY	Lutitas, calizas y volcanoclastos	15
GGd	Granodiorita	6
DD	Diorita	10
QTM	Arcillas marinas destuario	23
EOS	Rocas piroclásticas y lavas andesíticas a riolíticas	88
L	Gneises, granito deformado y esquistos	2
QA	Bloques, cantos	9

	rodados y arena	
QC	Fragmentos angulosos gravas, arenas y limos	0
MZ	Piroclastos y lavas intermedias a ácidas	50
JAE	Esquistos grafitosos	12
JAA	Metalvas básicas y esquistos verdes	11
LC	Filitas y cuarcitas	0

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

### Propuesta 3

A partir del catastro minero nacional obtenido del geo portal minero de la agencia estatal ARCERNNR, se obtuvo el mapa de concesiones mineras de la provincia del Azuay se pudo conseguir las áreas de las concesiones inscritas como en trámite como se puede apreciar en la tabla (Tabla 3-3). Luego de analizar la propuesta 2, se desplazó los puntos hacia las cercanías de concesiones mineras en base a otro criterio de reubicación para el planteamiento de los puntos de monitoreo en la provincia del Azuay.



### **Ilustración 4-3.** Mapa tentativo de puntos muestrales según concesiones mineras

**Realizado por:** Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 2-3:** Área de catastro minero de la Provincia de Azuay

<b>Catastro minero</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>
Inscrita	1328.57
Tramite	526.50

**Realizado por:** Cusquillo, J.; García, C., 2022.

### **3.6.2. Monitoreo de la radiación gama en la provincia del Azuay**

#### **3.6.2.1. Rutas de puntos Muestrales**

Para acceder a los puntos de monitoreo se han seguido rutas que facilitan el acceso al lugar donde se medirá la radiación gamma.

#### **3.6.2.2. Localización de los puntos muestrales**

La movilización al sitio d muestro se ejecutó en vehículos de la ESPOCH. Llegando al lugar se localizó los puntos con la ayuda de un sistema de posicionamiento global (GPS), en algunas ocasiones los puntos muestrales que fueron seleccionados en el mapa de puntos tentativos fueron inaccesibles debido a diferentes circunstancias tales como impenetrabilidad al punto de muestreo, condiciones ambientales, etc; por lo que se optó a tomar medidas de radiación natural lo más cerca posible al punto tentativo.

#### **3.6.2.3. Medición de la radiación gamma de la provincia de Azuay**

*In situ* se ubicó los diferentes puntos, georreferenció seguidamente, se tomó su medida de altitud (m) con el GPS y de radiación gamma ( $\mu\text{Sv/h}$ ) utilizando un detector multi-detector ratemeter / SCA model 3003 Series junto con la sonda gamma model 44-10 de NaI con una dimensión de 2x2 pulgadas.

Se realizó un pre-monitoreo con un multidetector analógico y una sonda gamma 44-2, dando valores de cuentas por minuto (cpm), los cuales fueron convertidos a dosis absorbida ( $\mu\text{Sv/h}$ ), estos valores se los comparo entre los dos equipos utilizados en el monitoreo y sus resultados son estadísticamente iguales.

**Tabla 3-3:** Ficha de datos de las diez repeticiones de medición de radiación gamma de los diferentes puntos de monitoreo que se realizó en la provincia de Azuay.

N° de punto	Altitud	Point X	Point Y
<b>Mediciones de radiación</b>			
<b>Observaciones:</b>			

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

### 3.6.3. Características de los equipos y materiales utilizados

#### 3.6.3.1. Multi-Detector Ratemeter / SCA model 3003 Series

El Multi-Detector digital Modelo 3003 es un equipo portátil liviano diseñado para estudios de radiación sus modos de operación son cuatro TASAS, MAX, CONTEO Y DOSIS que admite hasta cuatro detectores externos cada uno con sus propios parámetros. El equipo de medición cuenta con una pantalla LCD grande para una mayor visualización. En la tabla (tabla 20-3) se detallan especificaciones y características técnicas que conforman el equipo de medición.



**Ilustración 5-3:** Multi-Detector

Fuente: LUDLUM, 2022.

- **Descripciones técnicas**

**Tabla 4-3:** Descripciones técnicas del Multi-Detector Ratemeter / SCA model 3003 Series

<b>Descripción técnica</b>	<b>Característica</b>
Detectores compatibles	Hasta cuatro detectores externos GM De centelleo Proporcionales De neutrones
Detector interno (solo 3003i)	GM (Rango: 0 a 20 mSv/h [0 a 2 R/hr]) o detector de centelleo
Voltaje	300 a 2400 V CC
Linealidad	Lecturas dentro del 10% del valor real
Modos	Cuatro modos operativos que incluyen tasa, máx, dosis integrada y conteo
Rango de visualización	00,0 cps a 999 kcps 00,0 cpm a 99,9 Mcpm 00,0 Bq a 999 MBq 00,0 Bq/cm <sup>2</sup> a 999 MBq/cm <sup>2</sup> 00,0 dpm a 999 Mdpm 0,00 µR a 999 MR 0,00 µR/h a 9,99 kR/h 0,00 µSv a 999 MSv 0,00 µSv/h a 999 Sv/h 0,00 µRem a 999 MRem 0,00 µRem/h a 9,99 kRem/h 0 c a 999 Mc (cuentas) 0 d a 999 Md (desintegraciones)

**Fuente:** LUDLUM, 2022.

**Realizado por:** Cusquillo, J.; García, C., 2022.

### 3.6.3.2. Gamma Detector Model 44-10

El detector de rayos gamma modelo 44-10 es una sonda de NaI(Tl) de 2" X 2" pulgadas (como material Centelleador) que se puede utilizar para estudios de alta sensibilidad. En la tabla 2 detalla las especificaciones técnicas de la sonda.



**Ilustración 6-3:** Gamma Detector

Fuente: LUDLUM, 2022.

**Tabla 5-3:** Especificaciones técnicas de Gamma Detector Model 44-10

Especificaciones	Característica
Tipo de detector	Centelleador nal de 5,1 x 5,1 cm (2 x 2 pulg.) (diám. x largo)
Eficiencia	125I para 4%; 57Co por 20%; 137Cs para 9%; 60Co por 15%
Sensibilidad	Típicamente 900 cpm/ $\mu$ R/hr (137Cs gamma)
Rango de energía recomendado	30 keV – 3,0 MeV
Voltaje de funcionamiento	500 a 1200 voltios
Construcción	Carcasa de aluminio con recubrimiento de polvo beige
Clasificación ambiental	IP65

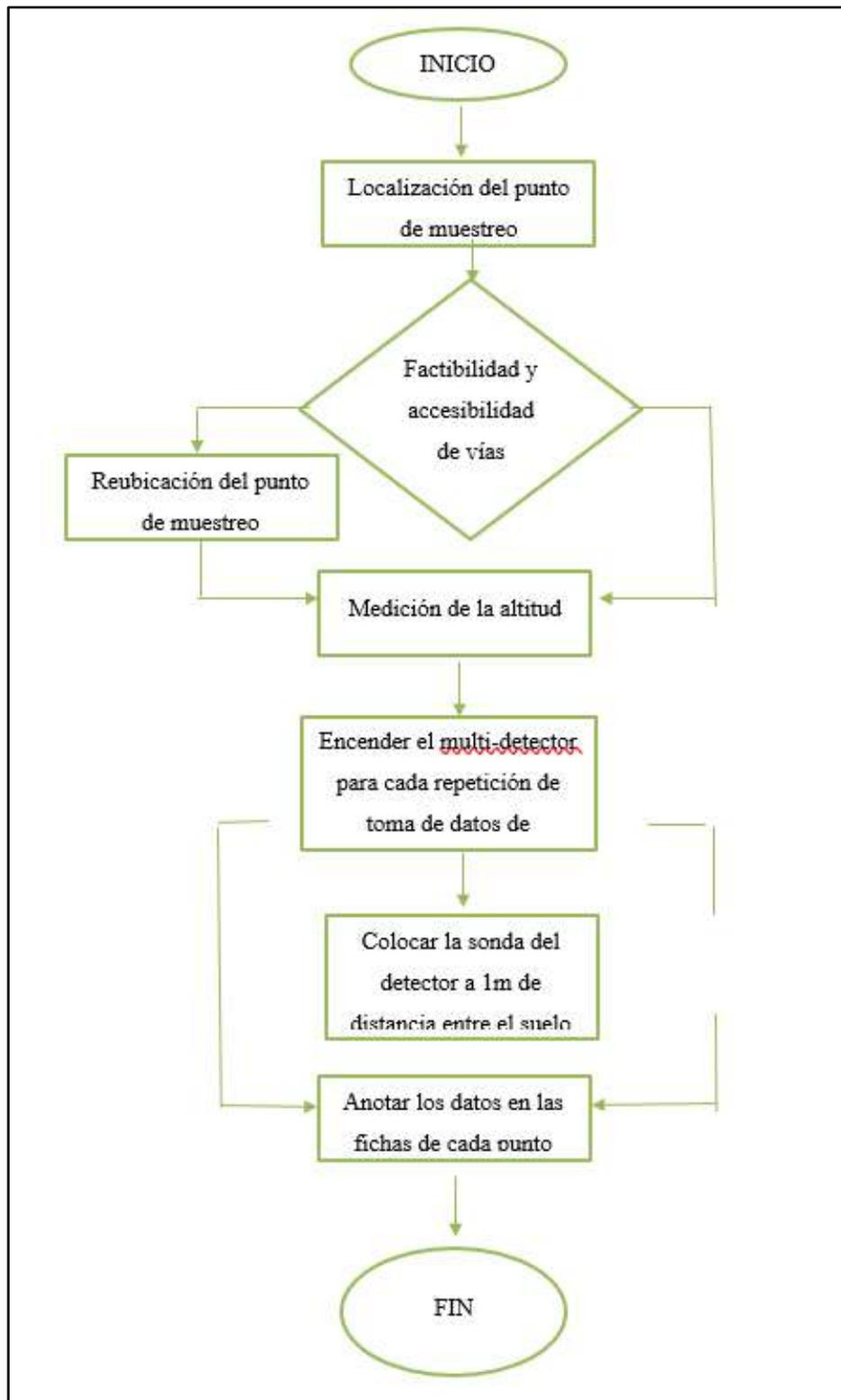
Fuente: LUDLUM, 2022.

### 3.1.1.1. Materiales utilizados para la toma de mediciones de radiación gamma

- Aplicación OsmAnd: Es una aplicación de código abierto, que se utiliza para visualizar mapas y utilizar su servicio d navegación, sin ninguna conexión a internet. La aplicación es completamente gratuita y se lo pude descargar de tienda de aplicaciones, además utiliza la base de datos cartográfica de OpenStreetMap (OSM) como base de los principales mapas.
- Fichas técnicas: Elaboradas personalmente donde se coloca los parámetros como: altitud, latitud, longitud, las 10 repeticiones de medición y alguna observación. Esta nos servirá como respaldo de la toma de datos.

- GPS: Este instrumento nos dará un mejor posicionamiento de los puntos a monitorear y también nos dará el dato de altura en el lugar que se monitoree cuando los valores de altitud estén con un error menor a 5 es lo ideal para tomar apunte.
- Pilas: Este dispositivo nos va a ayudar a dar energía al GPS y al multidetector. En cuanto al GPS se debe verificar que las pilas estén dando energía caso contrario el quipo no se prende. En cambio, el multidetector manda una señal (alarma) cuando están las pilas con baja carga, y no se enciende.
- Computador: El computador se va a utilizar para almacenar todos los reportes que Multi-Detector Ratemeter y Gamma Detector Model 44-10 generen una vez terminada la lectura, construir el mapa de ubicación de punto monitoreo de la Provincia de Azuay y para la realización del mapa radiométrico.

3.6.3.3. Recolección de los datos de radiación gamma en los puntos de muestreo



**Ilustración 7-3.** Procedimiento general para la recolección de datos de radiación gamma

**Realizado por:** Cusquillo, J.; García, C., 2022.

### 3.6.4. Técnicas para el análisis de resultados

#### 3.6.4.1. Método de obtención de resultados

Para realizar del mapa radiológico se ejecuta los respectivos monitoreos, anotando las lecturas de la energía para posteriormente hacer los pertinentes cálculos, estos se realizan mediante la utilización de las siguientes fórmulas expuestas en la tabla (Tabla 8-3).

**Tabla 6-3.** Listado de las ecuaciones de magnitudes dosimétricas

Magnitudes dosimétricas de radiación ionizante	Fórmulas
Dosis absorbida	$D = \frac{d\varepsilon}{dm}$
Dosis equivalente	$H_{T,R} = W_R * D_{T,R}$
Dosis efectiva	$E = W_T * H_T$

Fuente: Krivosheev y Kolbasov, 2018.

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

También se utiliza programas como: RStudio y ArcGIS ya que estos son programas con códigos abiertos facilitan el trabajo de análisis de los datos.

#### 3.1.1.2. Análisis estadístico

Una vez obtenidos los resultados se realizará la estadística descriptiva, calculando máximos, mínimos, media y desviación estándar, en relación con los puntos donde se monitoreó. Analizados los datos, no siguen una distribución normal se opta por utilizar la estadística no paramétrica, con la cual se puede trabajar con tamaños de monitoreo pequeños menores a 30 (Barreto, 2012).

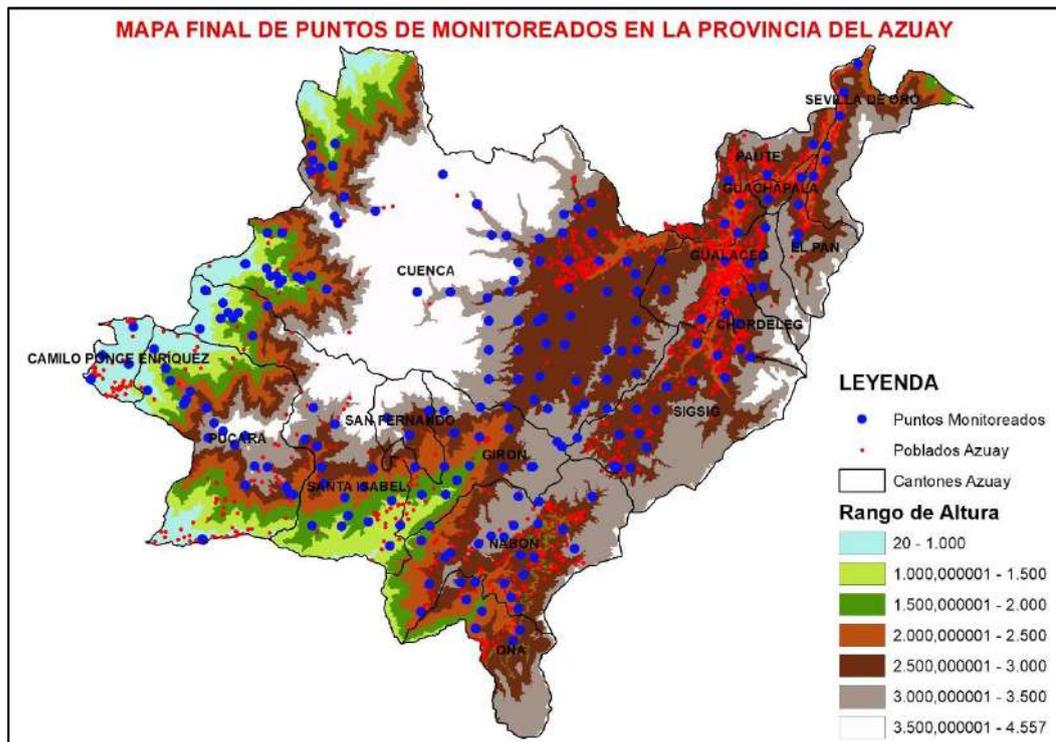
Prueba de normalidad: El análisis de los datos obtenidos en el monitoreo de radiación gamma, serán evaluados mediante la estadística descriptiva, con la ayuda de la programación en Rstudio se desarrollarán test con el fin de verificar si los datos siguen una tendencia normal, que es lo que se busca en la presente investigación, esto de acuerdo con la distribución de sus medias y desviación atípica, con métodos establecidos en hipótesis.



## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Diseño del mapa de localización de puntos definitivos donde se realizó el monitoreo de la provincia de Azuay



**Ilustración 1-4:** Mapa final de puntos que se monitorearon en la Provincia de Azuay

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Una vez realizado el monitoreo in situ de cada punto propuesto anteriormente, se realizó una reubicación debido a un monitoreo previo donde se pudo constatar la inaccesibilidad, la altura e ingreso a concesiones mineras planteadas en la metodología desarrollada, debido a los obstáculos mencionados se obtuvo el presente mapa que se observa en el Ilustración 1-4.

#### 4.2. Estimación de niveles de radiactividad en los puntos monitoreo

A continuación, se presenta las tablas con los niveles de radiactividad que se obtuvo en cada cantón en el monitoreo se presenta un promedio en unidades de  $\mu\text{Sv/h}$ , añadiendo características como altitud, longitud, latitud y tipo de geología:

**Tabla 1-4:** Niveles de radiación para el Cantón Cuenca

<b>Código</b>	<b>Tipo de geología</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Longitud (X)</b>	<b>Latitud (Y)</b>	<b>Dosis Absorbida <math>\mu\text{Sv/h}</math></b>
MDRG-CUE-59	EOS	3433	717927	9650150	0,03
MDRG-CUE-60	EOS	3322	721319	9650825	0,04
MDRG-CUE-73	EOS	2842	714002	9657284	0,12
MDRG-CUE-74	EOS	3165	716326	9655838	0,05
MDRG-CUE-75	KY	2818	721259	9655666	0,05
MDRG-CUE-76	QTM	2964	726309	9655837	0,05
MDRG-CUE-84	QTM	3079	706318	9660828	0,06
MDRG-CUE-85	QTM	2875	711319	9660825	0,05
MDRG-CUE-86	EOS	2644	714885	9661266	0,11
MDRG-CUE-87	KY	2760	721079	9660539	0,12
MDRG-CUE-88	QTM	2796	726324	9660819	0,09
MDRG-CUE-89	QTM	2955	731271	9661831	0,07
MDRG-CUE-96	QTM	3122	706319	9665821	0,07
MDRG-CUE-97	QTM	2963	711319	9665826	0,06
MDRG-CUE-98	MZ	2749	716008	9666905	0,11
MDRG-CUE-99	EOS	2680	719211	9666761	0,09
MDRG-CUE-100	KY	2975	726318	9665832	0,07
MDRG-CUE-101	EOS	2779	731319	9665822	0,08
MDRG-CUE-107	QTM	3444	706321	9670821	0,08
MDRG-CUE-108	QTM	2976	711318	9670781	0,10
MDRG-CUE-109	QTM	2796	714607	9670756	0,07
MDRG-CUE-110	MZ	2731	720130	9671591	0,12
MDRG-CUE-111	KY	2841	7262980	9670820	0,11
MDRG-CUE-112	EOS	2670	731272	9670812	0,13
MDRG-CUE-116	DD	1520	670745	9677197	0,05
MDRG-CUE-117	EOS	3687	694159	9675698	0,07
MDRG-CUE-118	EOS	3150	699800	9675752	0,08
MDRG-CUE-119	EOS	2921	706128	9674674	0,09
MDRG-CUE-120	EOS	2796	709849	9675802	0,10
MDRG-CUE-121	QTM	2589	719805	9676341	0,06
MDRG-CUE-122	MZ	2532	726319	9675820	0,05

MDRG-CUE-123	KY	2722	731390	9675818	0,07
MDRG-CUE-128	DD	1155	671328	9677832	0,09
MDRG-CUE-129	DD	1634	673856	9678374	0,10
MDRG-CUE-130	DD	1843	676200	9678425	0,11
MDRG-CUE-131	EOS	2830	710539	9677605	0,11
MDRG-CUE-132	GGd	686	665153	9680509	0,05
MDRG-CUE-133	EOS	894	668680	9679787	0,02
MDRG-CUE-134	EOS	3310	711318	9680822	0,09
MDRG-CUE-135	QA	2704	714868	9681028	0,05
MDRG-CUE-136	MZ	2683	719850	9681094	0,15
MDRG-CUE-137	QA	2492	724983	9681047	0,05
MDRG-CUE-138	MZ	2554	729761	9680997	0,05
MDRG-CUE-143	GGd	1559	668822	9685826	0,04
MDRG-CUE-144	GGd	2131	671319	9685830	0,03
MDRG-CUE-145	EOS	3154	706826	9685444	0,04
MDRG-CUE-146	EOS	3025	709314	9685354	0,04
MDRG-CUE-147	EOS	3010	714908	9684889	0,07
MDRG-CUE-148	EOS	2932	718819	9685819	0,08
MDRG-CUE-149	QA	2589	723780	9685859	0,11
MDRG-CUE-153	GGd	3529	674721	9691307	0,04
MDRG-CUE-154	EOS	3354	687088	9689574	0,10
MDRG-CUE-155	EOS	2914	681851	9691909	0,12
MDRG-CUE-156	EOS	3395	704312	9690719	0,04
MDRG-CUE-157	EOS	3095	719051	9688989	0,08
MDRG-CUE-158	MZ	2872	723600	9690950	0,08
MDRG-CUE-162	EOS	2567	6790960	9693154	0,06
MDRG-CUE-163	EOS	2690	676168	9696368	0,04
MDRG-CUE-164	EOS	2836	721419	9690026	0,17
MDRG-CUE-168	EOS	2555	676543	9698198	0,06
MDRG-CUE-170	EOS	2257	676337	9700751	0,03
MDRG-CUE-171	DD	1758	680288	9701082	0,03
MDRG-CUE-178	MZ	2581	731189	9678742	0,07
MDRG-CUE-179	EOS	2971	728785	9665674	0,07
MDRG-CUE-180	KY	3006	722531	9656595	0,10
MDRG-CUE-195	DD	1719	679916	9697219	0,07

