



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA**

**“CARACTERIZACIÓN DE RADIONUCLEIDOS  
PRESENTES EN EL SUELO DE LA PROVINCIA DE  
CHIMBORAZO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: TRABAJO EXPERIMENTAL**

Para optar al Grado Académico de:

**BIOFÍSICO**

**AUTORES: CAMACHO NINABANDA ALEX JAVIER**

**PUCHA AMANCHA GILSON JULIAN**

**TUTOR: DR. CELSO GUILLERMO RECALDE MORENO**

Riobamba–Ecuador

2018

**©2018, Alex Javier Camacho Ninabanda, Gilson Julian Pucha Amancha.**

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.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA**

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo experimental: **“CARACTERIZACIÓN DE RADIONUCLEIDOS PRESENTES EN EL SUELO DE LA PROVINCIA DE CHIBORAZO”**, de responsabilidad de los señores Alex Javier Camacho Ninabanda y Gilson Julian Pucha Amancha, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal, quedando autorizada su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Celso Guillermo Recalde Moreno. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO</b> <b>DE TITULACIÓN</b>	_____	_____
Biof. Vilma Noemi Yanchapanta Bastidas. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____
Biof. Teresa Angélica Altamirano Novillo. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____

“Nosotros, **ALEX JAVIER CAMACHO NINABANDA y GILSON JULIAN PUCHA AMANCHA**, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenecen a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”.

Alex Javier Camacho Ninabanda, Gilson Julian Pucha Amancha

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirme alcanzar y culminar la meta propuesta en esta etapa de mi vida. A mis padres Ramón y Marisol, por ser el soporte incondicional durante la realización del trabajo quienes con sus consejos y motivación fueron clave para escribir y concluir este trabajo de titulación. A mis profesores y amigos, quienes estuvieron amenizando e interesados en ayudar durante los años de formación.

**Alex**

A mi madre Dora y hermana Hipatia, por el apoyo incondicional y cofinancia que me brindaron para culminar este periodo académico. También mis profesores, compañeros y amigos que ayudaron desinteresadamente con sus conocimientos para la realización del trabajo de titulación.

**Gilson**

## **AGRADECIMIENTO**

A las personas que laboran en la Subsecretaria de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER), por su contribución y aporte importante en el desempeño y facilidad para la realización del trabajo ahora presentado.

Al Grupo de Energías Alternativas y Ambiente GEAA de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por apoyarnos y ayudarnos en la iniciación y culminación de los objetivos planteados.

Al Dr. Celso Recalde, como tutor del trabajo de titulación, además del Biof. Mario Pérez, Biof. Estefanía Chávez por la colaboración y aporte durante el desarrollo del presente trabajo.

**Alex**

**Gilson**

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xx
SUMMARY .....	xxi
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b>	
1.1 Radioactividad Natural.....	9
1.2 Desintegraciones radioactivas.....	11
1.3 Interacción de la radiación ionizante con la materia.....	12
1.4 Radioactividad de una muestra.....	13
1.4.1 Actividad.....	13
1.4.2 Actividad Específica .....	14
1.4.3 Equilibrio radiactivo .....	15
1.5 Magnitudes dosimétricas y de protección radiológica.....	16
1.5.1 Exposición .....	16
1.5.2 Dosis absorbida .....	17
1.6 Detección de radiación ionizante en suelo.....	18
1.7 Radiación terrestre .....	19
1.8 Exposición terrestre.....	19
1.8.1 Exposición Externa.....	19
1.8.2 Exposición Interna.....	20
1.9 Radioactividad y Geología .....	21
1.10 Geología de la Provincia de Chimborazo.....	21
1.11 Hipótesis.....	24
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. MARCO METODOLÓGICO</b>	
2.1 Tipo y Diseño de la Investigación .....	25
2.2 Unidad de Análisis.....	25
2.3 Población en Estudio .....	25
2.4 Tamaño de la muestra .....	26
2.5 Características del Equipo y Materiales Utilizados .....	26
2.5.1 Espectrómetro Gamma Modelo GCDX-4018.....	26
2.5.1.1 Principio del funcionamiento de un equipo de espectrometría gamma, .....	27
2.5.1.2 Especificaciones técnicas del equipo de espectrometría gamma.....	27

<b>2.6</b>	<b>Ficha técnica .....</b>	<b>30</b>
<b>2.7</b>	<b>Recolección de datos.....</b>	<b>30</b>
<b>2.7.1</b>	<b><i>Determinación de puntos tentativos muestrales para la recolección .....</i></b>	<b>30</b>
<b>2.7.1.1</b>	<b><i>Elaboración del mapa de puntos muestrales tentativos.....</i></b>	<b>33</b>
<b>2.7.2</b>	<b><i>Identificación de radionucleidos presentes en el suelo.....</i></b>	<b>36</b>
<b>2.7.2.1</b>	<b><i>Recolección de muestras .....</i></b>	<b>36</b>
<b>2.7.2.2</b>	<b><i>Preparación de muestras .....</i></b>	<b>39</b>
<b>2.7.2.3</b>	<b><i>Ingreso y etiquetado de muestras.....</i></b>	<b>39</b>
<b>2.8</b>	<b>Análisis de Muestras .....</b>	<b>43</b>
<b>2.9</b>	<b>Análisis e interpretación de datos .....</b>	<b>44</b>
<b>CAPITULO III</b>		
<b>3.</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	
<b>3.1</b>	<b><i>Identificación de radionucleidos .....</i></b>	<b>53</b>
<b>3.2</b>	<b>Actividad específica y exposición externa .....</b>	<b>56</b>
<b>3.2.1</b>	<b><i>Actividad específica de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo.....</i></b>	<b>59</b>
<b>3.1.2.1</b>	<b><i>Actividad específica de los cantones de la Provincia de Chimborazo.....</i></b>	<b>74</b>
<b>3.2.3</b>	<b><i>Exposición externa de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo.....</i></b>	<b>84</b>
<b>3.2.3.1</b>	<b><i>Exposición externa de los cantones de la Provincia de Chimborazo .....</i></b>	<b>90</b>
<b>3.3</b>	<b>Comparación entre unidades geológicas de acuerdo a la dosis absorbida por emisores gamma.....</b>	<b>96</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Calculo estadístico de la prueba de Anderson-Darling.....</i></b>	<b>96</b>
<b>3.3.2</b>	<b><i>Prueba de Krsukal-Willis.....</i></b>	<b>97</b>
<b>3.4</b>	<b>Mapas de emisores gamma terrestres naturales .....</b>	<b>99</b>
<b>3.4.1</b>	<b><i>Mapa de actividad específica de <sup>226</sup>Ra en la Provincia de Chimborazo.....</i></b>	<b>100</b>
<b>3.4.2</b>	<b><i>Mapa de actividad específica de <sup>232</sup>Th en la Provincia de Chimborazo.....</i></b>	<b>101</b>
<b>3.4.3</b>	<b><i>Mapa de actividad específica de <sup>40</sup>K en la Provincia de Chimborazo.....</i></b>	<b>102</b>
<b>3.4.4</b>	<b><i>Mapa de Niveles de Radiación Natural Gamma Terrestre de la Provincia de Chimborazo .....</i></b>	<b>103</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>104</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>105</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Serie de $^{238}\text{U}$ .....	10
<b>Tabla 2-1:</b>	Serie de $^{232}\text{Th}$ .....	11
<b>Tabla 3-1:</b>	Factores de ponderación de la radiación y de los tejidos.....	18
<b>Tabla 4-1:</b>	Exposición pública de radiación natural.....	20
<b>Tabla 5-1:</b>	Concentración de actividad típica del $^{238}\text{U}$ , $^{232}\text{Th}$ y del $^{40}\text{K}$ en rocas comunes y estimación de la tasa de dosis absorbida in aire a 1m sobre el suelo.....	21
<b>Tabla 1-2:</b>	Especificaciones técnicas del espectrómetro gamma GCD- 40180X.....	28
<b>Tabla 2-2:</b>	Descripción de herramientas y materiales .....	29
<b>Tabla 3-2:</b>	Descripción de equipos y materiales de laboratorio .....	29
<b>Tabla 4-2:</b>	Descripción de programas .....	30
<b>Tabla 5-2:</b>	Leyenda geológica de la Provincia de Chimborazo .....	32
<b>Tabla 6-2:</b>	Distribución inicial de los puntos de acuerdo al área geológica.....	33
<b>Tabla 7-2:</b>	Distribución final de los puntos de acuerdo al área geológica .....	34
<b>Tabla 8-2:</b>	Distribución de puntos muestrales total para cada unidad geológica .....	37
<b>Tabla 9-2:</b>	Registro de los puntos de acuerdo al orden de análisis .....	40
<b>Tabla 10-2:</b>	Actividad específica de los radionucleidos presentes en la Provincia de Chimborazo. ....	47
<b>Tabla 1-3:</b>	Radionucleidos presentes en el suelo de la Provincia de Chimborazo .....	53
<b>Tabla 2-3:</b>	Actividad específica del $^{226}\text{Ra}$ , $^{232}\text{Th}$ y $^{40}\text{K}$ , y exposición externa debido a los radionucleidos presentes en el suelo de la Provincia de Chimborazo .....	56
<b>Tabla 3-3:</b>	Estadística Descriptiva de actividad específica del $^{226}\text{Ra}$ , $^{232}\text{Th}$ y $^{40}\text{K}$ , y las magnitudes de exposición externa de las muestras analizadas del suelo de la Provincia de Chimborazo. ....	59
<b>Tabla 4-3:</b>	Actividad específica de la geología Depósito de Abanico aluvial (QAa, Cantos Rodados Poliliticos).....	59
<b>Tabla 5-3:</b>	Actividad específica de la geología Facie Distal (QD, Piroclastos primarios).....	60
<b>Tabla 6-3:</b>	Actividad específica de la geología Facie volcanosedimentaria (Qv, Areniscas tobáceas).....	61
<b>Tabla 7-3:</b>	Actividad específica de la geología Fm. Macuchi (PECM, Volcanosedimentos) 61	
<b>Tabla 8-3:</b>	Actividad específica de la geología Fm. Yunguilla (FY, Lutitas y Calizas) .....	62
<b>Tabla 9-3:</b>	Actividad específica de la geología Grupo Angamarca (PCEAG, Limolitas y lutitas).....	62
<b>Tabla 10-3:</b>	Actividad específica de la geología Rocas Intrusivas 1 (DD, Diorita).....	63
<b>Tabla 11-3:</b>	Actividad específica de la geología Rocas Intrusivas 2 (GGd, Granodiorita).....	63

<b>Tabla 12-3:</b>	Actividad específica de la geología Rocas Intrusivas 3 (Gb, Grabo) .....	64
<b>Tabla 13-3:</b>	Actividad específica de la geología Sedimentos Apagua (EA, Lutitas y Grauvacas).....	64
<b>Tabla 14-3:</b>	Actividad específica de la geología Unidad Alao-Paute (JAa, Metalavas básicas) .....	65
<b>Tabla 15-3:</b>	Actividad específica de la geología Unidad Guasuntos (JGg, Pizarras y cuarcitas) .....	66
<b>Tabla 16-3:</b>	Actividad específica de la geología Unidad Maguazo (JAm, Metagrauvacas y metalavas).....	66
<b>Tabla 17-3:</b>	Actividad específica de la geología Unidad Pallatanga (KPa, Basaltos).....	67
<b>Tabla 18-3:</b>	Actividad específica de la geología Unidad Peltetec (JAp, Serpentinias y basaltos) .....	67
<b>Tabla 19-3:</b>	Actividad específica de la geología Volcánicos Pisayambo (MPLPY, Andesitas a riolitas).....	68
<b>Tabla 20-3:</b>	Actividad específica de la geología Volcánicos Saraguro (EOS, Andesíticas a riolíticas).....	69
<b>Tabla 21-3:</b>	Actividad específica de la geología Volcánicos Tarqui (MPTL, Depósitos piroclásticos) .....	69
<b>Tabla 22-3:</b>	Actividad específica de la geología Volcánicos Zumbagua (MZ, Piroclastos)...	70
<b>Tabla 23-3:</b>	Promedio de actividad específica de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo .....	71
<b>Tabla 24-3:</b>	Actividad específica determinada de los principales radionucleidos en las muestras del cantón Alausí.....	74
<b>Tabla 25-3:</b>	Actividad específica del cantón Chunchi .....	75
<b>Tabla 26-3:</b>	Actividad específica del cantón Chambo .....	75
<b>Tabla 27-3:</b>	Actividad específica del cantón Colta .....	76
<b>Tabla 28-3:</b>	Actividad específica del cantón Cumandá.....	77
<b>Tabla 29-3:</b>	Actividad específica del cantón Guamate .....	77
<b>Tabla 30-3:</b>	Actividad específica del cantón Guano .....	78
<b>Tabla 31-3:</b>	Actividad específica del cantón Pallatanga .....	79
<b>Tabla 32-3:</b>	Actividad específica del cantón Penipe .....	80
<b>Tabla 33-3:</b>	Actividad específica del cantón Riobamba .....	80
<b>Tabla 34-3:</b>	Promedio de actividad específica de los cantones de la provincia de Chimborazo .....	82
<b>Tabla 35-3:</b>	Exposición externa de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo.	84
<b>Tabla 36-3:</b>	Promedio de exposición externa de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo .....	87

<b>Tabla 37-3:</b>	Exposición externa de los cantones de la Provincia de Chimborazo.....	90
<b>Tabla 38-3:</b>	Promedio de exposición externa de los cantones de la Provincia de Chimborazo .....	93
<b>Tabla 39-3:</b>	Resumen de los datos de tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma correspondientes a las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo .....	96
<b>Tabla 40-3:</b>	Valores de la prueba de Anderson-Darling .....	97
<b>Tabla 41-3:</b>	Valores de la prueba Kruskal-Willis .....	97

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Interacción de la radiación gamma con la materia.....	13
<b>Figura 2-1:</b>	Decaimiento exponencial.....	14
<b>Figura 3-1:</b>	Equilibrio secular por el decaimiento del $^{226}\text{Ra}$ a $^{222}\text{Rn}$ .....	16
<b>Figura 1-2:</b>	Espectrómetro Gamma de GeHP modelo GCDX-40180.....	26
<b>Figura 2-2:</b>	Información de las energías de emisión cargadas al software NuclideMaster.....	44
<b>Figura 3-2:</b>	Curva de eficiencia del equipo.....	45
<b>Figura 4-2:</b>	Código de la Curva por interpolación lineal en Matlab. ....	46
<b>Figura 5-2:</b>	Código para la prueba de normalidad .....	51
<b>Figura 6-2:</b>	Código para la prueba diferencias de medias.....	52

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b>	Clasificación de la exposición terrestre.....	19
<b>Gráfico 2-1:</b>	Enfoque en la Provincia de Chimborazo obtenida del Mapa Geológico del Ecuador.....	23
<b>Gráfico 1-2:</b>	Mapa Geológico de la Provincia de Chimborazo.....	31
<b>Gráfico 2-2:</b>	Mapa tentativo de puntos muestrales .....	35
<b>Gráfico 3-2:</b>	Esquema de recolección de muestras .....	36
<b>Gráfico 4-2:</b>	Mapa de puntos muestrales .....	38
<b>Gráfico 5-2:</b>	Esquema preparación de las muestras de suelo .....	39
<b>Gráfico 6-2:</b>	Esquema de las muestras preparadas.....	39
<b>Gráfico 7-2:</b>	Curva por interpolación lineal en Matlab.....	46
<b>Gráfico 1-3:</b>	Concentración de $^{226}\text{Ra}$ de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo .....	72
<b>Gráfico 2-3:</b>	Concentraciones de $^{232}\text{Th}$ de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo .....	72
<b>Gráfico 3-3:</b>	Concentraciones de $^{40}\text{K}$ de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo .....	73
<b>Gráfico 4-3:</b>	Concentraciones de $^{226}\text{Ra}$ de los cantones de la Provincia de Chimborazo.....	82
<b>Gráfico 5-3:</b>	Concentraciones de $^{232}\text{Th}$ de los cantones de la Provincia de Chimborazo.....	83
<b>Gráfico 6-3:</b>	Concentraciones de $^{40}\text{K}$ de los cantones de la Provincia de Chimborazo .....	83
<b>Gráfico 7-3:</b>	Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo.....	88
<b>Gráfico 8-3:</b>	Tasa de dosis efectiva anual externa de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo .....	88
<b>Gráfico 9-3:</b>	Tasa de dosis efectiva anual interna de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo .....	89
<b>Gráfico 10-3:</b>	Tasa de dosis efectiva anual de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo .....	89
<b>Gráfico 11-3:</b>	Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma de los cantones de la Provincia de Chimborazo .....	94
<b>Gráfico 12-3:</b>	Tasa de dosis efectiva anual externa de los cantones de la Provincia de Chimborazo .....	94
<b>Gráfico 13-4:</b>	Tasa de dosis efectiva anual interna de los cantones de la Provincia de Chimborazo .....	95
<b>Gráfico 14-3:</b>	Tasa de dosis efectiva anual de los cantones de la Provincia de Chimborazo .	95

<b>Gráfico 15-3:</b> Comparación de unidades geológicas .....	98
---	----

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-1:</b>	Desintegración alfa .....	11
<b>Ecuación 2-1:</b>	Desintegración beta .....	12
<b>Ecuación 3-1:</b>	Desintegración gamma .....	12
<b>Ecuación 4-1:</b>	Actividad de elementos radiactivos .....	13
<b>Ecuación 5-1:</b>	Actividad de elementos radiactivos en función al tiempo .....	14
<b>Ecuación 6-1:</b>	Número de átomos emisores de radiación en función del tiempo .....	14
<b>Ecuación 7-1:</b>	Actividad específica.....	14
<b>Ecuación 8-1:</b>	Actividad del hijo en función de la actividad del padre.....	15
<b>Ecuación 9-1:</b>	Actividad del hijo en función de la actividad del padre.....	15
<b>Ecuación 10-1:</b>	Exposición .....	16
<b>Ecuación 11-1:</b>	Incremento de exposición en un intervalo de tiempo dt está definido.....	16
<b>Ecuación 12-1:</b>	Dosis Absorbida.....	17
<b>Ecuación 13-1:</b>	Incremento de la dosis absorbida en un intervalo de dt .....	17
<b>Ecuación 14-1:</b>	Dosis Equivalente .....	17
<b>Ecuación 15-1:</b>	Dosis Efectiva.....	18
<b>Ecuación 1-2:</b>	Factor de rectificación en la adjudicación de puntos de muestras .....	34
<b>Ecuación 2-2:</b>	Estimación de la actividad específica .....	45
<b>Ecuación 3-2:</b>	Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma.....	50
<b>Ecuación 4-2:</b>	Tasa de dosis efectiva anual externa.....	50
<b>Ecuación 5-2:</b>	Tasa de dosis efectiva anual interna .....	50

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A: Muestreo de suelo en la Provincia de Chimborazo
- ANEXO B: Ficha técnica
- ANEXO C: Secado de muestras
- ANEXO D: Preparado de muestras
- ANEXO E: Marinellis; Almacenado de muestras de suelo
- ANEXO F: Análisis de las muestras de suelo
- ANEXO G: Reportes obtenidos del análisis de muestras



## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$^{228}\text{Ac}$	Actinio 228
$A_e$	Actividad específica
$A_{e\text{Ra-226}}$	Actividad específica del radio 226
$A_{e\text{Th-232}}$	Actividad específica del torio 232
$A_{e\text{K-40}}$	Actividad específica del potasio 40
$^7\text{Be}$	Berilio 7
$^{10}\text{Be}$	Berilio 10
$^{214}\text{Bi}$	Bismuto 214
Bq	Bequerelio
Bq/kg	Bequerelio por kilogramo
Cm	Centímetro
$^{14}\text{C}$	Carbono catorce
D	Días
$D_\gamma$	Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma
DD	Rocas Intrusivas 1
EA	Sedimentos Apagua
EOS	Volcánicos Saraguro
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
$ED_\gamma$	Tasa de dosis efectiva anual gamma total
FWHM	Full Width at Half Maximum
Gb	Rocas Intrusivas 3
GGd	Rocas Intrusivas 2
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
H	Hora
$^3\text{H}$	Tritio
$H_{\text{externa}}$	Índice de riesgo externo
$H_{\text{interna}}$	Índice de riesgo interno
HPGe	Germanio Hiperpuro
JAa	Unidad Alao-Paute
JGg	Unidad Guasuntos
JAm	Unidad Maguazo
JAp	Unidad Peltetec
$^{40}\text{K}$	Potasio 40

KeV	Kilo electronvoltio
Kg	Kilogramo
km <sup>2</sup>	Kilómetro cuadrado
KPa	Unidad Pallatanga
KV	Kilovoltio
KY	Fm, Yunguilla
<sup>138</sup> La	Lantano 138
<sup>176</sup> Lu	Lutecio 176
M	Masa
MeV	Mega electronvoltio
Mm	Milímetro
MPLPY	Volcánicos Pisayambo
MPTL	Volcánicos Tarqui
m <sub>total</sub>	Masa de la muestra de suelo
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mSv/año	Mili sievert por año
mV	Mili voltios
MV	Mega voltio
MEER	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
MZ	Volcánicos Zumbagua
<sup>237</sup> Np	Neptunio doscientos treinta y siete
<sup>22</sup> N	Nitrógeno 22
<sup>24</sup> N	Nitrógeno 24
nGy/h	Nano Gray por hora
OMS	Organización Mundial de la Salud
°C	Grado centígrado
<sup>212</sup> Pb	Plomo 212
<sup>214</sup> Pb	Plomo 214
PCEAG	Grupo Angamarca
PECM	Fm, Macuchi
<sup>214</sup> Po	Polonio 214
<sup>218</sup> Po	Polonio 218
QAa	Depósito de Abanico aluvial
QD	Facie Distal
Qv	Facie volcanosedimentaria
<sup>226</sup> Ra	Radio 226

$Ra_{eq}$	Radio equivalente
$^{87}Rb$	Rubidio 87
RC	Radionucleidos Cosmogénicos
$^{220}Rn$	Radón 220 – Torón
$^{222}Rn$	Radón 222
RP	Radionucleidos Primordiales
SCAN	Subsecretaria de Control y Aplicaciones Nucleares
S	Segundos
Shp,	Shapefile
$^{147}Sm$	Samario 147
Sv	Sievert
$^{232}Th$	Torio 232
$^{235}U$	Uranio 235
$^{238}U$	Uranio 238
$\mu Sv$	Micro Sievert
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo la caracterización de radionucleidos de emisión gamma presentes en el suelo de la provincia de Chimborazo, se identificó los radionucleidos en las unidades geológicas de la superficie provincial, además se determinó las actividades específicas y exposición externa por radiación terrestre natural. La investigación abarcó la superficie provincial de 6569 km<sup>2</sup>, la provincia cuenta con 21 unidades geológicas, y una variación de altitud desde los 300 msnm hasta 6310 msnm. Se tomaron 120 muestras de suelo considerando la vialidad de la provincia de acuerdo a un muestreo aleatorio estratificado, además. La toma de muestras superficial se las realizó a 5 cm de profundidad del suelo. Se efectuó un pretratamiento a las muestras en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química, El análisis de las muestras es realizado mediante un espectrómetro Gamma de Ge Hiperpuro (HPGe) del laboratorio de la Subsecretaria de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER). Se encontró en el suelo tres radionucleidos principales <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th y <sup>40</sup>K y sus descendientes. Los resultados obtenidos a nivel provincial son: la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma ( $D_\gamma$ ) es  $33,55 \pm 0,9567$  nGy/h y la tasa de dosis efectiva anual gamma total ( $ED_\gamma$ ) es  $0,2716 \pm 7,7 \times 10^{-3}$  mSv/año con aproximadamente un 43,14% y 43,42% debajo del promedio mundial respectivamente, por lo que la Provincia de Chimborazo no sobrepasan el promedio mundial. Sin embargo, existen geologías que sobrepasan la concentración radioactiva los cuales se encuentran en las siguientes unidades geológicas: Unidad Guasuntos el <sup>40</sup>K sobrepasa en 6,550%, Unidad Peltetec (el <sup>232</sup>Th sobrepasa en 25,17% y el <sup>40</sup>K sobrepasa en 29,35%, lo cual se les atribuye la radioactividad a rocas pizarras y basaltos. Se recomienda realizar más estudios en estas zonas que presentan mayor actividad.

**PALABRAS CLAVE:** <BIOFÍSICA>, <RADIACIÓN TERRESTRE>, <RADIONUCLEIDOS>, <UNIDAD GEOLÓGICA>, <ACTIVIDAD ESPECÍFICA>, <ESPECTRÓMETRO GAMMA>, <TASA DE DOSIS ABSORBIDA>, <TASA DE DOSIS EFECTIVA>.

## SUMMARY

The research objective was the characterization of gamma-emitting radionuclides present in the ground of Chimborazo province, radionuclides were identified in the geologic units of the provincial surface. In addition, specific activities and external exposure by natural terrestrial radiation. This research covered the provincial surface of 6569 km<sup>2</sup>, Chimborazo province has 21 geologic units and a latitude variation from 300 MASL to 6310 MASL. A hundred twenty soil samples were taken considering the viability of the province through a stratified random sample. Surface sampling was conducted to a depth of 5 centimeters. A pre-treatment was carried out on the samples in the Unitary Operations Lab of the School of Chemical Engineering. The analysis of the samples is carried out using a gamma spectrum of hyperpure Ge (HPGe) of the Subsecretariat Lab of Control and nuclear applications (SCAN) of the Ministry of Electricity and Renewable Energy (MEER). Three main radionuclides were found in the ground <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, and <sup>40</sup>K and its descendants. The results at a provincial level are the absorbed dose rate due to gamma emitters (Dy) is  $33,55 \pm 0,9567$  nGy/h and the and the total annual gamma effective dose rate (EDy) is  $0,2716 \pm 7,7 \times 10^{-3}$  mSv/year with approximately 43,14% and 43,42% below the worldwide average respectively, thus the Chimborazo province does not exceed the global average level. However, there are points that exceed the average which are in the following geological units: Guasuntos unit (<sup>40</sup>K exceeds in 6,550%) and Peltetec unit (<sup>232</sup>Th exceeds in 25,17% and <sup>40</sup>K exceeds in 29,35%) this radioactivity is attributed to blackboards and basalt rocks. It is recommended carried out more studies in these zones which present the highest activity.

**KEYWORDS:** <BIOPHYSICS>, <TERRESTRIAL RADIATION>, <RADIONUCLIDES>, <GEOLOGIC UNIT>, <SPECIFIC ACTIVITY>, <GAMMA SPECTROMETER>, <ABSORBED DOSE RATE>, <EFFECTIVE DOSE RATE>.

## INTRODUCCIÓN

El planeta Tierra es la principal fuente natural de radiación con un medio ambiente expuesto a la radiación tanto por partículas de alta energía incidentes sobre la atmósfera y radionucleidos presentes en la corteza terrestre. La exposición por radiación natural, toma mayor importancia en los últimos años. Los radionucleidos naturales de origen terrestre también denominados como radionucleidos primordiales son los principales contribuyentes a la exposición a la población y están presentes en todos los medios ambientales, incluyendo el cuerpo humano (UNSCEAR, 2008, pp, 233–234).

Los radionúclidos primordiales tienen vida media comparable a la edad de la Tierra, por lo que estos radionucleidos y sus productos de decaimiento, podemos encontrarlos aun hoy en día en el planeta, contribuyendo una cantidad significativa de exposición a la población. Los niveles de exposición externa por radionucleidos están relacionados con los tipos de rocas según el origen del suelo y depende de las condiciones geológicas y geográficas (Dragovi *et al.*, 2006, pp, 611–613).

La estimación de principales radionucleidos primordiales  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{226}\text{Ra}$ , ayuda en el uso de métodos epidemiológicos para poder atribuir un aumento en la ocurrencia de efectos tardíos en la salud (ej. cáncer) en una población expuesta a dosis de radiación moderadas y si el incremento observado es lo suficientemente alto para superar cualquier incertidumbre (United Nations Environment Programme, 2016, p, 24).

Estudios realizados a nivel mundial muestran el gran interés por conocer acerca de este ámbito, en Hong Kong, reportaron que la tasa de dosis es mucho mayor que el promedio mundial y se le adjudicó un incremento de 13% debido al accidente en Chernobyl (Leung, Lau and Poon, 1990, pp, 255–259), a su vez en Brasil se tomaron 52 muestras de suelo, los cuales se analizaron por espectrometría gamma, donde se encontró una dosis media efectiva anual de 552  $\mu\text{Sv}$  (Malanca *et al.*, 1996, pp, 56–60), después en Chihuahua - México se tomaron muestras de 11 ciudades obteniendo que la tasa de dosis era normal en varias de estas ciudades, y la tasa de dosis efectiva era alta a ciudades cercanas a yacimientos uraníferos (Colmenero, Elena and Cabrera, 2003, pp, 2–8), mientras en Srpska se dio a conocer que la dosis efectiva del promedio anual es menor al promedio anual mundial (Janković, Todorović and Savanović, 2008, pp, 1448–1452).

En el presente trabajo de titulación, se realizó un estudio sobre los radionucleidos terrestres de emisión gamma en el suelo de la provincia de Chimborazo, mediante la técnica de Espectrometría Gamma. Las muestras fueron recogidas en la parte superficial del suelo durante el año 2017.

Los objetivos que se procuró alcanzar con este trabajo son:

- Determinar los puntos de muestreo mediante la digitalización del Mapa Geológico de la provincia de Chimborazo basándose en la información del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM).
- Identificar los principales radionucleidos presentes en el suelo de la Provincia de Chimborazo.
- Estimar la actividad específica y exposición externa por radiación terrestre natural en la Provincia de Chimborazo.
- Elaborar un mapa de los niveles de radiación terrestre en la provincia de Chimborazo.

El tema del trabajo de titulación abordó de la siguiente manera:

En el primer capítulo, contiene el marco referencial donde se indicó temas acerca de: radioactividad natural, exposición a fuentes naturales de radiación, magnitudes físicas que evalúan el decaimiento radiactivo, para posteriormente centrarse en las magnitudes que evalúan el riesgo de la radiación. Además se incorporó información acerca de la provincia de Chimborazo y de la técnica de Espectrometría gamma.

A continuación en el segundo capítulo, se realizó el marco metodológico en el cual se detalla el tipo y diseño de investigación del trabajo de titulación, así como: la unidad de análisis, la población en estudio y el tamaño de la muestra. También se añadió una descripción técnica de las características del equipo de Espectrometría Gamma y de los materiales utilizados. En este capítulo además se presentó la obtención de datos en el que se enfatizó en los detalles de la recolección, clasificación y procesamiento de los datos.

Finalmente el tercer capítulo se identificó los radionucleidos encontrados en el suelo superficial de la provincia, además se determinó la actividad específica para el  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$  y  $K^{40}$  e índices de riesgo. Asimismo, un análisis con estadística descriptiva que se presentó en tablas y diagramas con relación a las unidades geológicas de la provincia de Chimborazo. También se efectuó una comparación de varianzas y en último lugar se mostró un mapa en el que se evidencia los niveles de radiación terrestre en la provincia de Chimborazo.

## ANTECEDENTES

Desde el descubrimiento de la radioactividad en 1896 por Henry Becquerel, se ha realizado estudios que involucran la identificación y la determinación del tipo de radiación emitida por la naturaleza y posteriormente sus efectos a la salud. La necesidad en la estimación de los efectos de la radiación, se crearon organismos internacionales de control, que juegan un rol importante en el análisis de las consecuencias de la exposición a las radiaciones en la vida humana y medio ambiente.

El UNSCEAR (United National Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation), establecido el 3 de diciembre de 1955, está destinada a realizar evaluaciones generales de fuentes radiactivas, efectos y riesgos provocados por dichas radiaciones a nivel mundial. Por otra parte la OMS (Organización Mundial de la Salud) manifestó que para las dosis de radiación baja o la exposición durante un periodo prolongado (baja tasa de dosis), los efectos son probabilísticos como el cáncer, que pueden tardar años, o incluso decenios, en aparecer. Los niños y adolescentes son más radiosensibles por lo que presentan un mayor riesgo (OMS, 2016).

El estudio de la estimación de la radiación terrestre natural ha sido de gran interés en los últimos años, lo que ha permitido que se cuente con gran número de artículos científicos publicados entre ellos:

Una de las primeras investigaciones realizadas, que ayudó a la estimación de la radiación terrestre natural con un método absoluto y sensible para determinar la concentración de uranio, fue desarrollado mediante un espectrómetro de fotones de baja energía de Germanio Hiperpuro (LEPS) y un sistema de análisis de datos basado en computadora. El método pudo determinar hasta 5 ppm de concentración de uranio en muestras naturales tales como roca, suelos, vegetación, etc., (H.M, Lau, 1982, pp, 561–564).

En Hong Kong (China 1990), se determinó la tasa de dosis gamma, Se tomaron 37 muestras de suelo en representación a la mayoría de tipos de suelo. El análisis se realizó mediante un detector coaxial de germanio Hiperpuro acoplado a un analizador multicanal. Se obtuvo que la tasa de dosis gamma promedio se encuentra en 0,67 mGy al año. La tasa de dosis calculada en este trabajo es 80% más alto que el promedio mundial anual (Leung, Lau and Poon, 1990, pp, 280–282).

Después en Rio Grande do Norte (Brasil 1996), se analizó la distribución de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , and  $^{40}\text{K}$ , para lo cual se tomaron 52 muestras de suelo junto con dos muestras de roca y dos muestras de material uranífero. Cada muestra se obtuvo de cinco submuestras, recogidos a una profundidad



de 20 cm en áreas con litología homogénea y sin cobertura vegetal. Respecto a la metodología, todas estas muestras (2 kg), fueron mezcladas y almacenadas en bolsas de plástico, fueron tamizadas (a 2 mm), remezcladas, pesadas y, después secadas por 24 horas en un horno de circulación de aire a 100 ° C. Se almacenó en un contenedor de polietileno de 100 cm<sup>3</sup> por un período de equilibrio de 40 días. Los recipientes se sellaron, de modo que <sup>222</sup>Rn y <sup>220</sup>Rn no puedan escapar, y enviados a Italia para el análisis por espectrometría de rayos  $\gamma$ . Los valores más altos se encontraban en las muestras de roca, y la dosis media efectiva anual es de 0,55 mSv estimado para 51 sitios en Rio Grande do Norte (Malanca *et al.*, 1996, pp, 56–62).

En el siglo XX en Estambul (Turquía en el 2000), se determinó la tasa de dosis gamma, mediante 105 muestras de suelo correspondientes a 35 zonas a una profundidad de 0 - 10 cm, en campos no cultivados. Cada muestra fue: secada, pulverizada, homogeneizada, tamizada y almacenada en Marinellis (capacidad de 1000 ml) para el análisis de radionucleidos. Las muestras de suelo se pesaron, se sellaron y se almacenaron durante 30 días para permitir el equilibrio secular entre el torio y el radio y sus productos de descomposición. Se encontró que las concentraciones de actividad promedio de <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th y <sup>40</sup>K eran 21 Bq/kg, 37 Bq/kg y 342 Bq/kg, respectivamente. Utilizando los datos obtenidos en este estudio, se encontró que el equivalente de dosis anual medio equivalente para una persona que vivía en Estambul era de aproximadamente 0,08 mSv, (Karahan and Bayulken, 2000, pp, 215–218).

En el 2003, en Chihuahua (México), se determinó la radioactividad natural en suelos, para lo que se tomaron muestras de suelo de 11 ciudades del estado de Chihuahua, así como duplicados para Control de Calidad. El muestreo se realizó mediante una estructura con ángulo de acero de 50X50X5 cm, luego se le quitan piedras grandes y otros objetos que no sean suelo, las muestras son llevadas al laboratorio, ahí se pasa cada muestra por una malla de 2 mm y se empaca en Marinellis de 1 litro, Se deja reposar 4 semanas para el equilibrio radiactivo de la serie del <sup>238</sup>U, Se encontraron valores de actividad específica altos de algunos radionúclidos, en las ciudades cercanas a yacimientos uraníferos como Aldama y Chihuahua. Para las ciudades que no se encuentran cercanas a yacimientos, como Ciudad Juárez y Ojinaga, los valores encontrados fueron normales, (Colmenero, Elena and Cabrera, 2003, pp, 2–8).

En el 2008, en Srpska (Bosnia y Herzegovina), para conocer la dosis efectiva anual por emisión gamma terrestre, las muestras se tomaron con una profundidad de 10 a 15cm de profundidad, después se removió las piedras y la vegetación. Las muestras, se secaron a 105 °C, se tamizaron, se colocaron en Marinellis y dejaron durante cuatro semanas para llegar al equilibrio. La dosis efectiva anual calculada con valor promedio  $8,48 \times 10^{-5}$  Sv es menor al promedio mundial. Todos los valores obtenidos para la actividad de radio equivalente son  $<370$  Bq kg<sup>-1</sup>, que son aceptables

para un uso seguro, Los valores calculados del índice de peligro externo de este estudio oscila entre 0,05 y 0,70 lo que significa que el riesgo es insignificante para la población que vive en el área investigada (Janković, Todorović and Savanović, 2008, pp, 1448–1452).

En Botswana en el 2008, Se tomaron muestras de suelo de 20 estaciones de muestreo. Se seleccionaron superficies niveladas inalteradas situadas lo suficientemente lejos de carreteras y edificios públicos. Se marcó aproximadamente 1m<sup>2</sup> de área y se recolectó la capa superior del suelo (0-5 cm de profundidad) después de eliminar los materiales de plantas, como: las hojas, las raíces, etc., Las mediciones se realizaron por espectrometría gamma empleando un detector de germanio Hiperpuro de eficiencia relativa del 41%. Se encontró que la actividad de <sup>226</sup>Ra variaba en el rango 6,1-97,4 Bq/kg con un valor medio de 34,8 Bq/kg, <sup>232</sup>Th en 7,4-110,0 Bq/kg con un valor medio de 41,8 Bq/kg y que de 40 K entre 33,5 y 1085,7 Bq/kg con un valor medio de 432,7 Bq/kg en suelos superficiales. El valor medio de la dosis efectiva, debido a las series <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th y <sup>40</sup>K en el suelo, fue de 0,07 mSv (Murty and Karunakara, 2008, pp, 1541–1544).

En Ramsar Mahallat (Irán 2017), se realizó una evaluación nacional de radionucleidos en suelo y exposición de radiación terrestre. Para este propósito, se tomaron 979 muestras de suelo de 31 provincias. Las concentraciones de actividad de <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra y <sup>232</sup>Th fueron medidas por HPGe detector. Las concentraciones de actividad promedio para Irán fueron de 457,7 Bq / kg para <sup>40</sup>K, 24,3 Bq / kg para <sup>226</sup>Ra y 25,8 Bq / kg para <sup>232</sup>Th. Los resultados se compararon con encuestas regionales o provinciales anteriores. Los la dosis efectiva anual promedio al aire libre y en interiores ponderada por la población debido a la exposición externa a las fuentes terrestres de radiación son 0,06 mSv y 0,33 mSv, respectivamente. Se demostró que hay una correlación significativa entre las concentraciones de actividad de <sup>232</sup>Th y <sup>40</sup>K en el suelo (Kardan et al, 2017, p, 168). La metodología del último trabajo fue considerada como guía en el trabajo de titulación.

## **IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

La falta de información y conocimiento de la academia acerca de la radiación natural de origen terrestre, de la cual los principales contribuyentes a la exposición son los radionucleidos primordiales <sup>232</sup>Th, <sup>238</sup>U, <sup>40</sup>K, a los que se les atribuye el incremento de la dosis de acuerdo a la geología y geografía de un lugar en estudio. Este tipo de información no existe en la provincia de Chimborazo para realizar estudios epidemiológicos en la salud de las personas (Tzortzis *et al.*, 2003, p, 222). No se conoce el aporte de la radiación terrestre en la provincia considerando que el valor estimado mundial a la exposición anual promedio por fuentes naturales de radiación es 2,4 mSv (UNSCEAR, 2008, p, 322).

Países como Brasil, China, India, Egipto, Francia, muestran áreas de alto radiación natural terrestre, debido a: altos niveles de  $\text{Th}^{232}$ ,  $\text{Ra}^{226}$  o suelos volcánicos con arena, rocas graníticas y esquistos asociadas con minerales de uranio en el suelo (UNSCEAR, 2000, p. 92). En el país y de manera más específica en la región sierra constituida por una cadena de volcanes no se ha realizado este tipo de trabajos, lo que implica una necesidad latente de datos de un área piloto acerca de la concentración de radionucleidos primordiales.

La IAEA en 1996 manifiesta que los intervalos de pequeñas dosis deben definirse con mayor precisión y diferenciación. La concepción lineal sin umbral es de carácter ético (IAEA, 1997, p. 141). La falta de datos que evidencien la dosis que podría recibir la población de acuerdo al suelo por su origen geológico y condiciones geográficas, evidencia la necesidad de cartografía que acredite dichos niveles de dosis de radiación. Datos de este tipo ya ha sido generada por una gran cantidad de países a nivel mundial y en nuestro país no se presenta este tipo de información.

### **Formulación del Problema**

¿Cuáles son los niveles de radiación terrestre en la provincia de Chimborazo?

### **JUSTIFICACIÓN**

La radioactividad natural terrestre es originada principalmente por los radionucleidos primordiales y estos están presentes en la corteza del planeta Tierra desde su formación y se encuentran distribuidos de manera no uniforme, lo cual involucra que la radioactividad natural terrestre varíe de un lugar a otro.

El conocimiento acerca de la exposición de la población, de un determinado lugar por radioactividad natural terrestre, es de gran importancia pues la variación en la concentración de los radionucleidos primordiales como  $\text{U}^{238}$ ,  $\text{Th}^{232}$ ,  $\text{K}^{40}$  aporta de manera significativa a la dosis. El UNSCEAR en 1994 dio a conocer que las dosis bajas (menores a 100 mSv) de radiación ionizante pueden producir daños graves en la salud (UNSCEAR, 1994, pp. 25–30).

El Ecuador no cuenta con instalaciones nucleares que puedan generar radionucleidos artificiales a depositarse en el suelo, por lo tanto la radiación terrestre de origen natural es una de los principales contribuyentes a una mayor exposición externa y depende de las condiciones geológicas y geográficas del suelo.

En la actualidad el país no cuenta con trabajos que incorporen estudios radiométricos del suelo de una provincia. La provincia de Chimborazo en particular forma parte del Frente Volcánico que se emplaza sobre la Cordillera Occidental del Ecuador, por lo cual existen episodios eruptivos producidos por la actividad volcánica en la historia en particular del Periodo Holoceno (Santiago et al., 2017, p, 7). Lo que ha generado una diversidad geológica con procesos físicos activos (deslizamientos, volcanismo, erosión, meteorización), complejos y variados.

La provincia de Chimborazo cuenta con 21 unidades geológicas con una gran variedad de componentes (rocas piroclásticas, limolitas, lutitas, pizarras, cuarcitas, diorita, granodiorita, gabro, entre otros) y una variedad de altitud (entre 300 msnm y 6310 msnm), cuyas características geológicas y geográficas son significantes para realizar el presente trabajo.

Para la realización de los objetivos, se cuenta con el apoyo del Centro de Investigación de Energías Alternativas y Ambiente CEEA- ESPOCH y con la colaboración mediante convenio con la Subsecretaria de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), además de la instrumentación necesaria y el recurso humano capacitado, la provincia de Chimborazo cuenta con una vialidad en condiciones regulares, lo que permitirá acceder a los puntos de muestreo.

“En el análisis de las muestras de suelo, se limitará en identificar los radionucleidos primordiales y sus descendientes de emisión gamma, ya que contribuyen la mayor parte de exposición natural terrestre, para lo cual se utilizará un espectrómetro gamma de alta resolución de GeHp modelo GCD-40180X para identificar los radionucleidos primordiales”.

El presente trabajo de titulación, beneficia a la población de la provincia de Chimborazo, mediante el aporte importante de información base, que genera relevancia social, ya que permitirá contribuir a la cuantificación de las dosis recibidas, las cuales están limitadas por estándares internacionales satisfaciendo el objetivo 3 del Plan Nacional del Buen Vivir: “MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA DE LA POBLACIÓN”, artículo 2: “AMPLIAR LOS SERVICIOS DE PREVENCIÓN Y PROMOCIÓN DE LA SALUD PARA MEJORAR LAS CONDICIONES Y LOS HÁBITOS DE LA VIDA DE LAS PERSONAS”.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar los radionucleidos presentes en el suelo de la provincia de Chimborazo.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar los puntos de muestreo mediante la digitalización del Mapa Geológico de la provincia de Chimborazo basándose en la información del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM).
- Identificar los principales radionucleidos presentes en el suelo de la Provincia de Chimborazo.
- Estimar la actividad específica y exposición externa por radiación terrestre natural en la Provincia de Chimborazo.
- Elaborar un mapa de los niveles de radiación terrestre en la provincia de Chimborazo.

