



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

**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 presentado para optar el grado académico de:

BIOFÍSICA

AUTORA: CHÁVEZ OLEAS ESTEFANÍA MICAELA

TUTOR: MG. SC. FREDDY BENALCÁZAR

Riobamba-Ecuador

2016

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA
CARRERA DE BIOFÍSICA

El tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: **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**, de responsabilidad de la señorita Estefanía Micaela Chávez Oleas, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal, quedando autorizada su presentación.

Mg. Sc. Freddy Benalcázar _____
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Dra. Myrian Borja _____
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN

Yo, Estefanía Micaela Chávez Oleas soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este proyecto de titulación y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

ESTEFANÍA MICAELA CHÁVEZ OLEAS

060437083-3

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres por ser mi luz, guía y apoyo, a mis hermanas Naty y Dani por ser quienes me alientan a seguir adelante, a mi sobrina Nicole quien alegra mi vida y a mi abuelita Oderay por su amor incondicional.

Estefanía

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mis padres Marcelo y Marcela por darme la oportunidad de existir en este universo, por brindarme su amor y apoyo.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a los docentes de la Escuela de Física y Matemática por formarme como profesional.

A la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares por todas las atenciones prestadas y poner a disposición sus instalaciones, instrumentos, equipos y materiales necesarios para el desarrollo de este trabajo.

De manera especial al Msc. Freddy Benalcázar, Biof. Mario Pérez, Biof. Javier Carrasco y Dra. Miyrian Borja por su desinteresada colaboración y valioso aporte en el desarrollo y culminación del presente trabajo.

Al Dr. Celso Recalde y al Centro de Investigación de Energía Alternativas y Ambiente gracias por su apoyo.

Estefanía

CONTENIDO

RESUMEN	xx
SUMMARY	xxi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1 MARCO REFERENCIAL	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Planteamiento del problema	5
1.2.1 Formulación del Problema.....	6
1.3 Justificación.....	6
1.3.1 Justificación teórica	6
1.3.2 Justificación metodológica	7
1.3.3 Justificación práctica	8
1.4 Objetivos	8
1.4.1 Objetivo general	8
1.4.2 Objetivos específicos.....	8
CAPÍTULO II	
2 MARCO TEÓRICO	10
2.1 EXPOSICIÓN A RADIACIÓN IONIZANTE DE ORIGEN NATURAL	10
2.2 Radiactividad y los materiales de construcción	10
2.3 Radiación de Origen Terrestre.....	11
2.4 Radionucleidos en serie	11
2.5 Radionucleidos no en serie	13
2.6 Tipos de radiaciones ionizantes	13
2.6.1 Partículas alfa	14

2.6.2	Partículas Beta.....	14
2.6.3	Radiación gamma	14
2.7	Exposición debido a emisores gamma procedentes de los materiales de construcción	15
2.7.1	Exposición externa	15
2.7.2	Exposición interna.....	15
2.8	Magnitudes dosimétricas que caracterizan la radiactividad	16
2.8.1	Actividad	16
2.8.2	Actividad Específica.....	17
2.8.3	Periodo de Semidesintegración.....	17
2.8.4	Equilibrio radiactivo	18
2.9	Índices de riesgo	19
2.9.1	Radio equivalente	19
2.9.2	Índice de riesgo externo.....	19
2.9.3	Índice de riesgo interno	20
2.9.4	Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma	20
2.9.5	Tasa de dosis efectiva anual	20
2.10	Provincia de Chimborazo	21
2.10.1	División Política de la Provincia de Chimborazo	21
2.10.1.1	Cantón Alausí.....	22
2.10.1.2	Cantón Chambo.....	22
2.10.1.3	Cantón Chunchi.....	22
2.10.1.4	Cantón Colta.....	23
2.10.1.5	Cantón Cumandá.....	23
2.10.1.6	Cantón Guamote.....	23
2.10.1.7	Cantón Guano.....	24
2.10.1.8	Cantón Pallatanga.....	24
2.10.1.9	Cantón Penipe	25

2.10.1.10	Cantón Riobamba	25
2.10.2	Materiales de construcción de minas y canteras de la Provincia de Chimborazo....	25
2.10.2.1	Arcilla.....	26
2.10.2.2	Arenán macadán y de río	26
2.10.2.3	Azufre.....	26
2.10.2.4	Caliza	26
2.10.2.5	Feldespató	27
2.10.2.6	Puzolana	27
2.11	Tipos de muestras y técnicas de muestreo	27
2.12	Espectrometría Gamma	28

CAPÍTULO III

3	DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN	29
3.1	Características del Equipo Experimental	29
3.1.1	Espectrómetro gamma “SOFTWARE SPECTRA LINE GAMMA PRECISION (GP)” MODELO GCD-40180X.....	29
3.1.1.1	Características Técnicas	29
3.1.2	Equipos y materiales para la toma y preparación de la muestra.....	30
3.1.2.1	Pala.....	31
3.1.2.2	Fundas	31
3.1.2.3	Balanza.....	31
3.1.2.4	Tamiz	32
3.1.2.5	Bandejas	32
3.1.2.6	Estufas e incubadora.....	32
3.1.2.7	Frasco	32
3.1.2.8	GPS	32
3.1.2.9	Programas informáticos.....	32
3.1.2.10	Computador.....	33
3.2	Variable dependiente e independiente	33

3.3	Tipo y caracterización de la prueba experimental aplicada.....	34
3.3.1	Espectrometría Gamma	34
3.4	Recolección, organización y procesamiento de datos	35
3.4.1	Minas y canteras de la Provincia de Chimborazo	35
3.4.2	Construcción de un mapa de ubicación de minas y canteras muestreadas de la Provincia de Chimborazo	37
3.4.3	Recolección de las muestras	39
3.4.4	Ingreso y etiquetado de muestras	39
3.4.5	Análisis de la muestra en el espectrómetro gamma GCD- 40180X	41
CAPITULO IV		
4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	43
4.1	Análisis e interpretación de resultados	43
4.1.1	Radionucleidos presentes en materiales de construcción	43
4.1.2	Estimación de la Actividad Específica	45
4.1.2.1	Actividad específica estimada en la Provincia de Chimborazo.....	45
4.1.2.2	Actividad específica de los cantones de la Provincia de Chimborazo.....	50
4.1.2.3	Actividad específica en cada material de construcción muestreado.....	64
4.1.3	Estimación de los índices de riesgo	74
4.1.3.1	Índices de riesgo en la Provincia de Chimborazo	74
4.1.3.2	Índices de riesgo para cada cantón	80
4.1.3.3	Índices de riesgo para cada material de construcción	101
CONCLUSIONES.....		116
RECOMENDACIONES.....		118
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Características técnicas del espectrómetro gamma GCD- 40180X	29
Tabla 2-3: Descripción de equipos y materiales	30
Tabla 3-3: Variables dependiente e independiente	33
Tabla 4-3: Minas y canteras de la provincia de Chimborazo	35
Tabla 5-3: Codificación de la muestra.....	40
Tabla 1-4: Radionucleidos presentes en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo.....	44
Tabla 2-4: Actividad Específica de los radionucleidos principales en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo	45
Tabla 3-4: Resultados del tratamiento de Estadística Descriptiva de la Actividad Específica de los radionucleidos presentes en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo.....	46
Tabla 4-4: Actividad específica de los radionucleidos principales determinada en las muestras de los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe	50
Tabla 5-4: Actividad específica de los radionucleidos principales determinada en las muestras de los cantones Chunchi y Guamote	52
Tabla 6-4: Estadística Descriptiva de los radionucleidos principales de las muestras de los cantones Chunchi y Guamote.....	53
Tabla 7-4: Actividad específica de los radionucleidos principales determinada en las muestras del cantón Colta	55
Tabla 8-4: Estadística Descriptiva de los radionucleidos principales de las muestras del cantón Colta.....	56
Tabla 9-4: Actividad Específica de los radionucleidos principales determinada en las muestras del cantón Guano	58
Tabla 10-4: Estadística Descriptiva de los radionucleidos principales de las muestras del cantón Guano.....	58
Tabla 11-4: Actividad específica de los radionucleidos principales determinada en las muestras del cantón Riobamba.....	60
Tabla 12-4: Estadística descriptiva de los radionucleidos principales de las muestras del cantón Riobamba.....	61
Tabla 13-4: Actividad Específica de los radionucleidos principales determinada en las muestras de los materiales arcilla, azufre, caliza y feldespato analizados	64

Tabla 14-4: Estadística Descriptiva de los radionucleidos principales de las muestras de los materiales arcilla, azufre, caliza y feldespato analizados.....	64
Tabla 15-4: Actividad específica de los radionucleidos principales en la Arena de río	67
Tabla 16-4: Estadística Descriptiva de los radionucleidos principales en la Arena de río	67
Tabla 17-4: Actividad específica de los radionucleidos principales en la Arena macadán	69
Tabla 18-4: Estadística Descriptiva de los radionucleidos principales de la Arena macadán	70
Tabla 19-4: Actividad específica de los radionucleidos principales en la Puzolana	72
Tabla 20-4: Estadística descriptiva de los radionucleidos principales en la Puzolana	72
Tabla 21-4: Índices de Riesgo asociados a materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo	75
Tabla 22-4: Estadística Descriptiva de los índices de riesgo en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo	76
Tabla 23-4: Índices de riesgo estimados para los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe	80
Tabla 24-4: Índices de riesgo estimados para los cantones Chunchi y Guamote	84
Tabla 25-4: Estadística Descriptiva de los índices de riesgo estimados de los cantones Chunchi y Guamote.....	85
Tabla 26-4: Índices de riesgo para el cantón Colta.....	89
Tabla 27-4: Estadística Descriptiva de los índices de riesgo asociados de las muestras del cantón Colta.....	89
Tabla 28-4: Índices de riesgo para el cantón Guano.....	92
Tabla 29-4: Estadística Descriptiva de los índices de riesgo en materiales de construcción muestreados del cantón Guano	93
Tabla 30-4: Índices de riesgo para el cantón Riobamba	96
Tabla 31-4: Estadística Descriptiva de la estimación de los índices de riesgo asociados a los materiales de construcción muestreados del cantón Riobamba	97
Tabla 32-4: Índices de riesgo estimados asociados a la arcilla, azufre, caliza y feldespato	101
Tabla 33-4: Estadística descriptiva de los índices de riesgo asociados a la Arcilla	101
Tabla 34-4: Índices de riesgo asociados a la Arena de Río.....	105
Tabla 35-4: Estadística Descriptiva de los índices de riesgo asociados a la Arena de río	105
Tabla 36-4: Índices de riesgo asociados a la Arena Macadán.....	108
Tabla 7-4: Estadística Descriptiva de los índices de riesgo asociados a la Arena macadán	109
Tabla 38-4: Índices de riesgo asociados a la Puzolana	112
Tabla 39-4: Estadística descriptiva de los índices de riesgo asociados a la puzolana	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Radionucleidos primordiales en serie	12
Figura 2-2: Radionucleidos primordiales no en serie	13
Figura 3-2: Mapa territorial de la provincia de Chimborazo.....	21

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Espectrómetro Gamma GCD-40180X.....	35
Gráfico 2-3: Mapa de ubicación de minas y canteras muestreadas de la Provincia de Chimborazo	38
Gráfico 3-3: Codificación y etiquetado de la muestra	40
Gráfico 1-4: Concentración de Potasio-40 en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo.....	47
Gráfico 2-4: Concentración de Radio-226 en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo	48
Gráfico 3-4: Concentración de Torio-232 en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo	49
Gráfico 4-4: Concentración de Potasio-40 en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe.....	51
Gráfico 5-4: Concentración de Radio-226 en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe	51
Gráfico 6-4: Concentración de Torio-232 en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe.....	52
Gráfico 7-4: Concentración de Potasio-40 en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote.....	54
Gráfico 8-4: Concentración de Torio-232 en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote.....	54
Gráfico 9-4: Concentración de Torio-232 en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote.....	55
Gráfico 10-4: Concentración de Potasio-40 en materiales de construcción muestreados en el cantón Colta	56
Gráfico 11-4: Concentración de Radio-226 en materiales de construcción muestreados en el cantón Colta	57
Gráfico 12-4: Concentración de Torio-232 en materiales de construcción muestreados en el cantón Colta	57
Gráfico 13-4: Concentración de Potasio-40 en materiales de construcción muestreados en el cantón Guano	59
Gráfico 14-4: Concentración de Radio-226 en materiales de construcción muestreados en el cantón Guano	59

Gráfico 15-4: Concentración de Torio-232 en materiales de construcción muestreados en el cantón Guano	60
Gráfico 16-4: Concentración de Potasio-40 en materiales de construcción muestreados en el cantón Riobamba.....	62
Gráfico 17-4: Concentración de Radio-226 en materiales de construcción muestreados en el cantón Riobamba.....	62
Gráfico 18-4: Actividad específica del Torio-232 en el cantón Riobamba.....	63
Gráfico 19-4: Concentración de Potasio-40 en la arcilla, azufre, caliza y feldespato	65
Gráfico 20-4: Concentración de Ra-226 en la arcilla, azufre, caliza y feldespato	66
Gráfico 21-4: Concentración de Torio-232 en la arcilla, azufre, caliza y feldespato	66
Gráfico 22-4: Concentración de Potasio-40 en la arena de río	68
Gráfico 23-4: Concentración de Radio-226 en la arena de río.....	68
Gráfico 24-4: Concentración de Torio-232 en la arena de río	69
Gráfico 25-4: Concentración de Potasio-40 en la arena macadán.....	70
Gráfico 26-4: Concentración de Radio-226 en la arena macadán.....	71
Gráfico 27-4: Concentración de Torio-232 en la arena macadán	71
Gráfico 28-4: Concentración de Potasio-40 en la puzolana.....	73
Gráfico 29-4: Concentración de Radio-226 en la puzolana	73
Gráfico 30-4: Concentración de Torio-232 en la puzolana.....	74
Gráfico 31-4: Radio equivalente en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo.....	77
Gráfico 32-4: Índice de riesgo externo en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo	77
Gráfico 33-4: Índice de riesgo interno en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo	78
Gráfico 34-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo	79
Gráfico 35-4: Tasa de dosis efectiva anual en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo	79
Gráfico 36-4: Radio equivalente en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe.....	82
Gráfico 37-4: Índice de riesgo externo en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe.....	82
Gráfico 38-4: Índice de riesgo interno en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe.....	83
Gráfico 39-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe	83

Gráfico 40-4: Tasa de dosis efectiva anual en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe	84
Gráfico 41-4: Radio equivalente en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote.	86
Gráfico 42-4: Índice de riesgo externo en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote.	86
Gráfico 43-4: Índice de riesgo interno en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote.	87
Gráfico 44-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gama en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote.	88
Gráfico 45-4: Tasa de dosis efectiva anual en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote.	88
Gráfico 46-4: Radio equivalente en materiales de construcción muestreados en el cantón Colta.....	90
Gráfico 47-4: Índice de riesgo externo en materiales de construcción muestreados en el cantón Colta.....	90
Gráfico 48-4: Índice de riesgo interno en materiales de construcción muestreados en el cantón Colta.....	91
Gráfico 49-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en materiales de construcción muestreados en el cantón Colta	91
Gráfico 50-4: Tasa de dosis efectiva anual en materiales de construcción muestreados en el cantón Colta.....	92
Gráfico 51-4: Radio equivalente en materiales de construcción en el cantón Guano	94
Gráfico 52-4: Índice de riesgo externo en materiales de construcción muestreados en el cantón Guano.....	94
Gráfico 53-4: Índice de riesgo interno en materiales de construcción muestreados en el cantón Guano.....	95
Gráfico 54-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en materiales de construcción muestreados en el cantón Guano	95
Gráfico 55-4: Tasa de dosis efectiva anual en los materiales de construcción muestreados en el cantón Guano	96
Gráfico 56-4: Radio equivalente en materiales de construcción muestreados del cantón Riobamba	98
Gráfico 57-4: Índice de riesgo externo en materiales de construcción muestreados del cantón Riobamba.....	98
Gráfico 58-4: Índice de riesgo interno en materiales de construcción muestreados del cantón Riobamba.....	99

Gráfico 59-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en materiales de construcción del cantón Riobamba.....	99
Gráfico 60-4: Tasa de dosis efectiva en materiales de construcción del cantón Riobamba	100
Gráfico 61-4: Radio equivalente en la Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato	102
Gráfico 62-4: Índice de riesgo externo en la Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato	103
Gráfico 63-4: Índice de riesgo interno en la Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato	103
Gráfico 64-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en la Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato	104
Gráfico 65-4: Tasa de dosis efectiva anual de la Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato.....	104
Gráfico 66-4: Radio equivalente en la arena de río	106
Gráfico 67-4: Índice de riesgo externo en la arena de río	106
Gráfico 68-4: Índice de riesgo interno en la arcilla, azufre, caliza y feldespato	107
Gráfico 69-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en la arcilla, azufre, caliza y feldespato	107
Gráfico 70-4: Tasa de dosis efectiva anual en la arcilla, azufre, caliza y feldespato.....	108
Gráfico 71-4: Radio equivalente en la Arena macadán	110
Gráfico 72-4: Índice de riesgo externo en la Arena macadán	110
Gráfico 73-4: Índice de riesgo interno en la Arena macadán.....	111
Gráfico 74-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en la Arena macadán	111
Gráfico 75-4: Tasa de dosis efectiva anual en la Arena macadán.....	112
Gráfico 76-4: Radio equivalente en la puzolana.....	113
Gráfico 77-4: Índice de riesgo externo en la Puzolana	114
Gráfico 78-4: Índice de riesgo interno asociado a la puzolana	114
Gráfico 79-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en la puzolana	115
Gráfico 80-4: Tasa de dosis efectiva anual en la Puzolana	115

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Muestreo de minas y canteras.....	44
ANEXO B: Trituración y tamizado de la muestra de material de construcción	44
ANEXO C: Secado de la muestra	45
ANEXO D: Marinellis y pesado de las muestras de los material de construcción.....	46
ANEXO E: Análisis de las muestras de los material de construcción con el Software SpectraLine	47
ANEXO F: Reportes obtenidos del análisis de la muestra de arena de río en el espectrómetro gamma.....	48
ANEXO G: Reportes obtenidos del análisis de la muestra de puzolana en el espectrómetro gamma	52
ANEXO H: Reportes obtenidos del análisis de la muestra de azufre del espectrómetro gamma	56
ANEXO I: Reportes obtenidos del análisis de la muestra de arena macadán en el espectrómetro gamma.....	60
ANEXO J: Reportes obtenidos del análisis de la muestra de caliza en el espectrómetro gamma.....	64
ANEXO K: Reportes obtenidos del análisis de la muestra de feldespato en el espectrómetro gamma.....	68
ANEXO L: Reporte General del análisis de espectrometría gamma entregado al cliente por el Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva de la SCAN	72

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AED	Tasa de dosis efectiva anual (con sus siglas en inglés)
\dot{D}	Tasa de dosis debido a emisores gamma
A	Actividad
A_e	Actividad específica
ARAD	Análisis Radiológico
ARCOM	Agencia Reguladora de Control Minero
Bq	Bequerelio
Bq/g	Bequerelio por gramo
Bq/kg	Bequerelio por kilogramo
cm	Centímetro
Ci	Curie
csv	Comma-separated values
EC	European Commission
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
H_{ex}	Índice de riesgo externo
H_{in}	Índice de riesgo interno
HPGe	High- purity Germanium
ICRP	Comisión Internacional de Protección Radiológica
K40	Potasio 40
keV	Kiloelectronvoltio
Kg	Kilogramo
km ²	Kilómetro cuadrado
kV	Kilovoltio
La ¹³⁸	Lantano 138
Lu ¹⁷⁶	Lutecio 176
M	Masa
MeV	Megaelectronvoltio
Mm	Milímetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mSv/año	Milisievert por año
MV	Megavoltio
MEER	Ministerio de Eletricidad y Energía Renovable

NEA-OECD	Nuclear Energy Agency – Organization for Economic Cooperation and Development
nGy/h	Nanogray por hora
°C	Grado centígrado
pCi/g	Picocurie por gramo
Po ²¹⁴	Polonio 214
Po ²¹⁸	Polonio 218
POE	Personal Ocupacionalmente Expuesto
Ra ²²⁶	Radio 226
Ra _{eq}	Radio equivalente
Rb ⁸⁷	Rubidio 87
Rn ²²⁰	Radón 220 – Torón
Rn ²²²	Radón 222
SCAN	Subsecretaria de Control y Aplicaciones Nucleares
S	Segundos
Shp	Shapefile
Sm ¹⁴⁷	Samario 147
Sv/Gy	Sievert por gray
Th ²³²	Torio 232
U ²³⁵	Uranio 235
U ²³⁸	Uranio 238
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar los radionucleidos presentes en materiales de construcción de minas y canteras de la Provincia de Chimborazo y estimar los niveles de riesgo asociados para la población. Las mediciones se ejecutaron en muestras de arcilla, arena macadán, arena de río, azufre, caliza, feldespato y puzolana, utilizando un espectrómetro gamma GCD-40180X el cual consta de un detector de germanio hiperpuro (HPGe). Se recolectó una muestra compuesta de cada material de construcción, se obtuvo un total de 38 muestras las mismas que fueron sometidas a un pre-tratamiento que se basó en trituración, tamizado y secado; las muestras secas fueron depositadas en marinellis (frascos de polietileno) para finalmente proceder con el análisis en el espectrómetro; el análisis realizado con el espectrómetro arrojó dos reportes, el primero que muestra los radionucleidos principales y el segundo que muestra las energías correspondientes de todos los radionucleidos presentes. En todos los materiales de construcción se ha encontrado tres radionucleidos principales K^{40} , Ra^{226} y Th^{232} y sus descendientes. Con la información obtenida de los radionucleidos mencionados se estimaron la actividad específica y los índices de riesgo. De las mediciones realizadas se logró determinar que la concentración media del K^{40} en la Provincia de Chimborazo sobrepasa en el 13.90% a la concentración media mundial, mientras que las concentraciones del Ra^{226} y Th^{232} se mantienen por debajo de la misma. En cuanto al nivel de riesgo asociado a la población en la Provincia de Chimborazo se determinó que la tasa de dosis debido a emisores gamma sobrepasa el límite permitido en un 7.60%, mientras que el radio equivalente, índice de riesgo externo e interno y la tasa de dosis efectiva anual se mantienen debajo de los límites permitidos. Se recomienda a los estudiantes de la Escuela de Física y Matemática continuar con estudios de este tipo.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <BIOFÍSICA>, <RADIONUCLEIDOS>, <MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN>, <CONCENTRACIÓN DE RADIONUCLEIDOS >, <ÍNDICES DE RIESGO>, <CHIMBORAZO(PROVINCIA)>

SUMMARY

The investigation had as objective to determine the radionuclides present in building materials of mines and quarries of the Chimborazo province and to estimate the risk levels associated to the population. The measurements were carried out in samples of clay, sand macadam, river sand, sulfur, limestone, feldspar and pozzolana, using a gamma spectrometer GCD40180X which consist of a detector of germanium hyper pure (HPGe). It collected a composite simple of each building material, it was obtained a total of 38 samples that were exposed to a pre-treatment based on crushing, sieving and drying; dry samples were deposited in polyethylene bottles and proceed with the analysis in the spectrometer; the analysis performed with the spectrometer showed two reports, the first shows the main radionuclides and the second shows the corresponding energies of all radionuclides present. In all the buiding materials have been found three main radionuclides K40, Ra226 y Th232 and their decendents. The specific activity and risk indexes are considered whit the information obtaind from the radionuclides mentioned. The measurements carried out determined that the average concentration of K40 in the province of Chimboeazo excedes in the 13.90% to the global mean concentration,while the concentrations of Ra226 and Th232 are maintained below the same. The risk level associated with the population in the Chimborazo province determined that the dose rate excedes the limit allowed in a 7.60% due to gamma emitters, while the radio equivalent, exteral and internal risk index and the rate of anual effective dose are kept below the limits allowed. It recommends to the Physics and Mathematics School to continue with this type of studies.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <BIOPHYSICS>, <RADIONUCLIDES>, <BUILDING MATERIALS>, <RADIONUCLIDES CONCENTRATION>, <RISK INDEXES>, <CHIMBORAZO (PROVINCE)>.

INTRODUCCIÓN

Constantemente el ser humano vive expuesto a radiaciones ionizantes que provienen de diversas fuentes de exposición. El UNSCEAR menciona que las personas se encuentran expuestas aproximadamente a radiación cósmica (13%), inhalación de radón (43%), ingestión de agua y alimentos (8%), radiación gamma terrestre (15%) en donde se incluyen materiales de construcción, exposiciones médicas (20%), exposición artificial y otras exposiciones (1%).

Los materiales de construcción extraídos de minas y canteras que provienen de rocas o suelos contienen radionucleidos naturales, los cuales decaen en otros radionucleidos que pueden ser estables o inestables emitiendo durante este proceso radiación ionizante de tipo alfa, beta o gamma. Cabe mencionar que las cadenas radiactivas más importantes son la del Uranio-238 (U^{238}) que a menudo se hace referencia a su hijo el Ra²²⁶ y la del Torio-232 (Th^{232}), que se suman a la presencia del Potasio-40 (K^{40}), cuyas concentraciones medias mundiales en la corteza terrestre son 35, 30 y 400 Bq/kg; sin embargo, estas concentraciones varían en las diferentes regiones del planeta.

Las radiaciones que emiten los radionucleidos presentes en los materiales de construcción pueden afectar a los tejidos externos debido una exposición directa, y a los tejidos internos sensibles del cuerpo humano debido a la ingestión o inhalación de partículas que contengan radionucleidos o productos de decaimiento radiactivo. Los niveles de riesgo pueden estimarse a través de distintos índices de riesgo asociados a los materiales de construcción como son el radio equivalente, el índice de riesgo externo, el índice de riesgo interno, la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma y la tasa de dosis efectiva anual.

El presente trabajo procura caracterizar radionucleidos presentes en materiales de construcción de minas y canteras de la Provincia de Chimborazo y estimar los niveles de riesgo asociados para la población, a través de la técnica de espectrometría gamma, por lo que en el capítulo I se describen las necesidades del desarrollo del proyecto y la viabilidad del mismo.

En el capítulo II se describe los principios físicos y fundamentación teórica acerca de la radiactividad en los materiales de construcción, la radiación de origen terrestre y las cadenas naturales en serie y no en serie; posteriormente se describen las magnitudes físicas y los índices de riesgo asociados a los materiales de construcción de la Provincia de Chimborazo. El enfoque proporcionado sirve para conocer y realizar las estimaciones necesarias de la actividad específica y los niveles de riesgo.

En el capítulo III se detalla la metodología utilizada, el diseño y experimentación, la misma que se basó en trabajos realizados en otros países, ya que el Ecuador no cuenta con estudios de este tipo.

En el capítulo IV se reportan los cálculos y estimaciones realizadas de la actividad específica e índices de riesgo, los mismos que fueron comparados con las concentraciones y límites permitidos a nivel mundial y por organismos internacionales como el UNSCEAR y el ICRP.

CAPÍTULO I

1 MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

El conocimiento de los niveles de radiación de origen terrestre en materiales de construcción resulta de gran importancia para poder estimar la exposición externa en seres humanos debido a las emisiones producidas por radionucleidos contenidos en estas matrices. El UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) desde 1955 ha venido evaluando la exposición de la población a diversas fuentes de radiación ionizante, los efectos en la salud y los posibles problemas ambientales.

En el artículo “Exposure to radiation from the natural radioactivity in building material” de la NEA-OECD (Nuclear Energy Agency–Organization for Economic Cooperation and Development) se estipula que el límite de exposición debido a radiación externa gamma debe ser de 370 Bq/kg correspondiente a los radionúclidos presentes en materiales de construcción (Fares et al, 2011, pp.895-905).

Según la EC (European Commission) en su reporte 112, “Radiation Protection” denominado “Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials” y el ICRP (International Commission on Radiological Protection) en su publicación No. 82 denominado ” Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure” sugieren que la tasa de dosis para la población será inferior a 1 mSv/año, superando este límite desde el punto de vista de Protección Radiológica deberá controlarse la exposición de la población. Además el UNSCEAR señala la distribución de la dosis anual media de radiación ionizante a la que está expuesta la población mundial, en función de su origen, que corresponde aproximadamente a: exposiciones médicas (20%), radiación cósmica (13%), , inhalación de radón (43%), ingestión de agua y alimentos (8%), radiación gamma terrestre (15%)se incluyen materiales de construcción que tiene elementos radiactivos de forma natural desde la creación de la tierra, exposición artificial; otras exposiciones (1%). (EC, 1999, pp.1-16), (ICRP, 1999, pp1), (UNSCEAR, 2000, pp. 93-94).

El UNSCEAR evalúa la evidencia de que las tasas de dosis bajas tienen efectos en la salud y realiza avances en el entendimiento de los mecanismos biológicos por el cual los efectos de la radiación inducida en la salud humana o no humana pueden ocurrir (UNSCEAR, 2013, pp. 5).

En 1992 un estudio titulado “Natural radioactivity from the building materials used in Islamabad and Rawalpindi, Pakistan” determinó la radioactividad en materiales de construcción usados para la edificación de viviendas, para lo cual se tomaron muestras de ladrillo, cemento, agregados de grava, arena y suelo, las mismas que fueron trituradas a un tamaño menor a 1 cm para ser introducidas a un horno a 110°C, hasta que la muestra tuviera un peso constante, finalizado este proceso las muestras se guardaron en contenedores de polietileno por 40 días, utilizaron un espectrómetro gamma HPGe, los radionucleidos encontrados ^{40}K , ^{226}Ra y ^{232}Th presentaron una actividad por debajo del límite legal; radio equivalente (R_{eq})= 206.35 Bq/kg (Tufail et al, 1992, pp. 283-291).

Al norte de África en Algerian, en el año 2000 investigadores midieron la concentración de actividad específica de ^{40}K , ^{226}Ra y ^{232}Th mediante un espectrómetro gamma HPGe de alta resolución en muestras de cemento, arcilla de ladrillo, mármol, cerámica, asbesto, agregados de grava, arena y cal, calcularon el radio equivalente (R_{eq}), es decir, la dosis gamma externa mostrando resultados por debajo del límite permitido (370 Bq/kg) (Amrani & Tahtat, 2001, pp.687-689).

En la investigación “Determination of natural radioactivity and associated radiation hazard in building materials used in Weinan, China”, en el año 2014, se muestran los índices de riesgo asociados a la radiactividad natural presentes en materiales de construcción como ladrillo, agregado de grava, cemento, baldosa de cerámica, azulejo y tierra. Para la determinación de radionúclidos, procedieron a recolectar muestras de localidades puntuales donde se producen dichos materiales. Las muestras fueron aplastadas y pulverizadas hasta un tamaño aproximado de 0.16 mm, después se sometieron a un horno a temperatura de 105°C por un tiempo de entre 8 y 12 horas o hasta que la muestra se seque; las muestras se colocaron en un contenedor de polietileno que no permita el escape del radón (es cerrado herméticamente); este contenedor tenía una altura de 7 cm y 6.5 cm de diámetro, las muestras que se encuentran en el contenedor fueron pesadas y posteriormente selladas por 4 a 5 semanas para que los radionucleidos entren en equilibrio. Se utilizó un espectrómetro gamma con el que se determinó que el ^{40}K , ^{226}Ra y ^{232}Th fueron los radionucleidos más representativos en cada una de las muestras, siendo el ^{40}K el mayor contribuidor del total de la actividad. Los valores de los índices de riesgo y del radio equivalente de la muestra de azulejo están cerca o por encima del límite recomendado y los valores de la dosis anual efectiva de la teja, azulejo y el cemento exceden los límites permitidos (1 mSv/año) (Xinwei Lu et al, 2012, pp. 780-784).

En la República del Ecuador y en la provincia de Chimborazo no se han realizado estudios específicos basados en la caracterización de radionúclidos en materiales de construcción con espectrometría gamma. A continuación se enuncian trabajos relacionados con este campo de investigación realizados por estudiantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- Radiometría del Radón y Actividad Geofísica: Teoría y Datos Pre-operacionales, por Flores Humanante Bolívar Edmundo, en el año de 1986.
- Radiometría del Radón y Actividades Geofísicas: Análisis Estadístico Preliminar de los Datos, por Idrovo Novillo Julio César en el año de 1987.
- Los Detectores Sólidos de Trazas Nucleares como Medidores del Radón 222, por Bejar Suárez Jaime Giovanni en el año de 1989.
- Cuantificación del Radón en Habitaciones de Diferente Construcción y Evaluación del Riesgo Epidemiológico, por Jara Mancheno Mónica Patricia en el año de 1990.
- Cuantificación de Radón en Recintos Habitacionales en las Provincias de Chimborazo, Carchi, Azuay, por Torres Méndez Bertha Dolores en el año de 1992.
- Dosimetría de Radón, en Viviendas con Diferentes Materiales de Construcción, por Colcha Ortíz María Patricia en el año de 2005.
- Cuantificación de los Niveles de Radón en Ambientes de Dormitorios en la Parroquia Victoria del Portete (Cuenca - Azuay). En construcciones que Contengan Diferentes tipos de materiales, por Pichisaca Córdova Carmen Eugenia en el año 2006.
- Propuesta de Reducción de los Niveles de Radón en Construcciones de Cemento Armado, por Ramos Flores María Eugenia en el año 2008.
- Determinación de radiación natural en la Provincia de Chimborazo, por Pérez Mario y López Wilson en el año 2015.

1.2 Planteamiento del problema

La naturaleza de los materiales de construcción es una cuestión que preocupa a países de todo el mundo tanto desarrollados como en vías de desarrollo, por su trascendencia en la salud de la población.

La contaminación radioactiva en materiales de construcción es un problema mundial de grandes consecuencias, por tal razón el UNSCEAR advierte que se ha comprobado, en estudios realizados, que la exposición a dosis bajas de radiación podría causar daños. La existencia de sustancias radioactivas de origen natural como radionucleidos de las series de desintegración del torio y del uranio presentes en materiales de construcción, en particular el Ra^{226} y la existencia de procesos tecnológicos que manejan materiales radioactivos de origen natural, como en la extracción minera y el procesado de arenas minerales son factores que podrían causar daños en la salud del hombre.

Se exponen en diversos reportes de organismos internacionales efectos radiológicos perjudiciales para la salud, debido al uso de materiales de construcción si estos contienen concentraciones de radionucleidos mayores que los niveles de referencia o superiores a un radio equivalente de 370 Bq/kg.

1.2.1 Formulación del Problema

La falta de conocimiento de la radiactividad natural e índices de riesgo asociados para la población debido a radiación ionizante gamma proveniente de materiales de construcción de la Provincia de Chimborazo podría ser un factor que influya con la contaminación radiactiva al ambiente y la población.

Este trabajo de investigación se centrará en la determinación de la actividad específica, valoración del radio equivalente y en la estimación de los índices de riesgo para la población con respecto a radionucleidos presentes en materiales de construcción extraídos de minas y canteras de la Provincia de Chimborazo, mediante un espectrómetro gamma GCD-40180X el cual consta de un detector de germanio hiperpuro (HPGe) coaxial tipo P de ventana fina.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación teórica

La radiación de origen terrestre existe desde que el planeta se formó, encontrándose en todas partes, en el agua, el aire, el suelo y los alimentos, por lo que la población se encuentra expuesta de manera continua a radiación ionizante.

El trabajo de investigación propuesto busca determinar radionucleidos naturales presentes en materiales de construcción extraídos de minas y canteras de la Provincia de Chimborazo y los índices de riesgo asociados debido a radiación ionizante que emiten dichas sustancias.

La investigación y medida de radionucleidos es de importancia científica y salud pública. El UNSCEAR en el año 2000 dio a conocer que no solo las dosis altas de radiación ionizante producen daños clínicamente detectables, existen evidencias de que las dosis bajas de radiación ionizante podrían causar daños a la salud de las personas (UNSCEAR, 2000, pp.80-83).

El Ecuador al ser un país en vías de desarrollo y al no contar con centrales nucleares, la radiación natural, es la mayor fuente de exposición a radiaciones ionizantes, siendo un factor importante la radiación de origen terrestre y los radionucleidos presentes en materiales de construcción extraídos de minas y canteras que aportan exposición externa originada principalmente por emisores gamma.