MDRG-CUE-196	DD	2137	677725	9696963	0,05
MDRG-CUE-197	DD	2315	698519	9695791	0,07
MDRG-CUE-198	EOS	3775	680240	9688554	0,11
MDRG-CUE-199	EOS	3760	680757	9687453	0,08
MDRG-CUE-200	EOS	1185	669350	9678416	0,03
MDRG-CUE-201	EOS	1198	670379	9678512	0,04
MDRG-CUE-202	DD	1842	674620	9677878	0,08
MDRG-CUE-203	DD	3341	678881	9676220	0,09
Estadística descriptiva				Media	0,07
				Mediana	0,07
				Desviación estándar	0,0311
				Mínimo	0,02
				Máximo	0,17

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 2-4:** Niveles de radiación para el Cantón Girón

Código	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-GIR-21	EOS	1683	696329	9635821	0,12
MDRG-GIR-29	MZ	1553	695016	9641100	0,05
MDRG-GIR-30	EOS	1602	698997	9641140	0,04
MDRG-GIR-35	MZ	1777	700967	9643553	0,04
MDRG-GIR-41	MZ	2328	693821	9645822	0,05
MDRG-GIR-42	QTM	2152	698820	9645852	0,06
MDRG-GIR-43	EOS	1810	703050	9646048	0,08
MDRG-GIR-44	MZ	2821	708811	9645823	0,07
MDRG-GIR-45	MZ	3099	713822	9645889	0,08
MDRG-GIR-57	QTM	2673	700478	9651652	0,10
MDRG-GIR-58	QTM	2234	704722	9650973	0,10
MDRG-GIR-65	EOS	2436	709767	9652366	0,08
MDRG-GIR-70	QTM	3112	698681	9655405	0,10
MDRG-GIR-71	QTM	3112	704901	9656031	0,08
MDRG-GIR-72	MZ	2731	709672	9656087	0,09
MDRG-GIR-181	EOS	3396	718692	9649323	0,08
Estadística descriptiva			Media		0,07

	Mediana	0,08
	Desviación estándar	0,0228
	Mínimo	0,04
	Máximo	0,12

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 3-4:** Niveles de radiación para el Cantón Gualaceo

Código	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-GUA-124	EOS	2773	736244	9676108	0,06
MDRG-GUA-126	EOS	2740	750784	9676375	0,09
MDRG-GUA-127	JAa	2760	752794	9676645	0,06
MDRG-GUA-139	MZ	2341	746272	9681081	0,06
MDRG-GUA-140	JAa	2706	750484	9680588	0,04
MDRG-GUA-141	JAa	2836	752701	9681653	0,05
MDRG-GUA-151	JAa	2918	753189	9686664	0,05
MDRG-GUA-177	EOS	2586	735552	9681166	0,09
MDRG-GUA-185	JAa	2698	742385	9671122	0,08
Estadística descriptiva			Media		0,06
			Mediana		0,06
			Desviación estándar		0,0169
			Mínimo		0,04
			Máximo		0,09

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 4-4:** Niveles de radiación para el Cantón Nabón

Código	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-NAB-2	EOS	2475	694788	9621135	0,12
MDRG-NAB-5	EOS	2569	696218	9625883	0,12
MDRG-NAB-8	MZ	2300	708982	9625936	0,14
MDRG-NAB-10	EOS	1792	694871	9633286	0,12
MDRG-NAB-11	EOS	2644	699818	9631193	0,10
MDRG-NAB-12	EOS	2660	698891	9630491	0,12

MDRG-NAB-13	MZ	3113	704595	9632703	0,11
MDRG-NAB-14	EOS	2855	711611	9630775	0,16
MDRG-NAB-15	MZ	2667	713979	9630491	0,09
MDRG-NAB-16	MZ	3264	706719	9634053	0,10
MDRG-NAB-22	MZ	3276	708907	9633918	0,11
MDRG-NAB-23	MZ	2326	710507	9635898	0,10
MDRG-NAB-24	MZ	2887	714664	9636109	0,23
MDRG-NAB-31	MZ	3263	711317	9640817	0,12
MDRG-NAB-32	MZ	3188	714799	9639939	0,12
MDRG-NAB-33	MZ	3099	723817	9640817	0,12
MDRG-NAB-46	MZ	3424	713445	9645842	0,06
MDRG-NAB-188	QTM	3141	720820	9631893	0,06
MDRG-NAB-189	EOS	2986	718790	9635273	0,12
MDRG-NAB-190	MZ	2773	715482	9671387	0,09
MDRG-NAB-191	MZ	3023	716823	9622769	0,09
MDRG-NAB-192	MZ	2653	712208	9627453	0,07
MDRG-NAB-194	EOS	2496	711329	9621681	0,18
Estadística descriptiva				Media	0,11
				Mediana	0,12
				Desviación estándar	0,0379
				Mínimo	0,06
				Máximo	0,23

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 5-4:** Niveles de radiación para el Cantón Paute

Código	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-PAU-150	JAa	2276	748525	9685840	0,07
MDRG-PAU-159	JAa	2188	748837	9690759	0,09
MDRG-PAU-165	JAa	2297	753485	9695792	0,04
MDRG-PAU-172	JAe	2986	761309	9700874	0,04
MDRG-PAU-186	JAa	2664	746270	9687387	0,14
MDRG-PAU-187	JAa	2613	746991	9694781	0,07
Estadística descriptiva				Media	0,08
				Mediana	0,07

	Desviación estándar	0,0360
	Mínimo	0,04
	Máximo	0,14

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 6-4:** Niveles de radiación para el Cantón Pucará

Código	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-PUC-37	MZ	3440	666618	9645983	0,04
MDRG-PUC-38	MZ	3052	668832	9645822	0,05
MDRG-PUC-51	QTM	3052	658831	9650833	0,09
MDRG-PUC-52	EOS	3052	665009	9651155	0,10
MDRG-PUC-63	EOS	3052	659827	9653330	0,11
MDRG-PUC-67	EOS	3052	658569	9655865	0,13
MDRG-PUC-80	KY	3052	647211	9658421	0,02
MDRG-PUC-82	EOS	3052	651636	9662700	0,06
MDRG-PUC-83	EOS	3052	652396	9660574	0,03
MDRG-PUC-210	KY	3052	649671	9665997	0,02
MDRG-PUC-211	EOS	3052	655746	9658703	0,04
MDRG-PUC-212	KY	3052	655058	9657282	0,04
MDRG-PUC-213	KY	3052	654662	9656592	0,04
MDRG-PUC-216	MZ	3052	671993	9642390	0,15
MDRG-PUC-217	MZ	3052	672532	9641448	0,29
MDRG-PUC-218	MZ	3052	673232	9641135	0,16
MDRG-PUC-219	EOS	3052	661352	9651967	0,12
MDRG-PUC-220	EOS	3052	663291	9649725	0,10
MDRG-PUC-221	MZ	3052	665162	9642684	0,04
MDRG-PUC-224	EOS	3052	657829	9633588	0,09
Estadística descriptiva			Media		0,09
			Mediana		0,07
			Desviación estándar		0,0644
			Mínimo		0,02
			Máximo		0,29

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 7-4:** Niveles de radiación para el Cantón San Fernando

<b>Código</b>	<b>Tipo de geología</b>	<b>Altura</b>	<b>Longitud (X)</b>	<b>Latitud (Y)</b>	<b>Dosis Absorbida <math>\mu\text{Sv/h}</math></b>
MDRG-FER-55	QTM	3384	689070	9654240	0,06
MDRG-FER-56	MZ	2825	692843	9651280	0,05
MDRG-FER-69	QTM	2943	696163	9655367	0,12
Estadística descriptiva			Media		0,08
			Mediana		0,06
			Desviación estándar		0,0370
			Mínimo		0,05
			Máximo		0,12

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 8-4:** Niveles de radiación para el Cantón Santa Isabel

<b>Código</b>	<b>Tipo de geología</b>	<b>Altura</b>	<b>Longitud (X)</b>	<b>Latitud (Y)</b>	<b>Dosis Absorbida <math>\mu\text{Sv/h}</math></b>
MDRG-ISA-9	MZ	1123	689585	9632352	0,04
MDRG-ISA-17	MZ	1798	676373	9635782	0,04
MDRG-ISA-18	MZ	1521	681432	9635729	0,04
MDRG-ISA-19	MZ	1421	685892	9636494	0,04
MDRG-ISA-20	MZ	1089	691325	9635871	0,07
MDRG-ISA-26	MZ	2260	681921	9640612	0,12
MDRG-ISA-27	EOS	2222	685116	9642422	0,07
MDRG-ISA-28	MZ	1462	689895	9640091	0,07
MDRG-ISA-34	MZ	2611	678399	9642971	0,14
MDRG-ISA-40	EOS	2679	677978	9645830	0,12
MDRG-ISA-49	EOS	2705	677240	9649346	0,09
MDRG-ISA-54	EOS	3147	675230	9650583	0,08
MDRG-ISA-64	MZ	3160	680288	9653161	0,11
MDRG-ISA-68	EOS	3233	676658	9655976	0,06
MDRG-ISA-104	EOS	2128	666292	9668299	0,09
MDRG-ISA-106	GGd	1266	662988	9671245	0,12
MDRG-ISA-115	EOS	2472	668821	9673325	0,05

MDRG-ISA-204	QA	543	658285	9676029	0,04
MDRG-ISA-205	KY	775	657386	9669485	0,05
MDRG-ISA-206	GGd	1175	663956	9672154	0,02
MDRG-ISA-207	KY	1014	662194	9672170	0,09
MDRG-ISA-208	KY	1364	660892	9671226	0,03
MDRG-ISA-209	KY	907	661306	9673853	0,05
MDRG-ISA-214	MZ	1744	682534	9637571	0,06
MDRG-ISA-215	EOS	2435	686691	9645588	0,07
Estadística descriptiva			Media		0,07
			Mediana		0,07
			Desviación estándar		0,0323
			Mínimo		0,02
			Máximo		0,14

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 9-4:** Niveles de radiación para el Cantón Sigsig

Código	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-SIG-47	EOS	2944	727529	9646046	0,06
MDRG-SIG-48	EOS	2993	728122	9645747	0,07
MDRG-SIG-50	EOS	2794	733036	9649183	0,05
MDRG-SIG-61	EOS	2655	728386	9651357	0,07
MDRG-SIG-62	QTM	2628	731739	9651489	0,05
MDRG-SIG-77	QTM	2726	731375	9655727	0,07
MDRG-SIG-78	EOS	2685	734581	9655634	0,07
MDRG-SIG-90	EOS	2700	736393	9659529	0,05
MDRG-SIG-91	EOS	2720	740774	9660513	0,06
MDRG-SIG-92	L	2644	746329	9661073	0,08
MDRG-SIG-94	QTM	2756	750593	9664650	0,03
MDRG-SIG-102	EOS	2556	745035	9664940	0,06
MDRG-SIG-103	JAE	2692	748923	9665931	0,18
MDRG-SIG-113	EOS	2583	746410	9671882	0,08
MDRG-SIG-182	EOS	2855	730274	9645682	0,05
MDRG-SIG-183	EOS	2562	741487	9666945	0,08
MDRG-SIG-184	EOS	2934	637003	9666202	0,10

Estadística descriptiva	Media	0,07
	Mediana	0,07
	Desviación estándar	0,0329
	Mínimo	0,03
	Máximo	0,18

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 10-4:** Niveles de radiación para el Cantón Oña

Código	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-OÑA-0	EOS	2633	710365	9616221	0,09
MDRG-OÑA-1	EOS	2259	704119	9618280	0,17
MDRG-OÑA-3	EOS	2112	705178	9621217	0,14
MDRG-OÑA-4	L	2302	702484	9623167	0,14
MDRG-OÑA-6	MZ	2868	701562	9626094	0,12
MDRG-OÑA-7	EOS	2537	704032	9626190	0,16
MDRG-OÑA-193	MZ	2638	711578	9617976	0,07
Estadística descriptiva			Media		0,13
			Mediana		0,14
			Desviación estándar		0,0351
			Mínimo		0,07
			Máximo		0,17

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 11-4:** Niveles de radiación para el Cantón Chordeleg y Guachapala

Código	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-CHO-114	EOS	2639	748436	9670309	0,09
MDRG-CHO-125	JAA	2340	746379	9675790	0,08
MDRG-GUACH-160	EOS	2724	753622	9691585	0,09
MDRG-GUACH-166	JA	2640	759223	9695248	0,05
Estadística descriptiva			Media		0,08
			Mediana		0,09
			Desviación estándar		0,0181

	Mínimo	0,05
	Máximo	0,09

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 12-4:** Niveles de radiación para el Cantón El Pan

Código	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-PAN-142	JAE	2971	758424	9684184	0,12
MDRG-PAN-152	JAE	2758	758768	9685674	0,17
MDRG-PAN-161	JAE	2657	758846	9690652	0,09
Estadística descriptiva			Media		0,13
			Mediana		0,12
			Desviación estándar		0,0407
			Mínimo		0,09
			Máximo		0,17

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 13-4:** Niveles de radiación para el Cantón Sevilla de Oro

Código	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-SEV-167	JAE	2193	761282	9695496	0,24
MDRG-SEV-169	JAE	2550	763402	9698230	0,05
MDRG-SEV-173	JAE	2190	763615	9700680	0,04
MDRG-SEV-174	JAE	2421	765683	9705827	0,12
MDRG-SEV-175	JAE	2391	766429	9709788	0,20
MDRG-SEV-176	JAE	2384	768809	9714620	0,03
Estadística descriptiva			Media		0,11
			Mediana		0,09
			Desviación estándar		0,0883
			Mínimo		0,03
			Máximo		0,24

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 14-4:** Niveles de radiación para el Cantón Camilo Ponce Enríquez

Código	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-CPE-81	QA	25	638886	9660790	0,04
MDRG-CPE-93	QA	265	645391	9663430	0,01
MDRG-CPE-95	QA	85	640909	9664956	0,04
MDRG-CPE-105	QA	118	646112	9669785	0,07
Estadística descriptiva			Media		0,04
			Mediana		0,04
			Desviación estándar		0,0245
			Mínimo		0,01
			Máximo		0,07

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 15-4:** Estadística descriptiva de niveles de radiactividad los cantones

Cantón	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
PAUTE	0,08
SEVILLA DE ORO	0,11
GUACHAPALA Y CHORDELEG	0,08
EL PAN	0,13
GUALACEO	0,06
SIGSIG	0,07
NABÓN	0,11
OÑA	0,13
GIRON	0,07
SAN FERNANDO	0,08
SANTA ISABEL	0,07
CAMILO	0,04
PUCARÁ	0,09
CUENCA	0,07
Media	0,09
Mediana	0,08

Desviación Estándar	0,0259
Mínimo	0,04
Máximo	0,13

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Referente a la tabla 23-4 donde se desarrolló la estadística descriptiva de los niveles de radiactividad por cantones estableciendo un valor medio de 0,09  $\mu\text{Sv/h}$  que supera los niveles en promedio a nivel mundial, además se detectó un valor máximo de 0,13  $\mu\text{Sv/h}$  en los cantones El Pan y Oña, mientras que en el cantón Camilo Ponce Enríquez se detecta el nivel más bajo de 0,04  $\mu\text{Sv/h}$ , esto referente con los datos monitoreados en toda la provincia del Azuay.

**Tabla 16-4:** Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Rocas piroclásticas y lavas andesíticas a riolíticas

Código	Cantón	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-OÑA-0	Oña	EOS	2633	710365	9616221	0,09
MDRG-OÑA-1	Oña	EOS	2259	704119	9618280	0,17
MDRG-NAB-2	Nabón	EOS	2475	694788	9621135	0,12
MDRG-OÑA-3	Oña	EOS	2112	705178	9621217	0,14
MDRG-NAB-5	Nabón	EOS	2569	696218	9625883	0,12
MDRG-OÑA-7	Oña	EOS	2537	704032	9626190	0,16
MDRG-NAB-10	Nabón	EOS	1792	694871	9633286	0,12
MDRG-NAB-11	Nabón	EOS	2644	699818	9631193	0,10
MDRG-NAB-12	Nabón	EOS	2660	698891	9630491	0,12
MDRG-NAB-14	Nabón	EOS	2855	711611	9630775	0,16
MDRG-GIR-21	Girón	EOS	1683	696329	9635821	0,12
MDRG-ISA-27	Santa Isabel	EOS	2222	685116	9642422	0,07
MDRG-GIR-30	Girón	EOS	1602	698997	9641140	0,04
MDRG-ISA-40	Santa Isabel	EOS	2679	677978	9645830	0,12
MDRG-GIR-43	Girón	EOS	1810	703050	9646048	0,08
MDRG-SIG-47	Sigsig	EOS	2944	727529	9646046	0,06
MDRG-SIG-48	Sigsig	EOS	2993	728122	9645747	0,07
MDRG-ISA-49	Santa Isabel	EOS	2705	677240	9649346	0,09
MDRG-SIG-50	Sigsig	EOS	2794	733036	9649183	0,05
MDRG-PUC-52	Pucará	EOS	3560	665009	9651155	0,10

MDRG-ISA-54	Santa Isabel	EOS	3147	675230	9650583	0,08
MDRG-CUE-59	Cuenca	EOS	3433	717927	9650150	0,03
MDRG-CUE-60	Cuenca	EOS	3322	721319	9650825	0,04
MDRG-SIG-61	Sigsig	EOS	2655	728386	9651357	0,07
MDRG-PUC-63	Pucará	EOS	3346	659827	9653330	0,11
MDRG-GIR-65	Girón	EOS	2436	709767	9652366	0,08
MDRG-PUC-67	Pucará	EOS	2804	658569	9655865	0,13
MDRG-ISA-68	Santa Isabel	EOS	3233	676658	9655976	0,06
MDRG-CUE-73	Cuenca	EOS	2842	714002	9657284	0,12
MDRG-CUE-74	Cuenca	EOS	3165	716326	9655838	0,05
MDRG-SIG-78	Sigsig	EOS	2685	734581	9655634	0,07
MDRG-PUC-82	Pucará	EOS	1588	651636	9662700	0,06
MDRG-PUC-83	Pucará	EOS	1883	652396	9660574	0,03
MDRG-CUE-86	Cuenca	EOS	2644	714885	9661266	0,11
MDRG-SIG-90	Sigsig	EOS	2700	736393	9659529	0,05
MDRG-SIG-91	Sigsig	EOS	2720	740774	9660513	0,06
MDRG-CUE-99	Cuenca	EOS	2680	719211	9666761	0,09
MDRG-CUE-101	Cuenca	EOS	2779	731319	9665822	0,08
MDRG-SIG-102	Sigsig	EOS	2556	745035	9664940	0,06
MDRG-ISA-104	Santa Isabel	EOS	2128	666292	9668299	0,09
MDRG-CUE-112	Cuenca	EOS	2670	731272	9670812	0,13
MDRG-SIG-113	Sigsig	EOS	2583	746410	9671882	0,08
MDRG-CHO-114	Chordeleg	EOS	2639	748436	9670309	0,09
MDRG-ISA-115	Santa Isabel	EOS	2472	668821	9673325	0,05
MDRG-CUE-117	Cuenca	EOS	3687	694159	9675698	0,07
MDRG-CUE-118	Cuenca	EOS	3150	699800	9675752	0,08
MDRG-CUE-119	Cuenca	EOS	2921	706128	9674674	0,09
MDRG-CUE-120	Cuenca	EOS	2796	709849	9675802	0,10
MDRG-GUA-124	Gualaceo	EOS	2773	736244	9676108	0,06
MDRG-GUA-126	Gualaceo	EOS	2740	750784	9676375	0,09
MDRG-CUE-131	Cuenca	EOS	2830	710539	9677605	0,11
MDRG-CUE-133	Cuenca	EOS	894	668680	9679787	0,02
MDRG-CUE-134	Cuenca	EOS	3310	711318	9680822	0,09
MDRG-CUE-145	Cuenca	EOS	3154	706826	9685444	0,04
MDRG-CUE-146	Cuenca	EOS	3025	709314	9685354	0,04