## CAPÍTULO I

### 1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1 Radioactividad Natural

La radioactividad natural, es generada por la presencia de radionucleidos (también llamados radionúclidos, radioisótopos) en la naturaleza; los radionucleidos cosmogénicos, producidos por procesos de reorganización nuclear que involucran las partículas cósmicas, la espalación, es el modo más común de producción en la atmósfera, donde un núcleo se divide en varios núcleos más ligeros, protones, neutrones y muones después de la colisión con una partícula de alta energía, por otro lado, la captura lenta de neutrones y muones son mucho más comunes en la superficie de la Tierra. Los productos de reacción  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{22}\text{N}$ , entre otros, son liberados en la atmósfera y luego removidos en la corteza terrestre por deposición húmeda o seca, y decaen naturalmente (Rodríguez Carpio, 2013, pp. 21-30). Por otra parte  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{138}\text{La}$ ,  $^{147}\text{Sm}$  y  $^{176}\text{Lu}$  presentes en la naturaleza no pertenecen a ninguna serie radiactiva, estos decaen directamente a un nucleído estable y sus vidas medias están entre  $10^9$  y  $10^{16}$  años, características por la cual en la actualidad existen abundancias relativamente bajas, son de poca importancia en términos de concentración ambiental, a excepción de  $^{87}\text{Rb}$  y  $^{40}\text{K}$  que son trascendentales por que contribuyen en abundancia en la naturaleza y en los procesos biológicos (A. Atwood, 2010, pp. 1-6).

La gran mayoría de la radioactividad natural detectada en la Tierra y la que es de interés en el presente estudio se debe a los radionucleidos pertenecientes a las series de desintegración que tienen orígenes primordiales y están presentes en diversas formaciones geológicas. La serie del Uranio ( $^{238}\text{U}$ ), Torio ( $^{232}\text{Th}$ ) son las principales y se caracterizan por poseer un radioisótopo gaseoso (radón), terminan con un isotopo estable (plomo), su decaimiento ocurre por una serie de emisiones alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ) acompañado frecuentemente de emisiones de rayos gamma ( $\gamma$ ) (ver Tabla 1-1). Los radionucleidos  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{22}\text{N}$ ,  $^{138}\text{La}$ ,  $^{147}\text{Sm}$  y  $^{176}\text{Lu}$  incluyendo las series del  $^{235}\text{U}$  y  $^{237}\text{Np}$  existen en la naturaleza, sin embargo, sus niveles trazas son relativamente bajo. Mientras, el  $^{40}\text{K}$  y la serie de  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$  con sus productos de decaimiento son los más importantes por causar el incremento a la dosis de radiación externa e interna en la población mundial debido a su abundancia significativa en la corteza terrestre, (A. Atwood, 2010, pp. 1-6).

La distribución de la radioactividad natural en la Tierra es afectada por radionucleidos artificiales  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ , entre otros, encontrados en el entorno circundante por contaminación del hombre,

además, por acciones como procesos de transformación de recursos naturales que contienen materiales radiactivos naturales (NORM) que generan subproductos mercantilizados y distribuidos en el medio ambiente. Los materiales radiactivos de origen natural tecnológicamente mejorados (TENORM) son producidos por actividades humanas, la producción de fertilizantes y el uso de combustibles fósiles está modificando constantemente la distribución de radionucleidos en la Tierra. Las ocurrencias naturales, incluidos los eventos geológicos y sísmicos y los incendios forestales, también tienen impacto en la distribución de la radioactividad natural (A. Atwood, 2010, pp. 1-6).

**Tabla 1-1:** Serie de  $^{238}\text{U}$

Núcleo	Vida media	Principales energías de radiación (MeV) e intensidades*		
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
$^{238}\text{U}$	$4,5 \times 10^9$ años	4,15 (23%) 4,19 (77%)	-	-
$^{234}\text{Th}$	24 días	-	~0,103 (19%) 0,191 (81%)	0,063 (3,5%) 0,093 (4%)
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	1,2 min	-	2,29 (98%)	0,705 (0,30%) 1,001 (0,60%)
$^{234}\text{U}$	$2,5 \times 10^5$ años	4,72 (28%) 4,77 (72%)	-	0,53 (0,2%)
$^{230}\text{Th}$	$8,0 \times 10^4$ años	4,62 (24%) 4,68 (76%)	-	0,068 (0,6%) 0,142 (0,07%)
$^{226}\text{Ra}$	1,622 años	4,60 (5,5%) 4,78 (94,5%)	-	0,186 (4%)
$^{222}\text{Rn}$	3,8 días	5,49 (~100%)		0,510 (0,07%)
$^{218}\text{Po}$	3,05 min	6,11 (100%)	0,33 (100%)	
$^{214}\text{Pb}$	26,8 min	-	1,03 (6%)	0,295 (19%) 0,352 (30%)
$^{218}\text{At}$	1,5-2,0 s	6,65 (6%) 6,70 (94%)	0,67 (94%)	-
$^{214}\text{Bi}$	19,7 min	5,61 (100%)	3,26 (100%)	0,609 (47%) 1,120 (17%) 1,764 (17%)
$^{214}\text{Po}$	$1,64 \times 10^{-4}$ s	7,83 (100%)		0,799 (0,014)
$^{210}\text{Tl}$	1,3 min	-	2,3 (100%)	0,296 (80%) 0,795 (100%) 1,31 (21%)
$^{210}\text{Pb}$	22 años	3,7 ( $1,8 \times 10^{-8}\%$ )	0,017 (85%) 0,064 (15%)	0,047 (4%)
$^{210}\text{Bi}$	5,0 días	4,93 (60%) 4,89 (34%) 4,59 (5%)	1,155 (100%)	-
$^{210}\text{Po}$	138 días	5,30 (100%)	-	0,803 (0,0011%)
$^{206}\text{Tl}$	4,2 min	-	1,520 (100%)	-
$^{206}\text{Pb}$	Estable	-	-	-

Fuente: (IAEA, 2003, pp. 8-10)

**Tabla 2-1:** Serie de  $^{232}\text{Th}$

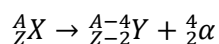
Núcleo	Vida media	Principales energías de radiación (MeV) e intensidades*		
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
$^{232}\text{Th}$	$1,4 \times 10^{10}$ años	3,95 (24%) 4,01 (76%)	-	-
$^{228}\text{Ra}$	6,7 años	-	0,055 (100%)	-
$^{228}\text{Ac}$	6,13 h	-	2,11 (100%)	0,34 (15%) 0,908 (25%) 0,96 (20%)
$^{228}\text{Th}$	1,19 años	5,34 (28%) 5,42 (71%)	-	0,084 (1,6%) 0,214 (0,3%)
$^{224}\text{Ra}$	3,64 días	5,45 (5,5%) 5,68 (94,5%)	-	0,241 (3,7%)
$^{220}\text{Rn}$	55 s	6,30 (~100%)	-	0,55 (0,07%)
$^{216}\text{Po}$	0,16 s	6,78 (100%)	-	-
$^{212}\text{Pb}$	10,6 h	-	0,580	0,239 (47%) 0,300 (3,2%)
$^{212}\text{Bi}$	60,5 min	6,05 (70%) 6,09 (30%)	2,25 (100%)	0,040 (2%) 0,727 (7%) 1,620 (1,8%)
$^{212}\text{Po}$	$3,04 \times 10^{-7}$ s	8,78 (100%)	-	-
$^{208}\text{Tl}$	3,1 min	-	1,80 (100%)	0,511 (23%) 0,583 (86%) 0,860 (12%) 2,614 (100%)
$^{208}\text{Pb}$	Estable	-	-	-

Fuente: (IAEA, 2003, pp. 8-10)

## 1.2 Desintegraciones radioactivas

La desintegración alfa ocurre cuando un núcleo inestable emite partículas compuestas de 2 protones y 2 neutrones (ver ecuación 1-1), después de recorrer un corto trayecto fuera del núcleo, adquieren 2 electrones y se convierte en un átomo neutro de  $^4\text{He}$ .

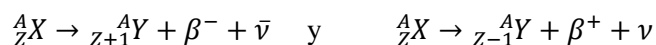
### Ecuación 1-1: Desintegración alfa



La desintegración beta se genera en núcleos que tiene un exceso de neutrones y tienden a emitir electrones ( $\beta^-$ ), dejando así el núcleo con un neutrón menos y un protón más, es decir, el número atómico Z se incrementa en 1. Por el contrario, los núcleos con exceso de protones generalmente emiten un positrón ( $\beta^+$ ) reduciendo Z en 1 (ver ecuación 2-1), además, un núcleo rico en protones también puede reducir su carga nuclear en uno mediante la absorción de un electrón atómico (**captura de electrones**). La liberación de neutrinos ( $\nu$ ) y antineutrinos ( $\bar{\nu}$ ), están asociados con la emisión beta (Das & Ferbel, 2003, p. 91).

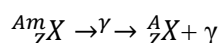


### **Ecuación 2-1:** Desintegración beta



La desintegración de partículas alfa y beta deja muchos tipos de núcleos en un estado excitado y metaestable, la emisión de rayos gamma y rayos X se produce en estos núcleos excitados para alcanzar el estado fundamental, donde el núcleo no cambia su identidad (ver ecuación 3-1). Los rayos gamma son fotones con energía a partir de 10 KeV a varios MeV, se propagan a la misma velocidad de la luz, su penetración o alcance es mucho mayor que las partículas alfa y beta. Por tal motivo los rayos gamma y rayos X emitidos por algunos radionucleidos mencionados en la tabla 1-1 y 1-2 son detectados por la técnica de espectrometría gamma (A. Atwood, 2010, pp. 1-6).

### **Ecuación 3-1:** Desintegración gamma



En los tres tipos de desintegración radiactiva, tanto las partículas alfa, beta y rayos gamma emitidos del núcleo, se los considera como radiación ionizante. Esto se debe a que esta radiación causa la separación de electrones en átomos y moléculas.

### **1.3 Interacción de la radiación ionizante con la materia**

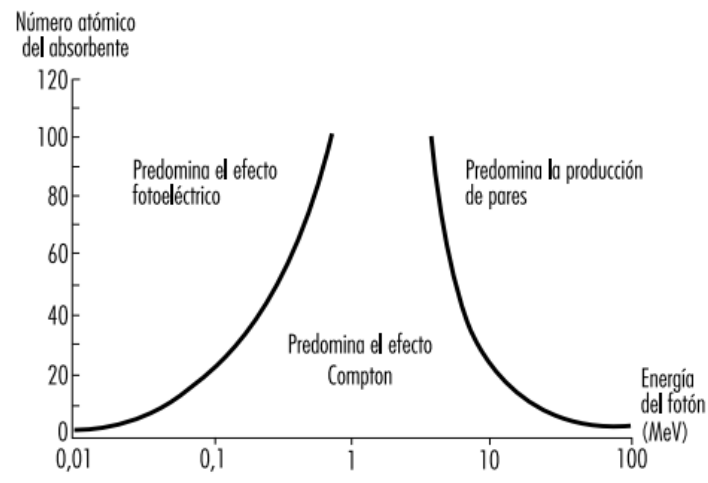
La radiación alfa y beta interactúa con la materia mediante la fuerza de Coulomb, repele o atrae electrones del átomo y moléculas en función de sus cargas, y se conoce denomina radiación ionizante directa. La radiación gamma (radiación ionizante indirecta) interactúa con los átomos de la materia mediante tres procesos diferentes (Jeanne , 1998, p. 48):

Efecto fotoeléctrico, es el proceso de absorción predominante a bajas energías, toda la energía de un fotón gamma se absorbe al interactuar con un electrón de un átomo.

La dispersión Compton, proceso común a energías moderadas donde colisiona un fotón incidente con un electrón. El fotón incidente cede parte de su energía al electrón y es disperso a un ángulo diferente a la dirección original, mientras el electrón liberado parte con el resto de la energía menos la energía de enlace (Jeanne , 1998, p. 48).

La producción de pares, sucede cuando un fotón incidente con energía mayor que 1,022 MeV desaparece por completo y da como resultado la producción de un par electrón-positrón en el

campo electrostático de un núcleo. El par electrón-positrón energético se comporta como radiación ionizante directa. Un positrón a medida que pierde energía cinética puede aniquilarse entre sí con un electrón cercano y emitir dos fotones de 0,511 MeV por lo general a 180 grados uno de otro (Jeanne , 1998, p. 48).



**Figura 1-1:** Interacción de la radiación gamma con la materia

Fuente: (Jeanne , 1998, p. 48)

## 1.4 Radioactividad de una muestra

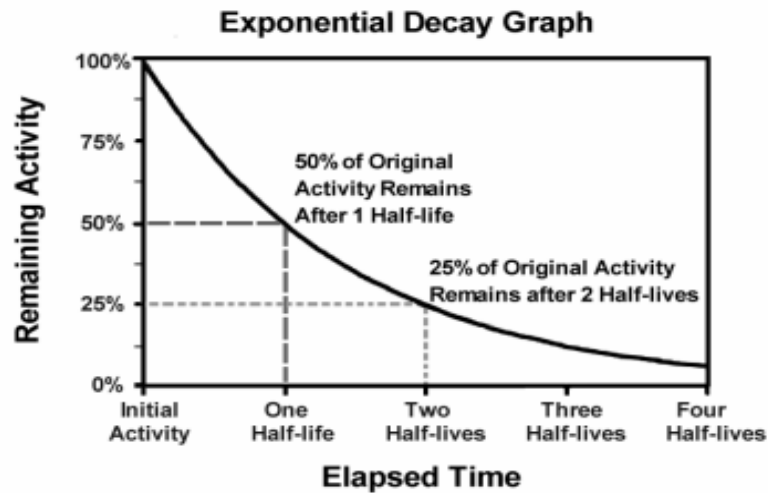
### 1.4.1 Actividad

La radioactividad es medida en unidades de actividad, es el número de decaimientos o desintegraciones atómicas que tienen lugar cada segundo (ver ecuación 4-1). La tradicional unidad de medida es Curie abreviado (Ci), es igual a  $3,7 \times 10^{10}$  desintegraciones por segundo. En la actualidad el becquerelio (Bq) del Sistema Internacional es la unidad utilizada para denotar la actividad, que es igual a una desintegración por segundo. Matemáticamente, la actividad es igual al número de átomos inestables (también se conocen como átomos radiactivos o radionucleidos) multiplicado por la probabilidad de decaimiento (Safety, 2006, pp. 8-9).

**Ecuación 4-1:** Actividad de elementos radiactivos

$$A = N\lambda$$

Si la actividad de un radionucleido particular es medida en función del tiempo, la desintegración radiactiva es exponencial (ver figura 2-1).



**Figura 2-1:** Decaimiento exponencial

Fuente: (Safety, 2006, pp. 8-9)

**Ecuación 5-1:** Actividad de elementos radiactivos en función al tiempo

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

$A(t)$  es la actividad en el tiempo y  $A_0$  es la actividad inicial. Dado que la actividad es proporcional al número de átomos radiactivos, la ecuación puede ser escrita:

**Ecuación 6-1:** Número de átomos emisores de radiación en función del tiempo

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$N(t)$  es el número de átomos radiactivos en un tiempo  $t$ , y  $N_0$  es el número de átomos radiactivos iniciales.

#### 1.4.2 Actividad Específica

La actividad específica se define como la actividad de un radionucleido por su unidad de masa (Bq/kg) del material que lo contiene (ver ecuación 7.1):

**Ecuación 7-1:** Actividad específica

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

### 1.4.3 Equilibrio radiactivo

Al existir dos o más radionucleidos resultantes (hijo) que componen una serie radiactiva (padre) y cuando la vida media del hijo (T2) es más corto que la del padre (T1), sucede un fenómeno importante para caracterizar el contenido radiactivo en una muestra denominado equilibrio radiactivo y se cumple cuando la relación entre sus actividades (A2/A1) es aproximadamente constante (ver ecuación 8-1)(Rodríguez Carpio, 2013, pp. 21-30).

**Ecuación 8-1:** Actividad del hijo en función de la actividad del padre

$$A_2 = A_1 \frac{T_1}{T_1 - T_2} (1 - e^{-0,693 \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} t}) \text{ y } A_2 = A_1 \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1)t})$$

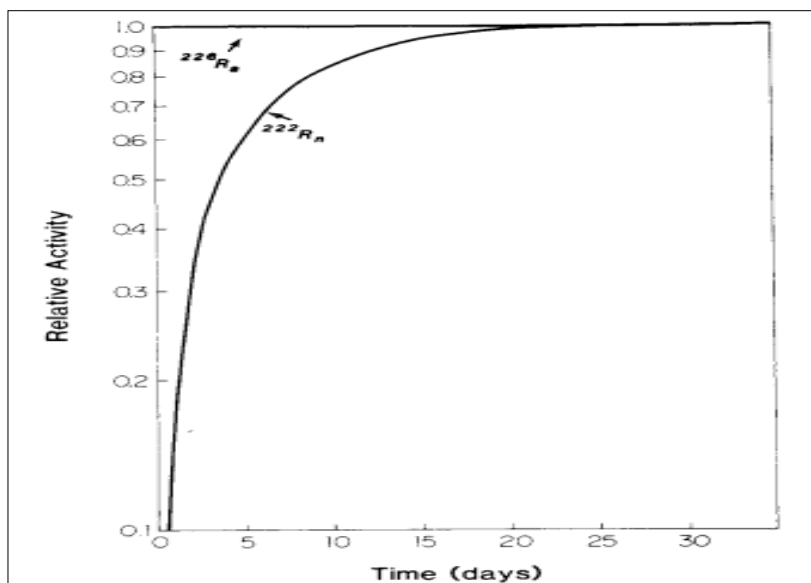
Donde,

$A_1$  y  $A_2$  pertenecen a la actividad del padre e hijo respectivamente, así, como  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  son las constantes de decaimiento. Cuando el T1 es mucho más grande que T2 se cumple ( $\lambda_1 \ll \lambda_2$ ) el **equilibrio secular** (ver ecuación 9-1):

**Ecuación 9-1:** Actividad del hijo en función de la actividad del padre

$$A_2 = A_1 (1 - e^{-(\lambda_2)t})$$

En la serie del  $^{232}\text{Th}$  rara vez se encuentra fuera del equilibrio en la naturaleza, sin embargo, la serie del  $^{238}\text{U}$  es común el desequilibrio y puede suceder en varias posiciones en la serie, una de ellas es el  $^{222}\text{Rn}$ , al ser un gas es móvil y puede escapar de los suelos y las rocas a la atmósfera, provoca una seria fuente de error para la estimación de la concentración de  $^{238}\text{U}$  en espectrometría gamma. El  $^{222}\text{Rn}$  al ser hijo directo del  $^{226}\text{Ra}$  a través de una emisión alfa, establece un equilibrio secular, el cual se alcanza a los 30 días (equilibrio 99,56%), en cambio, los hijos del  $^{222}\text{Rn}$  de vidas medias cortas se aproximan al equilibrio rápidamente con su padre (Rodríguez Carpio, 2013, pp. 21-30), (IAEA, 2003, pp. 8-10).



**Figura 3-1:** Equilibrio secular por el decaimiento del  $^{226}\text{Ra}$  a  $^{222}\text{Rn}$

Fuente: (Khan , 2003, p. 19)

### 1.5 Magnitudes dosimétricas y de protección radiológica

Describen la interacción de la radiación ionizante con la materia, proporcionan una medida física en un punto o una zona de interés que correlaciona con los efectos reales o potenciales de las radiaciones ionizantes.

#### 1.5.1 Exposición

Es el valor absoluto de la carga total de los iones de un mismo signo producidos en el aire cuando todos los electrones (negatrones y positrones) liberados por los fotones en una masa  $dm$  de aire han sido detenidos por completo en el aire (ver ecuación 10-1). Sus unidades son Coulomb/kg (ICPR, 2007, pp. 61-70):

**Ecuación 10-1:** Exposición

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

**Ecuación 11-1:** Incremento de exposición en un intervalo de tiempo  $dt$  está definido

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}$$

### 1.5.2 Dosis absorbida

La cantidad principal utilizada para caracterizar campos de exposición externa debido a fuentes naturales es la tasa de dosis absorbida en aire, generalmente medido en nanograys por hora (nGy/h). Por medio del efecto fotoeléctrico, dispersión compton y producción de pares, etc, la radiación indirectamente ionizante transfiere energía a las partículas secundarias cargadas, al mismo instante las partículas secundarias cargadas depositan energía a la materia, todo este proceso de energía impartida a la materia se denomina dosis absorbida (ver ecuación 13.1), su unidad es J/kg o G (ICPR, 2007, pp. 61-70):

#### Ecuación 12-1: Dosis Absorbida

$$D = \frac{dE}{dm}$$

#### Ecuación 13-1: Incremento de la dosis absorbida en un intervalo de dt

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

De acuerdo con las interacciones secundarias que desencadenan las radiaciones ionizantes, resulta importante comparar directamente el tipo de radiación y sus impactos biológicos. Para ello se multiplica la dosis absorbida promediada debido al tipo de radiación R en el tejido u órgano por un factor de ponderación de radiación  $W_R$ , a esto se denomina **dosis equivalente**, Su unidad de medida es el J/kg y su nombre especial es sievert (Sv) (ICPR, 2007, pp. 61-70).

#### Ecuación 14-1: Dosis Equivalente

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

**La dosis efectiva**, es una magnitud que acumula las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo. La dosis equivalente en el tejido u órgano  $H_T$  se multiplica por un factor de ponderación del tejido  $W_T$ . Esta magnitud está basada en la exposición a la radiación de campos externos de radiación y derivada de los radionucleidos incorporados, así como en las interacciones físicas primarias en los tejidos humanos y en las estimaciones sobre las reacciones biológicas que producen los efectos estocásticos a la salud. Para campos de exposición instantánea

se expresada en unidades de nanosieverts por hora (nSv/h), o milisieverts por año (mSv/a) para estimar la exposición anual promedio de individuos (UNSCEAR, 2008, pp. 225-226) , (ICPR, 2007, pp. 61-70).

### Ecuación 15-1: Dosis Efectiva

$$E = \sum H_T * W_T$$

**Tabla 3-1:** Factores de ponderación de la radiación y de los tejidos

Factores de ponderación de la radiación $W_R$		Factores de ponderación de tejidos $W_T$		$\sum W_T$
Tipo y rango de la energía	$W_R$	Tejido u órgano	$W_T$	
Fotones, todas las energías	1	Gónadas	0,08	0,08
Electrones y muones	1	Médula ósea (roja), colón, pulmón, estómago, mama, resto de los tejidos*	0,12	0,72
Protones y piones cargados	2	Vejiga, hígado, esófago y tiroides	0,04	0,16
Partículas alfa, fragmentos de fisión, iones pesados	20	Piel y superficie ósea, cerebro, glándulas salivales	0,01	0,04
Los neutrones dependen de una función continua de energía			Total	1,00
Todos los valores están relacionados a la radiación incidente en el cuerpo o, para las fuentes de radiación internas, emitidas por radionucleido(s) incorporado(s)		* Resto de los Tejidos: Adrenales, región extra torácica (ET), vesícula, corazón, riñones, nódulos linfáticos, músculo, mucosa oral, páncreas, próstata, intestino delgado, bazo, timo, útero/cérvix		

Fuente: (ICPR, 2007, pp. 61-70)

### 1.6 Detección de radiación ionizante en suelo

La radiación ionizante se cuantifica a través de instrumentos que convierten la radiación en señales eléctricas basándose en los principios físicos y químicos de interacción radiación-materia. La espectrometría de rayos gamma es una de las técnicas más precisas que utiliza detectores semiconductores para la identificación y cuantificación de isótopos emisores gamma en una variedad de matrices ambientales. Esta técnica permite detectar varios radionucleidos emisores gamma presentes en muestras de suelo. La medición proporciona un espectro de líneas generado por la emisión de radiación gamma de la muestra, cuya amplitud es proporcional a la actividad del radionucleido y su posición en el eje horizontal da una idea acerca de su energía (Nafaa, 2006, p. 4), El  $^{40}\text{K}$  al desintegrarse a  $^{40}\text{Ar}$  emite rayos gamma de 1460 keV de suficiente intensidad, por otra parte, algunos productos de decaimiento de las series  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$  también emiten rayos gamma específicos de suficiente energía e intensidad (ver Tabla 1-1 y 2-1) que pueden ser

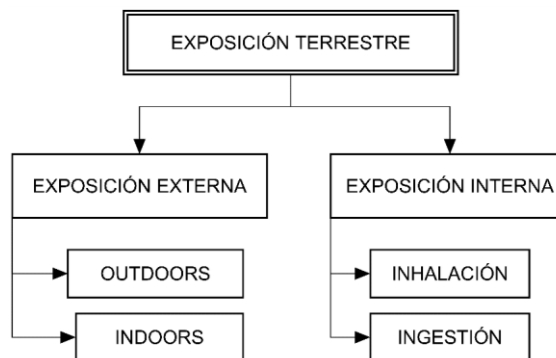
medidos mediante un espectrómetro gamma y utilizados para estimar su concentración radiactiva (IAEA, 2003, pp. 8-10).

### 1.7 Radiación terrestre

Esta fuente de radiación es ocasionada por los radionucleidos distribuidos en la corteza terrestre. En la actualidad existen cantidades suficientes de radionucleidos primordiales como  $^{40}\text{K}$  y las series del  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$  con sus productos de decaimiento que están presentes en muchos recursos naturales, altas concentraciones se manifiestan en ciertos materiales geológicos, e.g, rocas ígneas y minerales, estos radionucleidos se adsorben tanto en componentes del suelo y agua, se difunden en el aire, se transfieren a productos alimenticios (Navas, et al., 2005, p. 809). La radiación terrestre varía ampliamente de la localización, esto significa, depende del contenido de radionucleidos en el suelo, tipo de geología local de la región, además de las actividades antropogénicas, en particular, material de construcción usado en viviendas, diseño y sistema de ventilación (Saini & Bajwa, 2017, pp. 2-10), (Tela Abba, et al., 2017), (Wang, 2002, p. 40). Como consecuencia del contenido radiactivo del suelo, el ser humano se ve sometido a la exposición de radiación terrestre.

### 1.8 Exposición terrestre

La irradiación al cuerpo humano a partir de fuentes externas es ocasionada principalmente por la emisión gamma de los radionucleidos terrestres, además si están presentes dentro del organismo irradian a varios órganos con partículas alfa, beta como también rayos gamma (UNSCEAR, 2000, pp. 89-95). La forma de categorizar como se irradia la población es la siguiente:



**Gráfico 1-1:** Clasificación de la exposición terrestre

Fuente: (UNSCEAR, 2000, pp. 89-95)

#### 1.8.1 Exposición Externa

La exposición externa es ocasionada por la acción de fotones o partículas energéticas que actúan exteriormente al cuerpo humano.



Los radionucleidos terrestres genera un campo de radiación que produce exposición externa al ser humano al cruzar la interfaz suelo-aire (**Outdoor**), a medida que aumenta las concentraciones de actividad de estos radionucleidos también aumenta los niveles de radiación externa. La exposición externa en lugares cerrados (**Indoors**) es ocasionada por las concentraciones de radionucleidos en el suelo exterior y los materiales de construcción provenientes de la tierra (UNSCEAR, 2000, pp. 89-95). En la presente investigación se consideró estimar la tasa de dosis absorbida en aire y la dosis efectiva anual, mismas que son magnitudes dosimétricas utilizadas para caracterizar la exposición externa outdoor y son descritas en la sección 2.9.

### 1.8.2 Exposición Interna

La exposición interna es ocasionada por la introducción de radionucleidos al organismo ya sea por inhalación e ingestión. El radón es uno de los productos de desintegración de las series del  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$ , al ser un gas que normalmente emana el suelo y se dispersa en la atmosfera, cuando es inalado (**Inhalación**) los productos de decaimiento de corta duración principalmente el  $^{218}\text{Po}$  y  $^{214}\text{Po}$  se adhieren en los pulmones provocando exposición interna de radiación de partículas alfa que afecta al tracto respiratorio y aumenta el riesgo de cáncer pulmonar (Del Caro, et al., 2017, p. 1). Tanto los alimentos y bebidas pueden contener radionucleidos debido a la trasmisión del contenido radiactivo desde el suelo hacia las plantas, animales y agua mediante procesos de transferencia química de deposición, propiedades del radionucleido y el suelo, tipo de cultivo, aplicación de fertilizantes, entre otros, por eso la absorción (**Ingestión**) de radionucleidos naturales depende de las tasas de consumo de alimentos y agua (UNEP, 2016, p. 32).

**Tabla 4-1:** Exposición pública de radiación natural

Fuente de exposición		Dosis efectiva anual (mSv)	
		Promedio	Rango
Radiación cósmica	Ionización directa y componente de fotones	0,28	
	Componente de neutrones	0,10	
	Radionucleidos cosmogénicos	0,01	
	<b>Total</b>	<b>0,39</b>	<b>0,3-1,0</b>
Radiación terrestre externa	Exposición externa outdoors	0,07	
	Exposición externa indoors	0,41	
	<b>Total</b>	<b>0,48</b>	<b>0,3-1,0</b>
Inhalación	Series de uranio y torio	0,006	
	Radón ( $^{222}\text{Rn}$ )	1,15	
	Torón ( $^{226}\text{Rn}$ )	0,1	
	<b>Total</b>	<b>1,26</b>	<b>0,2-10</b>
Ingestión	$^{40}\text{K}$	0,17	
	Series de uranio y torio	0,12	
	<b>Total</b>	<b>0,29</b>	<b>0,2-1,0</b>

<b>TOTAL</b>	<b>2,4</b>	<b>1,0-13</b>
--------------	------------	---------------

Fuente: (UNSCEAR, 2008, p. 339)

## 1.9 Radioactividad y Geología

La radioactividad se aplicó para evaluar la edad de las rocas, formaciones geológicas y conocer la edad de la Tierra, mediante la desintegración de ciertos radioisótopos, método denominado datación radiactiva. El conocimiento de la radioactividad natural además proporcionó a los geólogos un medio fiable para identificar radioisótopos que contienen ciertos minerales y rocas. El contenido de radioisótopos presentes actualmente en los minerales, son los radioisótopos presentes desde la formación de la Tierra y los radioisótopos generados en el medio antes de que se formara el mineral o la roca. El uranio, torio y potasio se encuentran frecuentemente en el mismo mineral, por tal motivo, se utilizan métodos de detección radiactiva para identificar y cuantificar la radioactividad de ciertos tipos de roca (Cánovas Picón, 2007, pp. 4-6). Los niveles más altos de radioactividad se encuentran en rocas ígneas (como el granito) que en rocas sedimentarias a excepción de algunas lutitas y rocas de fosfato que poseen relativamente alto contenido de radionucleidos, mientras las rocas metamórficas tienen concentraciones típicas de las rocas de las que se derivan (UNSCEAR, 1977, p. 43).

**Tabla 5-1:** Concentración de actividad típica del  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y del  $^{40}\text{K}$  en rocas comunes y estimación de la tasa de dosis absorbida in aire a 1m sobre el suelo

Tipo de roca	Concentración de actividad (Bq/kg)			Tasa de dosis absorbida en aire (nGy/h)
	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	
<b>Ígneo</b>				
Ácido (por ejemplo, granito)	59,2	81,4	999	120
Intermedio (por ejemplo, diorita)	22,94	32,56	703	62
Máfico (por ejemplo, basalto)	11,47	11,1	240,5	23
Ultrabasic (por ejemplo, durita)	0,37	24,42	148	23
<b>Sedimentario</b>				
Caliza	27,75	7,03	88,8	20
Carbonato	26,64	7,77	-	17
Arenisca	18,5	11,1	370	32
Lutita	44,4	44,4	703	79

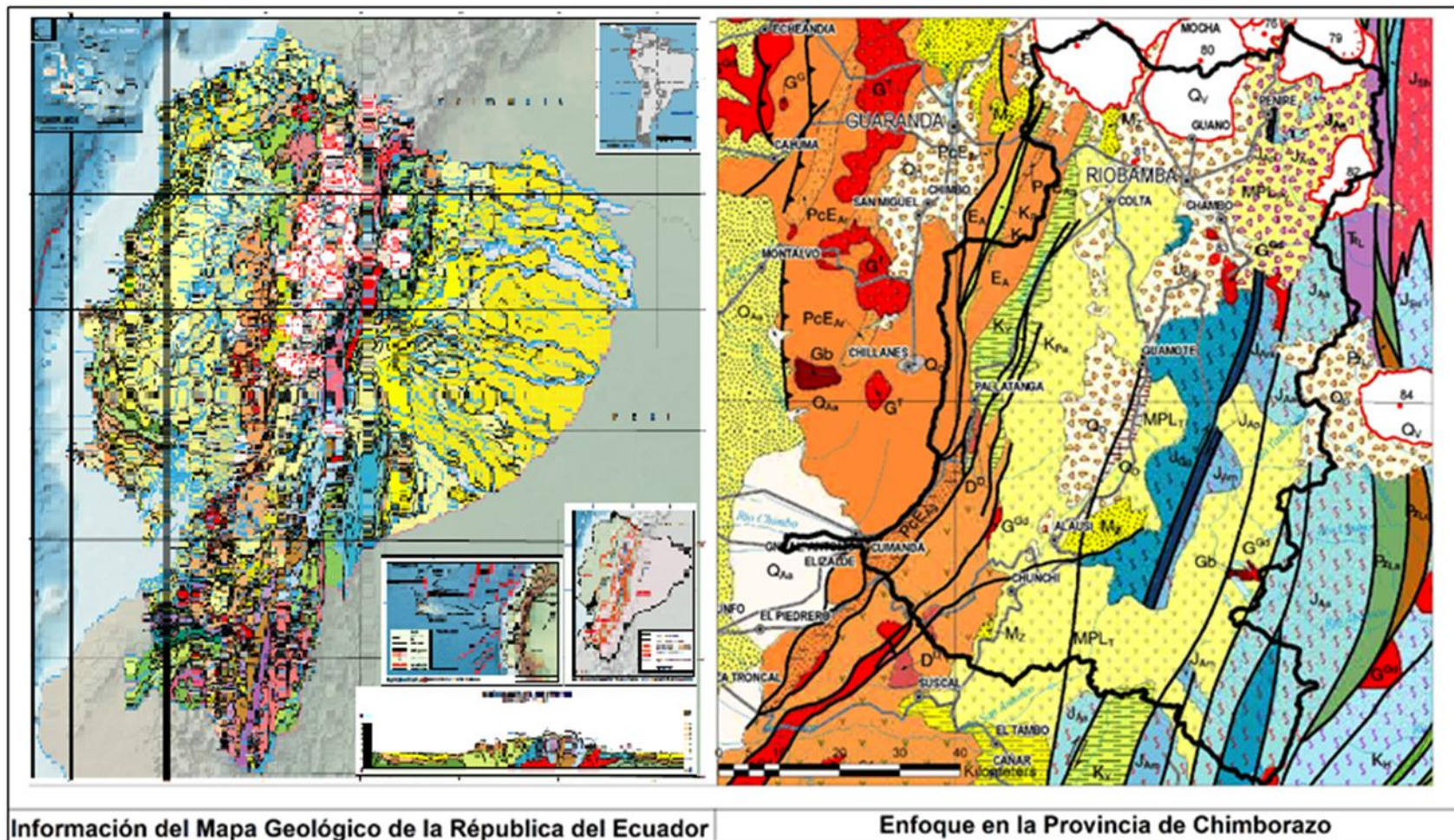
Fuente: (UNSCEAR, 1977, p. 43)

## 1.10 Geología de la Provincia de Chimborazo

La Provincia de Chimborazo está ubicada en el centro del pasillo Interandino entre la Cordillera Occidental y la Cordillera Oriental de la República del Ecuador, conserva una extensión jurisdiccional aproximadamente de 6569 km<sup>2</sup>, su capital provincial es Riobamba que se encuentra a una altitud de 2754msnm. La provincia posee 501584 habitantes (Proyección INEC 2015) siendo la novena provincia más poblada del Ecuador (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo, 2015). La Provincia está conformado de forma general tres zonas geológicas-geomorfológicas: la cordillera occidental, la valla interandina y la cordillera oriental, dentro de las cuales se subdivide en 21 tipos geológicos como son el Grupo Angamarca, Volcánicos Tarqui, Volcánicos Zumbagua, Volcánicos Saraguro, Fm, Macuchi, Facie Volcanosedimentaria, Volcánicos Pisayambo que ocupan aproximadamente 4639,10 km<sup>2</sup> perteneciente a la era cenozoico. Unidad Maguazo, Unidad Alao-Paute, Unidad Guasuntos, Formación Yunguilla, Depósito de Abanico aluvial, Unidad Peltetec, Unidad el Pan, Unidad Pallatanga, Unidad Tres lagunas que ocupan un área aproximada de 1582,12 km<sup>2</sup> concerniente a la era mesozoico y el resto es cubierto por rocas intrusivas, lutitas y grauvacas (INIGEMM, 2017, p. 1).

La Provincia de Chimborazo conserva un alto contraste geológico, de acuerdo con el mapa geológico de Chimborazo la mayor parte del territorio de los cantones Alausí, Colta, Guamote, Pallatanga y Chunchi están constituidos por depósitos piroclásticos y lavas en 770,27; 354,04; 436,09; 159,60; 214,95 km<sup>2</sup> respectivamente, la geología predominante en el cantón Chambo con 110,98Km<sup>2</sup> y Penipe con 117,12 Km<sup>2</sup> son las rocas andesitas a riolitas (rocas volcánicas propias de la cordillera de los andes) de origen eruptivo del volcán Tungurahua y el nevado Altar, el cantón Guano al encontrarse tan próximo al volcán Chimborazo se ve afectado por su geología de Facie volcanosedimentaria (270,82km<sup>2</sup>) conformado por areniscas tobáceas, conglomerados y diatomitas, casi la tercera parte del cantón Riobamba pertenece a piroclásticos primarios, escombros, lahares, flujos de lava, la zona más baja 300-2000 msnm perteneciente al cantón Cumanda más del 50% de su territorio está formado por suelo arcilloso y el resto por rocas piroclásticas y lavas andesíticas a riolíticas. Además, coberturas medianas de lutitas, calizas y volcanoclastos corresponden a los cantones de Colta y Pallatanga, coberturas de pizarras y cuarcitas pertenecen al cantón Guamote con un área de 277,71 km<sup>2</sup> y Alausí con 113,60 km<sup>2</sup>, solo el 76,929 km<sup>2</sup> (1,18%) de cobertura provincial corresponde a de roca intrusivas distribuidos en los cantones Alausí, Chambo, Chunchi, Pallatanga y Riobamba (INIGEMM, 2017, p. 1).

De todo lo dicho anteriormente, se puede afirmar que la Provincia de Chimborazo está asentada la mayor cobertura de suelo es de origen volcánico.



**Gráfico 2-1:** Enfoque en la Provincia de Chimborazo obtenida del Mapa Geológico del Ecuador

Fuente: (INIGEMM, 2017, p. 1)

### 1.11 Hipótesis

La dosis absorbida por radiación gamma terrestre depende de la unidad geológica de la provincia de Chimborazo.

<b>Variable independiente</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Indicador</b>	<b>Índice</b>
Unidad geológica	Unidad lito estratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por unas propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.	Mapa de la geología de la provincia de Chimborazo.	1 kg de suelo seco con espesor de < 1mm
<b>Variable dependiente</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Indicador</b>	<b>Índice</b>
Riesgo Radiológico	Cantidad principal utilizada para caracterizar campos de exposición externa debido a fuentes naturales.	Dosis absorbida	nGy/a

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Tipo y Diseño de la Investigación

Esta investigación es de tipo transversal, ya que se recolectan las muestras en un momento temporal concreto. Para plantear los lugares de los puntos de recolección se realizó un muestreo estratificado aleatorio, considerando como subgrupos significativos las unidades geológicas de la provincia de Chimborazo. Cada punto de muestreo se ubicó de manera aleatoria en las unidades geológicas, utilizando un mallado de 10 km para una mejor distribución en toda la superficie territorial, además se consideró la viabilidad que permitiera un acceso seguro a la toma de muestras.

#### 2.2 Unidad de Análisis

En el presente trabajo la unidad de análisis es el suelo del territorio provincial de Chimborazo, el cual está atravesado por la cordillera de los Andes, y consta de 21 unidades geológicas. Esta provincia está ubicada en la zona centro del Ecuador. La variable observable es la actividad específica originada por radionucleidos primordiales presentes en el suelo de las unidades geológicas y la estimación de la dosis efectiva por radiación terrestre en la provincia de Chimborazo.

#### 2.3 Población en Estudio

En esta investigación se analizó muestras de suelo en el territorio de la provincia de Chimborazo, esta provincia se encuentra ubicada en las coordenadas  $1^{\circ} 40' 0''$  S,  $78^{\circ} 39' 0''$  W en el centro del pasillo Interandino y posee una superficie de  $6569 \text{ km}^2$ . La provincia limita al norte con la Provincia de Tungurahua, al este con la Provincia de Morona Santiago, al sur con la Provincia de Cañar y al oeste con la provincia de Bolívar y Guayas. Se caracteriza por tener diversos pisos ecológicos que va desde los páramos hasta la zona subtropical (entre 300 msnm y 6310 msnm).

## 2.4 Tamaño de la muestra

Se planteó 120 puntos con una densidad de 54 Km/punto la cual es mucho menor que la presentada en una publicación en Irán que es de 1683 Km/punto en el año 2017 (Kardan et al, 2017, p, 168). Las muestras sobre la superficie provincial de Chimborazo, fueron distribuidos en relación al área de las 21 unidades geológicas, considerando un muestreo estratificado aleatorio, en el cual los subgrupos significativos son las unidades geológicas de la provincia de Chimborazo, quedando la distribución de puntos muestrales como se indica en la Tabla 8-2.

## 2.5 Características del Equipo y Materiales Utilizados

### 2.5.1 Espectrómetro Gamma Modelo GCDX-4018

El espectrómetro gamma GCDX-40180 se encuentra en el departamento de Vigilancia Ambiental dentro de las instalaciones de la SCAN pertenecientes al MEER en la ciudad de Quito. El equipo mide la radiación gamma específica de los radionucleidos de diversos tipos de objetos industriales y ambientales como: rocas, minerales, lodo, suelo, plantas, sedimentos y partículas en el agua.



**Figura 1-2:** Espectrómetro Gamma de GeHP modelo GCDX-40180

**Realizado por:** Camacho A., Pucha G., 2018

El espectrómetro gamma está conformado por:

- Unidad de detección de rayos gamma basado en un detector coaxial de germanio Hiperpuro (HPGe)
- Criostato Vertical
- Recipiente criogénico Dewar vessel de 30L
- Escudo de plomo con mesa de apoyo
- Detector del nivel de nitrógeno líquido
- Dispositivo de espectrometría digital MCA- 527
- Sets de Cables y conectores
- Software SpectraLine Gamma Precision (GP)
- Software Nuclide Master Plus
- Impresora portátil y laser

#### *2.5.1.1 Principio del funcionamiento de un equipo de espectrometría gamma,*

El principio de funcionamiento está basado en:

- Los rayos gamma emitidos por un muestra interacciona con el detector de cristal lo que origina la formación de pares electrón-hueco que se trasladan bajo la acción de un campo eléctrico.
- Los electrones generados son recogidos por electrodos, para formar un pulso eléctrico,
- Mediante un amplificador, el pulso incrementa su intensidad.
- La intensidad del pulso llega hasta un convertidor análogo a digital donde se convierte en un valor cuantitativo y los clasifica en canales.
- Los valores al llegar al analizador multicanal son analizados y clasificados en función a su energía, proporcional a la altura del impulso.
- Finalmente los espectros y el tratamiento de los datos son visualizados en un ordenador.

#### *2.5.1.2 Especificaciones técnicas del equipo de espectrometría gamma*

El equipo de espectrometría gamma Modelo GCDX-40180 cuenta con las características mostradas en la siguiente tabla.