La Provincia de Chimborazo presenta suelos que se caracterizan por ser de naturaleza volcánica formados a partir de materiales piroplásticos producto de erupciones volcánicas pasadas, suelos pantanosos propios de los páramos, en la parte occidental suelos francos y al nivel de los andes suelos rocosos. La variación y cantidad de radionucleidos presentes en los materiales de construcción varía de un lugar a otro según la concentración de áridos y pétreos presentes en regiones estudiadas.

En la República del Ecuador y en la Provincia de Chimborazo, no se han realizado estudios basados en la caracterización de radionucleidos en materiales de construcción utilizando espectrometría gamma.

1.3.2 Justificación metodológica

Para lograr el cumplimiento de los objetivos de estudio se empleará espectrometría gamma como técnica, para medir la concentración de radionucleidos a través de un espectrómetro gamma, el cual consta de un detector de germanio hiperpuro (HPGe) coaxial tipo P de ventana fina. Se busca conocer la concentración y variedad de radionucleidos presentes en materiales de construcción y los niveles de riesgo asociados a los mismos para la población; así, los resultados de la investigación se apoyarán en técnicas validadas.

1.3.3 Justificación práctica

La presente investigación tiene relevancia social, ya que contribuye la cuantificación de la contaminación radioactiva en base a estándares internacionales en materiales de construcción extraídos de minas y canteras de la Provincia de Chimborazo satisfaciendo el Objetivo 3 del Plan Nacional del Buen Vivir “MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA DE POBLACIÓN” Artículo 2: “Ampliar los servicios de prevención y promoción de la salud para mejorar las condiciones y los hábitos de vida de las personas”, literal j: “Fortalecer el sistema de vigilancia ante posibles riesgos que causen morbilidad o mortalidad evitable”.

La investigación es viable puesto que existen vías de acceso para llegar a los sitios de muestreo, se cuenta con el respaldo de la Agencia Reguladora de Control Minero, del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) y el Departamento de Vigilancia Ambiental Radiactiva que entre sus prestaciones, responsabilidades y servicios está brindar apoyo a la seguridad radiológica tanto al Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) y en general a todo el público del territorio nacional.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Caracterizar radionucleidos presentes en materiales de construcción de minas y canteras de la Provincia de Chimborazo y estimar los niveles de riesgo asociados para la población.

1.4.2 Objetivos específicos

- Construir un mapa de ubicación de minas y canteras de la Provincia de Chimborazo a ser muestreadas para la determinación de radionucleidos presentes en materiales de construcción, según la base de datos de la Agencia Reguladora de Control Minero.
- Identificar los principales radionucleidos presentes en materiales de construcción extraídos de minas y canteras de la Provincia de Chimborazo.
- Estimar la Actividad Específica y los Índices de Riesgo debido a la concentración de los radionucleidos presentes en materiales de construcción extraídos de minas y canteras de la Provincia de Chimborazo.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 EXPOSICIÓN A RADIACIÓN IONIZANTE DE ORIGEN NATURAL

La Unión Europea ha mostrado una creciente preocupación por la protección del medio ambiente y la salud de las personas expuestas a agentes peligrosos. Se han desarrollado estrategias en materia de prevención y protección de los trabajadores y del público ante la exposición a las radiaciones ionizantes, basadas en la obligación de evaluar la exposición, la vigilancia radiológica y en el cumplimiento de normas relativas a la protección y prevención de la exposición a radiaciones ionizantes (Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 2001, pp. 1-37).

Entre las actividades regidas por la legislación española en el Real Decreto se incluyen, por primera vez, las relacionadas con fuentes de radiación natural:

- Actividades laborales donde los trabajadores y, en su caso, los miembros del público estén expuestos a la inhalación de descendientes de torón o de radón, o a la radiación gamma o a cualquier otra exposición en lugares de trabajo tales como establecimientos termales, cuevas, minas, lugares de trabajo subterráneos o no subterráneos en áreas identificadas.
- Actividades laborales que impliquen el almacenamiento o la manipulación de materiales que habitualmente no se consideran radiactivos pero que contengan radionucleidos naturales que provoquen un incremento significativo de la exposición de los trabajadores y, en su caso, de miembros del público.
- Actividades laborales que generen residuos que habitualmente no se consideran radiactivos pero que contengan radionucleidos naturales que provoquen un incremento significativo en la exposición de los miembros del público y, en su caso, de los trabajadores.

2.2 Radiactividad y los materiales de construcción

Los materiales de construcción al ser derivados de rocas o terrenos, contienen cierta cantidad de radionucleidos provenientes de cadenas naturales que decaen en otros radionucleidos (estables o inestables), emitiendo durante la etapa de decaimiento radiaciones ionizantes alfa, beta o gamma,

ocasionando un incremento en el fondo natural radiactivo y por consiguiente un aumento a la dosis absorbida por las personas.

Esta radiación no solo puede afectar a los tejidos externos a causa de la exposición directa, sino que también a través de la inhalación o ingestión de partículas que contienen radionucleidos o productos del decaimiento radiactivo puede atacar a los tejidos sensibles en el interior del organismo. Es por ello que es de suma importancia conocer cuales materiales de construcción podrían causar un aumento en la exposición gamma y en la concentración de radón en interiores (Quintana et al, 2006, pp.1-9)

2.3 Radiación de Origen Terrestre

Desde la formación del planeta Tierra ha existido radiación ionizante de origen terrestre, constituida por radionucleidos primordiales que son núcleos radiactivos presentes en la corteza e interior de la tierra, éstos radionucleidos y sus hijos tienen vidas medias comparables con la edad de la tierra, es decir, millones de años y se encuentran en todo el medio ambiente incluyendo en el cuerpo humano. Los radionucleidos primordiales se dividen en dos grandes grupos: radionucleidos en serie y radionucleidos no en serie.

La irradiación del cuerpo humano a partir de fuentes externas se debe a radiación gamma de radionucleidos presentes en series del ^{238}U , ^{232}Th y del ^{40}K , pero, existen otros radionucleidos de origen terrestre incluyendo el ^{138}La , ^{147}Sm , el ^{176}Lu y los de la serie del ^{235}U , que no presentan contribuciones de dosis altas para el ser humano (UNSCEAR, 2000, pp. 89-92).

2.4 Radionucleidos en serie

De las cuatro series de desintegración conocidas, solo tres de ellas ocurren naturalmente como son la serie del Uranio (^{238}U), Torio (^{232}Th) y Actinio (^{235}U), las mismas que tienen un periodo de semidesintegración del mismo orden de magnitud que la edad de la tierra .

El uranio natural que se encuentra en la tierra se compone por cuatro isotopos, estos son: ^{230}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , siendo el ^{238}U el de mayor abundancia, el periodo de semidesintegración corresponde a $4.4638 \cdot 10^9$ años, se encuentra en todo tipo de rocas y terrenos. Al igual que el ^{238}U algunos de sus descendientes están presentes en todos los tipos de rocas y suelos en proporciones variables así como también en la atmósfera y en el agua. Cabe destacar que un descendiente

radiactivo es el ^{222}Rn , que en condiciones normales es un gas y se encuentra mezclado con los gases de la atmósfera (Froehlich, 2010, pp. 2-7).

El ^{232}Th tiene un periodo de semidesintegración de 1.405×10^{10} años, de manera especial se nombra a uno de sus descendientes radiactivos el ^{220}Rn también conocido como Torón que en condiciones normales es un gas de forma análoga al radón (Froehlich, 2010, pp. 2-7).

Finalmente el ^{235}U presenta un periodo de semidesintegración de 7.037×10^8 años, uno de los componentes de la serie es el ^{219}Rn , que en condiciones normales, tal como ocurre en las series del ^{235}U y ^{232}Th es un gas y puede difundirse a la atmósfera (Froehlich, 2010, pp. 2-7).

Las tres series mencionadas disponen de descendientes emisores de radiación alfa, beta y gamma y contribuyen a campos de radiación externa e interna. Cabe mencionar que el último componente de las tres series radiactivas es el plomo estable, con un periodo de semidesintegración superior a 10^{18} años (Froehlich, 2010, pp. 2-7).

Nuclide	Half-life	Radiation	Nuclide	Half-life	Radiation
Uranium series			Thorium series		
^{238}U	4.5×10^9 years	α, γ	^{232}Th	1.4×10^{10} years	α, γ
^{234}Th	24 days	β, γ	^{228}Ra	6.7 years	β
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	1.2 min	β, γ	^{228}Ac	6.13 h	β, γ
^{234}U	2.5×10^5 years	α, γ	^{228}Th	1.9 years	α, γ
^{230}Th	8.0×10^4 years	α, γ	^{224}Ra	3.64 days	α, γ
^{226}Ra	1,622 years	α, γ	^{220}Rn	55 s	α, γ
^{222}Rn	3.8 days	α, γ	^{216}Po	0.16 s	α
^{218}Po	3.05 min	α	^{212}Pb	10.6 h	β, γ
^{214}Pb	26.8 min	β, γ	^{212}Bi	60.5 min	β, α, γ
^{218}At	1.5–2.0 s	α	^{212}Po	3.04×10^{-7} s	α
^{214}Bi	19.7 min	β, α	^{208}Tl	3.1 min	β, γ
^{214}Po	1.64×10^{-4} s	α, γ	^{208}Pb	Stable	
^{210}Tl	1.3 min	β, γ			
^{210}Pb	22 years	β, γ			
^{210}Bi	5.0 days	β, α			
^{210}Po	138 days	α, γ			
^{206}Tl	4.2 min	β			
^{206}Pb	Stable				
Actinium series			Neptunium series		
^{235}U	7.1×10^8 years	α, γ	^{241}Pu	14.35 years	β, α, γ
^{231}Th	25.64 h	β, γ	^{237}Np	2.144×10^6 years	α, γ
^{231}Pa	3.25×10^4 years	α, γ	^{233}Pa	26.967 days	β, γ
^{227}Ac	21.6 years	β, α, γ	^{233}U	1.592×10^5 years	α, γ
^{227}Th	18.2 days	α, γ	^{229}Th	7,300 years	α, γ
^{223}Fr	22 min	β, α, γ	^{225}Ra	14.9 days	β, γ
^{223}Ra	11.4 days	α, γ	^{225}Ac	10 days	α, γ
^{219}Rn	4.0 s	α, γ	^{221}Fr	4.9 min	α, γ
^{215}Po	1.77×10^{-3} s	α, β	^{217}Ac	6.9×10^{-8} s	α, γ
^{211}Pb	36.1 min	β, γ	^{213}Bi	2.5×10^{-2} s	β, α, γ
^{215}At	$\sim 10^{-4}$ s	α	^{213}Po	4.2×10^{-6} s	α, γ
^{211}Bi	2.16 min	α, β, γ	^{209}Tl	2.20 min	β, γ
^{211}Po	0.52 s	α, γ	^{209}Pb	3.253 h	β
^{207}Tl	4.79 min	β, γ	^{209}Bi	Almost stable	
^{207}Pb	Stable	–			

Figura 1-2: Radionucleidos primordiales en serie

Fuente:(Froehlich, 2010, pp. 2-7).

2.5 Radionucleidos no en serie

Son radionucleidos que decaen directamente en un isotopo estable y contribuyen sustancialmente a la dosis de radiación de fondo terrestre. Los dos primeros radionúclidos en la no serie son ^{40}K y ^{87}Rb .

El ^{40}K y ^{87}Rb contribuyen a la dosis de exposición tanto interna como externa al ser humano, la contribución de dosis externa es variable, debido a la concentración en rocas y suelo, la contribución en rocas de la corteza terrestre es 0.6Bq/g (17pCi/g) (Froehlich, 2010, pp. 2-7).

El ^{40}K , se encuentra en materiales de construcción como ladrillo y bloques de cemento (Froehlich, 2010, pp. 2-7).

El ^{87}Rb se encuentra en rocas con concentraciones cercanas a 0.07 Bq/g (2pCi/g) (Froehlich, 2010, pp. 2-7).

Nuclide	Relative abundance (%)	Daughter nuclide	Half-life (years)	Major radiation
^{40}K	0.0118	^{40}Ar , ^{40}Ca	1.28×10^9	β^- (89%), EC (11%)
^{50}V	0.24	^{50}Ti , ^{50}Cr	6.00×10^{15}	β^- (30%), EC (70%)
^{87}Rb	27.85	^{87}Sr	4.70×10^{10}	β^-
^{115}In	96.67	^{115}Sn	5.00×10^{14}	
^{123}Te	0.87	^{123}Sb	1.20×10^{13}	
^{138}La	0.089	^{138}Ba , ^{138}Ce	1.10×10^{11}	
^{142}Ce	11.7	^{138}Ba	5.00×10^{15}	
^{144}Nd	23.8	^{140}Ce	2.40×10^{15}	
^{147}Sm	15.1	^{143}Nd	1.06×10^{11}	
^{148}Sm	11.35	^{144}Nd	1.20×10^{13}	
^{149}Sm	14.0	^{145}Nd	4.00×10^{14}	
^{152}Gd	0.205	^{148}Sm	1.10×10^{14}	
^{156}Dy	0.057	^{152}Gd	2.00×10^{14}	
^{174}Hf	0.163	^{170}Yb	4.30×10^{15}	
^{176}Lu	2.588	^{176}Hf	2.20×10^{10}	
^{187}Re	62.93	^{187}Os	4.00×10^{10}	
^{190}Pt	0.0127	^{186}Os	7.00×10^{11}	
^{204}Pb	1.4	^{200}Hg	1.40×10^{17}	

Figura 2-2: Radionucleidos primordiales no en serie

Fuente:(Froehlich, 2010, pp. 2-7)

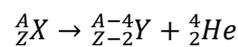
2.6 Tipos de radiaciones ionizantes

La radiactividad es un fenómeno físico que se da en determinados núcleos atómicos inestables, estos núcleos denominados “padre” tienden a decaer hasta llegar a la estabilidad emitiendo

energía/o partículas, originando un núcleo “hijo” distinto al original y cuyas características dependen del tipo de reacción; este fenómeno se denomina decaimiento radiactivo. Se distinguen tres tipos de radiación: partículas alfa, partículas beta y radiación gamma.

2.6.1 Partículas alfa

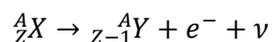
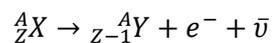
El proceso de desintegración alfa supone la pérdida por parte del núcleo de la masa equivalente a dos protones y dos neutrones, es una emisión de partículas cargadas positivamente que son idénticas a los núcleos de helio. El proceso esquematizado es el siguiente:



La energía de las partículas alfa emitidas por los radionucleidos naturales, se extiende entre unos 2 MeV y unos 9 MeV (Jiménez, 2010, pp. 22-25).

2.6.2 Partículas Beta

Se trata de un proceso de transformación de un protón en un neutrón o viceversa, con la emisión de una partícula beta, que apenas interaccionan con la materia. Cuando se emite un electrón y un antineutrino se tiene una desintegración β^- y si emite un positrón y un neutrino se tendrá una desintegración β^+ (Jiménez, 2010, pp. 22-25).



Las partículas beta no son monoenergéticas su emisión varía desde el orden del keV hasta algunos MeV (Jiménez, 2010, pp. 22-25).

2.6.3 Radiación gamma

Este tipo de radiación consiste en radiación electromagnética proveniente del núcleo, es habitual que cuando un núcleo emite una partícula alfa o beta, el hijo quede en un estado excitado de energía y se produzcan las emisiones gamma correspondientes, la energía de la radiación gamma se extiende de entre 0.1 a 10 MeV (Jiménez, 2010, pp. 22-25).

2.7 Exposición debido a emisores gamma procedentes de los materiales de construcción

El documento “Radiation Protection 112” de la Unión Europea, describe la exposición a la que se ve sometido el ser humano debido al contenido radiactivo de los materiales de construcción y la clasifica en dos tipos (EC, 1999, pp. 1-16):

- Exposición externa
- Exposición interna

2.7.1 Exposición externa

La exposición externa está relacionada con la radiación gamma emitida por radionucleidos naturales terrestres presentes en el suelo, específicamente en los materiales de construcción, contribuyendo al incremento del nivel de radiación existente. Según el documento “Radiation Protection 112” se destaca las concentraciones medias mundiales de Ra^{226} , ^{232}Th y ^{40}K en la corteza terrestre (35 Bq/kg, 30 Bq/kg y 400 Bq/kg, respectivamente), estos radionucleidos dan contribuciones iguales a la dosis de radiación externa gamma en los individuos (Pankaj B, 2014, pp. 11-15).

La existencia de niveles elevados de radionucleidos naturales en los materiales de construcción puede causar un aumento de dosis efectiva anual. Para determinar la exposición externa de la población debido a emisores gamma es necesario calcular el radio equivalente, el cual constituye un parámetro de Protección Radiológica (EC, 1999, pp. 1-16).

Existe una variedad de técnicas (como la espectrometría gamma) para determinar la exposición externa respecto a radionucleidos terrestres, las mismas que a su vez permiten relacionar con la tasa de dosis absorbida en aire (UNSCEAR, 2000, pp. 89-92).

2.7.2 Exposición interna

La exposición interna está relacionada con la inhalación de los gases radón (^{222}Rn), junto con sus descendientes de corta duración y el torón (^{220}Rn) que son gases emitidos desde los materiales de construcción, estando presentes ambos, en mayor o menor medida, en los distintos materiales utilizados en la construcción. Generalmente sólo una fracción del radón producido en el material consigue llegar a la superficie y entra a formar parte del aire existente en los ambientes habitables,

moviéndose más libremente en los materiales más porosos o fragmentados (García et al, 2011, pp. 34-50).

Cabe destacar que los materiales de construcción son la fuente más importante de torón en los espacios interiores, siempre teniendo en cuenta que la concentración de torón suele ser baja y está relacionada con la existencia de altas concentraciones de torio en el propio material (EC, 1999, pp. 1-16).

El ^{222}Rn y sus hijos pueden causar un peligro significativo para la salud cuando está presente en concentraciones elevadas en el aire interior de las viviendas habitadas. Las partículas alfa emitidas desde ^{222}Rn y especialmente de dos elementos de su progenie, el ^{214}Po y el ^{218}Po , tienen un alto potencial dañino para el tejido pulmonar y se considera que son un agente causante de cáncer de pulmón en seres humanos (Ferlay et al, 2007, pp. 581-592), (WHO, 1998, pp. 173-177).

2.8 Magnitudes dosimétricas que caracterizan la radiactividad

Las magnitudes dosimétricas son útiles para conocer el daño potencial derivado de la radiación y determinar las medidas de protección radiológica a adoptar, gracias a estas magnitudes es posible caracterizar de forma cuantitativa y precisa las radiaciones ionizantes y sus posibles efectos (IAEA, 2001, pp.5-8).

2.8.1 Actividad

Se denomina actividad o velocidad de desintegración de una sustancia radiactiva al número de núcleos de los átomos que se desintegran en un tiempo determinado. El cambio en el número de núcleos ΔN depende del número de núcleos N y del tiempo Δt , matemáticamente se expresa (Parks, 2001, pp. 1-3):

$$\Delta N = -\lambda N \Delta t \quad (1)$$

donde λ es la constante de desintegración, es única para cada isótopo radiactivo, está relacionada con la probabilidad de que núcleos característicos emitirán una partícula radiactiva. El signo negativo en $-\lambda N \Delta t$, indica disminución en el número de núcleos en el tiempo y para tiempos infinitesimales pequeños esta ecuación se puede escribir como:

$$dN/N = -\lambda dt \quad (2)$$

Resolviendo la ecuación diferencial se obtiene:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

donde N es el número de núcleos presentes en un tiempo t. Dado que la actividad de una muestra es la tasa de cambio de N en el tiempo, la actividad A de una muestra se define por:

$$A = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right| = \left| \frac{dN}{dt} \right| = |-\lambda N| = \lambda N \quad (4)$$

La actividad es proporcional al número de núcleos radiactivos presentes y a la constante de desintegración λ y disminuye en el tiempo de forma exponencial:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (5)$$

La unidad de medida de la actividad en el Sistema Internacional es el Becquerel (Bq) y se define como la actividad de un radionucleido que presentó una desintegración por segundo; la actividad también se mide en la unidad Curie (Ci), la cual es igual a $3.7 \cdot 10^{10}$ Bq (Attix, 1986).

2.8.2 *Actividad Específica*

La actividad específica de un radionucleido es la actividad por unidad de masa del elemento correspondiente al radionucleido y las unidades son Bq/kg, matemáticamente se expresa mediante la ecuación (Rodríguez, 2008, pp.265):

$$A_e = \frac{A}{m} \quad (6)$$

2.8.3 *Periodo de Semidesintegración*

Se denomina periodo de semidesintegración al tiempo necesario para que un cierto número de átomos se reduzca a la mitad de lo existente en el tiempo inicial, es decir, para que $N = N_0/2$, (Ferrer, 2006, pp.215-241).

Matemáticamente se representa por:

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad (7)$$

donde:

$T_{1/2}$: Periodo de semidesintegración.

λ : Constante de semidesintegración.

2.8.4 *Equilibrio radiactivo*

Al decaer un radionucleido padre (1), al correspondiente radionucleido hijo (2), también radiactivo, se llega a una situación en la que permanezca constante la relación entre sus actividades, es decir, ambos se encuentran en condiciones de equilibrio radiactivo, aplicando la ley de decaimiento radiactivo para ambos se tiene:

$$\frac{dN_1}{dt} = -N_1\lambda_1 \quad (8)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = N_1\lambda_1 - N_2\lambda_2 \quad (9)$$

Teniendo en cuenta como condición inicial $N_1(t = 0) = N_0$ y $N_2(t = 0) = 0$, puede calcularse la actividad del hijo en función de la del padre. Cuando la actividad del hijo es mucho menor que la del padre, pueden realizarse aproximaciones para llegar a la expresión:

$$A_2 = A_1(1 - e^{-\lambda_2 t}) \quad (10)$$

Esta ecuación expresa que cuando el tiempo transcurrido es suficientemente mayor que la vida media de la especie 2, las actividades se igualan y así permanecen, encontrándose las actividades de ambos radionucleidos reguladas por la de la especie 1. Cuando el periodo de desintegración del padre es muy grande las actividades llegan a igualarse, alcanzándose la situación de equilibrio secular (Jiménez, 2010, pp. 22-25).

2.9 Índices de riesgo

Los distintos índices de riesgos definidos por el UNSCEAR determinan el peligro al que podría encontrarse expuesta la población debido a radiación externa originada por emisores gamma. Si unos de los índices de riesgo expuestos en los siguientes puntos sobrepasan el límite permitido, representa que la población se encuentra expuesta a contaminación radiactiva y es propensa a sufrir efectos nocivos a corto o largo plazo (Xinwei Lu et al, 2012, pp. 62-67).

2.9.1 Radio equivalente

Para el cálculo del radio equivalente es necesario considerar que la distribución de los radionucleidos no es uniforme, y se debe principalmente a la concentración de actividad presente en radionucleidos debido radiación ionizante que proviene de fuentes externas originadas por emisores gamma. Es un parámetro internacional de Protección Radiológica cuyo límite permitido no debe sobrepasar los 370 Bq/kg, matemáticamente se expresa mediante la ecuación siguiente (Xinwei Lu et al, 2014, pp. 780-784):

$$Ra_{eq}(Bq/kg) = \left(\frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} \right) * 370 \quad (11)$$

donde:

C_{Ra} : Concentración del radionucleido Radio.

C_{Th} : Concentración del radionucleido Torio.

C_K : Concentración del radionucleido Potasio.

2.9.2 Índice de riesgo externo

El valor del índice de riesgo externo H_{ex} debe ser menor que la unidad y está asociado al radio equivalente, matemáticamente se expresa mediante la ecuación siguiente:

$$H_{ex} = \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} < 1 \quad (12)$$

donde C_{Ra}, C_{Th}, C_K , son las concentraciones de Uranio, Torio y Potasio, respectivamente (Tufail, (Xinwei Lu et al, 2012, pp. 780-784).

2.9.3 Índice de riesgo interno

Además del peligro externo, el radón y sus productos de vida corta también son peligrosos para los órganos respiratorios. La exposición interna al radón y sus productos hijos se cuantifica por el índice de riesgo interno que matemáticamente se expresa mediante la ecuación siguiente (Xinwei Lu et al, 2012, pp. 780-784):

$$H_{in} = \frac{C_{Ra}}{185} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} < 1 \quad (13)$$

donde c_{Ra}, c_{Th}, c_K , son las concentraciones de Uranio, Torio y Potasio, respectivamente.

El valor del índice de riesgo interno H_{in} debe ser menor que la unidad, para el uso seguro de un material en la construcción de viviendas (Xinwei Lu et al, 2012, pp. 780-784).

2.9.4 Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma

La tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma, matemáticamente se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$D(nGy/h) = 0.92C_{Ra} + 1.1C_{Th} + 0.08C_K < 84nGy/h \quad (14)$$

El valor 84 nGy/h es el límite permitido investigado y representa a la media ponderada de la tasa de dosis mundial (Lu X et al, 2013, pp. 325-331).

2.9.5 Tasa de dosis efectiva anual

La tasa de dosis efectiva anual representa los niveles de actividad del ^{238}U , ^{232}Th y ^{40}K , matemáticamente se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$AED(mSv/año) = D(nGy/h) * 8760 * 0.8 * 0.7 * (Sv/Gy) * 10^{-6} \quad (15)$$

donde $(0.7) * (Sv/Gy)$ es el coeficiente de conversión de la dosis absorbida en aire y (0.8) es el factor de la dosis absorbida individual. El ICRP sugiere que la tasa de dosis para la población debe ser inferior a 1 mSv/año (ICRP, 1999, pp1).

2.10 Provincia de Chimborazo

Es una provincia de la República del Ecuador, situada en la zona central de la Región Interandina, tiene un área aproximada de 6.500 km² repartida entre diez cantones, y posee una población de 458.581 habitantes, 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 las Provincias de Guayas y Bolívar. Es un territorio rico en contrastes geográficos.

La Provincia de Chimborazo presenta suelos que se caracterizan por ser de naturaleza volcánica formados a partir de materiales piroplásticos producto de erupciones pasadas, además existen suelos pantanosos propios de los páramos, en la parte occidental se pueden encontrar suelos francos que son propicios para la agricultura ya nivel de los andes suelos rocosos (INEC, 2010, pp. 1-8), (Arias, 2007, pp.27).



Figura 3-2: Mapa territorial de la provincia de Chimborazo
Fuente: (Mapa de carreteras de Chimborazo, 2011)

2.10.1 División Política de la Provincia de Chimborazo

La provincia de Chimborazo se divide en 10 cantones y 61 parroquias.

2.10.1.1 Cantón Alausí

El cantón Alausí está ubicado entre las coordenadas -78.85 de longitud y -2.2 de latitud en la parte central de la Sierra Ecuatoriana. El cantón Alausí está asentado completamente sobre una parte del Cinturón Montañoso de los Andes, al Sur del valle Interandino y al Norte de la zona montañosa dominada por valles y colinas con pendientes moderadas, donde es difícil distinguir los dos ramales montañosos denominados en el Ecuador, Cordilleras Real y Occidental, tiene una superficie de 1644 km², además posee una población aproximada de 47.127 habitantes. El terreno es montañoso, con elevaciones que varían entre 1000 y 4000 msnm., en el cantón Alausí se presentan fundamentalmente rocas que consisten casi exclusivamente en material volcánico. (IGM, 2010, pág. 3).

Alausí está constituido por diez parroquias, una urbana, San Pedro de Alausí y nueve rurales, Tixán, Sibambe, Huigra, Pistishi, Guasuntos, Achupallas, Sevilla, Pumallacta y Multitud.

2.10.1.2 Cantón Chambo

Chambo está ubicado entre las coordenadas: -78.5833 longitud y -1.73333 latitud, se extiende hacia el este en las faldas de los montes Quilimas y Cubillín, posee una superficie de 163.4 km², con un promedio de altura de 2.780 msnm y una población aproximada de 11.885 habitantes. El cantón Chambo comprende fases volcánicas las que han proporcionado el modelado primario de la región y fases glaciares deposicionales y erosivas que han dado origen a los paisajes y formaciones actuales, presenta conglomerados cubiertos por depósitos piroplásticos de origen volcánico con una matriz cementada, piedra pómez y fragmentos andesíticos, en ciertos sectores con intercalaciones de capas de tobas arenosas. (SNI, 2012, pp.34-35).

Chambo no tiene parroquias rurales.

2.10.1.3 Cantón Chunchi

El cantón Chunchi se encuentra ubicado entre las coordenadas: -2.28333 latitud y -78.9167 longitud, posee una superficie de 274.9 km² y altura promedio de 2.272 msnm, limita al norte con el nudo de Tiocajas, al oriente con la cordillera central y al occidente con la encañonada del río Chanchán, cuenta con una población aproximada de 12.686 habitantes. El terreno de

Chunchi consiste casi exclusivamente en lavas volcánicas intermedias y ácidas, compactas y densas, se encuentran andesitas, tobas y aglomerados andesíticos (SNI, 2013, pp.34-35).

Chunchi tiene cinco parroquias: una urbana, Chunchi y cuatro rurales: Gonzol, Capsol, Llagos y Compu.

2.10.1.4 Cantón Colta

El cantón Colta se encuentra ubicado en la parte noroccidental de la Provincia de Chimborazo, sus coordenadas geográficas son: longitud -78.75 y latitud -1.7 , limita al norte con el cantón Riobamba al sur con el Cantón Pallatanga y parte del cantón Guamote al este el cantón Riobamba y al oeste la Provincia de Bolívar, tiene una superficie de 840 km^2 con una altitud promedio de 3.212 msnm y una población de 44.971 habitantes. Principalmente Colta está constituido por tobas con presencia de clastos y aglomerados, además presenta areniscas volcánicas, limolitas, gravas y rocas volcánicas (SNI, 2013, pp.41-42).

El cantón Colta tiene seis parroquias: urbanas, Cajabamba y Cicalpa (Villa La Unión) y rurales, Cañi, Columbe, Juan de Velasco (Pangor) y Santiago de Quito.

2.10.1.5 Cantón Cumandá

Cumandá se sitúa entre las coordenadas -2.23333 latitud y -79.1167 longitud presenta una altitud muy variable (relieve accidentado en su mayoría), con alturas que fluctúan entre 135 msnm hasta los 3000 msnm . Posee una superficie de 158.7 km^2 , su población aproximada es de 9.395 habitantes. El cantón está ubicado en el subtrópico, por lo que su clima tiene una temperatura promedio de 20° C . El cantón presenta andesitas, sedimentos, arenisca, lutita y terrazas (GADM, 2014, pp.23-30).

El cantón Cumandá no posee parroquias pero cuenta con 29 recintos; la Matriz Cumandá; con 18 barrios, el sector rural está conformado por Sacramento, Suncamal y La Isla.

2.10.1.6 Cantón Guamote

El cantón Guamote se encuentra situado en la parte central del callejón interandino, entre las coordenadas -78.7167 longitud y -1.93333 latitud, limita al norte con los cantones Riobamba y

Colta por el oeste y suroeste con el cantón Pallatanga, al sur con Alausí y al este con la provincia de Morona Santiago. El cantón Guamote posee una superficie de 520 km², su altitud varía de 2600 hasta 4500 msnm y su población aproximada es de 45.153 habitantes. Guamote, se encuentra formado por rocas metamórficas, con un grado de metamorfismo medio a bajo de la Unidad Alao Paute que se evidencia en la parte central del cantón, cubriendo este basamento se encuentra material volcánico, además de tobas de grano fino, limolitas, tilitas y andesitas (SNI, 2013, pp.39-42).

El cantón Guamote está constituido de tres parroquias una urbana, Guamote y dos rurales, Cebadas y Palmira.

2.10.1.7 Cantón Guano

El territorio del cantón Guano se localiza al norte de la Provincia de Chimborazo, entre las coordenadas -1.6 de latitud, -78.6333 de longitud, limita al norte con la Provincia del Tungurahua, la montaña del Igualata, el río Huahua Yacu y el río Mocha; al este, el río Chambo y el cantón Penipe; al sur, el cantón Riobamba y la quebrada las Abras; al oeste la Provincia de Bolívar y el cantón Riobamba. El cantón Guano posee una extensión de 473 km², su altitud varía de 2.500 a 6.310 msnm y su población aproximada es de 43.000 habitantes. El terreno de Chambo está conformado por conglomerados cubiertos por depósitos piroplásticos de origen volcánico, arcillas, limos, gravas, piedra pómez y fragmentos andesíticos en ciertos sectores con intercalaciones de capas de tobas arenosas (SNI, 2013, pp.34-36).

Guano tiene once parroquias, dos urbanas, Guano y El Rosario y nueve rurales, Guanando, Ilapo, La Providencia, San Andrés, San Gerardo, San Isidro, San José de Chazo, Santa Fe de Galán y Valparaíso.

2.10.1.8 Cantón Pallatanga

Pallatanga está ubicado entre las coordenadas: - 1.5946 latitud y -78.5752 longitud, limita al norte con el cantón Colta, al sur el cantón Alausí, al este el cantón Guamote y al oeste el cantón Chillanes de la Provincia de Bolívar. Su extensión territorial aproximada es de 377 km², su altitud varía de 1.200 hasta los 1.462 msnm y su población aproximada es de 12.000 habitantes. El terreno del cantón Pallatanga presenta rocas representadas por andesitas verdes homogéneas y compactas y por estratos de sedimentos volcánicos (Bristow, 1973, pp.54).

El cantón Pallatanga no cuenta con parroquias rurales, únicamente está conformado por la matriz Pallatanga, 64 comunidades, 10 cooperativas propietarias de páramos y 24 barrios urbanos.

2.10.1.9 Cantón Penipe

El cantón Penipe se encuentra en la cordillera oriental, entre las coordenadas -1.56667 latitud y -78.5333 longitud, limita al norte con la quebrada de los Motilones, al sur con Río Blanco, al este desde Paila Cajas hasta la Laguna Enjallinado y al oeste con el río Chambo. El cantón Guano tiene una superficie de 240 km², su altitud varía de 2.500 hasta 5.424 msnm y su población aproximada es de 7.314 habitantes, presenta terrenos donde subyacen rocas metamórficas y consisten en tobas de grano medio, además de piedra pómez y fragmentos andesíticos (Savoyat et al, 1970, pp.1-20).

El cantón Penipe se subdivide en una parroquia urbana, Penipe y seis rurales, Bilbao, Puela, El Altar, San Antonio de Bayushig, Matus y La Candelaria.

2.10.1.10 Cantón Riobamba

El cantón Riobamba es la capital de la Provincia de Chimborazo, se encuentra en el centro geográfico de la República del Ecuador en la cordillera de los Andes a 2.750 msnm, se ubica entre las coordenadas: -1.66667 latitud y -78.6333 longitud, limita al norte con los cantones Guano y Penipe, al sur con los cantones Colta y Guamote, al este el cantón Chambo, y al oeste la Provincia de Bolívar. El cantón Riobamba tiene una superficie de 6.569 km², su altitud promedio es de 2.750 msnm y su población aproximada es 156.723 habitantes, el terreno lo constituye una facie volcánica del Chimborazo como resultado del arrastre de material piroclástico desde las faldas del volcán, por las corrientes de los deshielos, formado básicamente por arcillas tobas y ceniza volcánica (Fernández, 2015, pp.47-51)

El cantón Riobamba está dividido en cinco parroquias urbanas, Maldonado, Veloz, Lizarzaburu, Velasco y Yaruquies; y once parroquias rurales, San Juan, Licto, Calpi, Quimiag, Cacha, Flores, Punín, Cubijés, Licán, San Luis y Pungalá.

2.10.2 Materiales de construcción de minas y canteras de la Provincia de Chimborazo

2.10.2.1 Arcilla

La arcilla está constituida por aluminosilicatos cristalinos o amorfos definidos como minerales propios de arcilla, son partículas minerales pequeñas de tamaños microscópicos, cuyo tamaño es menor o igual a dos micras, está abundantemente distribuida en la naturaleza y es constituyente importante de la corteza terrestre, originadas principalmente por rocas sedimentadas, geológicamente se clasifican como primarias que permanecieron en su lugar de origen y secundarias que fueron acarreadas de su lugar de origen.

Las arcillas son consideradas como un material que en la industria de la construcción, se utiliza tanto en la fabricación de cemento y es un ingrediente importante en materiales como ladrillos, tejas, pisos, baldosas, vidrio etc (Besoain, 1985, pp.14-15).