MDRG-CUE-147	Cuenca	EOS	3010	714908	9684889	0,07
MDRG-CUE-148	Cuenca	EOS	2932	718819	9685819	0,08
MDRG-CUE-154	Cuenca	EOS	3354	687088	9689574	0,10
MDRG-CUE-155	Cuenca	EOS	2914	681851	9691909	0,12
MDRG-CUE-156	Cuenca	EOS	3395	704312	9690719	0,04
MDRG-CUE-157	Cuenca	EOS	3095	719051	9688989	0,08
MDRG-GUACH-160	Guachapala	EOS	2724	753622	9691585	0,09
MDRG-CUE-162	Cuenca	EOS	2567	6790960	9693154	0,06
MDRG-CUE-163	Cuenca	EOS	2690	676168	9696368	0,04
MDRG-CUE-164	Cuenca	EOS	2836	721419	9690026	0,17
MDRG-CUE-168	Cuenca	EOS	2555	676543	9698198	0,06
MDRG-CUE-170	Cuenca	EOS	2257	676337	9700751	0,03
MDRG-GUA-177	Gualaceo	EOS	2586	735552	9681166	0,09
MDRG-CUE-179	Cuenca	EOS	2971	728785	9665674	0,07
MDRG-GIR-181	Giron	EOS	3396	718692	9649323	0,08
MDRG-SIG-182	Sigsig	EOS	2855	730274	9645682	0,05
MDRG-SIG-183	Sigsig	EOS	2562	741487	9666945	0,08
MDRG-SIG-184	Sigsig	EOS	2934	637003	9666202	0,10
MDRG-NAB-189	Nabón	EOS	2986	718790	9635273	0,12
MDRG-NAB-194	Nabón	EOS	2496	711329	9621681	0,18
MDRG-CUE-198	Cuenca	EOS	3775	680240	9688554	0,11
MDRG-CUE-199	Cuenca	EOS	3760	680757	9687453	0,08
MDRG-CUE-200	Cuenca	EOS	1185	669350	9678416	0,03
MDRG-CUE-201	Cuenca	EOS	1198	670379	9678512	0,04
MDRG-PUC-211	Pucará	EOS	2437	655746	9658703	0,04
MDRG-ISA-215	Santa Isabel	EOS	2435	686691	9645588	0,07
MDRG-PUC-219	Pucará	EOS	3610	661352	9651967	0,12
MDRG-PUC-220	Pucará	EOS	2932	663291	9649725	0,10
MDRG-PUC-224	Pucará	EOS	587	657829	9633588	0,09
Estadística descriptiva				Media		0,084
				Mediana		0,080
				Desviación estándar		0,0357
				Mínimo		0,02
				Máximo		0,18

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 17-4:** Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Esquitos grafitosos

Código	Cantón	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-SIG-103	Sigsig	JAE	2692	748923	9665931	0,18
MDRG-PAN-142	El pan	JAE	2971	758424	9684184	0,12
MDRG-PAN-152	El pan	JAE	2758	758768	9685674	0,17
MDRG-PAN-161	El pan	JAE	2657	758846	9690652	0,09
MDRG-GUACH-166	Guachapala	JAE	2640	759223	9695248	0,05
MDRG-SEV-167	Sevilla de Oro	JAE	2193	761282	9695496	0,24
MDRG-SEV-169	Sevilla de Oro	JAE	2550	763402	9698230	0,05
MDRG-PAU-172	Paute	JAE	2986	761309	9700874	0,04
MDRG-SEV-173	Sevilla de Oro	JAE	2190	763615	9700680	0,04
MDRG-SEV-174	Sevilla de Oro	JAE	2421	765683	9705827	0,12
MDRG-SEV-175	Sevilla de Oro	JAE	2391	766429	9709788	0,20
MDRG-SEV-176	Sevilla de Oro	JAE	2384	768809	9714620	0,03
Estadística descriptiva				Media		0,112
				Mediana		0,108
				Desviación estándar		0,0718
				Mínimo		0,03
				Máximo		0,24

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 18-4:** Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para las geologías Bloques, cantos rodados y arena y también Gneises, granito deformado y esquistos

Código	Cantón	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$	
MDRG-CPE-81	Camilo Ponce Enríquez	QA	25	638886	9660790	0,04	
MDRG-CPE-93	Camilo Ponce Enríquez	QA	265	645391	9663430	0,01	
MDRG-CPE-95	Camilo Ponce Enríquez	QA	85	640909	9664956	0,04	
MDRG-CPE-105	Camilo Ponce Enríquez	QA	118	646112	9669785	0,07	
MDRG-CUE-135	Cuenca	QA	2704	714868	9681028	0,05	
MDRG-CUE-137	Cuenca	QA	2492	724983	9681047	0,05	
MDRG-CUE-149	Cuenca	QA	2589	723780	9685859	0,11	
MDRG-ISA-204	Santa Isabel	QA	543	658285	9676029	0,04	
MDRG-OÑA-4	Oña	L	2302	702484	9623167	0,14	
MDRG-SIG-92	Sigsig	L	2644	746329	9661073	0,08	
Estadística descriptiva						Media	0,064
						Mediana	0,053
						Desviación estándar	0,0378
						Mínimo	0,01
						Máximo	0,14

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 19-4:** Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Metalvas básicas y esquistos verdes

Código	Cantón	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-CHO-125	Chordeleg	JAa	2340	746379	9675790	0,08
MDRG-GUA-127	Gualaceo	JAa	2760	752794	9676645	0,06
MDRG-GUA-140	Gualaceo	JAa	2706	750484	9680588	0,04
MDRG-GUA-141	Gualaceo	JAa	2836	752701	9681653	0,05
MDRG-PAU-150	Paute	JAa	2276	748525	9685840	0,07
MDRG-GUA-151	Gualaceo	JAa	2918	753189	9686664	0,05
MDRG-PAU-159	Paute	JAa	2188	748837	9690759	0,09
MDRG-PAU-165	Paute	JAa	2297	753485	9695792	0,04
MDRG-GUA-185	Gualaceo	JAa	2698	742385	9671122	0,08
MDRG-PAU-186	Paute	JAa	2664	746270	9687387	0,14
MDRG-PAU-187	Paute	JAa	2613	746991	9694781	0,07
Estadística descriptiva				Media		0,071
				Mediana		0,067
				Desviación estándar		0,0273
				Mínimo		0,04
				Máximo		0,14

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 20-4:** Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Granodiorita

Código	Cantón	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-ISA-106	Santa Isabel	GGd	1266	662988	9671245	0,12
MDRG-CUE-132	Cuenca	GGd	686	665153	9680509	0,05
MDRG-CUE-143	Cuenca	GGd	1559	668822	9685826	0,04
MDRG-CUE-144	Cuenca	GGd	2131	671319	9685830	0,03

MDRG-CUE-153	Cuenca	GGd	3529	674721	9691307	0,04
MDRG-ISA-206	Santa Isabel	GGd	1175	663956	9672154	0,02
Estadística descriptiva				Media		0,049
				Mediana		0,039
				Desviación estándar		0,0341
				Mínimo		0,02
				Máximo		0,12

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 21-4:** Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Diorita

Código	Cantón	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-CUE-116	Cuenca	DD	1520	670745	9677197	0,05
MDRG-CUE-128	Cuenca	DD	1155	671328	9677832	0,09
MDRG-CUE-129	Cuenca	DD	1634	673856	9678374	0,10
MDRG-CUE-130	Cuenca	DD	1843	676200	9678425	0,11
MDRG-CUE-171	Cuenca	DD	1758	680288	9701082	0,03
MDRG-CUE-195	Cuenca	DD	1719	679916	9697219	0,07
MDRG-CUE-196	Cuenca	DD	2137	677725	9696963	0,05
MDRG-CUE-197	Cuenca	DD	2315	698519	9695791	0,07
MDRG-CUE-202	Cuenca	DD	1842	674620	9677878	0,08
MDRG-CUE-203	Cuenca	DD	3341	678881	9676220	0,09
Estadística descriptiva				Media		0,074
				Mediana		0,076
				Desviación estándar		0,0258
				Mínimo		0,03
				Máximo		0,11

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 22-4:** Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Piroclastos y lavas intermedias a ácidas

<b>Código</b>	<b>Cantón</b>	<b>Tipo de geología</b>	<b>Altura</b>	<b>Longitud (X)</b>	<b>Latitud (Y)</b>	<b>Dosis Absorbida <math>\mu</math>Sv/h</b>
MDRG-OÑA-6	Oña	MZ	2868	701562	9626094	0,12
MDRG-NAB-8	Nabón	MZ	2300	708982	9625936	0,14
MDRG-ISA-9	Santa Isabel	MZ	1123	689585	9632352	0,04
MDRG-NAB-13	Nabón	MZ	3113	704595	9632703	0,11
MDRG-NAB-15	Nabón	MZ	2667	713979	9630491	0,09
MDRG-NAB-16	Nabón	MZ	3264	706719	9634053	0,10
MDRG-ISA-17	Santa Isabel	MZ	1798	676373	9635782	0,04
MDRG-ISA-18	Santa Isabel	MZ	1521	681432	9635729	0,04
MDRG-ISA-19	Santa Isabel	MZ	1421	685892	9636494	0,04
MDRG-ISA-20	Santa Isabel	MZ	1089	691325	9635871	0,07
MDRG-NAB-22	Nabón	MZ	3276	708907	9633918	0,11
MDRG-NAB-23	Nabón	MZ	2326	710507	9635898	0,10
MDRG-NAB-24	Nabón	MZ	2887	714664	9636109	0,23
MDRG-ISA-26	Santa Isabel	MZ	2260	681921	9640612	0,12
MDRG-ISA-28	Santa Isabel	MZ	1462	689895	9640091	0,07
MDRG-GIR-29	Girón	MZ	1553	695016	9641100	0,05
MDRG-NAB-31	Nabón	MZ	3263	711317	9640817	0,12
MDRG-NAB-32	Nabón	MZ	3188	714799	9639939	0,12
MDRG-NAB-33	Nabón	MZ	3099	723817	9640817	0,12
MDRG-ISA-34	Santa Isabel	MZ	2611	678399	9642971	0,14
MDRG-GIR-35	Girón	MZ	1777	700967	9643553	0,04
MDRG-PUC-37	Pucará	MZ	3440	666618	9645983	0,04

MDRG-PUC-38	Pucará	MZ	3052	668832	9645822	0,05
MDRG-GIR-41	Girón	MZ	2328	693821	9645822	0,05
MDRG-GIR-44	Girón	MZ	2821	708811	9645823	0,07
MDRG-GIR-45	Girón	MZ	3099	713822	9645889	0,08
MDRG-NAB-46	Nabón	MZ	3424	713445	9645842	0,06
MDRG-FER-56	San Fernando	MZ	2825	692843	9651280	0,05
MDRG-ISA-64	Santa Isabel	MZ	3160	680288	9653161	0,11
MDRG-GIR-72	Girón	MZ	2731	709672	9656087	0,09
MDRG-CUE-98	Cuenca	MZ	2749	716008	9666905	0,11
MDRG-CUE-110	Cuenca	MZ	2731	720130	9671591	0,12
MDRG-CUE-122	Cuenca	MZ	2532	726319	9675820	0,05
MDRG-CUE-136	Cuenca	MZ	2683	719850	9681094	0,15
MDRG-CUE-138	Cuenca	MZ	2554	729761	9680997	0,05
MDRG-GUA-139	Gualaceo	MZ	2341	746272	9681081	0,06
MDRG-CUE-158	Cuenca	MZ	2872	723600	9690950	0,08
MDRG-CUE-178	Cuenca	MZ	2581	731189	9678742	0,07
MDRG-NAB-190	Nabón	MZ	2773	715482	9671387	0,09
MDRG-NAB-191	Nabón	MZ	3023	716823	9622769	0,09
MDRG-NAB-192	Nabón	MZ	2653	712208	9627453	0,07
MDRG-OÑA-193	Oña	MZ	2638	711578	9617976	0,07
MDRG-ISA-214	Santa Isabel	MZ	1744	682534	9637571	0,06
MDRG-PUC-216	Pucará	MZ	2939	671993	9642390	0,15
MDRG-PUC-217	Pucará	MZ	2593	672532	9641448	0,29
MDRG-PUC-218	Pucará	MZ	2197	673232	9641135	0,16
MDRG-PUC-221	Pucará	MZ	2895	665162	9642684	0,04
Estadística descriptiva				Media		0,09
				Mediana		0,08
				Desviación estándar		0,0501
				Mínimo		0,04
				Máximo		0,29

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 23-4:** Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Lutitas, calizas y volcanoclastos

Código	Cantón	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-CUE-75	Cuenca	KY	2818	721259	9655666	0,05
MDRG-PUC-80	Pucará	KY	285	647211	9658421	0,02
MDRG-CUE-87	Cuenca	KY	2760	721079	9660539	0,12
MDRG-CUE-100	Cuenca	KY	2975	726318	9665832	0,07
MDRG-CUE-111	Cuenca	KY	2841	7262980	9670820	0,11
MDRG-CUE-123	Cuenca	KY	2722	731390	9675818	0,07
MDRG-CUE-180	Cuenca	KY	3006	722531	9656595	0,10
MDRG-ISA-205	Santa Isabel	KY	775	657386	9669485	0,05
MDRG-ISA-207	Santa Isabel	KY	1014	662194	9672170	0,09
MDRG-ISA-208	Santa Isabel	KY	1364	660892	9671226	0,03
MDRG-ISA-209	Santa Isabel	KY	907	661306	9673853	0,05
MDRG-PUC-210	Pucará	KY	730	649671	9665997	0,02
MDRG-PUC-212	Pucará	KY	2137	655058	9657282	0,04
MDRG-PUC-213	Pucará	KY	1658	654662	9656592	0,04
Estadística descriptiva				Media		0,061
				Mediana		0,051
				Desviación estándar		0,0320
				Mínimo		0,02
				Máximo		0,12

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

**Tabla 24-4:** Estadística descriptiva de niveles de radiactividad para la geología Arcillas marinas  
destuario

Código	Cantón	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-GIR-42	Girón	QTM	2152	698820	9645852	0,06
MDRG-PUC-51	Pucará	QTM	3332	658831	9650833	0,09
MDRG-FER-55	San Fernando	QTM	3384	689070	9654240	0,06
MDRG-GIR-57	Girón	QTM	2673	700478	9651652	0,10
MDRG-GIR-58	Girón	QTM	2234	704722	9650973	0,10
MDRG-SIG-62	Sigsig	QTM	2628	731739	9651489	0,05
MDRG-FER-69	San Fernando	QTM	2943	696163	9655367	0,12
MDRG-GIR-70	Girón	QTM	3112	698681	9655405	0,10
MDRG-GIR-71	Girón	QTM	3112	704901	9656031	0,08
MDRG-CUE-76	Cuenca	QTM	2964	726309	9655837	0,05
MDRG-SIG-77	Sigsig	QTM	2726	731375	9655727	0,07
MDRG-CUE-84	Cuenca	QTM	3079	706318	9660828	0,06
MDRG-CUE-85	Cuenca	QTM	2875	711319	9660825	0,05
MDRG-CUE-88	Cuenca	QTM	2796	726324	9660819	0,09
MDRG-CUE-89	Cuenca	QTM	2955	731271	9661831	0,07
MDRG-SIG-94	Sigsig	QTM	2756	750593	9664650	0,03
MDRG-CUE-96	Cuenca	QTM	3122	706319	9665821	0,07
MDRG-CUE-97	Cuenca	QTM	2963	711319	9665826	0,06
MDRG-CUE-107	Cuenca	QTM	3444	706321	9670821	0,08
MDRG-CUE-108	Cuenca	QTM	2976	711318	9670781	0,10
MDRG-CUE-109	Cuenca	QTM	2796	714607	9670756	0,07
MDRG-CUE-121	Cuenca	QTM	2589	719805	9676341	0,06
MDRG-NAB-188	Nabón	QTM	3141	720820	9631893	0,06
Estadística descriptiva				Media		0,072
				Mediana		0,066
				Desviación estándar		0,0207
				Mínimo		0,03

	Máximo	0,12
--	--------	------

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

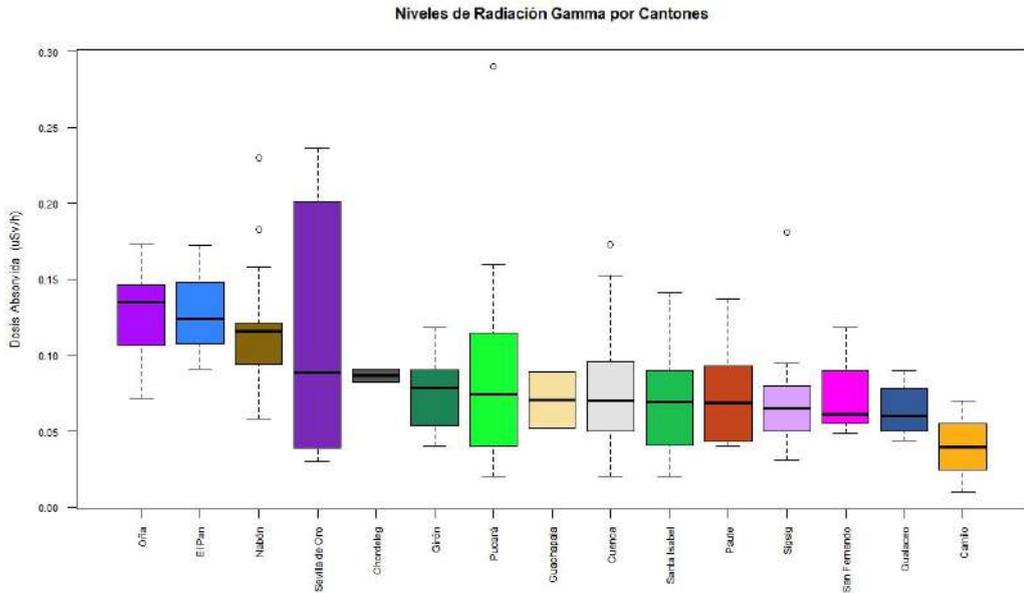
**Tabla 25-4:** Estadística descriptiva de niveles de radiactividad por unidad geológica

Tipo de geología	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
KY	0,06
GGd	0,05
DD	0,07
QTM	0,07
EOS	0,08
QA Y L	0,06
MZ	0,09
JAE	0,11
JAa	0,07
Media	0,08
Mediana	0,07
Desviación estándar	0,0184
Mínimo	0,05
Máximo	0,11

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Dentro del presente estudio una de las principales variables a estudiar es la geología, como se presenta en la estadística descriptiva de la tabla 33-4 desarrollada por el promedio de cada unidad geológica perteneciente a la provincia, las cuales arrojaron un valor promedio de 0,08  $\mu\text{Sv/h}$ , destacando que las unidades geológicas JAE y GGd representan los valores máximos y mínimos con valores de 0,11 y 0,05  $\mu\text{Sv/h}$  respectivamente.

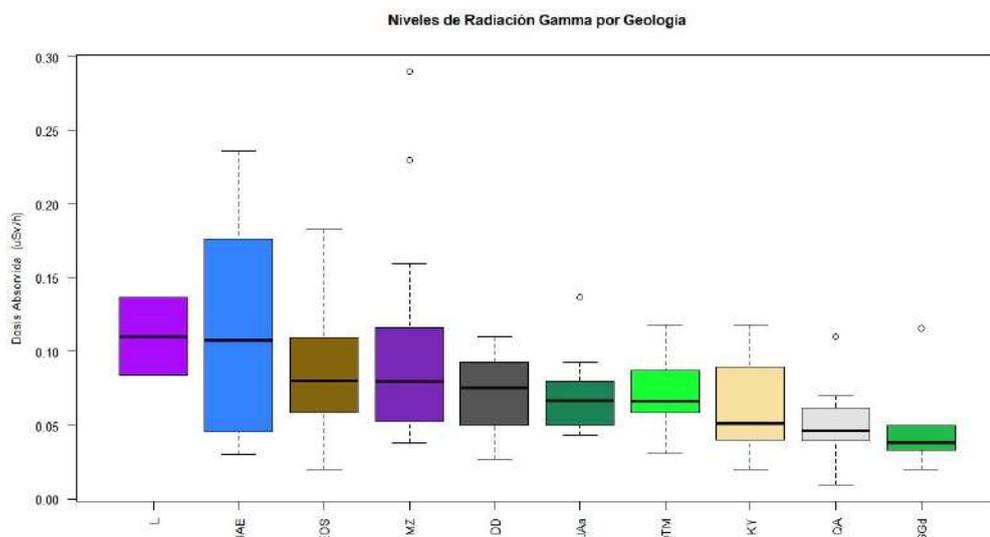
A continuación, se representan los diagramas de cajas en la cual hace referencia a la dosis absorbida y los cantones de monitoreo y el otro con relación a la unidad geológica con la dosis absorbida.