**Tabla 1-2:** Especificaciones técnicas del espectrómetro gamma GCD- 40180X

<b>No</b>	<b>NOMBRE DE LOS PARÁMETROS</b>	<b>VALOR</b>
<b>1</b>	Rango de energía de radiación gamma en Kv	5-10000
<b>2</b>	Resolución energía para las energías, no más de: 122 -1332Kv	<875 <1800
<b>3</b>	Voltaje de funcionamiento óptimo de SCD ( HV) , V, positivo	1000-4000
<b>4</b>	Factor de conversión , no menos que , mV/MV	220
<b>5</b>	Señal del tiempo ( $\mu$ s) al aumentar la tensión, no más de	0,15
<b>6</b>	Señal del tiempo ( $\mu$ s) al disminuir la tensión, no más de	50
<b>7</b>	Diámetro (mm) Profundidad (mm) Espesor de contactos frontales ( $\mu$ m)	61,4 61,4 ~0,3
<b>8</b>	Espesor de la tapa de fibra de carbón(mm)	0,8
<b>9</b>	Espacio entre la cara del detector y la ventana extremo de la tapa(mm)	8
<b>10</b>	Tasa máxima de energía (MV/s) no menos de	2000000
<b>11</b>	Tiempo de enfriamiento (h) no más de	8
<b>12</b>	Período de recarga de nitrógeno líquido (d)	15
<b>13</b>	Volumen del recipiente Dewar (L)	30
<b>14</b>	Dimensión total de la parte componente del espectrómetro (mm) no más de: -Unidad de detección con blindaje de plomo y mesa de ayuda -MCA-527	629x539x1344 164x11x145

**Fuente:**(Estefanía Chávez, 2016, pp, 30–31)

En el presente trabajo se pueden utilizar una variedad de materiales e instrumentos comerciales debido a la facilidad de adquisición se ha considerado la utilización de herramientas (ver tabla 2-2), equipos, materiales (ver tabla 3-2), materiales de laboratorio (ver tabla 4-2) y programas (ver tabla 5-2).

**Tabla 2-2:** Descripción de herramientas y materiales

HERRAMIENTA	MARCA	CARACTERÍSTICA	USO
<b>Espátula</b>	Comercial	Metálica, señalada a 5 cm.	Remoción de tierra a 5 cm
<b>Pala</b>	Comercial	Metálica	Recolección y obtención de la muestra
<b>Estacas</b>	Comercial	Madera, de 40cm	Limitación de la zona de recolección de muestra,
<b>Fundas</b>	Comercial	Polietileno, tamaño(16x9cm)	Almacenado y movilizad de muestras
<b>Lámina</b>	Comercial	Plástico 90x70 cm	Homogenización de la muestra
<b>Cepillo</b>	Comercial	Polietileno	Limpieza de instrumentos utilizados en la recolección de muestras

Realizado por: Camacho A., Pucha G, 2018

**Tabla 3-2:** Descripción de equipos y materiales de laboratorio

EQUIPO/ MATERIAL	MARCA/MODELO	CARACTERÍSTICA	USO
<b>Balanza mecánica</b>	Comercial	Calibrada	Pesado de muestra en pretratamiento
<b>Balanza analítica</b>	METTLER TOLEDO/ MODELO PB 1502	Sensibilidad: 10 mg Calibrada	Pesado de muestra tratada,
<b>Secador a contra corriente</b>	Diseñado por tesis de la ESPOCH,	Temperatura entre 55 ±5°C	Secado de las muestras en pretratamiento
<b>Bandejas</b>	Comercial	Metálicas, tamaño(36x15)cm	Secado de las muestras en pretratamiento
<b>Frascos</b>	Marinelli	Polietileno, Vol, 980 ml	Almacenado y lectura del equipo de muestras tratadas
<b>Parafilm</b>	American/ Can Company	Parafilm® M 10cm x 38,1m (4" x 125')	Sellado de muestras a almacenar
<b>Computador 1</b>	Toshiba Core i5	Portátil	Almacenado y procesamiento de datos
<b>Computador 2</b>	Dell Core i5	Portátil	Almacenado y procesamiento de datos
<b>GPS</b>	MEGALLEN	Portátil	Localización y georreferenciación de los puntos muestrales

Realizado por: Camacho A., Pucha G, 2018

**Tabla 4-2:** Descripción de programas

<b>PROGRAMA</b>	<b>LICENCIA</b>	<b>USO</b>
<b>ArcGis</b>	Software bajo licencias	Creación de mapas
<b>SpectralineGP</b>	Software del Espectrómetro Gamma	Visualización del espectro de energías, detectadas
<b>QRgen</b>	Software libre	Creación de códigos de ingreso de muestras tratadas
<b>R Studio</b>	Software libre	Procesador y graficador de datos
<b>Excel</b>	Software libre	Tabulación de datos

Realizado por: Camacho A., Pucha G, 2018

## 2.6 Ficha técnica

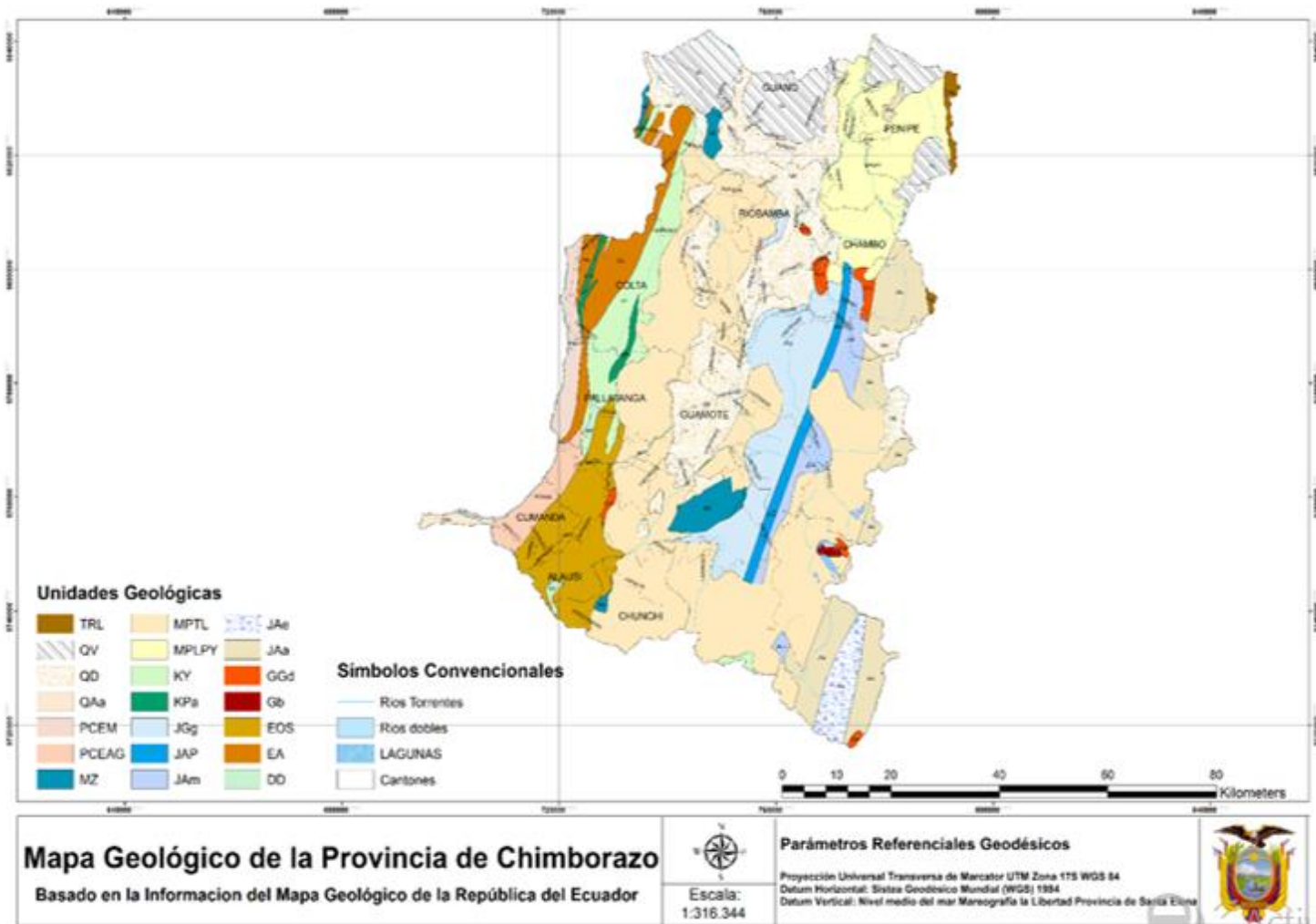
La ficha técnica es un documento creado para registrar las características más significativas de cada punto de muestreo de manera clara y ordenada. Los parámetros tomados en consideración son: código, fecha, hora, lugar, clima, altitud, coordenadas geográficas y tipo de unidad geológica, las cuales ayudaron a formar y ser respaldos de los registros digitales, Ver Anexo B.

## 2.7 Recolección de datos

### 2.7.1 *Determinación de puntos tentativos muestrales para la recolección*

Por medio de la página web oficial del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM), 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. El mapa geológico consta de una simbología estandarizada que informa sobre la edad geológica y tipo de roca del país, por tanto, se extrajo información como: tipo geológico, simbología, descripción, era, periodo y época, de la unidad en estudio.

Con la ayuda del sistema de información geográfica libre y de código abierto ArcGis (versión 2,4), que crea, edita, visualiza, analiza y publica información geoespacial en Windows, Mac, Linux, Se realizó la georreferenciación del mapa proporcionado por el INIGEMM, y la obtención de la información de la unidad en estudio con la ayuda del shapefile del perfil provincial (proporcionada por el Consejo Provincial de Chimborazo) y herramientas del Software. Con lo que se obtuvo la digitalización del mapa geológico de la unidad en estudio.



**Gráfico 1-2:** Mapa Geológico de la Provincia de Chimborazo

Fuente: Camacho A., Pucha G., 2018

**Tabla 5-2:** Leyenda geológica de la Provincia de Chimborazo

Símbolo	Área (Km <sup>2</sup> )	Nombre	Descripción	Era	Periodo	Época
PCEAG	114,51	Grupo Angamarca	Areniscas turbidíticas, limolitas y lutitas	Cenozoico	Paleógeno	Paleoceno
MPTL	2039,11	Volcánicos Tarqui	Depósitos piroclásticos de caída de composición intermedia a ácida	Cenozoico	Neógeno	Plioceno
MZ	109,54	Volcánicos Zumbagua	Piroclastos y lavas intermedias a ácidas	Cenozoico	Neógeno	Mioceno
DD	17,91	Rocas Intrusivas 1	Diorita			
GGd	51,86	Rocas Intrusivas 2	Granodiorita			
JAm	163,57	Unidad Maguazo	Metagrauvas y metalavas	Mesozoico	Jurásico	
JAA	437,62	Unidad Alao-Paute	Metalavas básicas y esquistos verdes	Mesozoico	Jurásico	
JGg	432,05	Unidad Guasuntos	Pizarras y cuarcitas	Mesozoico	Jurásico	
QD	941,09	Facie distal	Piroclastos primarios y retrabajados; escombros, lahares, flujos de lava	Cenozoico	Cuaternario	
KY	268,30	Fm, Yunguilla	Lutitas, calizas y volcanoclastos	Mesozoico	Cretácico	
QAa	22,80	Depósito de Abanico aluvial	Cantos rodados poliliticos en matriz arenolimo-arcillosa	Mesozoico	Cuaternario	
EOS	369,76	Volcánicos Saraguro	Rocas piroclásticas y lavas andesíticas a riolíticas	Cenozoico	Paleógeno	Oligoceno
PECM	99,06	Fm, Macuchi	Volcanosedimentos y lavas basálticas	Cenozoico	Paleógeno	Paleoceno
EA	216,16	Sedimentos Apagua	Lutitas y grauvas			
Gb	7,15	Rocas Intrusivas 3	Gabro			
JAp	89,23	Unidad Peltetec	Serpentinitas y basaltos	Mesozoico	Jurásico	
JAe	105,06	Unidad El Pan	Esquistos grafitosos	Mesozoico	Jurásico	
Qv	451,17	Facie volcanosedimentaria	Areniscas tobáceas, conglomerados, diatomitas	Cenozoico	Cuaternario	
MPLPY	514,87	Volcánicos Pisayambo	Flujos de lava y piroclastos, andesitas a riolitas y piroclastos	Cenozoico	Neógeno	Plioceno
KPa	35,54	Unidad Pallatanga	Basaltos y volcanosedimentos	Mesozoico	Cretácico	
TRL	27,96	Unidad Tres Lagunas	Gneises, granitos deformados y esquistos	Mesozoico	Triásico	

Fuente: (INIGEMM, 2017, p. 1)

### 2.7.1.1 Elaboración del mapa de puntos muestrales tentativos

Se planteó un total de 120 puntos muestrales para toda la superficie provincial. Para la distribución de los puntos muestrales se realizó un método estratificado. Se consideró las unidades geológicas de la provincia en estudio como estratos, estableciendo la cantidad de puntos muestrales de acuerdo al área de cada unidad geológica.

**Tabla 6-2:** Distribución inicial de los puntos de acuerdo al área geológica.

GEOLOGÍA	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	FRECUENCIA	NÚMERO DE PUNTOS POR ÁREA
		$\left(\frac{\text{ÁREA GEOLÓGICA}}{\text{ÁREA TOTAL PROVINCIAL}}\right)$	(FRECUENCIA × PUNTOS PLATEADOS)
Jae	105,06	0,016	1,93
Gb	7,15	0,001	0,13
Trl	27,96	0,004	0,51
Qv	451,17	0,069	8,28
Qd	941,14	0,144	17,27
QAa	22,80	0,003	0,42
Pcem	126,13	0,019	2,31
Pceag	114,51	0,018	2,10
Mz	109,54	0,017	2,01
Mptl	2037,93	0,312	37,39
MpLpy	514,87	0,079	9,45
KY	268,32	0,041	4,92
KPa	35,56	0,005	0,65
JGg	432,05	0,066	7,93
Jap	89,22	0,014	1,64
Jam	163,54	0,025	3,00
JAa	437,96	0,067	8,04
GGd	51,86	0,008	0,95
Eos	369,76	0,057	6,78
Ea	216,22	0,033	3,97
Dd	17,91	0,003	0,33
TOTAL	6540,65	0,016	120,00

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Puesto que se plantea que se necesita un mínimo de 3 puntos muestrales para realizar una comparación entre unidades geológicas, por lo que el MÍNIMO DE MUESTRAS es igual a 140 (ver Tabla 7-2), por lo cual se utiliza este número para crear un factor de rectificación de la siguiente forma:

**Ecuación 1-2:** Factor de rectificación en la adjudicación de puntos de muestras

$$F_{RECTIFICACIÓN} = \frac{120}{140}$$

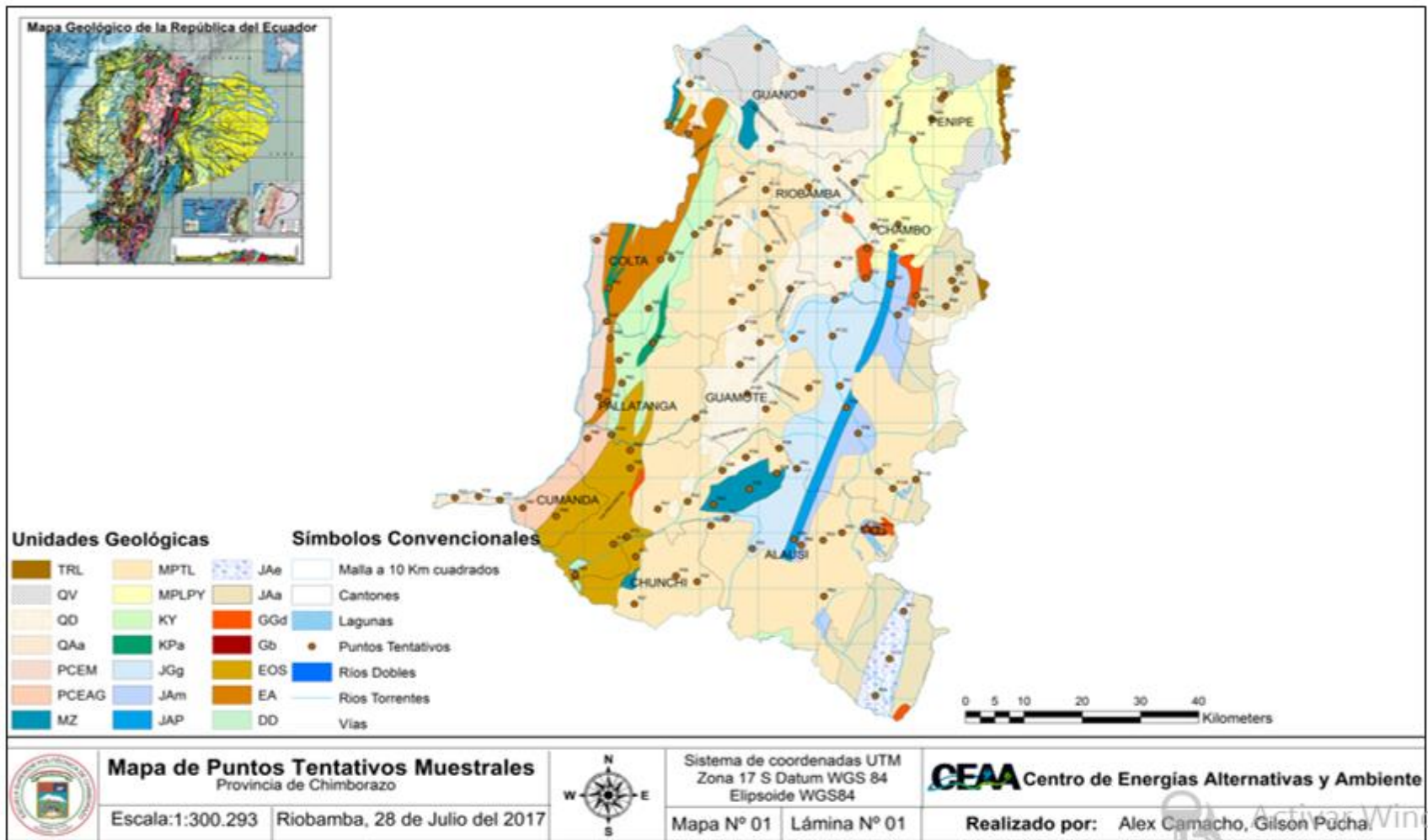
Este factor es multiplicado por todos los números de muestras mayores a 3 del MÍNIMO DE MUESTRAS, obteniendo el número de MUESTRAS RECTIFICADAS igual a 125, Se consideró los cinco números de muestras sobrantes restarlas de la unidad geológica Volcánicos Tarqui ya que tiene mayor número de muestras, teniendo así el número de puntos finales.

**Tabla 7-2:** Distribución final de los puntos de acuerdo al área geológica

<b>GEOLOGÍA</b>	<b>NÚMERO DE PUNTOS POR ÁREA</b>	<b>MÍNIMO MUESTRAS</b>	<b>MUESTRAS RECTIFICADAS</b>	<b>PUNTOS FINALES</b>
Jae	1,93	3	3	3
Gb	0,13	3	3	3
Trl	0,51	3	3	3
Qv	8,28	8	7	7
Qd	17,27	17	15	15
QAa	0,42	3	3	3
Pcem	2,31	3	3	3
Pceag	2,10	3	3	3
Mz	2,01	3	3	3
Mptl	37,39	37	32	27
MpLpy	9,45	10	8	8
KY	4,92	5	4	4
KPa	0,65	3	3	3
JGg	7,93	8	7	7
Jap	1,64	3	3	3
Jam	3,00	3	3	3
JAa	8,04	8	7	7
GGd	0,95	3	3	3
Eos	6,78	7	6	6
Ea	3,97	4	3	3
Dd	0,33	3	3	3
<b>TOTAL</b>	<b>120,00</b>	<b>140</b>	<b>125</b>	<b>120</b>

**Realizado por:** Camacho A., Pucha G., 2018

Se ubicó los puntos muestrales en un formato shapefile y se generó un archivo que muestra las coordenadas en UTM de los puntos.



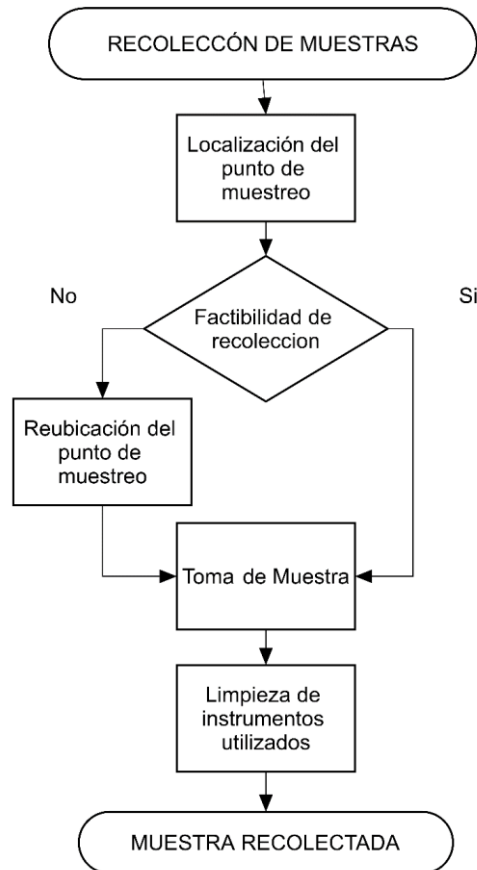
**Gráfico 2-2:** Mapa tentativo de puntos muestrales

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018



## 2.7.2 Identificación de radionucleidos presentes en el suelo

### 2.7.2.1 Recolección de muestras



**Gráfico 3-2:** Esquema de recolección de muestras

**Realizado por:** Camacho A., Pucha G., 2018

Para la recolección de muestras se utilizó un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) marca GARMIN y la aplicación NAVIGATOR para Android para localizar de manera precisa la ubicación de los puntos para la toma de muestras. En cada punto tentativo de muestreo que no se logró llegar, se consideró una reubicación de fácil acceso vial, en terrenos no cultivados, y lugares donde exista encharcamiento o inclinaciones demasiado pronunciadas. Una vez localizado o reubicado el punto de muestreo, se limitó el área a un metro cuadrado para proceder a limpiar y marcar cuadros de 25 cm en los 4 vértices y en el centro del área limitada para la extracción de 5 submuestras de 5cm de profundidad. En cada punto de muestreo se obtuvo una muestra compuesta de aproximadamente 6kg que fue guardada en fundas de polietileno.

Para garantizar que no exista contaminación por la utilización de los instrumentos en muestras anteriores se realizó la limpieza adecuada de las herramientas de muestreo. Los puntos que

tuvieron la necesidad de ser reubicados fuera de unidades geológicas inaccesibles fueron adjudicados a las unidades geológicas de mejor acceso vial y que presentaban menor número de puntos muestrales.

**Tabla 8-2:** Distribución de puntos muestrales total para cada unidad geológica

<b>GEOLOGÍA</b>	<b>Nº DE PUNTOS</b>
MPLPY	8
EOS	6
KPa	4
QAa	3
MPTL	25
DD	4
Gb	3
GGd	5
PCEAG	3
KY	5
EA	4
JAm	3
JAa	7
MZ	4
QD	15
JGg	8
JAp	3
PECM	3
Qv	7

Realizado por: Camacho A., Pucha G, 2018

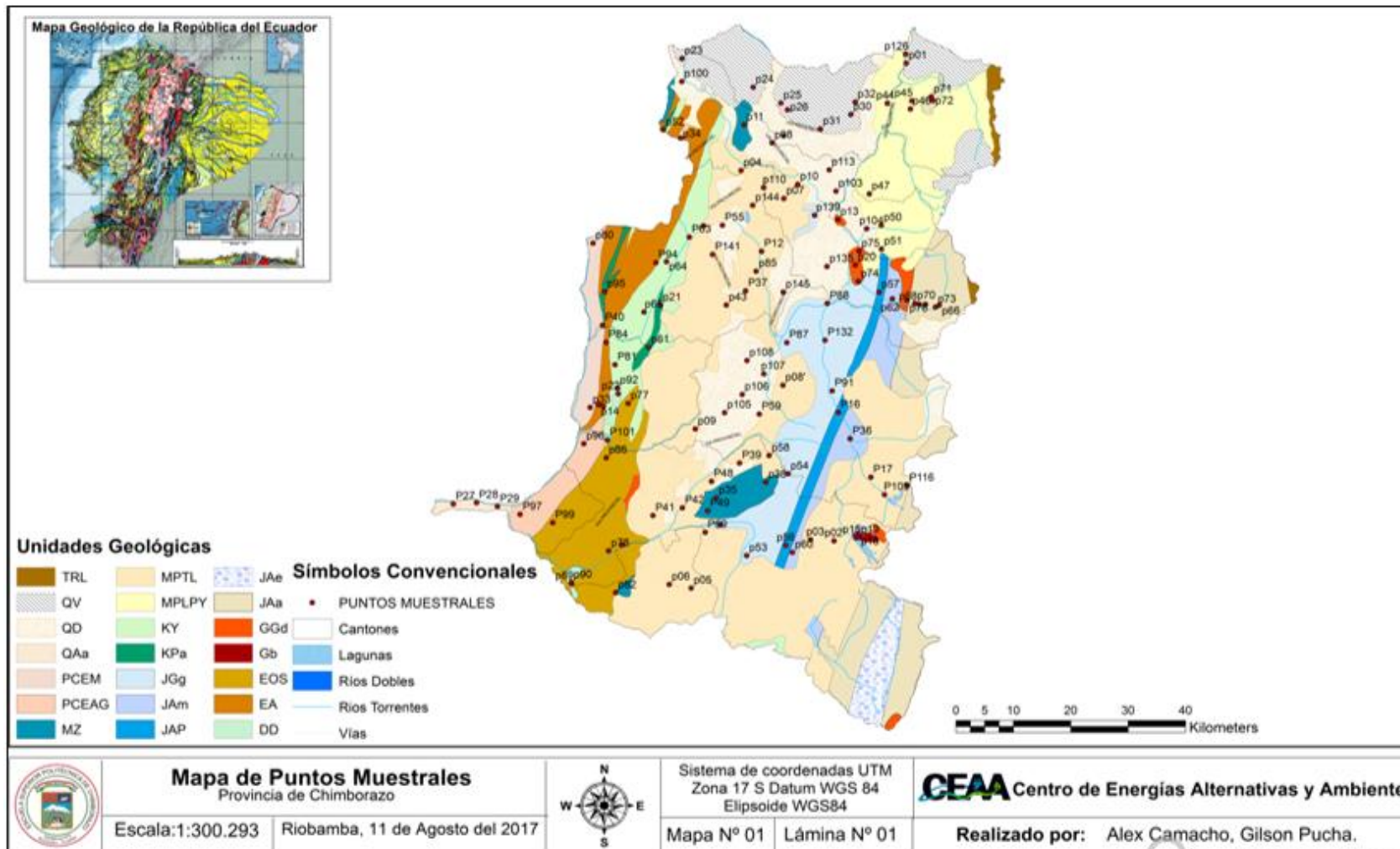
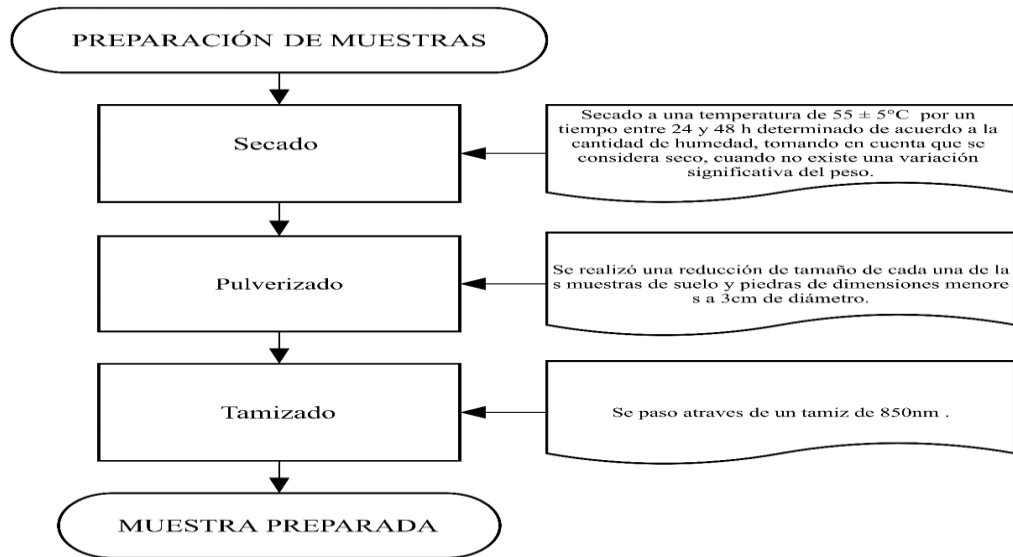


Gráfico 4-2: Mapa de puntos muéstrales

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

### 2.7.2.2 Preparación de muestras

Una vez recolectadas las 120 muestras de la provincia de Chimborazo, se realizó la preparación de las muestras en el Laboratorio de Operaciones Unitarios de la Escuela de Ingeniería Química de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) que consta de:

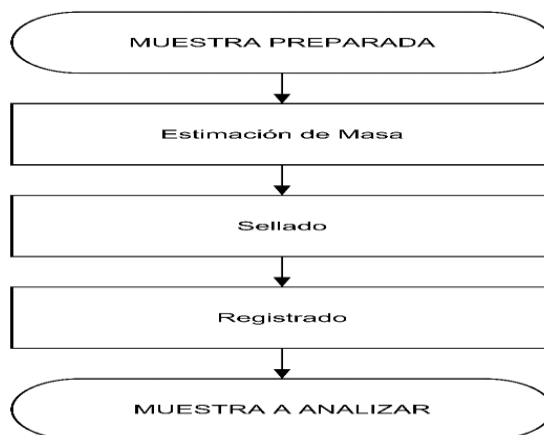


**Gráfico 5-2:** Esquema preparación de las muestras de suelo

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

### 2.7.2.3 Ingreso y etiquetado de muestras

Las muestras preparadas fueron ingresadas al Departamento de Vigilancia Ambiental perteneciente a la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable en la ciudad de Quito.



**Gráfico 6-2:** Esquema de las muestras preparadas

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Primero se estimó la masa neta de cada muestra a analizar, restando entre la masa del marinelli conteniendo con la muestra y la masa del marinelli vacío de un litro de volumen, por lo que la masa neta de la muestra varía de acuerdo a la densidad. Posterior se recubrió el con Parafilm el contorno de la tapa de los recipientes Marinellis para evitar la contaminación de las muestras con elementos que puedan alterar el análisis de las mismas y además para alcanzar el equilibrio secular en cada muestra, durante cuatro semanas. Finalmente, la información obtenida en la ficha técnica y la masa neta de cada muestra fue registrada como:

- Código de la muestra
- Cliente
- Fecha de muestreo
- Lugar del muestreo
- Análisis solicitado
- Técnicos responsables
- Masa neta

Y además, con el programa QRgen se generó etiquetas con códigos para la distinción de las muestras. El código inscrito es ARAD-2017-467-N, donde N corresponde al orden de registro de cada muestra.

**Tabla 9-2:** Registro de los puntos de acuerdo al orden de análisis

PUNTOS	CÓDIGO	CANTÓN	GEOLOGÍA	COORDENADAS		ALTURA msnm	MASA (gr)
				X	Y		
P65	ARAD-2017-467 01	Colta	Fm, Yunguilla	731188	9790624	3237	971,02
P64	ARAD-2017-467 02	Colta	Fm, Yunguilla	735101	9799612	3368	975,33
P145	ARAD-2017-467 03	Colta	Facie Distal	755455	9794185	3300	941,49
P43	ARAD-2017-467 04	Colta	Volcánicos Tarqui	745534	9791869	3444	1105,95
P113	ARAD-2017-467 05	Riobamba	Facie Distal	763451	9815987	2752	1300,96
P85	ARAD-2017-467 06	Colta	Volcánicos Tarqui	750732	9797914	3283	967,99
P01	ARAD-2017-467 07	Penipe	Volcánicos Pisayambo	776899	9835038	2291	1306,34
P126	ARAD-2017-467 08	Penipe	Volcánicos Pisayambo	776782	9836623	2384	1301,62
P80	ARAD-2017-467 09	Colta	Volcanosedimentos	722301	9802913	2651	912,24
P95	ARAD-2017-467 10	Colta	Unidad Pallatanga	724338	9794265	2543	1014,67
P97	ARAD-2017-467 11	Cumanda	Grupo Angamarca	709603	9754522	464	1185,02
P88	ARAD-2017-467 12	Guamote	Unidad Guasuntos	763127	9792158	2883	953,24
P132	ARAD-2017-467 13	Guamote	Unidad Guasuntos	762740	9785598	3030	1233,99
P109	ARAD-2017-467 14	Guamote	Volcánicos Tarqui	773099	9758059	3447	1287,21
P17	ARAD-2017-467 15	Guamote	Volcánicos Tarqui	770723	9761170	3465	1231,58
P99	ARAD-2017-467 16	Cumanda	Volcánicos Saraguro	715300	9753056	1158	1264,63
P94	ARAD-2017-467 17	Colta	Sedimentos Apagua	733268	9799439	3594	819,12

P27	ARAD-2017-467 18	Cumanda	Depósito de Abanico aluvial	697966	9756380	190	956,79
P29	ARAD-2017-467 19	Cumanda	Depósito de Abanico aluvial	705651	9755956	296	1264,63
P101	ARAD-2017-467 20	Alausi	Fm, Yunguilla	724785	9767799	1286	742,44
P48	ARAD-2017-467 21	Alausi	Volcánicos Tarqui	742937	9760429	2943	1201,53
P36	ARAD-2017-467 22	Guamote	Unidad Maguazo	767108	9768026	3303	1066,9
P83	ARAD-2017-467 23	Pallatanga	Sedimentos Apagua	724119	9773805	1391	1038,67
P116	ARAD-2017-467 24	Guamote	Volcánicos Tarqui	777021	9759679	3462	913,51
P81	ARAD-2017-467 25	Pallatanga	Fm, Yunguilla	726140	9781224	1815	1119,66
P91	ARAD-2017-467 26	Guamote	Unidad Guasuntos	763990	9776560	3246	1620,77
P16	ARAD-2017-467 27	Guamote	Unidad Peltetec	765038	9772711	3225	1041,99
P41	ARAD-2017-467 28	Alausi	Volcánicos Tarqui	732749	9754312	2596	1088,11
P39	ARAD-2017-467 29	Alausi	Volcánicos Tarqui	747846	9763685	3368	1174,75
P28	ARAD-2017-467 30	Cumanda	Depósito de Abanico aluvial	702015	9756606	249	874,36
P37	ARAD-2017-467 31	Colta	Volcánicos Tarqui	748901	9794412	3286	1224,22
P42	ARAD-2017-467 32	Alausi	Volcánicos Tarqui	737891	9755697	2311	882,04
P93	ARAD-2017-467 33	Alausi	Unidad Guasuntos	744492	9752667	2356	951,7
P12	ARAD-2017-467 34	Colta	Volcánicos Tarqui	751685	9801453	3270	1134,5
P141	ARAD-2017-467 35	Colta	Volcánicos Tarqui	743139	9800900	3962	898,65
P137	ARAD-2017-467 36	Colta	Volcánicos Tarqui	741568	9805983	3847	956,07
P63	ARAD-2017-467 37	Colta	Fm, Yunguilla	739084	9803992	3705	1127,74
P49	ARAD-2017-467 38	Alausi	Volcánicos Zumbagua	742279	9755177	3114	1261,77
P59	ARAD-2017-467 39	Guamote	Facie Distal	751268	9772424	3274	1307,56
P40	ARAD-2017-467 40	Colta	Volcanosedimentos	723964	9788271	1739	1250,66
P87	ARAD-2017-467 41	Guamote	Unidad Guasuntos	756079	9785162	3055	1408,74
P69	ARAD-2017-467 42	Alausi	Volcánicos Tarqui	741854	9751328	2523	1110,38
P84	ARAD-2017-467 43	Pallatanga	Sedimentos Apagua	724601	9785223	2276	812,63
P89	ARAD-2017-467 44	Alausi	Rocas Intrusivas 1	718578	9742159	1645	1400,59
P56	ARAD-2017-467 45	Alausi	Unidad Peltetec	755891	9749001	3563	1268,87
P55	ARAD-2017-467 46	Colta	Facie Distal	744855	9806116	3839	749,29
P60	ARAD-2017-467 47	Alausi	Unidad Maguazo	757053	9747761	3581	1223,55
P03	ARAD-2017-467 48	Alausi	Volcánicos Tarqui	760203	9750014	3746	1002,75
P05	ARAD-2017-467 49	Chunchi	Volcánicos Tarqui	739411	9741377	3198	1193,83
P02	ARAD-2017-467 50	Alausi	Volcánicos Tarqui	764301	9749803	4035	1752,09
P06	ARAD-2017-467 51	Chunchi	Volcánicos Tarqui	735584	9742027	2756	1049,17
P82	ARAD-2017-467 52	Chunchi	Volcánicos Saraguro	726249	9740574	2625	1011,28
P18	ARAD-2017-467 53	Alausi	Rocas Intrusivas 3	768530	9750400	3789	793,91
P15	ARAD-2017-467 54	Alausi	Rocas Intrusivas 3	768534	9750432	3790	759,88
P19	ARAD-2017-467 55	Alausi	Rocas Intrusivas 3	768568	9750450	3791	803,63
P79	ARAD-2017-467 56	Alausi	Volcánicos Saraguro	727395	9749086	1552	1242,74
P61	ARAD-2017-467 57	Pallatanga	Unidad Pallatanga	731993	9784323	2430	1442,36
P90	ARAD-2017-467 58	Alausi	Rocas Intrusivas 1	718503	9742380	1648	1017,72
P53	ARAD-2017-467 59	Alausi	Unidad Guasuntos	749098	9747171	3472	1094,82
P78	ARAD-2017-467 60	Alausi	Volcánicos Saraguro	725012	9748023	1415	1044,54

P62	ARAD-2017-467 61	Riobamba	Unidad Maguazo	774471	9792967	3153	1331,03
P104	ARAD-2017-467 62	Chambo	Facie Distal	769979	9805487	3097	963,61
P30	ARAD-2017-467 63	Guano	Facie volcanosedimentaria	767255	9825872	3041	1450,65
P44	ARAD-2017-467 64	Guano	Volcánicos Pisayambo	773588	9827847	2521	1450,26
P45	ARAD-2017-467 65	Penipe	Volcánicos Pisayambo	777859	9828296	2741	1304,55
P32	ARAD-2017-467 66	Guano	Facie volcanosedimentaria	767997	9828071	3155	1510,51
P31	ARAD-2017-467 67	Guano	Facie volcanosedimentaria	761939	9823286	2800	1251,86
P26	ARAD-2017-467 68	Guano	Facie volcanosedimentaria	756220	9826711	3264	1299,66
P108	ARAD-2017-467 69	Guamote	Facie Distal	749131	9781968	3624	1255,67
P10	ARAD-2017-467 70	Riobamba	Volcánicos Tarqui	757978	9813386	2889	1174,06
P107	ARAD-2017-467 71	Guamote	Facie Distal	752068	9779603	3221	1420,72
P110	ARAD-2017-467 72	Colta	Volcánicos Tarqui	752040	9812829	3456	1214,31
P67	ARAD-2017-467 73	Riobamba	Unidad Alao-Paute	780249	9791990	3295	1002,75
P66	ARAD-2017-467 74	Riobamba	Unidad Alao-Paute	782663	9791856	3348	917,97
P57	ARAD-2017-467 75	Riobamba	Unidad Peltetec	772150	9794147	3208	1050,62
P74	ARAD-2017-467 76	Riobamba	Rocas Intrusivas 2	768533	9796077	2989	1141,26
P09	ARAD-2017-467 77	Guamote	Volcánicos Tarqui	740118	9769771	3532	1156,78
P76	ARAD-2017-467 78	Riobamba	Rocas Intrusivas 2	777038	9792746	3188	951,63
P75	ARAD-2017-467 79	Riobamba	Rocas Intrusivas 2	768669	9801472	2673	1242,74
P25	ARAD-2017-467 80	Guano	Facie volcanosedimentaria	755046	9827909	3161	1191,48
P72	ARAD-2017-467 82	Penipe	Unidad Alao-Paute	781531	9828365	3499	1367,46
P72	ARAD-2017-467 82	Alausi	Volcánicos Zumbagua	743793	9757471	3469	1022,84
P35	ARAD-2017-467 83	Guamote	Facie Distal	755399	9777570	3621	1261,99
P08	ARAD-2017-467 84	Guamote	Facie Distal	745224	9772673	3540	1318,44
P105	ARAD-2017-467 85	Riobamba	Facie Distal	764642	9812187	3437	1316,6
P103	ARAD-2017-467 86	Riobamba	Unidad Alao-Paute	779181	9792015	2759	1315,29
P68	ARAD-2017-467 87	Riobamba	Grupo Angamarca	737546	9821679	3218	1098,04
P34	ARAD-2017-467 88	Penipe	Unidad Alao-Paute	781224	9829006	3691	1140,99
P71	ARAD-2017-467 89	Guamote	Facie Distal	748306	9775903	3460	1129,77
P106	ARAD-2017-467 90	Alausi	Volcánicos Zumbagua	752423	9760274	3455	1469,62
P38	ARAD-2017-467 91	Riobamba	Unidad Alao-Paute	781979	9791513	3773	845,16
P73	ARAD-2017-467 92	Alausi	Unidad Guasuntos	756314	9761788	3295	1061,58
P54	ARAD-2017-467 93	Alausi	Volcánicos Tarqui	752990	9765011	3664	989,85
P58	ARAD-2017-467 94	Colta	Volcánicos Tarqui	750122	9809664	3588	1015,41
P24	ARAD-2017-467 81	Guano	Facie volcanosedimentaria	750214	9830736	3360	1063,21
P102	ARAD-2017-467 96	Riobamba	Unidad Alao-Paute	778378	9792155	2029	1425,74
P70	ARAD-2017-467 97	Riobamba	Volcánicos Tarqui	748097	9815885	3187	949,04
P04	ARAD-2017-467 98	Chambo	Volcánicos Pisayambo	772519	9806108	3289	1291,58
p102	ARAD-2017-467 96	Guano	Facie Distal	755516	9822053	3291	833,08
p51	ARAD-2017-467 100	Chambo	Volcánicos Pisayambo	772560	9801875	3256	907,64
p46	ARAD-2017-467 101	Penipe	Volcánicos Pisayambo	777606	9826850	2777	1111,9

p47	ARAD-2017-467 102	Riobamba	Volcánicos Pisayambo	770452	9811696	2728	1223,55
p100	ARAD-2017-467 103	Riobamba	Facie Distal	737780	9831740	4197	1272,1
p23	ARAD-2017-467 104	Riobamba	Facie volcanosedimentaria	737808	9835851	4593	1247,29
p52	ARAD-2017-467 105	Riobamba	Unidad Pallatanga	734582	9823116	3403	1084,38
p14	ARAD-2017-467 106	Pallatanga	Sedimentos Apagua	723262	9774074	1373	1206,64
p22	ARAD-2017-467 107	Pallatanga	Rocas Intrusivas 1	726703	9776040	1851	1313,17
p77	ARAD-2017-467 108	Pallatanga	Volcánicos Saraguro	728438	9774314	1951	1164,48
p86	ARAD-2017-467 109	Alausi	Volcánicos Saraguro	724625	9764626	1921	1192,24
p92	ARAD-2017-467 110	Pallatanga	Rocas Intrusivas 1	726562	9777063	1643	1044,47
p20	ARAD-2017-467 111	Riobamba	Rocas Intrusivas 2	768003	9799022	2924	1137,76
p07	ARAD-2017-467 112	Riobamba	Volcánicos Tarqui	755546	9810869	3246	1218,35
p98	ARAD-2017-467 113	Riobamba	Facie Distal	753505	9820803	3133	1455,06
p13	ARAD-2017-467 114	Riobamba	Rocas Intrusivas 2	764989	9807119	2690	1199,57
p96	ARAD-2017-467 115	Alausi	Grupo Angamarca	720695	9767138	905	1089,72
p21	ARAD-2017-467 116	Colta	Unidad Pallatanga	734059	9791838	3276	1102,88
p139	ARAD-2017-467 117	Riobamba	Unidad Guasuntos	760912	9807878	2794	1321,25
p11	ARAD-2017-467 118	Riobamba	Volcánicos Zumbagua	748625	9824024	3268	1316,16
p135	ARAD-2017-467 119	Riobamba	Facie Distal	763067	9798735	3240	1339,57
p33	ARAD-2017-467 120	Pallatanga	Volcanosedimentos	721791	9773602	1832	1052,92

**Realizado por:** Camacho A., Pucha G., 2018

## 2.8 Análisis de Muestras

Previo al análisis de muestras, se revisa el sistema de enfriamiento del espectrómetro, verificando que el nivel de nitrógeno este sobre el 50 % del Dewar conectado al detector, se verifica también que esté funcionando el MCA-527 y diariamente se realiza la lectura de un Marinelli estándar durante 35 minutos.

Para el análisis de muestras, se abrió la puerta del blindaje del equipo para colocar la muestra preparada sobre el detector del equipo y después se cerró la puerta del blindaje. En el programa SpectraLine se ingresó el código de la muestra a leer y el peso neto, además del tiempo de lectura que es de 14400 segundos para cada muestra, y se ejecuta. Una vez terminado el tiempo de lectura se guarda la información en formato pdf y se imprime dos reportes; el primer reporte, muestra de manera general datos de los radionucleidos detectados, el segundo reporte, presenta información detallada de la detección de cada foto pico de energía y la gráfica del espectro de la muestra.