2.10.2.2 Arenán macadán y de río

La arena es un tipo de árido compuesto por sílice o dióxido de silicio, cuyo tamaño varía entre los 4.75 y 0.075 mm dependiendo del uso para el que sea destinada, generalmente la arena tiene un origen natural: es extraída de canteras aluviales, ríos, lagos o depósitos volcánicos, pero también se puede obtener en forma artificial mediante la trituración de rocas por medios mecánicos. La arena fina se utiliza para la mampostería, mientras que la arena gruesa se utiliza en la industria de la construcción para fabricar pisos o como parte de la cimentación, ya que tiene la cualidad de reducir las fisuras que aparecen en la mezcla al endurecerse (Materiales de construcción, 2001, pp.24-25).

2.10.2.3 Azufre

El azufre como material de construcción ha sido considerado como un sustituto de morteros, pinturas y para la consolidación de suelos, entre otros usos, además este material suele mezclarse con asbesto, arena, arcilla, de manera que sirva como relleno. Cabe destacar que también puede ser mezclado con cemento de concreto logrando así el concreto de azufre (Grassi & Miranda, 1987, pp.52-54).

2.10.2.4 Caliza

La piedra caliza está compuesta principalmente por calcita (carbonato de calcio), constituye un 25% de la litósfera. En la industria de la construcción es utilizada en la mampostería y para sillería, es decir, para la fabricación de muros o paredes, además es un componente principal para la fabricación de cal y cemento. Las calizas pueden sufrir recristalizaciones que aumentan su dureza y el tamaño de los granos dando origen a los mármoles (Materiales de construcción, 2001, pp.14-15).

2.10.2.5 Feldespato

“Es un silicato de aluminio, de estructura laminar, es duro pero se altera con los agentes atmosféricos iniciando el proceso de formación de las arcillas”. Este material se mezcla para obtener granito que sirve para la fabricación de hormigón, pavimentos, muros de edificios, etc., corresponden en volumen a tanto como el 60 % de la corteza terrestre (Materiales de construcción, 2001, pp.5-6), (Garzón, 1979, pp.117-118).

2.10.2.6 Puzolana

La puzolana es producto de la transformación del polvo y cenizas volcánicas, presenta una composición basáltica; se utiliza como aislante en la construcción y para la fabricación de cemento hidráulico, constituida principalmente por sílice-alúminica (Salazar A, 2016, pp.1-4).

2.11 Tipos de muestras y técnicas de muestreo

“El muestreo es la actividad por la que se toman muestras representativas que permiten caracterizar el suelo en estudio en tanto que la muestra puede ser definida como una parte representativa que presenta las mismas características o propiedades del material que se está estudiando y las muestras que serán enviadas al laboratorio.” (Ministerio del ambiente, 2014, pp.17-19).

Se consideran dos tipos de muestras y tres técnicas de muestreo; muestra simple y muestra compuesta, muestreo a profundidad, superficial y en la fase gaseosa del suelo, respectivamente.

Para la finalidad de este proyecto se utilizó una muestra compuesta y la técnica de muestreo superficial.

Muestra compuesta: Es aquella constituida por un conjunto de muestras simples (sub muestras), convenientemente mezcladas. Grandes volúmenes de muestras requieren someterlas a partición, para reducir las y obtener una muestra compuesta representativa, siendo el resultado un valor medio de la propiedad o compuesto analizado (Ministerio del ambiente, 2014, pp.17-19).

Muestreo Superficial: En este tipo de muestreo es permisible tomar muestras compuestas. Para un suelo en donde se realice extracción, la profundidad del muestreo será de entre 0 a 10 cm. Se recomienda en particular la toma de muestras superficiales compuestas para la evaluación de riesgos a la salud humana o a la flora y fauna (Ministerio del ambiente, 2014, pp.17-19).

2.12 Espectrometría Gamma

Es una de las técnicas más poderosas para el estudio de la dispersión de radionucleidos en el medio ambiente. Esta técnica consiste en la determinación cuantitativa de los radionucleidos emisores gamma presentes en las muestras de estudio. Para ello, el sistema de espectrometría recoge el espectro de radiación de la muestra, que una vez comparado con el espectro de energías discreto de los radionucleidos de referencia, permite identificar los radionucleidos presentes en la muestra (Barrera, Romero & Valiño, 2008).

CAPÍTULO III

3 DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN

3.1 Características del Equipo Experimental

3.1.1 *Espectrómetro gamma “SOFTWARE SPECTRA LINE GAMMA PRECISION (GP)” MODELO GCD-40180X*

El espectrómetro gamma GCD-40180X, está destinado a la detección de rayos gamma para la vigilancia radiológica de objetos ambientales que emplean energía nuclear; como productos de la industria, agricultura, medicina, entre otros.

Consta de las siguientes partes:

- Unidad de detección de rayos gamma basado en un detector coaxial de germanio hiperpuro (HPGe).
- Criostato Vertical para enfriar el detector
- Dewar buque 30 l
- Escudo de plomo con mesa de apoyo.
- Monitor con sensor para verificar el nivel de nitrógeno líquido.
- Dispositivo de espectrometría digital MCA- 527
- Cables y conectores que establecen relaciones.
- Software Spectraline Gamma Precision (GP).
- Software Nuclide Master Plus.
- Impresora portátil y laser

3.1.1.1 *Características Técnicas*

Tabla 1-3: Características técnicas del espectrómetro gamma GCD- 40180X

No	NOMBRE DE LOS PARÁMETROS	VALOR
1	Rango de energía de radiación gamma en Kv	5-10000
2	Resolución energía para las energías, no más de: 122 kV	<875

	1332Kv	<1800
3	Voltaje de funcionamiento óptimo de SCD (HV) , V, positivo	1000-4000
4	Factor de conversión , no menos que , mV/MV	220
5	Señal del tiempo (μ s) al aumentar la tensión, no más de	0.15
6	Señal del tiempo (μ s) al disminuir la tensión, no más de	50
7	Diámetro (mm) Profundidad (mm) Espesor de contactos frontales (μ m)	61.4 61.4 ~0.3
8	Espesor de la tapa de fibra de carbón(mm)	0.8
9	Espacio entre la cara del detector y la ventana extremo de la tapa(mm)	8
10	Tasa máxima de energía (MV/s) no menos de	2000000
11	Tiempo de enfriamiento (h) no más de	8
12	Período de recarga de nitrógeno líquido (d)	15
13	Volumen del recipiente Dewar (L)	30
14	Dimensión total de la parte componente del espectrómetro (mm) no más de: -Unidad de detección con blindaje de plomo y mesa de ayuda -MCA-527	629x539x1344 164x11x145

Fuente:(LSRM, 2011, pp.9-25)

Realizado por: Estefanía Chávez

3.1.2 Equipos y materiales para la toma y preparación de la muestra

Tabla 2-3: Descripción de equipos y materiales

MATERIAL/EQUIPO	MARCA/MODELO	CARACTERÍSTICAS
Pala	Comercial	Pequeña, metal
Fundas	Comercial	Polietileno, tamaño (16x9cm)
Balanza	METTLER PM4000	Sensibilidad: 0.01g Calibrada
Tamiz	TYLER: 4542MESH	Metálico, diámetro (<1mm)
Bandejas	Comercial	Metálicas, tamaño(30x17)cm
Estufas e incubadora	BLUE MOV 184-1725 MEMMERT U15 THELCO 3DG	Temperatura entre (44-55)°C
Frascos	Marinelli	Polietileno, calibrado. Diámetro: 15cm, alto 11cm

GPS	MEGALLEN	Portátil
Programas Informáticos	ArcGis SpectralineGP QRgen	Creación de mapas Software propio del Espectrómetro Gamma Software libre
Computador	Lenovo Core i3	No portátil

Realizado por: Estefanía Chávez

3.1.2.1 Pala

Para la realización del muestreo superficial y asegurando que la profundidad de la toma de muestra compuesta de material de construcción sea entre 0 a 10 cm, se utilizó una pala metálica pequeña de 10 cm de largo.

3.1.2.2 Fundas

Las muestras de material de construcción recolectadas de cada mina o cantera fueron depositadas en fundas de polietileno, con la finalidad de asegurar que la muestra no se derrame, cada funda fue etiquetada previamente a la recolección de la muestra.

3.1.2.3 Balanza

La balanza fue utilizada en dos ocasiones:

- Una vez guardada la muestra en las fundas de polietileno, controlando el peso de 2 kg de la muestra compuesta.
- Una vez depositada la muestra en el recipiente tipo marinelli, para controlar el peso de muestra de material de construcción a ser analizada con el espectrómetro.

3.1.2.4 Tamiz

Las muestras de material de construcción fueron trituradas y pulverizadas y con un tamiz de diámetro menor a 1 mm se homogenizó la muestra de material a ser analizada con el espectrómetro.

3.1.2.5 Bandejas

Sobre las bandejas metálicas fueron depositadas las muestras de material de construcción para someterlas a las estufas.

3.1.2.6 Estufas e incubadora

Para que la muestra de material de construcción este completamente seca, fueron sometidas a estufas e incubadoras por un lapso de 24 a 28 horas a una temperatura entre 44 y 55 °C.

3.1.2.7 Frasco

El espectrómetro gamma cuenta con frascos propios denominados marinellis, los cuales cuentan con la geometría adecuada y permiten realizar las lecturas correctas en el espectrómetro.

3.1.2.8 GPS

Para la localización y georreferenciación de las minas y canteras de la Provincia de Chimborazo se utilizó un GPS marca MAGELLAN, con la información obtenida del GPS se procedió a la construcción del mapa en el Software QGIS

3.1.2.9 Programas informáticos

Se utilizaron tres programas informáticos para la realización de este proyecto:

- QGIS: Este Sistema de Información Geográfico se utilizó para realizar un mapa de ubicación de minas y canteras de la provincia de Chimborazo, QGIS es un software libre multiplataforma.
- SpectraLineGP: Es un programa propio del espectrómetro que permite realizar el análisis de las muestras, el software presenta el espectro de la muestra analizada y su respectivo informe.
- QRgen: es un software de acceso libre que permite generar códigos bidimensionales. Estos códigos fueron generados a través de la información proporcionada con anterioridad (cliente, muestra de material, observaciones, etc). El código generado para la etiqueta correspondiente a cada muestra de material de construcción se puede observar a través de una aplicación libre denominada *QR barcode* que es posible descargar en el teléfono celular, solo basta enfocar la etiqueta y se obtendrá la información guardada.

3.1.2.10 Computador

El computador fue utilizado para almacenar todos los reportes que el software SpectraLineGP genera una vez terminada la lectura o análisis de la muestra, construir el mapa de ubicación de minas y canteras muestreadas de la Provincia de Chimborazo y para la realización del presente trabajo de titulación.

3.2 Variable dependiente e independiente

Tabla 3-3: Variables dependiente e independiente

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE
Riesgo Radiológico	Probabilidad de concebir posibles daños debido a sustancias radiactivas.	Índices de riesgo	Radio equivalente Índice de riesgo Externo Índice de riesgo Interno Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma	Bq/kg < 1 < 1 nGy/h

			Tasa de dosis efectiva anual	mSv/año
VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE
Concentración de Radionucleidos	Número de radionucleidos que están presentes por unidad de masa.	Espectrometría	Actividad Específica	Bq/kg

Realizado por: Estefanía Chávez

3.3 Tipo y caracterización de la prueba experimental aplicada

3.3.1 *Espectrometría Gamma*

La técnica de espectrometría gamma determina cuantitativamente los radionucleidos emisores gamma en las muestras de estudio, genera el espectro de radiación de la muestra, y es comparada con el espectro de energías de los radionucleidos de referencia, permitiendo identificar y determinar la actividad total de dichos radionucleidos presentes en la muestra.

Este sistema cuenta con blindaje de plomo permitiendo aumentar la sensibilidad al nivel mínimo de la actividad de los radionucleidos medidos en cada muestra; cuenta con un dewar que tiene un sensor para verificar el nivel de nitrógeno líquido que permite el enfriamiento del espectrómetro. El dewar funciona con un sistema de dedo frío a una temperatura de -198°C para disminuir el ruido térmico dentro del espectrómetro.

El sistema de espectrometría gamma está conformado por un detector coaxial de germanio hiperpuro (HPGe), cuenta con un dispositivo de espectrometría digital MCA- 527 que recibe la señal que envía el detector y a su vez registra automáticamente los espectros analizados los cuales son llevados hacia el computador el mismo que tiene instalado el software SpectraLineGp que permite observar la información que presenta el MCA-527 de manera más amigable.



Figura 1-3: Espectrómetro Gamma GCD-40180X
Fuente:(BSI, 2010, pp.3-19)

3.4 Recolección, organización y procesamiento de datos

A través de la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM) se obtuvo información de minas y canteras (concesiones mineras) de la Provincia de Chimborazo, la información obtenida abarcó datos como: nombre del área minera, propietario, coordenadas geográficas PSAD56, cantón, parroquias, hectáreas y material explotado. La información se organizó de manera que facilite la toma de muestras de material de construcción.

A medida que se realizó el muestreo se actualizó la información proporcionada por ARCOM en coordenadas geográficas PSAD56; se georreferenció dentro de la concesión minera y no como se presentan los datos de ARCOM que son georreferenciados a la entrada de cada concesión, y en material explotado. Mientras se realizó el muestreo se notó que varias concesiones mineras han cambiado su nombre, han desaparecido, están en trámite, o han sido archivadas.

3.4.1 Minas y canteras de la Provincia de Chimborazo

Una vez obtenida la información y actualizada la misma se procedió a ordenar las minas y canteras de la Provincia de Chimborazo considerando datos como área minera, cantón, parroquia, material y coordenadas. Esta información fue aprovechada para la construcción del mapa de ubicación. Sin embargo, en el cantón Cumandá no fue posible la realización del muestreo ya que las condiciones climáticas fueron desfavorables y la ubicación de la cantera fue imprecisa.

Tabla 4-3: Minas y canteras de la provincia de Chimborazo

NÚMERO	ÁREA MINERA	CANTÓN	MATERIAL	COORDENADAS	
				X	Y
1	Shucos	Alausí	Azufre	741457	9761032
2	La Catalina	Chambo	Arena macadán	765312	9809923
3	San Francisco	Chunchi	Arena macadán	733102	9746402
4	Caramaute	Chunchi	Arena macadán	727703	9748605
5	Ragra	Chunchi	Arena macadán	733205	9747107
6	Duchi	Colta	Puzolana	748615	9814409
7	Chancahuan	Colta	Puzolana	748774	9814538
8	Chancahuan II	Colta	Puzolana	749001	9815201
9	Pamelita	Colta	Puzolana	747443	9814872
10	San Pedro	Colta	Puzolana	748679	9814452
11	Miraflores	Guano	Arena macadán	756017	9823222
12	Sigsipamba	Guano	Arena macadán	756355	9822440
13	Hormigones Moreno	Guano	Arena de río	773633	9828423
14	La Providencia	Guano	Arena de río	773525	9829072
15	Guamote	Guamote	Arcilla	750342	9775697
16	Sablog	Guamote	Arcilla	753232	9787843
17	Totorillas	Guamote	Arena macadán	752893	9778985
18	Pallatanga	Pallatanga	Arena de río	725492	9778468
19	Playa Rosita	Penipe	Arena de río	774181	9826087
20	Pucunpalag	Riobamba	Puzolana	750843	9817824
21	Sillahuan	Riobamba	Arena macadán	754152	9817623
22	Cuiquiloma	Riobamba	Caliza	736100	9825764
23	Paguay lamiña	Riobamba	Arena macadán	764092	9816289
24	Macají 2	Riobamba	Arena macadán	758023	9815832
25	El Progreso	Riobamba	Arena macadán	757925	9815868
26	La Tierra Prometida	Riobamba	Arena macadán	757685	9815532
27	Segundo Lamiña	Riobamba	Arena macadán	764760	9816002
28	Lamiña 1	Riobamba	Arena macadán	765093	9815637
29	Esperanza	Riobamba	Arena macadán	756565	9816066
30	Guambo villa	Riobamba	Arena macadán	756595	9816284
31	Alauca	Riobamba	Arena macadán	763916	9815532
32	Gusqui	Riobamba	Arena macadán	764098	9816106
33	Cerro negro	Riobamba	Arena macadán	765355	9815691
34	FC	Riobamba	Arena macadán	764745	9815036
35	San clemente	Riobamba	Arena macadán	766672	9814467
36	La Guadalupe	Riobamba	Arena macadán	765660	9813923
37	Tt chambo	Riobamba	Arena macadán	767445	9814351
38	Cacha	Riobamba	Arena macadán	754922	9810234

Realizado por: Estefanía Chávez

3.4.2 Construcción de un mapa de ubicación de minas y canteras muestreadas de la Provincia de Chimborazo

Con la información actualizada de las minas y canteras de materiales de construcción de la Provincia de Chimborazo se elaboró un mapa de ubicación, para esto se utilizó un sistema de información geográfico gratuito llamado QGIS en su versión 2.4, el software QGIS además de ser de código abierto es multiplataforma que se encuentra disponible para GNU/Linux, Unix, Mac Os y Microsoft windows, la capa raster con la cual fue elaborado el mapa se descargó de <http://sni.gob.ec/coberturas>. En la capa descargada Chimborazo.shp se procedió a ubicar las coordenadas PSAD 56 obtenidas del muestreo a través de un GPS, para esto se creó un archivo de texto .csv donde se especificó las coordenadas de los puntos, este archivo csv se cargó en el software QGIS como una capa de texto para posteriormente ser transformada a una capa .shp. Se tuvo un total de 38 minas y canteras muestreadas en la Provincia de Chimborazo.

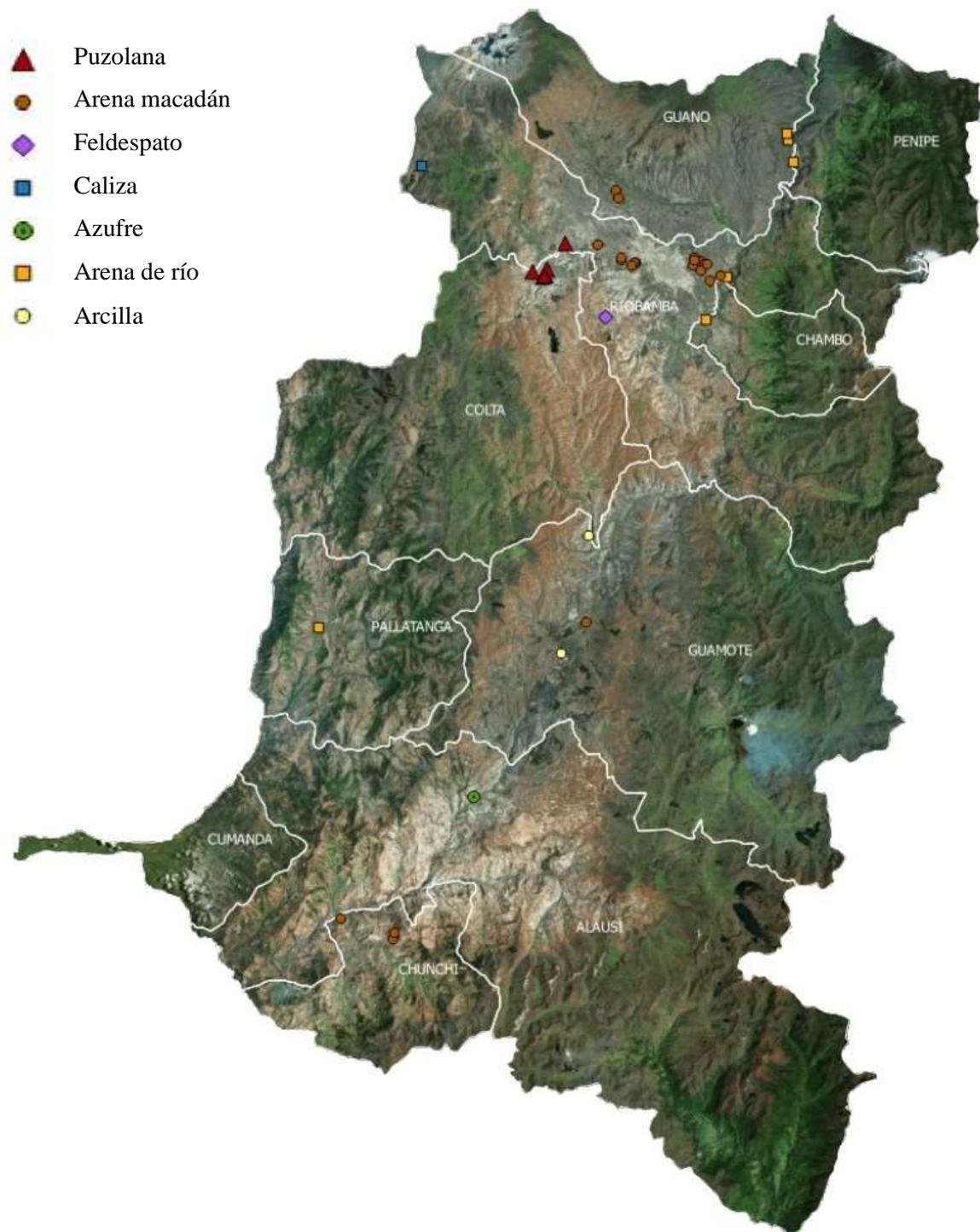


Gráfico 2-3: Mapa de ubicación de minas y canteras muestreadas de la Provincia de Chimborazo
Fuente: Estefanía Chávez

3.4.3 *Recolección de las muestras*

Se acudió a cada cantón de la Provincia de Chimborazo y en un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) marca MAGELLAN se ubicaron las coordenadas geográficas PSAD56 correspondientes de cada concesión minera. Una vez encontrado el punto se procedió a recolectar una muestra compuesta de 2 kg de material de construcción explotado, las muestras fueron recolectadas en fundas plásticas y finalmente rotuladas y selladas.

Se recolectaron 21 muestras de arena macadán, 6 muestras de arena de río, 2 muestras de arcilla, 1 muestra de azufre, 1 muestra de caliza, 6 muestras de puzolana y 1 muestra de feldespato, obteniendo un total de 38 muestras para ser analizadas.

3.4.4 *Ingreso y etiquetado de muestras*

Una vez recolectadas las 38 muestras de material de construcción de la Provincia de Chimborazo, se acudió 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.

Las muestras de material de construcción fueron ingresadas al Sistema del Departamento de Vigilancia Ambiental el 9 de Mayo del 2016; se entregó la información perteneciente a cada una de las 38 muestras recolectadas, la información fue la siguiente:

- Código de la muestra
- Código del cliente
- Cliente
- Análisis solicitado
- Técnicos responsables y
- Observaciones.

Estos datos fueron ingresados de forma manual y digital facilitando la generación de códigos y etiquetas de las muestras de material de construcción. La generación del código y etiqueta se llevó a cabo a través del software libre QRgen que permite almacenar información en una matriz de puntos o en un código de barras bidimensional.

El código generado para cada una de las muestras consta de las siglas ARAD-año actual- número de lote- números consecutivos pertenecientes a cada muestra.

- Las siglas ARAD significan Análisis Radiológico.
- En el código del cliente se consideró el lugar de procedencia del material de construcción.
- El cliente es la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- El análisis solicitado fue la identificación de contaminantes radiactivos y su actividad.
- Los técnicos responsables fueron Dr. Omar Suárez y Dr. Marco Solano, como último punto se tienen las observaciones donde se consideró el tipo de material a analizar.

Finalmente, para acceder a la información mencionada, se procede a enfocar la etiqueta con el teléfono celular y a través de la aplicación *QR Barcode scanner* previamente descargada.



Gráfico 3-3: Codificación y etiquetado de la muestra

Fuente: Estefanía Chávez

Se presenta a continuación la codificación correspondiente a cada muestra de material de construcción.

Tabla 5-3: Codificación de la muestra

CÓDIGO	MATERIAL	CANTÓN	AREA MINERA
ARAD-2016-345.01	Arena de río	Pallatanga	Pallatanga
ARAD-2016-345.02	Arena de río	Chambo	La Carolina
ARAD-2016-345.03	Arena macadán	Chunchi	Caramaute
ARAD-2016-345.04	Puzolana	Colta	Chancahuan II
ARAD-2016-345.05	Puzolana	Colta	Chancahuan
ARAD-2016-345.06	Puzolana	Colta	San Pedro
ARAD-2016-345.07	Puzolana	Riobamba	Pucunpalag
ARAD-2016-345.08	Arena macadán	Chunchi	San Francisco
ARAD-2016-345.09	Arena macadán	Riobamba	Macaji 2

ARAD-2016-345.10	Arena macadán	Riobamba	Guambo Villa
ARAD-2016-345.11	Azufre	Alausí	Shucos
ARAD-2016-345.12	Arena	Chunchi	Ragra
ARAD-2016-345.13	Arcilla	Guamote 3	Guamote
ARAD-2016-345.14	Puzolana	Colta	Duchi
ARAD-2016-345.15	Puzolana	Colta	Pamelita
ARAD-2016-345.16	Arena macadán	Riobamba	Sillahuan
ARAD-2016-345.17	Arena macadán	Riobamba	Paguay Lamiña
ARAD-2016-345.18	Arena macadán	Riobamba	Segundo Lamiña
ARAD-2016-345.19	Arena macadán	Riobamba	Lamiña 1
ARAD-2016-345.20	Arena macadán	Riobamba	Esperanza
ARAD-2016-345.21	Arena macadán	Riobamba	El Progreso
ARAD-2016-345.22	Arena macadán	Riobamba	La tierra prometida
ARAD-2016-345.23	Arena macadán	Riobamba	Allauca
ARAD-2016-345.24	Arena macadán	Riobamba	Gusqui
ARAD-2016-345.25	Arena macadán	Riobamba	Cerro Negro
ARAD-2016-345.26	Arena macadán	Riobamba	FC
ARAD-2016-345.27	Arena macadán	Riobamba	San Clemente
ARAD-2016-345.28	Arena macadán	Guano	Miraflores
ARAD-2016-345.29	Arena macadán	Guano	Sigsipamba
ARAD-2016-345.30	Arena de río	Guano	Hormigones Moreno
ARAD-2016-345.31	Arena de río	Guano	La providencia
ARAD-2016-345.32	Arena de río	Penipe	Playa Rosita
ARAD-2016-345.34	Caliza	Riobamba	Cuiquiloma
ARAD-2016-345.36	Arcilla	Guamote	Sablog
ARAD-2016-345.37	Arena macadán	Guamote	Totorillas
ARAD-2016-345.38	Arena de río	Tt chambo	Riobamba
ARAD-2016-345.39	Arena macadán	Riobamba	Sigsipamba
ARAD-2016-345.40	Feldespató	Riobamba	Cacha

Realizado por: Estefanía Chávez

3.4.5 Análisis de la muestra en el espectrómetro gamma GCD- 40180X

Para dar inicio al análisis de las muestras, fue necesario calibrar el espectrómetro gamma GCD-40180X, verificar que el dewar donde se encuentra el nitrógeno líquido tenga la temperatura adecuada de -198°C y comprobar que el MCA-527, que es el cerebro del equipo, funcione correctamente de tal manera que al finalizar los análisis de cada muestra, los espectros arrojados y los informes cuenten información veraz para ser utilizada en la determinación de los distintos niveles de riegos a la que la población podría encontrarse expuesta.

Previo al análisis se realizó un tratamiento a las muestras de material de construcción; este pretratamiento se basó en: trituración, homogenización o tamizado y secado de la muestra. Para realizar los ensayos en el espectrómetro, todas las muestras fueron trituradas y tamizadas hasta obtener un tamaño inferior a 1 mm. Posteriormente cada muestra de material de construcción fue colocada en bandejas de metal previamente codificadas, para luego ser sometidas en estufas e incubadoras a temperaturas entre 44 y 55 °C, esta temperatura fue constante, permitiendo de esta manera que el elemento Plomo no se escape de la muestra. Para que las muestras de arena macadán, caliza, arena de río, feldespatos y arcilla estén completamente secas fue necesario un tiempo de 24 horas y en el caso de la puzolana el tiempo fue de 28 horas.

Las muestras secadas fueron depositadas en frascos tipo marinelli (diámetro: 20cm y alto: 11cm), y consecutivamente fueron pesadas a fin de controlar que el peso no sobrepase el límite permitido por el espectrómetro, posteriormente los marinellis fueron etiquetados y codificados previamente.

Para realizar el análisis en el espectrómetro, se tomó cada uno de los marinellis y se los colocó en el detector verificando que la puerta del blindaje este correctamente cerrada; se comprobó la temperatura del dewar y se procedió a utilizar el software SpectraLineGP dando inicio al análisis de cada una de las muestras. El análisis de cada muestra tomó un tiempo aproximado de 14400 segundos, este tiempo es ideal para que el espectro y los reportes arrojados por el MCA-527 sean exactos. Se obtuvieron dos reportes por cada muestra; el primero presenta la actividad total de los radionucleidos de origen natural (K^{40} , Ra^{226} , Th^{232}), con estos resultados fue posible determinar la actividad específica y los distintos índices de riesgos, el segundo reporte presenta el espectro y un informe más detallado que abarca datos como energías, áreas e incertidumbres de cada muestra analizada, permitiendo identificar otros radionucleidos gamma presentes en la muestra.

CAPITULO IV

4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis e interpretación de resultados

4.1.1 *Radionucleidos presentes en materiales de construcción*

Mediante la técnica de espectrometría gamma ha sido posible determinar los radionucleidos presentes en los materiales de construcción recolectadas de minas y canteras de la Provincia de Chimborazo; con el primer reporte obtenido se detectaron los radionucleidos principales (el K^{40} , Ra^{226} y el Th^{232}), para generar el reporte final donde constaban las concentraciones de cada uno de los radionucleidos. Para el segundo reporte se realizó una comparación entre las energías obtenidas y la tabla de isótopos de los autores Browne, E.R.B Firestone y V.S Shirley, la misma que en el laboratorio de la SCAN se utiliza para la determinación de radionucleidos; mediante esta comparación se determinaron los radionucleidos hijos presentes. Si en este reporte se encontraban valores negativos o las incertidumbres sobrepasaban el valor de la energía se descartaba esa medida ya que no representa una medida válida en la técnica de espectrometría. En la tabla 1-4 que se muestra a continuación, se marca con una “x” los radionucleidos determinados en los distintos materiales de construcción muestreados.

Tabla 1-4: Radionucleidos presentes en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo

Radionucleido															
Id	Pb 210	Pb 212	Pb 214	Th 234	Th 228	Ac 228	Ra 224	Ra 226	U 235	Tl 208	Bi 214	Bi 212	Pa 234 ^m	K 40	Th 232
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
7	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
14	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
15	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
16	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
17	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
18	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
19	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
21	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
22	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
23	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
24	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
25	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
26	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
27	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
28	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
29	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x

30	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
31	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
32	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
34	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
36	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
37	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
38	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
39	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
40	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Realizado por: Estefanía Chávez

Los materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo presentan los siguientes radionucleidos: Pb²¹⁰, Pb²¹², Pb²¹⁴, Th²³⁴, Th²²⁸, Ac²²⁸, Ra²²⁴, Ra²²⁶, U²³⁵, Tl²⁰⁸, Bi²¹⁴, Bi²¹², K⁴⁰ y Th²³². La puzolana además de los radionucleidos mencionados presenta el Pa^{234m}.

4.1.2 Estimación de la Actividad Específica

4.1.2.1 Actividad específica estimada en la Provincia de Chimborazo

Se estimó la Actividad Específica de cada radionucleido principal (K⁴⁰, Ra²²⁶, Th²³²) presente en las muestras de material de construcción muestreados a través de la aplicación de la ecuación 6, obteniéndose los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2-4: Actividad Específica de los radionucleidos principales en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo

CÓDIGO	MATERIAL	K ⁴⁰ (Bq/kg)	Ra ²²⁶ (Bq/kg)	Th ²³² (Bq/kg)
ARAD-2016-345.01	Arena de río	247.00	9.37	9.06
ARAD-2016-345.02	Arena de río	460.82	20.04	20.70
ARAD-2016-345.03	Arena macadán	398.40	8.40	9.15
ARAD-2016-345.04	Puzolana	1097.75	112.59	71.31
ARAD-2016-345.05	Puzolana	1038.36	101.06	68.61
ARAD-2016-345.06	Puzolana	1096.71	113.52	76.00
ARAD-2016-345.07	Puzolana	1117.21	108.00	72.62
ARAD-2016-345.08	Arena macadán	43.97	14.03	9.40
ARAD-2016-345.09	Arena macadán	352.81	13.00	12.88
ARAD-2016-345.10	Arena macadán	433.88	19.72	22.35

ARAD-2016-345.11	Azufre	128.20	8.52	9.25
ARAD-2016-345.12	Arena	58.05	8.20	4.80
ARAD-2016-345.13	Arcilla	256.69	13.27	17.99
ARAD-2016-345.14	Puzolana	1130.46	108.09	75.36
ARAD-2016-345.15	Puzolana	1125.44	111.60	74.71
ARAD-2016-345.16	Arena macadán	347.96	10.26	13.16
ARAD-2016-345.17	Arena macadán	371.44	11.41	12.80
ARAD-2016-345.18	Arena macadán	355.56	12.57	14.29
ARAD-2016-345.19	Arena macadán	340.81	11.29	11.64
ARAD-2016-345.20	Arena macadán	470.68	27.29	29.33
ARAD-2016-345.21	Arena macadán	391.10	15.77	17.22
ARAD-2016-345.22	Arena macadán	442.63	19.89	21.81
ARAD-2016-345.23	Arena macadán	363.69	14.24	15.59
ARAD-2016-345.24	Arena macadán	397.90	17.35	17.94
ARAD-2016-345.25	Arena macadán	416.56	18.15	21.11
ARAD-2016-345.26	Arena macadán	352.33	10.58	11.51
ARAD-2016-345.27	Arena macadán	430.83	26.67	24.62
ARAD-2016-345.28	Arena macadán	328.34	11.43	10.82
ARAD-2016-345.29	Arena macadán	324.89	11.75	12.84
ARAD-2016-345.30	Arena de río	384.59	17.88	17.47
ARAD-2016-345.31	Arena de río	387.53	16.78	17.73
ARAD-2016-345.32	Arena de río	357.58	16.39	16.00
ARAD-2016-345.34	Caliza	52.97	7.51	1.81
ARAD-2016-345.36	Arcilla	291.05	15.32	13.40
ARAD-2016-345.37	Arena macadán	270.24	7.31	8.81
ARAD-2016-345.38	Arena de río	558.19	24.89	26.62
ARAD-2016-345.39	Arena macadán	406.78	20.16	21.45
ARAD-2016-345.40	Feldespató	284.13	8.78	14.44

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de la actividad específica de los radionucleidos principales de los materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo se obtuvo los siguientes resultados expuestos en la siguiente tabla.

Tabla 3-4: Resultados del tratamiento de Estadística Descriptiva de la Actividad Específica de los radionucleidos presentes en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo

Radionucleidos	K ⁴⁰	Ra ²²⁶	Th ²³²
Estadística			
Media	455.62	29.55	24.38
Moda	N/A	N/A	N/A
Mediana	378.01	15.54	16.61
Varianza	92603.96	1247.76	490,34
Desviación Estándar	304.31	35.32	22.14
Valor Mínimo	43.97	7.31	1.81
Valor Máximo	1130.46	113.52	76.00

Realizado por: Estefanía Chávez

Las concentraciones medias mundiales de potasio (K⁴⁰), Radio (Ra²²⁶) y Torio (Th²³²) en la corteza terrestre son 400, 35 y 30 Bq/kg, respectivamente, como se mencionó en el numeral (2.6.1); en el presente trabajo realizado se logró determinar en los materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo valores medios de 455.62 Bq/kg para el K⁴⁰, es decir el 13.90% sobre la media mundial, para el Ra²²⁶ se obtuvo un valor medio de 29.55 Bq/kg, es decir el 15.57% por debajo de la media mundial y finalmente para el Th²³² se obtuvo un valor medio de 24.38 Bq/kg, es decir el 18.72% por debajo de la media mundial.

A continuación se presenta de manera gráfica la concentración del K⁴⁰ de los materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo.