**Ilustración 2-4:** Diagrama de cajas y bigotes de dosis absorbida en los cantones de la Provincia de Azuay

**Realizado por:** Cusquillo, J.; García, C., 2022.

El diagrama está desarrollado con los promedios de cada cantón en donde se puede apreciar una mayor dispersión de los datos en el cantón Sevilla de Oro debido a que en este cantón está presente solo la geología esquistos grafitosos JAE en esta zona monitoreada bordea el río Paute, también se puede observar en el cantón Chordelec los datos se encuentran bien agrupados infiere la presencia de varias geologías como QTM, JAE Y LC, además de obtener los valores atípicos referentes a cada cantón, se puede visualizar en el cantón Nabón, Sigüe, Pucará y Cuenca existe valores que disiden sobre la distribución de las cajas.



**Ilustración 3-4:** Diagrama de cajas y bigotes de la dosis absorbida por unidad geológica

**Realizado por:** Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Con respecto al diagrama podemos observar al igual que en los cantones la geología (JAE) presenta una dispersión mayor en los valores monitoreados, la granodiorita (GGd) además que presenta valores atípicos los datos no están dispersos la geología se distribuye region costa donde existe uuna mayor presencia altas precipitaciones, las unidades Piroclastos y lavas intermedias a ácidas (MZ), Metalvas básicas y esquistos verdes (JAa), cantos rodados y arena (QA), también presentan datos dispersos, en comparación con la estadística por cantones sus promedios están relativamente bajos los cuales no superan los 0,30  $\mu\text{Sv/h}$ .

**Tabla 26-4:** Datos atípicos del monitoreo

Código	Cantón	Tipo de geología	Altura	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis Absorbida $\mu\text{Sv/h}$
MDRG-NAB-24	Nabón	MZ	2887	714664	9636109	0,23
MDRG-ISA-34	Santa Isabel	MZ	2611	678399	9642971	0,14
MDRG-SIG-103	Sigsig	JAE	2692	748923	9665931	0,22
MDRG-ISA-106	Santa Isabel	GGd	1266	662988	9671245	0,14
MDRG-PAU-186	Paute	JAa	2664	746270	9687387	0,14
MDRG-CUE-149	Cuenca	QA	2589	723780	9685859	0,11
MDRG-CUE-164	Cuenca	EOS	2836	721419	9690026	0,17
MDRG-SEV-167	Sevilla de Oro	JAE	2193	761282	9695496	0,24
MDRG-NAB-194	Nabón	EOS	2496	711329	9621681	0,18
MDRG-PUC-217	Pucará	MZ	2593	672532	9641448	0,29

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Se puede apreciar 10 datos dispersos dentro de los diagramas de bigotes y cajas de la provincia del Azuay. El cantón Nabón presenta dos datos atípicos en diferentes geologías para MZ un valor de 0,23 y JAE 0,24 mSv/h los puntos monitoreados no cuenta con altas precipitaciones ni humedales además que su promedio es 0,16 mSv/h. Para el cantón Santa Isabel se detectó valores de 0,14 mSv/h tanto para la geología MZ que en esta zona no hay precipitaciones la tierra carece de humedales y la zona es montañosa al igual en la geología GGd. El cantón Sigsig presenta un valor monitoreado en la geología JAE dentro de una concesión minera para material de construcción con un valor de 0,22 mSv/h. En el cantón Paute el valor más alto fue de 0,14 mSv/h dentro de la geología JAa. En tanto en el cantón Cuenca dos datos atípicos fueron de 0,11 mSv/h en la geología QA y 0,17 en la geología los mismos que están dentro de concesiones mineras para material de construcción. En los cantones Paute y Pucara los valores más altos fueron de 0,14 mSv/h en la geología JAa y 0,29 en la geología MZ respectivamente, estos datos se eliminan puesto que afectan a los análisis estadísticos para determinar la dosis efectiva.

### 4.3. Tasa de Dosis Efectiva a la que está expuesta la población de la provincia de Azuay

#### 4.3.1. Tasa de Dosis Efectiva según los Cantones

**Tabla 27-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Cuenca

<b>Código</b>	<b>Tipo de geología</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Longitud (X)</b>	<b>Latitud (Y)</b>	<b>Dosis efectiva mSv/año</b>
MDRG-CUE-59	EOS	3433	717927	9650150	0,04
MDRG-CUE-60	EOS	3322	721319	9650825	0,05
MDRG-CUE-73	EOS	2842	714002	9657284	0,15
MDRG-CUE-74	EOS	3165	716326	9655838	0,06
MDRG-CUE-75	KY	2818	721259	9655666	0,06
MDRG-CUE-76	QTM	2964	726309	9655837	0,06
MDRG-CUE-84	QTM	3079	706318	9660828	0,07
MDRG-CUE-85	QTM	2875	711319	9660825	0,06
MDRG-CUE-86	EOS	2644	714885	9661266	0,14
MDRG-CUE-87	KY	2760	721079	9660539	0,14
MDRG-CUE-88	QTM	2796	726324	9660819	0,11
MDRG-CUE-89	QTM	2955	731271	9661831	0,09
MDRG-CUE-96	QTM	3122	706319	9665821	0,08
MDRG-CUE-97	QTM	2963	711319	9665826	0,08
MDRG-CUE-98	MZ	2749	716008	9666905	0,13
MDRG-CUE-99	EOS	2680	719211	9666761	0,11
MDRG-CUE-100	KY	2975	726318	9665832	0,08
MDRG-CUE-101	EOS	2779	731319	9665822	0,10
MDRG-CUE-107	QTM	3444	706321	9670821	0,10
MDRG-CUE-108	QTM	2976	711318	9670781	0,12
MDRG-CUE-109	QTM	2796	714607	9670756	0,08
MDRG-CUE-110	MZ	2731	720130	9671591	0,14
MDRG-CUE-111	KY	2841	7262980	9670820	0,13
MDRG-CUE-112	EOS	2670	731272	9670812	0,16
MDRG-CUE-116	DD	1520	670745	9677197	0,06
MDRG-CUE-117	EOS	3687	694159	9675698	0,08
MDRG-CUE-118	EOS	3150	699800	9675752	0,10

MDRG-CUE-119	EOS	2921	706128	9674674	0,11
MDRG-CUE-120	EOS	2796	709849	9675802	0,13
MDRG-CUE-121	QTM	2589	719805	9676341	0,08
MDRG-CUE-122	MZ	2532	726319	9675820	0,06
MDRG-CUE-123	KY	2722	731390	9675818	0,09
MDRG-CUE-128	DD	1155	671328	9677832	0,11
MDRG-CUE-129	DD	1634	673856	9678374	0,12
MDRG-CUE-130	DD	1843	676200	9678425	0,13
MDRG-CUE-131	EOS	2830	710539	9677605	0,14
MDRG-CUE-132	GGd	686	665153	9680509	0,06
MDRG-CUE-133	EOS	894	668680	9679787	0,02
MDRG-CUE-134	EOS	3310	711318	9680822	0,12
MDRG-CUE-135	QA	2704	714868	9681028	0,07
MDRG-CUE-136	MZ	2683	719850	9681094	0,19
MDRG-CUE-137	QA	2492	724983	9681047	0,06
MDRG-CUE-138	MZ	2554	729761	9680997	0,07
MDRG-CUE-143	GGd	1559	668822	9685826	0,05
MDRG-CUE-144	GGd	2131	671319	9685830	0,04
MDRG-CUE-145	EOS	3154	706826	9685444	0,05
MDRG-CUE-146	EOS	3025	709314	9685354	0,05
MDRG-CUE-147	EOS	3010	714908	9684889	0,09
MDRG-CUE-148	EOS	2932	718819	9685819	0,09
MDRG-CUE-153	GGd	3529	674721	9691307	0,05
MDRG-CUE-154	EOS	3354	687088	9689574	0,13
MDRG-CUE-155	EOS	2914	681851	9691909	0,15
MDRG-CUE-156	EOS	3395	704312	9690719	0,05
MDRG-CUE-157	EOS	3095	719051	9688989	0,10
MDRG-CUE-158	MZ	2872	723600	9690950	0,10
MDRG-CUE-162	EOS	2567	6790960	9693154	0,07
MDRG-CUE-163	EOS	2690	676168	9696368	0,05
MDRG-CUE-168	EOS	2555	676543	9698198	0,07
MDRG-CUE-170	EOS	2257	676337	9700751	0,04
MDRG-CUE-171	DD	1758	680288	9701082	0,03
MDRG-CUE-178	MZ	2581	731189	9678742	0,09
MDRG-CUE-179	EOS	2971	728785	9665674	0,09

MDRG-CUE-180	KY	3006	722531	9656595	0,12
MDRG-CUE-195	DD	1719	679916	9697219	0,09
MDRG-CUE-196	DD	2137	677725	9696963	0,06
MDRG-CUE-197	DD	2315	698519	9695791	0,09
MDRG-CUE-198	EOS	3775	680240	9688554	0,13
MDRG-CUE-199	EOS	3760	680757	9687453	0,10
MDRG-CUE-200	EOS	1185	669350	9678416	0,04
MDRG-CUE-201	EOS	1198	670379	9678512	0,05
MDRG-CUE-202	DD	1842	674620	9677878	0,10
MDRG-CUE-203	DD	3341	678881	9676220	0,11
Estadística descriptiva				Media	0,09
				Mediana	0,09
				Desviación estándar	0,0354
				Mínimo	0,02
				Máximo	0,19

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

En el cantón Cuenca se obtiene una media de 0,09 mSv/año la cual es mayor con relación al promedio mundial, una desviación estándar de 0,0354 lo que nos da a entender que los valores no están dispersos con respecto a la media, también se encuentra un valor mínimo de 0,02 mSv/año en las coordenadas X=668680; Y=9679787 y un máximo de 0,19 mSv/año en las coordenadas X=719850; Y=9681094.

**Tabla 28-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Girón

Código	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-GIR-21	EOS	1683	696329	9635821	0,14
MDRG-GIR-29	MZ	1553	695016	9641100	0,06
MDRG-GIR-30	EOS	1602	698997	9641140	0,05
MDRG-GIR-35	MZ	1777	700967	9643553	0,05
MDRG-GIR-41	MZ	2328	693821	9645822	0,06
MDRG-GIR-42	QTM	2152	698820	9645852	0,07
MDRG-GIR-43	EOS	1810	703050	9646048	0,10
MDRG-GIR-44	MZ	2821	708811	9645823	0,09
MDRG-GIR-45	MZ	3099	713822	9645889	0,10

MDRG-GIR-57	QTM	2673	700478	9651652	0,12
MDRG-GIR-58	QTM	2234	704722	9650973	0,12
MDRG-GIR-65	EOS	2436	709767	9652366	0,09
MDRG-GIR-70	QTM	3112	698681	9655405	0,12
MDRG-GIR-71	QTM	3112	704901	9656031	0,10
MDRG-GIR-72	MZ	2731	709672	9656087	0,10
MDRG-GIR-181	EOS	3396	718692	9649323	0,09
Estadística descriptiva				Media	0,09
				Mediana	0,10
				Desviación estándar	0,0279
				Mínimo	0,05
				Máximo	0,14

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Con respecto al cantón Girón se obtiene una media de 0,09 mSv/año el cual supera el valor promedio mundial, una desviación estándar de 0,0279 lo que nos da a entender que los valores no están dispersos con respecto a la media, también se encuentra un valor mínimo de 0,05 mSv/año en las coordenadas (X=698997; Y=9641140) y (X=700967; Y=9643553) y un máximo de 0,14 mSv/año en las coordenadas X=696329; Y=9635821.

**Tabla 29-4.** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Gualaceo

Código	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-GUA-124	EOS	2773	736244	9676108	0,07
MDRG-GUA-126	EOS	2740	750784	9676375	0,11
MDRG-GUA-127	JAa	2760	752794	9676645	0,08
MDRG-GUA-139	MZ	2341	746272	9681081	0,07
MDRG-GUA-140	JAa	2706	750484	9680588	0,05
MDRG-GUA-141	JAa	2836	752701	9681653	0,06
MDRG-GUA-151	JAa	2918	753189	9686664	0,06
MDRG-GUA-177	EOS	2586	735552	9681166	0,11
MDRG-GUA-185	JAa	2698	742385	9671122	0,10
Estadística descriptiva				Media	0,08
				Mediana	0,07
				Desviación estándar	0,0208

	Mínimo	0,05
	Máximo	0,11

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Con respecto al cantón Gualaceo se obtiene una media de 0,08 mSv/año el cual supera el valor promedio mundial, una desviación estándar de 0,0208 lo que nos da a entender que los valores no están dispersos con respecto a la media, también se encuentra un valor mínimo de 0,05 mSv/año en las coordenadas X=750484; Y=9680588 y un máximo de 0,11 mSv/año en las coordenadas (X=735552; Y=9681166) y (X=750784; Y= 9676375).

**Tabla 30-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Nabón

Código	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-NAB-2	EOS	2475	694788	9621135	0,15
MDRG-NAB-5	EOS	2569	696218	9625883	0,15
MDRG-NAB-8	MZ	2300	708982	9625936	0,17
MDRG-NAB-10	EOS	1792	694871	9633286	0,15
MDRG-NAB-11	EOS	2644	699818	9631193	0,13
MDRG-NAB-12	EOS	2660	698891	9630491	0,15
MDRG-NAB-13	MZ	3113	704595	9632703	0,13
MDRG-NAB-14	EOS	2855	711611	9630775	0,19
MDRG-NAB-15	MZ	2667	713979	9630491	0,10
MDRG-NAB-16	MZ	3264	706719	9634053	0,12
MDRG-NAB-22	MZ	3276	708907	9633918	0,13
MDRG-NAB-23	MZ	2326	710507	9635898	0,12
MDRG-NAB-31	MZ	3263	711317	9640817	0,15
MDRG-NAB-32	MZ	3188	714799	9639939	0,14
MDRG-NAB-33	MZ	3099	723817	9640817	0,14
MDRG-NAB-46	MZ	3424	713445	9645842	0,07
MDRG-NAB-188	QTM	3141	720820	9631893	0,07
MDRG-NAB-189	EOS	2986	718790	9635273	0,15
MDRG-NAB-190	MZ	2773	715482	9671387	0,11
MDRG-NAB-191	MZ	3023	716823	9622769	0,11
MDRG-NAB-192	MZ	2653	712208	9627453	0,09
Estadística descriptiva			Media		0,13

	Mediana	0,13
	Desviación estándar	0,0302
	Mínimo	0,07
	Máximo	0,19

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

En el cantón Nabón se obtiene una media de 0,13 mSv/año el cual supera el valor promedio mundial, una desviación estándar de 0,0302 lo que nos da a entender que los valores no están dispersos con respecto a la media, también se encuentra un valor mínimo de 0,07 mSv/año en las coordenadas (X=713445; Y=9645842), (X=720820; Y=9631893) y un máximo de 0,19 mSv/año en las coordenadas X=711611; Y=9630775.

**Tabla 31-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Paute

Código	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-PAU-150	JAa	2276	748525	9685840	0,09
MDRG-PAU-159	JAa	2188	748837	9690759	0,11
MDRG-PAU-165	JAa	2297	753485	9695792	0,05
MDRG-PAU-172	JAa	2986	761309	9700874	0,05
MDRG-PAU-187	JAa	2613	746991	9694781	0,08
Estadística descriptiva			Media		0,08
			Mediana		0,08
			Desviación estándar		0,0265
			Mínimo		0,05
			Máximo		0,11

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

En el cantón Paute se obtiene una media de 0,08 mSv/año el cual supera el valor promedio mundial, una desviación estándar de 0,0265 lo que nos da a entender que los valores no están dispersos con respecto a la media, también se encuentra un valor mínimo de 0,05 mSv/año en las coordenadas (X=753485; Y=9695792), (X=761309; Y=9700874) y un máximo de 0,11 mSv/año en las coordenadas X=748837; Y=9690759.

**Tabla 32-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Pucará

Código	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-PUC-37	MZ	3440	666618	9645983	0,05
MDRG-PUC-38	MZ	3052	668832	9645822	0,06
MDRG-PUC-51	QTM	3332	658831	9650833	0,11
MDRG-PUC-52	EOS	3560	665009	9651155	0,13
MDRG-PUC-63	EOS	3346	659827	9653330	0,13
MDRG-PUC-67	EOS	2804	658569	9655865	0,16
MDRG-PUC-80	KY	285	647211	9658421	0,02
MDRG-PUC-82	EOS	1588	651636	9662700	0,07
MDRG-PUC-83	EOS	1883	652396	9660574	0,04
MDRG-PUC-210	KY	730	649671	9665997	0,02
MDRG-PUC-211	EOS	2437	655746	9658703	0,05
MDRG-PUC-212	KY	2137	655058	9657282	0,05
MDRG-PUC-213	KY	1658	654662	9656592	0,05
MDRG-PUC-216	MZ	2939	671993	9642390	0,18
MDRG-PUC-218	MZ	2197	673232	9641135	0,20
MDRG-PUC-219	EOS	3610	661352	9651967	0,15
MDRG-PUC-220	EOS	2932	663291	9649725	0,12
MDRG-PUC-221	MZ	2895	665162	9642684	0,05
MDRG-PUC-224	EOS	587	657829	9633588	0,11
Estadística descriptiva			Media		0,09
			Mediana		0,07
			Desviación estándar		0,0540
			Mínimo		0,02
			Máximo		0,20

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

En el cantón Pucará se obtiene una media de 0,09 mSv/año el cual supera el valor promedio mundial, una desviación estándar de 0,0540 lo que nos da a entender que los valores no están dispersos con respecto a la media, también se encuentra un valor mínimo de 0,02 mSv/año en las coordenadas X=649671; Y=9665997 y un máximo de 0,20 mSv/año en las coordenadas X=673232; Y=9641135.

**Tabla 33-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón San Fernando

Código	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-FER-55	QTM	3384	689070	9654240	0,07
MDRG-FER-56	MZ	2825	692843	9651280	0,06
MDRG-FER-69	QTM	2943	696163	9655367	0,15
Estadística descriptiva				Media	0,09
				Mediana	0,07
				Desviación estándar	0,0454
				Mínimo	0,06
				Máximo	0,15

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

En el cantón San Fernando se obtiene una media de 0,09 mSv/año el cual supera el valor promedio mundial, una desviación estándar de 0,0454 lo que nos da a entender que los valores no están dispersos con respecto a la media, también se encuentra un valor mínimo de 0,06 mSv/año en las coordenadas X=622843; Y=9651280 y un máximo de 0,15 mSv/año en las coordenadas X=696163; Y=9655367.

**Tabla 34-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Santa Isabel

Código	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-ISA-9	MZ	1123	689585	9632352	0,05
MDRG-ISA-17	MZ	1798	676373	9635782	0,05
MDRG-ISA-18	MZ	1521	681432	9635729	0,05
MDRG-ISA-19	MZ	1421	685892	9636494	0,05
MDRG-ISA-20	MZ	1089	691325	9635871	0,08
MDRG-ISA-26	MZ	2260	681921	9640612	0,15
MDRG-ISA-27	EOS	2222	685116	9642422	0,09
MDRG-ISA-28	MZ	1462	689895	9640091	0,09
MDRG-ISA-40	EOS	2679	677978	9645830	0,14
MDRG-ISA-49	EOS	2705	677240	9649346	0,11

MDRG-ISA-54	EOS	3147	675230	9650583	0,10
MDRG-ISA-64	MZ	3160	680288	9653161	0,13
MDRG-ISA-68	EOS	3233	676658	9655976	0,07
MDRG-ISA-104	EOS	2128	666292	9668299	0,11
MDRG-ISA-106	GGd	1266	662988	9671245	0,14
MDRG-ISA-115	EOS	2472	668821	9673325	0,06
MDRG-ISA-204	QA	543	658285	9676029	0,05
MDRG-ISA-205	KY	775	657386	9669485	0,06
MDRG-ISA-206	GGd	1175	663956	9672154	0,02
MDRG-ISA-207	KY	1014	662194	9672170	0,11
MDRG-ISA-208	KY	1364	660892	9671226	0,04
MDRG-ISA-209	KY	907	661306	9673853	0,06
MDRG-ISA-214	MZ	1744	682534	9637571	0,07
MDRG-ISA-215	EOS	2435	686691	9645588	0,09
Estadística descriptiva				Media	0,08
				Mediana	0,08
				Desviación estándar	0,0360
				Mínimo	0,02
				Máximo	0,15

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

En el cantón Santa Isabel se obtiene una media de 0,08 mSv/año el cual supera el valor promedio mundial, una desviación estándar de 0,0360 lo que nos da a entender que los valores no están dispersos con respecto a la media, también se encuentra un valor mínimo de 0,02 mSv/año en las coordenadas X=663956; Y=9672154 y un máximo de 0,15 mSv/año en las coordenadas X=681921; Y=9640612.