El equipo fue calibrado para los parámetros de eficiencia, energía y geometría, por un técnico experto del IAEA en mes de agosto del 2017, antes de la realización del análisis de las muestras del presente trabajo.



## 2.9 Análisis e interpretación de datos

Mediante Excel se generó una base de datos de los resultados arrojados por el equipo. Para la identificación de todos los radionucleidos de emisión gamma de diferentes energías, presentes en el suelo de la provincia en estudio. Se realizó la comparación entre las energías detectadas por el equipo y las energías de la *TABLA DE ISÓTOPOS RADIATIVOS (Table of Radioactive Isotopes)* de Browne, E,R,B Firestone y V,S Shirley, (Departament of Energy, 1997). Se utilizó también información del software NuclideMaster, donde muestra las energías de sus líneas espectrales y su respectiva intensidad o probabilidad de emisión

Energy	Energy abs. error	Intensity	Intensity abs. error	Line type	Treated
<b>Ra-226</b>	<b>1600[year]</b>	<b>0.036686</b>			
<input checked="" type="checkbox"/> 11.7	0.9	0.88	0.10	× (L)	
<input checked="" type="checkbox"/> 34.8	1.6	0		G	
<input checked="" type="checkbox"/> 80.349		0.000438	0.000023	× (KA3)	
<input checked="" type="checkbox"/> 81.069	0.020	0.198	0.009	× (KA2)	
<input checked="" type="checkbox"/> 83.787	0.020	0.328	0.012	× (KA1)	
<input checked="" type="checkbox"/> 94.247		0.0395	0.0018	× (KB3)	
<input checked="" type="checkbox"/> 94.868		0.075	0.003	× (KB1)	
<input checked="" type="checkbox"/> 95.449		0.00248	0.00014	× (KB5)	
<input checked="" type="checkbox"/> 97.53		0.0283	0.0013	× (KB2)	
<input checked="" type="checkbox"/> 97.853		0.0007	0.0004	× (KB4)	
<input checked="" type="checkbox"/> 98.257		0.0058	0.0006	× (KO)	
<input checked="" type="checkbox"/> 98.389		0.00067	0.00008	× (KP)	
<input checked="" type="checkbox"/> 186.211	0.013	3.64	0.04	G	
<input checked="" type="checkbox"/> 187.10	0.20	0		G	
<input checked="" type="checkbox"/> 262.27	0.05	0.0050	0.0005	G	
<input checked="" type="checkbox"/> 414.60	0.05	0.000300	0.000010	G	
<input checked="" type="checkbox"/> 449.37	0.10	0.000190	0.000010	G	
<input checked="" type="checkbox"/> 600.66	0.05	0.000490	0.000010	G	
<b>Th-232</b>	<b>1.405E+10[...]</b>	<b>0.0010386</b>			
<input checked="" type="checkbox"/> 12	8	7.9	1.0	× (L)	
<input checked="" type="checkbox"/> 63.810	0.010	0.263	0.013	G	
<input checked="" type="checkbox"/> 84.683		4.50E-006	1.00E-006	× (KA3)	
<input checked="" type="checkbox"/> 85.431	0.010	0.0017	0.0004	× (KA2)	
<input checked="" type="checkbox"/> 88.471	0.010	0.0028	0.0006	× (KA1)	
<input checked="" type="checkbox"/> 99.432		0.00034	0.00008	× (KB3)	
<input checked="" type="checkbox"/> 100.13		0.00065	0.00015	× (KB1)	
<input checked="" type="checkbox"/> 100.738		0.000022	5.00E-006	× (KB5)	
<input checked="" type="checkbox"/> 102.948		0.00025	0.00006	× (KB2)	
<input checked="" type="checkbox"/> 103.295		7.00E-006	3.00E-006	× (KB4)	
<input checked="" type="checkbox"/> 103.74		0.000053	0.000013	× (KO)	
<input checked="" type="checkbox"/> 103.899		8.10E-006	2.00E-006	× (KP)	

**Figura 2-2:** Información de las energías de emisión cargadas al software NuclideMaster

Fuente: (SCAN, 2017)

De cada muestra analizada, la estimación de la actividad específica del Ra-226 fue calculada de manera indirecta, por medio, de los fotopicos de energía 295, 351 KeV del Pb-214, y 609, 1764 KeV del Bi-214 (Turhan & Gunduz, 2008). De manera similar, la actividad específica del Th-232 fue determinada por los fotopicos de energía 911keV del Ac-228 y 238 KeV del Pb-212, La actividad específica del K-40 fue estimada de forma directa con el único fotopico de energía 1460 KeV (A. Faanu, 2016).

La ecuación 2-2 utilizada para estimar la actividad específica ( $A_e$ ) de los radionucleidos de interés se muestra a continuación:

**Ecuación 2-2:** Estimación de la actividad específica

$$A_e = \frac{N_D}{p, T_c n(E), m}$$

(A. Faanu, 2016)

Donde,

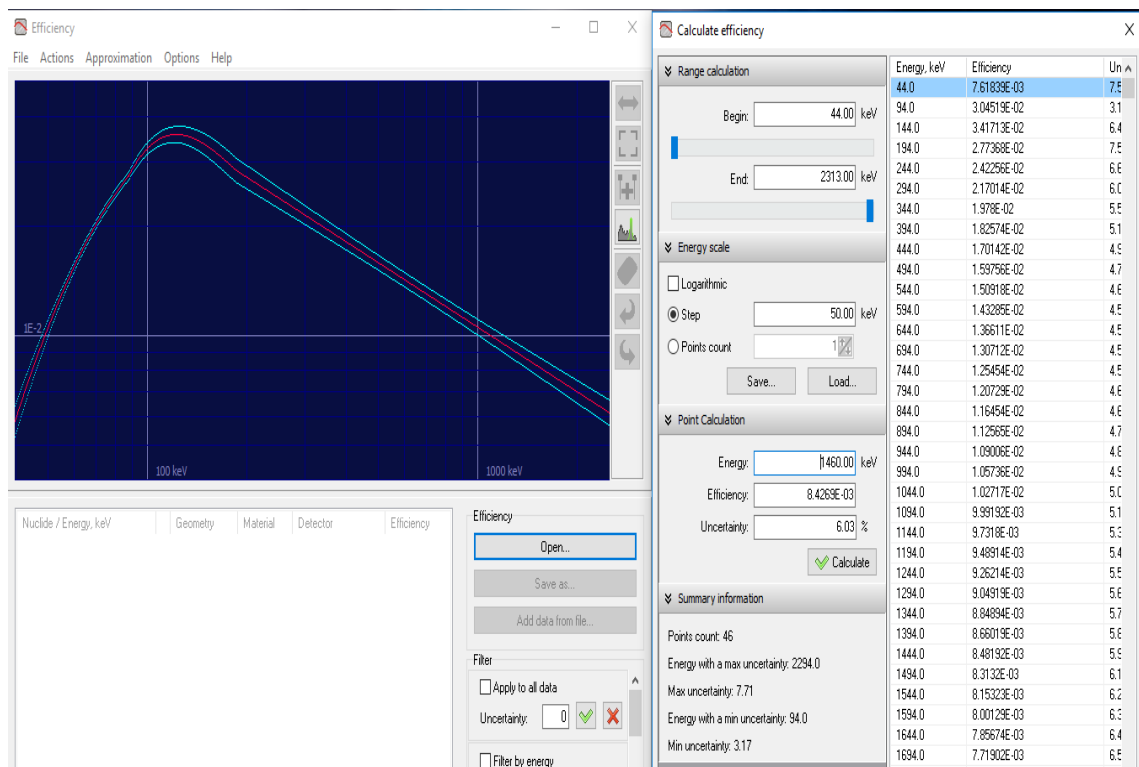
$N_D$ : Cuentas netas del radionucleido, valor fue remplazado por los datos del área del espectro de emisión arrojados en el segundo reporte. (Ver Anexo G). El software SpectralineGP automáticamente resta la radiación natural de fondo del laboratorio al momento de analizar los espectros de cada muestra.

$p$ : Probabilidad de emisión rayos gamma, constante para cada radionucleido (ver Figura 1-2)

$T_c$ : Tiempo de conteo, es el tiempo de lectura (14400 segundos para cada muestra)

$m$ : Masa de la muestra (kg), es la masa neta de cada muestra a analizar (ver Tabla 9-2)

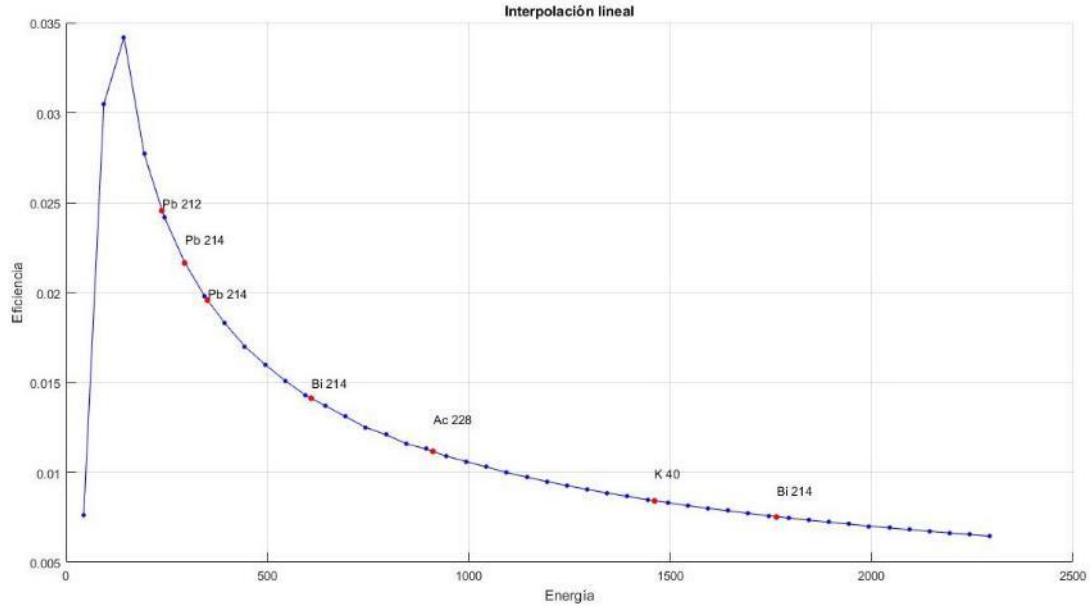
$n(E)$ : Eficiencia del detector de cuenta absoluta, este valor se obtiene interpolando la energía de emisión de cada radionucleido con la curva de eficiencia del equipo.



**Figura 3-2:** Curva de eficiencia del equipo.

Fuente: (SCAN, 2017)

Para el presente proyecto se calculó  $n(E)$  del Pb-214 (295, 351keV), Bi-214 (609, 1764keV), Ac-228 (911keV), Pb-212 (238keV) y K-40 (1460 KeV), mediante una interpolación lineal en Matlab.



**Gráfico 7-2:** Curva por interpolación lineal en Matlab

Fuente: (SCAN, 2017)

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

```

1 %Energia del detector
2 x=44:50:2294;
3 %Eficiencias conocidas
4 y=[7.62E-03 3.05E-02 3.42E-02 2.77E-02 2.42E-02 2.17E-02 1.98E-02 1.83E-02 1.70E-02 1.60E-02 1.51E-02 1.43E-02 1.37E-02];
5 %punto de energia ha interpol
6 xx=[238.63 295.2 351.9 609.3 911.2 1460.82 1764.5];
7 %interpolacion lineal
8 yy=interp(x,y,xx,'linear');
9 %grafica
10 hold on
11 plot(x,y,'-bo','markersize',3,'markerfacecolor','b')
12 plot(xx,yy,'ro','markersize',4,'markerfacecolor','r')
13 xlabel('Energia')
14 ylabel('Eficiencia')
15 grid on
16 title('Interpolación lineal');
17 text(1460,0.01,'K 40')
18 text(238.63,0.025,'Pb 212')
19 text(295.2,0.023,'Pb 214')
20 text(351.9,0.02,'Pb 214')
21 text(609.3,0.015,'Bi 214')
22 text(911.2,0.013,'Ac 228')
23 text(1764.5,0.009,'Bi 214')
24
25
26
27 hold off

```

**Figura 4-2:** Código de la Curva por interpolación lineal en Matlab.

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

**Tabla 10-2:** Actividad específica de los radionucleidos presentes en la Provincia de Chimborazo.

CÓDIGO	ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)						
	AeRa-226				AeTh-232		AeK-40
	Aepb-214	Aepb-214	Aebi-214	Aebi-214	AeAc-228	Aepb-212	
295.2 KeV	351.9 KeV	609.3 KeV	1764.5 KeV	911.2 KeV	238.63 KeV	1460.82 KeV	
ARAD-2017-467 01	14,30	13,93	12,34	12,20	7,200	7,735	220,4
ARAD-2017-467 02	21,51	20,89	18,09	18,09	23,90	25,81	393,7
ARAD-2017-467 03	18,47	19,10	17,76	17,22	25,37	27,11	385,9
ARAD-2017-467 04	15,56	15,89	14,19	13,95	19,83	22,70	306,0
ARAD-2017-467 05	16,70	17,47	14,97	14,99	18,56	20,23	338,8
ARAD-2017-467 06	15,09	15,13	12,91	12,54	22,46	25,69	315,7
ARAD-2017-467 07	20,90	22,54	19,39	19,82	23,85	25,77	393,8
ARAD-2017-467 08	21,45	21,38	21,13	21,32	23,61	25,94	402,2
ARAD-2017-467 09	11,84	11,86	9,205	9,050	14,24	14,47	295,6
ARAD-2017-467 10	6,927	6,968	5,011	5,011	9,099	9,627	190,4
ARAD-2017-467 11	10,21	10,36	10,07	10,05	15,66	17,53	96,79
ARAD-2017-467 12	26,33	27,41	24,80	25,09	33,17	35,92	645,0
ARAD-2017-467 13	18,40	19,02	16,35	15,80	23,12	25,79	451,6
ARAD-2017-467 14	16,05	16,35	15,53	15,52	19,32	21,90	257,7
ARAD-2017-467 15	10,43	10,61	8,862	8,499	16,05	18,20	204,3
ARAD-2017-467 16	4,703	4,755	4,379	4,257	12,91	14,15	77,85
ARAD-2017-467 17	14,00	14,23	12,35	12,12	19,22	20,56	320,3
ARAD-2017-467 18	12,99	12,47	10,84	10,44	17,18	17,98	214,9
ARAD-2017-467 19	9,972	10,25	8,782	8,561	12,27	13,47	168,6
ARAD-2017-467 20	17,34	17,42	14,48	14,28	21,36	22,88	290,1
ARAD-2017-467 21	18,00	16,89	14,61	14,29	20,96	22,86	366,5
ARAD-2017-467 22	16,24	16,29	13,40	13,06	20,36	22,70	335,5
ARAD-2017-467 23	16,68	-	13,76	13,42	20,91	23,31	344,6
ARAD-2017-467 24	19,51	19,28	15,99	14,86	25,96	30,37	325,0
ARAD-2017-467 25	22,86	24,30	22,31	22,06	31,12	33,76	606,1
ARAD-2017-467 26	15,79	16,79	15,41	15,24	21,50	23,32	418,7
ARAD-2017-467 27	46,75	-	42,41	41,76	61,20	67,04	860,6
ARAD-2017-467 28	13,69	13,60	10,67	10,33	15,71	15,95	251,9
ARAD-2017-467 29	16,20	16,28	15,87	15,53	24,19	26,44	406,1
ARAD-2017-467 30	12,10	12,15	10,05	9,851	22,27	22,88	166,5
ARAD-2017-467 31	19,55	19,90	18,86	18,32	23,17	25,66	278,9
ARAD-2017-467 32	19,74	19,53	16,39	15,60	23,20	26,06	358,7
ARAD-2017-467 33	28,90	28,34	23,48	22,00	35,86	39,97	461,6
ARAD-2017-467 34	23,16	23,43	21,55	20,14	25,98	28,93	295,6
ARAD-2017-467 35	17,03	16,75	13,82	13,65	19,23	21,43	277,0
ARAD-2017-467 36	15,15	15,53	12,57	11,76	21,93	23,50	313,3
ARAD-2017-467 37	26,37	26,48	23,20	21,80	31,86	36,10	465,6
ARAD-2017-467 38	12,13	12,02	10,37	10,10	15,91	17,05	342,2

ARAD-2017-467 39	20,71	21,01	18,52	18,43	22,47	25,88	458,4
ARAD-2017-467 40	3,109	3,932	3,276	3,252	6,342	6,845	101,8
ARAD-2017-467 41	17,63	18,20	15,05	15,16	21,97	22,60	433,4
ARAD-2017-467 42	10,86	11,13	8,167	7,864	15,57	16,72	318,3
ARAD-2017-467 43	15,76	15,97	13,35	13,25	23,38	24,67	288,4
ARAD-2017-467 44	15,50	15,45	14,23	13,83	18,33	19,62	240,5
ARAD-2017-467 45	32,16	31,80	29,05	26,67	25,07	28,49	356,3
ARAD-2017-467 46	12,51	12,26	10,34	10,30	17,02	18,52	198,7
ARAD-2017-467 47	18,61	19,00	17,15	16,81	32,72	36,28	407,6
ARAD-2017-467 48	16,87	17,39	16,05	15,75	22,48	24,43	283,8
ARAD-2017-467 49	11,02	11,08	10,26	9,821	16,36	17,63	301,6
ARAD-2017-467 50	8,943	8,738	7,484	7,238	8,888	9,419	133,1
ARAD-2017-467 51	7,128	7,216	6,774	6,558	12,13	12,95	289,0
ARAD-2017-467 52	16,08	15,75	13,30	13,07	20,93	22,51	246,4
ARAD-2017-467 53	13,90	14,52	12,57	12,06	18,52	21,43	272,2
ARAD-2017-467 54	13,53	13,64	10,05	9,841	19,04	20,22	229,7
ARAD-2017-467 55	11,93	12,10	12,00	11,69	17,61	18,96	251,4
ARAD-2017-467 56	11,03	11,12	10,41	10,11	15,19	17,28	272,0
ARAD-2017-467 57	2,684	2,580	2,480	2,200	4,980	5,210	77,14
ARAD-2017-467 58	11,92	12,01	10,07	9,760	12,04	14,43	259,7
ARAD-2017-467 59	22,05	22,19	20,14	19,18	31,51	36,64	263,2
ARAD-2017-467 60	25,97	26,67	24,41	23,48	35,40	38,18	468,4
ARAD-2017-467 61	15,81	16,00	13,83	13,66	22,28	24,17	388,7
ARAD-2017-467 62	13,55	14,03	13,33	13,29	21,64	22,49	237,5
ARAD-2017-467 63	17,05	17,04	15,56	15,05	18,03	20,39	337,8
ARAD-2017-467 64	17,82	18,73	18,06	17,61	20,54	22,26	367,2
ARAD-2017-467 65	17,18	17,60	16,42	13,94	20,90	23,27	354,7
ARAD-2017-467 66	15,98	15,64	14,55	14,10	18,77	19,69	326,9
ARAD-2017-467 67	21,50	21,62	19,17	18,01	24,80	27,51	422,3
ARAD-2017-467 68	18,06	18,29	17,78	16,89	20,74	22,44	358,9
ARAD-2017-467 69	15,78	15,85	15,44	15,53	21,44	23,75	388,0
ARAD-2017-467 70	15,86	15,81	14,34	13,66	21,73	24,41	360,6
ARAD-2017-467 71	18,21	18,53	16,35	16,00	21,85	24,21	425,4
ARAD-2017-467 72	13,72	14,31	13,45	13,05	21,04	22,51	286,6
ARAD-2017-467 73	16,72	17,41	15,32	14,79	21,52	24,57	366,3
ARAD-2017-467 74	14,79	15,00	13,53	12,12	22,61	24,09	229,5
ARAD-2017-467 75	16,51	16,70	15,62	14,52	20,81	22,66	335,2
ARAD-2017-467 76	19,60	19,34	16,05	15,64	24,54	25,97	329,6
ARAD-2017-467 77	18,63	18,37	17,09	16,60	23,24	25,14	390,7
ARAD-2017-467 78	14,95	14,42	12,56	12,51	17,99	21,83	255,9
ARAD-2017-467 79	16,31	16,74	15,69	15,02	24,73	26,31	203,7
ARAD-2017-467 80	21,93	21,28	18,38	17,62	22,94	26,23	364,4
ARAD-2017-467 81	20,30	20,04	17,39	17,50	19,98	22,01	346,9
ARAD-2017-467 82	18,05	18,22	15,33	15,09	16,78	18,41	290,7

ARAD-2017-467 83	17,98	17,67	14,77	14,50	21,56	23,95	289,6
ARAD-2017-467 84	20,20	20,75	18,04	17,93	21,70	24,22	443,1
ARAD-2017-467 85	20,00	19,94	16,42	14,90	23,09	25,61	433,7
ARAD-2017-467 86	18,06	18,46	16,57	16,60	23,66	25,48	366,9
ARAD-2017-467 87	14,62	15,08	13,92	13,89	21,56	23,39	277,3
ARAD-2017-467 88	14,84	14,78	13,17	12,37	21,47	24,11	253,4
ARAD-2017-467 89	19,10	19,77	18,69	17,90	20,70	22,61	333,9
ARAD-2017-467 90	17,91	18,05	16,32	16,24	22,45	24,93	419,8
ARAD-2017-467 91	14,47	14,34	11,48	10,76	18,54	19,62	338,4
ARAD-2017-467 92	13,27	13,45	12,85	12,51	17,94	19,91	241,7
ARAD-2017-467 93	15,29	15,86	14,58	14,50	22,36	23,69	347,4
ARAD-2017-467 94	19,68	18,89	16,52	15,79	23,17	24,78	404,5
ARAD-2017-467 95	17,42	17,19	14,40	11,93	22,27	24,52	341,5
ARAD-2017-467 96	16,06	16,72	15,64	15,35	18,78	21,08	338,0
ARAD-2017-467 97	16,58	16,91	16,12	15,38	18,29	19,84	316,8
ARAD-2017-467 98	14,03	14,63	13,56	13,25	19,67	20,68	275,0
ARAD-2017-467 99	15,68	16,29	13,82	13,93	18,93	20,41	264,9
ARAD-2017-467 100	16,49	16,71	15,55	14,96	22,68	26,47	301,6
ARAD-2017-467 101	18,96	19,87	18,04	17,38	20,27	21,77	301,1
ARAD-2017-467 102	20,48	21,92	19,63	20,14	23,25	26,55	377,2
ARAD-2017-467 103	15,95	16,11	15,10	15,19	22,59	24,95	264,5
ARAD-2017-467 104	16,04	16,90	14,47	12,80	19,27	20,67	322,6
ARAD-2017-467 105	15,32	16,17	13,74	13,35	20,79	21,34	317,0
ARAD-2017-467 106	16,32	15,87	13,92	13,63	17,92	19,61	339,1
ARAD-2017-467 107	10,63	10,83	11,01	10,61	15,05	16,11	261,3
ARAD-2017-467 108	3,325	3,202	3,061	2,877	3,375	3,878	110,8
ARAD-2017-467 109	3,261	3,128	2,972	2,860	4,106	4,960	53,19
ARAD-2017-467 110	18,80	19,00	16,43	16,21	20,73	23,17	288,5
ARAD-2017-467 111	18,15	17,65	14,28	12,98	23,96	25,55	286,1
ARAD-2017-467 112	13,09	12,44	10,61	10,36	17,87	19,00	288,8
ARAD-2017-467 113	19,83	19,96	17,75	17,55	20,52	22,64	348,7
ARAD-2017-467 114	18,28	18,05	15,55	15,21	20,86	23,61	375,9
ARAD-2017-467 115	16,71	16,03	13,33	12,90	17,81	19,12	369,7
ARAD-2017-467 116	13,18	13,85	12,95	12,86	16,46	18,27	238,8
ARAD-2017-467 117	19,60	19,15	16,92	16,57	22,35	25,46	389,0
ARAD-2017-467 118	19,79	18,97	15,81	13,49	22,05	24,19	342,7
ARAD-2017-467 119	17,71	18,55	15,32	15,40	22,62	25,16	338,3
ARAD-2017-467 120	18,53	18,86	15,27	13,97	22,35	25,41	303,6

**Realizado por:** Camacho A., Pucha G., 2018

En la muestra ARAD-2017-467-23 y ARAD-2017-467-27 el valor del Pb-214 para el foto pico de 351.9 KeV, no se identificó por lo que la actividad para estas muestras se estimó con el promedio de Pb-214 de energía 295.2 KeV y Bi-214 de energías de 609.3 y 1764.5 KeV.

La tasa de dosis absorbida en aire a 1m sobre el nivel del suelo se utiliza para describir situaciones de exposición a la población resultante de radionucleidos emisores rayos gamma. La dosis absorbida se calcula a partir de las concentraciones de actividades del  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$ , usando la siguiente expresión (Kardan, 2017):

**Ecuación 3-2:** Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma

$$D_{\gamma}(\text{nGy/h}) = (DCF_{Ra}A_{Ra} + DCF_{Th}A_{Th} + DCF_KA_K) \quad (12)$$

Donde,

- $D_{\gamma}$ , es la tasa dosis absorbida de rayos gamma a 1m sobre la superficie del suelo.
- $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$  y  $A_K$ , son las concentraciones de actividad en (Bq/kg) del  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$ , respectivamente.
- $DCF_{Ra}$ ,  $DCF_{Th}$ ,  $DCF_K$ , son factores de conversión de tasa de dosis absorbida en ((nGy/h) (Bq/kg)) para el  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$ , respectivamente, Sus valores son:

$$DCF_{Ra} = 0,462((\text{nGy/h})(\text{Bq/kg}))$$

$$DCF_{Th} = 0,604((\text{nGy/h})(\text{Bq/kg}))$$

$$DCF_K = 0,0417((\text{nGy/h})(\text{Bq/kg}))$$

La tasa de dosis efectiva anual externa e interna se encuentra a partir de la tasa de dosis absorbida en aire. Las siguientes expresiones son destinadas para el cálculo de la equivalente de dosis efectiva anual externa e interna (Kardan, 2017). La tasa de dosis efectiva anual total es la suma entre la tasa de dosis efectiva anual externa e interna

**Ecuación 4-2:** Tasa de dosis efectiva anual externa

$$ED_{Outdoor}(\text{mSv/y}) = D_{\gamma} \times DCF \times OF \times T$$

**Ecuación 5-2:** Tasa de dosis efectiva anual interna

$$ED_{Indoor}(\text{mSv/y}) = D_{\gamma} \times DCF \times IF \times T \times R_{io}$$

Donde,

- $ED_{Outdoor}$ : equivalente de dosis efectiva anual externa
- $ED_{Indoor}$ : equivalente de dosis efectiva anual interna

- $D_\gamma$ : tasa de dosis absorbida de rayos gamma
- $DCF$ : El factor utilizado para transformar las medidas de la dosis absorbida en el aire en dosis efectivas externas para adultos es de 0,7 Sv / Gy
- $OF$  y  $IF$ : factor ocupacional externo (0,2) e interno (0,8), respectivamente
- $Rio$ : relación entre la tasa de dosis gamma en el interior y en el exterior (1,4)
- $T$ : tiempo (8760 h/año)

Al obtener los resultados de actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$ , la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma y la dosis efectiva anual, se utilizó el paquete estadístico RStudio para presentar la estadística descriptiva y las gráficas correspondientes con sus límites mundiales (ver Capítulo III). Se aplicó también las librerías necesarias al programa estadístico para comprobar las diferencias significativas entre geologías. Inicialmente se cargó los datos de dosis absorbida al programa y se utilizó la librería *nortest* para comprobar la normalidad de los datos de dosis absorbida debido a emisores gamma mediante la ejecución de la prueba estadística de Anderson-Darling.

```

1 # CARGAR DATOS
2 getwd() # permite ver la ruta del archivo
3 dir() #visualizar el directorio
4 datos <- read.table("DOSIS.csv", header = T, sep = ";", dec = ".");datos
5 # la extensión .txt, es la extensión de tabla
6
7
8 table(datos$GEOLOGIA)
9 view(datos)
10
11 # Normalidad
12 library(nortest) # libreria cargada
13 ad.test(datos$D) # prueba de Anderson-Darlin
14
15 #Homogeneidad
16 library(car) # libreria cargada
17 leveneTest(datos$D ~ datos$SIMBOLOGIA) # prueba de Lenene
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

```

```

< table of extent 0 >
> library(nortest) # libreria cargada
> ad.test(datos$D) # prueba de Anderson-Darlin

Anderson-Darling normality test

data: datos$D
A = 3.6362, p-value = 3.952e-09

> library(car) # libreria cargada
> leveneTest(datos$D ~ datos$SIMBOLOGIA) # prueba de Lenene
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
  Df F value Pr(>F)
group 18  2.6731 0.0009984 ***
      101
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
>

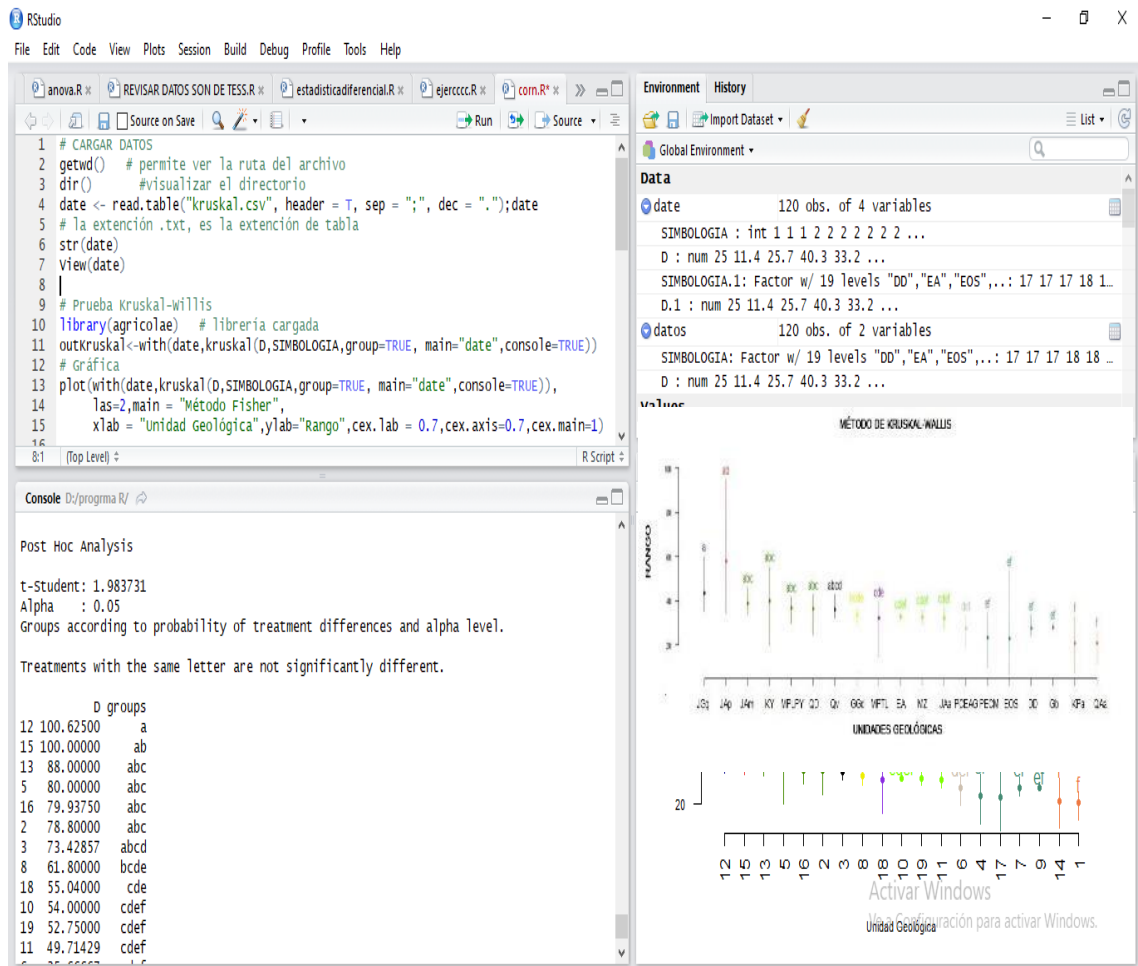
```

**Figura 5-2:** Código para la prueba de normalidad

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018



Al comprobar en la Tabla 40-3 que los datos de dosis no cumplen dos de los supuestos críticos para realizar el análisis de varianza (ANOVA), que comprueba si las muestras provienen de la misma población, sin embargo, se empleó el método no paramétrico de Kruskal-Willis para contrastar si las formaciones geológicas son significativamente diferentes, Para ello se cargó la librería *agricolae*.



**Figura 6-2:** Código para la prueba diferencias de medias

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Para mostrar los niveles de radiación de forma gráfica, se construyó mapas de radioactividad del suelo y radiación gamma en ArcGis (ver sección 3-4), ejecutando el método de la media ponderada por el inverso de la distancia (Inverse Distance Weighting) como herramienta de interpolación de superficie que hace predicciones a partir de mediciones de muestras. Los valores medidos más cercanos a la ubicación de predicción tienen más influencia que los valores predichos de los más alejados.

## CAPITULO III

### 3 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1 Identificación de radionucleidos

**Tabla 1-3:** Radionucleidos presentes en el suelo de la Provincia de Chimborazo

CÓDIGO	RADIONUCLEIDO												
	Pb 210	Pb 212	Pb 214	Th 234	Th 228	Ac 228	Ra 224	Ra 226	U 235	Tl 208	Bi 214	Bi 212	K 40
ARAD 2017 467 01		x	x	x	x	x		x	x	x	x		x
ARAD 2017 467 02	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 03		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 04		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 05		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 06		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 07		x	x			x				x	x	x	x
ARAD 2017 467 08		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 09		x	x	x		x			x	x	x		x
ARAD 2017 467 10		x	x	x	x	x		x	x	x	x		x
ARAD 2017 467 11	x	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 12		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 13		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 14		x	x	x		x			x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 15		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 16	x	x	x	x		x			x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 17	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 18	x	x	x			x			x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 19		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 20		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 21		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 22		x	x	x		x	x		x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 23	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 24	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 25	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 26		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 27		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 28		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 29		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 30	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 31		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 32		x	x	x		x			x	x	x	x	x

ARAD 2017 467 33		x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 34		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 35	x	x	x			x			x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 36		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 37		x	x	x		x	x		x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 38		x	x	x	x	x				x	x	x	x
ARAD 2017 467 39		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 40		x	x	x		x			x	x	x		x
ARAD 2017 467 41		x	x			x			x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 42		x	x	x		x			x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 43		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 44	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 45		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 46	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 47		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 48		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 49		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 50		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 51		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 52		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 53	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 54		x	x	x		x		x		x	x	x	x
ARAD 2017 467 55		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 56		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 57		x	x	x		x			x	x	x		x
ARAD 2017 467 58	x	x	x	x		x			x	x	x		x
ARAD 2017 467 59		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 60		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 61		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 62		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 63		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 64		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 65		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 66		x	x			x			x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 67		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 68		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 69		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 70		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 71		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 72	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 73		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 74		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 75		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 76		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 77	x	x	x			x		x	x	x	x	x	x

ARAD 2017 467 78		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 79		x	x			x		x	x	x	x		x
ARAD 2017 467 80		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 81		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 82	x	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 83		x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 84		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x
ARAD 2017 467 85		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 86		x	x			x	x		x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 87		x	x			x		x	x	x	x		x
ARAD 2017 467 88		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 89		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 90		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 91		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 92		x	x	x		x			x	x	x		x
ARAD 2017 467 93		x	x	x		x		x	x	x	x		x
ARAD 2017 467 94		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 95		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 96		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 97		x	x	x		x			x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 98		x	x	x		x			x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 99		x	x			x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 100	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 101		x	x	x		x			x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 102		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 103		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 104		x	x	x		x		x	x	x	x		
ARAD 2017 467 105		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 106	x	x	x	x		x		x	x	x	x		x
ARAD 2017 467 107		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 108		x	x	x		x		x	x	x	x		x
ARAD 2017 467 109	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 110		x	x	x		x		x	x	x	x		x
ARAD 2017 467 111		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 112		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 113		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 114		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 115	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 116		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 117		x	x	x		x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 118		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 119		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
ARAD 2017 467 120		x	x	x		x		x	x	x	x		x

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los radionucleidos identificados en el suelo de la Provincia de Chimborazo son:  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ , siendo los más frecuentes  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{228}\text{Ac}$  y  $^{40}\text{K}$ .

### 3.2 Actividad específica y exposición externa

**Tabla 2-3:** Actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$ , y exposición externa debido a los radionucleidos presentes en el suelo de la Provincia de Chimborazo

CÓDIGOS	ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)			MAGNITUDES DOSIMÉTRICAS			
	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	$D_\gamma$ (nGy/h)	$ED_{out\gamma}$ (mSv/año)	$ED_{ind\gamma}$ (mSv/año)	$ED_\gamma$ (mSv/año)
ARAD-2017-467 01	13,19	7,467	220,4	19,80	0,02400	0,1360	0,1600
ARAD-2017-467 02	19,65	24,85	393,7	40,50	0,05000	0,2780	0,3280
ARAD-2017-467 03	18,14	26,24	385,9	40,32	0,04900	0,2770	0,3260
ARAD-2017-467 04	14,90	21,26	306,0	32,49	0,04000	0,2230	0,2630
ARAD-2017-467 05	16,03	19,40	338,8	33,25	0,04100	0,2280	0,2690
ARAD-2017-467 06	13,92	24,08	315,7	34,14	0,04200	0,2340	0,2760
ARAD-2017-467 07	20,66	24,81	393,8	40,95	0,05000	0,2810	0,3310
ARAD-2017-467 08	21,32	24,77	402,2	41,59	0,05100	0,2860	0,3370
ARAD-2017-467 09	10,49	14,36	295,6	25,84	0,03200	0,1770	0,2090
ARAD-2017-467 10	5,980	9,363	190,4	16,36	0,02000	0,1120	0,1320
ARAD-2017-467 11	10,17	16,60	96,79	18,76	0,02300	0,1290	0,1520
ARAD-2017-467 12	25,91	34,55	645,0	59,73	0,07300	0,4100	0,4830
ARAD-2017-467 13	17,39	24,46	451,6	41,64	0,05100	0,2860	0,3370
ARAD-2017-467 14	15,86	20,61	257,7	30,53	0,03700	0,2100	0,2470
ARAD-2017-467 15	9,601	17,12	204,3	23,30	0,02900	0,1600	0,1890
ARAD-2017-467 16	4,524	13,53	77,85	13,51	0,01700	0,0930	0,1100
ARAD-2017-467 17	13,17	19,89	320,3	31,45	0,03900	0,2160	0,2550
ARAD-2017-467 18	11,68	17,58	214,9	24,98	0,03100	0,1720	0,2030
ARAD-2017-467 19	9,392	12,87	168,6	19,15	0,02300	0,1310	0,1540
ARAD-2017-467 20	15,88	22,12	290,1	32,80	0,04000	0,2250	0,2650
ARAD-2017-467 21	15,95	21,91	366,5	35,89	0,04400	0,2460	0,2900
ARAD-2017-467 22	14,75	21,53	335,5	33,81	0,04100	0,2320	0,2730
ARAD-2017-467 23	14,62	22,11	344,6	34,48	0,04200	0,2370	0,2790
ARAD-2017-467 24	17,41	28,16	325,0	38,61	0,04700	0,2650	0,3120
ARAD-2017-467 25	22,88	32,44	606,1	55,44	0,06800	0,3810	0,4490
ARAD-2017-467 26	15,81	22,41	418,7	38,30	0,04700	0,2630	0,3100
ARAD-2017-467 27	43,64	64,12	860,6	94,78	0,1160	0,6510	0,7670
ARAD-2017-467 28	12,07	15,83	251,9	25,64	0,03100	0,1760	0,2070
ARAD-2017-467 29	15,97	25,31	406,1	39,60	0,04900	0,2720	0,3210
ARAD-2017-467 30	11,04	22,58	166,5	25,68	0,03100	0,1760	0,2070
ARAD-2017-467 31	19,16	24,42	278,9	35,23	0,04300	0,2420	0,2850

ARAD-2017-467 32	17,81	24,63	358,6	38,06	0,04700	0,2610	0,3080
ARAD-2017-467 33	25,68	37,92	461,6	54,01	0,06600	0,3710	0,4370
ARAD-2017-467 34	22,07	27,46	295,6	39,11	0,04800	0,2690	0,3170
ARAD-2017-467 35	15,31	20,33	277,0	30,90	0,03800	0,2120	0,2500
ARAD-2017-467 36	13,75	22,72	313,3	33,14	0,04100	0,2280	0,2690
ARAD-2017-467 37	24,46	33,98	465,6	51,24	0,06300	0,3520	0,4150
ARAD-2017-467 38	11,15	16,48	342,2	29,38	0,03600	0,2020	0,2380
ARAD-2017-467 39	19,67	24,17	458,4	42,80	0,05200	0,2940	0,3460
ARAD-2017-467 40	3,392	6,593	101,8	9,800	0,01200	0,0670	0,0790
ARAD-2017-467 41	16,51	22,28	433,4	39,16	0,04800	0,2690	0,3170
ARAD-2017-467 42	9,505	16,14	318,3	27,41	0,03400	0,1880	0,2220
ARAD-2017-467 43	14,58	24,02	288,4	33,27	0,04100	0,2280	0,2690
ARAD-2017-467 44	14,75	18,97	240,5	28,30	0,03500	0,1940	0,2290
ARAD-2017-467 45	29,92	26,78	356,3	44,85	0,05500	0,3080	0,3630
ARAD-2017-467 46	11,35	17,77	198,7	24,26	0,03000	0,1670	0,1970
ARAD-2017-467 47	17,89	34,50	407,6	46,10	0,05700	0,3170	0,3740
ARAD-2017-467 48	16,52	23,45	283,8	33,63	0,04100	0,2310	0,2720
ARAD-2017-467 49	10,54	16,99	301,6	27,71	0,03400	0,1900	0,2240
ARAD-2017-467 50	8,101	9,153	133,0	14,82	0,01800	0,1020	0,1200
ARAD-2017-467 51	6,919	12,54	289,0	22,82	0,02800	0,1570	0,1850
ARAD-2017-467 52	14,55	21,72	246,3	30,11	0,03700	0,2070	0,2440
ARAD-2017-467 53	13,26	19,98	272,2	29,54	0,03600	0,2030	0,2390
ARAD-2017-467 54	11,77	19,63	229,7	26,87	0,03300	0,1850	0,2180
ARAD-2017-467 55	11,93	18,29	251,4	27,04	0,03300	0,1860	0,2190
ARAD-2017-467 56	10,67	16,24	272,1	26,08	0,03200	0,1790	0,2110
ARAD-2017-467 57	2,486	5,095	77,14	7,440	$9,0 \times 10^{-3}$	0,0510	0,0600
ARAD-2017-467 58	10,94	13,24	259,7	23,88	0,02900	0,1640	0,1930
ARAD-2017-467 59	20,89	34,08	263,2	41,21	0,05100	0,2830	0,3340
ARAD-2017-467 60	25,13	36,79	468,4	53,36	0,06500	0,3660	0,4310
ARAD-2017-467 61	14,82	23,22	388,7	37,08	0,04500	0,2550	0,3000
ARAD-2017-467 62	13,55	22,07	237,5	29,49	0,03600	0,2030	0,2390
ARAD-2017-467 63	16,18	19,21	337,8	33,16	0,04100	0,2280	0,2690
ARAD-2017-467 64	18,06	21,40	367,1	36,58	0,04500	0,2510	0,2960
ARAD-2017-467 65	16,28	22,08	354,6	35,65	0,04400	0,2450	0,2890
ARAD-2017-467 66	15,07	19,23	326,9	32,21	0,04000	0,2210	0,2610
ARAD-2017-467 67	20,08	26,16	422,3	42,68	0,05200	0,2930	0,3450
ARAD-2017-467 68	17,76	21,59	358,9	36,21	0,04400	0,2490	0,2930
ARAD-2017-467 69	15,65	22,60	388,0	37,06	0,04500	0,2550	0,3000
ARAD-2017-467 70	14,92	23,07	360,6	35,86	0,04400	0,2460	0,2900
ARAD-2017-467 71	17,27	23,03	425,4	39,63	0,04900	0,2720	0,3210
ARAD-2017-467 72	13,64	21,78	286,6	31,40	0,03900	0,2160	0,2550
ARAD-2017-467 73	16,06	23,05	366,3	36,62	0,04500	0,2520	0,2970
ARAD-2017-467 74	13,86	23,35	229,5	30,08	0,03700	0,2070	0,2440
ARAD-2017-467 75	15,84	21,74	335,2	34,42	0,04200	0,2360	0,2780
ARAD-2017-467 76	17,66	25,26	329,6	37,16	0,04600	0,2550	0,3010

ARAD-2017-467 77	17,67	24,19	390,7	39,07	0,04800	0,2680	0,3160
ARAD-2017-467 78	13,61	19,91	255,9	28,98	0,03600	0,1990	0,2350
ARAD-2017-467 79	15,94	25,52	203,7	31,27	0,03800	0,2150	0,2530
ARAD-2017-467 80	19,80	24,58	364,4	39,19	0,04800	0,2690	0,3170
ARAD-2017-467 81	18,81	21,00	346,9	35,84	0,04400	0,2460	0,2900
ARAD-2017-467 82	16,67	17,59	290,7	30,45	0,03700	0,2090	0,2460
ARAD-2017-467 83	16,23	22,76	289,6	33,32	0,04100	0,2290	0,2700
ARAD-2017-467 84	19,23	22,96	443,1	41,23	0,05100	0,2830	0,3340
ARAD-2017-467 85	17,81	24,35	433,7	41,02	0,05000	0,2820	0,3320
ARAD-2017-467 86	17,42	24,57	366,9	38,19	0,04700	0,2620	0,3090
ARAD-2017-467 87	14,38	22,48	277,3	31,78	0,03900	0,2180	0,2570
ARAD-2017-467 88	13,79	22,79	253,4	30,70	0,03800	0,2110	0,2490
ARAD-2017-467 89	18,86	21,66	333,9	35,72	0,04400	0,2450	0,2890
ARAD-2017-467 90	17,13	23,69	419,8	39,73	0,04900	0,2730	0,3220
ARAD-2017-467 91	12,76	19,08	338,4	31,53	0,03900	0,2170	0,2560
ARAD-2017-467 92	13,02	18,93	241,7	27,53	0,03400	0,1890	0,2230
ARAD-2017-467 93	15,06	23,03	347,4	35,35	0,04300	0,2430	0,2860
ARAD-2017-467 94	17,72	23,97	404,5	39,53	0,04800	0,2710	0,3190
ARAD-2017-467 95	15,23	23,39	341,5	35,41	0,04300	0,2430	0,2860
ARAD-2017-467 96	15,94	19,93	338,0	33,50	0,04100	0,2300	0,2710
ARAD-2017-467 97	16,25	19,06	316,8	32,23	0,04000	0,2210	0,2610
ARAD-2017-467 98	13,87	20,18	275,0	30,06	0,03700	0,2060	0,2430
ARAD-2017-467 99	14,93	19,67	264,9	29,83	0,03700	0,2050	0,2420
ARAD-2017-467 100	15,93	24,58	301,6	34,78	0,04300	0,2390	0,2820
ARAD-2017-467 101	18,56	21,02	301,1	33,83	0,04100	0,2320	0,2730
ARAD-2017-467 102	20,54	24,90	377,2	40,26	0,04900	0,2760	0,3250
ARAD-2017-467 103	15,59	23,77	264,5	32,59	0,04000	0,2240	0,2640
ARAD-2017-467 104	15,05	19,97	322,6	32,47	0,04000	0,2230	0,2630
ARAD-2017-467 105	14,64	21,06	317,0	32,71	0,04000	0,2250	0,2650
ARAD-2017-467 106	14,94	18,77	339,1	32,38	0,04000	0,2220	0,2620
ARAD-2017-467 107	10,77	15,58	261,3	25,28	0,03100	0,1740	0,2050
ARAD-2017-467 108	3,116	3,627	110,8	8,250	0,01000	0,0570	0,0670
ARAD-2017-467 109	3,055	4,533	53,19	6,370	8,0x10 <sup>-3</sup>	0,0440	0,0520
ARAD-2017-467 110	17,61	21,95	288,5	33,42	0,04100	0,2300	0,2710
ARAD-2017-467 111	15,77	24,76	286,1	34,17	0,04200	0,2350	0,2770
ARAD-2017-467 112	11,63	18,44	288,8	28,55	0,03500	0,1960	0,23100
ARAD-2017-467 113	18,77	21,58	348,7	36,25	0,04400	0,2490	0,2930
ARAD-2017-467 114	16,77	22,23	375,9	36,85	0,04500	0,2530	0,2980
ARAD-2017-467 115	14,74	18,47	369,7	33,38	0,04100	0,2290	0,2700
ARAD-2017-467 116	13,21	17,37	238,8	26,55	0,03300	0,1820	0,2150
ARAD-2017-467 117	18,06	23,90	389,0	39,00	0,04800	0,2680	0,3160
ARAD-2017-467 118	17,02	23,12	342,7	36,12	0,04400	0,2480	0,2920
ARAD-2017-467 119	16,75	23,89	338,3	36,27	0,04400	0,2490	0,2930
ARAD-2017-467 120	16,66	23,88	303,6	34,78	0,04300	0,2390	0,2820

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

A continuación, se muestra un análisis estadístico de los datos de la tabla 2-3

**Tabla 3-3:** Estadística Descriptiva de actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$ , y las magnitudes de exposición externa de las muestras analizadas del suelo de la Provincia de Chimborazo.