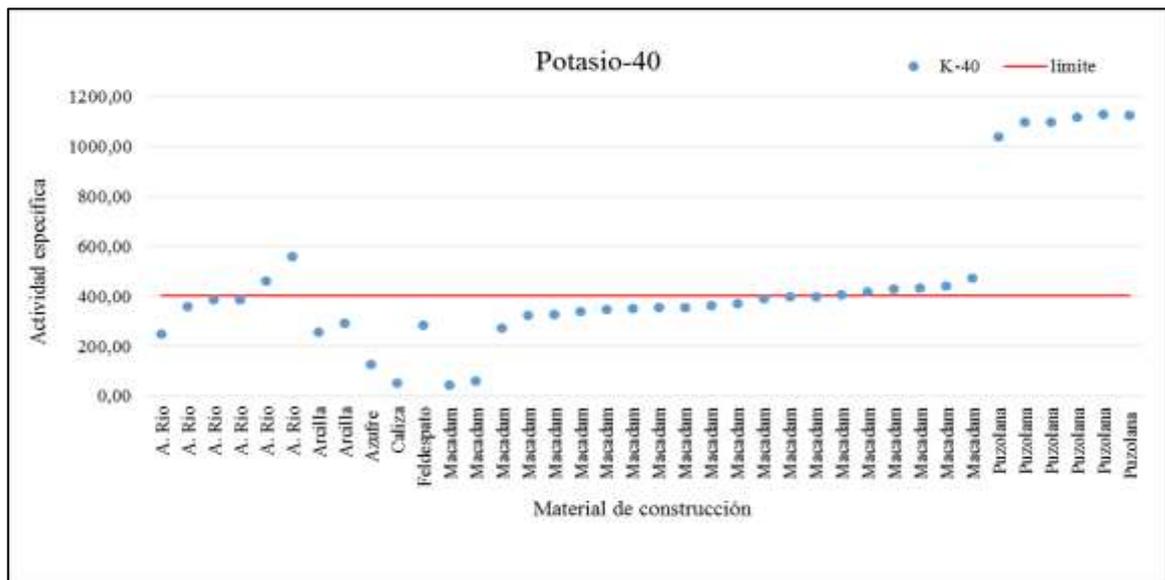


Gráfico 1-4: Concentración de Potasio-40 en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo

Fuente: Estefanía Chávez

Los materiales de construcción que sobrepasan la concentración media mundial de K⁴⁰ corresponden a la arena de río del cantón Chambo y Riobamba (ARAD-2016-345.2, ARAD-2016-345.38), a la arena macadán del cantón Riobamba (ARAD-2016-345.10, ARAD-2016-

4.1.2.2 Actividad específica de los cantones de la Provincia de Chimborazo

- Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe

Tabla 4-4: Actividad específica de los radionucleidos principales determinada en las muestras de los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe

CÓDIGO	LUGAR	MATERIAL	K ⁴⁰ (Bq/kg)	Ra ²²⁶ (Bq/kg)	Th ²³² (Bq/kg)
ARAD-2016-345.11	Alausí	Azufre	128.20	8.52	9.25
ARAD-2016-345.01	Chambo	Arena de río	247.00	9.37	9.06
ARAD-2016-345.32	Pallatanga	Arena de río	357.00	16.39	16.00
ARAD-2016-345.02	Penipe	Arena de río	460.82	20.04	20.74

Realizado por: Estefanía Chávez

La actividad específica de los radionucleidos principales determinada a través de las muestras obtenidas de los cantones alausí, chambo, pallatanga y penipe presentan valores medios que no sobrepasan las concentraciones media mundial de K⁴⁰, Ra²²⁶ y Th²³².

Para el cantón Alausí se obtuvo un valor de 128.20 Bq/kg de K⁴⁰, es decir el 68% por debajo de la concentración media mundial, para el Ra²²⁶ se obtuvo un valor de 8.52 Bq/kg, es decir el 75.65% por debajo de la concentración media mundial, finalmente para el Th²³² se obtuvo un valor de 9.25 Bq/kg, es decir el 69.17% por debajo de la concentración media mundial.

Para el cantón Chambo se obtuvo un valor de 460.82 Bq/kg de K⁴⁰, es decir el 15.21% sobre la concentración media mundial, para el Ra²²⁶ se obtuvo un valor de 20.04 Bq/kg, es decir.74% por debajo de la concentración media mundial y finalmente para el Th²³² se obtuvo un valor de 20.74 Bq/kg, es decir el 40.74% por debajo de la concentración media mundial.

Para el cantón Pallatanga se obtuvo un valor de 247.00 Bq/kg de K⁴⁰, es decir el 38.25% por debajo de la concentración media mundial, para el Ra²²⁶ se obtuvo un valor de 9.37 Bq/kg, es decir el 73,23% por debajo la concentración media mundial y finalmente para el Th²³² se obtuvo un valor de 9.06 Bq/kg, es decir el 69.8% por debajo de la concentración media mundial.

Para el cantón Penipe se obtuvo un valor de 357.00 Bq/kg de K⁴⁰, es decir el 10.75% por debajo de la concentración media mundial, para el Ra²²⁶ se obtuvo un valor de 16.39 Bq/kg, es decir el 53.17% por debajo la concentración media mundial y para el Th²³² se obtuvo un valor de 16.00 Bq/kg, es decir el 46.67% por debajo de la concentración media mundial.

A continuación se presenta de manera gráfica la concentración de K^{40} de los materiales de construcción muestreados de los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe.

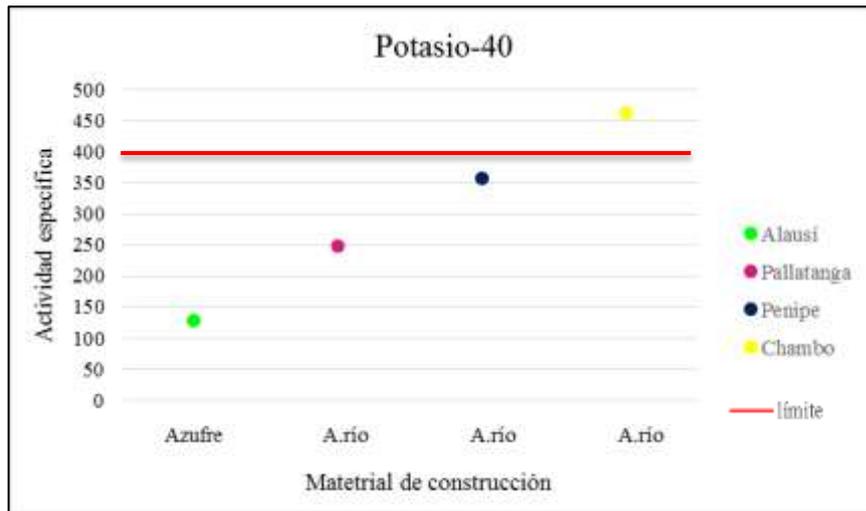


Gráfico 4-4: Concentración de Potasio-40 en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Alausí, Pallatanga y Penipe no se presenta materiales de construcción que sobrepasen la concentración media mundial de K^{40} y el material de construcción que si sobrepasa la concentración media mundial es la arena de río (ARAD-2016-345.02) proveniente del cantón Chambo.

Seguidamente se presenta de manera gráfica la concentración de Ra^{226} de los materiales de construcción muestreados de los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe.

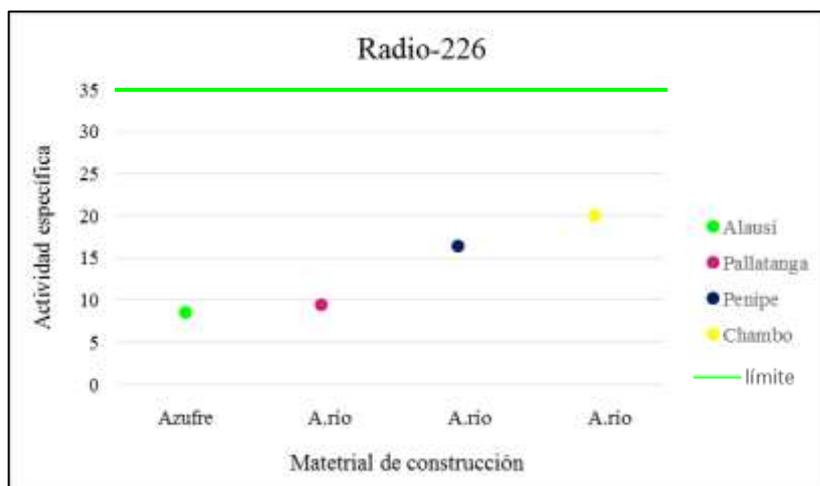


Gráfico 5-4: Concentración de Radio-226 en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe no se presenta materiales de construcción que sobrepasen la concentración media mundial de Ra²²⁶.

A continuación se presenta de manera gráfica la concentración de Th²³² de los materiales de construcción muestreados de los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe.

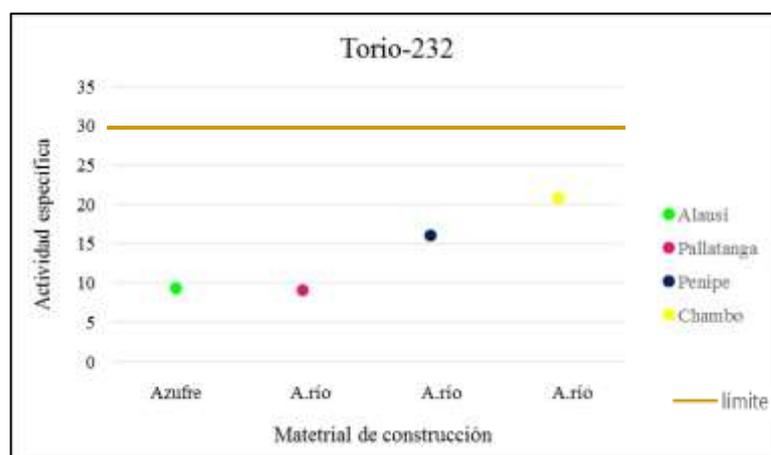


Gráfico6-4: Concentración de Torio-232 en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe no se presenta materiales de construcción que sobrepasen la concentración media mundial de Th²³².

- Cantones Chunchi y Guamote

Tabla 5-4: Actividad específica de los radionucleidos principales determinada en las muestras de los cantones Chunchi y Guamote

CÓDIGO	MATERIAL	LUGAR	K ⁴⁰ (Bq/kg)	Ra ²²⁶ (Bq/kg)	Th ²³² (Bq/kg)
ARAD-2016-345.03	Arena macadán	Chunchi	398.40	8.40	9.15
ARAD-2016-345.08	Arena macadán	Chunchi	43.97	14.03	9.40
ARAD-2016-345.12	Arena macadán	Chunchi	58.05	8.20	4.80
ARAD-2016-345.13	Arena macadán	Guamote	256.69	13.27	17.99
ARAD-2016-345.36	Arcilla	Guamote	291.05	15.32	13.40
ARAD-2016-345.37	Arcilla	Guamote	270.24	8.81	8,81

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de la actividad específica de los radionucleidos principales de los materiales de construcción

muestreados de los cantones Chunchi y Guamote se obtuvo los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6-4: Estadística Descriptiva de los radionucleidos principales de las muestras de los cantones Chunchi y Guamote

LUGAR	CHUNCHI			GUAMOTE		
Radionucleidos Estadística	K ⁴⁰	Ra ²²⁶	Th ²³²	K ⁴⁰	Ra ²²⁶	Th ²³²
Media	166.81	10.21	7.78	272.66	11.97	13.40
Moda	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Mediana	58.05	8.40	9.15	270.24	13.27	13.40
Varianza	40275.70	10.93	6.70	299.60	17.31	21.07
Desviación Estándar	200.69	3.31	2.59	17.31	4.16	4.59
Valor Mínimo	43.97	8.20	4.79	256.69	7.31	8.81
Valor Máximo	398.39	14.03	9.40	291.05	15.32	17.99

Realizado por: Estefanía Chávez

Por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado se puede afirmar que la concentración media de los radionucleidos principales de los cantones Chunchi y Guamote no sobrepasan la concentración media mundial de K⁴⁰, Ra²²⁶ y Th²³².

Para el cantón Chunchi se obtuvo un valor medio de 166.81 Bq/kg de K⁴⁰, es decir el 58.30% por debajo de la media mundial, para el Ra²²⁶ se obtuvo un valor medio de 10.21 Bq/kg, es decir el 70.82% por debajo de la media mundial y para el Th²³² se obtuvo un valor medio de 7.78 Bq/kg, es decir el 74.07% por debajo de la media mundial.

Para el cantón Guamote se obtuvo un valor medio de 272.66 Bq/kg de K⁴⁰, es decir el 31.83% por debajo de la media mundial, para el Ra²²⁶ se obtuvo un valor medio de 11.97 Bq/kg, es decir el 65,80% por debajo la media mundial y para el Th²³² se obtuvo un valor medio de 13.40 Bq/kg, es decir el 55.33% por debajo de la media mundial.

Ahora, seguidamente se presenta de manera gráfica la concentración de K⁴⁰ de los materiales de construcción muestreados de los cantones Chunchi y Guamote.

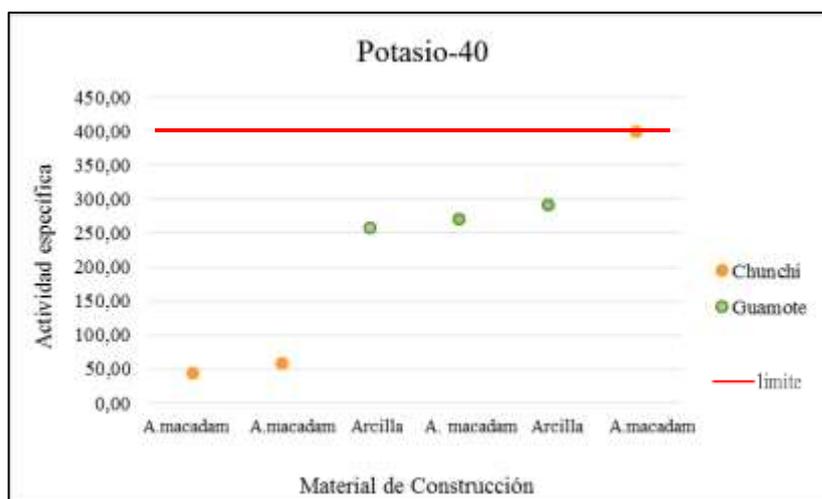


Gráfico 7-4: Concentración de Potasio-40 en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Chunchi y Guamote no se presentan materiales de construcción que sobrepasen la concentración media mundial de K^{40} , en el cantón Chunchi la actividad específica varía en un rango de 43.97- 398.39 Bq/kg, y en el cantón Guamote varía en un rango de 256.69 - 291.05 Bq/kg para las muestras analizadas.

Seguidamente se presenta de manera gráfica la concentración de Ra^{226} de los materiales de construcción muestreados de los cantones Chunchi y Guamote.

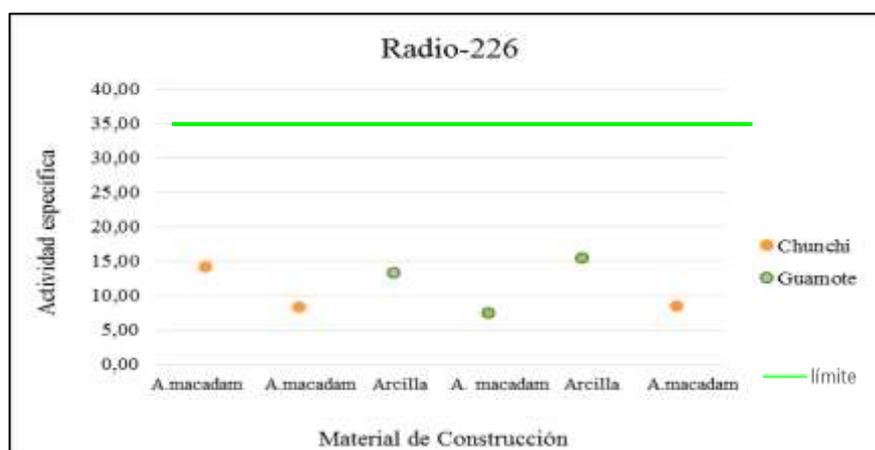


Gráfico 8-4: Concentración de Torio-232 en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Chunchi y Guamote no se presentan materiales de construcción que sobrepasen la concentración media mundial de Ra^{226} . En el cantón Chunchi la actividad específica varía en un rango de 8.20 - 14.03 Bq/kg y en el cantón Guamote varían en un rango de 7.31 - 15.32 Bq/kg para las muestras analizadas.

Continuando con el análisis se presenta de manera gráfica la concentración de Th^{232} de los materiales de construcción muestreados de los cantones Chunchi y Guamote.

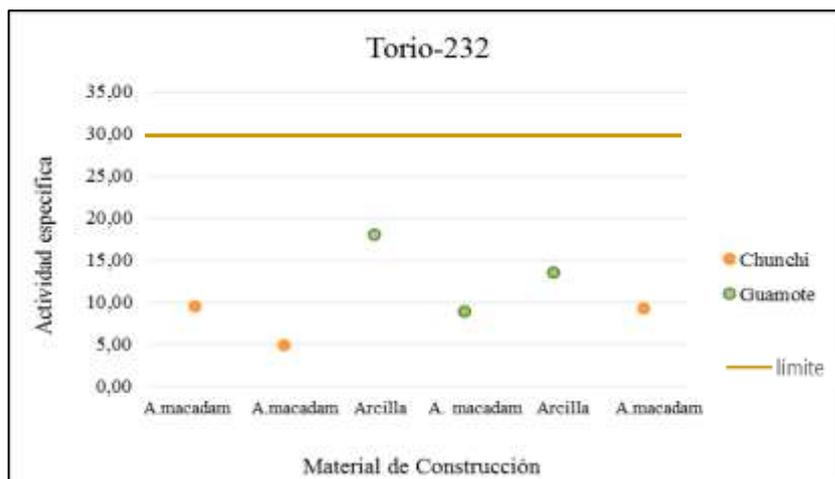


Gráfico 9-4: Concentración de Torio-232 en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote

Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Chunchi y Guamote no se presentan materiales de construcción que sobrepasen la concentración media mundial de Ra^{226} . En el cantón Chunchi la actividad específica varía en el rango de 4.79 - 9.40 Bq/kg y en el cantón Guamote varía en un rango de 8.81 - 17.99 Bq/kg para las muestras analizadas.

- Cantón Colta

Tabla 7-4: Actividad específica de los radionucleidos principales determinada en las muestras del cantón Colta

CÓDIGO	MATERIAL	K^{40} (Bq/kg)	Ra^{226} (Bq/kg)	Th^{232} (Bq/kg)
ARAD-2016-345.04	Puzolana	1097.75	112.59	71.31
ARAD-2016-345.05	Puzolana	1038.36	101.06	68.61
ARAD-2016-345.06	Puzolana	1096.71	113.52	76.00
ARAD-2016-345.14	Puzolana	1130.46	108.09	75.36
ARAD-2016-345.15	Puzolana	1125.44	111.60	74.71

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de la actividad específica de los radionucleidos principales de los materiales de construcción muestreados del cantón Colta se obtuvo los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8-4: Estadística Descriptiva de los radionucleidos principales de las muestras del cantón Colta

Radionucleidos Estadística	K ⁴⁰	Ra ²²⁶	Th ²³²
Media	1097.74	109.37	73.19
Moda	N/A	N/A	N/A
Mediana	1097.74	111.59	74.71
Varianza	1341.16	125.83	9.88
Desviación Estándar	36.62	5.08	3.14
Valor Mínimo	1038.36	101.06	68.61
Valor Máximo	1130.46	113.52	76.00

Realizado por: Estefanía Chávez

Por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado se puede afirmar que la actividad específica de los radionucleidos principales en el cantón Colta presentan para el K⁴⁰ un valor medio de 1097.74 Bq/kg, es decir el 174.44% sobre de la media mundial, para el Ra²²⁶ se obtuvo un valor medio de 109.37 Bq/kg, es decir el 212.49% sobre la media mundial, finalmente para el Th²³² se obtuvo un valor medio de 73.19 Bq/kg, es decir el 143.97% sobre la media mundial.

Siguiendo con el estudio se presenta de manera gráfica la concentración de K⁴⁰ de los materiales de construcción muestreados del cantón Colta.

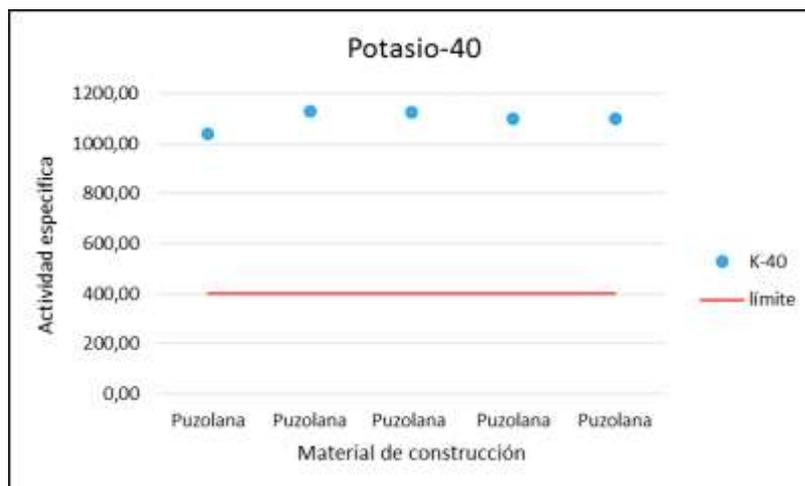


Gráfico 10-4: Concentración de Potasio-40 en materiales de construcción muestreados en el cantón Colta

Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Colta, la puzolana (ARAD-2016-345.4, ARAD-2016-345.5, ARAD-2016-345.6, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.15) sobrepasa la media mundial de K⁴⁰ y la actividad específica varía en el rango de 1038.36 - 1130.46 Bq/kg para las muestras analizadas.

Ahora continuando con el análisis se presenta de manera gráfica la concentración de Ra²²⁶ de los materiales de construcción muestreados del cantón Colta.

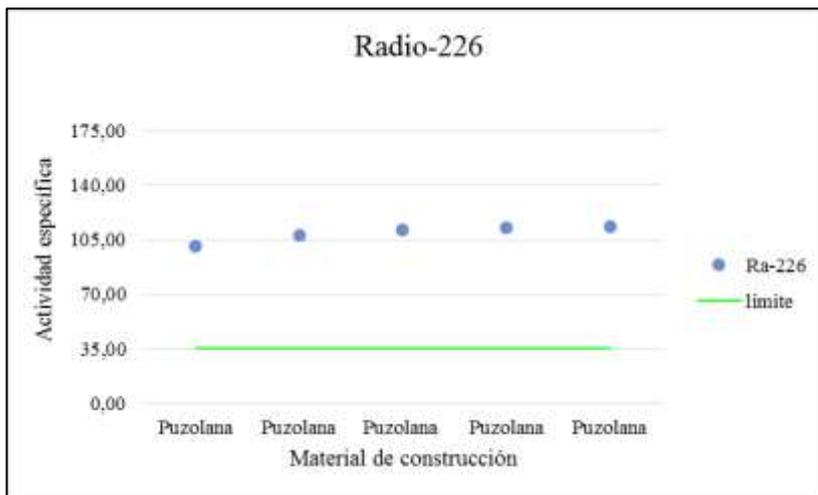


Gráfico 11-4: Concentración de Radio-226 en materiales de construcción muestreados en el cantón Colta

Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Colta, la puzolana (ARAD-2016-345.4, ARAD-2016-345.5, ARAD-2016-345.6, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.15) si sobrepasa la media mundial de Ra²²⁶, la actividad específica varía en un rango de 101.06- 113.52 Bq/kg para las muestras analizadas.

A continuación se presenta de manera gráfica la concentración de Th²³² de los materiales de construcción muestreados del cantón Colta.

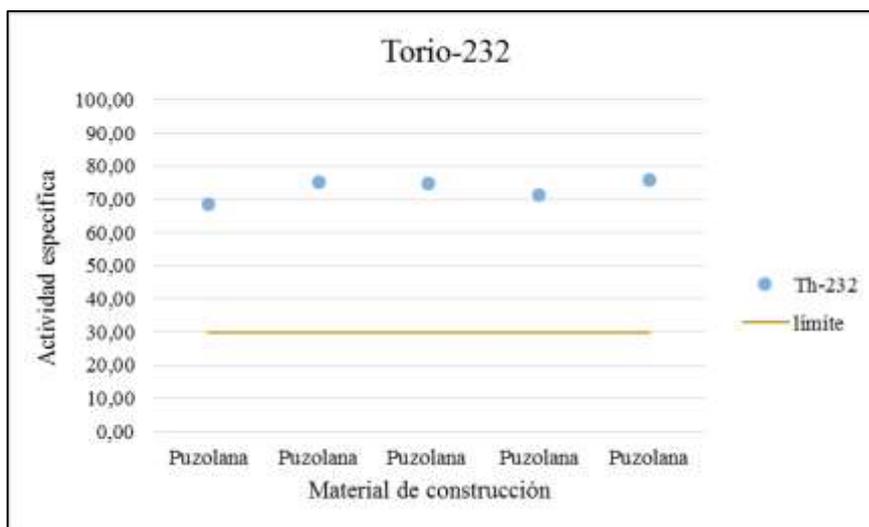


Gráfico 12-4: Concentración de Torio-232 en materiales de construcción muestreados en el cantón Colta

Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Colta, la puzolana (ARAD-2016-345.4, ARAD-2016-345.5, ARAD-2016-345.6, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.15) si sobrepasa la media mundial de Th^{232} y la actividad específica varía en un rango de 68.61 - 76.00 Bq/kg para las muestras analizadas.

- **Cantón Guano**

Tabla 9-4: Actividad Específica de los radionucleidos principales determinada en las muestras del cantón Guano

CÓDIGO	MATERIAL	K^{40} (Bq/kg)	Ra^{226} (Bq/kg)	Th^{232} (Bq/kg)
ARAD-2016-345.28	Arena macadán	328.34	11.43	10.82
ARAD-2016-345.29	Arena macadán	324.89	11.75	12.84
ARAD-2016-345.30	Arena de río	384.59	17.88	17.47
ARAD-2016-345.31	Arena de río	387.53	16.78	17.73

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de la actividad específica de los radionucleidos principales de los materiales de construcción muestreados del cantón Guano se obtuvo los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10-4: Estadística Descriptiva de los radionucleidos principales de las muestras del cantón Guano

Radionucleido Estadística	K^{40}	Ra^{226}	Th^{232}
Media	356.34	14.45	14.71
Moda	N/A	N/A	N/A
Mediana	356.46	14.26	15.16
Varianza	1181.35	11.20	11.76
Desviación Estándar	34.37	3.35	3.43
Valor Mínimo	324.89	11.43	10.82
Valor Máximo	387.53	17.87	17.73

Realizado por: Estefanía Chávez

Por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado se puede afirmar que la actividad específica de los radionucleidos principales en el cantón Guano no sobrepasan la concentración media mundial y se obtuvo para el K^{40} un valor medio de 356.34 Bq/kg, es decir el 10.91% por debajo de la media mundial, para el Ra^{226} se obtuvo un valor meido de 14.45 Bq/kg, es decir el 58.71% por debajo la media mundial, finalmente para el Th^{232} se obtuvo un valor medio de 14.71 Bq/kg, es decir el 50.97% por debajo de la media mundial.

Continuando con el análisis, ahora se presenta de manera gráfica la concentración de K^{40} de los materiales de construcción muestreados del cantón Guano.

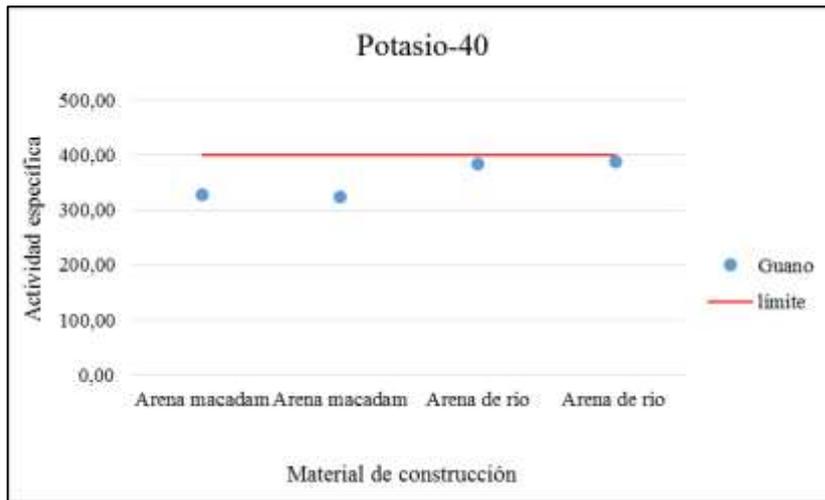


Gráfico13-4: Concentración de Potasio-40 en materiales de construcción muestreados en el cantón Guano

Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Guano no se presentan materiales de construcción que sobrepasen la concentración media mundial de K^{40} y la actividad específica varía en un rango de 324.89 - 387.53 Bq/kg para las muestras analizadas.

Ahora, se presenta de manera gráfica la concentración de Ra^{226} de los materiales de construcción muestreados del cantón Guano.

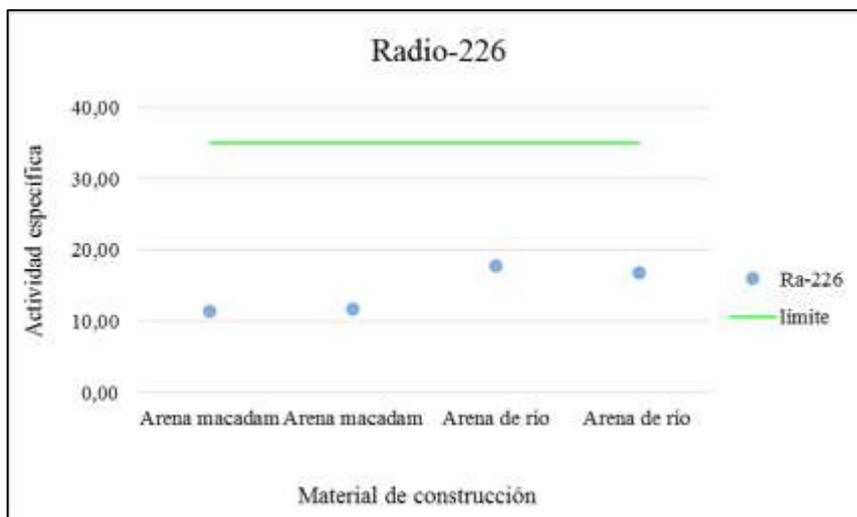


Gráfico 14-4: Concentración de Radio-226 en materiales de construcción muestreados en el cantón Guano

Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Guano no se presentan materiales de construcción que sobrepasen la concentración media mundial de Ra²²⁶ y la actividad específica varía en un rango de 11.43 - 17.87 Bq/kg para las muestras analizadas.

A continuación se presenta de manera gráfica la concentración de Th²³² de los materiales de construcción muestreados del cantón Guano.

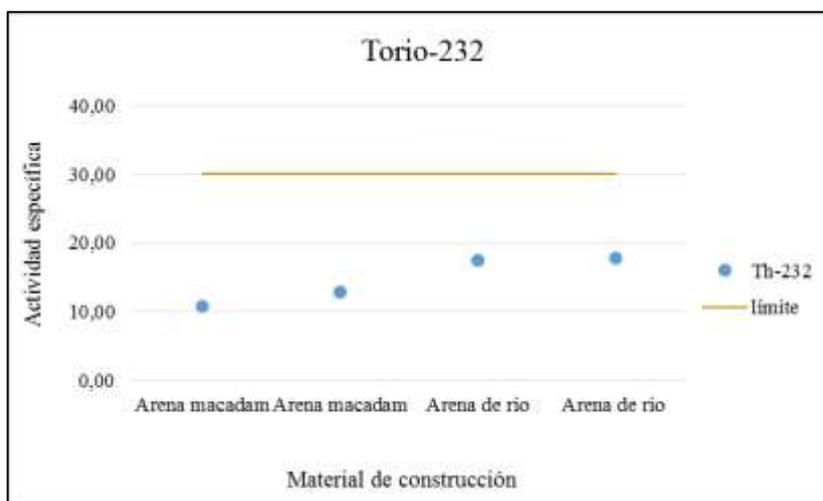


Gráfico15-4: Concentración de Torio-232 en materiales de construcción muestreados en el cantón Guano

Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Guano no se presentan materiales de construcción que sobrepasen la concentración media mundial de de Th²³² y la actividad específica varía en un rango de 8.81-17.99 Bq/kg para las muestras analizadas.

- Cantón Riobamba

Tabla 11-4: Actividad específica de los radionucleidos principales determinada en las muestras del cantón Riobamba

CÓDIGO	MATERIAL	K ⁴⁰ (Bq/kg)	Ra ²²⁶ (Bq/kg)	Th ²³² (Bq/kg)
ARAD-2016-345.07	Puzolana	1117.21	108.00	72.62
ARAD-2016-345.09	Arena macadán	352.81	13.00	12.88
ARAD-2016-345.10	Arena macadán	433.88	19.72	22.35
ARAD-2016-345.16	Arena macadán	347.96	10.26	13.16
ARAD-2016-345.17	Arena macadán	371.44	11.41	12.80
ARAD-2016-345.18	Arena macadán	355.56	12.57	14.29
ARAD-2016-345.19	Arena macadán	340.81	11.29	11.64

ARAD-2016-345.20	Arena macadán	470.68	27.29	29.33
ARAD-2016-345.21	Arena macadán	391.10	15.77	17.22
ARAD-2016-345.22	Arena macadán	442.63	19.89	21.81
ARAD-2016-345.23	Arena macadán	363.69	14.24	15.59
ARAD-2016-345.24	Arena macadán	397.90	17.35	17.94
ARAD-2016-345.25	Arena macadán	416.56	18.15	21.11
ARAD-2016-345.26	Arena macadán	352.33	10.58	11.51
ARAD-2016-345.27	Arena macadán	430.83	26.67	24.62
ARAD-2016-345.34	Caliza	52.97	7.51	1.81
ARAD-2016-345.38	Arena de río	558.19	24.89	26.62
ARAD-2016-345.39	Arena macadán	406.78	20.16	21.45
ARAD-2016-345.40	Feldespató	284.13	8.78	14.44
ARAD-2016-345.07	Puzolana	111.21	108.00	72.62

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de la actividad específica de los radionucleidos principales de los materiales de construcción muestreados del cantón Riobamba se obtuvo los resultados expuestos en la siguiente tabla.

Tabla 12-4: Estadística descriptiva de los radionucleidos principales de las muestras del cantón Riobamba

Radionucleido	K⁴⁰	Ra²²⁶	Th²³²
Estadística			
Media	415.13	20.92	20.17
Moda	N/A	N/A	N/A
Mediana	391.10	15.77	17.22
Varianza	38503.24	479.43	202.76
Desviación Estándar	196.22	21.89	14.24
Valor Mínimo	52.97	7.51	1.81
Valor Máximo	1117.21	107.99	72.62

Realizado por: Estefanía Chávez

Por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado se puede afirmar que la actividad específica de los radionucleidos principales en el cantón Riobamba presentan para el K⁴⁰ un valor medio de 415.13 Bq/kg, es decir el 3.78% sobre la media mundial, para el Ra²²⁶ se obtuvo un valor medio de 20.929 Bq/kg, es decir el 40.23% por debajo la media mundial y finalmente para el Th²³² se obtuvo un valor medio de 20.17 Bq/kg, es decir el 32.77% por debajo de la media mundial.

Se presenta de manera gráfica la concentración de K^{40} de los materiales de construcción muestreados del cantón Riobamba.