**Tabla 35-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Sigsig

Código	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-SIG-47	EOS	2944	727529	9646046	0,07
MDRG-SIG-48	EOS	2993	728122	9645747	0,09
MDRG-SIG-50	EOS	2794	733036	9649183	0,06
MDRG-SIG-61	EOS	2655	728386	9651357	0,08
MDRG-SIG-62	QTM	2628	731739	9651489	0,06

MDRG-SIG-77	QTM	2726	731375	9655727	0,08	
MDRG-SIG-78	EOS	2685	734581	9655634	0,08	
MDRG-SIG-90	EOS	2700	736393	9659529	0,06	
MDRG-SIG-91	EOS	2720	740774	9660513	0,07	
MDRG-SIG-92	L	2644	746329	9661073	0,10	
MDRG-SIG-94	QTM	2756	750593	9664650	0,04	
MDRG-SIG-102	EOS	2556	745035	9664940	0,07	
MDRG-SIG-113	EOS	2583	746410	9671882	0,10	
MDRG-SIG-182	EOS	2855	730274	9645682	0,06	
MDRG-SIG-183	EOS	2562	741487	9666945	0,10	
MDRG-SIG-184	EOS	2934	637003	9666202	0,12	
Estadística descriptiva					Media	0,08
					Mediana	0,08
					Desviación estándar	0,0207
					Mínimo	0,04
					Máximo	0,12

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

En el cantón Sigsig se obtiene una media de 0,08 mSv/año el cual supera el valor promedio mundial, una desviación estándar de 0,0207 lo que nos da a entender que los valores no están dispersos con respecto a la media, también se encuentra un valor mínimo de 0,04 mSv/año en las coordenadas X=750593; Y=9664650 y un máximo de 0,12 mSv/año en las coordenadas X=637003; Y=9666202.

**Tabla 36-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Oña

Código	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-OÑA-0	EOS	2633	710365	9616221	0,11
MDRG-OÑA-1	EOS	2259	704119	9618280	0,21
MDRG-OÑA-3	EOS	2112	705178	9621217	0,17
MDRG-OÑA-4	L	2302	702484	9623167	0,17
MDRG-OÑA-6	MZ	2868	701562	9626094	0,15
MDRG-OÑA-7	EOS	2537	704032	9626190	0,19
MDRG-OÑA-193	MZ	2638	711578	9617976	0,09
Estadística descriptiva			Media		0,16

	Mediana	0,17
	Desviación estándar	0,0431
	Mínimo	0,09
	Máximo	0,21

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

En el cantón Oña se obtiene una media de 0,16 mSv/año el cual supera el valor promedio mundial, una desviación estándar de 0,0431 lo que nos da a entender que los valores no están dispersos con respecto a la media, también se encuentra un valor mínimo de 0,09 mSv/año en las coordenadas X=711578; Y=9617976 y un máximo de 0,21 mSv/año en las coordenadas X=704119; Y=9618280.

**Tabla 37-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para los Cantones Chordeleg y Guachapala

Código	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-CHO-114	EOS	2639	748436	9670309	0,11
MDRG-CHO-125	JAC	2340	746379	9675790	0,10
MDRG-GUACH-160	EOS	2724	753622	9691585	0,11
MDRG-GUACH-166	JAE	2640	759223	9695248	0,06
Estadística descriptiva			Media		0,10
			Mediana		0,10
			Desviación estándar		0,0222
			Mínimo		0,06
			Máximo		0,11

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Para los cantones Chordeleg y Guachapala se obtiene una media de 0,10 mSv/año el cual supera el valor promedio mundial, una desviación estándar de 0,0222 lo que nos da a entender que los valores no están dispersos con respecto a la media, también se encuentra un valor mínimo de 0,06 mSv/año en las coordenadas X=759223; Y=9695248 y un máximo de 0,11 mSv/año en las coordenadas X=748436; Y=9670309.

**Tabla 38-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón El Pan

Código	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
--------	------------------	------------	--------------	-------------	------------------------

MDRG-PAN-142	JAE	2971	758424	9684184	0,15
MDRG-PAN-152	JAE	2758	758768	9685674	0,21
MDRG-PAN-161	JAE	2657	758846	9690652	0,11
Estadística descriptiva				Media	0,16
				Mediana	0,15
				Desviación estándar	0,0500
				Mínimo	0,11
				Máximo	0,21

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

En el cantón El Pan se obtiene una media de 0,16 mSv/año el cual supera el valor promedio mundial, una desviación estándar de 0,0500 lo que nos da a entender que los valores no están dispersos con respecto a la media, también se encuentra un valor mínimo de 0,11 mSv/año en las coordenadas X=758846; Y=9690652 y un máximo de 0,21 mSv/año en las coordenadas X=758768; Y=9685674.

**Tabla 39-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Sevilla de Oro

Código	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-SEV-169	JAE	2550	763402	9698230	0,06
MDRG-SEV-173	JAE	2190	763615	9700680	0,05
MDRG-SEV-174	JAE	2421	765683	9705827	0,15
MDRG-SEV-175	JAE	2391	766429	9709788	0,25
MDRG-SEV-176	JAE	2384	768809	9714620	0,04
Estadística descriptiva				Media	0,11
				Mediana	0,06
				Desviación estándar	0,0890
				Mínimo	0,04
				Máximo	0,25

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

En el cantón Sevilla de Oro se obtiene una media de 0,11 mSv/año el cual supera el valor promedio mundial, una desviación estándar de 0,0890 lo que nos da a entender que los valores no están dispersos con respecto a la media, también se encuentra un valor mínimo de 0,04 mSv/año en las coordenadas X=768809; Y=9714620 y un máximo de 0,25 mSv/año en las

coordenadas X=766429; Y=9709788.

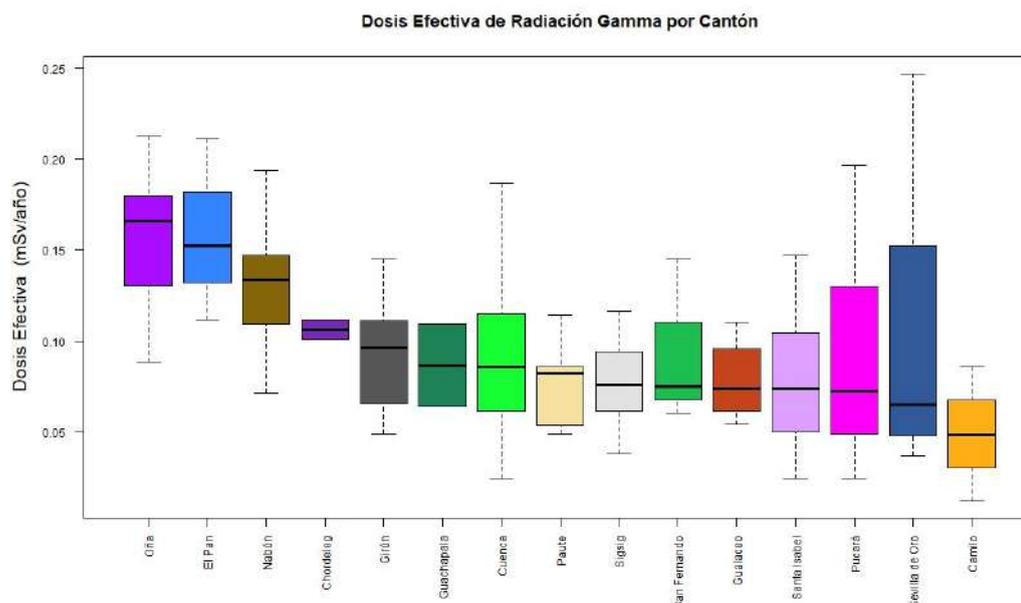
**Tabla 40-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para el Cantón Camilo Ponce Enríquez

Código	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-CPE-81	QA	25	638886	9660790	0,05
MDRG-CPE-93	QA	265	645391	9663430	0,01
MDRG-CPE-95	QA	85	640909	9664956	0,05
MDRG-CPE-105	QA	118	646112	9669785	0,09
Estadística descriptiva			Media		0,05
			Mediana		0,05
			Desviación estándar		0,0300
			Mínimo		0,01
			Máximo		0,09

**Realizado por:** Cusquillo, J.; García, C., 2022.

En el cantón Camilo Ponce Enríquez se obtiene una media de 0,05 mSv/año el cual no supera el valor promedio mundial, una desviación estándar de 0,0300 lo que nos da a entender que los valores no están dispersos con respecto a la media, también se encuentra un valor mínimo de 0,01 mSv/año en las coordenadas X=645391; Y=9663430 y un máximo de 0,09 mSv/año en las coordenadas X=646112; Y=9669785.

Se presenta un diagrama en forma de cajas de la dosis efectiva de los cantones pertenecientes a la provincia de Azuay en la cual se realiza el estudio.



**Ilustración 4-4:** Diagrama de cajas y bigotes de dosis efectiva y cantones en la Provincia de Azuay

**Realizado por:** Cusquillo, J.; García, C., 2022.

En el Ilustración 8-4 se presenta el diagrama de cajas y bigotes ordenado de forma descendente, donde se puede apreciar la distribución de los promedios de dosis efectiva para cada cantón al año, donde los cantones Oña y El Pan indican el mayor promedio de radiación superando los 0,16 mSv/año y en el cantón Camilo Ponce Enríquez registra valores por debajo de los 0,05 mSv/año.

### 3.1.2. Tasa de dosis efectiva según tipo de Geología

**Tabla 41-4.** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Rocas piroclásticas y lavas andesíticas a riolíticas

Código	Cantón	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-OÑA-0	Oña	EOS	2633	710365	9616221	0,11
MDRG-OÑA-1	Oña	EOS	2259	704119	9618280	0,21
MDRG-NAB-2	Nabón	EOS	2475	694788	9621135	0,15
MDRG-OÑA-3	Oña	EOS	2112	705178	9621217	0,17
MDRG-NAB-5	Nabón	EOS	2569	696218	9625883	0,15
MDRG-OÑA-7	Oña	EOS	2537	704032	9626190	0,19
MDRG-NAB-10	Nabón	EOS	1792	694871	9633286	0,15

MDRG-NAB-11	Nabón	EOS	2644	699818	9631193	0,13
MDRG-NAB-12	Nabón	EOS	2660	698891	9630491	0,15
MDRG-NAB-14	Nabón	EOS	2855	711611	9630775	0,19
MDRG-GIR-21	Girón	EOS	1683	696329	9635821	0,14
MDRG-ISA-27	Santa Isabel	EOS	2222	685116	9642422	0,09
MDRG-GIR-30	Girón	EOS	1602	698997	9641140	0,05
MDRG-ISA-40	Santa Isabel	EOS	2679	677978	9645830	0,14
MDRG-GIR-43	Girón	EOS	1810	703050	9646048	0,10
MDRG-SIG-47	Sigsig	EOS	2944	727529	9646046	0,07
MDRG-SIG-48	Sigsig	EOS	2993	728122	9645747	0,09
MDRG-ISA-49	Santa Isabel	EOS	2705	677240	9649346	0,11
MDRG-SIG-50	Sigsig	EOS	2794	733036	9649183	0,06
MDRG-PUC-52	Pucará	EOS	3560	665009	9651155	0,13
MDRG-ISA-54	Santa Isabel	EOS	3147	675230	9650583	0,10
MDRG-CUE-59	Cuenca	EOS	3433	717927	9650150	0,04
MDRG-CUE-60	Cuenca	EOS	3322	721319	9650825	0,05
MDRG-SIG-61	Sigsig	EOS	2655	728386	9651357	0,08
MDRG-PUC-63	Pucará	EOS	3346	659827	9653330	0,13
MDRG-GIR-65	Girón	EOS	2436	709767	9652366	0,09
MDRG-PUC-67	Pucará	EOS	2804	658569	9655865	0,16
MDRG-ISA-68	Santa Isabel	EOS	3233	676658	9655976	0,07
MDRG-CUE-73	Cuenca	EOS	2842	714002	9657284	0,15
MDRG-CUE-74	Cuenca	EOS	3165	716326	9655838	0,06
MDRG-SIG-78	Sigsig	EOS	2685	734581	9655634	0,08
MDRG-PUC-82	Pucará	EOS	1588	651636	9662700	0,07
MDRG-PUC-83	Pucará	EOS	1883	652396	9660574	0,04
MDRG-CUE-86	Cuenca	EOS	2644	714885	9661266	0,14
MDRG-SIG-90	Sigsig	EOS	2700	736393	9659529	0,06
MDRG-SIG-91	Sigsig	EOS	2720	740774	9660513	0,07
MDRG-CUE-99	Cuenca	EOS	2680	719211	9666761	0,11

MDRG-CUE-101	Cuenca	EOS	2779	731319	9665822	0,10
MDRG-SIG-102	Sigsig	EOS	2556	745035	9664940	0,07
MDRG-ISA-104	Santa isabel	EOS	2128	666292	9668299	0,11
MDRG-CUE-112	Cuenca	EOS	2670	731272	9670812	0,16
MDRG-SIG-113	Sigsig	EOS	2583	746410	9671882	0,10
MDRG-CHO-114	Chordeleg	EOS	2639	748436	9670309	0,11
MDRG-ISA-115	Santa Isabel	EOS	2472	668821	9673325	0,06
MDRG-CUE-117	Cuenca	EOS	3687	694159	9675698	0,08
MDRG-CUE-118	Cuenca	EOS	3150	699800	9675752	0,10
MDRG-CUE-119	Cuenca	EOS	2921	706128	9674674	0,11
MDRG-CUE-120	Cuenca	EOS	2796	709849	9675802	0,13
MDRG-GUA-124	Gualaceo	EOS	2773	736244	9676108	0,07
MDRG-GUA-126	Gualaceo	EOS	2740	750784	9676375	0,11
MDRG-CUE-131	Cuenca	EOS	2830	710539	9677605	0,14
MDRG-CUE-133	Cuenca	EOS	894	668680	9679787	0,02
MDRG-CUE-134	Cuenca	EOS	3310	711318	9680822	0,12
MDRG-CUE-145	Cuenca	EOS	3154	706826	9685444	0,05
MDRG-CUE-146	Cuenca	EOS	3025	709314	9685354	0,05
MDRG-CUE-147	Cuenca	EOS	3010	714908	9684889	0,09
MDRG-CUE-148	Cuenca	EOS	2932	718819	9685819	0,09
MDRG-CUE-154	Cuenca	EOS	3354	687088	9689574	0,13
MDRG-CUE-155	Cuenca	EOS	2914	681851	9691909	0,15
MDRG-CUE-156	Cuenca	EOS	3395	704312	9690719	0,05
MDRG-CUE-157	Cuenca	EOS	3095	719051	9688989	0,10
MDRG-GUACH- 160	Guachapala	EOS	2724	753622	9691585	0,11
MDRG-CUE-162	Cuenca	EOS	2567	6790960	9693154	0,07
MDRG-CUE-163	Cuenca	EOS	2690	676168	9696368	0,05
MDRG-CUE-168	Cuenca	EOS	2555	676543	9698198	0,07
MDRG-CUE-170	Cuenca	EOS	2257	676337	9700751	0,04
MDRG-GUA-177	Gualaceo	EOS	2586	735552	9681166	0,11
MDRG-CUE-179	Cuenca	EOS	2971	728785	9665674	0,09
MDRG-GIR-181	Girón	EOS	3396	718692	9649323	0,09

MDRG-SIG-182	Sigsig	EOS	2855	730274	9645682	0,06
MDRG-SIG-183	Sigsig	EOS	2562	741487	9666945	0,10
MDRG-SIG-184	Sigsig	EOS	2934	637003	9666202	0,12
MDRG-NAB-189	Nabón	EOS	2986	718790	9635273	0,15
MDRG-CUE-198	Cuenca	EOS	3775	680240	9688554	0,13
MDRG-CUE-199	Cuenca	EOS	3760	680757	9687453	0,10
MDRG-CUE-200	Cuenca	EOS	1185	669350	9678416	0,04
MDRG-CUE-201	Cuenca	EOS	1198	670379	9678512	0,05
MDRG-PUC-211	Pucará	EOS	2437	655746	9658703	0,05
MDRG-ISA-215	Santa Isabel	EOS	2435	686691	9645588	0,09
MDRG-PUC-219	Pucará	EOS	3610	661352	9651967	0,15
MDRG-PUC-220	Pucará	EOS	2932	663291	9649725	0,12
MDRG-PUC-224	Pucará	EOS	587	657829	9633588	0,11
Estadística descriptiva				Media		0,10
				Mediana		0,10
				Desviación estándar		0,0404
				Mínimo		0,02
				Máximo		0,21

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

La geología (EOS) Rocas piroclásticas y lavas andesíticas a riolíticas en su estadística descriptiva se obtiene como valor medio 0,10 mSv/año, con una desviación estándar de 0,0404 indicando que los datos no se encuentran fuera de la curva de distribución, encontrándose también un valor mínimo de 0,02 mSv/año en el cantón Cuenca y su valor máximo de 0,21 mSv/año ubicado en el cantón Oña estos valores de media y máximo superan el promedio mundial de 0,07 mSv/año, mientras que el valor mínimo está por debajo de este valor.

**Tabla 42-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Esquitos grafitosos

Código	Cantón	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-PAN-142	El pan	JAE	2971	758424	9684184	0,15
MDRG-PAN-152	El pan	JAE	2758	758768	9685674	0,21
MDRG-PAN-161	El pan	JAE	2657	758846	9690652	0,11

MDRG-GUACH-166	Guachapala	JAE	2640	759223	9695248	0,06
MDRG-SEV-169	Sevilla de oro	JAE	2550	763402	9698230	0,06
MDRG-PAU-172	Paute	JAE	2986	761309	9700874	0,05
MDRG-SEV-173	Sevilla de Oro	JAE	2190	763615	9700680	0,05
MDRG-SEV-174	Sevilla de Oro	JAE	2421	765683	9705827	0,15
MDRG-SEV-175	Sevilla de Oro	JAE	2391	766429	9709788	0,25
MDRG-SEV-176	Sevilla de Oro	JAE	2384	768809	9714620	0,04
Estadística descriptiva					Media	0,11
					Mediana	0,09
					Desviación estándar	0,0740
					Mínimo	0,04
					Máximo	0,25

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Para la geología Esquitos grafitosos (JAE) mediante su estadística descriptiva se obtiene un valor medio de 0,11 mSv/año, mientras que su desviación estándar es 0,0740 indicando que los datos no se encuentran fuera de la curva de distribución, hallando también un valor mínimo de 0,04 mSv/año y su valor máximo de 0,25 mSv/año ubicados en el cantón Sevilla de Oro, según la UNSCEAR el promedio mundial es de 0,07 mSv/año de rayos gamma externos por tanto nuestros valores promedio y máximo superan este promedio.

**Tabla 43-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para las geologías QA y L

Código	Cantón	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-CPE-81	Camilo	QA	25	638886	9660790	0,05
MDRG-CPE-93	Camilo	QA	265	645391	9663430	0,01
MDRG-CPE-	Camilo	QA	85	640909	9664956	0,05

95						
MDRG-CPE-105	Camilo	QA	118	646112	9669785	0,09
MDRG-CUE-135	Cuenca	QA	2704	714868	9681028	0,07
MDRG-CUE-137	Cuenca	QA	2492	724983	9681047	0,06
MDRG-ISA-204	Santa Isabel	QA	543	658285	9676029	0,05
MDRG-OÑA-4	Oña	L	2302	702484	9623167	0,17
MDRG-SIG-92	Sigsig	L	2644	746329	9661073	0,10
Estadística descriptiva				Media		0,07
				Mediana		0,06
				Desviación estándar		0,0443
				Mínimo		0,01
				Máximo		0,17

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Para las geologías (L) Gneises, granito deformado y esquistos y (QA) Bloques, cantos rodados y arena en su estadística descriptiva se obtiene como valor medio 0,07 mSv/año, con una desviación estándar de 0,0443 indicando que los datos no se encuentran fuera de la curva de distribución, encontrándose también un valor mínimo de 0,01 mSv/año en el cantón Camilo Ponce Enríquez y su valor máximo de 0,17 mSv/año ubicado en el cantón Oña el valor medio se encuentra en el promedio de la UNSCEAR mientras que el máximo supera el valor de 0,07 mSv/año para exposición de rayos gamma externa de origen natural.