Estadística Descriptiva	ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)			MAGNITUDES DOSIMÉTRICAS			
	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	$D_\gamma$ (nGy/h)	$ED_{out\gamma}$ (mSv/año)	$ED_{ind\gamma}$ (mSv/año)	$ED_\gamma$ (mSv/año)
<b>Promedio estudio</b>	15,51	21,67	318,9	33,55	0,04115	0,2304	0,2716
<b>Mediana</b>	15,79	22,07	319,3	33,46	0,04100	0,2298	0,2708
<b>Desviación estándar</b>	5,219	6,971	106,9	10,48	0,01282	0,07196	0,08478
<b>Mínimo</b>	2,486	3,627	53,19	6,370	$8,0 \times 10^{-3}$	0,04400	0,05200
<b>Máximo</b>	43,64	64,12	860,6	94,78	0,1160	0,6510	0,7670
<b>Promedio Mundial</b>	<b>35,00</b>	<b>30,00</b>	<b>400,0</b>	<b>59,00</b>	<b>0,07000</b>	<b>0,4100</b>	<b>0,4800</b>

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los resultados obtenidos en el tratamiento estadístico descriptivo dieron promedios de  $15,51 \pm 0,4764$  Bq/kg para el  $^{226}\text{Ra}$  (55,69% por debajo del promedio mundial),  $21,67 \pm 0,6363$  Bq/kg para el  $^{232}\text{Th}$  (27,77% por debajo del promedio mundial) y  $318,9 \pm 9,759$  Bq/kg para el  $^{40}\text{K}$  (20,28% por debajo del promedio mundial),  $33,55 \pm 0,9567$  nGy/h para dosis absorbida debido a emisores gamma ( $D_\gamma$ ) (43,14% debajo del promedio mundial),  $0,04115 \pm 1,2 \times 10^{-3}$  mSv/año para la dosis efectiva anual externa gamma ( $ED_{out\gamma}$ ) (41,21% debajo del promedio mundial),  $0,2304 \pm 6,6 \times 10^{-3}$  mSv/año para la dosis efectiva anual interna gamma ( $ED_{ind\gamma}$ ) (50,98% debajo del promedio mundial) y  $0,2716 \pm 7,7 \times 10^{-3}$  mSv/año para la dosis efectiva anual gamma total ( $ED_\gamma$ ) (43,42% debajo del promedio mundial).

### 3.2.1 Actividad específica de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo

**Tabla 4-3:** Actividad específica de la geología Depósito de Abanico aluvial (QAa, Cantos Rodados Poliliticos)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$A_{e\text{Ra-226}}$	$A_{e\text{Th-232}}$	$A_{e\text{K-40}}$
ARAD-2017-467 18	Cumanda	697966	9756380	11,68	17,58	214,9
ARAD-2017-467 19	Cumanda	705651	9755956	9,392	12,87	168,6
ARAD-2017-467 30	Cumanda	702015	9756606	11,04	22,58	166,5



<b>Estadística Descriptiva</b>	<b>Media</b>	10,71	17,68	183,3
	<b>Mediana</b>	11,04	17,58	168,6
	<b>Desviación estándar</b>	1,180	4,856	27,36
	<b>Mínimo</b>	9,392	12,87	166,5
	<b>Máximo</b>	11,68	22,58	214,9

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

El promedio de actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$  es 10,71 Bq/kg (69,40% por debajo de la media mundial), del  $^{232}\text{Th}$  es 17,68 Bq/kg (41,07% por debajo de la media mundial) y del  $^{40}\text{K}$  es 183,3 Bq/kg (54,18% por debajo de la media mundial). Los promedios de actividad específica en la geología Depósito de Abanico aluvial no sobrepasan los promedios mundiales de concentración.

**Tabla 5-3:** Actividad específica de la geología Facie Distal (QD, Piroclastos primarios)

<b>CÓDIGOS</b>	<b>LUGAR</b>	<b>COORDENADAS</b>		<b>ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)</b>		
		<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>A<sub>eRa-226</sub></b>	<b>A<sub>eTh-232</sub></b>	<b>A<sub>eK-40</sub></b>
ARAD-2017-467 03	Colta	755455	9794185	18,14	26,24	385,9
ARAD-2017-467 05	Riobamba	763451	9815987	16,03	19,40	338,8
ARAD-2017-467 39	Guamote	751268	9772424	19,67	24,17	458,4
ARAD-2017-467 46	Colta	744855	9806116	11,35	17,77	198,7
ARAD-2017-467 62	Chambo	769979	9805487	13,55	22,07	237,5
ARAD-2017-467 69	Guamote	749131	9781968	15,65	22,60	388,0
ARAD-2017-467 71	Guamote	752068	9779603	17,27	23,03	425,4
ARAD-2017-467 84	Guamote	755399	9777570	19,23	22,96	443,1
ARAD-2017-467 85	Guamote	745224	9772673	17,81	24,35	433,7
ARAD-2017-467 86	Riobamba	764642	9812187	17,42	24,57	366,9
ARAD-2017-467 90	Guamote	748306	9775903	17,13	23,69	419,8
ARAD-2017-467 96	Riobamba	755516	9822053	15,94	19,93	338,0
ARAD-2017-467 103	Riobamba	737780	9831740	15,59	23,77	264,5
ARAD-2017-467 113	Riobamba	753505	9820803	18,77	21,58	349,0
ARAD-2017-467 119	Riobamba	763067	9798735	16,75	23,89	338,3
<b>Estadística Descriptiva</b>	<b>Media</b>		16,69	22,67	359,1	
	<b>Mediana</b>		17,13	23,03	366,9	
	<b>Desviación estándar</b>		2,167	2,222	77,01	
	<b>Mínimo</b>		11,35	17,77	198,7	
	<b>Máximo</b>		19,67	26,24	458,4	

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los datos de radioactividad del suelo de la geología Facie Distal se presentan en la tabla 5-3, las muestras ARAD-2017-467 39, ARAD-2017-467 71, ARAD-2017-467 84, ARAD-2017-467 85 y ARAD-2017-467 90 sobrepasan 14,59%, 6,35%, 10,78%, 8,44% y 4,96%, respectivamente el promedio mundial de K-40. En el análisis estadístico de actividad específica de los radionucleidos en estudio se obtuvo promedios de 16,69 Bq/kg (52,31% por debajo de la media mundial) para el

$^{226}\text{Ra}$ , 22,67 Bq/kg (24,43% por debajo de la media mundial) para el  $^{232}\text{Th}$  y 359,1 Bq/kg (10,23% por debajo de la media mundial) para el  $^{40}\text{K}$ . Los promedios de concentración de los principales radionucleidos en la geología Facie Distal no sobrepasan los promedios mundiales de concentración.

**Tabla 6-3:** Actividad específica de la geología Facie volcanosedimentaria (Qv, Areniscas tobáceas)

CÓDIGOS	GEOLOGIA	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	AeRa-226	AeTh-232	AeK-40
ARAD-2017-467 63	Guano	767255	9825872	16,18	19,21	337,8
ARAD-2017-467 66	Guano	767997	9828071	15,07	19,23	326,9
ARAD-2017-467 67	Guano	761939	9823286	20,08	26,16	422,3
ARAD-2017-467 68	Guano	756220	9826711	17,76	21,59	358,9
ARAD-2017-467 80	Guano	755046	9827909	19,80	24,58	364,4
ARAD-2017-467 81	Guano	750214	9830736	18,81	21,00	346,9
ARAD-2017-467 104	Riobamba	737808	9835851	15,05	19,97	322,6
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		17,54	21,68	354,3
		<b>Mediana</b>		17,76	21,00	346,9
		<b>Desviación estándar</b>		2,136	2,707	33,74
		<b>Mínimo</b>		15,05	19,21	322,6
		<b>Máximo</b>		20,08	26,16	422,3

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

La muestra ARAD-2017-467 67 sobrepasa 5,575% el promedio mundial de  $^{40}\text{K}$ . En el análisis estadístico descriptivo, la actividad específica de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$  varía de 15,05 a 20,08, 19,21 a 26,16 y 322,6 a 422,3 Bq/kg, respectivamente. El promedio de actividad específica para el  $^{226}\text{Ra}$  es 17,54 Bq/kg (49,89% bajo de la media mundial), para el  $^{232}\text{Th}$  es 21,68 Bq/kg (27,73% bajo de la media mundial) y para el  $^{40}\text{K}$  es 354,3 Bq/kg (11,43% bajo de la media mundial). La actividad de la geología Facie volcanosedimentaria no sobrepasan los promedios mundiales.

**Tabla 7-3:** Actividad específica de la geología Fm. Macuchi (PECM, Volcanosedimentos)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	AeRa-226	AeTh-232	AeK-40
ARAD-2017-467 09	Colta	722301	9802913	10,49	14,36	295,6
ARAD-2017-467 40	Colta	723964	9788271	3,392	6,593	101,8
ARAD-2017-467 120	Pallatanga	721791	9773602	16,66	23,88	303,6
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		10,18	14,94	233,7
		<b>Mediana</b>		10,49	14,36	295,6
		<b>Desviación estándar</b>		6,639	8,658	114,3
		<b>Mínimo</b>		3,392	6,593	101,8
		<b>Máximo</b>		16,66	23,88	303,6

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los datos de concentración de radionucleidos de la geología Fm. Macuchi presentados en la Tabla 7-3 no sobrepasan los promedios mundiales. El promedio  $A_{eRa-226}$  es 10,18 Bq/kg (70,91% por debajo de la media mundial), el promedio del  $A_{eTh-232}$  es 14,94 Bq/kg (50,20% por debajo de la media mundial) y el promedio del  $A_{eK-40}$  es 233,7 Bq/kg (41,58% por debajo de la media mundial).

**Tabla 8-3:** Actividad específica de la geología Fm. Yunguilla (FY, Lutitas y Calizas)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$A_{eRa-226}$	$A_{eTh-232}$	$A_{eK-40}$
ARAD-2017-467 01	Colta	731188	9790624	13,19	7,467	220,4
ARAD-2017-467 02	Colta	735101	9799612	19,65	24,85	393,7
ARAD-2017-467 20	Alausi	724785	9767799	15,88	22,12	290,1
ARAD-2017-467 25	Pallatanga	726140	9781224	22,88	32,44	606,1
ARAD-2017-467 37	Colta	739084	9803992	24,46	33,98	465,6
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		19,21	24,17	395,2
		<b>Mediana</b>		19,65	24,85	393,7
		<b>Desviación estándar</b>		4,705	10,59	150,9
		<b>Mínimo</b>		13,19	7,467	220,4
		<b>Máximo</b>		24,46	33,98	606,1

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

El promedio de actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$  es 19,21 Bq/kg (45,11% por debajo de la media mundial), para el  $^{232}\text{Th}$  es 24,17 Bq/kg (19,43% por debajo de la media mundial) y para el  $^{40}\text{K}$  es 395,1 Bq/kg (1,225% por debajo de la media mundial). Los promedios de actividad específica no sobrepasan los promedios mundiales de concentración. Sin embargo, la muestras ARAD-2017-467 25 y ARAD-2017-467 37 sobrepasan el 8,133% y 13,27%, respectivamente el promedio mundial del  $A_{eTh-232}$ , además sobrepasan 51,53% y 16,40% el promedio mundial del  $A_{eK-40}$

**Tabla 9-3:** Actividad específica de la geología Grupo Angamarca (PCEAG, Limolitas y lutitas)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$A_{eRa-226}$	$A_{eTh-232}$	$A_{eK-40}$
ARAD-2017-467 11	Cumanda	709603	9754522	10,17	16,60	96,79
ARAD-2017-467 88	Riobamba	737546	9821679	13,79	22,79	253,4
ARAD-2017-467 115	Alausi	720695	9767138	14,74	18,47	369,7
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		12,90	19,29	240,0
		<b>Mediana</b>		13,79	18,47	253,4
		<b>Desviación estándar</b>		2,411	3,175	137,0
		<b>Mínimo</b>		10,17	16,60	96,79
		<b>Máximo</b>		14,74	22,79	369,7

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

La actividad específica de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$  está dentro del rango de 10,17 a 14,74, 16,60 a 22,79 y 96,79 a 369,7 Bq/kg, respectivamente. Los promedios de actividad específica de los radionucleidos son 12,90 Bq/kg para el  $^{226}\text{Ra}$  (63,14% por debajo de la media mundial), 19,29 Bq/kg para el  $^{232}\text{Th}$  (35,70% por debajo de la media mundial) y 240,0 Bq/kg para el  $^{40}\text{K}$  (40,00% por debajo de la media mundial). Los promedios de actividad específica en la geología Grupo Angamarca no sobrepasan los promedios mundiales de concentración.

**Tabla 10-3:** Actividad específica de la geología Rocas Intrusivas 1 (DD, Diorita)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	AeRa-226	AeTh-232	AeK-40
ARAD-2017-467 44	Alausi	718578	9742159	14,75	18,97	240,5
ARAD-2017-467 58	Alausi	718503	9742380	10,94	13,24	259,7
ARAD-2017-467 107	Pallatanga	726703	9776040	10,77	15,58	261,3
ARAD-2017-467 110	Pallatanga	726562	9777063	17,61	21,95	288,5
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		13,52	17,44	262,5
		<b>Mediana</b>		12,85	17,28	260,5
		<b>Desviación estándar</b>		3,289	3,820	19,77
		<b>Mínimo</b>		10,77	13,24	240,5
		<b>Máximo</b>		17,61	21,95	288,5

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

El promedio de actividad específica es 13,52 Bq/kg (61,37% por debajo de la media mundial) para el  $^{226}\text{Ra}$ , 17,44 Bq/kg (41,87% por debajo de la media mundial) para el  $^{232}\text{Th}$  y 262,5 Bq/kg (34,38% por debajo de la media mundial) para el  $^{40}\text{K}$ . Los promedios de actividad específica en la geología Rocas Intrusivas 1 no sobrepasan los promedios mundiales de concentración,

**Tabla 11-3:** Actividad específica de la geología Rocas Intrusivas 2 (GGd, Granodiorita)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	AeRa-226	AeTh-232	AeK-40
ARAD-2017-467 76	Riobamba	768533	9796077	17,66	25,26	329,6
ARAD-2017-467 78	Riobamba	777038	9792746	13,61	19,91	255,9
ARAD-2017-467 79	Riobamba	768669	9801472	15,94	25,52	203,7
ARAD-2017-467 111	Riobamba	768003	9799022	15,77	24,76	286,1
ARAD-2017-467 114	Riobamba	764989	9807119	16,77	22,23	375,9
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		15,95	23,54	290,2
		<b>Mediana</b>		15,94	24,76	286,1
		<b>Desviación estándar</b>		1,509	2,411	66,28
		<b>Mínimo</b>		13,61	19,91	203,7
		<b>Máximo</b>		17,66	25,52	375,9

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

En el análisis estadístico descriptivo obtenido, la actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$ , varían de 13,61 a 17,66, 19,91 a 25,52 y 203,7 a 375,9 Bq/kg, respectivamente. El promedio de actividad específica para el  $^{226}\text{Ra}$  es 15,95Bq/kg (54,43% por debajo de la media mundial), para el  $^{232}\text{Th}$  es 23,54 Bq/kg (21,53% por debajo de la media mundial) y para el  $^{40}\text{K}$  es 290,2 Bq/kg (27,45% por debajo de la media mundial).

**Tabla 12-3:** Actividad específica de la geología Rocas Intrusivas 3 (Gb, Grabo)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	A <sub>eRa-226</sub>	A <sub>eTh-232</sub>	A <sub>eK-40</sub>
ARAD-2017-467 53	Alausi	768530	9750400	13,26	19,98	272,2
ARAD-2017-467 54	Alausi	768534	9750432	11,77	19,63	229,7
ARAD-2017-467 55	Alausi	768568	9750450	11,93	18,29	251,4
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		12,32	19,30	251,1
		<b>Mediana</b>		11,93	19,63	251,4
		<b>Desviación estándar</b>		0,8180	0,8920	21,25
		<b>Mínimo</b>		11,77	18,29	229,7
		<b>Máximo</b>		13,26	19,98	272,2

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los datos de actividad específica en la geología Rocas Intrusivas 3 no sobrepasan los promedios mundiales de concentración. Los promedios de actividad específica de los radionucleidos obtenidos son 12,32 Bq/kg (64,80% por debajo de la media mundial) para el  $^{226}\text{Ra}$ , 19,30 Bq/kg (35,67% por debajo de la media mundial) para el  $^{232}\text{Th}$  y 251,1 Bq/kg (37,23% por debajo de la media mundial) para el  $^{40}\text{K}$ .

**Tabla 13-3:** Actividad específica de la geología Sedimentos Apagua (EA, Lutitas y Grauvacas)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	A <sub>eRa-226</sub>	A <sub>eTh-232</sub>	A <sub>eK-40</sub>
ARAD-2017-467 17	Colta	733268	9799439	13,17	19,89	320,3
ARAD-2017-467 23	Pallatanga	724119	9773805	14,62	22,11	344,6
ARAD-2017-467 43	Pallatanga	724601	9785223	14,58	24,02	288,4
ARAD-2017-467 106	Pallatanga	723262	9774074	14,94	18,77	339,1
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		14,33	21,20	323,1
		<b>Mediana</b>		14,60	21,00	329,7
		<b>Desviación estándar</b>		0,7883	2,338	25,37
		<b>Mínimo</b>		13,17	18,77	288,4
		<b>Máximo</b>		14,94	24,02	344,6

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

En la tabla 13-3 se muestran los datos de posicionamiento de las muestras analizadas, la actividad específica y el análisis estadístico descriptivo de los radionucleidos en estudio de la geología Sedimentos Apagua, la actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$  varían de 13,17 a 14,94, 18,77 a 24,02 y 288,4 a 344,6 Bq/kg, respectivamente. El promedio de actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$  es 14,33 Bq/kg (59,06% por debajo de la media mundial), del  $^{232}\text{Th}$  es 21,20 Bq/kg (29,33% por debajo de la media mundial) y del  $^{40}\text{K}$  es 323,1 Bq/kg (19,23% por debajo de la media mundial).

Los promedios de actividad específica en la geología Sedimentos Apagua no sobrepasan los promedios mundiales de concentración.

**Tabla 14-3:** Actividad específica de la geología Unidad Alao-Paute (JAa, Metalavas básicas)

CÓDIGOS	GEOLOGIA	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	A <sub>e</sub> Ra-226	A <sub>e</sub> Th-232	A <sub>e</sub> K-40
ARAD-2017-467 73	Riobamba	780249	9791990	16,06	23,05	366,3
ARAD-2017-467 74	Riobamba	782663	9791856	13,86	23,35	229,5
ARAD-2017-467 82	Penipe	781531	9828365	16,67	17,59	290,7
ARAD-2017-467 87	Riobamba	779181	9792015	14,38	22,48	277,3
ARAD-2017-467 89	Penipe	781224	9829006	18,86	21,66	333,9
ARAD-2017-467 92	Riobamba	781979	9791513	13,02	18,93	241,7
ARAD-2017-467 97	Riobamba	778378	9792155	16,25	19,06	316,8
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		15,59	20,87	293,7
		<b>Mediana</b>		16,06	21,66	290,7
		<b>Desviación estándar</b>		1,982	2,306	49,20
		<b>Mínimo</b>		13,02	17,59	229,5
		<b>Máximo</b>		18,86	23,35	366,3

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los datos de radioactividad del suelo de la geología Unidad Alao-Paute presentados en la tabla 14-3 no sobrepasan los promedios mundiales de concentración. En el análisis estadístico descriptivo, la actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$  varía de 13,02 a 18,86 Bq/kg, del  $^{232}\text{Th}$  varía de 17,59 a 23,35 Bq/kg y del  $^{40}\text{K}$  varía de 229,46 a 366,32 Bq/kg. El promedio de actividad específica es 15,59 Bq/kg (55,46% por debajo de la media mundial) para el  $^{226}\text{Ra}$ , 20,87 Bq/kg (30,43% por debajo de la media mundial) para el  $^{232}\text{Th}$  y 293,7 Bq/kg (26,58% por debajo de la media mundial) para el  $^{40}\text{K}$ .

**Tabla 15-3:** Actividad específica de la geología Unidad Guasuntos (JGg, Pizarras y cuarcitas)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	A <sub>e</sub> Ra-226	A <sub>e</sub> Th-232	A <sub>e</sub> K-40
ARAD-2017-467 12	Guamote	763127	9792158	25,91	34,55	645,0
ARAD-2017-467 13	Guamote	762740	9785598	17,39	24,46	451,6
ARAD-2017-467 26	Guamote	763990	9776560	15,81	22,41	418,7
ARAD-2017-467 33	Alausi	744492	9752667	25,68	37,92	461,6
ARAD-2017-467 41	Guamote	756079	9785162	16,51	22,28	433,4
ARAD-2017-467 59	Alausi	749098	9747171	20,89	34,08	263,2
ARAD-2017-467 93	Alausi	756314	9761788	15,06	23,03	347,4
ARAD-2017-467 117	Riobamba	760912	9807878	18,06	23,90	389,0
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		19,41	27,83	426,2
		<b>Mediana</b>		17,73	24,18	426,1
		<b>Desviación estándar</b>		4,309	6,503	109,6
		<b>Mínimo</b>		15,06	22,28	263,2
		<b>Máximo</b>		25,91	37,92	645,0

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los promedios de actividad específica son 19,41 Bq/kg (44,54% por debajo de la media mundial) para el <sup>226</sup>Ra, 27,83 Bq/kg (7,233% por debajo de la media mundial) para el <sup>232</sup>Th y 426,2 Bq/kg (6,550% por encima de la media mundial) para el <sup>40</sup>K. Solo el promedio de actividad específica del <sup>40</sup>K sobrepasa en 6,550% la concentración mundial. No obstante, las muestras ARAD-2017-467 12, ARAD-2017-467 33 y ARAD-2017-467 59 sobrepasan el 15,17%, 26,40% y 13,60%, respectivamente el promedio mundial de <sup>232</sup>Th, las muestras ARAD-2017-467 12, ARAD-2017-467 13, ARAD-2017-467 26, ARAD-2017-467 33 y ARAD-2017-467 41 sobrepasan el 61,25%, 12,90%, 4,675%, 15,40% y 8,350%, respectivamente el promedio mundial de <sup>40</sup>K.

**Tabla 16-3:** Actividad específica de la geología Unidad Maguazo (JAm, Metagrauvas y metalavas)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	A <sub>e</sub> Ra-226	A <sub>e</sub> Th-232	A <sub>e</sub> K-40
ARAD-2017-467 22	Guamote	767108	9768026	14,75	21,53	335,5
ARAD-2017-467 47	Alausi	757053	9747761	17,89	34,50	407,6
ARAD-2017-467 61	Riobamba	774471	9792967	14,82	23,22	388,7
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		15,82	26,42	377,3
		<b>Mediana</b>		14,82	23,42	388,7
		<b>Desviación estándar</b>		1,793	7,051	37,40
		<b>Mínimo</b>		14,75	21,53	335,5
		<b>Máximo</b>		17,89	34,50	407,6

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

El promedio de actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$  es 15,82 Bq/kg (54,80% por debajo de la media mundial), del  $^{232}\text{Th}$  es 26,42 Bq/kg (11,93% por debajo de la media mundial) y del  $^{40}\text{K}$  es 377,3 Bq/kg (5,675% por debajo de la media mundial). Los promedios de actividad específica en la geología Unidad Maguazo no sobrepasan los promedios mundiales de concentración. Únicamente las muestra ARAD-2017-467 47 sobrepasa el 15,00% y 1,900% el promedio mundial del  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$ , respectivamente.

**Tabla 17-3:** Actividad específica de la geología Unidad Pallatanga (KPa, Basaltos)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$A_{e\text{Ra-226}}$	$A_{e\text{Th-232}}$	$A_{e\text{K-40}}$
ARAD-2017-467 10	Colta	724338	9794265	5,980	9,363	190,4
ARAD-2017-467 57	Pallatanga	731993	9784323	2,486	5,095	77,14
ARAD-2017-467 105	Riobamba	734582	9823116	14,64	21,06	317,0
ARAD-2017-467 116	Colta	734059	9791838	13,21	17,37	238,8
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		9,079	13,22	205,8
		<b>Mediana</b>		9,595	13,37	214,6
		<b>Desviación estándar</b>		5,804	7,293	100,4
		<b>Mínimo</b>		2,486	5,095	77,14
		<b>Máximo</b>		14,64	21,06	317,0

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los promedios de actividad específica de los principales radionucleidos obtenidos son 9,079 Bq/kg (74,06% por debajo de la media mundial) para el  $^{226}\text{Ra}$ , 13,22 Bq/kg (55,93% por debajo de la media mundial) para el  $^{232}\text{Th}$  y 205,8 Bq/kg (48,55% por debajo de la media mundial) para el  $^{40}\text{K}$ .

**Tabla 18-3:** Actividad específica de la geología Unidad Peltetec (JAp, Serpentinias y basaltos)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$A_{e\text{Ra-226}}$	$A_{e\text{Th-232}}$	$A_{e\text{K-40}}$
ARAD-2017-467 27	Guamote	765038	9772711	43,64	64,12	860,6
ARAD-2017-467 45	Alausi	755891	9749001	29,92	26,78	356,3
ARAD-2017-467 75	Riobamba	772150	9794147	15,84	21,74	335,2
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		29,80	37,55	517,4
		<b>Mediana</b>		29,92	26,78	356,3
		<b>Desviación estándar</b>		13,90	23,15	297,44
		<b>Mínimo</b>		15,84	21,74	335,2
		<b>Máximo</b>		43,64	64,12	860,6

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018



La muestra ARAD-2017-467 27 de la geología Unidad Peltetec sobrepasa el 24,69%, 113,7% y 115,2% el promedio mundial del  $A_{eRa-226}$ ,  $A_{eTh-232}$  y  $A_{eK-40}$ , respectivamente. En el análisis estadístico descriptivo muestra que actividad específica del  $^{226}Ra$  varía 15,84 a 43,64 Bq/kg, el  $^{232}Th$  está dentro del rango 21,74-64,12 Bq/kg y  $^{40}K$  varía de 335,2 a 860,6 Bq/kg. El promedios de actividad específica para el  $^{226}Ra$  es 29,80 Bq/kg (14,86% por debajo de la media mundial), para el  $^{232}Th$  es 37,55 Bq/kg (25,17% por encima de la media mundial) y para el  $^{40}K$  es 517,4 Bq/kg (29,35% por encima de la media mundial). Los promedios de actividad específica en la geología Unidad Peltetec sobrepasan los promedios mundiales de concentración a excepción del  $^{226}Ra$ .

**Tabla 19-3:** Actividad específica de la geología Volcánicos Pisayambo (MPLPY, Andesitas a riolitas)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$A_{eRa-226}$	$A_{eTh-232}$	$A_{eK-40}$
ARAD-2017-467 07	Penipe	776899	9835038	20,66	24,81	393,8
ARAD-2017-467 08	Penipe	776782	9836623	21,32	24,77	402,2
ARAD-2017-467 64	Guano	773588	9827847	18,06	21,40	367,1
ARAD-2017-467 65	Penipe	777859	9828296	16,28	22,08	354,6
ARAD-2017-467 99	Chambo	772519	9806108	14,93	19,67	264,9
ARAD-2017-467 100	Chambo	772560	9801875	15,93	24,58	301,6
ARAD-2017-467 101	Penipe	777606	9826850	18,56	21,02	301,1
ARAD-2017-467 102	Riobamba	770452	9811696	20,54	24,90	377,2
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		18,29	22,90	345,3
		<b>Mediana</b>		18,31	23,33	360,9
		<b>Desviación estándar</b>		2,417	2,010	50,00
		<b>Mínimo</b>		14,93	19,67	264,9
		<b>Máximo</b>		21,32	24,90	402,2

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

La muestra ARAD-2017-467 08 sobrepasa 0,550% el promedio mundial del  $^{40}K$ . Los valores obtenidos en el análisis estadístico descriptivo de la actividad específica en la geología Volcánicos Pisayambo son; el  $^{226}Ra$ ,  $^{232}Th$  y  $^{40}K$  se encuentran dentro del intervalo de 14,93 a 21,32, 19,67 a 24,90 y 264,9 a 402,2Bq/kg, respectivamente. Los promedios de actividad específica de los principales radionucleidos obtenidos son 18,29 Bq/kg (47,74% por debajo de la media mundial) para el  $^{226}Ra$ , 22,90 Bq/kg (23,67% por debajo de la media mundial) para el  $^{232}Th$  y 345,3 Bq/kg (13,68% por debajo de la media mundial) para el  $^{40}K$ , se puede afirmar que los promedios de actividad específica en la geología Volcánicos Pisayambo no sobrepasan los promedios mundiales de concentración.

**Tabla 20-3:** Actividad específica de la geología Volcánicos Saraguro (EOS, Andesíticas a riolíticas)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	AeRa-226	AeTh-232	AeK-40
ARAD-2017-467 16	Cumanda	715300	9753056	4,524	13,53	77,85
ARAD-2017-467 52	Chunchi	726249	9740574	14,55	21,72	246,3
ARAD-2017-467 56	Alausi	727395	9749086	10,67	16,24	272,1
ARAD-2017-467 60	Alausi	725012	9748023	25,13	36,79	468,4
ARAD-2017-467 108	Pallatanga	728438	9774314	3,116	3,627	110,8
ARAD-2017-467 109	Alausi	724625	9764626	3,055	4,533	53,19
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		10,17	16,07	204,8
		<b>Mediana</b>		7,597	14,89	178,6
		<b>Desviación estándar</b>		8,666	12,29	157,3
		<b>Mínimo</b>		3,055	3,627	53,19
		<b>Máximo</b>		25,13	36,79	468,4

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

La muestra ARAD-2017-467 60 sobrepasa el 22,63% y 17,11% el promedio mundial del  $A_{eTh-232}$  y  $A_{eK-40}$ , respectivamente. Los promedios de actividad específica de los radionucleidos son 10,17 Bq/kg (70,94% por debajo de la media mundial) para el  $^{226}Ra$ , 16,07 Bq/kg (46,43% por debajo de la media mundial) para el  $^{232}Th$  y 204,8 Bq/kg (48,80% por debajo de la media mundial) para el  $^{40}K$ . Los promedios de actividad específica en la geología Volcánicos Saraguro no sobrepasan los promedios mundiales de concentración.

**Tabla 21-3:** Actividad específica de la geología Volcánicos Tarqui (MPTL, Depósitos piroclásticos)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	AeRa-226	AeTh-232	AeK-40
ARAD-2017-467 04	Colta	745534	9791869	14,90	21,26	306,0
ARAD-2017-467 06	Colta	750732	9797914	13,92	24,08	315,7
ARAD-2017-467 14	Guamote	773099	9758059	15,86	20,61	257,7
ARAD-2017-467 15	Guamote	770723	9761170	9,601	17,12	204,3
ARAD-2017-467 21	Alausi	742937	9760429	15,95	21,91	366,5
ARAD-2017-467 24	Guamote	777021	9759679	17,41	28,16	325,0
ARAD-2017-467 28	Alausi	732749	9754312	12,07	15,83	251,9
ARAD-2017-467 29	Alausi	747846	9763685	15,97	25,31	406,1
ARAD-2017-467 31	Colta	748901	9794412	19,16	24,42	278,9
ARAD-2017-467 32	Alausi	737891	9755697	17,81	24,63	358,6
ARAD-2017-467 34	Colta	751685	9801453	22,07	27,46	295,6
ARAD-2017-467 35	Colta	743139	9800900	15,31	20,33	277,0
ARAD-2017-467 36	Colta	741568	9805983	13,75	22,72	313,3

ARAD-2017-467 42	Alausi	741854	9751328	9,505	16,14	318,3
ARAD-2017-467 48	Alausi	760203	9750014	16,52	23,45	283,8
ARAD-2017-467 49	Chunchi	739411	9741377	10,54	16,99	301,6
ARAD-2017-467 50	Alausi	764301	9749803	8,101	9,153	133,0
ARAD-2017-467 51	Chunchi	735584	9742027	6,919	12,54	289,0
ARAD-2017-467 70	Riobamba	757978	9813386	14,92	23,07	360,6
ARAD-2017-467 72	Colta	752040	9812829	13,64	21,78	286,6
ARAD-2017-467 77	Guamote	740118	9769771	17,67	24,19	390,7
ARAD-2017-467 94	Alausi	752990	9765011	17,72	23,97	404,5
ARAD-2017-467 95	Guano	750122	9809664	15,23	23,39	341,5
ARAD-2017-467 98	Colta	748097	9815885	13,87	20,18	275,0
ARAD-2017-467 112	Riobamba	755546	9810869	11,63	18,44	288,8
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		14,40	21,09	305,2
		<b>Mediana</b>		14,92	21,91	301,6
		<b>Desviación estándar</b>		3,591	4,502	60,50
		<b>Mínimo</b>		6,919	9,153	133,0
		<b>Máximo</b>		22,07	28,16	406,1

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

En la Tabla 21-3 se presentan los datos de radioactividad del suelo de la geología Volcánicos Tarqui, las muestras ARAD-2017-467 29 y ARAD-2017-467 94 sobrepasan el 1,525% y 1,125%, respectivamente el promedio mundial del  $A_{eK-40}$ . En el análisis estadístico descriptivo, el promedio de actividad específica es 14,40 Bq/kg (58,86% por debajo de la media mundial) para el  $^{226}\text{Ra}$ , 21,09 Bq/kg (29,70% por debajo de la media mundial) para el  $^{232}\text{Th}$  y 305,2 Bq/kg (23,70% por debajo de la media mundial) para el  $^{40}\text{K}$ .

**Tabla 22-3:** Actividad específica de la geología Volcánicos Zumbagua (MZ, Piroclastos)

CÓDIGOS	LUGAR	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$A_{eRa-226}$	$A_{eTh-232}$	$A_{eK-40}$
ARAD-2017-467 38	Alausi	742279	9755177	11,15	16,48	342,2
ARAD-2017-467 83	Alausi	743793	9757471	16,23	22,76	289,6
ARAD-2017-467 91	Alausi	752423	9760274	12,76	19,08	338,4
ARAD-2017-467 118	Riobamba	748625	9824024	17,02	23,12	342,7
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		14,29	20,36	328,2
		<b>Mediana</b>		14,50	20,92	340,3
		<b>Desviación estándar</b>		2,794	3,166	25,82
		<b>Mínimo</b>		11,15	16,48	289,6
		<b>Máximo</b>		17,02	23,12	342,7

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los valores de actividad específica en la geología Volcánicos Zumbagua no sobrepasan los promedios mundiales de concentración. La actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$  varían de

11,15 a 17,02, 16,48 a 23,12 y 289,6 a 342,7 Bq/kg, respectivamente. El promedio de actividad específica para el  $^{226}\text{Ra}$  es 14,29 Bq/kg (59,17% por debajo de la media mundial), para el  $^{232}\text{Th}$  es 20,36 Bq/kg (32,13% por debajo de la media mundial) y para el  $^{40}\text{K}$  es 328,2 Bq/kg (17,95% por debajo de la media mundial).

A continuación, se presenta un resumen de los promedios de actividad específica de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo.

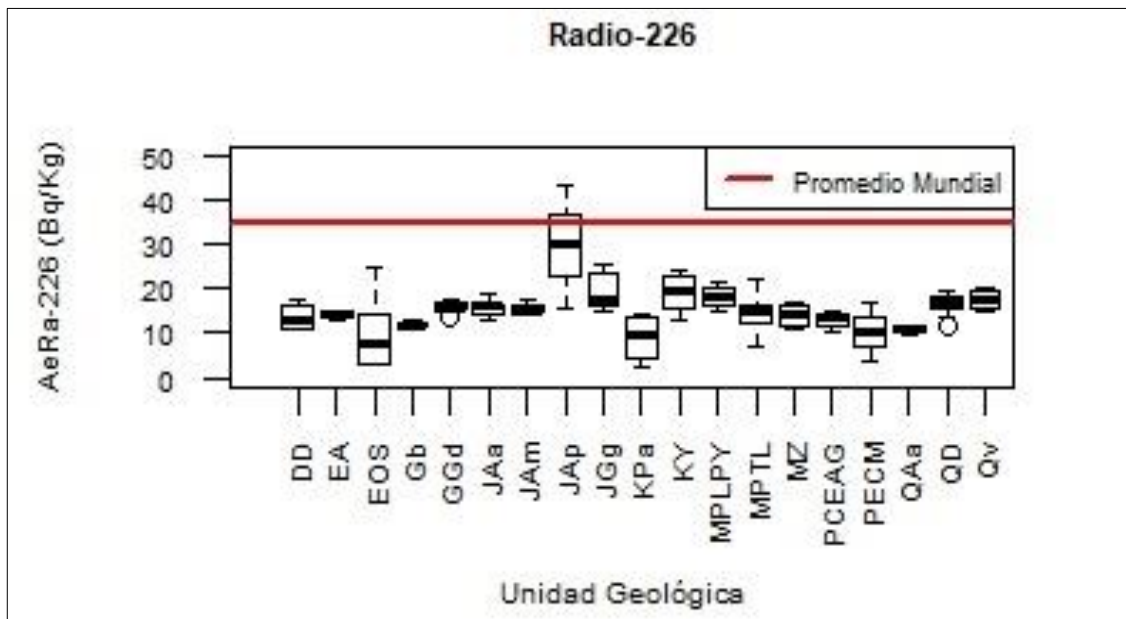
**Tabla 23-3:** Promedio de actividad específica de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo

SIMBOLOGÍA	GEOLOGÍA	ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		$A_{\text{eRa-226}}$	$A_{\text{eTh-232}}$	$A_{\text{eK-40}}$
QAa	Depósito de Abanico aluvial	10,71	17,68	183,3
QD	Facie Distal	16,69	22,67	359,1
Qv	Facie volcanosedimentaria	17,54	21,68	354,3
PECM	Fm. Macuchi	10,18	14,94	233,7
KY	Fm. Yunguilla	19,21	24,17	395,2
PCEAG	Grupo Angamarca	12,90	19,29	240,0
DD	Rocas Intrusivas 1	13,52	17,44	262,5
GGd	Rocas Intrusivas 2	15,95	23,54	290,2
Gb	Rocas Intrusivas 3	12,32	19,30	251,1
EA	Sedimentos Apagua	14,33	21,20	323,1
JAa	Unidad Alao-Paute	15,59	20,87	293,7
JGg	Unidad Guasuntos	19,41	27,83	426,2
JAm	Unidad Maguazo	15,82	26,42	377,3
KPa	Unidad Pallatanga	9,079	13,22	205,8
JAp	Unidad Peltetec	29,80	37,55	517,4
MPLPY	Volcánicos Pisayambo	18,29	22,90	345,3
EOS	Volcánicos Saraguro	10,17	16,07	204,8
MPTL	Volcánicos Tarqui	14,40	21,09	305,2
MZ	Volcánicos Zumbagua	14,29	20,36	328,2

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

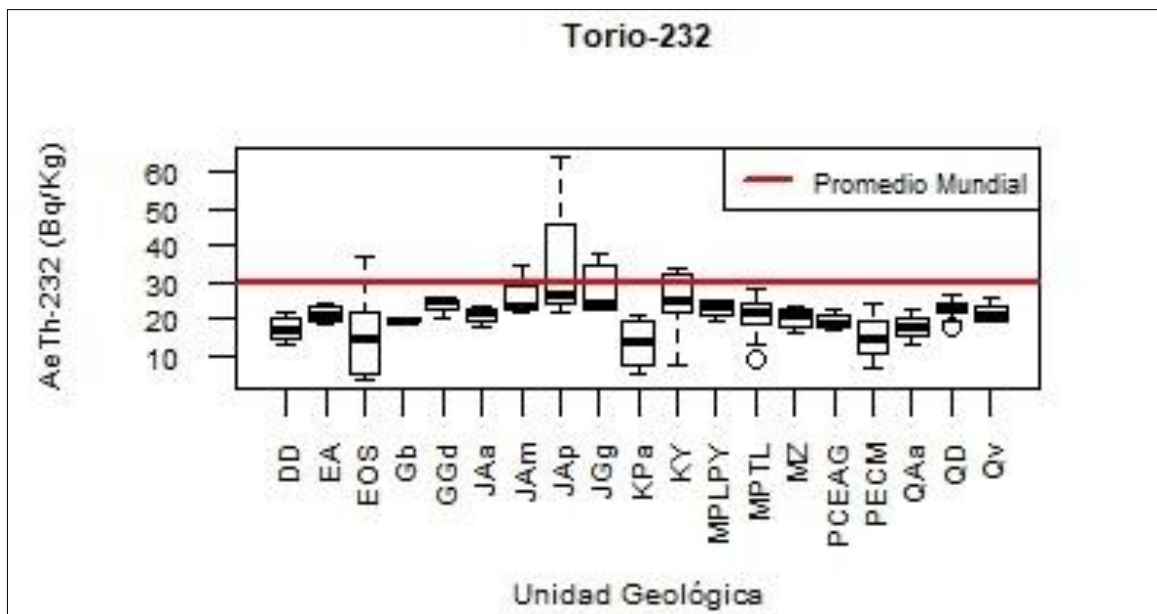
Los promedios de actividad específica de los radionucleidos, muestran que las unidades geológicas no sobrepasan el promedio mundial de  $^{226}\text{Ra}$ , sin embargo, la Unidad Peltetec sobrepasa con 25,17% el promedio mundial de  $^{232}\text{Th}$ , la Unidad Guasuntos y Unidad Peltetec sobrepasan con 6,57% y 29,33% el promedio mundial de  $^{40}\text{K}$ .