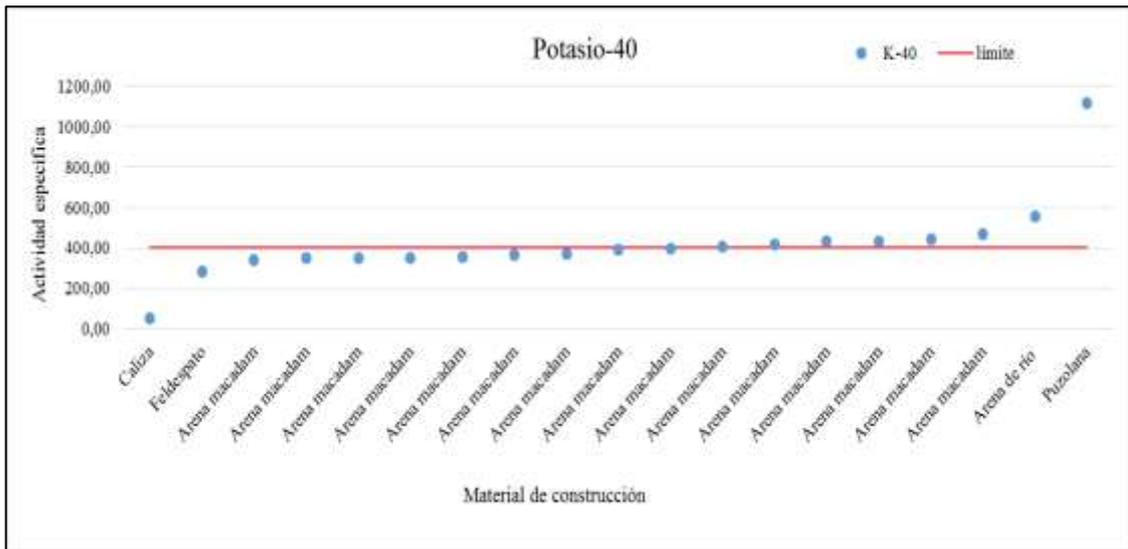


Gráfico 16-4: Concentración de Potasio-40 en materiales de construcción muestreados en el cantón Riobamba

Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Riobamba, la pozolana (ARAD-2016-345.06), la arena macadám (ARAD-2016-345.10), (ARAD-2016-345.20), (ARAD-2016-345.22), (ARAD-2016-345.25), (ARAD-2016-345.27), (ARAD-2016-345.39) y la arena de río (ARAD-2016-345.38) sobrepasan la media mundial de K^{40} y la actividad específica varía en un rango de 52.97 - 1117.21 Bq/kg para las muestras analizadas.

Seguidamente se presenta de manera gráfica la concentración de Ra^{226} de los materiales de construcción muestreados del cantón Riobamba

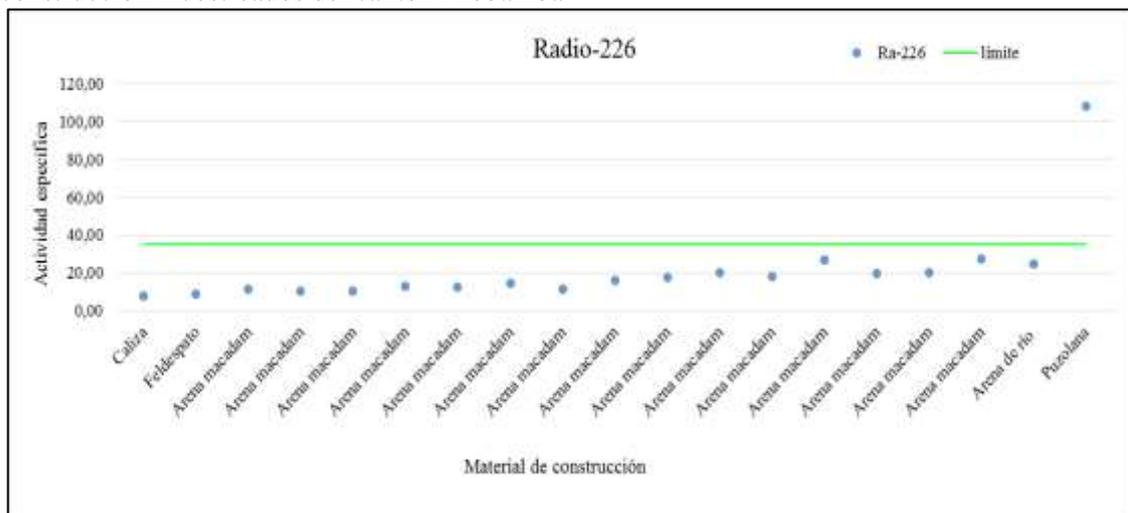


Gráfico 17-4: Concentración de Radio-226 en materiales de construcción muestreados en el cantón Riobamba

Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Riobamba, la puzolana (ARAD-2016-345.06) sobrepasa la concentración media mundial de Ra²²⁶ y la actividad específica varía en un rango de de 7.51 - 107.99 Bq/kg para las muestras analizadas.

Ahora se presenta de manera gráfica la concentración de Th²³² de los materiales de construcción muestreados del cantón Riobamba.

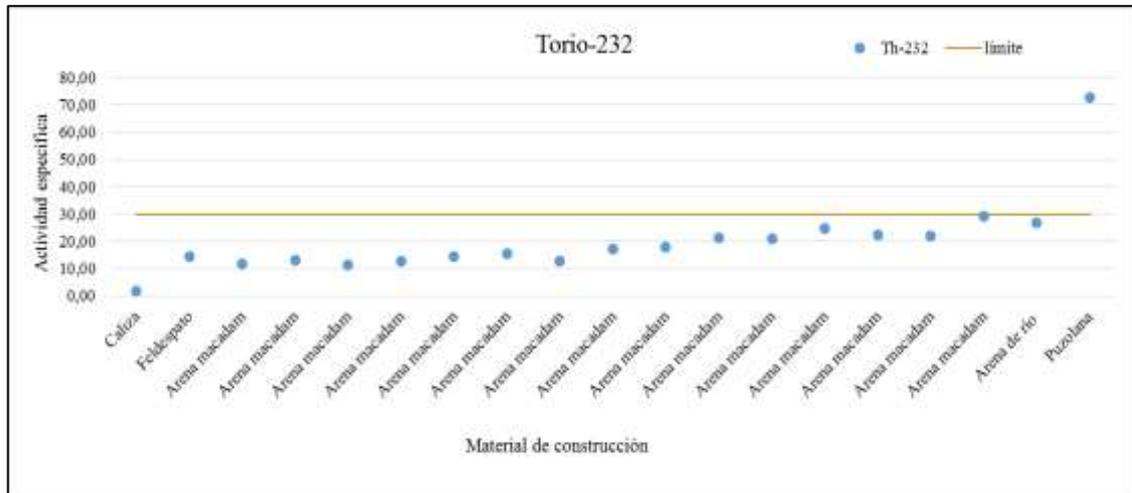


Gráfico 18-4: Actividad específica del Torio-232 en el cantón Riobamba
Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Riobamba, la puzolana (ARAD-2016-345.06) sobrepasa la concentración media mundial de Th²³² y la actividad específica varía en un rango de 1.81 - 72.62 Bq/kg para las muestras analizadas

En resumen, del análisis realizado de la actividad específica estimada en la Provincia de Chimborazo se tiene que la menor concentración media debido a K⁴⁰ pertenece al cantón Alausí y la mayor concentración pertenecen a los cantones Colta y Riobamba, mientras que debido al Ra²²⁶ la menor concentración media pertenece al cantón Guamote y la mayor concentración media pertenece al cantón Colta y por último debido al Th²³² la menor concentración media pertenece al cantón Riobamba y la mayor concentración media pertenece al cantón Colta.

Es importante recalcar que las concentraciones medias de la puzolana tanto en el cantón Colta como en el cantón Riobamba presentan una radiactividad elevada en comparación con los otros materiales de construcción analizados en las muestras de los distintos cantones.

4.1.2.3 Actividad específica en cada material de construcción muestreado

- Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato

Tabla 13-4: Actividad Específica de los radionucleidos principales determinada en las muestras de los materiales arcilla, azufre, caliza y feldespato analizados

CÓDIGO	MATERIAL	LUGAR	K ⁴⁰ (Bq/kg)	Ra ²²⁶ (Bq/kg)	Th ²³² (Bq/kg)
ARAD-2016-345.34	Caliza	Riobamba	52.97	7.51	1.81
ARAD-2016-345.11	Azufre	Alausí	128.20	8.52	9.25
ARAD-2016-345.13	Arcilla	Guamote	256.69	13.27	17.99
ARAD-2016-345.40	Feldespato	Riobamba	284.13	8.78	14.44
ARAD-2016-345.36	Arcilla	Guamote	291.05	15.32	13.40

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de la Actividad Específica de los radionucleidos principales de los materiales arcilla, azufre, caliza y feldespato analizados, se obtuvo los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 14-4: Estadística Descriptiva de los radionucleidos principales de las muestras de los materiales arcilla, azufre, caliza y feldespato analizados

Radionucleidos Estadística	K ⁴⁰	Ra ²²⁶	Th ²³²
Media	273.87	14.29	15.69
Moda	N/A	N/A	N/A
Mediana	273.87	14.29	15.69
Varianza	590.44	2.09	10.53
Desviación Estándar	24.29	1.45	3.24
Valor Mínimo	256.69	13.27	13.40
Valor Máximo	291.05	15.32	17.99

Realizado por: Estefanía Chávez

Por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado se puede afirmar que la actividad específica de los radionucleidos principales en la Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato no sobrepasan la concentración media mundial de K⁴⁰, Ra²²⁶ y Th²³².

Para la arcilla se obtuvo un valor mediodo 273.87 Bq/kg de K⁴⁰, es decir el 31.53% por debajo de la concentración media mundial, para el Ra²²⁶ se obtuvo un valor mediodo 14.29 Bq/kg, es decir el 59.17% por debajo la concentración media mundial, finalmente para el Th²³² se obtuvo un valor mediodo 15.69 Bq/kg, es decir el 47.7% por debajo de la concentración media mundial.

Para el azufre se obtuvo un valor medio de 128.20 Bq/kg de K^{40} , es decir el 67.95% por debajo de la concentración media mundial, para el Ra^{226} se obtuvo un valor medio de 8.53 Bq/kg es decir el 75.66% por debajo la concentración media mundial, finalmente para el Th^{232} se obtuvo un valor medio de 9.25 Bq/kg, es decir el 69.17% por debajo de la concentración media mundial.

Para la caliza se obtuvo un valor medio de 52.97 Bq/kg de K^{40} , es decir el 87.76% por debajo de la concentración media mundial, para el Ra^{226} se obtuvo un valor medio de 7.51 Bq/kg, es decir el 78.54% por debajo la concentración media mundial, finalmente para el Th^{232} se obtuvo un valor medio de 1.81 Bq/kg, es decir el 93.97% por debajo de la concentración media mundial.

Finalmente para el feldespato se obtuvo un valor medio de 284.13 Bq/kg de K^{40} , es decir el 28.97% por debajo de la concentración media mundial, para el Ra^{226} se obtuvo un valor medio de 8.78 Bq/kg, es decir el 74.91% por debajo la concentración media mundial, finalmente para el Th^{232} se obtuvo un valor medio de 14.44 Bq/kg, es decir el 51.87% por debajo de la concentración media mundial.

A continuación se presenta de manera gráfica la concentración de K^{40} en la Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato.

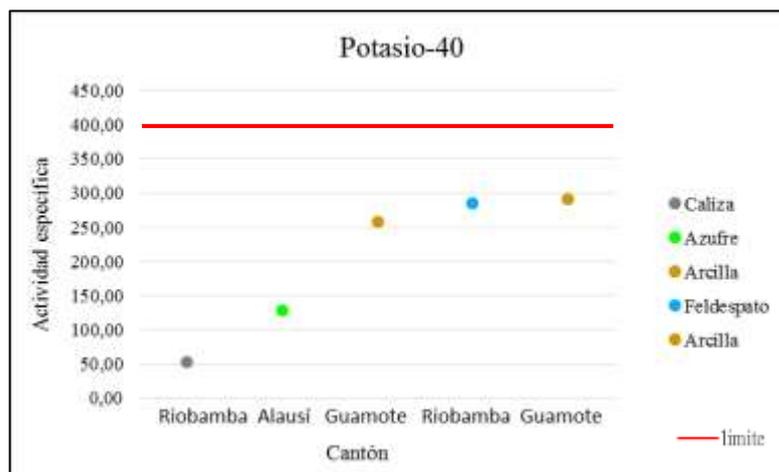


Gráfico 19-4: Concentración de Potasio-40 en la arcilla, azufre, caliza y feldespato
Fuente: Estefanía Chávez

El azufre, caliza, feldespato y arcilla no sobrepasan la concentración media mundial de K^{40} , en la arcilla la actividad específica varía en el rango de 256.69 - 291.05 Bq/kg para las muestras analizadas.

Seguidamente se presenta de manera gráfica la concentración de Ra^{226} en la Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato.

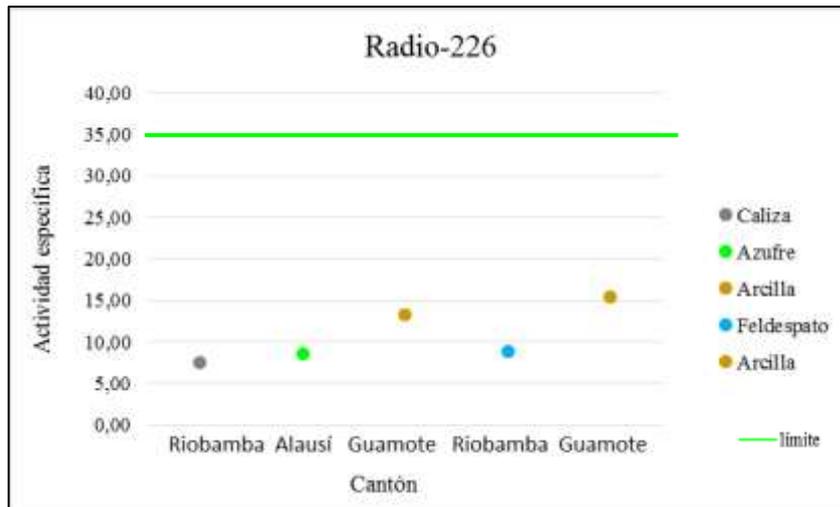


Gráfico 20-4: Concentración de Ra-226 en la arcilla, azufre, caliza y feldespato
Fuente: Estefanía Chávez

El azufre, caliza, feldespato y arcilla no sobrepasan la concentración media mundial de Ra²²⁶, la actividad específica en la arcilla varía en el rango de 13.27 - 15.32 Bq/kg para las muestras analizadas.

Ahora se presenta de manera gráfica la concentración de Th²³² en la Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato.

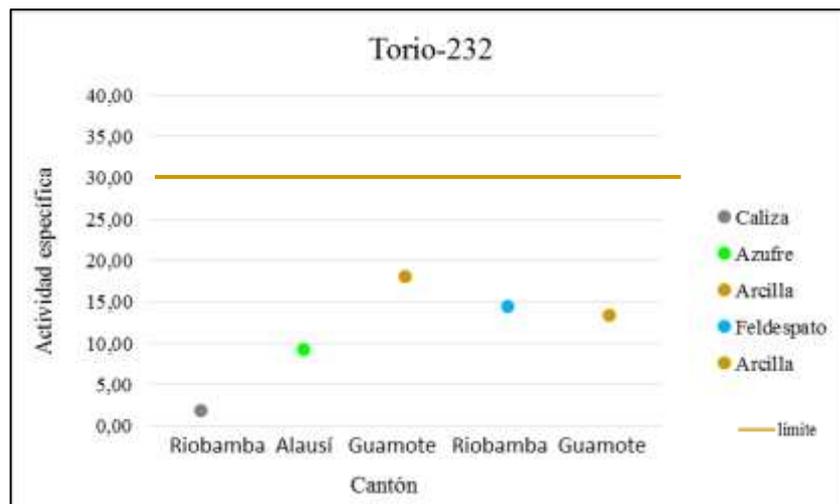


Gráfico 21-4: Concentración de Torio-232 en la arcilla, azufre, caliza y feldespato
Fuente: Estefanía Chávez

El azufre, caliza, feldespato y arcilla no sobrepasan la concentración media mundial de de Th²³², la actividad específica en la arcilla varía en el rango de 13.40- 17.94 Bq/kg para las muestras analizadas.

- **Arena de río**

Tabla 15-4: Actividad específica de los radionucleidos principales en la Arena de río

CÓDIGO	MATERIAL	K⁴⁰ (Bq/kg)	Ra²²⁶ (Bq/kg)	Th²³² (Bq/kg)
ARAD-2016-345.01	Arena de río	247.00	9.37	9.06
ARAD-2016-345.32	Arena de río	357.58	16.39	16.00
ARAD-2016-345.30	Arena de río	384.59	17.88	17.47
ARAD-2016-345.31	Arena de río	387.53	16.78	17.73
ARAD-2016-345.02	Arena de río	460.82	20.04	20.70
ARAD-2016-345.38	Arena de río	558.19	24.89	26.62

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de la actividad específica de los radionucleidos principales en la arena de río analizada, se obtuvo los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 16-4: Estadística Descriptiva de los radionucleidos principales en la Arena de río

Radionucleidos	K⁴⁰	Ra²²⁶	Th²³²
Estadística			
Media	399.28	17.56	17.93
Moda	N/A	N/A	N/A
Mediana	386.06	17.33	17.59
Varianza	10864.17	25.80	33.17
Desviación Estándar	104.23	5.08	5.76
Valor Mínimo	246.99	9.37	9.06
Valor Máximo	558.19	24.89	26.62

Realizado por: Estefanía Chávez

Por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado se puede afirmar que la actividad específica de los radionucleidos principales de la Arena de río no sobrepasan los límites permitidos, se obtuvo para el K⁴⁰ un valor medio de 399.28 Bq/kg, es decir el 0.18% por debajo de la media mundial, para el Ra²²⁶ se obtuvo un valor medio de 17.56 Bq/kg, es decir el 49.83% por debajo la media mundial, finalmente para el Th²³² se obtuvo un valor medio de 17.93 Bq/kg, es decir el 40.23% por debajo de la media mundial.

Seguidamente se presenta de manera gráfica la concentración de K^{40} en la Arena de río

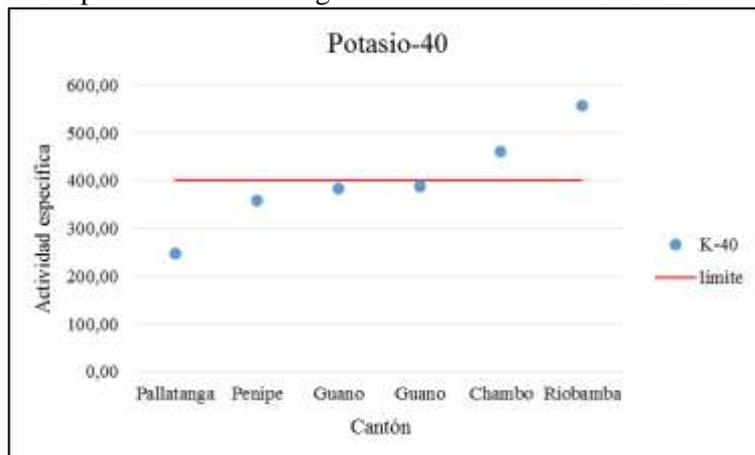


Gráfico 22-4: Concentración de Potasio-40 en la arena de río
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Chambo y Riobamba, la Arena de río (ARAD-2016-345.02) y (ARAD-2016-345.38) respectivamente, sobrepasan la concentración media mundial de K^{40} , la actividad específica varía en el rango de 246.99- 558.19 Bq/kg para las muestras analizadas.

Seguidamente se presenta de manera gráfica la concentración de Ra^{226} en la Arena de río

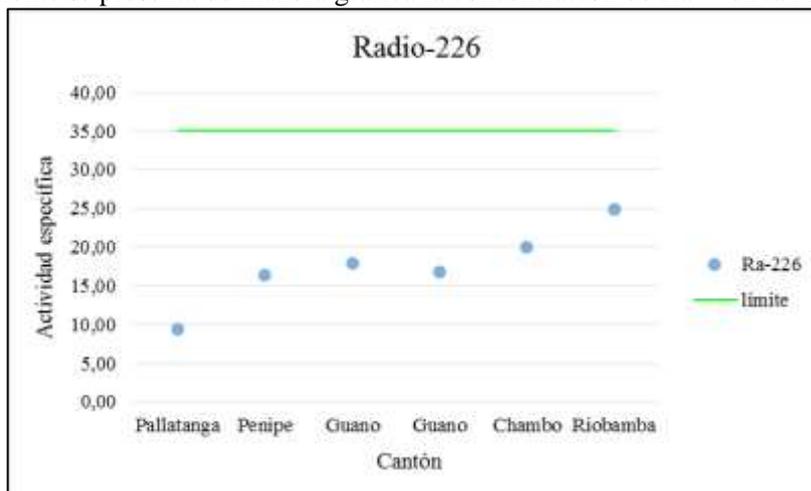


Gráfico 23-4: Concentración de Radio-226 en la arena de río
Fuente: Estefanía Chávez

La arena de río no sobrepasa la media mundial de Ra^{226} , la actividad específica varía en el rango de 9.37 - 24.89 Bq/kg para las muestras analizadas

Ahora, de inmediato se presenta de manera gráfica la concentración de Th^{232} en la Arena de río

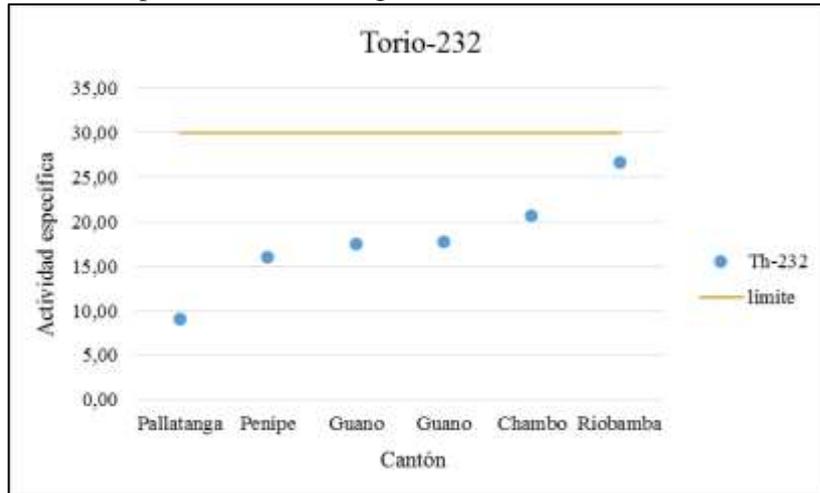


Gráfico 24-4: Concentración de Torio-232 en la arena de río
Fuente: Estefanía Chávez

La arena de río no sobrepasa la concentración media mundial de Ra^{226} , la actividad específica varía en el rango de 9.06 - 26.62 Bq/kg para las muestras analizadas.

- **Arena macadán**

Tabla 17-4: Actividad específica de los radionucleidos principales en la Arena macadán

CÓDIGO	MATERIAL	K^{40} (Bq/kg)	Ra^{226} (Bq/kg)	Th^{232} (Bq/kg)
ARAD-2016-345.12	Arena macadán	58.05	8.20	4.80
ARAD-2016-345.08	Arena macadán	43.97	14.03	9.40
ARAD-2016-345.37	Arena macadán	270.24	7.31	8.81
ARAD-2016-345.03	Arena macadán	398.40	8.40	9.15
ARAD-2016-345.28	Arena macadán	328.34	11.43	10.82
ARAD-2016-345.26	Arena macadán	352.33	10.58	11.51
ARAD-2016-345.19	Arena macadán	340.81	11.29	11.64
ARAD-2016-345.29	Arena macadán	324.89	11.75	12.84
ARAD-2016-345.16	Arena macadán	347.96	10.26	13.16
ARAD-2016-345.17	Arena macadán	371.44	11.41	12.80
ARAD-2016-345.09	Arena macadán	352.81	13.00	12.88
ARAD-2016-345.18	Arena macadán	355.56	12.57	14.29
ARAD-2016-345.23	Arena macadán	363.69	14.24	15.59
ARAD-2016-345.21	Arena macadán	391.10	15.77	17.22
ARAD-2016-345.24	Arena macadán	397.90	17.35	17.94
ARAD-2016-345.25	Arena macadán	416.56	18.15	21.11
ARAD-2016-345.39	Arena macadán	406.78	20.16	21.45
ARAD-2016-345.10	Arena macadán	433.88	19.72	22.35
ARAD-2016-345.22	Arena macadán	442.63	19.89	21.81

ARAD-2016-345.27	Arena macadán	430.83	26.67	24.62
ARAD-2016-345.20	Arena macadán	470.68	27.29	29,33

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de la actividad específica de los radionucleidos principales de arena macadán analizados, se obtuvo los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 18-4: Estadística Descriptiva de los radionucleidos principales de la Arena macadán

Radionucleidos \ Estadística	K ⁴⁰	Ra ²²⁶	Th ²³²
Media	347.56	14.74	15.42
Moda	N/A	N/A	N/A
Mediana	363.69	13.00	13.16
Varianza	11884.802	31.34	37.72
Desviación Estándar	109.02	5.59	6.14
Valor Mínimo	43.97	7.31	4.79
Valor Máximo	470.67	27.29	29.33

Realizado por: Estefanía Chávez

Por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado se puede afirmar que la actividad específica de los radionucleidos principales de la Arena macadán no sobrepasa la concentración media mundial, se obtuvo para el K⁴⁰ un valor medio de 347.56 Bq/kg, es decir el 13.11% por debajo de la media mundial, para el Ra²²⁶ se obtuvo un valor medio de 14.74 Bq/kg, es decir el 59.51% por debajo la media mundial, finalmente para el Th²³² se obtuvo un valor medio de 15.42 Bq/kg, es decir el 48.6% por debajo de la media mundial.

A continuación se presenta de manera gráfica la concentración de K⁴⁰ en la Arena macadán

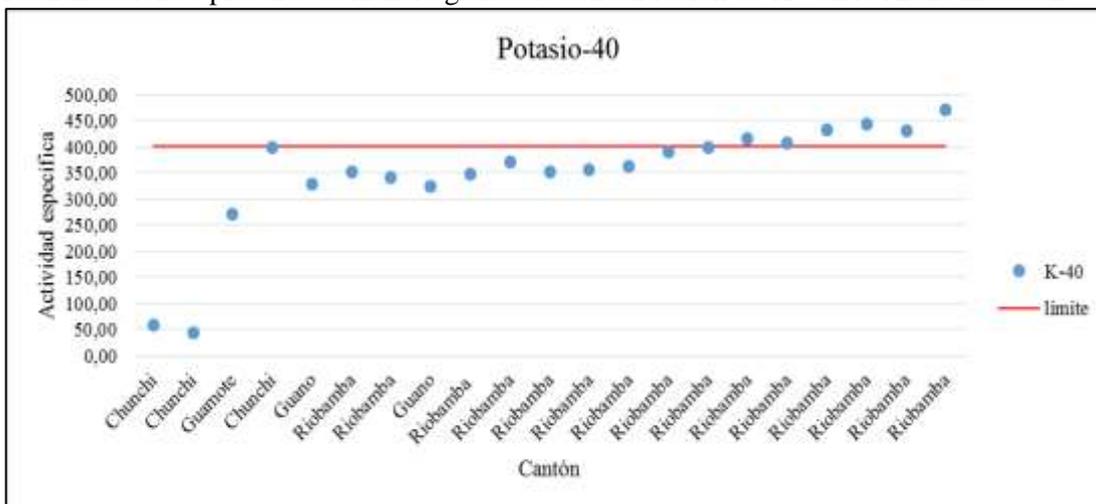


Gráfico 25-4: Concentración de Potasio-40 en la arena macadán

Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Riobamba, la Arena macadán (ARAD-2016-345.10), (ARAD-2016-345.20), (ARAD-2016-345.22), (ARAD-2016-345.25), (ARAD-2016-345.27) (ARAD-2016-345.39) respectivamente, sobrepasan la concentración media mundial de K^{40} , la actividad específica varía en el rango de 43.97-470.67 Bq/kg para las muestras analizadas.

De inmediato se presenta de manera gráfica la concentración de Ra^{226} en la Arena macadán

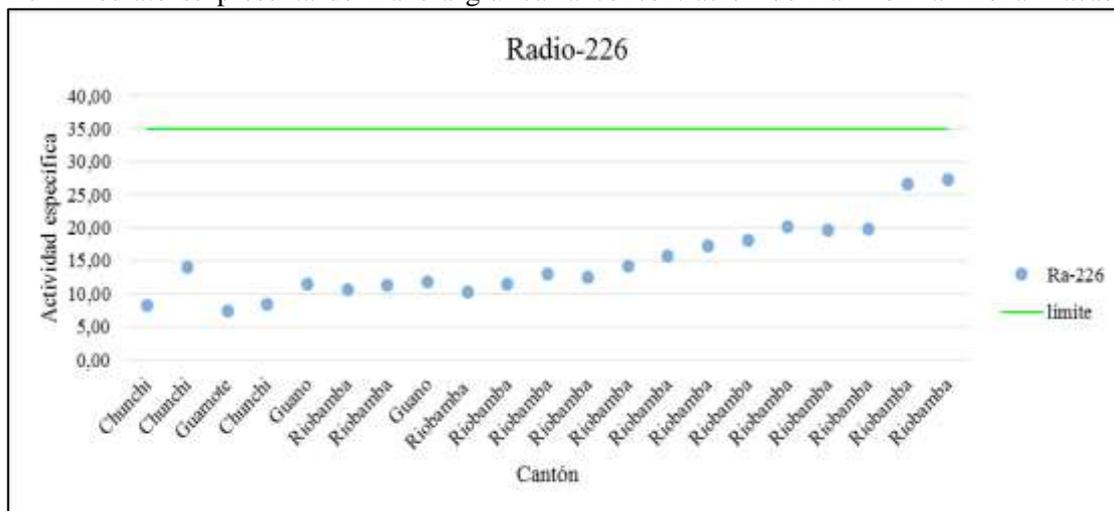


Gráfico 26-4: Concentración de Radio-226 en la arena macadán

Fuente: Estefanía Chávez

La Arena macadán no sobrepasan la media mundial de Ra^{226} , la actividad específica varía en el rango de 7.31 - 27,29 Bq/kg para las muestras analizadas.

Ahora se presenta de manera gráfica la concentración de Th^{232} en la Arena macadán

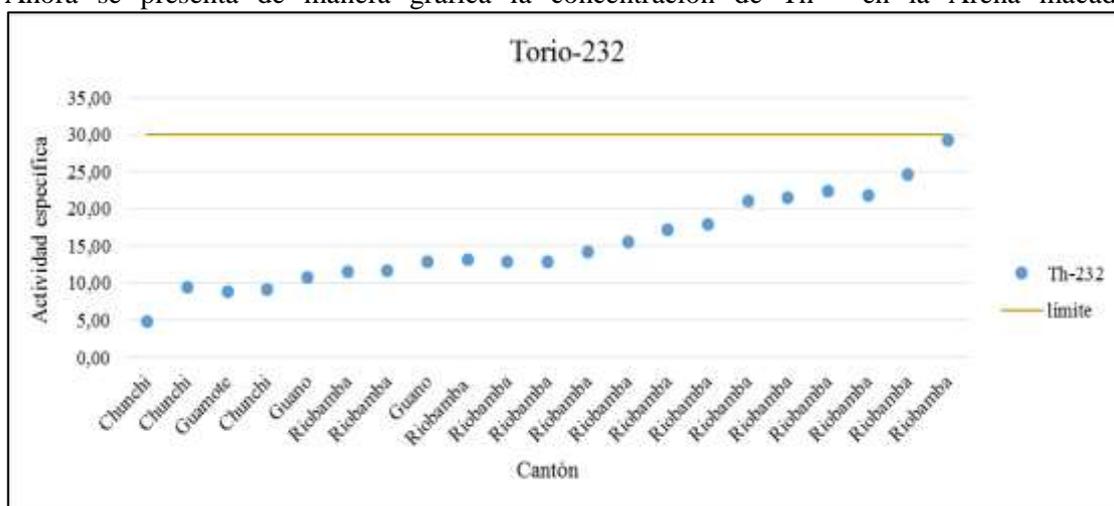


Gráfico 27-4: Concentración de Torio-232 en la arena macadán

Fuente: Estefanía Chávez

La Arena macadán no sobrepasan la concentración media mundial de Th^{232} , la actividad específica varía en el rango de 4.79 - 29.33 Bq/kg para las muestras analizadas.

- **Puzolana**

Tabla 19-4: Actividad específica de los radionucleidos principales en la Puzolana

CÓDIGO	MATERIAL	K^{40} (Bq/kg)	Ra^{226} (Bq/kg)	Th^{232} (Bq/kg)
ARAD-2016-345.05	Puzolana	1038,36	101,06	68,61
ARAD-2016-345.06	Puzolana	1096,71	113,52	76,00
ARAD-2016-345.04	Puzolana	1097,75	112,59	71,31
ARAD-2016-345.07	Puzolana	1117,21	108,00	72,62
ARAD-2016-345.15	Puzolana	1125,44	111,60	74,71
ARAD-2016-345.14	Puzolana	1130,46	108,09	75,36

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de la actividad específica de los radionucleidos principales de la puzolana se obtuvo los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 20-4: Estadística descriptiva de los radionucleidos principales en la Puzolana

Radionucleidos \ Estadística	K^{40}	Ra^{226}	Th^{232}
Media	1100.99	109.14	73.10
Moda	N/A	N/A	N/A
Mediana	1107.48	109.84	73.67
Varianza	1136,10	10.98	7.96
Desviación Estándar	33.71	4.58	2.82
Valor Mínimo	1038.36	101.06	68.61
Valor Máximo	1130.46	113.52	76.00

Realizado por: Estefanía Chávez

Por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado se puede afirmar que la actividad específica de los radionucleidos principales de la Puzolana si sobrepasan la concentración media mundial, se obtuvo para el K^{40} un valor medio de 1100.99 Bq/kg, es decir el 175.25% sobre de la media mundial, para el Ra^{226} se obtuvo un valor medio de 109.14 Bq/kg, es decir el 211.83% sobre la media mundial, finalmente para el Th^{232} se obtuvo un valor medio de 73.10 Bq/kg, es decir el 143.67% sobre de la media mundial.

A continuación se presenta de manera gráfica la concentración de K^{40} en la Puzolana

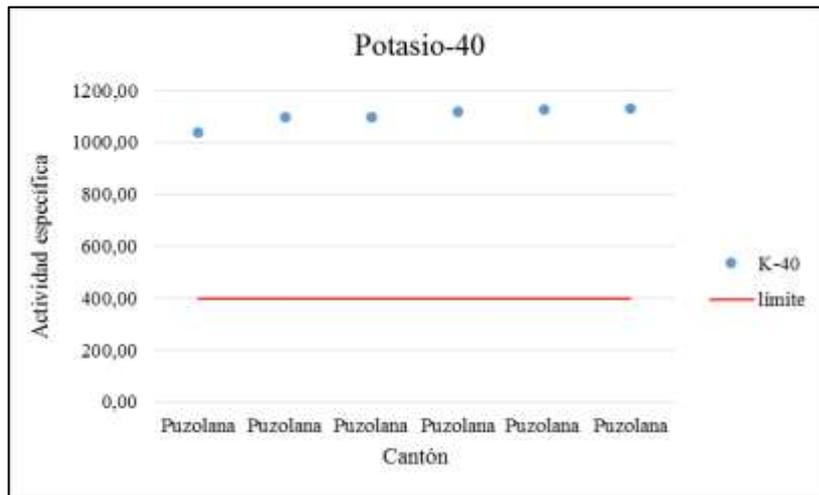


Gráfico 28-4: Concentración de Potasio-40 en la puzolana
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Colta y Riobamba, la puzolana (ARAD-2016-345.4, ARAD-2016-345.5, ARAD-2016-345.6, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.15) si sobrepasa la concentración media mundial de K^{40} , la actividad específica varía en el rango de 1038.36 - 1130.46 Bq/kg para las muestras analizadas.