**Tabla 44-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Metalvas básicas y esquistos verdesSS

Código	Cantón	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-CHO-125	Chordeleg	JAa	2340	746379	9675790	0,10
MDRG-GUA-127	Gualaceo	JAa	2760	752794	9676645	0,08
MDRG-GUA-140	Gualaceo	JAa	2706	750484	9680588	0,05

MDRG-GUA-141	Gualaceo	JAa	2836	752701	9681653	0,06
MDRG-PAU-150	Paute	JAa	2276	748525	9685840	0,09
MDRG-GUA-151	Gualaceo	JAa	2918	753189	9686664	0,06
MDRG-PAU-159	Paute	JAa	2188	748837	9690759	0,11
MDRG-PAU-165	Paute	JAa	2297	753485	9695792	0,05
MDRG-GUA-185	Gualaceo	JAa	2698	742385	9671122	0,10
MDRG-PAU-187	Paute	JAa	2613	746991	9694781	0,08
Estadística descriptiva					Media	0,08
					Mediana	0,08
					Desviación estándar	0,0209
					Mínimo	0,05
					Máximo	0,11

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

En la geología Metalvas básicas y esquistos verdes (JAC) mediante su estadística descriptiva se obtiene un valor medio de 0,08 mSv/año, mientras que su desviación estándar es 0,0209 indicando que los datos no se encuentran fuera de la curva de distribución, hallando también un valor mínimo de 0,05 mSv/año y máximo de 0,11 mSv/año ubicados en los cantones Paute y Gualaceo, según la UNSCEAR el promedio mundial es de 0,07 mSv/año de rayos gamma externos por tanto nuestros valores medio y máximo superan este promedio.

**Tabla 45-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Granodiorita

Código	Cantón	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-CUE-132	Cuenca	GGd	686	665153	9680509	0,06
MDRG-CUE-143	Cuenca	GGd	1559	668822	9685826	0,05
MDRG-CUE-144	Cuenca	GGd	2131	671319	9685830	0,04
MDRG-CUE-153	Cuenca	GGd	3529	674721	9691307	0,05
MDRG-ISA-206	Santa Isabel	GGd	1175	663956	9672154	0,02
Estadística descriptiva				Media		0,044

	Mediana	0,045
	Desviación estándar	0,0134
	Mínimo	0,02
	Máximo	0,06

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

En la unidad geológica de la tabla 67-4 se puede apreciar valores de media de 0,044 mSv/año, desviación estándar de 0,0134, en los valores máximos y mínimos de 0,02 y 0,06 mSv/año respectivamente en los cantones Cuenca y Santa Isabel dándonos a conocer que estos valores no superan el promedio mundial.

**Tabla 46-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Diorita

Código	Cantón	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-CUE-116	Cuenca	DD	1520	670745	9677197	0,06
MDRG-CUE-128	Cuenca	DD	1155	671328	9677832	0,11
MDRG-CUE-129	Cuenca	DD	1634	673856	9678374	0,12
MDRG-CUE-130	Cuenca	DD	1843	676200	9678425	0,13
MDRG-CUE-171	Cuenca	DD	1758	680288	9701082	0,03
MDRG-CUE-195	Cuenca	DD	1719	679916	9697219	0,09
MDRG-CUE-196	Cuenca	DD	2137	677725	9696963	0,06
MDRG-CUE-197	Cuenca	DD	2315	698519	9695791	0,09
MDRG-CUE-202	Cuenca	DD	1842	674620	9677878	0,10
MDRG-CUE-203	Cuenca	DD	3341	678881	9676220	0,11
Estadística descriptiva				Media		0,091
				Mediana		0,093
				Desviación estándar		0,0317
				Mínimo		0,03
				Máximo		0,13

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Para la geología Diorita (DD) en su estadística descriptiva se obtiene como valor medio 0,091 mSv/año, con una desviación estándar de 0,0317 indicando que los datos no se encuentran fuera de la curva de distribución, encontrándose también un valor mínimo de 0,03 mSv/año y valor máximo de 0,13 mSv/años ubicados en el cantón Cuenca por tanto valor medio y máximo superan el promedio mundial de 0,07 mSv/año para exposición de rayos gamma externa de origen natural según UNSCEAR.

**Tabla 47-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Piroclastos y lavas intermedias a ácidas

<b>Código</b>	<b>Cantón</b>	<b>Tipo de geología</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Longitud (X)</b>	<b>Latitud (Y)</b>	<b>Dosis efectiva mSv/año</b>
MDRG-OÑA-6	Oña	MZ	2868	701562	9626094	0,15
MDRG-NAB-8	Nabón	MZ	2300	708982	9625936	0,17
MDRG-ISA-9	Santa Isabel	MZ	1123	689585	9632352	0,05
MDRG-NAB-13	Nabón	MZ	3113	704595	9632703	0,13
MDRG-NAB-15	Nabón	MZ	2667	713979	9630491	0,10
MDRG-NAB-16	Nabón	MZ	3264	706719	9634053	0,12
MDRG-ISA-17	Santa Isabel	MZ	1798	676373	9635782	0,05
MDRG-ISA-18	Santa Isabel	MZ	1521	681432	9635729	0,05
MDRG-ISA-19	Santa Isabel	MZ	1421	685892	9636494	0,05
MDRG-ISA-20	Santa Isabel	MZ	1089	691325	9635871	0,08
MDRG-NAB-22	Nabón	MZ	3276	708907	9633918	0,13
MDRG-NAB-23	Nabón	MZ	2326	710507	9635898	0,12
MDRG-ISA-26	Santa Isabel	MZ	2260	681921	9640612	0,15
MDRG-ISA-28	Santa Isabel	MZ	1462	689895	9640091	0,09
MDRG-GIR-29	Girón	MZ	1553	695016	9641100	0,06
MDRG-NAB-31	Nabón	MZ	3263	711317	9640817	0,15
MDRG-NAB-32	Nabón	MZ	3188	714799	9639939	0,14

MDRG-NAB-33	Nabón	MZ	3099	723817	9640817	0,14
MDRG-GIR-35	Girón	MZ	1777	700967	9643553	0,05
MDRG-PUC-37	Pucará	MZ	3440	666618	9645983	0,05
MDRG-PUC-38	Pucará	MZ	3052	668832	9645822	0,06
MDRG-GIR-41	Girón	MZ	2328	693821	9645822	0,06
MDRG-GIR-44	Girón	MZ	2821	708811	9645823	0,09
MDRG-GIR-45	Girón	MZ	3099	713822	9645889	0,10
MDRG-NAB-46	Nabón	MZ	3424	713445	9645842	0,07
MDRG-FER-56	San Fernando	MZ	2825	692843	9651280	0,06
MDRG-ISA-64	Santa Isabel	MZ	3160	680288	9653161	0,13
MDRG-GIR-72	Girón	MZ	2731	709672	9656087	0,10
MDRG-CUE-98	Cuenca	MZ	2749	716008	9666905	0,13
MDRG-CUE-110	Cuenca	MZ	2731	720130	9671591	0,14
MDRG-CUE-122	Cuenca	MZ	2532	726319	9675820	0,06
MDRG-CUE-136	Cuenca	MZ	2683	719850	9681094	0,19
MDRG-CUE-138	Cuenca	MZ	2554	729761	9680997	0,07
MDRG-GUA-139	Gualaceo	MZ	2341	746272	9681081	0,07
MDRG-CUE-158	Cuenca	MZ	2872	723600	9690950	0,10
MDRG-CUE-178	Cuenca	MZ	2581	731189	9678742	0,09
MDRG-NAB-190	Nabón	MZ	2773	715482	9671387	0,11
MDRG-NAB-191	Nabón	MZ	3023	716823	9622769	0,11
MDRG-NAB-192	Nabón	MZ	2653	712208	9627453	0,09
MDRG-OÑA-193	Oña	MZ	2638	711578	9617976	0,09
MDRG-ISA-214	Santa Isabel	MZ	1744	682534	9637571	0,07
MDRG-PUC-216	Pucará	MZ	2939	671993	9642390	0,18
MDRG-PUC-218	Pucará	MZ	2197	673232	9641135	0,20
MDRG-PUC-221	Pucará	MZ	2895	665162	9642684	0,05
Estadística descriptiva				Media		0,10
				Mediana		0,09
				Desviación estándar		0,0421
				Mínimo		0,05
				Máximo		0,20

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Para la geología Piroclastos y lavas intermedias a ácidas (MZ) mediante su estadística descriptiva se obtiene un valor medio de 0,10 mSv/año, mientras que su desviación estándar es 0,0421 indicando que los datos no se encuentran fuera de la curva de distribución, hallando también valores mínimos de 0,05 mSv/año ubicados en los cantones Santa Isabel, Girón y Pucará y máximo de 0,20 mSv/año ubicado en el cantón Pucará, según la UNSCEAR el promedio mundial es de 0,07 mSv/año de rayos gamma externos por tanto nuestros valores de media y máximo superan este promedio.

**Tabla 48-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Lutitas, calizas y volcanoclastos

<b>Código</b>	<b>Cantón</b>	<b>Tipo de geología</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Longitud (X)</b>	<b>Latitud (Y)</b>	<b>Dosis efectiva mSv/año</b>
MDRG-CUE-75	Cuenca	KY	2818	721259	9655666	0,06
MDRG-PUC-80	Pucará	KY	285	647211	9658421	0,02
MDRG-CUE-87	Cuenca	KY	2760	721079	9660539	0,14
MDRG-CUE-100	Cuenca	KY	2975	726318	9665832	0,08
MDRG-CUE-111	Cuenca	KY	2841	7262980	9670820	0,13
MDRG-CUE-123	Cuenca	KY	2722	731390	9675818	0,09
MDRG-CUE-180	Cuenca	KY	3006	722531	9656595	0,12
MDRG-ISA-205	Santa Isabel	KY	775	657386	9669485	0,06
MDRG-ISA-207	Santa Isabel	KY	1014	662194	9672170	0,11
MDRG-ISA-208	Santa Isabel	KY	1364	660892	9671226	0,04
MDRG-ISA-209	Santa Isabel	KY	907	661306	9673853	0,06
MDRG-PUC-210	Pucará	KY	730	649671	9665997	0,02
MDRG-PUC-212	Pucará	KY	2137	655058	9657282	0,05
MDRG-PUC-213	Pucará	KY	1658	654662	9656592	0,05

Estadística descriptiva	Media	0,075
	Mediana	0,063
	Desviación estándar	0,0392
	Mínimo	0,02
	Máximo	0,14

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

La geología (KY) Lutitas, calizas y volcanoclastos en su estadística descriptiva se obtiene como valor medio 0,075 mSv/año, con una desviación estándar de 0,0392 indicando que los datos no se encuentran fuera de la curva de distribución, encontrándose también un valor mínimo de 0,02 mSv/año en el cantón Pucará y su valor máximo de 0,14 mSv/año ubicado en el cantón Cuenca el valor medio y máximo superan el promedio mundial de 0,07 mSv/año para exposición de rayos gamma externa de origen natural según UNSCEAR mientras que el mínimo se encuentra por debajo de este valor mundial.

**Tabla 49-4:** Estadística Descriptiva de la Tasa de Dosis Efectiva para la geología Arcillas marinas destuario

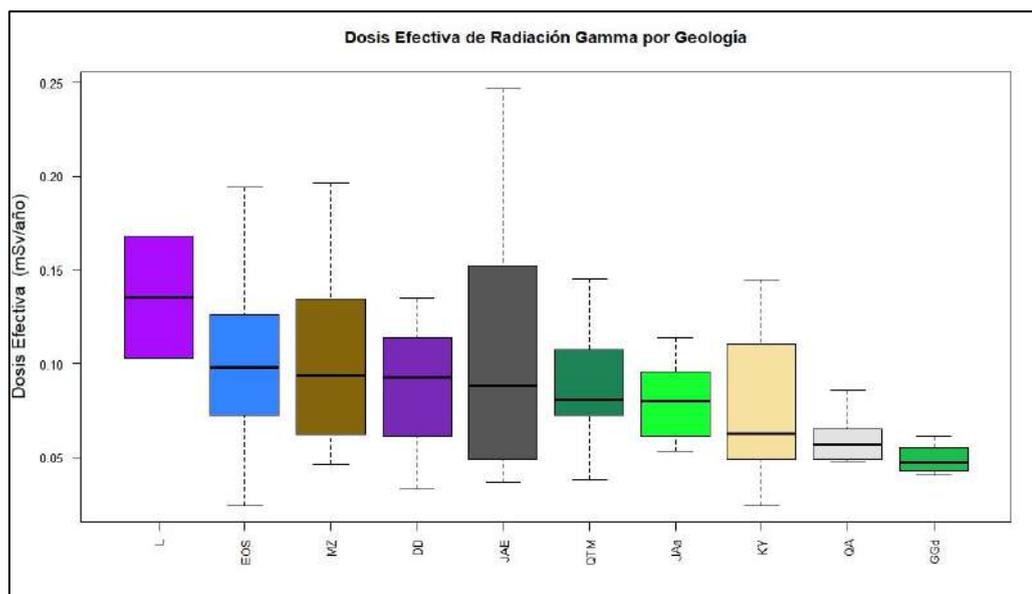
Código	Cantón	Tipo de geología	Altura (m)	Longitud (X)	Latitud (Y)	Dosis efectiva mSv/año
MDRG-GIR-42	Girón	QTM	2152	698820	9645852	0,07
MDRG-PUC-51	Pucará	QTM	3332	658831	9650833	0,11
MDRG-FER-55	San Fernando	QTM	3384	689070	9654240	0,07
MDRG-GIR-57	Girón	QTM	2673	700478	9651652	0,12
MDRG-GIR-58	Girón	QTM	2234	704722	9650973	0,12
MDRG-SIG-62	Sigsig	QTM	2628	731739	9651489	0,06
MDRG-FER-69	San Fernando	QTM	2943	696163	9655367	0,15
MDRG-GIR-70	Girón	QTM	3112	698681	9655405	0,12
MDRG-GIR-71	Girón	QTM	3112	704901	9656031	0,10
MDRG-CUE-76	Cuenca	QTM	2964	726309	9655837	0,06
MDRG-SIG-77	Sigsig	QTM	2726	731375	9655727	0,08
MDRG-CUE-84	Cuenca	QTM	3079	706318	9660828	0,07
MDRG-CUE-85	Cuenca	QTM	2875	711319	9660825	0,06
MDRG-CUE-88	Cuenca	QTM	2796	726324	9660819	0,11
MDRG-CUE-89	Cuenca	QTM	2955	731271	9661831	0,09

MDRG-SIG-94	Sigsig	QTM	2756	750593	9664650	0,04	
MDRG-CUE-96	Cuenca	QTM	3122	706319	9665821	0,08	
MDRG-CUE-97	Cuenca	QTM	2963	711319	9665826	0,08	
MDRG-CUE-107	Cuenca	QTM	3444	706321	9670821	0,10	
MDRG-CUE-108	Cuenca	QTM	2976	711318	9670781	0,12	
MDRG-CUE-109	Cuenca	QTM	2796	714607	9670756	0,08	
MDRG-CUE-121	Cuenca	QTM	2589	719805	9676341	0,08	
MDRG-NAB-188	Nabón	QTM	3141	720820	9631893	0,07	
Estadística descriptiva						Media	0,089
						Mediana	0,081
						Desviación estándar	0,0254
						Mínimo	0,04
						Máximo	0,15

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Para la geología Arcillas marinas destuario (QTM) mediante su estadística descriptiva se obtiene como valor medio 0,089 mSv/año, con una desviación estándar de 0,0254 indicando que los datos no se encuentran fuera de la curva de distribución, encontrándose también un valor mínimo de 0,04 mSv/año en el cantón Sigsig y su valor máximo de 0,15 mSv/año ubicado en el cantón San Fernando estos valores de máximo y medio superan el promedio mundial para exposición de rayos gamma externa de origen natural según UNSCEAR.

Para el tipo de geologías se presenta un diagrama de cajas en las cuales se hace referencia a la media mundial y la tasa de dosis efectiva en cada punto monitoreado.



### **Ilustración 5-4:** Diagrama de cajas y bigotes de dosis efectiva y unidad geológica

**Realizado por:** Cusquillo, J.; García, C., 2022.

En el gráfico 9-4 se presenta el diagrama de cajas y bigotes ordenado de forma descendente, se puede apreciar que los valores superan los 0,10 mSv/año en dosis efectiva con respecto a las geologías (L) (EOS), mientras que en las demás geologías se visualiza en un rango de 0,05 a 0,10 mSv/año. Visualizando que los valores superan el promedio mundial en dosis efectiva.

#### **4.4. Test de normalidad**

##### **4.4.1. Método de Anderson-Darling y Kolmogorov-Smirnov**

Se utilizó estos test en RStudio que utilizan para datos mayores a 50, con finalidad de verificar si los datos promediados luego del monitoreo de radiación gamma proveniente del suelo de la provincia del Azuay se encuentran con una tendencia normal con el planteamiento de dos hipótesis y de acuerdo al P-value que está en 0.05 ambos métodos:

H (Hipótesis nula): Los valores obtenidos en el monitoreo de radiación gamma siguen una distribución normal.

H1 (Hipótesis alternativa): Los valores obtenidos en el monitoreo de radiación gamma no siguen una distribución normal.

**Tabla 50-4:** Resultado del método Anderson-Darling y Kolmogorov-Smirnov

<b>Test de Anderson-Darling</b>	
Valor A	1,81
P-Value	0,00012
<b>Test Kolmogorov-Smirnov</b>	
Valor D	0,077
P-Value	0,004904

**Realizado por:** Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Según los valores de P-Value obtenidos en los dos métodos se comprobó la hipótesis alternativa, los valores obtenidos en el monitoreo de radiación gamma no siguen una distribución normal. Ya que se encuentran muy por debajo de los 0,05 que establecen ambas pruebas de normalidad realizadas, rechazando así la hipótesis nula.

#### 4.4.2. Prueba de Kruskal-Wallis

Se desarrollo el siguiente test no paramétrico Kruskal-Wallis ya que los datos no siguen una tendencia normal, esto con el fin de identificar si los datos que se encuentran en estudio son diferentes con respecto a la geología mediante el planteamiento de dos hipótesis. Si  $p \leq 0.05$  se rechaza  $H_0$ .

$H_0$  (Hipótesis nula): Las geologías presentes en la provincia del Azuay son iguales.

$H_1$  (Hipótesis alternativa): Existen geologías diferentes.

**Tabla 51-4.** Resultado de la prueba de Kruskal-Willis

Test Kruskal-Wallis	
chi-squared	119,76
df	113
P-Value	0,3138

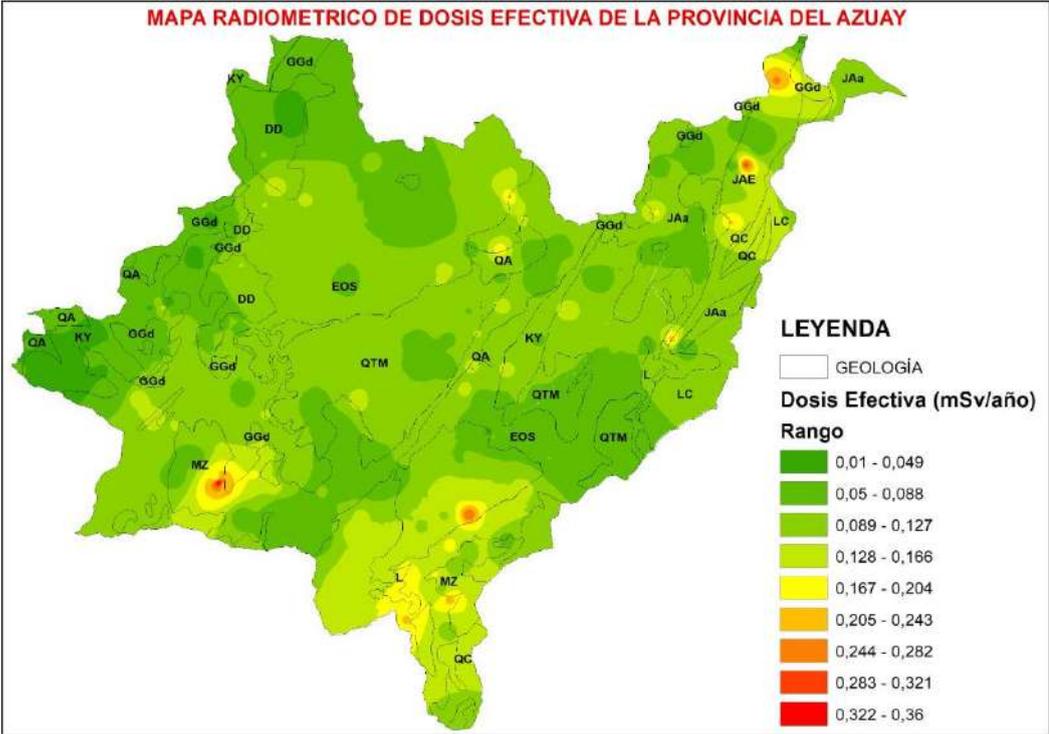
Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

Dándonos a conocer que no todas las geologías son estadísticamente iguales puesto que se obtuvo un P-Value por encima de 0.05.

#### 4.5. Mapa radiométrico de dosis efectiva de la provincia del Azuay

Mediante la base de datos obtenida de dosis efectiva anual emitida por rayos gamma de origen natural, el mapa está constituido por rangos los mismos que van desde 0,01 a 0,036 mSv/año identificado mediante un color verde oscuro, el siguiente rango distintivo va desde los 0,128 a 0,166 mSv/año representado por el color amarillo verdoso, para el color amarillo mostaza se tiene un rango de 0,205 a 0,243 mSv/año, por último se tiene al color rojo con un rango de 0,322 a 0,36 mSv/año indicando que los valores están por encima del promedio de la tasa de dosis mundial de radiación gamma terrestre.