Se presentan a continuación diagramas de cajas de actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$  obtenido para cada unidad geológica de la Provincia de Chimborazo y el promedio mundial.



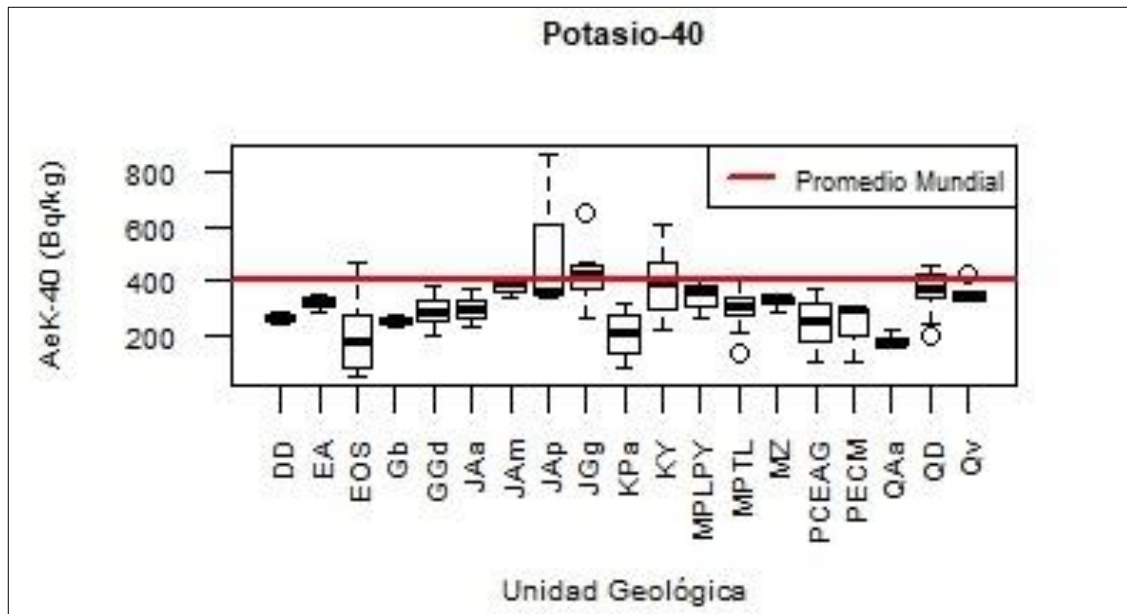
**Gráfico 1-3:** Concentración de  $^{226}\text{Ra}$  de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo  
**Realizado por:** Camacho A., Pucha G., 2018

La unidad geológica que contiene valores que sobrepasan la concentración media mundial de  $^{226}\text{Ra}$  corresponde a la Unidad Peltetec, mismo que contiene serpentinas y basaltos.



**Gráfico 2-3:** Concentraciones de  $^{232}\text{Th}$  de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo  
**Realizado por:** Camacho A., Pucha G., 2018

Las unidades geológicas que contienen valores que sobrepasan la concentración media mundial de  $^{232}\text{Th}$  corresponden a Volcánicos Saraguro, Unidad Maguazo, Unidad Peltetec, Unidad Guasuntos y Fm, Yunguilla.



**Gráfico 3-3:** Concentraciones de  $^{40}\text{K}$  de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Las unidades geológicas que contienen valores que sobrepasan la concentración media mundial de  $^{40}\text{K}$  corresponden a Volcánicos Saraguro, Unidad Peltetec, Unidad Guasuntos y Fm. Yunguilla.

### 3.1.2.1 Actividad específica de los cantones de la Provincia de Chimborazo

**Tabla 24-3:** Actividad específica determinada de los principales radionucleidos en las muestras del cantón Alausí

CÓDIGOS	GEOLOGIA	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	AeRa-226	AeTh-232	AeK-40
ARAD-2017-467 20	Fm, Yunguilla	724785	9767799	15,88	22,12	290,1
ARAD-2017-467 115	Grupo Angamarca	720695	9767138	14,74	18,47	369,7
ARAD-2017-467 44	Rocas Intrusivas 1	718578	9742159	14,75	18,97	240,5
ARAD-2017-467 58	Rocas Intrusivas 1	718503	9742380	10,94	13,24	259,7
ARAD-2017-467 53	Rocas Intrusivas 3	768530	9750400	13,26	19,98	272,2
ARAD-2017-467 54	Rocas Intrusivas 3	768534	9750432	11,77	19,63	229,7
ARAD-2017-467 55	Rocas Intrusivas 3	768568	9750450	11,93	18,29	251,4
ARAD-2017-467 33	Unidad Guasuntos	744492	9752667	25,68	37,92	461,6
ARAD-2017-467 59	Unidad Guasuntos	749098	9747171	20,89	34,08	263,2
ARAD-2017-467 93	Unidad Guasuntos	756314	9761788	15,06	23,03	347,4
ARAD-2017-467 47	Unidad Maguazo	757053	9747761	17,89	34,50	407,6
ARAD-2017-467 45	Unidad Peltepec	755891	9749001	29,92	26,78	356,3
ARAD-2017-467 56	Volcánicos Saraguro	727395	9749086	10,67	16,24	272,1
ARAD-2017-467 60	Volcánicos Saraguro	725012	9748023	25,13	36,79	468,4
ARAD-2017-467 109	Volcánicos Saraguro	724625	9764626	3,055	4,533	53,19
ARAD-2017-467 21	Volcánicos Tarqui	742937	9760429	15,95	21,91	366,5
ARAD-2017-467 28	Volcánicos Tarqui	732749	9754312	12,07	15,83	251,9
ARAD-2017-467 29	Volcánicos Tarqui	747846	9763685	15,97	25,31	406,1
ARAD-2017-467 32	Volcánicos Tarqui	737891	9755697	17,81	24,63	358,6
ARAD-2017-467 42	Volcánicos Tarqui	741854	9751328	9,505	16,14	318,3
ARAD-2017-467 48	Volcánicos Tarqui	760203	9750014	16,52	23,45	283,8
ARAD-2017-467 50	Volcánicos Tarqui	764301	9749803	8,101	9,153	133,0
ARAD-2017-467 94	Volcánicos Tarqui	752990	9765011	17,72	23,97	404,5
ARAD-2017-467 38	Volcánicos Zumbagua	742279	9755177	11,15	16,48	342,2
ARAD-2017-467 83	Volcánicos Zumbagua	743793	9757471	16,23	22,76	289,6
ARAD-2017-467 91	Volcánicos Zumbagua	752423	9760274	12,76	19,08	338,4
<b>Estadística Descriptiva</b>	<b>Media</b>		15,21	21,66	309,1	
	<b>Mediana</b>		14,91	20,95	304,2	
	<b>Desviación estándar</b>		5,693	7,890	92,69	
	<b>Mínimo</b>		3,055	4,533	53,19	
	<b>Máximo</b>		29,92	37,92	468,4	

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

El promedio de actividad específica del <sup>226</sup>Ra es 15,21 Bq/kg (56,54% por debajo de la media mundial), el promedio de actividad específica del <sup>232</sup>Th es 21,66 Bq/kg (27,80% por debajo de la media mundial); y el promedio de actividad específica del <sup>40</sup>K es 309,1 Bq/kg (22,73% por

debajo de la media mundial), se puede afirmar que los promedios de concentración de radionucleidos en el cantón Alausí no sobrepasan los promedios mundiales concentración.

Sin embargo, las muestras ARAD-2017-467 33, ARAD-2017-467 59, ARAD-2017-467 47 y ARAD-2017-467 60 sobrepasan 26,40%, 13,60%, 15,00% y 22,63% respectivamente el promedio mundial del  $A_{eTh-232}$ . Las muestras ARAD-2017-467 33, ARAD-2017-467 47, ARAD-2017-467 60, ARAD-2017-467 29 y ARAD-2017-467 94 sobrepasan 15,40%, 1,900%, 17,10%, 1,525% y 1,125% respectivamente el promedio mundial del  $A_{eK-40}$ .

**Tabla 25-3:** Actividad específica del cantón Chunchi

CÓDIGOS	GEOLOGIA	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$A_{eRa-226}$	$A_{eTh-232}$	$A_{eK-40}$
ARAD-2017-467 52	Volcánicos Saraguro	726249	9740574	14,55	21,72	246,3
ARAD-2017-467 49	Volcánicos Tarqui	739411	9741377	10,54	16,99	301,6
ARAD-2017-467 51	Volcánicos Tarqui	735584	9742027	6,919	12,54	289,0
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		10,67	17,08	279,0
		<b>Mediana</b>		10,54	16,99	289,0
		<b>Desviación estándar</b>		3,817	4,591	28,98
		<b>Mínimo</b>		6,919	12,54	246,3
		<b>Máximo</b>		14,55	21,72	301,6

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los datos de radioactividad del cantón Chunchi no sobrepasan el promedio mundial de concentración. El promedio de actividad específica del  $^{226}Ra$  es 10,67 Bq/kg (69,51% por debajo de la media mundial), el promedio de actividad específica del  $^{232}Th$  es 17,08 Bq/kg (43,07% por debajo de la media mundial), y el promedio de actividad específica del  $^{40}K$  es 279,0 Bq/kg (30,25% por debajo de la media mundial).

**Tabla 26-3:** Actividad específica del cantón Chambo

CÓDIGOS	GEOLOGIA	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$A_{eRa-226}$	$A_{eTh-232}$	$A_{eK-40}$
ARAD-2017-467 62	Chambo	769979	9805487	13,55	22,07	237,5
ARAD-2017-467 99	Chambo	772519	9806108	14,93	19,67	264,9
ARAD-2017-467 100	Chambo-Guallabamba	772560	9801875	15,93	24,58	301,6
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		14,80	22,11	268,0
		<b>Mediana</b>		14,93	22,07	265,0
		<b>Desviación estándar</b>		1,195	2,455	32,16
		<b>Mínimo</b>		13,55	19,67	237,5
		<b>Máximo</b>		15,93	24,58	301,6

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018



Los datos de radioactividad de suelo del cantón Chambo no sobrepasan el promedio mundial de concentración, el rango de la actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$  va desde 13,55 a 15,93, 19,67 a 24,58 y 237,5 a 301,6 Bq/kg, respectivamente. El promedio de actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$  es 14,80 Bq/kg (57,71% por debajo de la media mundial), el promedio de actividad específica del  $^{232}\text{Th}$  es 22,11 Bq/kg (26,30% por debajo de la media mundial); y el promedio de actividad específica del  $^{40}\text{K}$  es 268,0 Bq/kg (33,00% por debajo de la media mundial).

**Tabla 27-3:** Actividad específica del cantón Colta

CÓDIGOS	GEOLOGIA	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$A_{\text{eRa-226}}$	$A_{\text{eTh-232}}$	$A_{\text{eK-40}}$
ARAD-2017-467 01	Colta-Tablón	731188	9790624	13,19	7,467	220,4
ARAD-2017-467 02	Colta- Juan de Velasco	735101	9799612	19,65	24,85	393,7
ARAD-2017-467 03	Colta-Columbe	755455	9794185	18,14	26,24	385,9
ARAD-2017-467 04	Colta-Columbe Alto	745534	9791869	14,90	21,26	306,0
ARAD-2017-467 06	Colta-Columbe	750732	9797914	13,92	24,08	315,7
ARAD-2017-467 09	Colta-Cañi	722301	9802913	10,49	14,36	295,6
ARAD-2017-467 10	Colta	724338	9794265	5,980	9,363	190,4
ARAD-2017-467 17	Colta-Juan de Velasco	733268	9799439	13,17	19,89	320,3
ARAD-2017-467 31	Colta-Columbe	748901	9794412	19,16	24,42	278,9
ARAD-2017-467 34	Colta-Santiago de Quito	751685	9801453	22,07	27,46	295,6
ARAD-2017-467 35	Colta-Columbe	743139	9800900	15,31	20,33	277,0
ARAD-2017-467 36	Colta-Columbe	741568	9805983	13,75	22,72	313,3
ARAD-2017-467 37	Colta-Juan de Velasco	739084	9803992	24,46	33,98	465,6
ARAD-2017-467 40	Colta-Juan de Velasco-Tablarumi	723964	9788271	3,392	6,593	101,8
ARAD-2017-467 46	Colta-Villa la Unión	744855	9806116	11,35	17,77	198,7
ARAD-2017-467 72	Colta-Villa la Unión	752040	9812829	13,64	21,78	286,6
ARAD-2017-467 95	Colta-Santiago de Quito	750122	9809664	15,23	23,39	341,5
ARAD-2017-467 116	Colta-Juan de Velasco-Tablón	734059	9791838	13,21	17,37	238,8
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		14,50	20,18	290,3
		<b>Mediana</b>		13,84	21,52	295,6
		<b>Desviación estándar</b>		5,134	7,140	83,07
		<b>Mínimo</b>		3,393	6,593	101,8
		<b>Máximo</b>		24,46	33,98	465,6

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

El promedio de actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$  es 14,50 Bq/kg (58,57% por debajo de la media mundial), el promedio de actividad específica del  $^{232}\text{Th}$  es 20,18 Bq/kg (32,73% por debajo de la media mundial); y el promedio de actividad específica del  $^{40}\text{K}$  es 290,3 Bq/kg (27,42% por

debajo de la media mundial). Los promedios de actividad específica en el cantón Colta no sobrepasan los promedios mundiales de concentración. Únicamente la muestra ARAD-2017-467 37 sobrepasa 13,27% y 16,40% el promedio mundial del  $A_{eTh-232}$  y  $A_{eK-40}$ , respectivamente.

**Tabla 28-3:** Actividad específica del cantón Cumandá

CÓDIGOS	GEOLOGIA	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$A_{eRa-226}$	$A_{eTh-232}$	$A_{eK-40}$
ARAD-2017-467 18	Depósito de Abanico aluvial	697966	9756380	11,68	17,58	214,9
ARAD-2017-467 19	Depósito de Abanico aluvial	705651	9755956	9,392	12,87	168,6
ARAD-2017-467 30	Depósito de Abanico aluvial	702015	9756606	11,04	22,58	166,5
ARAD-2017-467 11	Grupo Angamarca	709603	9754522	10,17	16,60	96,79
ARAD-2017-467 16	Volcánicos Saraguro	715300	9753056	4,524	13,53	77,85
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		9,361	16,63	144,9
		<b>Mediana</b>		10,17	16,60	166,5
		<b>Desviación estándar</b>		2,840	3,875	56,43
		<b>Mínimo</b>		4,524	12,87	77,85
		<b>Máximo</b>		11,68	22,58	214,9

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los valores de radioactividad del cantón Cumanda no sobrepasan el promedio de concentración mundial, el rango de la actividad específica del  $^{226}Ra$ ,  $^{232}Th$  y  $^{40}K$  va desde 4,524 a 11,68, 12,87 a 22,58 y 77,85 a 214,9 Bq/kg, respectivamente. El promedio de actividad específica del  $^{226}Ra$  es 9,361 Bq/kg (73,25% por debajo de la media mundial), el promedio de actividad específica del  $^{232}Th$  es 16,63 Bq/kg (44,57% por debajo de la media mundial); y el promedio de actividad específica del  $^{40}K$  es 144,9 Bq/kg (63,78% por debajo de la media mundial).

**Tabla 29-3:** Actividad específica del cantón Guamote

CÓDIGOS	GEOLOGIA	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$A_{eRa-226}$	$A_{eTh-232}$	$A_{eK-40}$
ARAD-2017-467 39	Facie distal	751268	9772424	19,67	24,17	458,4
ARAD-2017-467 69	Facie distal	749131	9781968	15,65	22,60	388,0
ARAD-2017-467 71	Facie distal	752068	9779603	17,27	23,03	425,4
ARAD-2017-467 84	Facie distal	755399	9777570	19,23	22,96	443,1
ARAD-2017-467 85	Facie distal	745224	9772673	17,81	24,35	433,7
ARAD-2017-467 90	Facie distal	748306	9775903	17,13	23,69	419,8
ARAD-2017-467 12	Unidad Guasuntos	763127	9792158	25,91	34,55	645,0
ARAD-2017-467 13	Unidad Guasuntos	762740	9785598	17,39	24,46	451,6
ARAD-2017-467 26	Unidad Guasuntos	763990	9776560	15,81	22,41	418,7
ARAD-2017-467 41	Unidad Guasuntos	756079	9785162	16,51	22,28	433,4
ARAD-2017-467 22	Unidad Maguazo	767108	9768026	14,75	21,53	335,5

ARAD-2017-467 27	Unidad Peltetec	765038	9772711	43,64	64,12	860,6
ARAD-2017-467 14	Volcánicos Tarqui	773099	9758059	15,86	20,61	257,7
ARAD-2017-467 15	Volcánicos Tarqui	770723	9761170	9,60	17,12	204,3
ARAD-2017-467 24	Volcánicos Tarqui	777021	9759679	17,41	28,16	325,0
ARAD-2017-467 77	Volcánicos Tarqui	740118	9769771	17,67	24,19	390,7
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		18,83	26,26	430,7
		<b>Mediana</b>		17,33	23,36	422,6
		<b>Desviación estándar</b>		7,365	10,74	149,94
		<b>Mínimo</b>		9,601	17,12	204,3
		<b>Máximo</b>		43,64	64,12	860,6

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

La actividad específica de los radionucleidos del cantón Guamote y el análisis estadístico descriptivo, muestran el rango de la actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$  va desde 9,601 a 43,64, 17,12 a 64,12 y 204,3 a 860,6 Bq/kg, respectivamente. El promedio de actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$  es 18,83 Bq/kg (46,20% por debajo de la media mundial), el promedio de actividad específica del  $^{232}\text{Th}$  es 26,26 Bq/kg (12,47% por debajo de la media mundial) y el promedio de actividad específica del  $^{40}\text{K}$  es 430,7 Bq/kg (7,675% por encima de la media mundial). Los promedios de actividad específica en el cantón Guamote no sobrepasan los promedios mundiales de concentración a excepción del  $^{40}\text{K}$ .

Existen muestras como; ARAD-2017-467 27 sobrepasa el 24,69% el promedio mundial del  $A_{\text{eRa-226}}$ , ARAD-2017-467 12 y ARAD-2017-467 27 sobrepasan el 15,17% y 113,73%, respectivamente el promedio mundial del  $A_{\text{eTh-232}}$ , ARAD-2017-467 39, ARAD-2017-467 71, ARAD-2017-467 84, ARAD-2017-467 85, ARAD-2017-467 90, ARAD-2017-467 12, ARAD-2017-467 13, ARAD-2017-467 26, ARAD-2017-467 41 y ARAD-2017-467 27 sobrepasan 14,60%, 6,350%, 10,78%, 8,425%, 4,950%, 61,25%, 12,90%, 4,675%, 8,350% y 115,2%, respectivamente el promedio mundial del  $A_{\text{eK-40}}$ .

**Tabla 30-3:** Actividad específica del cantón Guano

CÓDIGOS	GEOLOGIA	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$A_{\text{eRa-226}}$	$A_{\text{eTh-232}}$	$A_{\text{eK-40}}$
ARAD-2017-467 63	Guano-Valparaiso	767255	9825872	16,18	19,21	337,8
ARAD-2017-467 64	Guano-La Providencia	773588	9827847	18,06	21,40	367,1
ARAD-2017-467 66	Guano-Valparaíso	767997	9828071	15,07	19,23	326,9
ARAD-2017-467 67	Guano	761939	9823286	20,08	26,16	422,3
ARAD-2017-467 68	Guano-San Isidro	756220	9826711	17,76	21,59	358,9
ARAD-2017-467 80	Guano-San Isidro-Pulúg	755046	9827909	19,80	24,58	364,4
ARAD-2017-467 81	Guano-San Andres-Santa Lucia	750214	9830736	18,81	21,00	346,9

ARAD-2017-467 96	Guano	755516	9822053	15,94	19,93	338,0
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		17,71	21,64	357,8
		<b>Mediana</b>		17,91	21,20	352,9
		<b>Desviación estándar</b>		1,842	2,512	29,66
		<b>Mínimo</b>		15,07	19,21	326,9
		<b>Máximo</b>		20,08	26,16	422,3

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

El rango de la actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$  va desde 15,07 a 20,08, 19,21 a 26,16 y 326,9 a 422,3 Bq/kg, respectivamente. El promedio de actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$  es 17,71 Bq/kg (49,40% por debajo de la media mundial), el promedio de actividad específica del  $^{232}\text{Th}$  es 21,64 Bq/kg (27,87% por debajo de la media mundial) y el promedio de actividad específica del  $^{40}\text{K}$  es 357,8 Bq/kg (10,55% por debajo de la media mundial), se puede afirmar que los promedios de actividad específica en el cantón Guano no sobrepasan los promedios mundiales de concentración. Existe solo una muestra ARAD-2017-467 67 que sobrepasa 5,575% el promedio mundial de  $\text{A}_{\text{eK-40}}$ .

**Tabla 31-3:** Actividad específica del cantón Pallatanga

CÓDIGOS	GEOLOGIA	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$\text{A}_{\text{eRa-226}}$	$\text{A}_{\text{eTh-232}}$	$\text{A}_{\text{eK-40}}$
ARAD-2017-467 120	Fm, Macuchi	721791	9773602	16,66	23,88	303,6
ARAD-2017-467 25	Fm, Yunguilla	726140	9781224	22,88	32,44	606,1
ARAD-2017-467 107	Rocas Intrusivas 1	726703	9776040	10,77	15,58	261,3
ARAD-2017-467 110	Rocas Intrusivas 1	726562	9777063	17,61	21,95	288,5
ARAD-2017-467 23	Sedimentos Apagua	724119	9773805	14,62	22,11	344,6
ARAD-2017-467 43	Sedimentos Apagua	724601	9785223	14,58	24,02	288,4
ARAD-2017-467 106	Sedimentos Apagua	723262	9774074	14,94	18,77	339,1
ARAD-2017-467 57	Unidad Pallatanga	731993	9784323	2,486	5,095	77,14
ARAD-2017-467 108	Volcánicos Saraguro	728438	9774314	3,116	3,627	110,8
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		13,07	18,61	291,1
		<b>Mediana</b>		14,62	21,95	288,5
		<b>Desviación estándar</b>		6,655	9,274	151,6
		<b>Mínimo</b>		2,486	3,627	77,14
		<b>Máximo</b>		22,88	32,44	606,12

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

El promedio de actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$  es 13,07 Bq/kg (62,66% por debajo de la media mundial), el promedio de actividad específica del  $^{232}\text{Th}$  es 18,61 Bq/kg (37,97% por debajo de la media mundial), y el promedio de actividad específica del  $^{40}\text{K}$  es 291,1 Bq/kg (27,23% por debajo de la media mundial). Los promedios de actividad específica en el cantón Pallatanga no

sobrepasan los promedios mundiales de concentración. Únicamente la muestra ARAD-2017-467 25 sobrepasa 8,133% y 51,53% el promedio mundial del  $A_{eTh-232}$  y  $A_{eK-40}$ , respectivamente.

**Tabla 32-3:** Actividad específica del cantón Penipe

CÓDIGOS	GEOLOGIA	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$A_{eRa-226}$	$A_{eTh-232}$	$A_{eK-40}$
ARAD-2017-467 07	Penipe-Puela	776899	9835038	20,66	24,81	393,8
ARAD-2017-467 08	Penipe-Bilbao	776782	9836623	21,32	24,77	402,2
ARAD-2017-467 65	Penipe-Altar-Calshi	777859	9828296	16,28	22,08	354,6
ARAD-2017-467 82	Penipe-El Altar-Utuñag	781531	9828365	16,67	17,59	290,7
ARAD-2017-467 89	Penipe-El Altar-Utuñag	781224	9829006	18,86	21,66	334,0
ARAD-2017-467 101	Penipe-Matus	777606	9826850	18,56	21,02	301,1
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		18,73	21,99	346,1
		<b>Mediana</b>		18,71	21,87	344,3
		<b>Desviación estándar</b>		2,036	2,687	46,33
		<b>Mínimo</b>		16,28	17,59	290,7
		<b>Máximo</b>		21,32	24,81	402,2

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

El promedio de actividad específica del  $^{226}Ra$  es 18,73 Bq/kg (46,49% por debajo de la media mundial), el promedio de actividad específica del  $^{232}Th$  es 21,99 Bq/kg (26,70% por debajo de la media mundial), y el promedio de actividad específica del  $^{40}K$  es 346,1 Bq/kg (13,48% por debajo de la media mundial). Los promedios de actividad específica en el cantón Penipe no sobrepasan los promedios mundiales de concentración. Solo la muestra ARAD-2017-467 08 sobrepasa levemente con 0,550% el promedio mundial del  $A_{eK-40}$ .

**Tabla 33-3:** Actividad específica del cantón Riobamba

CÓDIGOS	GEOLOGIA	COORDENADAS		ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
		X	Y	$A_{eRa-226}$	$A_{eTh-232}$	$A_{eK-40}$
ARAD-2017-467 05	Riobamba-San Martín de Veranillo	763451	9815987	16,03	19,40	338,8
ARAD-2017-467 61	Riobamba-Pungala	774471	9792967	14,82	23,22	388,7
ARAD-2017-467 70	Riobamba-Yaruquies	757978	9813386	14,92	23,07	360,6
ARAD-2017-467 73	Riobamba-Pungala-Área de Conservación	780249	9791990	16,06	23,05	366,3
ARAD-2017-467 74	Riobamba-Pungala-Área de Conservación	782663	9791856	13,86	23,35	229,5
ARAD-2017-467 75	Riobamba-Pungala	772150	9794147	15,84	21,74	335,2
ARAD-2017-467 76	Riobamba-Pungala	768533	9796077	17,66	25,26	329,6
ARAD-2017-467 78	Riobamba-Alao	777038	9792746	13,61	19,91	255,9
ARAD-2017-467 79	Riobamba-Licto	768669	9801472	15,94	25,52	203,7
ARAD-2017-467 86	Riobamba-San Luis	764642	9812187	17,42	24,57	366,9

ARAD-2017-467 87	Riobamba-Pungala-Área de Conservación	779181	9792015	14,38	22,48	277,3
ARAD-2017-467 88	Riobamba-San Juan Gallorumi	737546	9821679	13,79	22,79	253,4
ARAD-2017-467 92	Riobamba-Pungala-Área de Conservación	781979	9791513	13,02	18,93	241,7
ARAD-2017-467 97	Riobamba-Pungala-Alao	778378	9792155	16,25	19,06	316,8
ARAD-2017-467 98	Riobamba-Chiquicaz	748097	9815885	13,87	20,18	275,0
ARAD-2017-467 102	Riobamba-Quimiag	770452	9811696	20,54	24,90	377,2
ARAD-2017-467 103	Riobamba-Nevado Chimborazo	737780	9831740	15,59	23,77	264,5
ARAD-2017-467 104	Riobamba-Nevado Chimborazo	737808	9835851	15,05	19,97	322,6
ARAD-2017-467 105	Riobamba-San Juan	734582	9823116	14,64	21,06	317,0
ARAD-2017-467 111	Riobamba-Pungala	768003	9799022	15,77	24,76	286,1
ARAD-2017-467 112	Riobamba-Cacha	755546	9810869	11,63	18,44	288,8
ARAD-2017-467 113	Riobamba-Uchanchi	753505	9820803	18,77	21,58	348,7
ARAD-2017-467 114	Riobamba-Licto	764989	9807119	16,77	22,23	375,9
ARAD-2017-467 117	Riobamba-Punin-Guaslan	760912	9807878	18,06	23,90	389,0
ARAD-2017-467 118	Riobamba-Calpi-Nituilisa	748625	9824024	17,02	23,12	342,7
ARAD-2017-467 119	Riobamba-Flores	763067	9798735	16,75	23,89	338,3
<b>Estadística Descriptiva</b>		<b>Media</b>		15,69	22,31	315,0
		<b>Mediana</b>		15,81	22,92	326,1
		<b>Desviación estándar</b>		1,929	2,112	52,55
		<b>Mínimo</b>		11,63	18,44	203,7
		<b>Máximo</b>		20,54	25,52	389,0

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

La actividad específica estimada de los radionucleidos en estudio pertenecientes al cantón Riobamba y su respectivo análisis estadístico descriptivo se muestran en la Tabla 33-3, por consiguiente, el rango de la actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$  va desde 11,63 a 20,54, 18,44 a 25,52 y 203,7 a 389,0 Bq/kg, respectivamente.

El promedio de actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$  es 15,69 Bq/kg (55,17% por debajo de la media mundial), el promedio de actividad específica del  $^{232}\text{Th}$  es 22,31 Bq/kg (25,63% por debajo de la media mundial); y el promedio de actividad específica del  $^{40}\text{K}$  es 315,0 Bq/kg (21,25% por debajo de la media mundial), resumiendo, se puede afirmar que los promedios de actividad específica en el cantón Riobamba no sobrepasan los promedios mundiales de concentración.

En la tabla 34-3, se presenta un resumen de los promedios de actividad específica de los cantones de la Provincia de Chimborazo.

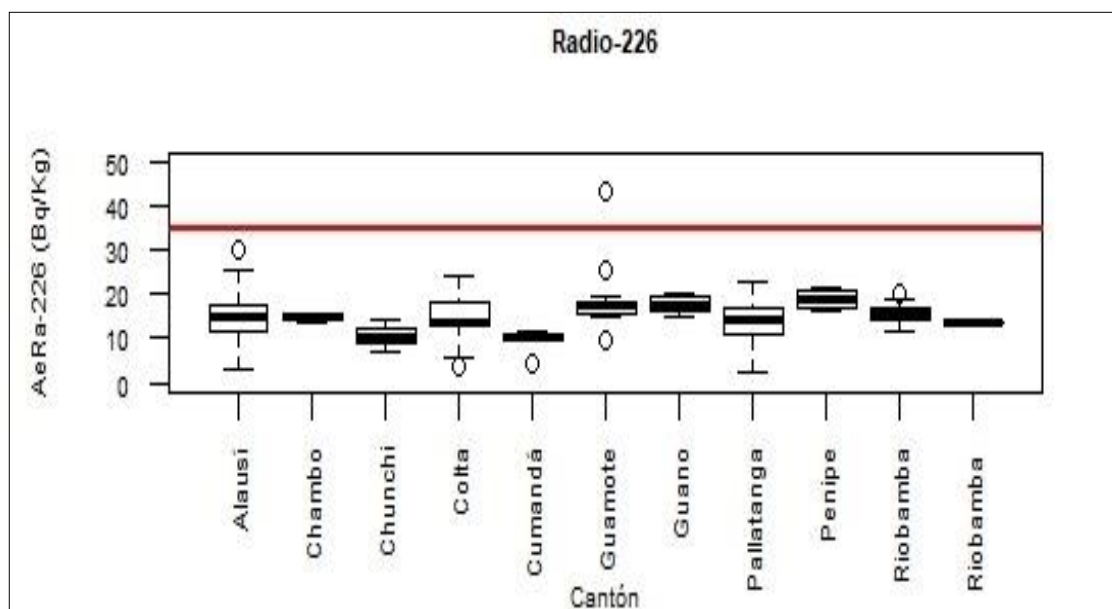
**Tabla 34-3:** Promedio de actividad específica de los cantones de la provincia de Chimborazo

CANTÓN	ACTIVIDAD ESPECÍFICA (Bq/kg)		
	$A_{eRa-226}$	$A_{eTh-232}$	$A_{eK-40}$
Alausi	15,21	21,66	309,1
Chambo	14,80	22,11	268,0
Chunchi	10,67	17,08	279,0
Colta	14,50	20,18	290,3
Cumandá	9,361	16,63	144,9
Guamote	18,83	26,26	430,7
Guano	17,71	21,64	357,8
Pallatanga	13,07	18,61	291,1
Penipe	18,73	21,99	346,1
Riobamba	15,69	22,31	315,0

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

En la tabla 35-3 se muestran los promedios de actividad específica de los radionucleidos en estudio correspondientes a cada cantón de la Provincia de Chimborazo, en resumen los cantones de la Provincia de Chimborazo no sobrepasan el promedio mundial de concentración del  $A_{eRa-226}$ ,  $A_{eTh-232}$  y  $A_{eK-40}$ , a excepción del cantón Guamote que sobrepasa con 7,675% el promedio mundial de concentración del  $A_{eK-40}$ .

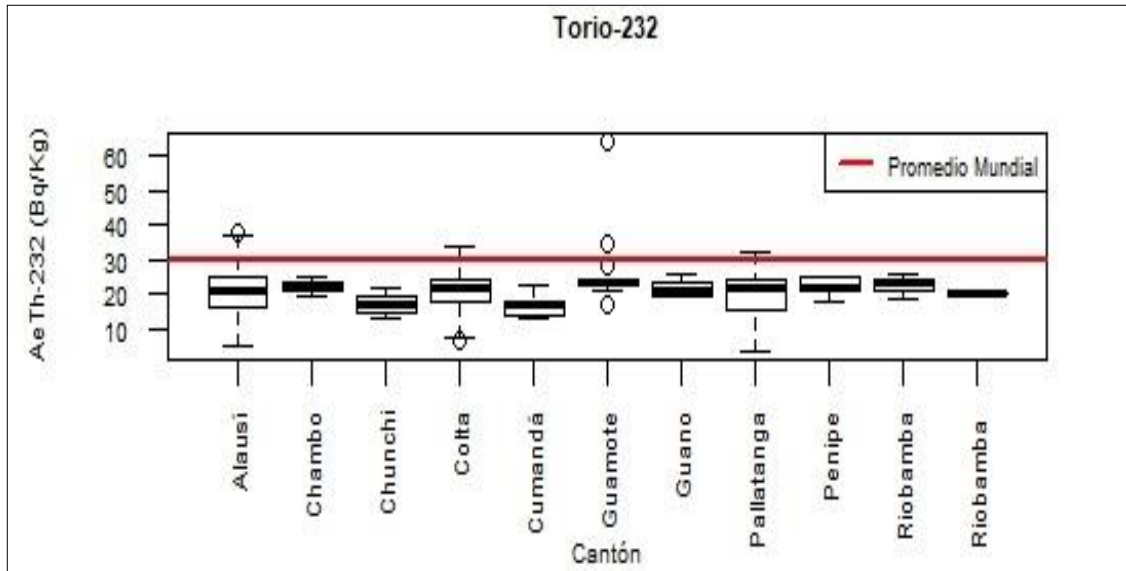
A continuación se muestra de forma más gráfica un diagrama de cajas de la actividad específica del  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  y  $^{40}\text{K}$  para cada cantón de la Provincia de Chimborazo y el promedio mundial



**Gráfico 4-3:** Concentraciones de  $^{226}\text{Ra}$  de los cantones de la Provincia de Chimborazo

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

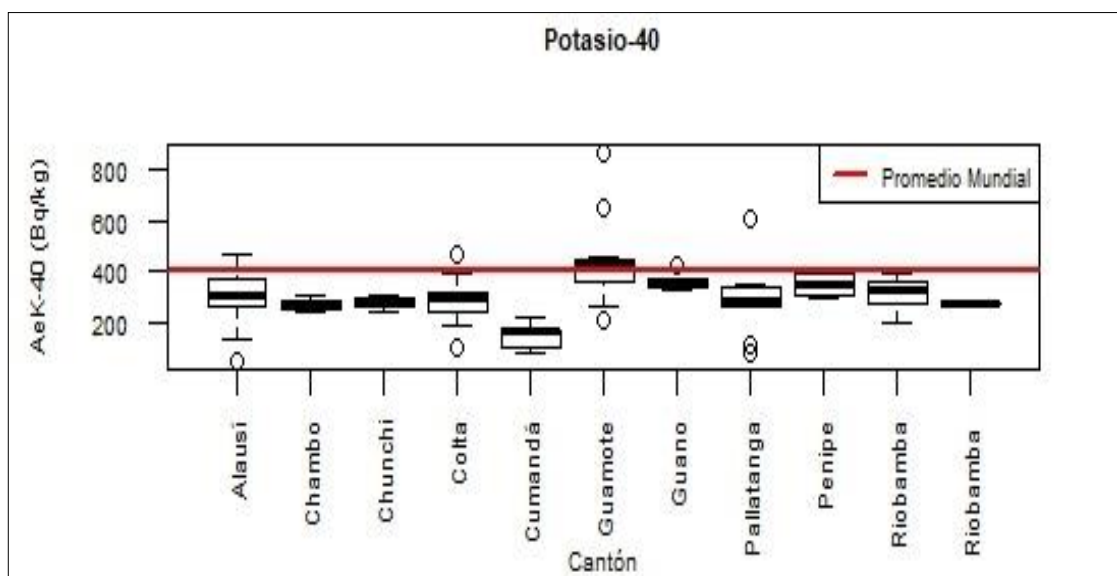
Los valores de actividad específica no sobrepasan el promedio mundial de concentración del  $A_{eRa-226}$ , a excepción del cantón Guamote, contiene un valor que evidentemente sobrepasa el promedio mundial de concentración y corresponde a la muestra ARAD-2017-467 27.



**Gráfico 5-3:** Concentraciones de  $^{232}\text{Th}$  de los cantones de la Provincia de Chimborazo

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los cantones de la Provincia de Chimborazo que contienen muestras que sobrepasan el promedio mundial del  $A_{eTh-232}$  son; el cantón Alausí (ARAD-2017-467 33, ARAD-2017-467 59, ARAD-2017-467 47 y ARAD-2017-467 60) el cantón Colta (ARAD-2017-467 37), el cantón Guamote (ARAD-2017-467 12 y ARAD-2017-467 27) y el cantón Pallatanga (ARAD-2017-467 25).



**Gráfico 6-3:** Concentraciones de  $^{40}\text{K}$  de los cantones de la Provincia de Chimborazo

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018



Los cantones de la Provincia de Chimborazo que contienen valores que sobrepasan el promedio mundial de concentración del  $A_{eK-40}$  son el cantón Alausí (ARAD-2017-467 33, ARAD-2017-467 47, ARAD-2017-467 60, ARAD-2017-467 29 y ARAD-2017-467 94), al cantón Colta (ARAD-2017-467 37), al cantón Guamote (ARAD-2017-467 39, ARAD-2017-467 71, ARAD-2017-467 84, ARAD-2017-467 85, ARAD-2017-467 90, ARAD-2017-467 12, ARAD-2017-467 13, ARAD-2017-467 26, ARAD-2017-467 41 y ARAD-2017-467 27), al cantón Guano (ARAD-2017-467 67), al cantón Pallatanga (ARAD-2017-467 25) y al cantón Penipe (ARAD-2017-467 08).