Seguidamente se presenta de manera gráfica la concentración de Ra^{226} en la Puzolana

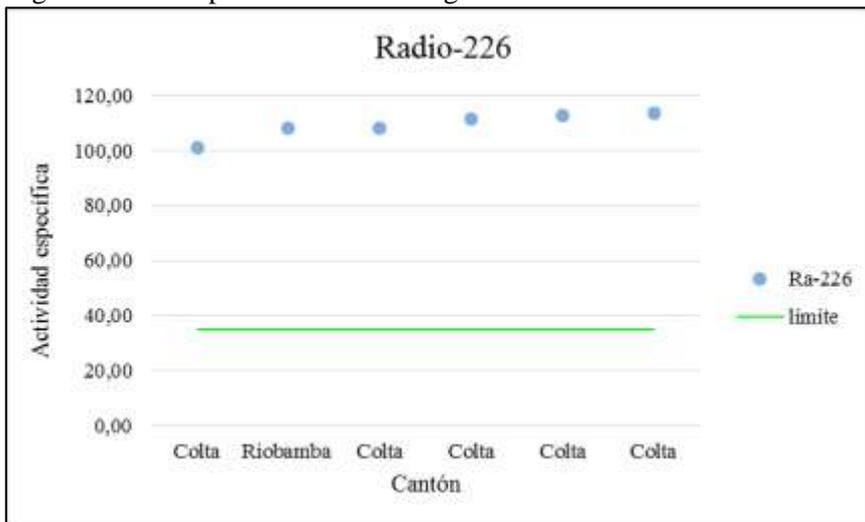


Gráfico 29-4: Concentración de Radio-226 en la puzolana
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones cantón Colta y Riobamba, la puzolana (ARAD-2016-345.4, ARAD-2016-345.5, ARAD-2016-345.6, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.15) si sobrepasa la concentración media mundial de Ra^{226} , la actividad específica varía desde un valor mínimo de 101.06 Bq/kg a un valor máximo de 113.46 Bq/kg para las muestras analizadas.

Continuando con el análisis, ahora se presenta de manera gráfica la concentración de Th^{232} en la Puzolana

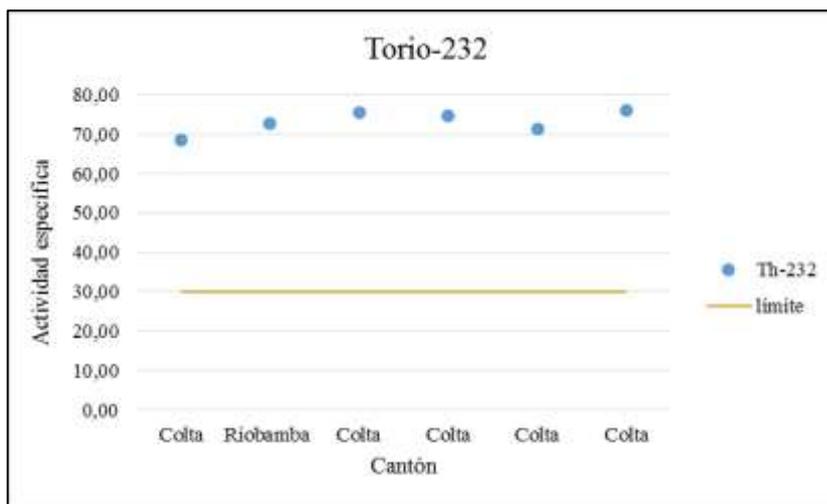


Gráfico 30-4: Concentración de Torio-232 en la puzolana
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Colta y Riobamba, la puzolana (ARAD-2016-345.4, ARAD-2016-345.5, ARAD-2016-345.6, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.15) sobrepasa la concentración media mundial de 35 Bq/kg de Ra^{226} , la actividad específica varía en un rango de 68.61 -76.00 Bq/kg para las muestras analizadas.

En resumen, del análisis realizado de la actividad específica estimada de los materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo se tiene que la menor concentración media debido a K^{40} pertenece a la arena macadán (ARAD-2016-345.08) y la mayor concentración pertenece a la puzolana (ARAD-2016-345.14), debido al Ra^{226} la menor concentración media pertenece a la arena macadán (ARAD-2016-345.37) y la mayor concentración media pertenece a la puzolana (ARAD-2016-345.06) y por último debido al Th^{232} la menor concentración media pertenece a la caliza (ARAD-2016-345.34) y la mayor concentración media pertenece a la puzolana (ARAD-2016-345.06).

4.1.3 Estimación de los índices de riesgo

4.1.3.1 Índices de riesgo en la Provincia de Chimborazo

Para determinar el peligro al que podría encontrarse expuesta la población debido a radiación externa originada por emisores gamma, se estimaron los distintos índices de riesgo a través de la Actividad Específica de los radionucleidos principales (K^{40} , Ra^{226} , Th^{232}) que se presentó en la tabla 1-4.

Los índices de riesgo se estimaron con la aplicación de las ecuaciones 11, 12, 13, 14 y 15 presentadas en el numeral 2.8, obteniéndose los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 21-4: Índices de Riesgo asociados a materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo

CÓDIGO	$R_{eq} < 370\text{Bq/kg}$	$H_{ex} < 1$	$H_{in} < 1$	$\dot{D} < 84\text{nGy/h}$	$AED < 1\text{mSv/año}$
ARAD-2016-345.01	41.31	0.11	0.14	38.35	0.19
ARAD-2016-345.02	85.06	0.23	0.28	78.07	0.38
ARAD-2016-345.03	52.12	0.14	0.16	49.66	0.24
ARAD-2016-345.04	298.90	0.81	1.11	269.84	1.32
ARAD-2016-345.05	278.94	0.75	1.03	251.51	1.23
ARAD-2016-345.06	306.45	0.83	1.14	275.78	1.35
ARAD-2016-345.07	297.68	0.80	1.10	268.62	1.32
ARAD-2016-345.08	30.84	0.08	0.12	26.76	0.13
ARAD-2016-345.09	58.54	0.16	0.19	54.35	0.27
ARAD-2016-345.10	85.03	0.23	0.28	77.44	0.38
ARAD-2016-345.11	31.59	0.09	0.11	28.27	0.14
ARAD-2016-345.12	19.52	0.05	0.07	17.47	0.09
ARAD-2016-345.13	58.72	0.16	0.19	52.54	0.26
ARAD-2016-345.14	302.71	0.82	1.11	272.78	1.34
ARAD-2016-345.15	304.91	0.82	1.13	274.89	1.35
ARAD-2016-345.16	55.83	0.15	0.18	51.76	0.25
ARAD-2016-345.17	58.27	0.16	0.19	54.29	0.27
ARAD-2016-345.18	60.33	0.16	0.20	55.73	0.27
ARAD-2016-345.19	54.13	0.15	0.18	50.46	0.25
ARAD-2016-345.20	105.39	0.28	0.36	95.02	0.47
ARAD-2016-345.21	70.46	0.19	0.23	64.74	0.32
ARAD-2016-345.22	85.09	0.23	0.28	77.70	0.38
ARAD-2016-345.23	64.48	0.17	0.21	59.34	0.29
ARAD-2016-345.24	73.58	0.20	0.25	67.53	0.33
ARAD-2016-345.25	80.35	0.22	0.27	73.25	0.36
ARAD-2016-345.26	54.13	0.15	0.17	50.58	0.25
ARAD-2016-345.27	94.98	0.26	0.33	86.08	0.42
ARAD-2016-345.28	52.15	0.14	0.17	48.69	0.24
ARAD-2016-345.29	55.09	0.15	0.18	50.93	0.25
ARAD-2016-345.30	72.41	0.20	0.24	66.43	0.33
ARAD-2016-345.31	71.91	0.19	0.24	65.94	0.32
ARAD-2016-345.32	66.75	0.18	0.22	61.28	0.30
ARAD-2016-345.33	10.12	0.03	0.04	9.20	0.05
ARAD-2016-345.34	14.17	0.04	0.06	13.14	0.06
ARAD-2016-345.35	5.92	0.02	0.02	5.02	0.02
ARAD-2016-345.36	56.86	0.15	0.20	52.12	0.26

ARAD-2016-345.37	40.69	0.11	0.13	38.04	0.19
ARAD-2016-345.38	10586	0.29	0.35	96.84	0.48
ARAD-2016-345.39	82.09	0.22	0.28	74.68	0.37
ARAD-2016-345.40	51.26	0.14	0.16	46.69	0.23

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de los índices de riesgo asociados a materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo, se obtuvo los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 22-4: Estadística Descriptiva de los índices de riesgo en materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo

Índice Estadística	$R_{a_{eq}}$	H_{ex}	H_{in}	\dot{D}	$A\dot{E}D$
Media	99.44	0.27	0.35	90.46	0.44
Moda	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Mediana	65.62	0.18	0.22	60.31	0.29
Varianza	8035.10	0.06	0.11	6479.58	0.15
Desviación Estándar	89.64	0.24	0.33	80.49	0.39
Valor Mínimo	14.17	0.04	0.06	13.14	0.06
Valor Máximo	306.45	0.83	1.13	275.78	1.35

Realizado por: Estefanía Chávez

Los límites permitidos de los índices de riesgo en materiales de construcción son 370 Bq/kg, 1, 1, 84 nGy/h y 1 mSv/año para el radio equivalente ($R_{a_{eq}}$), el índice de riesgo externo (H_{ex}), índice de riesgo interno (H_{in}), la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma (\dot{D}) y la tasa de dosis efectiva anual ($A\dot{E}D$), respectivamente, como se mencionó en el numeral (2.8), y por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado se puede afirmar que en la Provincia de Chimborazo se obtuvieron valores medios de 99.44 Bq/kg de radio equivalente, es decir el 73.12% por debajo del límite permitido; para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor medio de 0.27, es decir el 73% por debajo del límite permitido; para el índice de riesgo interno se obtuvo un valor medio de 0.35, es decir el 65% por debajo del límite permitido; para la dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor medio de 90.46 nGy/h, es decir el 7.60% sobre el límite permitido y finalmente para la dosis efectiva anual se obtuvo un valor promedio de 0.44 mSv/año, es decir el 56% por debajo del límite permitido.

A continuación se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al radio equivalente en los materiales de construcción muestreados de la Provincia de Chimborazo.

Por los resultados obtenidos del trabajo realizado se puede afirmar que los materiales de construcción muestreados que sobrepasan el límite permitido de la tasa de dosis efectiva anual corresponden a la Puzolana de los cantones Colta y Riobamba (ARAD-2016-345.4, ARAD-2016-345.5, ARAD-2016-345.6, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.15, ARAD-2016-345.7); además, la tasa de dosis efectiva anual varía en un rango de 0.06 - 1.35 mSv/año.

En resumen, de la estimación de los índices de riesgo de las muestras analizadas de la Provincia de Chimborazo se tiene que el valor mínimo de $R_{a_{eq}}$ obtenido en la Provincia de Chimborazo pertenece a la caliza (ARAD-2016-345.34) del cantón Riobamba y el valor máximo pertenece a la puzolana (ARAD-2016-345.6) del cantón Colta; el valor mínimo de H_{ex} pertenece a la caliza (ARAD-2016-345.34) del cantón Riobamba y el máximo valor pertenece a la puzolana (ARAD-2016-345.06) del cantón Colta; el valor mínimo de H_{in} pertenece a la caliza (ARAD-2016-345.34) del cantón Riobamba y el máximo valor pertenece a la puzolana (ARAD-2016-345.06) del cantón Colta; el valor mínimo de \dot{D} pertenece a la caliza (ARAD-2016-345.34) del cantón Riobamba y el máximo valor de \dot{D} pertenece a la puzolana (ARAD-2016-345.06) del cantón Colta y finalmente el valor mínimo de $A\dot{E}D$ pertenece a la caliza (ARAD-2016-345.34) del cantón Riobamba y el máximo valor de $A\dot{E}D$ pertenece a la puzolana del cantón Colta (ARAD-2016-345.06) y (ARAD-2016-345.15).

4.1.3.2 Índices de riesgo para cada cantón

- Cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe

Tabla 23-4: Índices de riesgo estimados para los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe

CÓDIGO	LUGAR	$R_{a_{eq}} < 370\text{Bq/kg}$	$H_{ex} < 1$	$H_{in} < 1$	$\dot{D} < 84\text{nGy/h}$	$A\dot{E}D < 1\text{mSv/año}$
ARAD-2016-345.11	Alausí	31.59	0.09	0.11	28.27	0.14
ARAD-2016-345.02	Chambo	85.06	0.23	0.28	78.07	0.38
ARAD-2016-345.01	Pallatanga	41.31	0.11	0.14	38.35	0.19
ARAD-2016-345.32	Penipe	66.75	0.18	0.22	61.28	0.30

Realizado por: Estefanía Chávez

Los índices de riesgo determinados a través de las muestras obtenidas de los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe no sobrepasan los límites permitidos de $R_{a_{eq}}$, H_{ex} , H_{in} , \dot{D} y $A\dot{E}D$.

Para el cantón Alausí se obtuvo para el radio equivalente un valor medio de 31.59 Bq/kg, es decir el 91.14% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor promedio de 0.09, es decir el 91% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo interno se obtuvo un valor medio de 0.11, es decir el 89% por debajo del límite permitido, para la dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor medio de 28.27 nGy/h, es decir el 66.345% por debajo del límite permitido y para la dosis efectiva anual presentó un valor promedio de 0.14 mSv/año, es decir el 86% por debajo del límite permitido.

Para el cantón Chambo se obtuvo para el radio equivalente un valor medio de 85.06 Bq/kg, es decir el 77.01% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor medio de 0.23, es decir el 77% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo interno se obtuvo un valor medio de 0.28, es decir el 72% por debajo del límite permitido, para la dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor medio de 78.07 nGy/h, es decir el 7.05% por debajo del límite permitido y para la dosis efectiva anual se obtuvo un valor promedio de 0.38 mSv/año, es decir el 62% por debajo del límite permitido.

Para el cantón Pallatanga se obtuvo para el radio equivalente un valor medio de 41.31 Bq/kg, es decir el 88.83% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor promedio de 0.11, es decir el 89% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo interno se obtuvo un valor medio de 0.14, es decir el 86% por debajo del límite permitido, para la dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor medio de 38.35 nGy/h, es decir el 54.34% por debajo del límite permitido y para la dosis efectiva anual presentó un valor promedio de 0.19 mSv/año, es decir el 81% por debajo del límite permitido.

En el cantón Penipe se obtuvo para el radio equivalente un valor medio de 66.75 Bq/kg, es decir el 81.95% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor promedio de 0.18, es decir el 82% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo interno se obtuvo un valor promedio de 0.22, es decir el 78% por debajo del límite permitido, para la dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor promedio de 61.28 nGy/h, es decir el 72,95% por debajo del límite permitido, y la dosis efectiva anual presentó un valor promedio de 0.30 mSv/año, es decir el 70% por debajo del límite permitido.

Seguidamente se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al radio equivalente de las muestras analizadas de los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe.

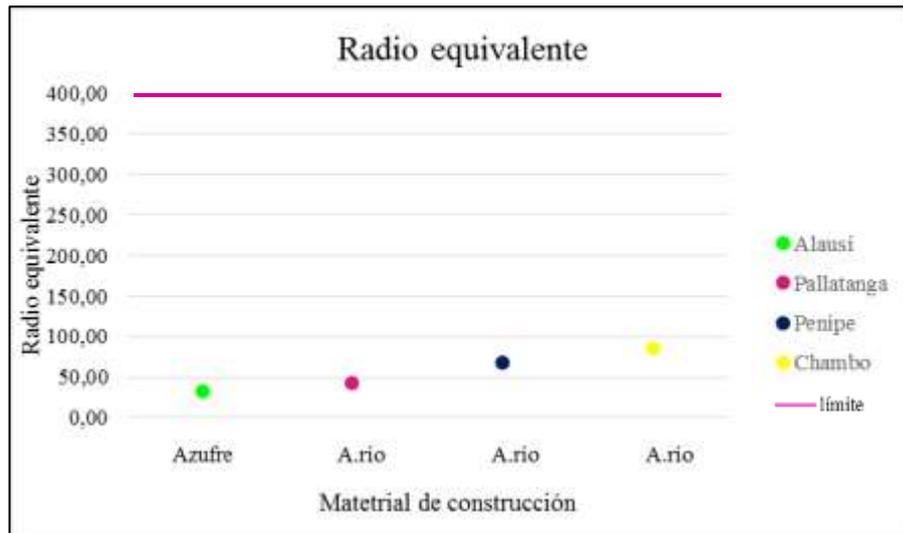


Gráfico 36-4: Radio equivalente en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido de radio equivalente.

Ahora se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al índice de riesgo externo de las muestras analizadas de los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe.

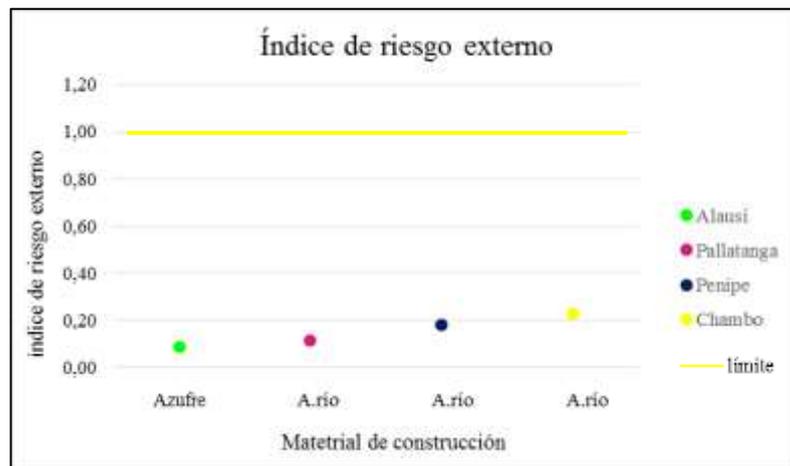


Gráfico 37-4: Índice de riesgo externo en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido del índice de riesgo externo.

Se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al índice de riesgo interno de los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe.

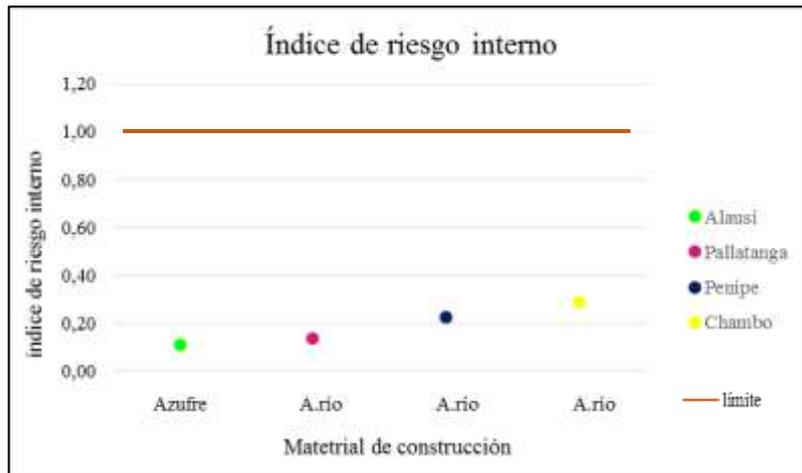


Gráfico 38-4: Índice de riesgo interno en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido del índice de riesgo interno.

Seguidamente se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados a la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma de las muestras analizadas de los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe.

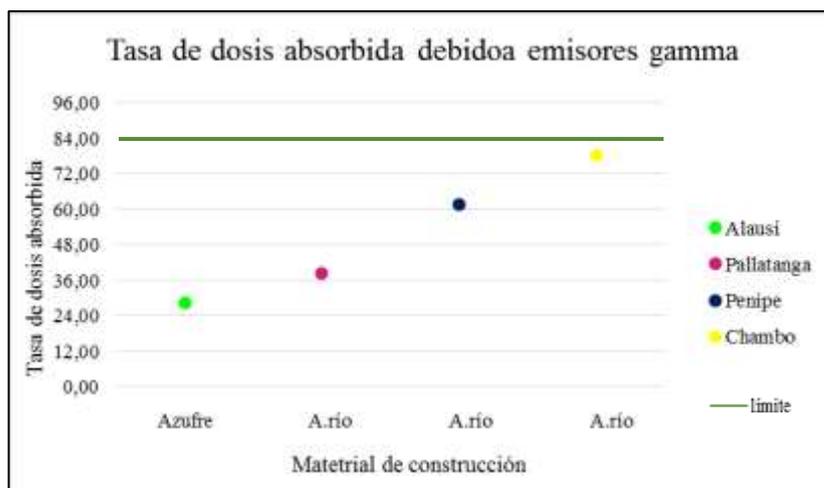


Gráfico 39-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido de la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma.

Seguidamente se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados a la tasa de dosis efectiva anual de las muestras analizadas de los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe.

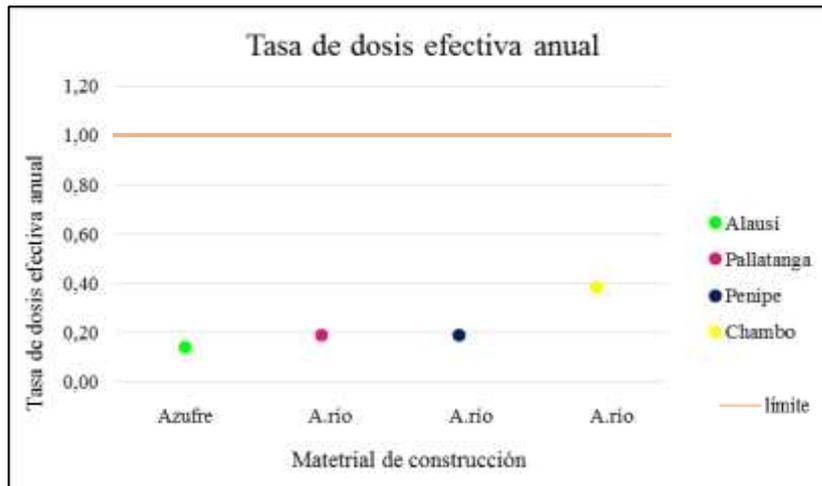


Gráfico 40-4: Tasa de dosis efectiva anual en materiales de construcción muestreados en los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Alausí, Chambo, Pallatanga y Penipe no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido de la tasa de dosis efectiva anual.

- **Cantones Chunchi y Guamote**

Tabla 24-4: Índices de riesgo estimados para los cantones Chunchi y Guamote

CÓDIGO	LUGAR	$R_{a_{eq}} < 370\text{Bq/kg}$	$H_{ex} < 1$	$H_{in} < 1$	$\dot{D} < 84\text{nGy/h}$	$A\dot{E}D < 1\text{mSv/año}$
ARAD-2016-345.03	Chunchi	52.12	0.14	0.16	49.66	0.24
ARAD-2016-345.08	Chunchi	30.84	0.08	0,12	26.76	0.13
ARAD-2016-345.12	Chunchi	19.52	0.05	0.07	17.47	0.09
ARAD-2016-345.13	Guamote	58.72	0.16	0.19	52.54	0.26
ARAD-2016-345.36	Guamote	56.86	0.15	0.20	52.12	0.26
ARAD-2016-345.37	Guamote	40.69	0.11	0.13	38.04	0.19

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de los índices de riesgo de los radionucleidos principales de los materiales de construcción muestreados de la provincia de chimborazo se obtuvo resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 25-4: Estadística Descriptiva de los índices de riesgo estimados de los cantones Chunchi y Guamote

LUGAR	CHUNCHI					GUAMOTE				
	Índice Estadística	R _{aeq}	H _{ex}	H _{in}	D	AED	R _{aeq}	H _{ex}	H _{in}	\dot{D}
Media	34.16	0.09	0.12	31.30	0.15	52.09	0.14	0.17	47.57	0.23
Moda	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Mediana	30.84	0.083	0.12	26.76	0.13	58.86	0.15	0.19	52.12	0.26
Varianza	273.91	0.002	0.002	274.61	0.006	98.35	0.0007	0.0014	68.12	0.002
Desviación Estándar	15.55	0.04	0.04	16.57	0.081	9.92	0.03	0.38	8.25	0.04
Valor Mínimo	19.51	0.05	0.07	17.47	0.09	40.69	0.11	0.13	38.04	0.19
Valor Máximo	52.12	0.14	0.16	49.66	0.24	58.72	0.16	0.19	52.54	0.26

Realizado por: Estefanía Chávez

Por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado se puede afirmar que los índices de riesgo asociados a las cantones Chunchi y Guamote no sobrepasan los límites permitidos de los índices de riesgo.

Para el cantón Chunchi se obtuvo un valor medio de 34.16 Bq/kg de radio equivalente, es decir el 90.76% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor medio de 0.09, es decir el 91% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo interno se obtuvo un valor medio de 0.12, es decir el 88% por debajo del límite permitido, para la dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor promedio de 31.30 nGy/h, es decir el 62.73% por debajo del límite permitido y para la dosis efectiva anual se obtuvo un valor medio de 0.15 mSv/año, es decir el 85% por debajo del límite permitido.

Para el cantón Guamote se obtuvo para el radio equivalente un valor medio de 52.09, es decir el 85.92% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo externo tuvo un valor medio de 0.14, es decir el 86% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo interno se obtuvo un valor promedio de 0.17, es decir el 83% por debajo del límite permitido, para la dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor medio de 47.57, es decir el 43.36% debajo del límite permitido y la dosis efectiva anual presentó un valor promedio de 0.23, es decir el 77% por debajo del límite permitido.

A continuación se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al radio equivalente de las muestras analizadas de los cantones Chunchi y Guamote.

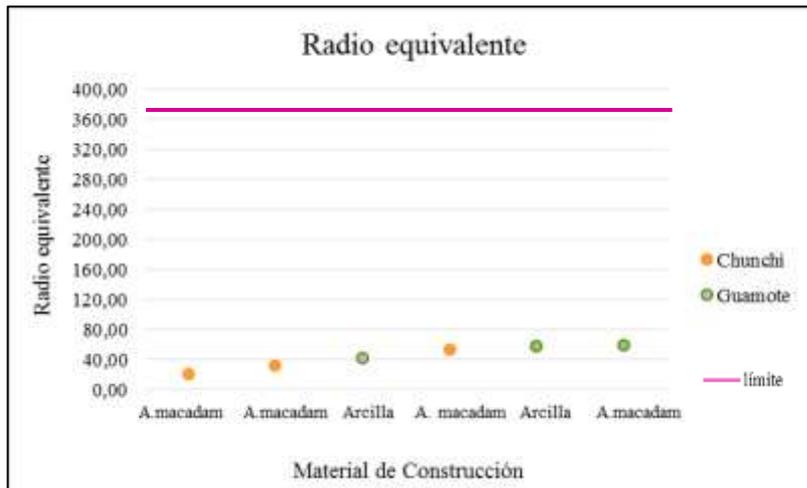


Gráfico 41-4: Radio equivalente en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote.
Realizado por: Estefanía Chávez

En los cantones Chunchi y Guamote no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido del radio equivalente; en el cantón Chunchi este índice varía en el rango de 19.51 - 52.12 Bq/kg y en el cantón Guamote varía en un rango de 40.69 - 58.72 Bq/kg para las muestras analizadas.

Seguidamente se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al índice de riesgo externo de las muestras analizadas de los cantones Chunchi y Guamote.

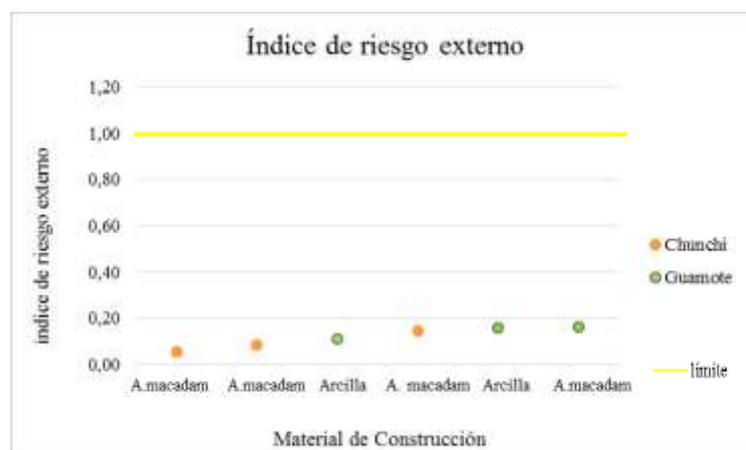


Gráfico 42-4: Índice de riesgo externo en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote.
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Chunchi y Guamote no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido del índice de riesgo externo; en el cantón Chunchi este índice varía en el rango de 0.05 – 0.14 y en el cantón Guamote varía en el rango de 0.11 – 0.16 para las muestras analizadas.

Continuando con el análisis, ahora se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al índice de riesgo interno de las muestras analizadas de los cantones Chunchi y Guamote.

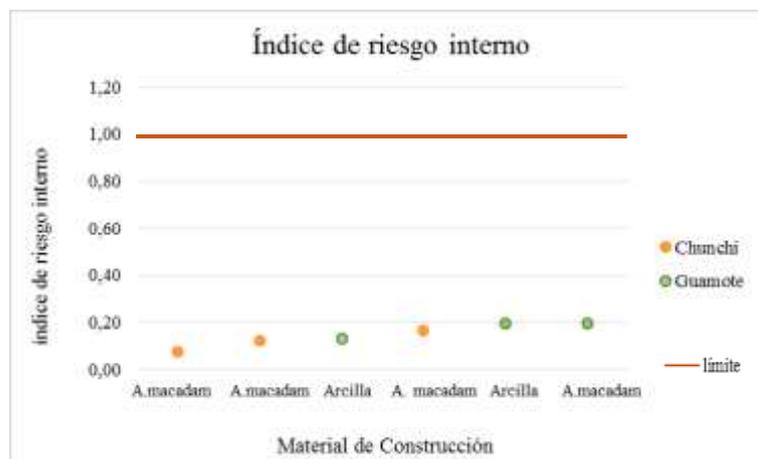


Gráfico 43-4: Índice de riesgo interno en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote.
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Chunchi y Guamote no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido del índice de riesgo interno; en el cantón Chunchi este índice varía en el rango de 0.07 – 0.16 y en el cantón Guamote varía en el rango de 0.13 – 0.19 para las muestras analizadas.

A continuación se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados a la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma de las muestras analizadas de los cantones Chunchi y Guamote.

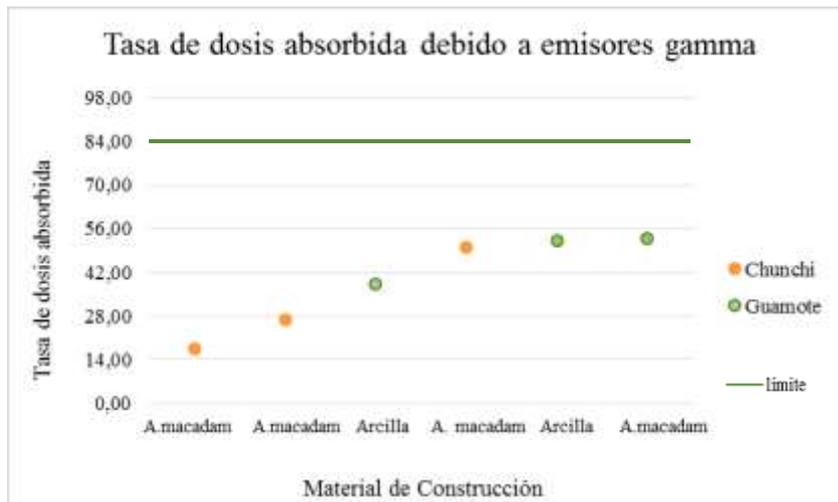


Gráfico 44-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gama en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote.
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Chunchi y Guamote no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido de la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma; en el cantón Chunchi este índice varía en el rango de 17.47 - 49.66 nGy/h y en el cantón Guamote varía en el rango de 38.04 - 52.54 nGy/h para las muestras analizadas.

Ahora se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados a la tasa de dosis efectiva anual de las muestras analizadas de los cantones Chunchi y Guamote.

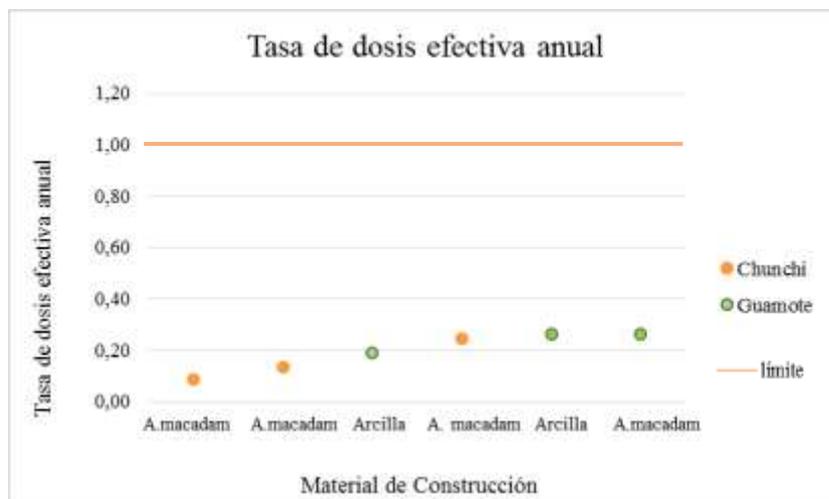


Gráfico 45-4: Tasa de dosis efectiva anual en materiales de construcción muestreados en los cantones Chunchi y Guamote.
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Chunchi y Guamote no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido de la tasa de dosis efectiva anual; en el cantón Chunchi este índice varía en el rango de 0.09– 0.24 mSv/año y en el cantón Guamote varía en el rango de 0.19–0.26 mSv/año para las muestras analizadas.

- **Cantón Colta**

Tabla 26-4: Índices de riesgo para el cantón Colta

CÓDIGO	R_{eq} < 370Bq/kg	H_{ex} < 1	H_{in} < 1	Ḑ < 84nGy/h	AĒD < 1mSv/año
ARAD-2016-345.04	298.90	0.81	1.11	269.84	1.32
ARAD-2016-345.05	278.94	0.75	1.03	251.51	1.23
ARAD-2016-345.06	306.45	0.83	1.14	275.78	1.35
ARAD-2016-345.14	302.71	0.82	1.11	272.78	1.34
ARAD-2016-345.15	304.91	0.82	1.13	274.89	1.35

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de los índices de riesgo de los radionucleidos principales de los materiales de construcción muestreados del cantón Colta se obtuvo los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 27-4: Estadística Descriptiva de los índices de riesgo asociados de las muestras del cantón Colta

Índice	R_{eq}	H_{ex}	H_{in}	Ḑ	AĒD
Media	298.38	0.81	1.10	268.96	1.32
Moda	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Mediana	302.71	0.82	1.11	272.78	1.34
Varianza	126.19	0.0009	0.018	100.40	0.002
Desviación Estándar	11.23	0.03	0.04	10.02	0.05
Valor Mínimo	278.93	0.75	1.03	251.51	1.23
Valor Máximo	306.45	0.82	1.14	275.78	1.35

Realizado por: Estefanía Chávez

Por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado se puede afirmar que los índices de riesgo asociados al Cantón Colta presentan para el radio equivalente un valor medio de 298.38 Bq/kg, es decir el 19.35% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor medio de 0.81, es decir el 19% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo interno se obtuvo un valor promedio de 1.10, es decir el 10% sobre el límite permitido,

para la dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor promedio de 268.96 nGy/h, es decir el 220.19% sobre el límite permitido y para la dosis efectiva anual se obtuvo un valor promedio de 1.32 mSv/año, es decir el 32% sobre el límite permitido.

Seguidamente se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al radio equivalente de las muestras analizadas del cantón Colta.

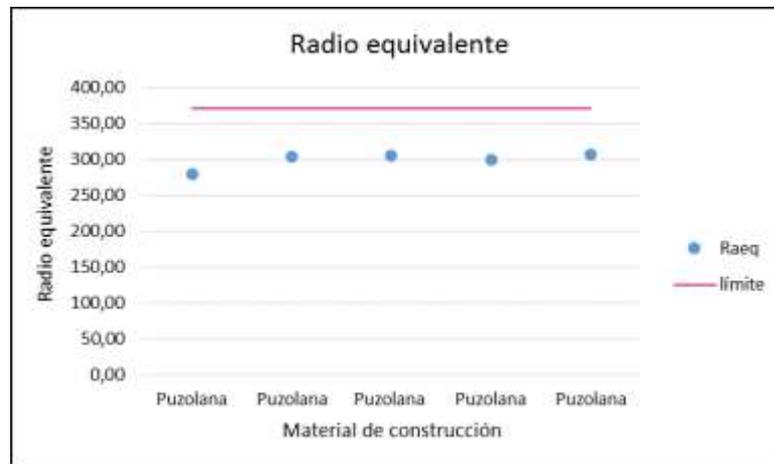


Gráfico 46-4: Radio equivalente en materiales de construcción muestreados en el cantón Colta
Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Colta no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido del radio equivalente, este varía en el rango de 278.9 - 306.45 Bq/kg para las muestras analizadas.