El mapa se elaboró utilizando el método de interpolación IDW (Ponderación de distancia inversa) utilizado por el software ArcGIS para la geoestadística que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos, esto con la información proporcionada de dosis efectiva anual a partir de las diez mediciones que se realizó, evitando el sesgo y teniendo una varianza mínima.



**Ilustración 6-4:** Mapa radiométrico de la provincia de Azuay

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

## CAPÍTULO V

### 5. MARCO PROPOSITIVO

#### 5.1. Propuesta

La intención de la investigación es de suma importancia para el territorio ecuatoriano ya que no existe un mapa radiológico de suelo de cada provincia e incluso por ciudad, en base a estudios anteriores se ha visto la necesidad de monitorear el suelo de la provincia del Azuay para conocer la tasa de dosis absorbida y poder comparar con la media mundial e índices de riesgo.

Uno de los problemas de la comunidad científica es determinar el riesgo a la salud a niveles bajos de radiación gamma, pues esta la podemos encontrar desde materiales de construcción, edificaciones, según las organizaciones internacionales en concesiones mineras al realizar su explotación y extracción generan material radiactivo de origen natural, al extraer minerales que contienen NORM de la corteza terrestre, con relación a nuestro estudio podemos corroborar ya que en varios lugares de la provincia se obtuvo niveles alto de radiación, se puede visualizar en nuestro mapa radiométrico en los lugares con mayor intensidad de color rojo están en concesiones mineras, de material de construcción. Para mitigar una parte del problema sería que se implemente medidas de protección radiológica en especial a los trabajadores de concesiones mineras, por otra parte, se debería implementar un documento legal que permita ejercer y regular adecuadamente la exposición a radiación gamma terrestre en el ámbito laboral, de una u otra forma, pueden incrementar la exposición de los trabajadores , realizar monitoreos de las concentraciones de polvo radiactivo ya que en caso de que el material se libere al medio ambiente, incrementa la exposición a la población a que inhale.

#### 5.2. Gestión del proyecto de investigación

**Tabla 1-5:** Presupuesto de la investigación

Actividad	Monto	Fuente de financiamiento	
		Interna	Externa
Diseño del anteproyecto y aprobación	\$30	X	
Compra e instalación de los softwares necesarios	\$20	X	
Preparación de rutas y alquiler para la movilización	\$400	X	

Equipos y materiales necesarios para la recolección de datos	\$50		X
Monitoreo en la provincia del Azuay	\$600	X	
Preparación del trabajo final	\$20	X	
Defensa del trabajo final	\$50	X	
Redacción, revisión e impresión del trabajo de titulación	\$50	X	
Imprevistos	\$400	X	
<b>Total</b>	<b>\$1.620</b>		

Realizado por: Cusquillo, J.; García, C., 2022.

### 5.3. Cronograma

**Tabla 2-5.** Cronograma de la investigación

Actividades	Tiempo de duración					
	1° mes	2° mes	3° mes	4° mes	5° mes	6° mes
Revisión bibliográfica	█					
Declaración del tema de investigación	█					
Desarrollo del anteproyecto	█					
Preparación de puntos de monitoreo		█	█	█		
Elaboración de rutas		█	█	█		
Procedimiento de monitoreo y recolección de datos		█				
Interpretación de resultados obtenidos			█		█	
Redacción de los resultados obtenidos			█		█	
Elaboración de borradores				█	█	█



## CONCLUSIONES

- Se determinó la radiación gamma presente en el suelo de la provincia del Azuay utilizando el equipo Multi-Detector Ratemeter y la sonda model 44-10 donde se obtuvo valores en dosis absorbida esto mediante el monitoreo realizado in situ de acuerdo con los puntos establecidos en la metodología, arrojando un 68,7% de medidas que superan los 0,07 mSv/año para exposición de rayos gamma externa de origen natural según UNSCEAR.
- Se diseñó el mapa de localización de puntos en la metodología como puntos tentativos donde se realizó una malla de 5km mediante un sistema de información geográfica (SIG), en el desarrollo de la investigación se obtuvo un mapa final de 217 puntos de monitoreo suficientes lo que nos proporcionó una base de datos confiable.
- Se determinó los promedios de niveles de radiactividad de rayos gamma de origen natural por medio de la estadística descriptiva tanto por cantones, como por unidad geológica obteniendo con respecto a los cantones que sus niveles van de 0,04  $\mu\text{Sv/h}$  en el cantón Camilo Ponce Enríquez hasta los 0,13  $\mu\text{Sv/h}$  en el cantón Oña, mientras que en la geología se identificó niveles desde 0,05  $\mu\text{Sv/h}$  a 0,11  $\mu\text{Sv/h}$  en las unidades geológicas GGd y JAE respectivamente.
- La tasa de dosis estimada para la provincia del Azuay se encuentra distribuida en nueve rangos que van desde (0,01- 0,049), (0,05- 0,088), (0,089- 0,127), (0,128-0,166), (0,167- 0,204), (0,205- 0,243), (0,244- 0,282), (0,283- 0,321) y (0,322-0,36) mSv/año. Se encontró que en el Cantón Oña la tasa de dosis efectiva supera en un 129% la exposición, mientras que en el cantón Camilo Ponce Enríquez se encuentra un 29% por debajo del promedio mundial. En cuanto al resto de cantones se tiene un 30% sobre el promedio mundial para radiación gamma.
- Se elaboró el mapa radiométrico mediante la utilización del método de interpolación IDW (Ponderación de distancia inversa) y la base de datos obtenida en los monitoreos, permitiendo visualizar mediante colores sus rangos de radiación gamma natural, para toda la provincia del Azuay. Localizando el valor más alto de radiación con 0,36 mSv/año en las coordenadas (X= 672532; Y= 9641448) perteneciente al cantón Pucará.

## RECOMENDACIONES

- Para obtener una buena estadística con relación a las geologías se debe tener en cuenta que el número de puntos a monitorear sean superiores a 3 para esto tener en cuenta el entorno de los puntos, con esto ver la probabilidad de reubicar los puntos.
- Efectuar nuevas investigaciones donde presentan niveles altos de radiación los cuales podrían ser analizando con muestras del suelo la concentración de radionucleidos naturales, de esta manera se conocería los niveles más exactos a los que está expuesta la provincia esperando a futuro realicen un documento legal con un rango de dosis a las que si se pueda exponer la población.
- Continuar con un plan de estudios en las demás provincias del Ecuador para que se estime la radiación gamma y conocer los niveles a los que la población está expuesta esto debido a que la distribución de radiación gamma del suelo en planeta no es uniforme, por tanto, los radionúclidos estarán en diferente proporción en el suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

**ABBA, H. T.** “Terrestrial gamma radiation dose (TGRD) levels in northern zone of Jos Plateau, Nigeria: Statistical relationship between dose rates and geological formations”. *Radiation Physics and Chemistry* [En línea], 2017, 140(1), pp. 167–172. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.01.023>

**ARAMBURU, X.;& BISBAL, J.** *Radiaciones ionizantes. Utilización y riesgos II (Vol. 2)* [En línea]. Univ. Politécnica de Catalunya. 2009. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en : [https://books.google.com.ec/books?id=0PTbC9IZPqoC&dq=Radiaciones+Ionizantes+:+Utilizaci%C3%B3n+y+Riesgos.+Universitat+Politecnica+de+Catalunya,+2%C2%AA+ed,&source=gs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.ec/books?id=0PTbC9IZPqoC&dq=Radiaciones+Ionizantes+:+Utilizaci%C3%B3n+y+Riesgos.+Universitat+Politecnica+de+Catalunya,+2%C2%AA+ed,&source=gs_navlinks_s)

**ARCOM.** *Informe de rendición de cuentas* [En línea]. Agencia De Regulación Y Control Minero (ARCOM), pp. 1–12. 2019. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <http://geo.controlminero.gob.ec:1026/geovisor/>

**ARTEAGA, C.; & LLIGUIN, C.** Reducción de los niveles de  $^{222}\text{Rn}$  en viviendas de la Parroquia ‘Victoria del Portete’, Cantón Cuenca, Provincia del Azuay. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 1-79.

**BANCO CENTRAL DEL ECUADOR.** Reporte 2016. *Banco Central Del Ecuador* [En línea]. 2016. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ReporteMinero072016.pdf>.

**BANCO CENTRAL DEL ECUADOR.** Reporte 2017. *Banco Central Del Ecuador* [En línea]. 2017. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: [https://www.bce.fin.ec/images/rendicion\\_cuentas/2017/InformeRendicionCuentas2017.pdf](https://www.bce.fin.ec/images/rendicion_cuentas/2017/InformeRendicionCuentas2017.pdf)

**BEER, J.; et al.** *Cosmogenic Radionuclides* [En línea]. Springer Berlin Heidelberg. 2012 [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-14651-0>

**BOYLE, R. W.** *Geochemical Prospecting for Thorium and Uranium Deposits* - R.W. Boyle (16th ed.). Elsevier Scientific Publishing Company. 1982.

**CANADIAN NUCLEAR SOCIETY.** Nutrient Value of Some Common Foods. *Canada* [En línea] [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: [http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/nutrition/fiche-nutri-data/nutrient\\_value-valeurs\\_nutritives-eng.php](http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/nutrition/fiche-nutri-data/nutrient_value-valeurs_nutritives-eng.php)

**CHEGG.** Ionizing Radiation . *Chegg* [En línea]2020. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.chegg.com/learn/physics/introduction-to-physics/ionizing-radiation>

**CHIOZZI, P.; et al.** Laboratory application of NaI(Tl) g-ray spectrometry to studies of natural radioactivity in geophysics. *Elsevier* [En línea]. 2012.[Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: [www.elsevier.com/locate/apradiso](http://www.elsevier.com/locate/apradiso)

**CK-12 FOUNDATION.** Rocas Ígneas Intrusivas y Extrusivas. *Flexboosk* [En línea]. 2021. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-de-ciencias-de-la-tierra-grados-6-8-en-espanol/section/3.8/primary/lesson/rocas-%C3%ADgneas-intrusivas-y-extrusivas/>

**CSN.** *Dosis de Radiación.* Consejo de Seguridad Nuclear, pp. 1–8. 2010.

**CURTIS, S. B.; et al.** *Radiation environments and absorbed dose estimations on manned space missions.* 11th ed. 1986. pp. 269–274.

**DEGUELDRE, C.; & JOYCE, M. J.** “Evidence and uncertainty for uranium and thorium abundance”. *In Progress in Nuclear Energy* [En línea]. 2020, 124(1). [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2020.103299>

**EL-MARAKBY, S.; et al.** “DNA Damage Detection after Chronic Exposure and Radioadaptive Response of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM)”. *Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications* [En línea], 1(1), 2021. pp.1–11. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.21608/ajnsa.2021.63401.1450>

**FERNÁNDEZ, J.; & ARMAS, J.** Radiación natural en aire y suelos de las islas Canarias occidentales. 2000.

**FIALLOS, G.; & CARRILLO, M.** Detección de radiación natural en la provincia de Tungurahua [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en:

<http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/7863/1/86T00045.pdf>

**FLAKUS, F. N.** *Radiation detection Detecting and measuring ionizing radiation-a short history.* (s.f.).

**FRY, R. J. M.; & NACHTWEY, D. S.** “Radiation protection guidelines for space missions”. *In Health Physics*, Vol. 55, n° 2 (1998).

**GAZINEU, M. H. P., & HAZIN, C. A.** “Radium and potassium-40 in solid wastes from the oil industry”. *Applied Radiation and Isotopes* [En línea], 66(1), 2008. pp.90–94. [Consulta: 27 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2007.07.012>

**GOBIERNO MUNICIPAL DE EL CARMEN.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Carmen 2012-2016.* PDOT. 2012. pp. 233.

**GONZÁLEZ, G., & LEMA, C.** *Para entender las radiaciones Energía nuclear, medicina, industria.* 1st ed.: DIRAC – Facultad de Ciencias – Universidad de la República. 2011.

**HESS, C. T.; et al.** “The occurrence of radioactivity in public water supplies in the united states”. *Health Physics*, 1985, 48(5), pp. 553–586. [Consulta: 27 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/00004032-198505000-00002>

**HOFMANN, B. A.** (2011). Encyclopedia of Geobiology. In J. Reitner & V. Thiel (Eds.), Springer Science+Business Media B.V. Springer Netherlands. [Consulta: 27 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9212-1>

**IAEA.** *Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation.* 2003.

**IAEA.** *Annual Report for 2018.* 2018.

**IAEA.** *The environmental behaviour of radium.* (s.f)

**ICRP.** *Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposure* [En línea]. 2010. pp. 2–5. [Consulta: 27 marzo 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1177/ANIB\\_40\\_2-5](https://doi.org/10.1177/ANIB_40_2-5)

**INGEOEXPERT.** Rocas metamórficas: tipos y clasificación. *Ingeoexpert* [En línea]. 2019. [Consulta: 27 marzo 2022]. Disponible en: <https://ingeoexpert.com/2019/11/08/rocas-metamorficas-tipos-y-clasificacion/>

**JIMÉNEZ, F.** Determinación y seguimiento de  $^{131}\text{I}$ ,  $^{210}\text{Po}$  y otros radionucleidos en diferentes entornos laborales. 2010.

**KORMAN, T. P.; & SAITOE, N.** Radioactivity in geology and cosmology. *Further annual reviews* [En línea]. (s.f). [Consulta: 27 marzo 2022]. Disponible en: [www.annualreviews.org](http://www.annualreviews.org)

**KRIVOSHEEV, M. V.; & KOLBASOV, B. N.** “Safety of Fusion Reactors. In Fundamentals of Magnetic Thermonuclear Reactor Design”. 2018. *Elsevier* [En línea]. pp. 401–432. [Consulta: 27 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102470-6.00014-7>

**LOAYZA, M.** Elaboración de un mapa radiológico de los niveles de radón presentes en las viviendas de las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca-Ecuador en el periodo 2017-2018 [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador .2018. pp. 1-67. [Consulta: 27 marzo 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15421/1/UPS-CT007579.pdf>

**LÓPEZ, C.** Las series de desintegración radiactiva. *Cultura científica* [En línea]. 2020. [Consulta: 27 marzo 2022]. Disponible en: <https://culturacientifica.com/2020/09/08/las-series-de-desintegracion-radiactiva/>

**LÓPEZ-PÉREZ, M.; et al.** “Natural and artificial gamma-emitting radionuclides in volcanic soils of the Western Canary Islands”. *Journal of Geochemical Exploration* [En línea], 2021, 229 (1), p. 106840. [Consulta: 27 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2021.106840>

**LU, X.; et al.** “Determination of natural radioactivity and associated radiation hazard in building materials used in Weinan, China”. *Radiation Physics and Chemistry* [En línea], 2014, 99(1), pp. 62–67. [Consulta: 27 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.02.021>

**LYNNEBAKKEN, H.** Knowledge resources - Radiation and health. *UIO* [En línea]. 2014.[Consulta: 27 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.mn.uio.no/fysikk/english/services/knowledge/>

**MANOSALVA, J.** “Radiación ambiental en la zona central en la zona central del Perú”. *Revista Del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, vol. 9, n°18 (2006), pp. 78–81.

**MASARIK, J.** “Origin and Distribution of Radionuclides in the Continental Environment”. *In Radioactivity in the Environment* [En línea], 2009, 16(1). p. 124. [Consulta: 27 marzo 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1569-4860\(09\)01601-5](https://doi.org/10.1016/S1569-4860(09)01601-5)

**MCLEAN, A. R.; et al.** “A restatement of the natural science evidence base concerning the health effects of low-level ionizing radiation”. *In Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* [En línea], 2017, 284(1862). pp. 1-12. [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.1070>

**MENZEL, H. G.; & HARRISON, J.** “Effective dose: A radiation protection quantity”. *Annals of the ICRP* [En línea], 2012, 41(3–4), pp. 117–123. [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2012.06.022>

**MERNAGH, T. P.; & MIEZITIS, Y.** *A review of the geochemical processes controlling the distribution of thorium in the Earth’s crust and Australia’s thorium resources.* Geoscience Australia. 2008.

**MINISTERIO DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES.** *Plan Nacional De Desarrollo Del Ecuador del Sector Minero* [En línea]. Ecuador: 2020. pp.32–34. [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/10/Plan-Nacional-de-Desarrollo-del-Sector-Minero-2020-2030.pdf>

**MORALES-ARAMBURO, J.; & PUERTA, J. A.** “Physical basis of ionising radiation”. *Revista Colombiana de Cardiología* [En línea], 2020 27, pp. 32–40. [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2020.01.007>

**MU, H.; et al.** Ionizing radiation exposure: hazards, prevention, and biomarker screening. *In Environmental Science and Pollution Research* [En línea], 2018, 25(16), pp. 15294–15306. [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2097-9>

**NASA.** Electromagnetic Spectrum - Introduction. *NASA*[En línea]. 2013. [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html>

**O'BRIEN, K.; et al.** The exposure of aircraft crews to radiations of extraterrestrial origin. *Radiation Protection Dosimetry* [En línea], 1992, 45(1–4), 145–162. [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/rpd/45.1-4.145>

**ORIO PLANAS.** Núcleo atómico - Propiedades del núcleo del átomo. *Energía nuclear net* [En línea]. 2013.[Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/atomo/nucleo-atamico>

**PAPAEFTHYMIU, H.; & GOUSETI, O.** “Natural radioactivity and associated radiation hazards in building materials used in Peloponnese, Greece”. *Radiation Measurements*, 2008, 43(8), 1453–1457. [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2008.03.032>

**PENA, F.** (2001). Uranium and disease. In *Medicina Clínica, Ediciones Doyma, S.L.*[En línea]. 2001, 116 (20), pp. 772–774. [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s0025-7753\(01\)71983-5](https://doi.org/10.1016/s0025-7753(01)71983-5)

**QUINTER, E.; et al.** *Estudio preliminar de materiales radiactivos de ocurrencia natural y tecnológica (norm / tenorm)*. 2019.

**ROBERT, N.; & CHERRY, J.** “Radiaciones ionizantes”. In *enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* Vol. 1 n° 1 (2015), pp. 1–46.

**SILVA, M. D. R.** (2015). “Ionizing Radiation Detectors”. In *Evolution of Ionizing Radiation Research* [En línea]. 2015 , 1(1), pp. 190–200. [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.5772/60914>

**SOHRABI, M.** “The State-of-the-art on Worldwide Studies in some Environments with Elevated Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM)”. *Applied Radiation and Isotopes* [En línea], 1998, 49(3), pp. 169–188. [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(97\)00238-8](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(97)00238-8)

**SONSOLES, A.; & DIAZ, E.** *Riesgos asociados a la radioactividad natural en los proyectos de extracción de gas no convencional* [En línea]. (s.f) [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: [www.conama2014.org](http://www.conama2014.org)

**UNSCEAR.** “Sources and Effects of Ionizing Radiation”. *Journal of Radiological Protection* [En línea], 2000, 21(1). pp. 18-23 [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/0952-4746/21/1/609>

**US EPA.** Radiation Health Effects. *EPA* [En línea]. 2019 [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.epa.gov/radiation/radiation-health-effects>

**VÁLGOMA, A.** Minerales y rocas radiactivos. [En línea]. 2014.[Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://desayunoconfotones.org/2014/02/26/minerales-y-rocas-radiactivos/>

**VEARRIER, D.; et al.** “Technologically enhanced naturally occurring radioactive materials”. *In Clinical Toxicology* [En línea], 2009, 47(5), pp. 393–406. [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15563650902997849>

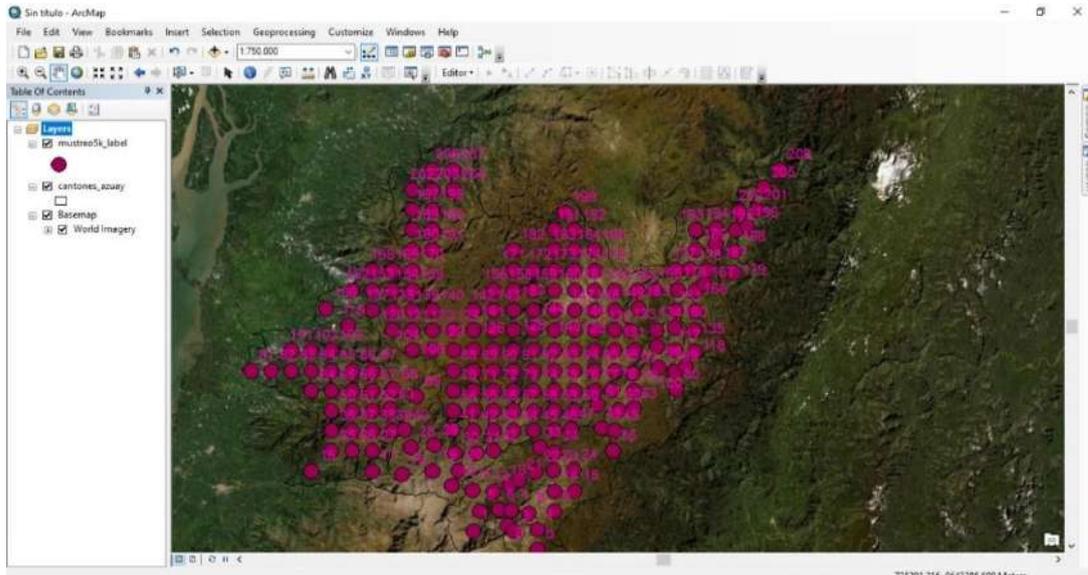
**WHALEY, T. P.** *Sodium, Potassium, Rubidium, Cesium and Francium.* (s.f.)