### 3.2.3 Exposición externa de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo

**Tabla 35-3:** Exposición externa de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo

CÓDIGO	GEOLOGÍA	$D_y$ (nGy/h)	$ED_{outy}$ (mSv/año)	$ED_{indy}$ (mSv/año)	$ED_y$ (mSv/año)
ARAD-2017-467 18	Depósito de Abanico aluvial	24,98	0,03100	0,1720	0,2030
ARAD-2017-467 19	Depósito de Abanico aluvial	19,15	0,02300	0,1310	0,1540
ARAD-2017-467 30	Depósito de Abanico aluvial	25,68	0,03100	0,1760	0,2070
ARAD-2017-467 03	Facie distal	40,32	0,04900	0,2770	0,3260
ARAD-2017-467 05	Facie distal	33,25	0,04100	0,2280	0,2690
ARAD-2017-467 39	Facie distal	42,80	0,05200	0,2940	0,3460
ARAD-2017-467 46	Facie distal	24,26	0,03000	0,1670	0,1970
ARAD-2017-467 62	Facie distal	29,49	0,03600	0,2030	0,2390
ARAD-2017-467 69	Facie distal	37,06	0,04500	0,2550	0,3000
ARAD-2017-467 71	Facie distal	39,63	0,04900	0,2720	0,3210
ARAD-2017-467 84	Facie distal	41,23	0,05100	0,2830	0,3340
ARAD-2017-467 85	Facie distal	41,02	0,05000	0,2820	0,3320
ARAD-2017-467 86	Facie distal	38,19	0,04700	0,2620	0,3090
ARAD-2017-467 90	Facie distal	39,73	0,04900	0,2730	0,3220
ARAD-2017-467 96	Facie distal	33,50	0,04100	0,2300	0,2710
ARAD-2017-467 103	Facie distal	32,59	0,04000	0,2240	0,2640
ARAD-2017-467 113	Facie distal	36,25	0,04400	0,2490	0,2930
ARAD-2017-467 119	Facie distal	36,27	0,04400	0,2490	0,2930
ARAD-2017-467 63	Facie volcanosedimentaria	33,16	0,04100	0,2280	0,2690
ARAD-2017-467 66	Facie volcanosedimentaria	32,21	0,04000	0,2210	0,2610
ARAD-2017-467 67	Facie volcanosedimentaria	42,68	0,05200	0,2930	0,3450
ARAD-2017-467 68	Facie volcanosedimentaria	36,21	0,04400	0,2490	0,2930
ARAD-2017-467 80	Facie volcanosedimentaria	39,19	0,04800	0,2690	0,3170
ARAD-2017-467 81	Facie volcanosedimentaria	35,84	0,04400	0,2460	0,2900
ARAD-2017-467 104	Facie volcanosedimentaria	32,47	0,04000	0,2230	0,2630
ARAD-2017-467 09	Fm, Macuchi	25,84	0,03200	0,1770	0,2090
ARAD-2017-467 40	Fm, Macuchi	9,800	0,01200	0,0670	0,0790

ARAD-2017-467 120	Fm, Macuchi	34,78	0,04300	0,2390	0,2820
ARAD-2017-467 01	Fm, Yunguilla	19,80	0,02400	0,1360	0,1600
ARAD-2017-467 02	Fm, Yunguilla	40,50	0,05000	0,2780	0,3280
ARAD-2017-467 20	Fm, Yunguilla	32,80	0,04000	0,2250	0,2650
ARAD-2017-467 25	Fm, Yunguilla	55,44	0,06800	0,3810	0,4490
ARAD-2017-467 37	Fm, Yunguilla	51,24	0,06300	0,3520	0,4150
ARAD-2017-467 11	Grupo Angamarca	18,76	0,02300	0,1290	0,1520
ARAD-2017-467 88	Grupo Angamarca	30,70	0,03800	0,2110	0,2490
ARAD-2017-467 115	Grupo Angamarca	33,38	0,04100	0,2290	0,2700
ARAD-2017-467 44	Rocas Intrusivas 1	28,30	0,03500	0,1940	0,2290
ARAD-2017-467 58	Rocas Intrusivas 1	23,88	0,02900	0,1640	0,1930
ARAD-2017-467 107	Rocas Intrusivas 1	25,28	0,03100	0,1740	0,2050
ARAD-2017-467 110	Rocas Intrusivas 1	33,42	0,04100	0,2300	0,2710
ARAD-2017-467 76	Rocas Intrusivas 2	37,16	0,04600	0,2550	0,3010
ARAD-2017-467 78	Rocas Intrusivas 2	28,98	0,03600	0,1990	0,2350
ARAD-2017-467 79	Rocas Intrusivas 2	31,27	0,03800	0,2150	0,2530
ARAD-2017-467 111	Rocas Intrusivas 2	34,17	0,04200	0,2350	0,2770
ARAD-2017-467 114	Rocas Intrusivas 2	36,85	0,04500	0,2530	0,2980
ARAD-2017-467 53	Rocas Intrusivas 3	29,54	0,03600	0,2030	0,2390
ARAD-2017-467 54	Rocas Intrusivas 3	26,87	0,03300	0,1850	0,2180
ARAD-2017-467 55	Rocas Intrusivas 3	27,04	0,03300	0,1860	0,2190
ARAD-2017-467 17	Sedimentos Apagua	31,45	0,03900	0,2160	0,2550
ARAD-2017-467 23	Sedimentos Apagua	34,48	0,04200	0,2370	0,2790
ARAD-2017-467 43	Sedimentos Apagua	33,27	0,04100	0,2280	0,2690
ARAD-2017-467 106	Sedimentos Apagua	32,38	0,04000	0,2220	0,2620
ARAD-2017-467 73	Unidad Alao-Paute	36,62	0,04500	0,2520	0,2970
ARAD-2017-467 74	Unidad Alao-Paute	30,08	0,03700	0,2070	0,2440
ARAD-2017-467 82	Unidad Alao-Paute	30,45	0,03700	0,2090	0,2460
ARAD-2017-467 87	Unidad Alao-Paute	31,78	0,03900	0,2180	0,2570
ARAD-2017-467 89	Unidad Alao-Paute	35,72	0,04400	0,2450	0,2890
ARAD-2017-467 92	Unidad Alao-Paute	27,53	0,03400	0,1890	0,2230
ARAD-2017-467 97	Unidad Alao-Paute	32,23	0,04000	0,2210	0,2610
ARAD-2017-467 12	Unidad Guasuntos	59,73	0,07300	0,4100	0,4830
ARAD-2017-467 13	Unidad Guasuntos	41,64	0,05100	0,2860	0,3370
ARAD-2017-467 26	Unidad Guasuntos	38,30	0,04700	0,2630	0,3100
ARAD-2017-467 33	Unidad Guasuntos	54,01	0,06600	0,3710	0,4370
ARAD-2017-467 41	Unidad Guasuntos	39,16	0,04800	0,2690	0,3170
ARAD-2017-467 59	Unidad Guasuntos	41,21	0,05100	0,2830	0,3340
ARAD-2017-467 93	Unidad Guasuntos	35,35	0,04300	0,2430	0,2860
ARAD-2017-467 117	Unidad Guasuntos	39,00	0,04800	0,2680	0,3160
ARAD-2017-467 22	Unidad Maguazo	33,81	0,04100	0,2320	0,2730
ARAD-2017-467 47	Unidad Maguazo	46,10	0,05700	0,3170	0,3740
ARAD-2017-467 61	Unidad Maguazo	37,08	0,04500	0,2550	0,3000
ARAD-2017-467 10	Unidad Pallatanga	16,36	0,02000	0,1120	0,1320
ARAD-2017-467 57	Unidad Pallatanga	7,440	9,0x10 <sup>-3</sup>	0,0510	0,0600

ARAD-2017-467 105	Unidad Pallatanga	32,71	0,04000	0,2250	0,2650
ARAD-2017-467 116	Unidad Pallatanga	26,55	0,03300	0,1820	0,2150
ARAD-2017-467 27	Unidad Peltetec	94,78	0,1160	0,6510	0,7670
ARAD-2017-467 45	Unidad Peltetec	44,85	0,05500	0,3080	0,3630
ARAD-2017-467 75	Unidad Peltetec	34,42	0,04200	0,2360	0,2780
ARAD-2017-467 07	Volcánicos Pisayambo	40,95	0,05000	0,2810	0,3310
ARAD-2017-467 08	Volcánicos Pisayambo	41,59	0,05100	0,2860	0,3370
ARAD-2017-467 64	Volcánicos Pisayambo	36,58	0,04500	0,2510	0,2960
ARAD-2017-467 65	Volcánicos Pisayambo	35,65	0,04400	0,2450	0,2890
ARAD-2017-467 99	Volcánicos Pisayambo	29,83	0,03700	0,2050	0,2420
ARAD-2017-467 100	Volcánicos Pisayambo	34,78	0,04300	0,2390	0,2820
ARAD-2017-467 101	Volcánicos Pisayambo	33,83	0,04100	0,2320	0,2730
ARAD-2017-467 102	Volcánicos Pisayambo	40,26	0,04900	0,2760	0,3250
ARAD-2017-467 16	Volcánicos Saraguro	13,51	0,01700	0,0930	0,1100
ARAD-2017-467 52	Volcánicos Saraguro	30,11	0,03700	0,2070	0,2440
ARAD-2017-467 56	Volcánicos Saraguro	26,08	0,03200	0,1790	0,2110
ARAD-2017-467 60	Volcánicos Saraguro	53,36	0,06500	0,3660	0,4310
ARAD-2017-467 108	Volcánicos Saraguro	8,250	0,01000	0,0570	0,0670
ARAD-2017-467 109	Volcánicos Saraguro	6,370	$8,0 \times 10^{-3}$	0,0440	0,0520
ARAD-2017-467 04	Volcánicos Tarqui	32,49	0,04000	0,2230	0,2630
ARAD-2017-467 06	Volcánicos Tarqui	34,14	0,04200	0,2340	0,2760
ARAD-2017-467 14	Volcánicos Tarqui	30,53	0,03700	0,2100	0,2470
ARAD-2017-467 15	Volcánicos Tarqui	23,30	0,02900	0,1600	0,1890
ARAD-2017-467 21	Volcánicos Tarqui	35,89	0,04400	0,2460	0,2900
ARAD-2017-467 24	Volcánicos Tarqui	38,61	0,04700	0,2650	0,3120
ARAD-2017-467 28	Volcánicos Tarqui	25,64	0,03100	0,1760	0,2070
ARAD-2017-467 29	Volcánicos Tarqui	39,60	0,04900	0,2720	0,3210
ARAD-2017-467 31	Volcánicos Tarqui	35,23	0,04300	0,2420	0,2850
ARAD-2017-467 32	Volcánicos Tarqui	38,06	0,04700	0,2610	0,3080
ARAD-2017-467 34	Volcánicos Tarqui	39,11	0,04800	0,2690	0,3170
ARAD-2017-467 35	Volcánicos Tarqui	30,90	0,03800	0,2120	0,2500
ARAD-2017-467 36	Volcánicos Tarqui	33,14	0,04100	0,2280	0,2690
ARAD-2017-467 42	Volcánicos Tarqui	27,41	0,03400	0,1880	0,2220
ARAD-2017-467 48	Volcánicos Tarqui	33,63	0,04100	0,2310	0,2720
ARAD-2017-467 49	Volcánicos Tarqui	27,71	0,03400	0,1900	0,2240
ARAD-2017-467 50	Volcánicos Tarqui	14,82	0,01800	0,1020	0,1200
ARAD-2017-467 51	Volcánicos Tarqui	22,82	0,02800	0,1570	0,1850
ARAD-2017-467 70	Volcánicos Tarqui	35,86	0,04400	0,2460	0,2900
ARAD-2017-467 72	Volcánicos Tarqui	31,40	0,03900	0,2160	0,2550
ARAD-2017-467 77	Volcánicos Tarqui	39,07	0,04800	0,2680	0,3160
ARAD-2017-467 94	Volcánicos Tarqui	39,53	0,04800	0,2710	0,3190
ARAD-2017-467 95	Volcánicos Tarqui	35,41	0,04300	0,2430	0,2860
ARAD-2017-467 98	Volcánicos Tarqui	30,06	0,03700	0,2060	0,2430
ARAD-2017-467 112	Volcánicos Tarqui	28,55	0,03500	0,1960	0,23100
ARAD-2017-467 38	Volcánicos Zumbagua	29,38	0,03600	0,2020	0,2380

ARAD-2017-467 83	Volcánicos Zumbagua	33,32	0,04100	0,2290	0,2700
ARAD-2017-467 91	Volcánicos Zumbagua	31,53	0,03900	0,2170	0,2560
ARAD-2017-467 118	Volcánicos Zumbagua	36,12	0,04400	0,2480	0,2920

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

La muestra ARAD-2017-467 12 perteneciente a la Unidad Guasuntos sobrepasa 1,237% el promedio mundial de la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma ( $D_\gamma$ ), y la muestra ARAD-2017-467 27 perteneciente de la Unidad Peltetec sobrepasa 60,64% el promedio mundial de la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma ( $D_\gamma$ ), sobrepasa 65,71% la tasa de dosis efectiva anual externa gamma ( $ED_{out\gamma}$ ), sobrepasa 38,51% la tasa de dosis efectiva anual interna gamma ( $ED_{ind\gamma}$ ) y sobrepasa 56,53% la tasa de dosis efectiva anual gamma total ( $ED_\gamma$ ).

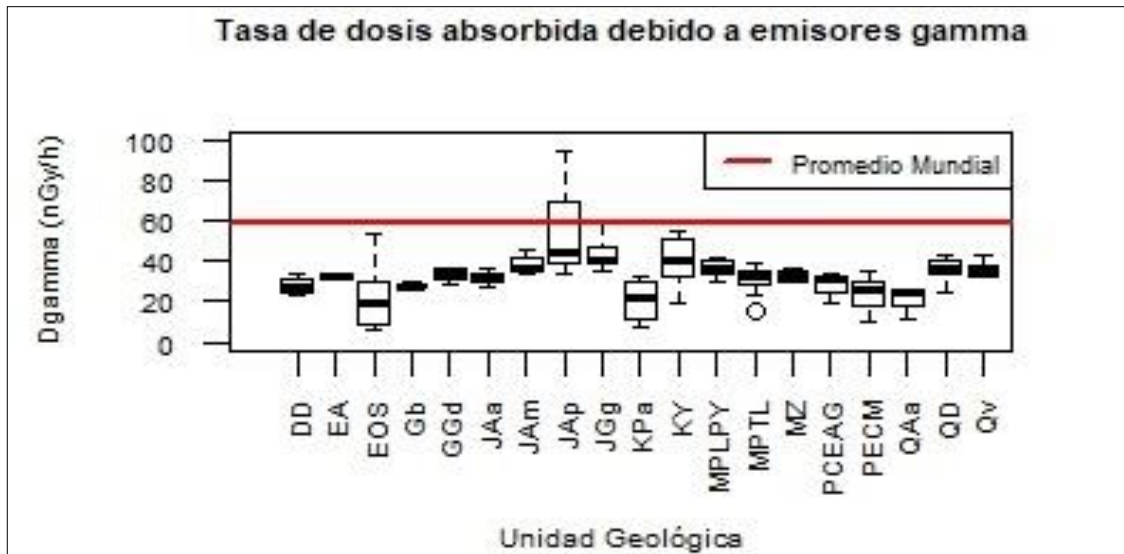
**Tabla 36-3:** Promedio de exposición externa de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo

GEOLOGÍA	$D_\gamma$ (nGy/h)	$ED_{out\gamma}$ (mSv/a)	$ED_{ind\gamma}$ (mSv/a)	$ED_\gamma$ (mSv/a)
Depósito de Abanico aluvial (QAa)	23,27	0,02833	0,1597	0,1880
Facie Distal (QD)	36,37	0,04453	0,2499	0,2944
Facie volcanosedimentaria (Qv)	35,97	0,04414	0,2470	0,2911
Fm, Macuchi (PECM)	23,47	0,02900	0,1610	0,1900
Fm, Yunguilla (KY)	39,96	0,04900	0,2744	0,3234
Grupo Angamarca (PCEAG)	27,61	0,03400	0,1897	0,2237
Rocas Intrusivas 1 (DD)	27,72	0,03400	0,1905	0,2245
Rocas Intrusivas 2 (GGd)	33,69	0,04140	0,2314	0,2728
Rocas Intrusivas 3 (Gb)	27,82	0,03400	0,1913	0,2253
Sedimentos Apagua (EA)	32,90	0,04050	0,2258	0,2663
Unidad Alao-Paute (JAa)	32,06	0,03943	0,2201	0,2596
Unidad Guasuntos (JGg)	43,55	0,05338	0,2991	0,3525
Unidad Maguazo (JAm)	39,00	0,04767	0,2680	0,3157
Unidad Pallatanga (KPa)	20,77	0,03100	0,1425	0,1680
Unidad Peltetec (JAp)	58,02	0,07100	0,3983	0,4693
Volcánicos Pisayambo (MPLPY)	36,68	0,04500	0,2519	0,2969
Volcánicos Saraguro (EOS)	22,95	0,02817	0,1577	0,1858
Volcánicos Tarqui (MPTL)	32,12	0,03940	0,2205	0,2599
Volcánicos Zumbagua (MZ)	32,59	0,04000	0,2240	0,2640

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

En la tabla 36-3 se muestran los promedios de las magnitudes de exposición externa como; de la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma ( $D_\gamma$ ), tasa de dosis efectiva anual externa gamma ( $ED_{out\gamma}$ ), tasa de dosis efectiva anual interna gamma ( $ED_{ind\gamma}$ ) y la tasa de dosis efectiva anual gamma total ( $ED_\gamma$ ) correspondientes a cada unidad geológica de la Provincia de Chimborazo. No existen unidades geológicas que sobrepasen el promedio mundial.

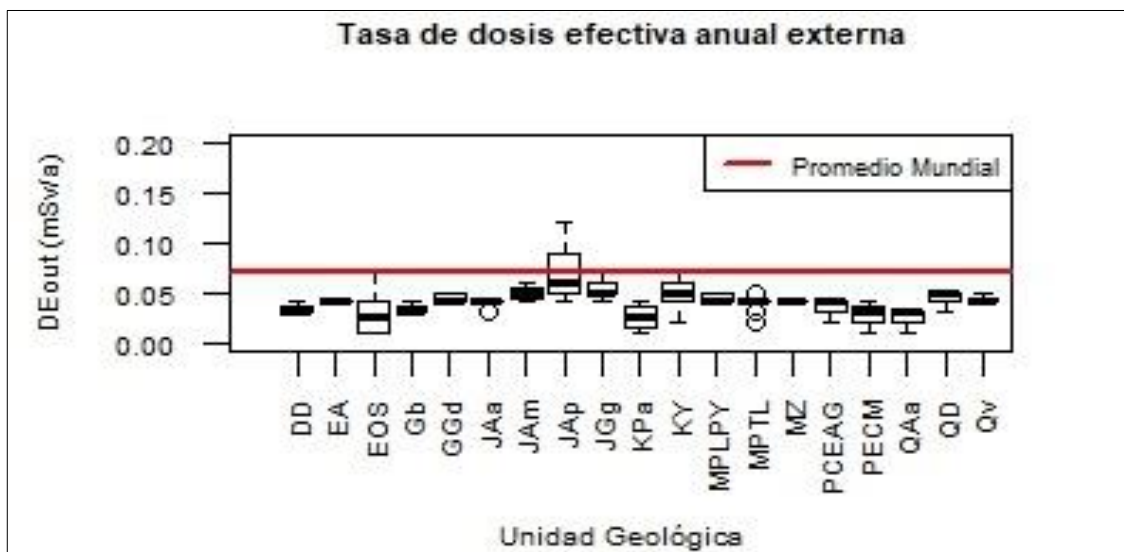
A continuación, se muestran diagramas de cajas de las magnitudes de exposición externa para cada unidad geológica de la Provincia de Chimborazo y el promedio mundial.



**Gráfico 7-3:** Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

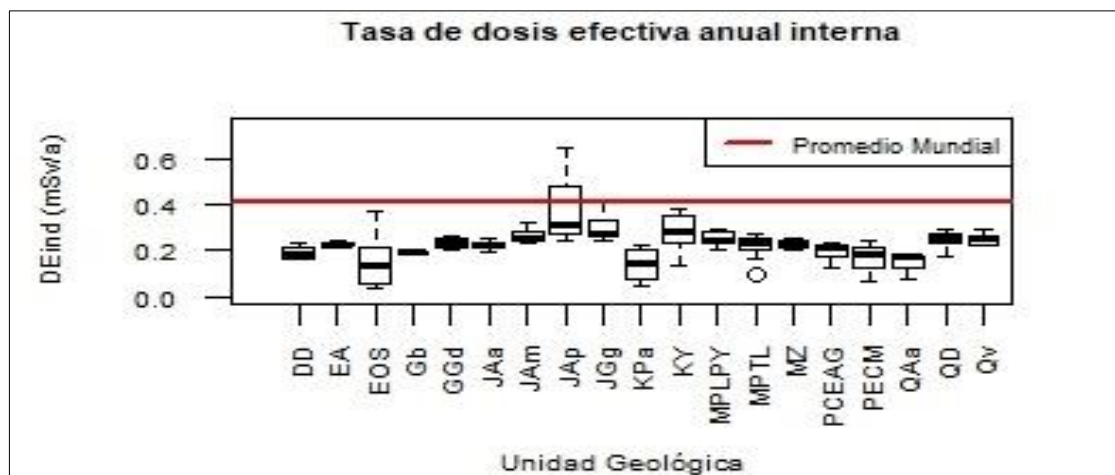
Los valores de tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo no sobrepasan el promedio mundial, a excepción de la geología Unidad Peltetec, contiene un valor que evidentemente sobrepasa el promedio mundial y corresponde a la muestra ARAD-2017-467 27.



**Gráfico 8-3:** Tasa de dosis efectiva anual externa de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

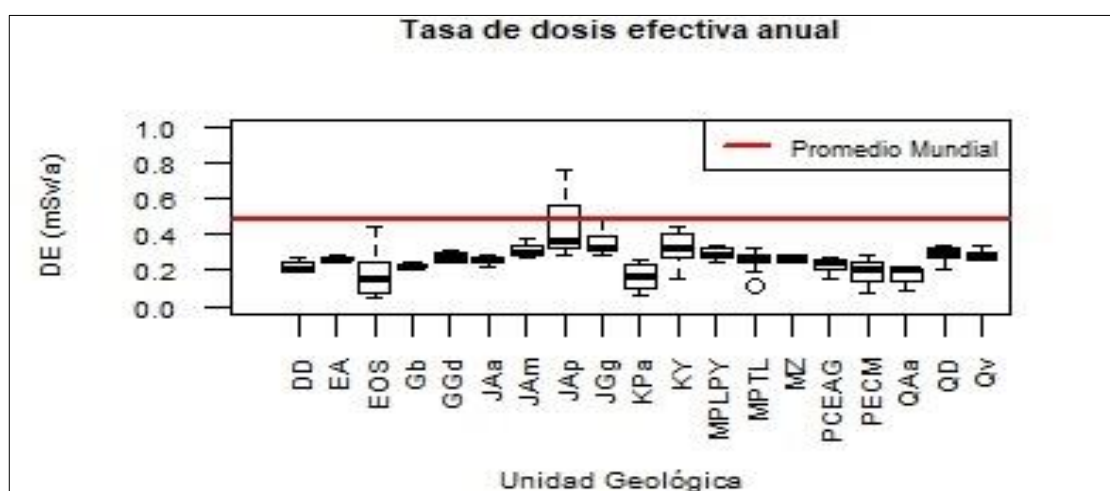
Los valores de tasa de dosis efectiva anual externa de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo no sobrepasan el promedio mundial, a excepción de la geología Unidad Peltetec, contiene un valor que evidentemente sobrepasa el promedio mundial y corresponde a la muestra ARAD-2017-467 27.



**Gráfico 9-3:** Tasa de dosis efectiva anual interna de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los valores de tasa de dosis efectiva anual interna de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo no sobrepasan el promedio mundial, a excepción de la geología Unidad Peltetec, contiene un valor que evidentemente sobrepasa el promedio mundial y corresponde a la muestra ARAD-2017-467 27.



**Gráfico 10-3:** Tasa de dosis efectiva anual de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los valores de tasa de dosis efectiva anual de las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo no sobrepasan el promedio mundial, a excepción de la geología Unidad Peltetec, contiene un valor que evidentemente sobrepasa el promedio mundial y corresponde a la muestra ARAD-2017-467 27.

### 3.2.3.1 Exposición externa de los cantones de la Provincia de Chimborazo

**Tabla 37-3:** Exposición externa de los cantones de la Provincia de Chimborazo

CÓDIGO	CANTÓN	$D_{\gamma}$ (nGy/h)	$ED_{outy}$ (mSv/a)	$ED_{indy}$ (mSv/a)	$ED_{\gamma}$ (mSv/a)
ARAD-2017-467 20	Alausi	32,80	0,04000	0,2250	0,2650
ARAD-2017-467 115	Alausi	33,38	0,04100	0,2290	0,2700
ARAD-2017-467 44	Alausi	28,30	0,03500	0,1940	0,2290
ARAD-2017-467 58	Alausi	23,88	0,02900	0,1640	0,1930
ARAD-2017-467 53	Alausi	29,54	0,03600	0,2030	0,2390
ARAD-2017-467 54	Alausi	26,87	0,03300	0,1850	0,2180
ARAD-2017-467 55	Alausi	27,04	0,03300	0,1860	0,2190
ARAD-2017-467 33	Alausi	54,01	0,06600	0,3710	0,4370
ARAD-2017-467 59	Alausi	41,21	0,05100	0,2830	0,3340
ARAD-2017-467 93	Alausi	35,35	0,04300	0,2430	0,2860
ARAD-2017-467 47	Alausi	46,10	0,05700	0,3170	0,3740
ARAD-2017-467 45	Alausi	44,85	0,05500	0,3080	0,3630
ARAD-2017-467 56	Alausi	26,08	0,03200	0,1790	0,2110
ARAD-2017-467 60	Alausi	53,36	0,06500	0,3660	0,4310
ARAD-2017-467 109	Alausi	6,370	$8,0 \times 10^{-3}$	0,0440	0,0520
ARAD-2017-467 21	Alausi	35,89	0,04400	0,2460	0,2900
ARAD-2017-467 28	Alausi	25,64	0,03100	0,1760	0,2070
ARAD-2017-467 29	Alausi	39,60	0,04900	0,2720	0,3210
ARAD-2017-467 32	Alausi	38,06	0,04700	0,2610	0,3080
ARAD-2017-467 42	Alausi	27,41	0,03400	0,1880	0,2220
ARAD-2017-467 48	Alausi	33,63	0,04100	0,2310	0,2720
ARAD-2017-467 50	Alausi	14,82	0,01800	0,1020	0,1200
ARAD-2017-467 94	Alausi	39,53	0,04800	0,2710	0,3190
ARAD-2017-467 38	Alausi	29,38	0,03600	0,2020	0,2380
ARAD-2017-467 83	Alausi	33,32	0,04100	0,2290	0,2700
ARAD-2017-467 91	Alausi	31,53	0,03900	0,2170	0,2560
ARAD-2017-467 62	Chambo	29,49	0,03600	0,2030	0,2390
ARAD-2017-467 99	Chambo	29,83	0,03700	0,2050	0,2420
ARAD-2017-467 100	Chambo	34,78	0,04300	0,2390	0,2820
ARAD-2017-467 52	Chunchi	30,11	0,03700	0,2070	0,2440
ARAD-2017-467 49	Chunchi	27,71	0,03400	0,1900	0,2240

ARAD-2017-467 51	Chunchi	22,82	0,02800	0,1570	0,1850
ARAD-2017-467 03	Colta	40,32	0,04900	0,2770	0,3260
ARAD-2017-467 46	Colta	24,26	0,03000	0,1670	0,1970
ARAD-2017-467 09	Colta	25,84	0,03200	0,1770	0,2090
ARAD-2017-467 40	Colta	9,800	0,01200	0,0670	0,0790
ARAD-2017-467 01	Colta	19,80	0,02400	0,1360	0,1600
ARAD-2017-467 02	Colta	40,50	0,05000	0,2780	0,3280
ARAD-2017-467 37	Colta	51,24	0,06300	0,3520	0,4150
ARAD-2017-467 17	Colta	31,45	0,03900	0,2160	0,2550
ARAD-2017-467 10	Colta	16,36	0,02000	0,1120	0,1320
ARAD-2017-467 116	Colta	26,55	0,03300	0,1820	0,2150
ARAD-2017-467 04	Colta	32,49	0,04000	0,2230	0,2630
ARAD-2017-467 06	Colta	34,14	0,04200	0,2340	0,2760
ARAD-2017-467 31	Colta	35,23	0,04300	0,2420	0,2850
ARAD-2017-467 34	Colta	39,11	0,04800	0,2690	0,3170
ARAD-2017-467 35	Colta	30,90	0,03800	0,2120	0,2500
ARAD-2017-467 36	Colta	33,14	0,04100	0,2280	0,2690
ARAD-2017-467 72	Colta	31,40	0,03900	0,2160	0,2550
ARAD-2017-467 95	Colta	35,41	0,04300	0,2430	0,2860
ARAD-2017-467 18	Cumanda	24,98	0,03100	0,1720	0,2030
ARAD-2017-467 19	Cumanda	19,15	0,02300	0,1310	0,1540
ARAD-2017-467 30	Cumanda	25,68	0,03100	0,1760	0,2070
ARAD-2017-467 11	Cumanda	18,76	0,02300	0,1290	0,1520
ARAD-2017-467 16	Cumanda	13,51	0,01700	0,0930	0,1100
ARAD-2017-467 39	Guamote	42,80	0,05200	0,2940	0,3460
ARAD-2017-467 69	Guamote	37,06	0,04500	0,2550	0,3000
ARAD-2017-467 71	Guamote	39,63	0,04900	0,2720	0,3210
ARAD-2017-467 84	Guamote	41,23	0,05100	0,2830	0,3340
ARAD-2017-467 85	Guamote	41,02	0,05000	0,2820	0,3320
ARAD-2017-467 90	Guamote	39,73	0,04900	0,2730	0,3220
ARAD-2017-467 12	Guamote	59,73	0,07300	0,4100	0,4830
ARAD-2017-467 13	Guamote	41,64	0,05100	0,2860	0,3370
ARAD-2017-467 26	Guamote	38,30	0,04700	0,2630	0,3100
ARAD-2017-467 41	Guamote	39,16	0,04800	0,2690	0,3170
ARAD-2017-467 22	Guamote	33,81	0,04100	0,2320	0,2730
ARAD-2017-467 27	Guamote	94,78	0,1160	0,6510	0,7670
ARAD-2017-467 14	Guamote	30,53	0,03700	0,2100	0,2470
ARAD-2017-467 15	Guamote	23,30	0,02900	0,1600	0,1890
ARAD-2017-467 24	Guamote	38,61	0,04700	0,2650	0,3120
ARAD-2017-467 77	Guamote	39,07	0,04800	0,2680	0,3160
ARAD-2017-467 63	Guano	33,16	0,04100	0,2280	0,2690
ARAD-2017-467 66	Guano	32,21	0,04000	0,2210	0,2610
ARAD-2017-467 96	Guano	33,50	0,04100	0,2300	0,2710
ARAD-2017-467 67	Guano	42,68	0,05200	0,2930	0,3450
ARAD-2017-467 68	Guano	36,21	0,04400	0,2490	0,2930



ARAD-2017-467 80	Guano	39,19	0,04800	0,2690	0,3170
ARAD-2017-467 81	Guano	35,84	0,04400	0,2460	0,2900
ARAD-2017-467 64	Guano	36,58	0,04500	0,2510	0,2960
ARAD-2017-467 120	Pallatanga	34,78	0,04300	0,2390	0,2820
ARAD-2017-467 25	Pallatanga	55,44	0,06800	0,3810	0,4490
ARAD-2017-467 107	Pallatanga	25,28	0,03100	0,1740	0,2050
ARAD-2017-467 110	Pallatanga	33,42	0,04100	0,2300	0,2710
ARAD-2017-467 23	Pallatanga	34,48	0,04200	0,2370	0,2790
ARAD-2017-467 43	Pallatanga	33,27	0,04100	0,2280	0,2690
ARAD-2017-467 106	Pallatanga	32,38	0,04000	0,2220	0,2620
ARAD-2017-467 57	Pallatanga	7,440	9,0x10 <sup>-3</sup>	0,0510	0,0600
ARAD-2017-467 108	Pallatanga	8,250	0,01000	0,0570	0,0670
ARAD-2017-467 82	Penipe	30,45	0,03700	0,2090	0,2460
ARAD-2017-467 89	Penipe	35,72	0,04400	0,2450	0,2890
ARAD-2017-467 07	Penipe	40,95	0,05000	0,2810	0,3310
ARAD-2017-467 08	Penipe	41,59	0,05100	0,2860	0,3370
ARAD-2017-467 65	Penipe	35,65	0,04400	0,2450	0,2890
ARAD-2017-467 101	Penipe	33,83	0,04100	0,2320	0,2730
ARAD-2017-467 05	Riobamba	33,25	0,04100	0,2280	0,2690
ARAD-2017-467 86	Riobamba	38,19	0,04700	0,2620	0,3090
ARAD-2017-467 98	Riobamba	30,06	0,03700	0,2060	0,2430
ARAD-2017-467 103	Riobamba	32,59	0,04000	0,2240	0,2640
ARAD-2017-467 113	Riobamba	36,25	0,04400	0,2490	0,2930
ARAD-2017-467 119	Riobamba	36,27	0,04400	0,2490	0,2930
ARAD-2017-467 104	Riobamba	32,47	0,04000	0,2230	0,2630
ARAD-2017-467 88	Riobamba	30,70	0,03800	0,2110	0,2490
ARAD-2017-467 76	Riobamba	37,16	0,04600	0,2550	0,3010
ARAD-2017-467 78	Riobamba	28,98	0,03600	0,1990	0,2350
ARAD-2017-467 79	Riobamba	31,27	0,03800	0,2150	0,2530
ARAD-2017-467 111	Riobamba	34,17	0,04200	0,2350	0,2770
ARAD-2017-467 114	Riobamba	36,85	0,04500	0,2530	0,2980
ARAD-2017-467 73	Riobamba	36,62	0,04500	0,2520	0,2970
ARAD-2017-467 74	Riobamba	30,08	0,03700	0,2070	0,2440
ARAD-2017-467 87	Riobamba	31,78	0,03900	0,2180	0,2570
ARAD-2017-467 92	Riobamba	27,53	0,03400	0,1890	0,2230
ARAD-2017-467 97	Riobamba	32,23	0,04000	0,2210	0,2610
ARAD-2017-467 117	Riobamba	39,00	0,04800	0,2680	0,3160
ARAD-2017-467 61	Riobamba	37,08	0,04500	0,2550	0,3000
ARAD-2017-467 105	Riobamba	32,71	0,04000	0,2250	0,2650
ARAD-2017-467 75	Riobamba	34,42	0,04200	0,2360	0,2780
ARAD-2017-467 102	Riobamba	40,26	0,04900	0,2760	0,3250
ARAD-2017-467 70	Riobamba	35,86	0,04400	0,2460	0,2900
ARAD-2017-467 112	Riobamba	28,55	0,03500	0,1960	0,23100
ARAD-2017-467 118	Riobamba	36,12	0,04400	0,2480	0,2920

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Existen dos muestras ARAD-2017-467 12 y ARAD-2017-467 27 que sobrepasan 1.237% y 60.64%, respectivamente el promedio mundial de la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma ( $D_\gamma$ ). Además, la muestra ARAD-2017-467 27 sobrepasa 65,71% la tasa de dosis efectiva anual externa gamma ( $ED_{out\gamma}$ ), sobrepasa 38,51% la tasa de dosis efectiva anual interna gamma ( $ED_{ind\gamma}$ ) y sobrepasa 56,53% la tasa de dosis efectiva anual gamma total ( $ED_\gamma$ )

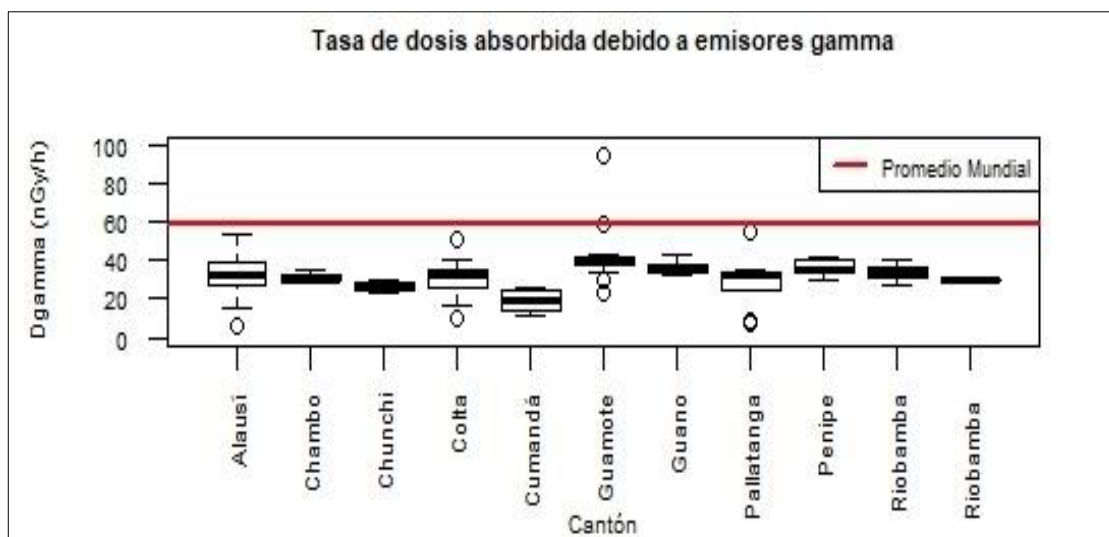
**Tabla 38-3:** Promedio de exposición externa de los cantones de la Provincia de Chimborazo

CANTON	$D_\gamma$ (nGy/h)	$ED_{out\gamma}$ (mSv/a)	$ED_{ind\gamma}$ (mSv/a)	$ED_\gamma$ (mSv/a)
Alausi	33,00	0,04046	0,2266	0,2671
Chambo	31,37	0,03867	0,2157	0,2543
Chunchi	26,88	0,03300	0,1847	0,2177
Colta	31,00	0,03811	0,2128	0,2509
Cumanda	20,42	0,05200	0,1402	0,1652
Guamote	42,53	0,05206	0,2921	0,3441
Guano	36,17	0,04438	0,2484	0,2928
Pallatanga	29,42	0,03950	0,2021	0,2382
Penipe	36,37	0,04450	0,2497	0,2942
Riobamba	33,86	0,04154	0,2325	0,2741

**Realizado por:** Camacho A., Pucha G., 2018

La tabla 38-3 muestra los promedios de las magnitudes de exposición externa como; de la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma ( $D_\gamma$ ), tasa de dosis efectiva anual externa gamma ( $ED_{out\gamma}$ ), tasa de dosis efectiva anual interna gamma ( $ED_{ind\gamma}$ ) y la tasa de dosis efectiva anual gamma total ( $ED_\gamma$ ) correspondientes a los cantones de la Provincia de Chimborazo. No existen cantones que sobrepasen el promedio mundial.

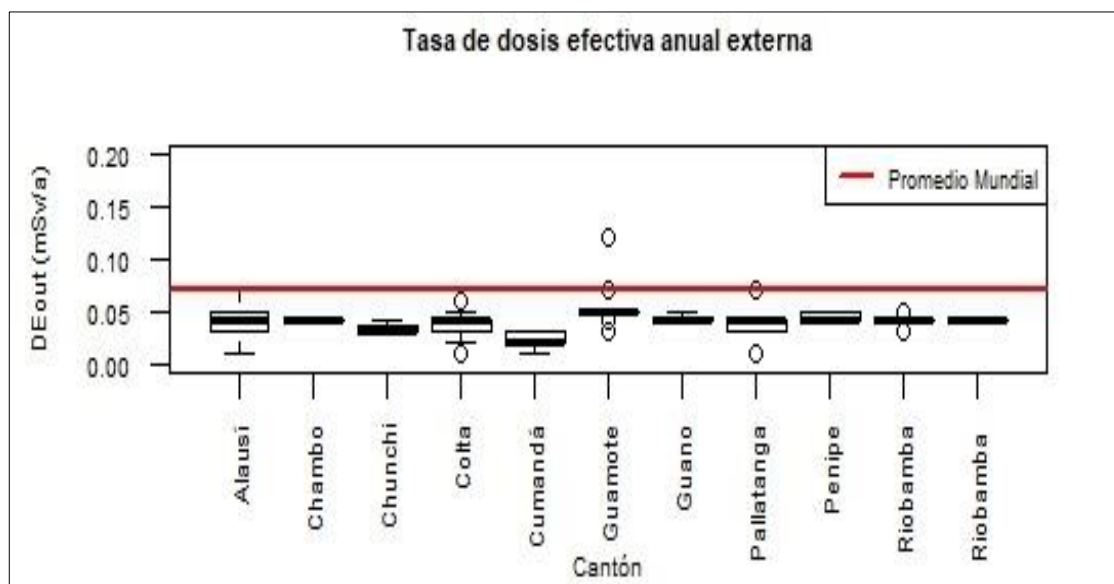
A continuación, se muestran diagramas de cajas de las magnitudes de exposición externa para cada cantone de la Provincia de Chimborazo y el promedio mundial.



**Gráfico 11-3:** Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma de los cantones de la Provincia de Chimborazo

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

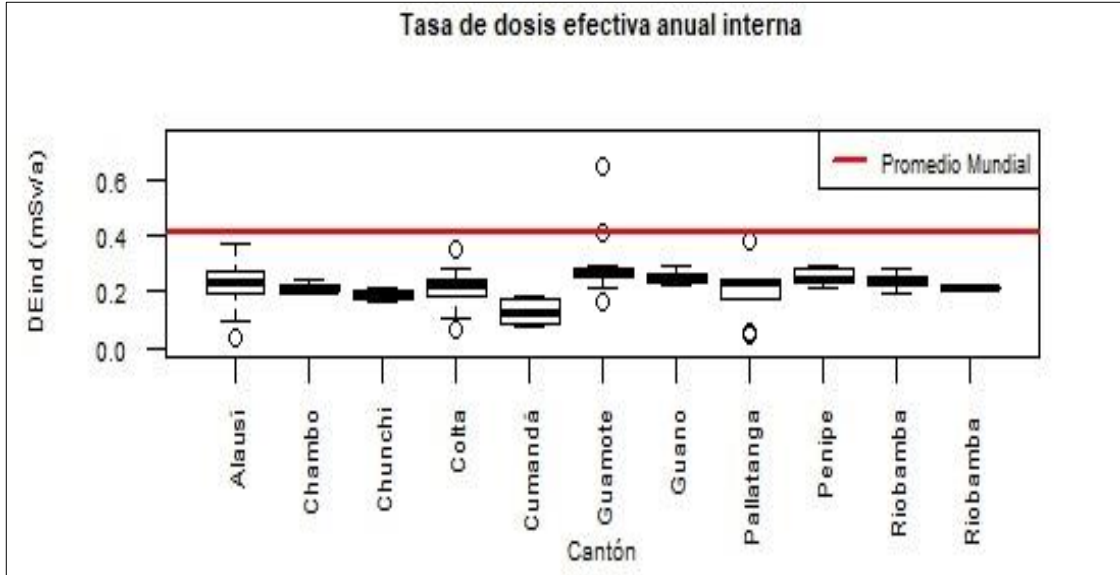
Los valores de tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma de los cantones de la Provincia de Chimborazo no sobrepasan el promedio mundial, a excepción del cantón Guamote, contiene un valor que evidentemente sobrepasa el promedio mundial y corresponde a la muestra ARAD-2017-467 27.



**Gráfico 12-3:** Tasa de dosis efectiva anual externa de los cantones de la Provincia de Chimborazo

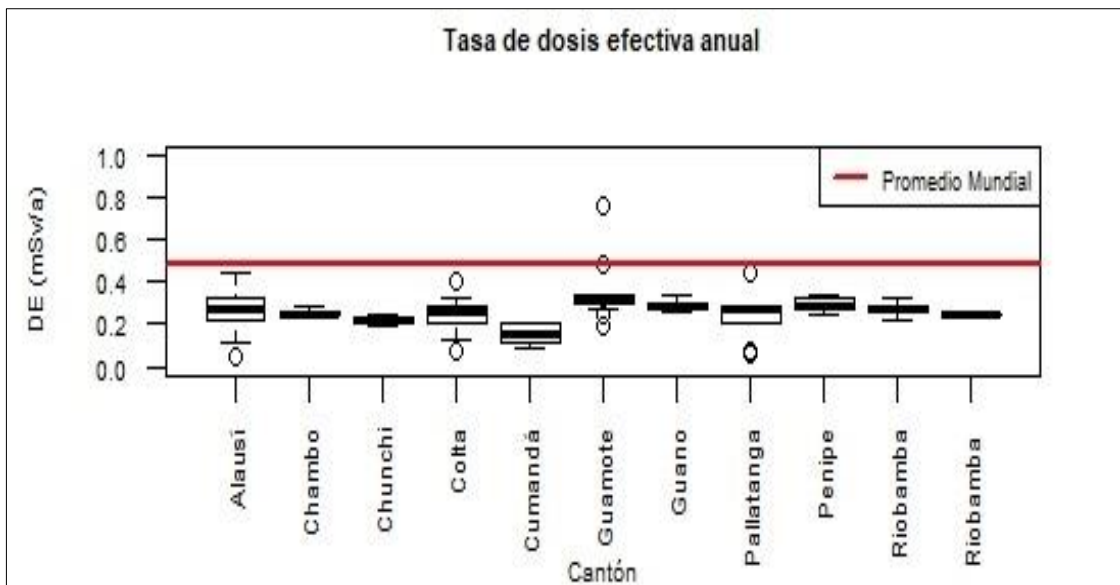
Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los valores de tasa de dosis efectiva anual externa de los cantones de la Provincia de Chimborazo no sobrepasan el promedio mundial, a excepción del cantón Guamate, contiene un valor que evidentemente sobrepasa el promedio mundial y corresponde a la muestra ARAD-2017-467 27.



**Gráfico 13-4:** Tasa de dosis efectiva anual interna de los cantones de la Provincia de Chimborazo  
**Realizado por:** Camacho A., Pucha G., 2018

Los valores de tasa de dosis efectiva anual interna de los cantones de la Provincia de Chimborazo no sobrepasan el promedio mundial, a excepción del cantón Guamate, contiene un valor que evidentemente sobrepasa el promedio mundial y corresponde a la muestra ARAD-2017-467 27.



**Gráfico 14-3:** Tasa de dosis efectiva anual de los cantones de la Provincia de Chimborazo  
**Realizado por:** Camacho A., Pucha G., 2018

Los valores de tasa de dosis efectiva anual de los cantones de la Provincia de Chimborazo no sobrepasan el promedio mundial, a excepción del cantón Guamote, contiene un valor que evidentemente sobrepasa el promedio mundial y corresponde a la muestra ARAD-2017-467 27.

### 3.3 Comparación entre unidades geológicas de acuerdo a la dosis absorbida por emisores gamma

**Tabla 39-3:** Resumen de los datos de tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma correspondientes a las unidades geológicas de la Provincia de Chimborazo

GEOLOGÍA	Nº	SUMA	PROMEDIO	VARIANZA	SD	MÍNIMO	MÁXIMO
Depósito de Abanico aluvial (QAa)	3	69,81	23,27	12,85	3,585	19,15	25,68
Facie Distal (QD)	15	545,6	36,37	25,30	5,029	24,26	42,80
Facie volcanosedimentaria (Qv)	7	251,8	35,97	14,96	3,868	32,21	42,68
Fm, Macuchi (PECM)	3	70,42	23,47	160,2	12,66	9,800	34,78
Fm, Yunguilla (KY)	5	199,8	39,96	206,2	14,36	19,80	55,44
Grupo Angamarca (PCEAG)	3	82,84	27,61	60,58	7,783	18,76	33,38
Rocas Intrusivas 1 (DD)	4	110,9	27,72	17,84	4,224	23,88	33,42
Rocas Intrusivas 2 (GGd)	5	168,4	33,69	12,57	3,546	28,98	37,16
Rocas Intrusivas 3 (Gb)	3	96,33	27,82	96,14	1,495	26,87	29,54
Sedimentos Apagua (EA)	4	131,6	32,90	1,670	1,292	31,45	34,48
Unidad Alao-Paute (JAa)	7	224,4	32,06	10,22	3,197	27,53	36,62
Unidad Guasuntos (JGg)	8	348,4	43,55	73,59	8,578	35,35	59,73
Unidad Maguazo (JAm)	3	117,0	39,00	40,52	6,365	33,81	46,10
Unidad Pallatanga (KPa)	4	83,06	20,77	124,4	11,15	7,440	32,71
Unidad Peltetec (JAp)	3	174,1	58,02	1040	32,26	34,42	94,78
Volcánicos Pisayambo (MPLPY)	8	293,5	36,68	16,41	4,051	29,83	41,59
Volcánicos Saraguro (EOS)	6	137,7	22,95	313,2	17,70	6,370	53,36
Volcánicos Tarqui (MPTL)	25	802,9	32,12	37,93	6,159	14,82	39,6
Volcánicos Zumbagua (MZ)	4	130,4	32,59	8,140	2,853	29,38	36,12

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

#### 3.3.1 Calculo estadístico de la prueba de Anderson-Darling

Para comprobar la normalidad de los datos de tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma se generó un código en el paquete estadístico RStudio, utilizando la prueba de Anderson-darling (Ver Figura 4-2), mediante el planteamiento de dos hipótesis

- $H_0$  (Hipótesis nula): Los datos de tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma siguen una distribución normal.
- $H_1$  (Hipótesis alternativa): Los datos de tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma no siguen una distribución normal.