Ahora se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al índice de riesgo externo de las muestras analizadas del cantón Colta.

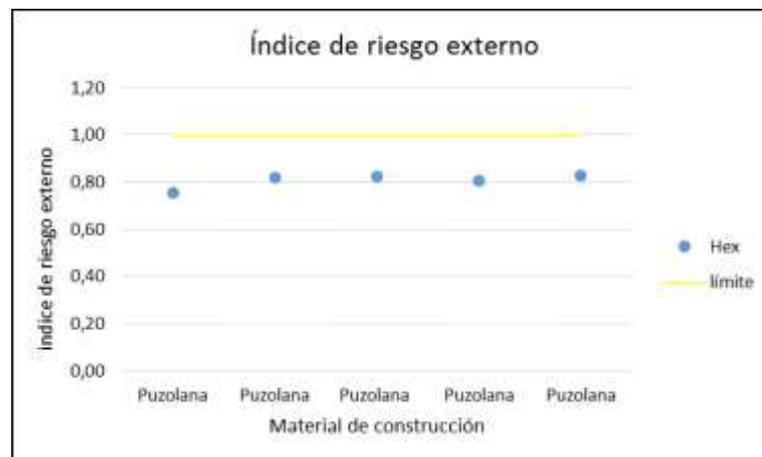


Gráfico 47-4: Índice de riesgo externo en materiales de construcción muestreados en el cantón Colta
Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Colta no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido del índice de riesgo externo, este varía en el rango de 0.75 - 0.82 para las muestras analizadas.

Siguiendo con el análisis, se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al índice de riesgo interno de las muestras analizadas del cantón Colta.

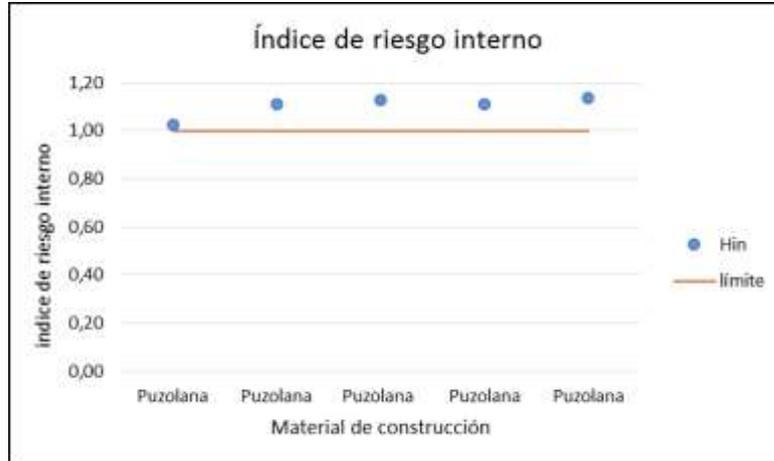


Gráfico 48-4: Índice de riesgo interno en materiales de construcción muestreados en el cantón Colta
Fuente: Estefanía Chávez

Los materiales de construcción que sobrepasan el límite permitido del índice de riesgo interno en el cantón Colta corresponden a la Puzolana (ARAD-2016-345.4, ARAD-2016-345.5, ARAD-2016-345.6, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.15); además, el índice de riesgo interno varía en el rango de 1.03 - 1.14 para las muestras analizadas.

A continuación se presentan los niveles de riesgo asociados a la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma de las muestras analizadas del cantón Colta.

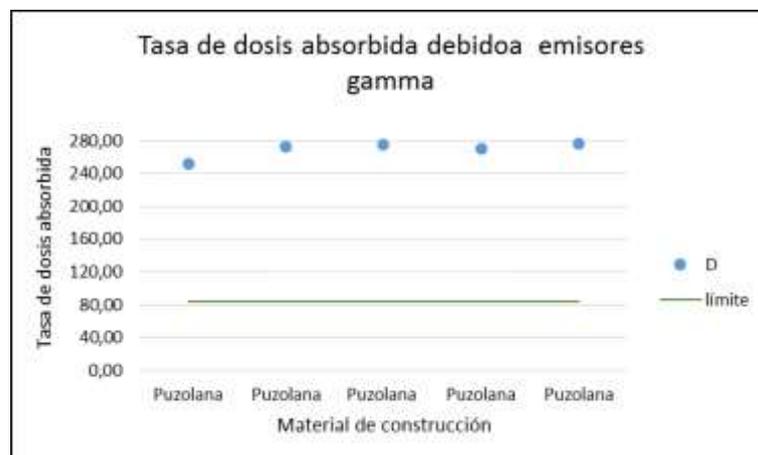


Gráfico 49-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en materiales de construcción muestreados en el cantón Colta
Fuente: Estefanía Chávez

Los materiales de construcción que sobrepasan el límite permitido la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en el cantón Colta corresponden a la Puzolana (ARAD-2016-345.4, ARAD-2016-345.5, ARAD-2016-345.6, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.15); además, la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma varía en el rango de 251.51 - 275.78 nGy/h para las muestras analizadas.

A continuación se presentan los niveles de riesgo asociados a la tasa de dosis efectiva anual de las muestras analizadas del cantón Colta.

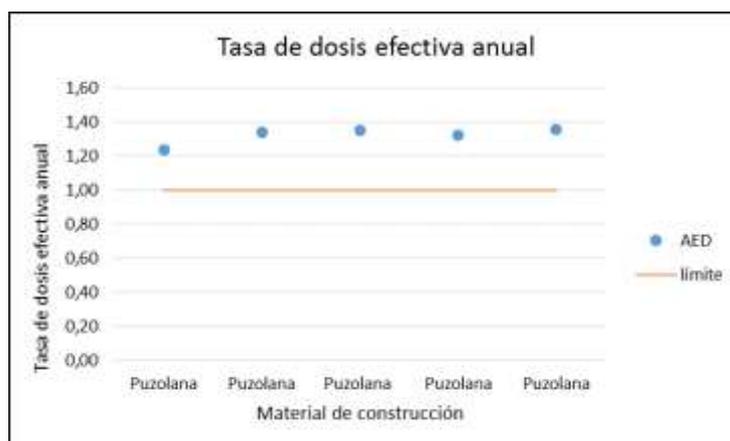


Gráfico 50-4: Tasa de dosis efectiva anual en materiales de construcción en el cantón Colta

Fuente: Estefanía Chávez

Los materiales de construcción que sobrepasan el límite permitido la tasa de dosis efectiva anual en el cantón Colta corresponden a la Puzolana (ARAD-2016-345.4, ARAD-2016-345.5, ARAD-2016-345.6, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.15); además, la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma varía en el rango de 1.23 - 1.35 mSv/año para las muestras analizadas.

- Cantón Guano

Tabla 28-4: Índices de riesgo para el cantón Guano

CÓDIGO	$R_{eq} < 370\text{Bq/kg}$	$H_{ex} < 1$	$H_{in} < 1$	$D < 84\text{nGy/h}$	$AED < 1\text{ mSv/y}$
ARAD-2016-345.28	52.15	0.14	0.17	48.69	0.24
ARAD-2016-345.29	55.09	0.15	0.18	50.93	0.25
ARAD-2016-345.30	72.41	0.20	0.24	66.43	0.33
ARAD-2016-345.31	71.91	0.19	0.24	65.94	0.32

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación los índices de riesgo de los materiales de construcción muestreados del cantón Guano se obtuvo los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 29-4: Estadística Descriptiva de los índices de riesgo en materiales de construcción muestreados del cantón Guano

Radionucleidos	R_{eq}	H_{ex}	H_{in}	D	AED
Estadística					
Media	62.89	0.17	0.20	57.99	0.28
Moda	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Mediana	63.49	0.17	0.21	58.43	0.29
Varianza	116.15	0.0008	0.0014	90.28	0.002
Desviación Estándar	10.78	0.03	0.38	9.50	0.05
Valor Mínimo	52.15	0.14	0.17	48.69	0.23
Valor Máximo	72.41	0.19	0.24	66.42	0.32

Realizado por: Estefanía Chávez

Por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado se puede afirmar que los índices de riesgo asociados al Cantón Guano no sobrepasan los límites permitidos, se obtuvo para el radio equivalente un valor medio de 62.89 Bq/kg, es decir el 83.00% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor medio de 0.17, es decir el 83% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo interno obtuvo un valor medio de 0.21, es decir el 79% por debajo del límite permitido, para la dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor medio de 58.00 nGy/h es decir el 30.95% por debajo del límite permitido, y para la dosis efectiva anual se obtuvo un valor medio de 0.38, es decir el 72% por debajo del límite permitido.

Seguidamente se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al radio equivalente de las muestras analizadas del cantón Guano.

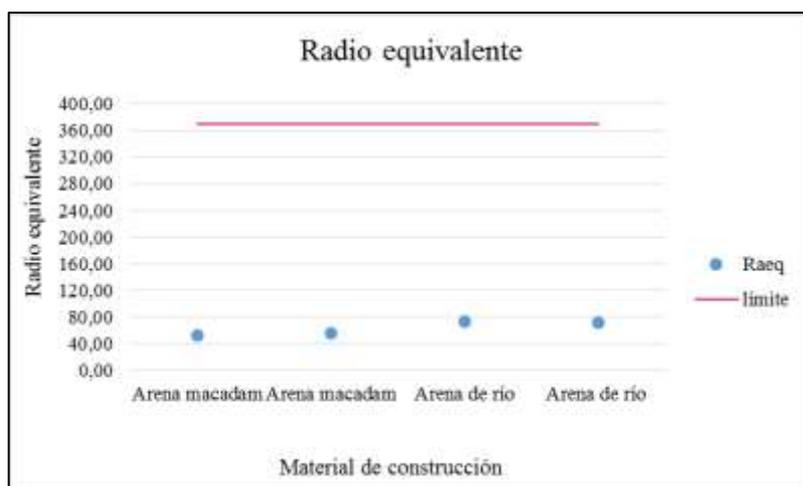


Gráfico 51-4: Radio equivalente en materiales de construcción muestreados en el cantón Guano
Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Guano no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido del radio equivalente, este varía desde un valor mínimo de 52.15 Bq/kg a un valor máximo de 72.41 Bq/kg para las meustras analizadas.

Continuando con el análisis, ahora se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al índice de riesgo externo de las muestras analizadas en el cantón Guano

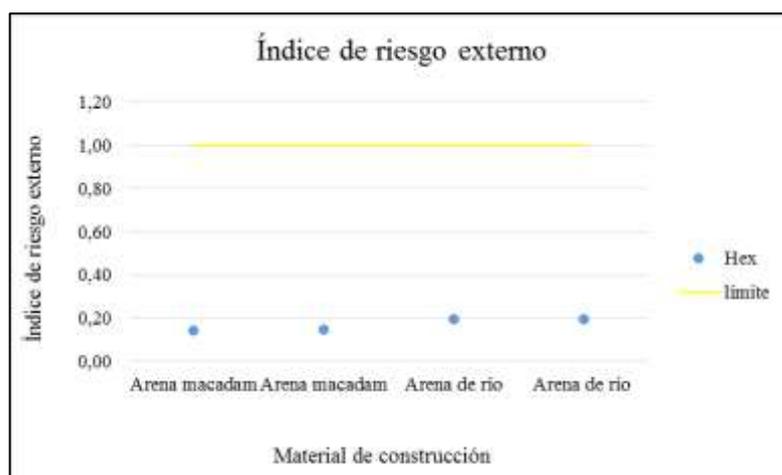


Gráfico 52-4: Índice de riesgo externo en materiales de construcción muestreados en el cantón Guano
Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Guano no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido del índice de riesgo externo, este varía en un rango de 0.14 - 0.19 para las muestras analizadas.

A continuación presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al índice de riesgo externo de las muestras analizadas del cantón Guano

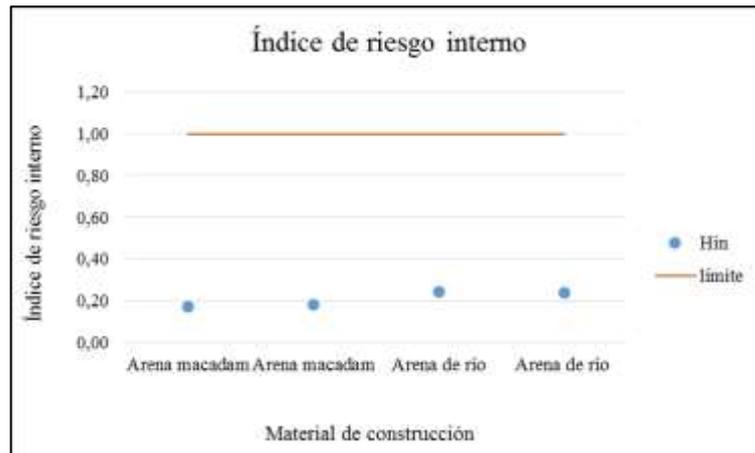


Gráfico 53-4: Índice de riesgo interno en materiales de construcción muestreados en el cantón Guano
Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Guano no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido del índice de riesgo externo, este varía en un rango de 0.17 - 0.24 para las muestras analizadas.

Ahora se presentan de manera gráfica los niveles de riesgo asociados a la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma de las muestras analizadas del cantón Guano.

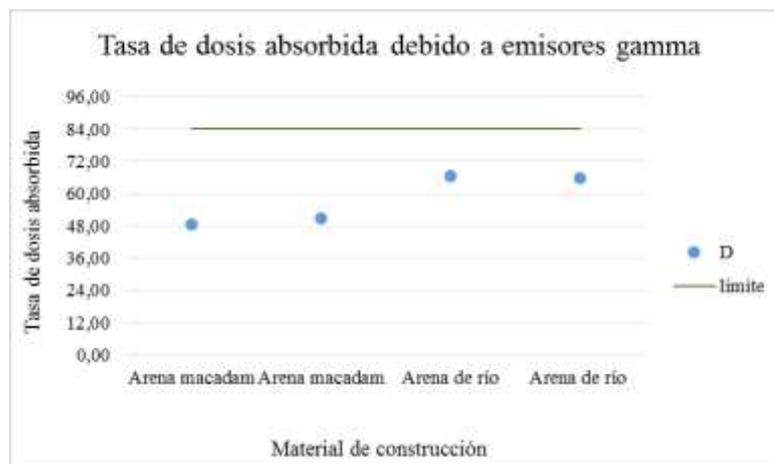


Gráfico 54-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en materiales de construcción muestreados en el cantón Guano
Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Guano no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido de la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma, este varía en un rango de 48.69 - 66.42 nGy/h para las muestras analizadas.

Continuando con el análisis se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados a la tasa de dosis efectiva anual de las muestras analizadas del cantón Guano

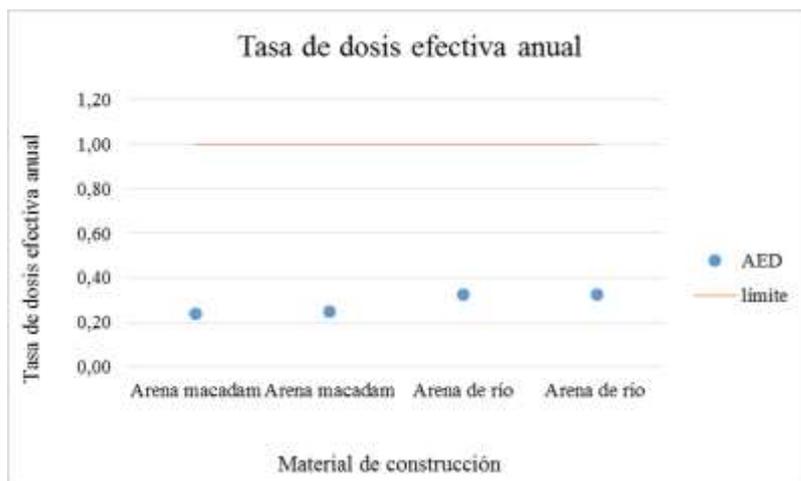


Gráfico 55-4: Tasa de dosis efectiva anual en los materiales de construcción muestreados en el cantón Guano

Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Guano no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido de la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma, este varía en un rango de 0.23-0.32 mSv/año para las muestras analizadas.

- Cantón Riobamba

Tabla 30-4: Índices de riesgo para el cantón Riobamba

CÓDIGO	$R_{eq} < 370\text{Bq/kg}$	$H_{ex} < 1$	$H_{in} < 1$	$\dot{D} < 84\text{nGy/h}$	$A\dot{E}D < 1 \text{ mSv/año}$
ARAD-2016-345.07	297.68	0.80	1.10	268.62	1.32
ARAD-2016-345.09	58.54	0.16	0.19	54.35	0.27
ARAD-2016-345.10	85.03	0.23	0.28	77.44	0.38
ARAD-2016-345.16	55.83	0.15	0.18	51.76	0.25
ARAD-2016-345.17	58.27	0.16	0.19	54.29	0.27
ARAD-2016-345.18	60.33	0.16	0.20	55.73	0.27
ARAD-2016-345.19	54.13	0.15	0.18	50.46	0.25
ARAD-2016-345.20	105.39	0.28	0.36	95.02	0.47
ARAD-2016-345.21	70.46	0.19	0.23	64.74	0.32
ARAD-2016-345.22	85.09	0.23	0.28	77.70	0.38
ARAD-2016-345.23	64.48	0.17	0.21	59.34	0.29
ARAD-2016-345.24	73.58	0.20	0.25	67.53	0.33
ARAD-2016-345.25	80.35	0.22	0.27	73.25	0.36
ARAD-2016-345.26	54.13	0.15	0.17	50.58	0.25
ARAD-2016-345.27	94.98	0.26	0.33	86.08	0.42
ARAD-2016-345.34	14.17	0.04	0.06	13.14	0.06

ARAD-2016-345.38	105.86	0.29	0.35	96.84	0.48
ARAD-2016-345.39	82.09	0.22	0.28	74.68	0.37
ARAD-2016-345.40	51.26	0.14	0.16	46.69	0.23

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de los índices de riesgo de los materiales de construcción muestreados del cantón Riobamba se obtuvo los resultados que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 31-4: Estadística Descriptiva de la estimación de los índices de riesgo asociados a los materiales de construcción muestreados del cantón Riobamba

Índice	$R_{a_{eq}}$	H_{ex}	H_{in}	\dot{D}	AED
Media	81.67	0.22	0.28	74.64	0.37
Moda	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Mediana	70.46	0.19	0.23	64.74	0.32
Varianza	3205.50	0.02	0.04	2583.42	0.06
Desviación Estándar	56.62	0.25	0.21	50.83	0.25
Valor Mínimo	14.17	0.04	0.06	13.14	0.06
Valor Máximo	297.68	0.80	1.1	268.62	1,32

Por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado se puede afirmar que los índices de riesgo asociados al Cantón Riobamba no sobrepasan los límites permitidos, para el radio equivalente se obtuvo un valor medio de 81.67 Bq/kg, es decir el 77.92% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor medio de 0.22, es decir el 78% por debajo del límite permitido, para el índice de riesgo interno se obtuvo un valor medio de 0.28, es decir el 72% por debajo del límite permitido, para la dosis absorbida debido a emisores gamma obtuvo un valor medio de 74.64 nGy/h, es decir el 11.14% por debajo del límite permitido y para la dosis efectiva anual presentó un valor medio de 0.37, es decir el 63% por debajo del límite permitido.

A continuación se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al radio equivalente de las muestras analizadas del cantón Riobamba

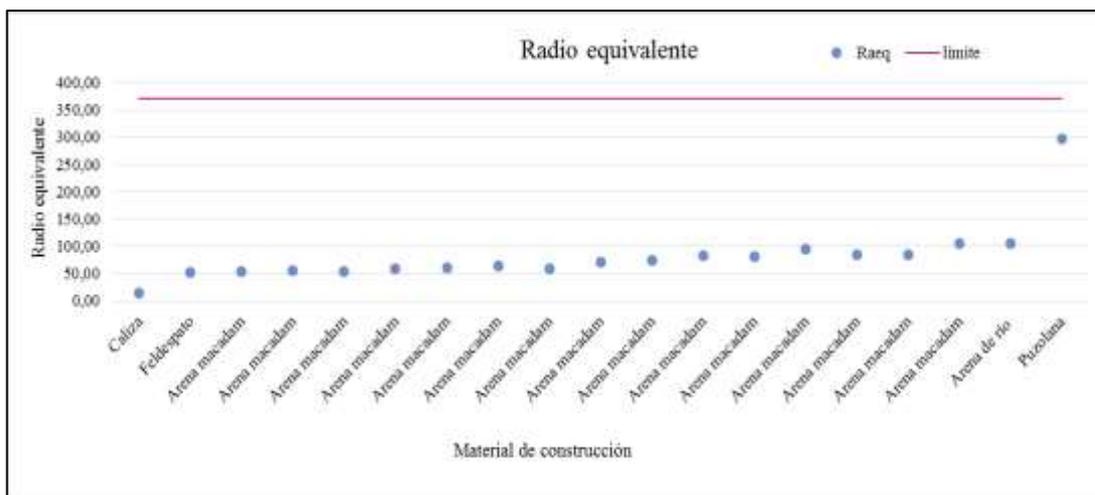


Gráfico 56-4: Radio equivalente en materiales de construcción muestreados del cantón Riobamba
Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Riobamba no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido del radio equivalente, este varía en el rango de 14,17 - 297,68 Bq/kg para las muestras analizadas.

Seguidamente se presentan los niveles de riesgo asociados al índice de riesgo externo de las muestras analizadas del cantón Riobamba

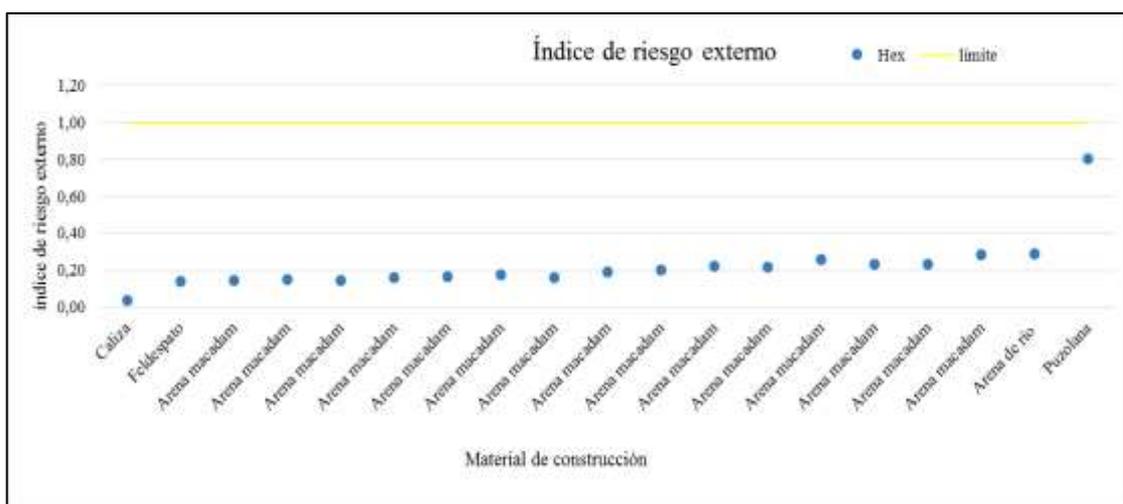


Gráfico 57-4: Índice de riesgo externo en materiales de construcción muestreados del cantón Riobamba
Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Riobamba no se presentan materiales de construcción que sobrepasen el límite permitido del índice de riesgo externo, este varía en el rango de 0,04 - 0,80 de las muestras analizadas.

y a la arena macadán (ARAD-2016-345.7), (ARAD-2016-345.20), (ARAD-2016-345.28), (ARAD-2016-345.38), además la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma varía en el rango de 13.14 - 268,62 nGy/h para las muestras analizadas.

En el siguiente gráfico se presentan los niveles de riesgo asociados a la tasa de dosis efectiva anual de las muestras analizadas del cantón Riobamba

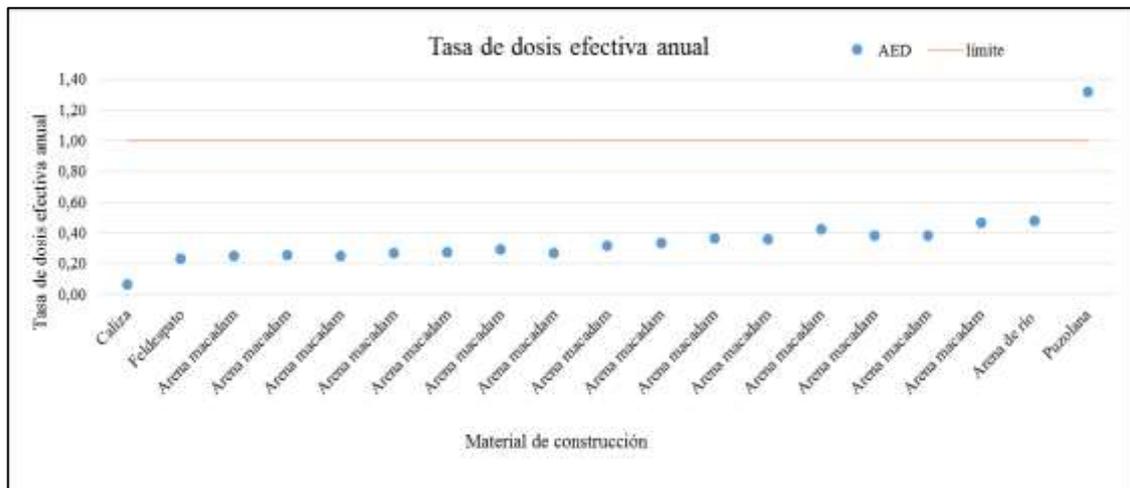


Gráfico 60-4: Tasa de dosis efectiva anual en materiales de construcción del cantón Riobamba
Fuente: Estefanía Chávez

Los materiales de construcción que sobrepasan el límite permitido de la tasa de dosis efectiva anual en el cantón Riobamba corresponden a la Puzolana (ARAD-2016-345.7), además la tasa de dosis efectiva anual varía en el rango de 0.06 - 1.32 mSv/año para las muestras analizadas.

En resumen, de la estimación de los índices de riesgo por cantones de las muestras analizadas de la Provincia de Chimborazo se tiene que el valor mínimo de R_{eq} obtenido pertenece al cantón Riobamba y el valor máximo pertenece al cantón Colta; el valor mínimo de H_{ex} pertenece al cantón Riobamba y el máximo valor pertenece al cantón Colta; el valor mínimo de H_{in} pertenece al cantón Riobamba y el máximo valor pertenece al cantón Colta; el valor mínimo de \dot{D} pertenece al cantón Riobamba y el máximo valor pertenece al cantón Colta y finalmente el valor máximo de $A\dot{E}D$ pertenece al cantón Riobamba y el mínimo valor de AED pertenece al cantón Colta. Es importante recalcar que, por las muestras obtenidas y analizadas y el manejo de la información realizada, el cantón Colta presenta la mayor cantidad de radiación natural en sus materiales de construcción.

4.1.3.3 Índices de riesgo para cada material de construcción

- Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato

Tabla 32-4: Índices de riesgo estimados asociados a la arcilla, azufre, caliza y feldespato

CÓDIGO	MATERIAL	R _{eq} < 370 Bq/kg	H _{ex} < 1	H _{in} < 1	Ḑ < 84 nGy/h	AĒD < 1 mSv/año
ARAD-2016-345.13	Arcilla	58.72	0.16	0.19	52.54	0.26
ARAD-2016-345.36	Arcilla	56.86	0.15	0.20	52.12	0.26
ARAD-2016-345.11	Azufre	31.59	0.09	0.11	28.27	0.14
ARAD-2016-345.34	Caliza	14,17	0,04	0,06	13,14	0,06
ARAD-2016-345.40	Feldespato	51,26	0,14	0,16	46,69	0,23

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de los índices de riesgo de la arcilla se obtuvo los resultados mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 33-4: Estadística descriptiva de los índices de riesgo asociados a la Arcilla

Índice \ Estadística	R _{eq}	H _{ex}	H _{in}	Ḑ	AĒD
Media	57.79	0.16	0.19	52.33	0.26
Moda	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Mediana	57.79	0.16	0.19	52.33	0.26
Varianza	1.74	1.27 x 10 ⁻⁵	1.15 x 10 ⁻⁷	0.09	2.09 x 10 ⁻⁶
Desviación Estándar	1.32	0.004	0.0003	0.3	0.001
Valor Mínimo	58.72	0.15	0.19	52.12	0.25
Valor Máximo	58.86	0.16	0,20	52.54	0.26

Realizado por: Estefanía Chávez

Los índices de riesgo asociados a la Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato no sobrepasan los límites permitidos de R_{eq}, H_{ex}, H_{in}, Ḑ, AĒD.

Para la arcilla se obtuvo un valor medio de 57.79 Bq/kg de radio equivalente, es decir el 84.38% por debajo del límite permitido; para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor medio de 0.16, es decir el 84% por debajo del límite permitido; para el índice de riesgo interno se obtuvo un valor medio de 0.19, es decir el 81% por debajo del límite permitido; para la dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor medio de 52.33 nGy/h, es decir el 37.70% por debajo del límite permitido y para la dosis efectiva anual presentó un valor medio de 0.26 mSv/año, es decir el 74% por debajo del límite permitido.

Para el azufre se obtuvo un valor medio de 57.79 Bq/kg de radio equivalente, es decir el 91.46% por debajo del límite permitido; para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor medio de 0.09, es decir el 91% por debajo del límite permitido; para el índice de riesgo interno se obtuvo un valor medio de 0.11, es decir el 89% por debajo del límite permitido; para la dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor promedio de 28.27, es decir el 66.34% por debajo del límite permitido y para la dosis efectiva anual se obtuvo un valor promedio de 0.14, es decir el 86% por debajo del límite permitido.

Para la caliza se obtuvo un valor medio de 14.17 Bq/kg de radio equivalente, es decir el 96.17% por debajo del límite permitido; para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor medio de 0.04, es decir el 96% por debajo del límite permitido; para el índice de riesgo interno tuvo un valor medio de 0.06, es decir el 94% por debajo del límite permitido; para la dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor promedio de 13.14 nGy/h, es decir el 84.35% por debajo del límite permitido y para la dosis efectiva anual se obtuvo un valor medio de 0.06 mSv/año, es decir el 94% por debajo del límite permitido.

Para el feldespato se obtuvo un valor medio de 51.26 Bq/kg de radio equivalente es decir el 86.14% por debajo del límite permitido; para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor medio de 0.14, es decir el 86% por debajo del límite permitido; el índice de riesgo interno obtuvo un valor medio de 0.16, es decir el 84% por debajo del límite permitido; para la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor medio de 46.69 nGy/h, es decir el 44.41% por debajo del límite permitido, y para la dosis efectiva anual se obtuvo un valor promedio de 0.23 mSv/año, es decir el 77% por debajo del límite permitido.

Ahora, se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al radio equivalente de la arcilla, azufre, caliza y feldespato.

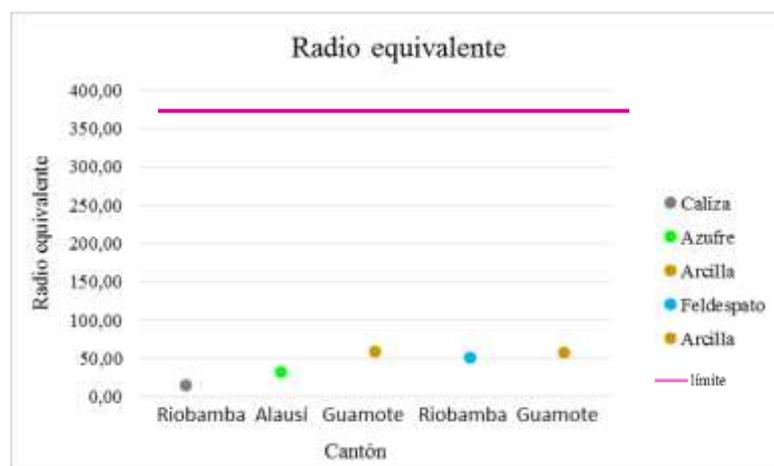


Gráfico 61-4: Radio equivalente en la Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato
Fuente: Estefanía Chávez

El azufre, caliza, feldespato y arcilla no sobrepasan el límite permitido de radio equivalente, este índice varía en la arcilla en el rango de 58.72 – 58.86 Bq/kg para las muestras analizadas.

Seguidamente se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al índice de riesgo externo de la arcilla, azufre, caliza y feldespato.

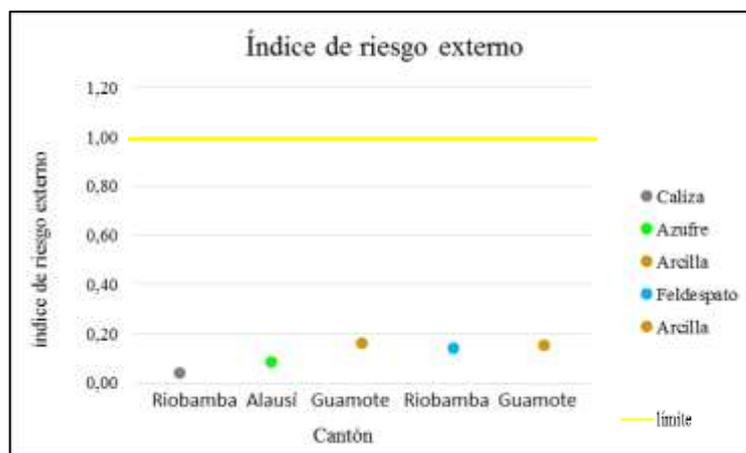


Gráfico 62-4: Índice de riesgo externo en la Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato
Fuente: Estefanía Chávez

El azufre, caliza, feldespato y arcilla no sobrepasan el límite permitido del índice de riesgo externo, en la arcilla este varía en el rango de 0.15 - 0.16.

A continuación se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al índice de riesgo interno en la arcilla, azufre, caliza y feldespato.

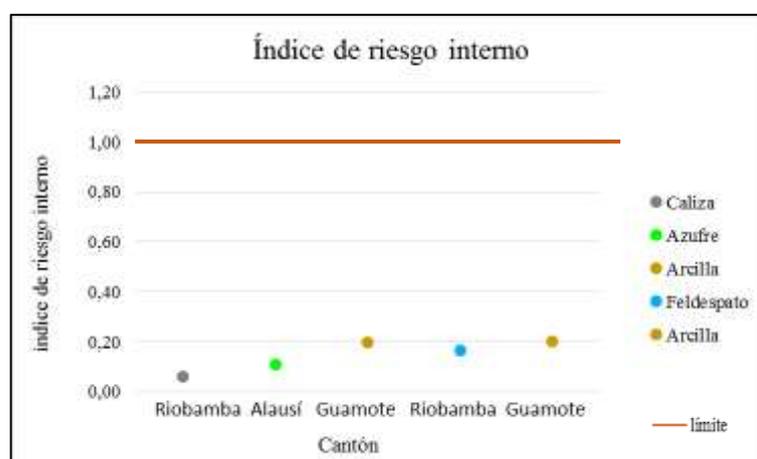


Gráfico 63-4: Índice de riesgo interno en la Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato
Fuente: Estefanía Chávez

El azufre, caliza, feldespato y arcilla no sobrepasan el límite permitido del índice de riesgo interno, en la arcilla este varía en el rango de 0.19 - 0.20 para las muestras analizadas.

Continuando con el análisis, ahora Se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados a la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma de la arcilla, azufre, caliza y feldespato.