**WORLD HEALTH ORGANIZATION.** *Ionizing radiation, health effects and protective measures.* 2017. [Consulta: 7 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>

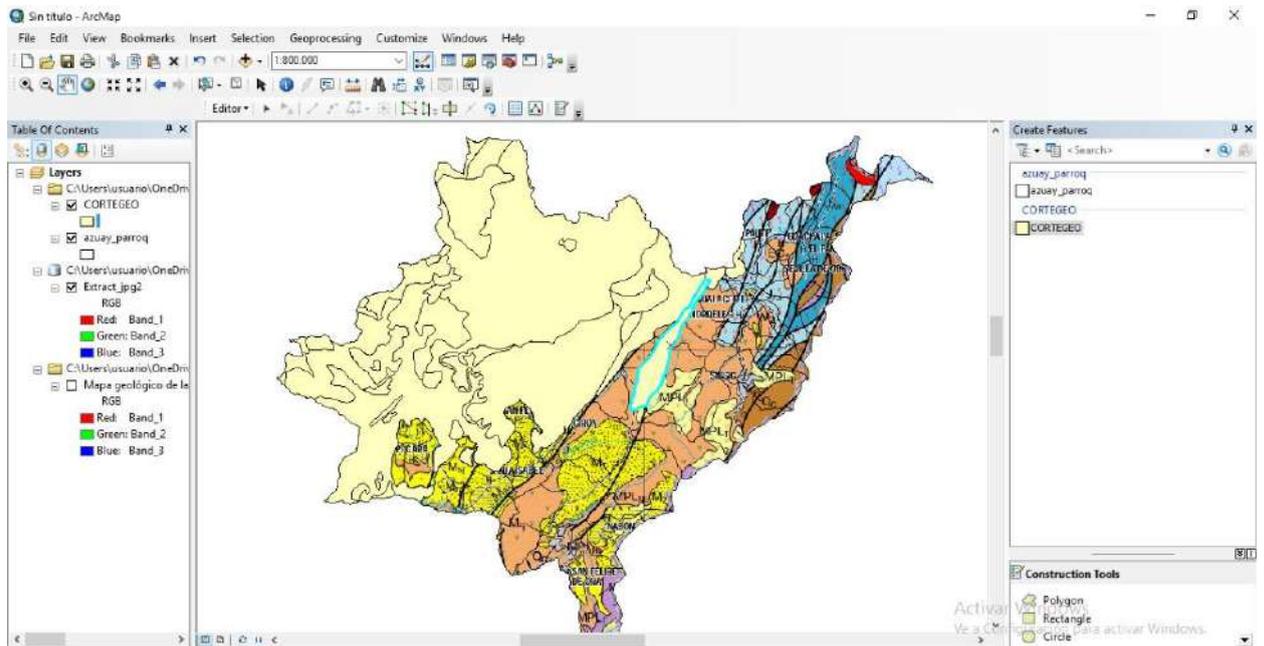


## ANEXOS

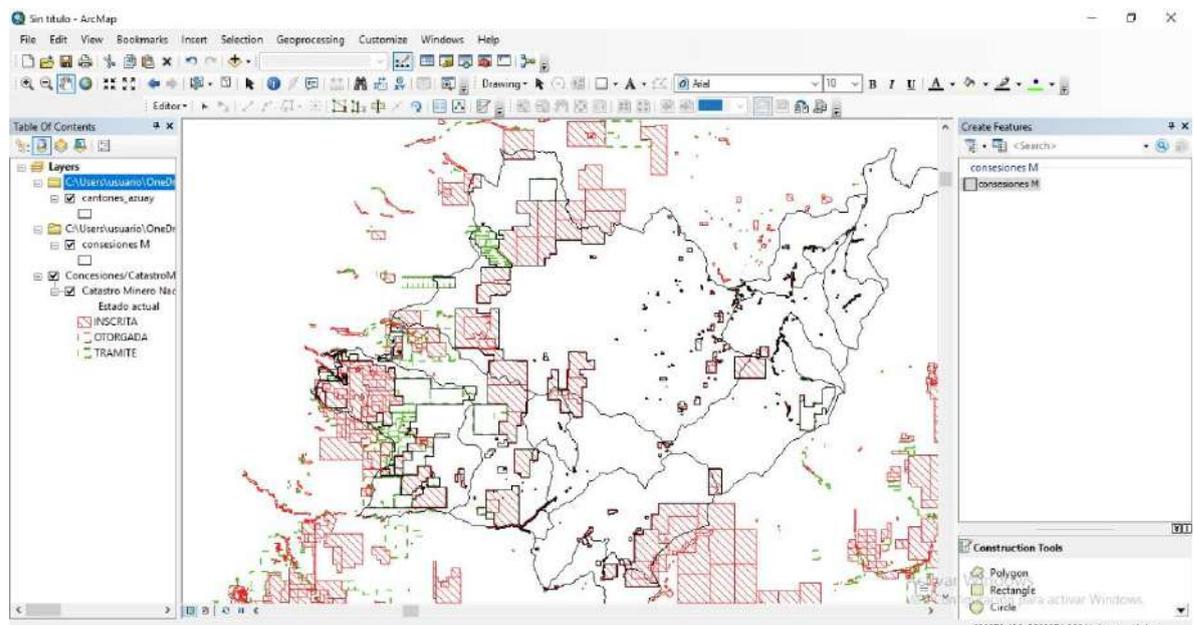
### ANEXO A: MALLA DE PUNTOS TENTATIVOS EN ARCGIS



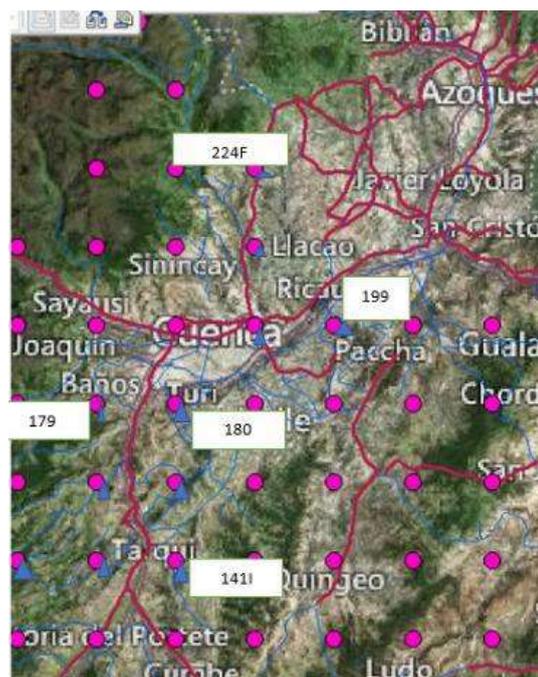
### ANEXO B: CORTE DEL MAPA SEGÚN UNIDAD GEOLÓGICA EN ARCGIS



## ANEXO C: ELABORACIÓN DEL MAPA CON CONCESIONES MINERAS



## ANEXO D: ELABORACIÓN DE RUTAS PARA EL MONITOREO



**ANEXO E: RECONOCIMIENTO DEL LUGAR A MONITOREAR**



**ANEXO F: CAPACITACIÓN PARA EL BUEN USO DE LOS EQUIPOS**



**ANEXO G: TOMA DE DATOS IN SITU**



**ANEXO H: GPS ARROJANDO EL DATO DE ALTURA CON SU RESPECTIVO ERROR**



**ANEXO I: FICHA TÉCNICA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE MONITOREO**

**FICHA TÉCNICA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE MONITOREO**

N° de punto	Altitud	Point X	Point Y
√ 88	2796 ± 3	726324	9660819
<b>Mediciones de radiación</b>			
0,09 2	0,08 2,1	0,09 2	0,09 2
0,09 2	0,09 2	0,08 2	0,07 2
0,09 2	0,09 2	0,09 2,1	0,09 2,1
Observaciones: Cuenca			

N° de punto	Altitud	Point X	Point Y
√ 89	2955 ± 3	731271	9661831
<b>Mediciones de radiación</b>			
0,07 1,6	0,07 1,6	0,08 1,8	0,07 1,8
0,07 1,6	0,07 1,8	0,07 1,8	0,07 1,8
0,07 1,8	0,07 1,8	0,07 1,8	0,07 1,8
0,07 1,8	0,07 1,8	0,07 1,8	0,07 1,8
Observaciones: Cuenca			

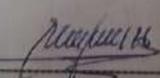
  

N° de punto	Altitud	Point X	Point Y
√ 96	3122 ± 4	706319	9665821
<b>Mediciones de radiación</b>			
0,06 1,5	0,06 1,5	0,06 1,6	0,06 1,6
0,06 1,6	0,06 1,6	0,07 1,6	0,07 1,6
0,06 1,6	0,07 1,6	0,07 1,6	0,07 1,6
0,06 1,6	0,07 1,6	0,07 1,6	0,07 1,6
Observaciones: Cuenca			

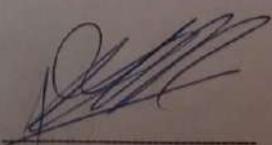
  

N° de punto	Altitud	Point X	Point Y
√ 97	2963 ± 3	711319	9665826
<b>Mediciones de radiación</b>			
0,07 1,5	0,07 1,6	0,06 1,6	0,07 1,5
0,07 1,5	0,06 1,6	0,06 1,5	0,06 1,5
0,07 1,5	0,06 1,5	0,06 1,5	0,06 1,5
0,07 1,5	0,06 1,5	0,06 1,5	0,06 1,5
Observaciones: Cuenca			

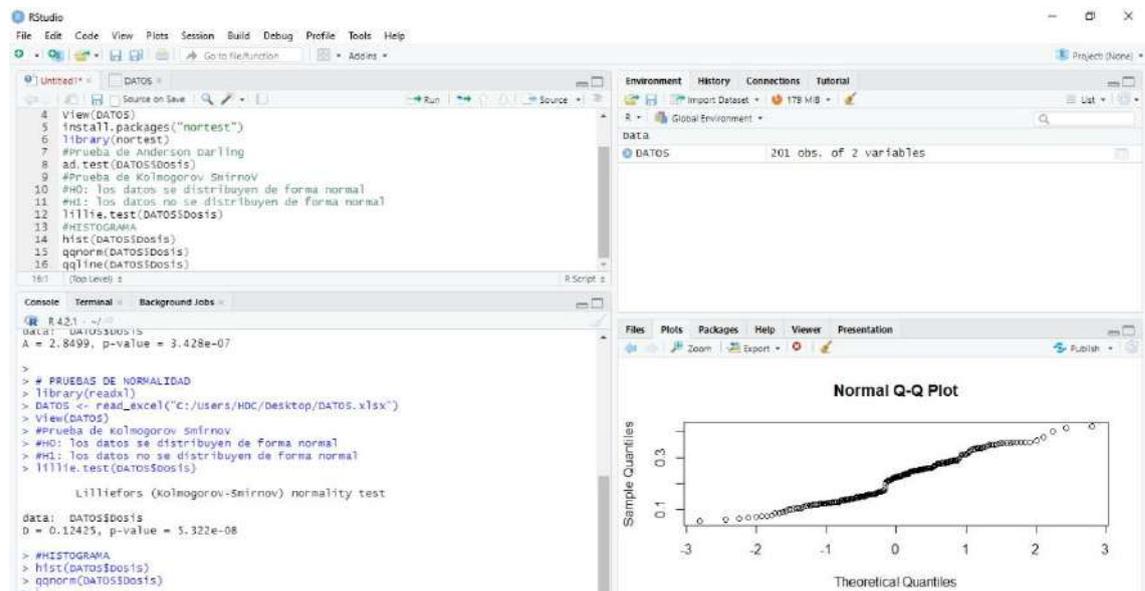


Dr. Bolívar Flores  
Director

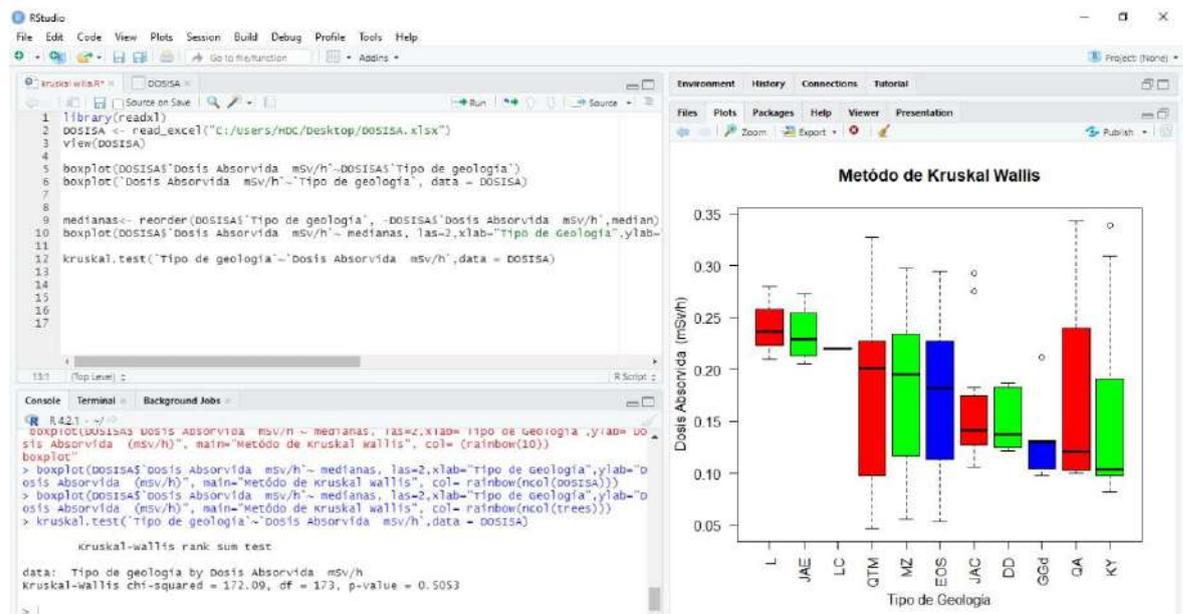


Dr. Celso Recalde  
Asesor

## ANEXO J: PROGRAMACIÓN EN RSTUDIO DE LA NORMALIDAD



## ANEXO K: CODIFICACIÓN EN RSTUDIO DE RESULTADOS POR EL MÉTODO DE KRUSKAL WALLIS



# ANEXO L: CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN



Designer and Manufacturer  
of  
Scientific and Industrial  
Instruments

## CERTIFICATE OF CALIBRATION

**LUDLUM MEASUREMENTS, INC.**  
301 Oak Street  
325-235-5494  
Sweetwater, TX 79556, U.S.A.

**ACCREDITED**  
CERT # 4084.01

Customer: GALO NOBOA Model: 3003 Serial No: 25023973  
 Mfg: Ludlum Measurements, Inc. Model: 44-10 Serial No: PR409205  
 Mfg: Ludlum Measurements, Inc. Model: 44-10 Serial No: PR409205  
 Cal. Date: 23-Jun-22 Cal Due Date: 23-Jun-23 Col. Interval: 1 Year Meterface: 44-10SV/IV

Check mark  applies to applicable instr. and/or detector LAW mfg. spec. F 74 °F RH 35 % Alt 206.4 mm Hg  
 New Instrument  Instrument Received  Within Toler. +10%  10-20%  Out of Tol.  Requiring Repair  Other-See comments  
 Mechanical ck.  Meter Zeroed  Background Subtract  Input Sens. Linearity  
 F/S Resp. ck.  Reset ck.  Window Operation  Geotraplum  
 Alarm Setting ck.  Bolt. ck. (Min. Volt) 4.4 VDC  Geotraplum  
 Audio ck.  Alarm Setting ck.  Calibrated in accordance with LM SOP 14.9  
 Calibrated in accordance with LM SOP 14.8  Calibrated in accordance with LM SOP 14.9

Instrument Volt Set Comments V Input Sens. Comments mV Det Oper Comments V of Comment mV Threshold          mV  
 HV Readout (2 point) Ref./Inst. 600 V Ref./Inst. 2000 V Ref./Inst. 2018 V

**COMMENTS:** (RED) (YELLOW) FIRMWARE R: 3.2.1.102  
 (44144-10) Det2 (47-07) INSTRUMENT METER READINGS REFLECT DOT1.  
 Primary Unit: SV/Hz SV/Hz          SV/Hz          SV/Hz          SV/Hz  
 Secondary Unit: cps cps          cps          cps          cps  
 Detx.244 can be disabled. "SCALER CALIBRATION "DIGITAL READOUT" AND "SCALER  
 Detx.244 can be disabled. "SCALER CALIBRATION" PERFORMED WITHOUT DEADTIME.  
 See attachments for all other settings. "SCALER READOUT" REFLECTS 1 SECOND COUNT

Gamma Calibrator: LM detector certified periodically to assure accuracy to M-44 B in which the point of probe faces source

RANGE	REFERENCE	INSTRUMENT	INSTRUMENT	RANGE	REFERENCE	INSTRUMENT	INSTRUMENT
MULTIPLIER	CAL. POINT	RECEIVED	METER READING	MULTIPLIER	CAL. POINT	RECEIVED	METER READING
	50µSv/hr		<u>50.2µSv/hr</u>				
	10µSv/hr		<u>10.1</u>				
	5µSv/hr		<u>5.26</u>				
	2µSv/hr = <u>2.76kcp/s</u>		<u>2.01</u>				

**Range(s) Calibrated Electronically**

REFERENCE	INSTRUMENT	INSTRUMENT	REFERENCE	INSTRUMENT	INSTRUMENT
CAL. POINT	RECEIVED	METER READING	CAL. POINT	RECEIVED	METER READING
Digital Readout	80K cps		Scaler	80K cps	<u>80.0Kc</u>
	20K cps	<u>19.9</u>		20K cps	<u>19.9</u>
	8K cps	<u>1.99</u>		8K cps	<u>1.99</u>
	2K cps	<u>1.99</u>		2K cps	<u>1.99</u>
	800 cps	<u>79.9 cps</u>		800 cps	<u>80.0 c</u>
	200 cps	<u>19.9</u>		200 cps	<u>19.9</u>
	80 cps	<u>19.9</u>		80 cps	<u>80</u>
	20 cps	<u>19.9</u>		20 cps	<u>20</u>
	8 cps	<u>1.99</u>		8 cps	<u>8</u>

Under no circumstances shall the customer be held responsible for the return of instruments to the manufacturer if the instrument is not used in accordance with the manufacturer's instructions. The customer is responsible for the safe use of the instrument and for the safety of the operator. The manufacturer is not responsible for the safe use of the instrument. The manufacturer is not responsible for the safe use of the instrument. The manufacturer is not responsible for the safe use of the instrument.

Reference Instruments and/or Sources:  31700  31701  31702  31703  31704  31705  31706  31707  31708  31709  31710  31711  31712  31713  31714  31715  31716  31717  31718  31719  31720  31721  31722  31723  31724  31725  31726  31727  31728  31729  31730  31731  31732  31733  31734  31735  31736  31737  31738  31739  31740  31741  31742  31743  31744  31745  31746  31747  31748  31749  31750  31751  31752  31753  31754  31755  31756  31757  31758  31759  31760  31761  31762  31763  31764  31765  31766  31767  31768  31769  31770  31771  31772  31773  31774  31775  31776  31777  31778  31779  31780  31781  31782  31783  31784  31785  31786  31787  31788  31789  31790  31791  31792  31793  31794  31795  31796  31797  31798  31799  31800

Alpha S/N  Beta S/N  Oscilloscope S/N  Other Am2d1 - 154uCi  
 m S/N 18936  Multimeter S/N 83730186  
 Calibrator: MARY CASTILLO Title: CALIBRATOR Date: 23 Jun/22  
 QC'd By: Diana Garcia Title: Final QC Date: 23 Jun/22

This certificate may not be reproduced except in full, without the written consent of Ludlum Measurements, Inc.  
 FORM C-3003A 03/19/2021 Page 1 of 2

AC Inst. Only  Passed Dielectric (Hi-Pot) and Continuity Test  Failed



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL  
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 11 / 01 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Cindy Paola García Amaguaya Jeferson Javier Cusquillo Guaman
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Químico
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Fernanda Arévalo M.