**Tabla 40-3:** Valores de la prueba de Anderson-Darling

<b>PRUEBA DE ANDERSON-DARLING</b>	
<b>VALOR DE ANDERSON DARLIN</b>	<b>P-VALUE</b>
0,8621	$3,4 \times 10^{-9}$

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los valores obtenidos de la prueba de normalidad Anderson-Darling de los datos de tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma se muestran en la tabla 40-3, se comprobó el p-value  $3.486 \times 10^{-9}$  es muy inferior al valor de referencia de 0,05, esto quiere decir, que los datos de tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma no siguen una distribución normal. De manera que se rechaza la hipótesis nula, para aceptar la alterna.

### 3.3.2 Prueba de Krsukal-Willis

Se aplicó el método no paramétrico Kruskal-Willis con el propósito de evidenciar si al menos una unidad geológica es diferente a las demás, mediante dos hipótesis que son:

- $H_0$ : Todas las unidades geológicas son iguales
- $H_1$ : Al menos una unidad geológica es diferente

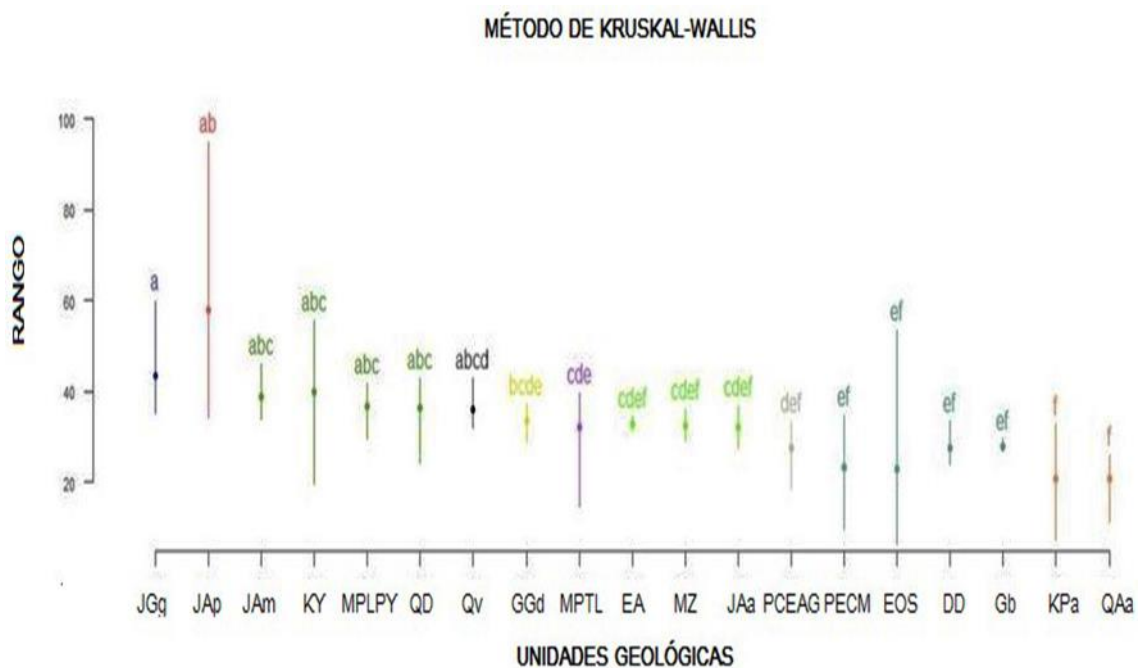
**Tabla 41-3:** Valores de la prueba Kruskal-Willis

<b>Critical value</b>	<b>df</b>	<b>p-value</b>
52,61	18,00	$3,0 \times 10^{-5}$

Realizado por: Camacho A., Pucha G., 2018

Los resultados de la prueba evidenciaron que las muestras provienen de poblaciones diferentes, es decir, las geologías no son iguales, el valor de p-value es muy bajo, por lo tanto, la diferencia se declara como estadísticamente significativa a un nivel de significancia de 0,05 debido a que p-value es inferior al valor de referencia. De esta manera se rechazó la  $H_0$  para aceptar la  $H_1$ ; al menos una unidad geológica es diferente.

Al conocer que al menos una unidad geológica es diferente, se procedió a identificar cuales geologías son estadísticamente diferentes dentro de los resultados obtenidos de la prueba de Kruskal-Willis (ver Gráfico 15-3). La geología con la misma letra no es significativamente diferente.



**Gráfico 15-3:** Comparación de unidades geológicas

**Realizado por:** Camacho A., Pucha G., 2018

Las geologías Unidad Guasuntos (JGg), Peltetec (JAp), Unidad Maguazo (JAm), Fm. Yunguilla (KY), Volcánicos Pisayambo (MPLPY), Facie Distal (QD) y Facie volcanosedimentaria (Qv) no son significativamente diferentes entre ellas. Las geologías Rocas intrusivas 2 (GGd), Volcánicos Tarqui (MPTL), Sedimentos Apagua (EA), Volcánicos Zumbagua (MZ), Unidad Ala-Paute (JAa), Grupo Angamarca (PCEAG), Fm, Macuchi (PECM), Volcánicos Saraguro (EOS), Rocas Intrusivas 1 (DD) y Rocas Intrusivas 3 (Gb) no son significativamente diferentes entre sí, por otra, La Unidad Pallatanga (KPa) y Depósitos de Abanico Aluvial (QAa) no son significativamente diferentes entre sí.

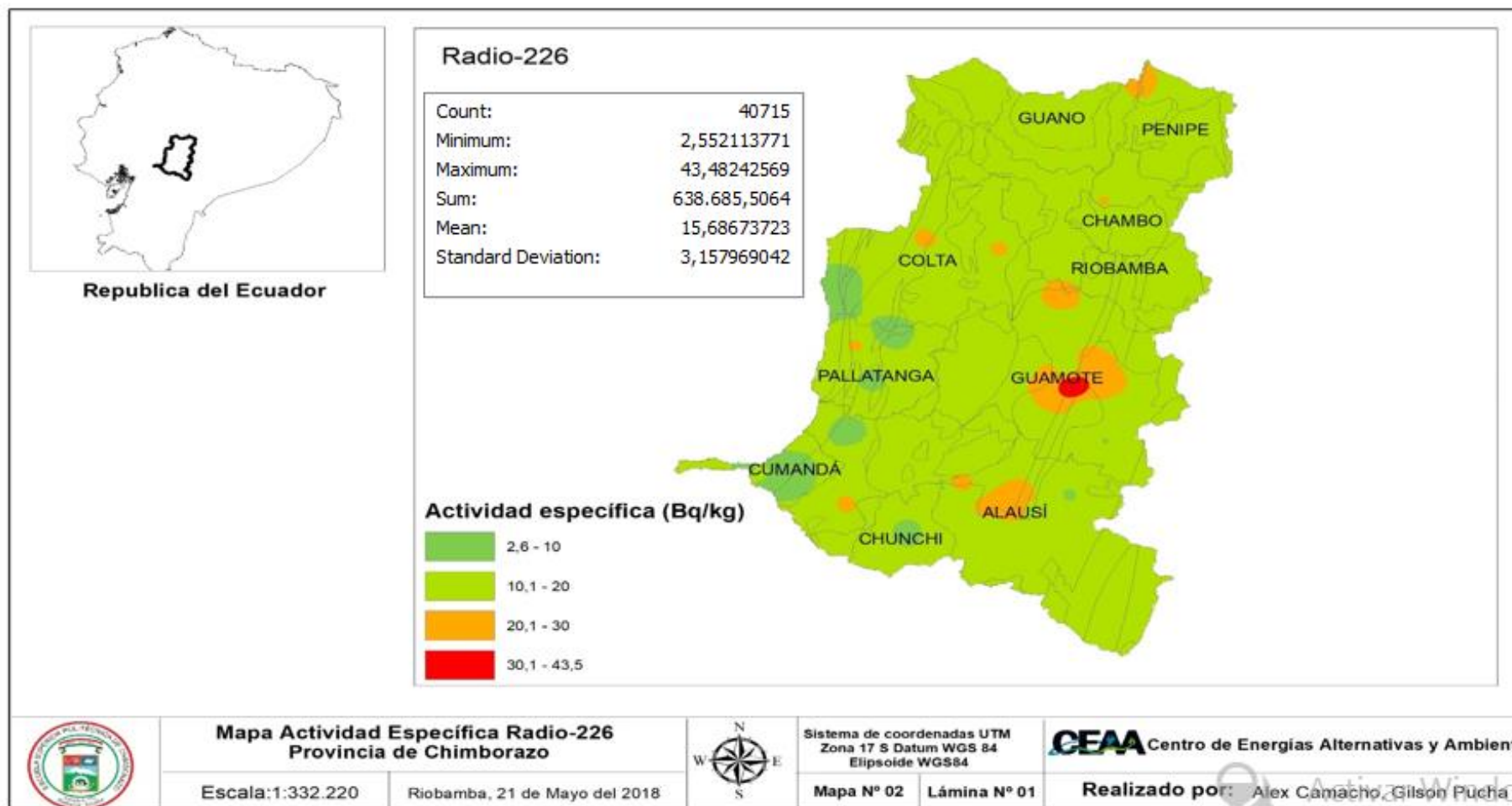
### 3.4 Mapas de emisores gamma terrestres naturales

En el mapa de actividad específica de  $^{226}\text{Ra}$  en la Provincia de Chimborazo, se muestran cuatro clases de niveles, los tres primeros niveles los rangos que se encuentran entre 2,6-10 Bq/kg, 10,1-20 Bq/kg y 20,1-30 Bq/kg, los cuales no sobrepasan el promedio mundial mientras que en el último nivel corresponde de 30,1-43,5 Bq/kg donde se muestra los puntos que sobrepasan el promedio mundial de 35 Bq/kg. Mientras que en el mapa de actividad específica de  $^{232}\text{Th}$  en la Provincia de Chimborazo, se muestran cuatro clases de niveles, los tres primeros niveles los rangos que se encuentran entre 4,1-10 Bq/kg, 10,1-20 Bq/kg y 20,1-30 Bq/kg, los cuales no sobrepasan el promedio mundial mientras que en el último nivel corresponde de 30,1-63,6 Bq/kg donde se muestra los puntos que sobrepasan el promedio mundial de 30 Bq/kg. A continuación en el mapa de actividad específica de  $^{40}\text{K}$  en la Provincia de Chimborazo, se muestran cuatro clases de niveles, los tres primeros niveles los rangos que se encuentran entre 54,1-200 Bq/kg, 200,1-300 Bq/kg y 300,1-400 Bq/kg, los cuales no sobrepasan el promedio mundial mientras que en el último nivel corresponde de 400,1- 854,8 Bq/kg donde se muestra los puntos que sobrepasan el promedio mundial 400 Bq/kg.

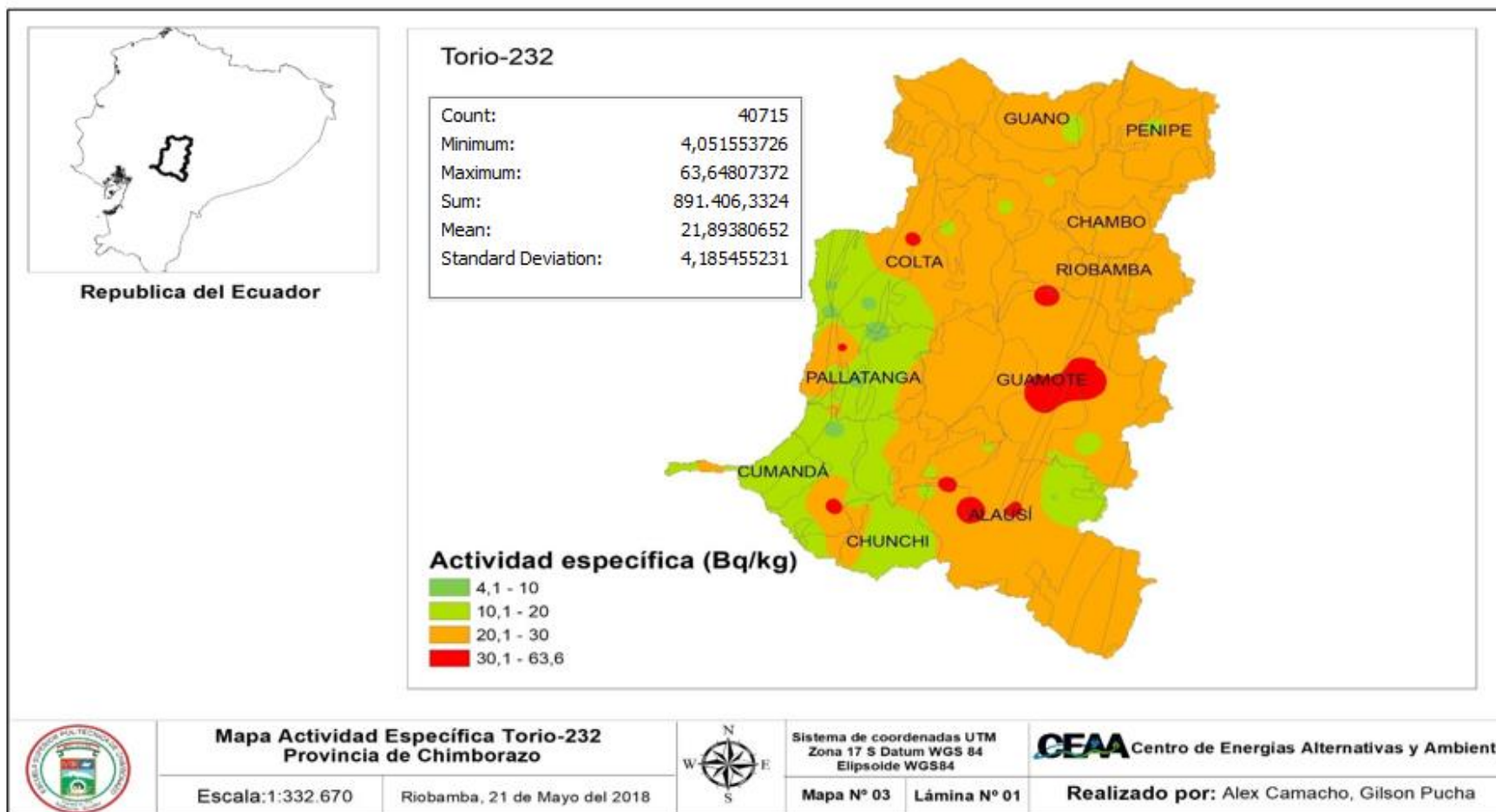
Finalmente en el mapa de niveles de radiación gamma terrestre está constituido por tres niveles de radiación; zona de menor radiación terrestre comprende el rango de (6,47-30) nGy/h y se identifica con el color azul, la zona de radiación terrestre intermedia se encuentra en el intervalo de (30,1-59) nGy/h y se registra de color amarillo y finalmente la zona con mayor radiación terrestre comprende en el intervalo (59,1-94,4) nGy/h identificado de color rojo con cuyos valores sobrepasan el promedio de radiación gamma terrestre mundial.



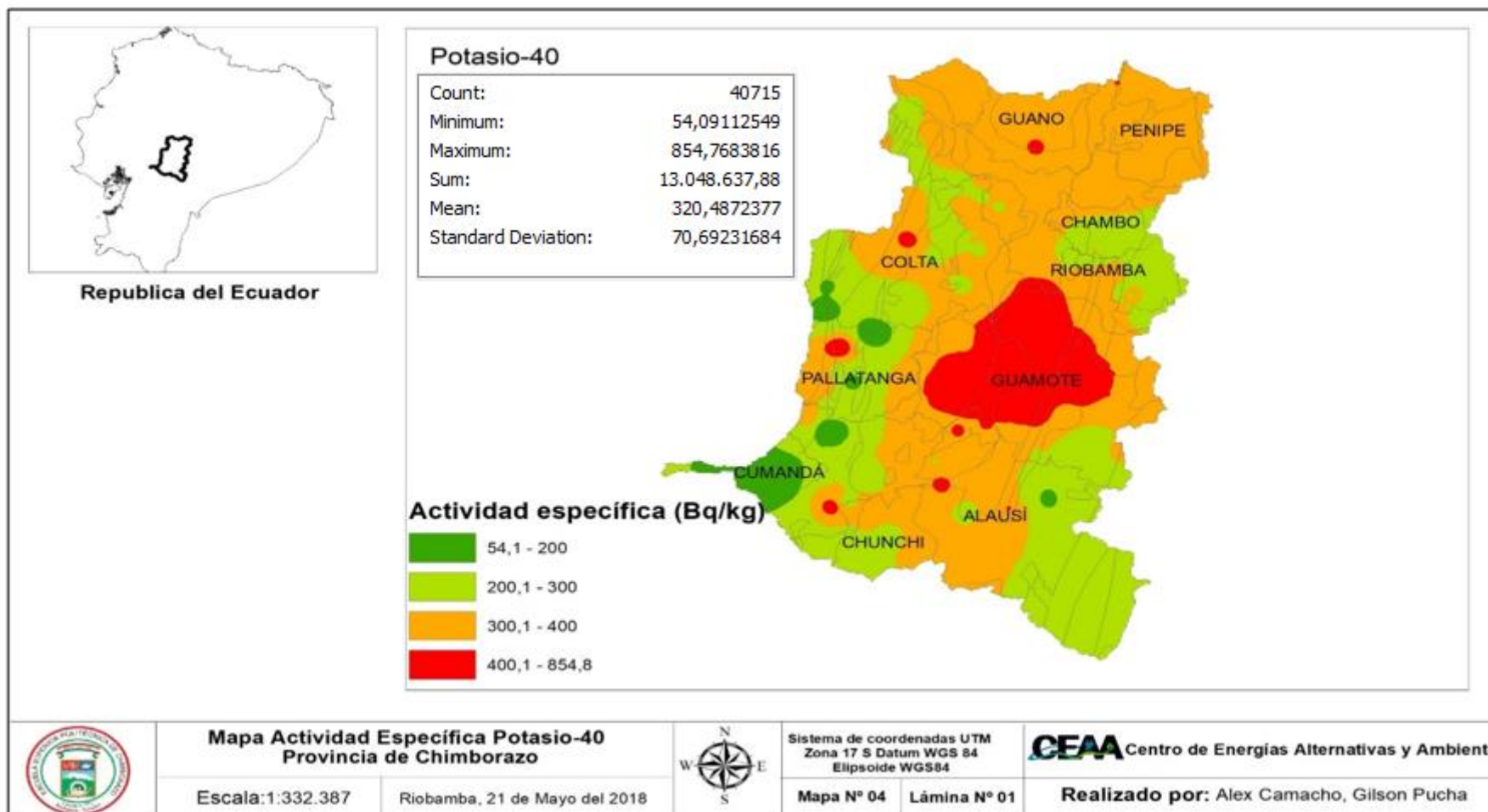
### 3.4.1 Mapa de actividad específica de $^{226}\text{Ra}$ en la Provincia de Chimborazo



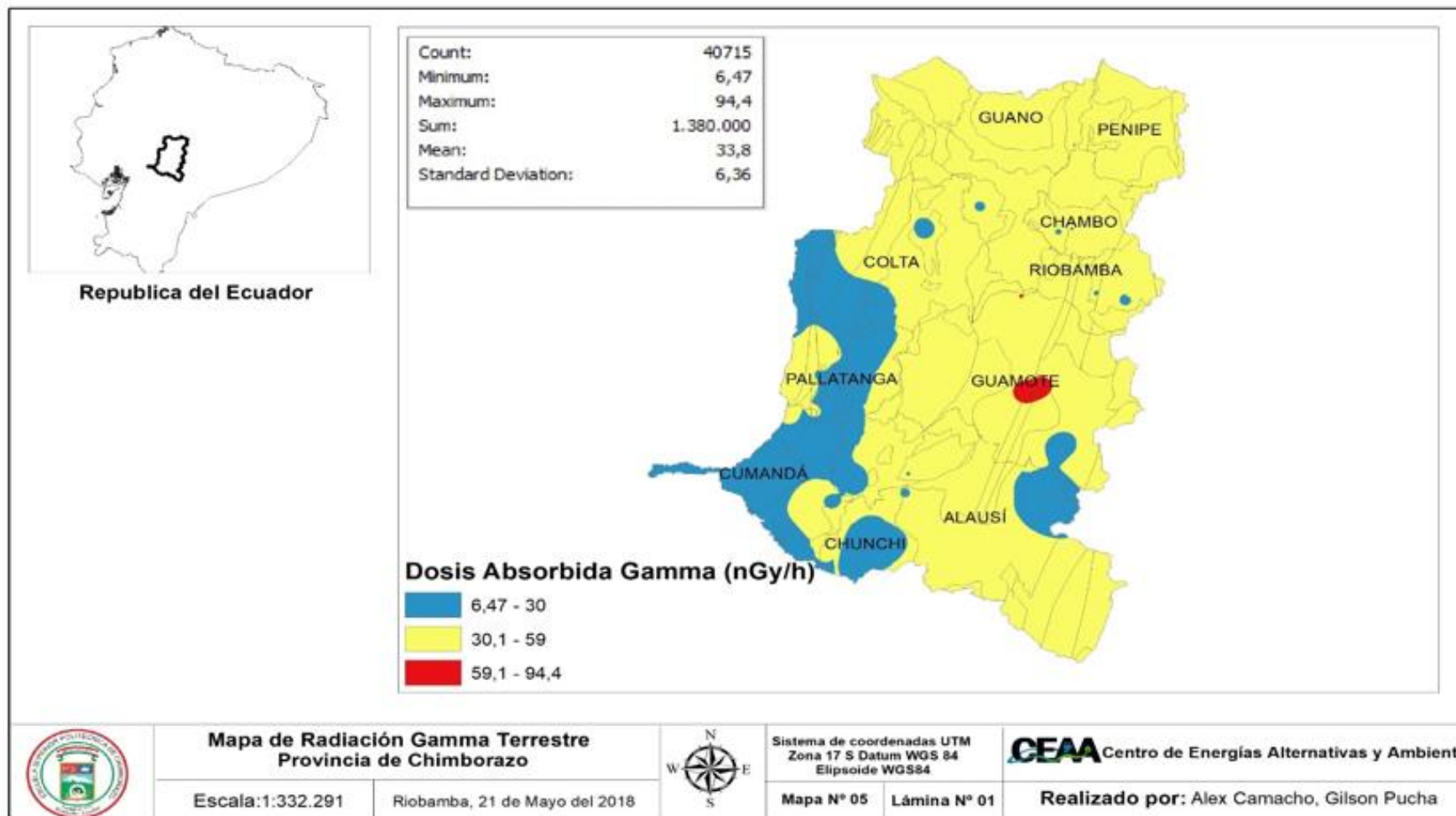
3.4.2 Mapa de actividad específica de  $^{232}\text{Th}$  en la Provincia de Chimborazo



3.4.3 Mapa de actividad específica de  $^{40}\text{K}$  en la Provincia de Chimborazo



### 3.4.4 Mapa de Niveles de Radiación Natural Gamma Terrestre de la Provincia de Chimborazo



## CONCLUSIONES

- Se determinó 120 puntos muestrales distribuidos de manera proporcional al área, suficientes para realizar geo estadística en la aplicación del método IDW de la provincia de Chimborazo, generándose una base de datos.
- Se identificó los principales radionucleidos,  $^{40}\text{K}$  y los productos hijos de la serie del  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$  que contribuyen mayormente a la exposición externa natural terrestre. La presencia de estos radionucleidos en el suelo, fue detectado por espectrometría gamma a partir de la energía e intensidad de emisión gamma y utilizados para estimar sus concentraciones de actividad.
- En la provincia de Chimborazo, se estimó que la actividad específica promedio de los principales contribuyentes a la exposición externa natural terrestre, la cual no sobrepasa el promedio mundial, sin embargo, existen puntos que sobrepasan y es atribuido a rocas pizarras y basaltos que conforman las unidades geológicas Guasuntos y Peltetec.
- Se estimó la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma donde se puede apreciar que el punto ARAD-2017-467-27 sobrepasa en 60,64% con respecto al promedio mundial, no obstante, el promedio de la provincia no sobrepasa el promedio mundial de 59 nGy/h.
- Se elaboró un mapa que describe los niveles de radiación gamma terrestre, donde la mayor extensión del territorio con 5266,38 km<sup>2</sup> abarca la zona de radiación terrestre intermedia entre 30,1-59 nGy/h y la zona con mayor radiación terrestre de valores superiores cubre un área de 30,34 km<sup>2</sup> la cual se encuentra en el cantón Guamote, lo que afirma que existe una alta contribución por la exposición terrestre en este cantón.

## RECOMENDACIONES

- Efectuar mayor número de estudios del suelo del país, para que nos permita tener una visión más amplia de los procesos naturales y antropogénicos que pueden ocasionar cambios perjudiciales en la salud del hombre y el ambiente en general.
- Realizar nuevos estudios enfocados en los sitios donde se presenta una mayor concentración radiactiva natural.
- Realizar un monitoreo con un espectrómetro de radiación gamma portátil para el sondeo *in situ*.

## BIBLIOGRAFÍA

**ArcGis.** Vista general del conjunto de herramientas Interpolación, [En línea] 2016 [Consulta: 20 05 2018]. Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10,3/tools/spatial-analyst-toolbox>

**Atwood, D.A.** *Radionuclides in the Environment*. Lexington-Estados Unidos:Jhon Wiley & Sons Ltd, 2010, pp 1-17.

**Castillo, F. J. G.** *Dinámica de poblaciones marinas*, [En línea] 2013, [Consulta: 20 05 2018]. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/29116/1/presentaD2.pdf>

**Castillo, A.** *Mapa Base de la Provincia de Chimborazo*, [En línea] 2013. [Consulta: 06 06 2018]. Disponible en: [http://ftp://ftp.puce.edu.ec/Facultades/CienciasHumanas/Analisis%20 Espacial/Ejemplo%20de%20Mapa%20Base.pdf](http://ftp://ftp.puce.edu.ec/Facultades/CienciasHumanas/Analisis%20Espacial/Ejemplo%20de%20Mapa%20Base.pdf)

**Cernohlawek, N.** “Estimating the terrestrial gamma dose rate by decomposition of the ambient dose equivalent rate”. *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], 2017 (Alemania) 166(2), pp. 296–308. [Consulta: 20 02 2018]. ISSN 0265-931X Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.02.013>.

**Colmenero, L.; Elena, M.;Cabrera, M.** Radioactividad Natural en Suelos de las Principales Ciudades del Estado de Chihuahua, [en línea] Mexico, IAEA, 2003 [Consulta: 11 03 2018]. pp. 2–8. Disponible en: [http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/37/009/37009821.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/009/37009821.pdf)

**Sanderson, C. G.** Department of Energy. Radionuclide Data. 28a ed. New York- Estados Unidos: Environmental Measurements Laboratory, 1997, pp. 1-11.

**Estefanía Chávez,** Caracterización de radionucleidos presentes en materiales de construcción de minas y canteras de la Provincia de Chimborazo y estimación de los niveles de riesgo asociados para la población (Trabajo de Titulación), *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO*, Facultad Ciencias, Escuela Física-Matemática, (Riobamba-Ecuador), 2016, pp. 23-26.

**Lau, H.; Sakanoue, M.** Absolute Determination of Uranium Concentration by Hyperpure Germanium LEPS. [en línea] *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* (1982), [Consulta: 10 04 2018] pp. 561–565. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167508782904847>

**Frias, D.** *Supuestos Parametrica*, [En línea] 2011 [Consulta: 20 04 2018]. Disponible en: <https://www.uv.es/~friasnav/SupuestosParametrica.pdf>

**Woodhead, D.** “Low doses of ionizing radiation: biological effects and regulatory control”. *Journal of Radiological Protection* [en línea], 2006, (Gran Bretaña) 19(3) [Consulta: 17 04 2018] ISSN: 0952-4746. pp. 289-291 Disponible en: [http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/30/059/30059910.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/30/059/30059910.pdf)

**Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática** *Estadística Inferencial*, [En línea], [Consulta: 20 05 2018] Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/19%20Curso%20estadística%20Inferencial.pdf>

**Janković, M.; Todorović, D.; Savanović, M.** “Radioactivity measurements in soil samples collected in the Republic of Srpska”, *Radiation Measurements* [en línea], 2008, (Serbia), 43(8), (2008) pp. 1448–1452 [Consulta: 15 03 2018], ISSN 1350-4487 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2008.03.004>.

**Khan, F.** *The Physics Of Radiation Therapy*. 3a ed. Philadelphia- Estados Unidos: Lippincott Williams & Wilkins, 2003, pp. 17-19.

**Karahan, G.; Bayulken, A.** "Assessment of gamma dose rates around Istanbul ", *Journal of Environmental Radioactivity*, [en línea], 2000, (Turkia) 47(2), pp. 213–221 [Consulta: 16 04 2018] Diponible en: [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(99\)00034-X](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(99)00034-X) .

**Kardan, M.; Fathabdi, N.** "A national survey of natural radionuclides in soils and terrestrial radiation exposure in Iran", *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], 2017, (Iran) pp.168–176 [Consulta: 14 04 2018] ISSN 0265-931 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.08.010>



**Leung, K. C.; Lau, S. Y.; Poon, C. B.** "Gamma radiation dose from radionuclides in Hong Kong soil", *Journal of Environmental Radioactivity*, [en línea], 1990, (Hong Kong), 11(3), pp. 279–290. [Consulta: 02 02 2018]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0265-931X\(90\)90020-V](https://doi.org/10.1016/0265-931X(90)90020-V)

**Malanca, A.** "Distribution of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , and  $^{40}\text{K}$  in soils of Rio Grande do Norte", *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], 1996 (Italia) 30(1), pp. 55–67. [Consulta: 15 03 2018] Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0265-931X\(95\)00035-9](https://doi.org/10.1016/0265-931X(95)00035-9)

**Murty, V.R.; Karunakara, N.** "Natural radioactivity in the soil samples of Botswana", *Radiation Measurements* [en línea], 2008 (Botswana) 43(9–10), pp. 1541–1545. [Consulta: 11 04 2018] ISSN 1350-4487. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2008.10.004>

**Navas, A.; Soto, J.; López-Martínez, J.** "Radionuclides in soils of Byers Peninsula, South Shetland Islands, Western Antarctica", *Applied Radiation and Isotopes* [en línea], 2005 (España) 62(5), pp. 809–816 [Consulta: 05 03 2018]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2004.11.007>

**Nolberto, V. A.; Ponce, M. E.,** *Estadística Inferencial Aplicada*. [En línea], 2008. [Consulta: 20 05 2018]. Disponible en: [https://issuu.com/juanjesustorresvalero/docs/libro\\_estadistica\\_inferencial](https://issuu.com/juanjesustorresvalero/docs/libro_estadistica_inferencial)

**Ojeda, F. C.** Análisis exploratorio y visualización de datos con R [en línea], 2014 pp. 78-86 [Consulta: 11 04 2018]. Disponible en: <http://fcharte.com/assets/pdfs/ExploraVisualizaConR-FCharte.pdf>.

**Organización Mundial de la Salud,** *Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección*, [En línea], 2016. [Último acceso: 12 05 2018] Disponible en: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>

**Saini, K.; Bajwa, B. S,** "Mapping natural radioactivity of soil samples in different regions of Punjab, India", *Applied Radiation and Isotopes* [en línea], 2017 (India), pp. 73–81 [Consulta: 04 03 2018]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.05.013>

**Santiago, S.** *Registro de erupciones ocurridas en los Andes del Norte durante el Holoceno : Nuevos resultados obtenidos en la turbera de Potrerillos , Complejo Volcánico Chiles-Cerro* [en línea], Ecuador: Instituto Geofísico 2017. [Consulta: 07 05 2018]. Disponible en: <https://www.igepon.edu.ec/publicaciones-vulcanologia/bibl-ccn/18841-santamaria-s-telenchana-e-bernard-b-hidalgo-s-beate-b-cordova-m-narvaez-d-2017/file>

**Toro, G. A.; Melo, C. E.** Aplicación de métodos de interpolación geoestadísticos para la predicción de niveles digitales de una imagen satelital con líneas perdidas y efecto sal y pimienta. [en línea], 2009 (Colombia). [Consulta: 04 03 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/211860566/Metodo-Interpolacion-Geoestadisticos-Para-La-Prediccion-Niveles-Digitales-Imagen-Satelital>

**Turhan, S.; Gunduz, L.** “Determination of specific activity of 226-Ra, 232-Th and 40-K for assesment of radiation hazard from Turkish pumice samples” *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], 2008 (Turkey), p. 334 ISSN 0265-931 [Consulta: 05 03 2018]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2007.08.022>

**Tzortzis, M.** “Gamma-ray measurements of naturally occurring radioactive samples from Cyprus characteristic geological rocks”, *Radiation Measurements* [en línea], 2003 (Nicosia) 37(3), pp. 221–229 ISSN 1350-4487 [Consulta: 04 03 2018]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(03\)00028-3](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(03)00028-3)

**RADIATION EFFECTS AND SOURCES.** *Radiation Effects and Sources*, Australia: United Nations Environment Programme Ltd, 2016, pp. 1-32.

**UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION.** *Sources and effects of ionizing radation, vol. 1*, New York- Estados Unidos, 1977, p. 43.

**UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION** *Sources and effects and risks of ionizing radation, vol. 1*, New York- Estados Unidos, (1988) pp. 50-57.

**UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION** *Sources and effects of ionizing radation, vol. 1*, New York- Estados Unidos, 1994 pp. 25–30

**UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION** *Sources and effects of ionizing radiation*, vol. 1, New York- Estados Unidos, 2000 pp. 27-32.

**UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION** *Sources and effects of ionizing radiation*, vol. 1, New York- Estados Unidos, 2008 pp. 229-339.

**Wang, Z.** “Natural radiation environment in China”, *International Congress Series*, [en línea], 2002, (Beijing) 1225(1), pp. 39–46. [Consulta: 11 03 2018]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0531-5131\(01\)00548-9](https://doi.org/10.1016/S0531-5131(01)00548-9)

## ANEXOS

### ANEXO A: Muestreo de suelo en la Provincia de Chimborazo



**ANEXO B: Ficha técnica**

<b>Ficha Técnica</b>			
			<b>Código:</b> <input style="width: 80px;" type="text"/>
<b>A. Identificación</b>			
Fecha:		Hora:	
Investigadores:			
Lugar:		Clima:	
Altitud:			
Coordenadas Geográficas:			
Observaciones Generales:			
<b>B. Información adicional</b>			
Tipo de Suelo			
Tipo de vegetación adyacente			
Observaciones:			

20/11/2017

**Ficha Técnica**

ARAD 111

**Código:**

<b>A. Identificación</b>			
Fecha:	11/11/2017	Hora:	9:42
Investigadores:	Alex Camacho Gilson Puchá		
Lugar:	Pungala - Calle bs Andes	Clima:	Soleado
Altitud:	2924 m		
Coordenadas Geográficas: 0768003 9799022			
Observaciones Generales:			
<b>B. Información adicional</b>			
Tipo de Suelo	Geología Rocas intrusivas.		
Tipo de vegetación adyacente	eucalipto		
Observaciones:			

**ANEXO C: Secado de muestras**



**ANEXO D: Preparado de muestras**





## ANEXO G: Reportes obtenidos del análisis de muestras



LSHM SpectraLine

### ANALISIS DE RADIATIVIDAD

Gamma-spectrum processing report from 22-12-2017

**Spectrum:** C:\Lsm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\SpelQuito\ARAD 2017 467 120  
**Configuration:** GCD-40180X SN 2169-15  
**Measurement date:** 21-12-2017 17:23:13  
**Live time:** 14399.55 s.  
**Real time:** 14406.00 s.  
**Comment:** ARAD 2017 467 120, ESPOCH,  
PESO NETO 1089.72 G  
MARINFI I I

#### Processing result on 21-12-2017:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/kg	Relative error, %
Rn-222	100	50	530	50
Th-232	350	100	400	24
K-40	4150	130	293	8
Bi-214	3080	220	119	7
Pb-214	3920	240	113	7
Ra-226	530	120	29	21
Pb-212	4380	160	28.3	8
Ac-228	5900	600	27.6	8
U-235	430	150	1.1	30
Unidentified	4990	170		
Background	1870	50	0	

Operator:

Gilson Pucha

Reporte 1



## Spectrum processing report

Spectrum: C:\LsmWork\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quit\ARAD 2017 467 120

Configuration: GCD-40180X SN 2169-15

Measured: 21-12-2017 17:23:13

Live time: 14399.55 c.

Real time: 14406.00 c.

Peaks found: 115

Channel	dChannel	Energy, keV	dE, keV	FW, keV	dFW, keV	Area	Area uncert.
66.934	1.235	12.314	0.238	0.649	0.000	27	17
288.084	2.033	53.228	0.376	0.786	0.000	41	26
342.614	0.271	63.316	0.050	0.811	0.000	286	63
394.261	3.472	72.871	0.642	0.767	0.559	32	11
417.312	0.214	77.136	0.040	0.775	0.084	1483	297
428.947	3.472	79.288	0.642	0.779	0.535	37	10
438.563	3.472	81.067	0.642	0.782	0.665	23	16
452.496	0.299	83.645	0.055	0.781	0.462	39	15
457.319	0.856	84.537	0.158	0.782	0.312	88	27
471.603	0.276	87.180	0.051	0.787	0.131	513	125
474.308	0.276	87.680	0.051	0.861	0.102	63	27
485.847	0.299	89.815	0.055	0.792	0.688	17	10
485.847	0.299	89.815	0.055	0.792	0.196	227	68
500.124	0.856	92.456	0.158	0.796	0.262	131	31
504.187	0.299	93.208	0.055	0.797	0.154	380	93
504.187	0.299	93.208	0.055	0.797	0.530	29	17
509.804	40.650	94.247	7.520	0.873	3594.795	5	2
513.161	0.448	94.868	0.083	0.874	0.856	11	2
538.247	0.448	99.509	0.083	0.883	0.244	139	17
566.949	0.448	104.819	0.083	0.892	0.414	47	11
571.192	0.448	105.604	0.083	0.894	0.294	94	21
587.289	0.448	108.582	0.083	0.899	0.496	33	9
698.006	0.289	129.065	0.053	0.933	0.113	289	27
761.870	0.289	140.880	0.053	0.951	0.288	39	19
778.041	0.797	143.872	0.147	0.939	0.457	63	22
833.267	0.797	154.089	0.147	0.954	0.429	82	9
883.823	0.797	163.442	0.147	0.967	0.722	27	10
1004.497	0.581	185.767	0.108	0.970	0.368	270	86
1004.440	3.100	185.756	0.573	0.970	0.536	136	23
1007.178	0.581	186.263	0.108	0.971	0.291	457	88
1110.874	0.174	205.447	0.032	0.821	0.270	23	7
1132.182	0.174	209.389	0.032	0.825	0.072	365	28
1290.303	1.257	238.642	0.232	0.942	0.086	143	18
1290.882	0.064	238.749	0.012	0.942	0.016	4100	138
1303.761	0.252	241.132	0.047	0.945	0.054	360	60
1308.491	1.257	242.007	0.232	0.945	0.104	100	8
1309.071	0.064	242.114	0.012	0.945	0.045	527	40
1461.310	0.425	270.279	0.079	1.178	0.158	289	27
1485.335	2.320	274.724	0.429	1.121	0.000	31	4

1902.281	3.126	351.860	0.578	1.086	0.286	395	20
1903.451	0.735	352.076	0.136	1.086	0.142	1606	85
2213.553	0.622	409.446	0.115	1.253	0.000	110	9
2498.175	0.219	462.103	0.041	0.976	0.431	8	1
2503.602	0.219	463.107	0.041	0.977	0.082	230	16
2751.244	1.330	508.921	0.246	1.337	0.000	21	6
2756.871	1.330	509.962	0.246	1.338	0.000	-61	62
2761.872	0.174	510.887	0.032	1.339	0.000	672	111
3040.859	1.517	562.501	0.281	1.380	0.517	41	4
3153.890	0.108	583.412	0.020	1.294	0.039	1280	85
3293.406	1.525	609.223	0.282	1.205	0.225	334	16
3295.397	0.390	609.591	0.072	1.205	0.118	1211	66
3597.384	1.604	665.460	0.297	1.451	0.639	36	3
3932.858	1.758	727.524	0.325	0.821	0.595	32	9
4084.809	0.427	755.635	0.079	1.326	0.462	40	4
4150.608	2.046	767.808	0.379	1.333	0.534	30	2
4155.300	0.427	768.676	0.079	1.334	0.277	111	9
4176.569	0.427	772.611	0.079	1.336	0.387	57	5
4228.087	1.508	782.142	0.279	1.532	0.875	19	2
4248.724	1.508	785.960	0.279	1.535	0.678	30	5
4298.313	0.390	795.134	0.072	1.702	0.193	162	11
4358.998	0.390	806.361	0.072	1.710	0.476	27	2
4490.412	0.390	830.673	0.072	1.727	0.552	20	2
4518.649	0.390	835.897	0.072	1.731	0.320	60	6
4543.876	0.390	840.564	0.072	1.734	0.425	34	4
4652.686	0.341	860.695	0.063	1.403	0.124	174	32
4889.215	0.137	904.453	0.025	1.497	0.272	27	3
4927.074	0.137	911.457	0.025	1.501	0.048	903	50
5050.276	0.847	934.250	0.157	1.508	0.325	61	5
5213.002	0.177	964.355	0.033	1.673	0.630	7	1
5216.710	0.177	965.041	0.033	1.673	0.131	168	12
5239.439	0.177	969.246	0.033	1.676	0.074	533	32
6054.758	1.498	1120.083	0.277	1.410	0.379	73	5
6058.876	0.366	1120.845	0.068	1.410	0.197	272	20
6244.528	2.055	1155.191	0.380	1.747	0.809	29	2
6691.580	3.536	1237.897	0.654	1.356	0.767	26	2
6695.197	0.713	1238.566	0.132	1.356	0.395	100	8
6926.814	0.713	1281.416	0.132	1.373	0.815	24	2
7443.019	0.216	1376.916	0.040	1.863	0.080	18	2
7451.311	0.845	1378.450	0.156	2.182	0.454	63	5
7492.613	0.845	1386.091	0.156	2.187	1.035	12	1
7580.125	0.845	1402.281	0.156	2.196	0.806	20	2
7615.151	0.845	1408.761	0.156	2.200	0.621	34	3
7889.825	0.067	1459.577	0.012	1.876	0.307	22	5
7898.927	0.067	1461.261	0.012	1.877	0.022	4568	134
8088.297	0.886	1496.295	0.164	1.601	0.548	23	3
8118.891	0.886	1501.955	0.164	1.603	0.752	12	2
8160.285	0.886	1509.613	0.164	1.606	0.467	32	3
8546.266	0.711	1581.020	0.132	2.388	0.831	15	2
8560.806	0.711	1583.710	0.132	2.389	1.033	10	1
8587.724	0.711	1588.690	0.132	2.392	0.370	80	7

8610.988	1.040	1592.994	0.192	2.395	0.401	61	20
8817.055	0.711	1631.117	0.132	2.416	0.542	38	3
8858.427	0.711	1638.771	0.132	2.420	0.960	12	2
8983.398	0.485	1661.891	0.090	1.815	0.866	16	2
9352.661	0.485	1730.206	0.090	1.842	0.558	41	4
9353.533	2.004	1730.368	0.371	1.842	1.079	11	1
9536.427	2.004	1764.204	0.371	1.856	0.477	57	5
9541.301	0.485	1765.105	0.090	1.856	0.249	211	17
9937.284	1.612	1838.364	0.298	2.073	1.448	5	1
9986.256	1.612	1847.424	0.298	2.077	0.606	29	3
11373.221	1.042	2104.017	0.193	2.181	0.436	55	17
11451.795	1.612	2118.554	0.298	2.187	0.903	14	2
11914.794	1.270	2204.210	0.235	2.218	0.293	60	6
11914.794	3.404	2204.210	0.630	2.218	0.570	16	2
13231.796	1.270	2447.860	0.235	2.310	0.558	18	2
14124.920	3.404	2613.091	0.630	2.369	0.494	22	6
14136.957	0.275	2615.318	0.051	2.370	0.109	495	45