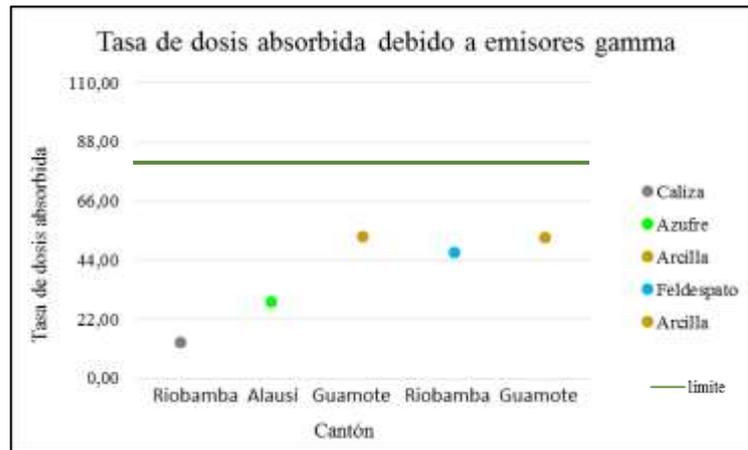


Gráfico 64-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en la Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato
Fuente: Estefanía Chávez

El azufre, caliza, feldespato y arcilla no sobrepasan el límite permitido de 84nGy/h de la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma, en la arcilla este varía en el rango de 52.12 - 52.54 nGy/h para las muestras analizadas.

En el siguiente gráfico se presenta los niveles de riesgo asociados a la tasa de dosis efectiva anual en la arcilla, azufre, caliza y feldespato.

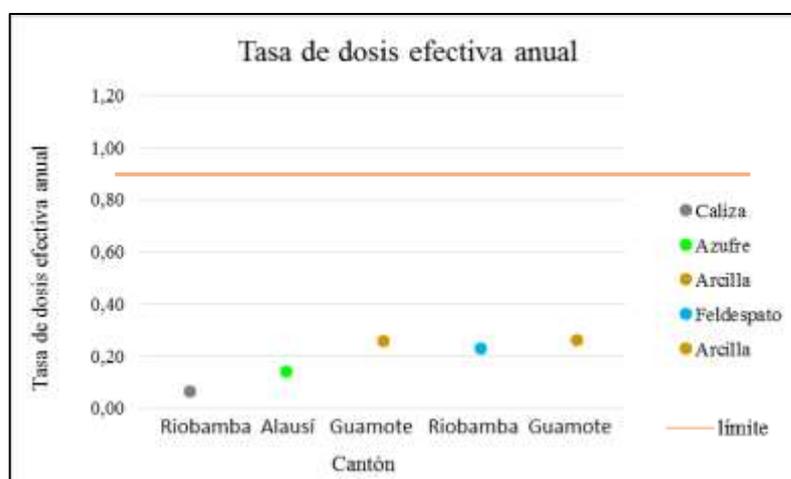


Gráfico 65-4: Tasa de dosis efectiva anual de la Arcilla, Azufre, Caliza y Feldespato
Fuente: Estefanía Chávez

El azufre, caliza, feldespato y arcilla no sobrepasan el límite permitido de la tasa de dosis efectiva anual, en la arcilla este varía en el rango de 0.25 - 0.26 mSv/año para las muestras analizadas.

- Arena de río

Tabla 34-4: Índices de riesgo asociados a la Arena de Río

CÓDIGO	$R_{eq} < 370\text{Bq/kg}$	$H_{ex} < 1$	$H_{in} < 1$	$\dot{D} < 84\text{nGy/h}$	$A\dot{E}D < 1 \text{ mSv/aó}$
ARAD-2016-345.01	41,31	0,11	0,14	38,35	0,19
ARAD-2016-345.02	85,06	0,23	0,28	78,07	0,38
ARAD-2016-345.30	72,41	0,20	0,24	66,43	0,33
ARAD-2016-345.31	71,91	0,19	0,24	65,94	0,32
ARAD-2016-345.32	66,75	0,18	0,22	61,28	0,30
ARAD-2016-345.38	105,86	0,29	0,35	96,84	0,48

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de los índices de riesgo de la arena de río se obtuvo los resultados que se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 35-4: Estadística Descriptiva de los índices de riesgo asociados a la Arena de río

Índices Estadística	R_{eq}	H_{ex}	H_{in}	\dot{D}	$A\dot{E}D$
Media	73.88	0.20	0.25	67.82	0.33
Moda	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Mediana	72.16	0.20	0.24	66.18	0.32
Varianza	452.98	0.003	0.005	372.73	0.009
Desviación Estándar	21.28	0.06	0.07	19.31	0.95
Valor Mínimo	41.31	0.11	0.14	38.35	0.19
Valor Máximo	105.86	0.29	0.35	98.83	0.48

Realizado por: Estefanía Chávez

Por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado, se puede afirmar que los índices de riesgo asociados a la arena de río no sobrepasan los límites permitidos; se obtuvo un valor medio de 73.88 Bq/kg para el radio equivalente, es decir el 80.05% por debajo del límite permitido; para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor medio de 0.20, es decir el 80% por debajo del límite permitido; para el índice de riesgo interno se obtuvo un valor medio de 0.25, es decir el 75% por debajo del límite permitido; para la dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor medio de 67.82 nGy/h, es decir el 19.26% por debajo del límite permitido y para la dosis efectiva anual se obtuvo un valor medio de 0.33 mSv/año, es decir el 67% por debajo del límite permitido.

A continuación se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al radio equivalente de la Arena de río

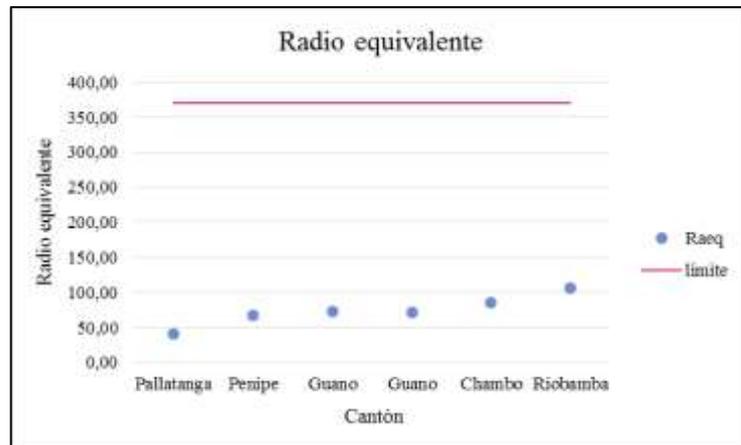


Gráfico 66-4: Radio equivalente en la arena de río
Fuente: Estefanía Chávez

En la Arena de río el radio equivalente no sobrepasa el límite permitido, este varía en un rango de 41.31-105.86 Bq/kg para las muestras analizadas.

En el siguiente gráfico Se presentan los niveles de riesgo asociados al índice de riesgo externo de la Arena de río

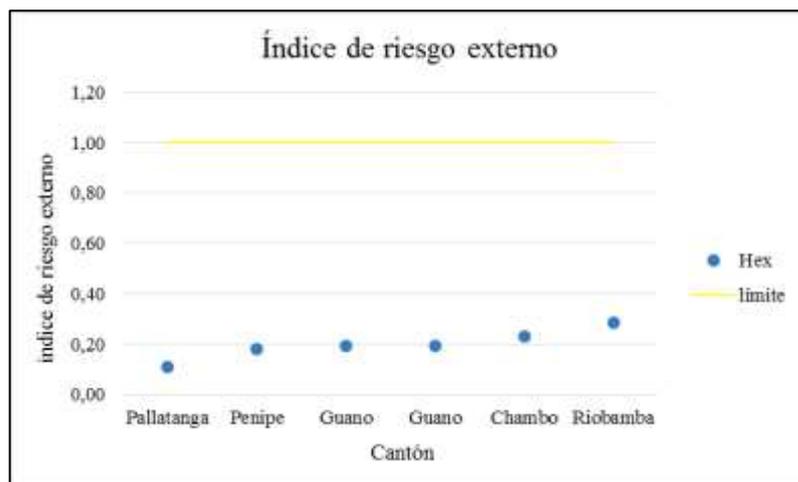


Gráfico 67-4: Índice de riesgo externo en la arena de río
Fuente: Estefanía Chávez

En la Arena de río el índice de riesgo externo no sobrepasa el límite permitido, este varía en un rango de 0.11 - 0.29 para las muestras analizadas.

Ahora, se presentan de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al índice de riesgo interno de la Arena de río

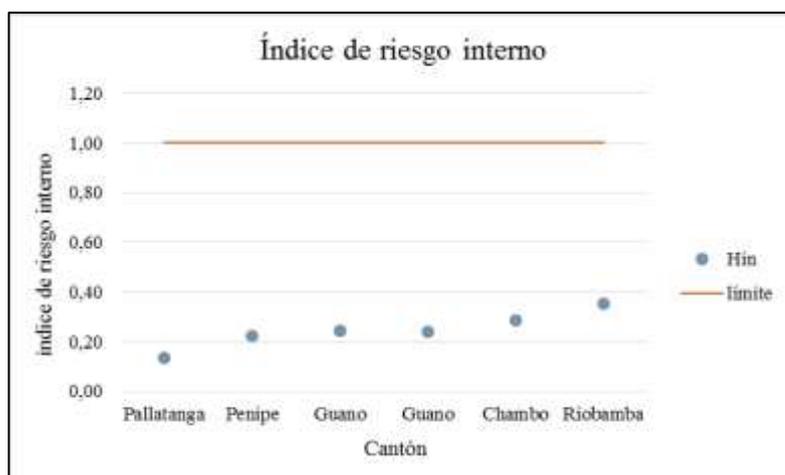


Gráfico 68-4: Índice de riesgo interno en la arcilla, azufre, caliza y feldespato
Fuente: Estefanía Chávez

En la Arena de río el índice de riesgo interno no sobrepasa el límite permitido, este varía en un rango de 0.14 - 0.35 para las muestras analizadas.

Seguidamente se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados a la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en la Arena de río

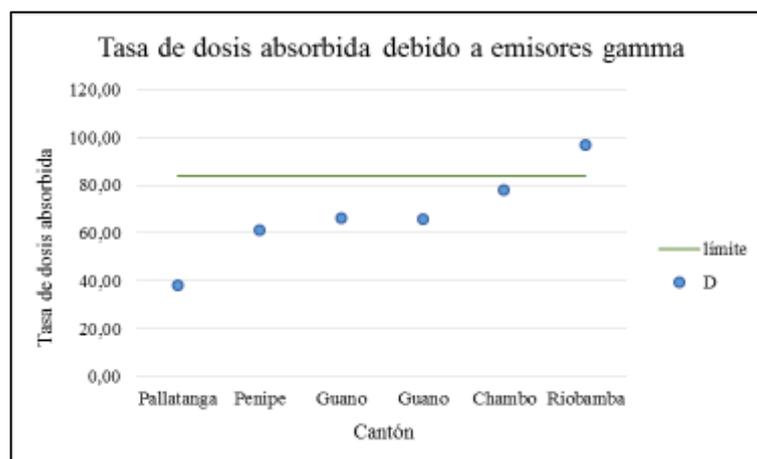


Gráfico 69-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en la arcilla, azufre, caliza y feldespato
Realizado por: Estefanía Chávez

En el cantón Riobamba, la arena de río (ARAD-2016-345.38) sobrepasa el límite permitido de la tasa de dosis debido a emisores gamma y este varía en el rango de 38.35 - 98.83 nGy/h para las muestras analizadas.

En el siguiente gráfico se presentan de manera gráfica los niveles de riesgo asociados a la tasa de dosis efectiva anual en la Arena de río

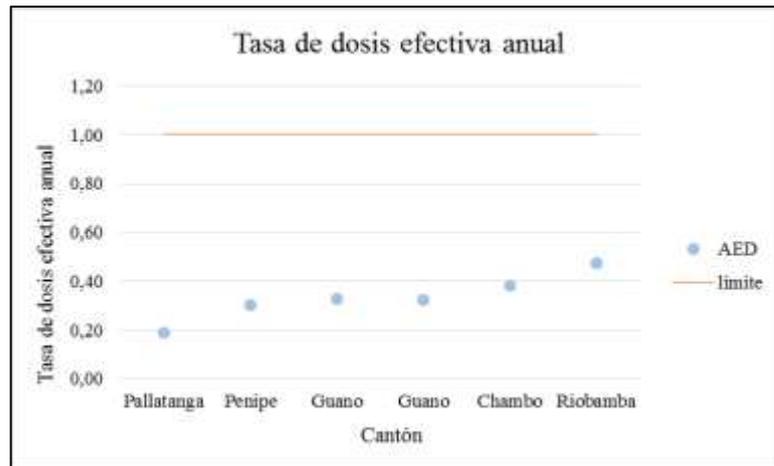


Gráfico 70-4: Tasa de dosis efectiva anual en la arcilla, azufre, caliza y feldespato
Realizado por: Estefanía Chávez

En la arena de río la tasa de dosis efectiva anual no sobrepasa el límite permitido y este varía en un rango de 0.19 - 0.48 mSv/año para las muestras analizadas.

- **Arena macadán**

Tabla 36-4: Índices de riesgo asociados a la Arena Macadán

CÓDIGO	$R_{eq} < 370\text{Bq/kg}$	$H_{ex} < 1$	$H_{in} < 1$	$\dot{D} < 84\text{nGy/h}$	$AED < 1 \text{ mSv/año}$
ARAD-2016-345.03	52.12	0.14	0.16	49.66	0.24
ARAD-2016-345.08	30.84	0.08	0.12	26.76	0.13
ARAD-2016-345.09	58.54	0.16	0.19	54.35	0.27
ARAD-2016-345.10	85.03	0.23	0.28	77.44	0.38
ARAD-2016-345.12	19.52	0.05	0.07	17.47	0.09
ARAD-2016-345.16	55.83	0.15	0.18	51.76	0.25
ARAD-2016-345.17	58.27	0.16	0.19	54.29	0.27
ARAD-2016-345.18	60.33	0.16	0.20	55.73	0.27
ARAD-2016-345.19	54.13	0.15	0.18	50.46	0.25
ARAD-2016-345.20	105.39	0.28	0.36	95.02	0.47
ARAD-2016-345.21	70.46	0.19	0.23	64.74	0.32
ARAD-2016-345.22	85.09	0.23	0.28	77.70	0.38
ARAD-2016-345.23	64.48	0.17	0.21	59.34	0.29
ARAD-2016-345.24	73.58	0.20	0.25	67.53	0.33
ARAD-2016-345.25	80.35	0.22	0.27	73.25	0.36
ARAD-2016-345.26	54.13	0.15	0.17	50.58	0.25
ARAD-2016-345.27	94.98	0.26	0.33	86.08	0.42
ARAD-2016-345.28	52.15	0.14	0.17	48.69	0.24
ARAD-2016-345.29	55.09	0.15	0.18	50.93	0.25
ARAD-2016-345.37	40.69	0.11	0.13	38.04	0.19
ARAD-2016-345.39	82.09	0.22	0.28	74.68	0.37

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de los índices de riesgo de la arena macadán se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 37-4: Estadística Descriptiva de los índices de riesgo asociados a la Arena macadán

Índices Estadística	$R_{a_{eq}}$	H_{ex}	H_{in}	D	AED
Media	63.48	0.17	0.21	58.31	0.29
Moda	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Mediana	58.54	0.16	0.19	54.35	0.27
Varianza	430.19	0.003	0.005	348.93	0.008
Desviación Estándar	20.74	0.06	0.07	18.68	0.09
Valor Mínimo	19.52	0.052	0.07	17.47	0.09
Valor Máximo	105.39	0.28	0.36	95.02	0.46

Realizado por: Estefanía Chávez

Por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado, se puede afirmar que los índices de riesgo asociados a la arena macadán no sobrepasan los límites permitidos; se obtuvo para el radio equivalente un valor medio de 63.48 Bq/kg, es decir el 82.84% por debajo del límite permitido; para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor medio de 0.17, es decir el 83% por debajo del límite permitido; para el índice de riesgo interno se obtuvo un valor medio de 0.21, es decir el 79% por debajo del límite permitido; para la dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor medio de 58.31 nGy/h, es decir el 30.58% por debajo del límite permitido y para la dosis efectiva anual se obtuvo un valor medio de 0.29 mSv/año, es decir el 71% por debajo del límite permitido.

A continuación se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al radio equivalente en la Arena macadán

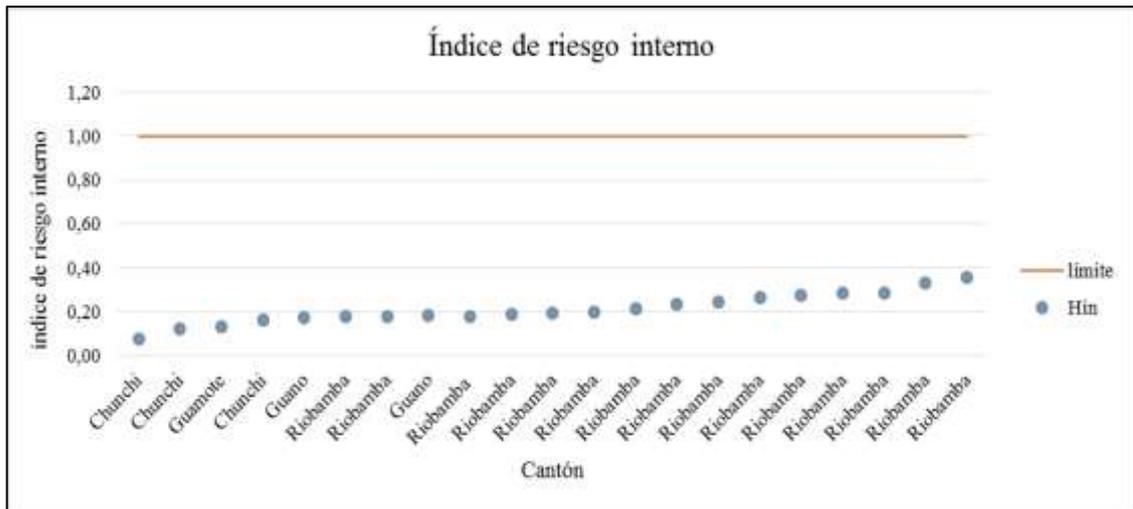


Gráfico 73-4: Índice de riesgo interno en la Arena macadán

Fuente: Estefanía Chávez

En la arena macadán el índice de riesgo interno no sobrepasa el límite permitido, este varía en el rango de 0,07- 0,36 para las muestras analizadas.

En el siguiente gráfico se presentan los niveles de riesgo asociados a la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en la arena macadán

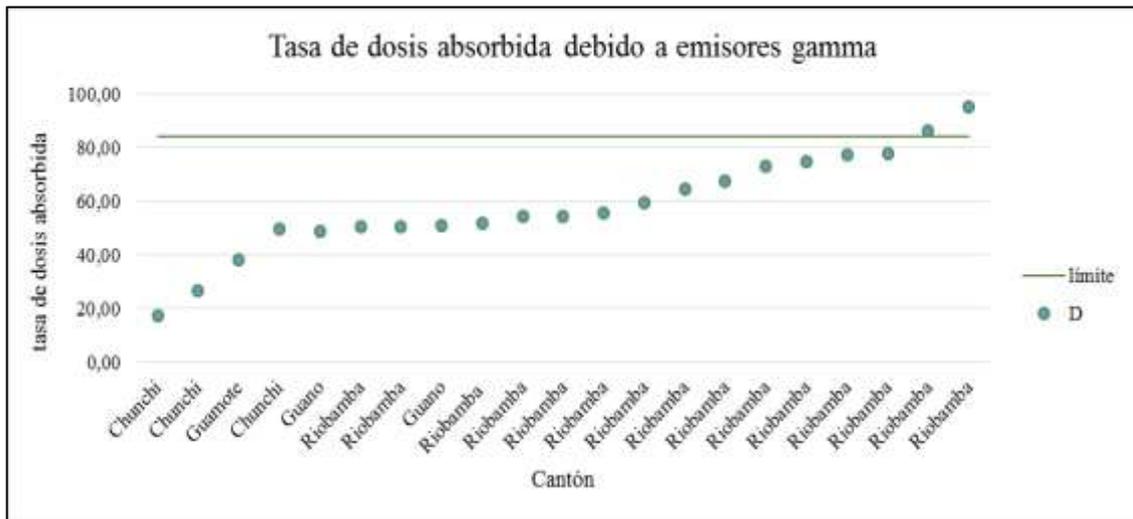


Gráfico 74-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en la Arena macadán

Fuente: Estefanía Chávez

En el cantón Riobamba, la arena macadán (ARAD-2016-345.20), (ARAD-2016-345.27) sobrepasa el límite permitido de la tasa de dosis debido a emisores gamma y este varía en el rango de 17,47 - 95,02 nGy/h para las muestras analizadas.

Continuando con el análisis, se presentan de manera gráfica los niveles de riesgo asociados a la tasa efectiva anual de la Arena macadán

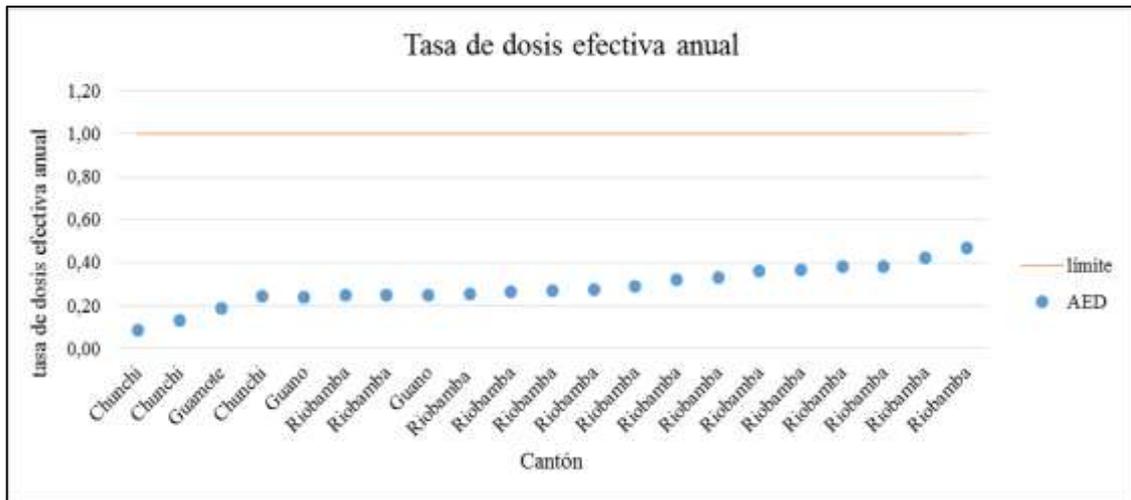


Gráfico 75-4: Tasa de dosis efectiva anual en la Arena macadán
Fuente: Estefanía Chávez

En la Arena macadán la tasa de dosis efectiva anual no sobrepasa el límite permitido y este varía en el rango de 0,09 - 0,46 mSv/año para las muestras analizadas.

- **Puzolana**

Tabla 38-4: Índices de riesgo asociados a la Puzolana

CÓDIGO	$R_{aeq} < 370\text{Bq/kg}$	$H_{ex} < 1$	$H_{in} < 1$	$\dot{D} < 84\text{nGy/h}$	$AED < 1\text{mSv/año}$
ARAD-2016-345.04	298,90	0,81	1,11	269,84	1,32
ARAD-2016-345.05	278,94	0,75	1,03	251,51	1,23
ARAD-2016-345.06	306,45	0,83	1,14	275,78	1,35
ARAD-2016-345.07	297,68	0,80	1,10	268,62	1,32
ARAD-2016-345.14	302,71	0,82	1,11	272,78	1,34
ARAD-2016-345.15	304,91	0,82	1,13	274,89	1,35

Realizado por: Estefanía Chávez

Al realizar un tratamiento de estadística descriptiva a los valores obtenidos en la estimación de los índices de riesgo de la puzolana se obtuvo los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 39-4: Estadística descriptiva de los índices de riesgo asociados a la puzolana

Índices	R_{aeq}	H_{ex}	H_{in}	\dot{D}	AED
Estadística					
Media	298.26	0.81	1.10	268.90	1.32
Moda	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Mediana	300.80	0.81	1.11	271.31	1.33
Varianza	101.04	0.0007	0.001	80.34	0.002

Desviación Estándar	10.05	0.027	0.04	8.96	0.04
Valor Mínimo	278.94	0.75	1.03	251.51	1.23
Valor Máximo	306.45	0.83	1.13	275.78	1.35

Realizado por: Estefanía Chávez

Por los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado, se puede afirmar que los índices de riesgo asociados a la puzolana presentaron para el radio equivalente un valor medio de 298.26 Bq/kg, es decir el 19.38% por debajo del límite permitido; para el índice de riesgo externo se obtuvo un valor promedio de 0.81, es decir, el 19% por debajo del límite permitido; para el índice de riesgo interno se obtuvo un valor promedio de 1.10, es decir el 10% sobre el límite permitido; para la dosis absorbida debido a emisores gamma se obtuvo un valor promedio de 268.90 nGy/h, es decir el 220,11% sobre del límite permitido y para dosis efectiva anual se obtuvo un valor promedio de 1.32 mSv/año, es decir el 32% sobre el límite permitido.

En el siguiente gráfico se presentan de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al radio equivalente de la Puzolana

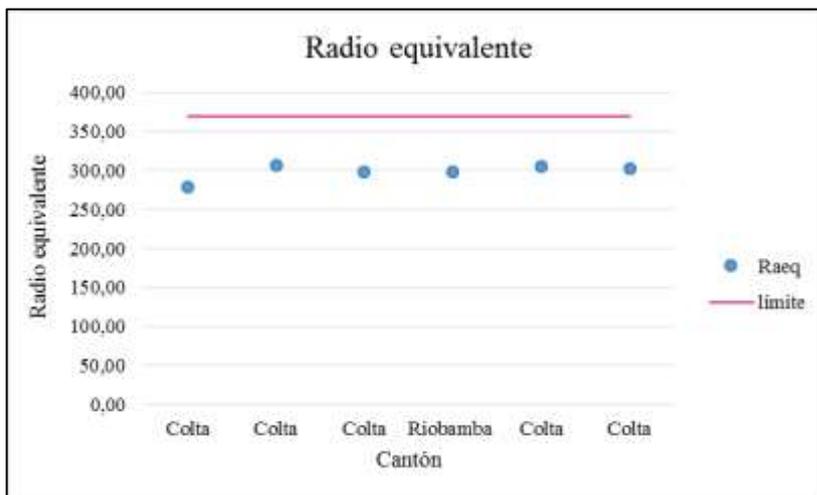


Gráfico76-4: Radio equivalente en la puzolana
Fuente: Estefanía Chávez

En la puzolana el radio equivalente no sobrepasa el límite permitido y este varía en el rango de 278.89 - 306.45 Bq/kg para las muestras analizadas.

A continuación se presentan de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al índice de riesgo externo de la Puzolana

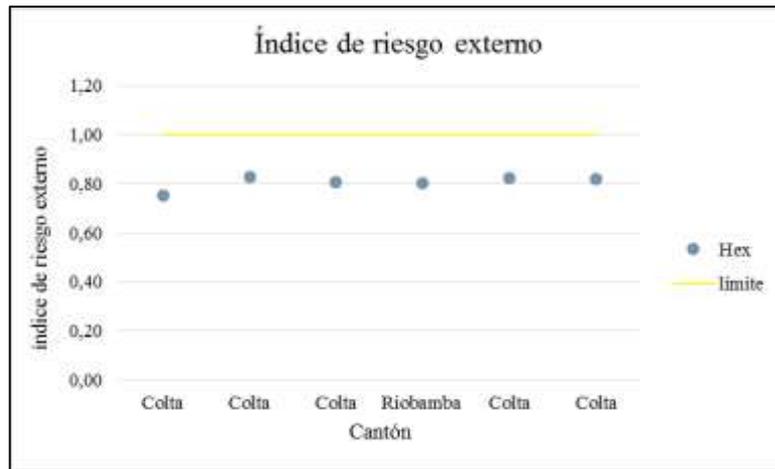


Gráfico 77-4: Índice de riesgo externo en la Puzolana

Fuente: Estefanía Chávez

En la puzolana el índice de riesgo externo no sobrepasa el límite permitido y este varía en el rango de 0.75-0.83 para las muestras analizadas.

Seguidamente se presentan de manera gráfica los niveles de riesgo asociados al índice de riesgo interno en la Puzolana

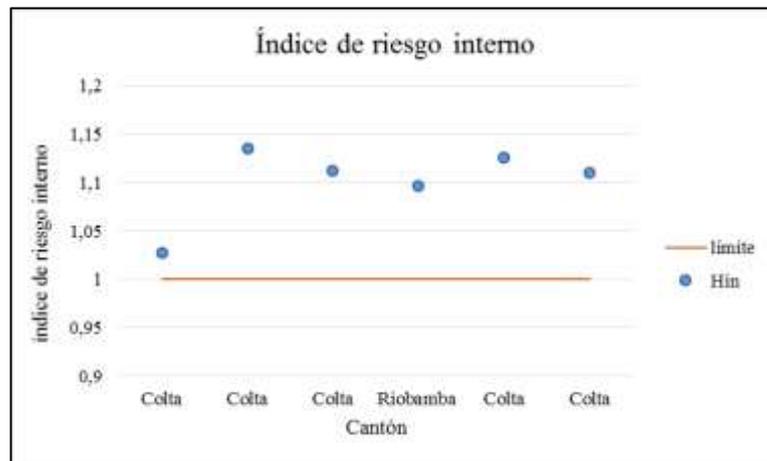


Gráfico78-4: Índice de riesgo interno asociado a la puzolana

Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Colta y Riobamba, la puzolana (ARAD-2016-345.4, ARAD-2016-345.5, ARAD-2016-345.6, ARAD-2016-345.7, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.15) sobrepasa los límites permitidos del índice de riesgo externo y este varía en un rango de 1.23 - 1.35 para las muestras analizadas.

Ahora se presenta de manera gráfica los niveles de riesgo asociados a la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma de la Puzolana

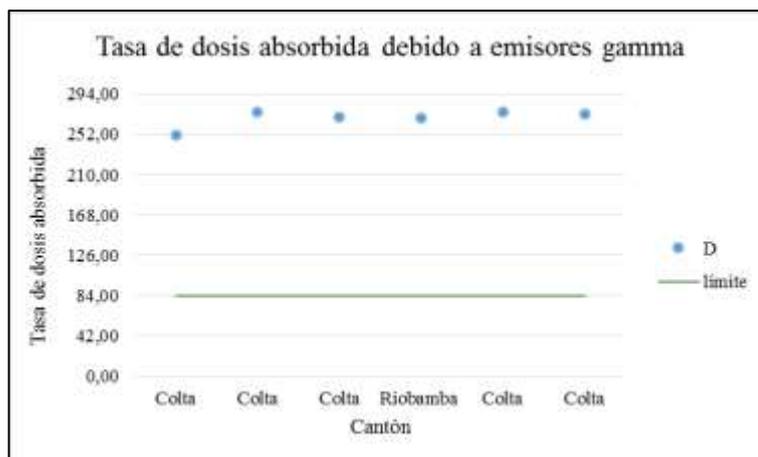


Gráfico 79-4: Tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma en la puzolana
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Colta y Riobamba, la puzolana (ARAD-2016-345.4, ARAD-2016-345.5, ARAD-2016-345.6, ARAD-2016-345.7, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.15) sobrepasa los límites permitidos de la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma y este varía en un rango de 251,51 - 275,78 nGy/h para las muestras analizadas.

Seguidamente se presentan los niveles de riesgo asociados a la tasa de efectiva anual de la Puzolana

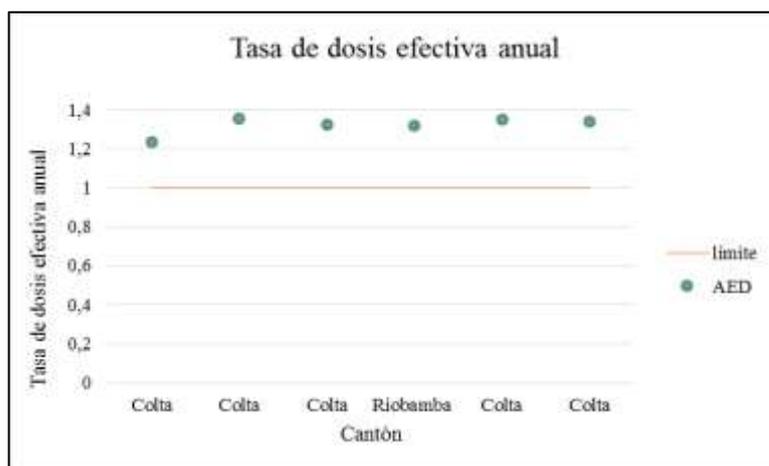


Gráfico 80-4: Tasa de dosis efectiva anual en la Puzolana
Fuente: Estefanía Chávez

En los cantones Colta y Riobamba, la puzolana (ARAD-2016-345.4, ARAD-2016-345.5, ARAD-2016-345.6, ARAD-2016-345.7, ARAD-2016-345.14, ARAD-2016-345.15) sobrepasa los límites permitidos de la tasa de dosis efectiva anual y este varía en el rango de 1.23 - 1.35 mSv/año para las muestras analizadas.

En resumen, de la estimación de los índices de riesgo por cada material de las muestras analizadas de la provincia de Chimborazo se tiene que el valor mínimo de $R_{a_{eq}}$ obtenido pertenece a la caliza (ARAD-2016-345.34) y el valor máximo pertenece a la puzolana (ARAD-2016-345.6); el valor mínimo de H_{ex} pertenece a la caliza (ARAD-2016-345.34) y el máximo valor pertenece a la puzolana (ARAD-2016-345.06); el valor mínimo de H_{in} pertenece a la caliza (ARAD-2016-345.34) y el máximo valor pertenece a la puzolana (ARAD-2016-345.06); el valor mínimo de \dot{D} pertenece a la caliza (ARAD-2016-345.34) y el máximo valor de \dot{D} pertenece a la puzolana (ARAD-2016-345.06) y finalmente el valor mínimo de $A\dot{E}D$ pertenece a la caliza (ARAD-2016-345.34) y el máximo valor de $A\dot{E}D$ pertenece a la puzolana (ARAD-2016-345.06) y (ARAD-2016-345.15). Es importante recalcar que para las muestras analizadas y el manejo de la información realizada la puzolana es el material de construcción que se ha determinado con mayor radiactividad natural, el mismo que se encuentra con distintos índices de riesgo elevados.

CONCLUSIONES

1. El mapa de ubicación de minas y canteras muestreadas de la Provincia de Chimborazo actualizado se elaboró mediante el software QGIS, utilizando como base la información adquirida de la Agencia Reguladora de Control Minero.

2. Los radionucleidos determinados en la arcilla, arena de río, arena macadán, azufre, caliza feldespato y puzolana de las muestras extraídas y analizadas fueron: 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} y Th^{232} . La puzolana además de los radionucleidos mencionados presenta también el $\text{Pa}^{234\text{m}}$.
3. De los resultados de la estimación de la actividad específica y de los índices de riesgo asociados a los materiales de construcción muestreados y analizados de la Provincia de Chimborazo se obtuvo que:
 - En cuanto a la actividad específica:
 - La actividad específica promedio de K^{40} en la Provincia de Chimborazo fue de 455.62 Bq/kg sobrepasando con el 13.90% a la concentración media mundial que es de 400 Bq/kg.
 -
 - El cantón que presenta mayor concentración media de radionucleidos principales obtenidos a través de espectrometría gamma pertenece al cantón Colta, en el cual el K^{40} , Ra^{226} y Th^{232} sobrepasan la concentración media mundial en el 174.44% , 212.49% y 143.97%, respectivamente. El cantón Riobamba sobrepasa la concentración media mundial de K^{40} en un 3.78%.
 - El material de construcción con mayor concentración media de radionucleidos principales obtenidos a través de espectrometría gamma pertenece a la puzolana, en el cual el K^{40} , Ra^{226} y Th^{232} sobrepasan la concentración media mundial en el 175.25%, 211.83% y 143.67%, respectivamente.
 - En cuanto a la estimación de los índices de riesgo:
 - La tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma (\dot{D}) en la Provincia de Chimborazo sobrepasa en el 7.60% el límite permitido.
 - El cantón Colta es el de mayor nivel de riesgo asociado a los índices estimados, en el cual se presenta que para el índice de riesgo interno, para la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma y para la tasa de dosis efectiva anual sobrepasan en un 10%, 220.19% y 32% los límites permitidos, respectivamente.

- El material de construcción con mayor nivel de riesgo asociado a los índices estimados es la puzolana, en la cual se presenta que para el índice de riesgo interno, para la tasa de dosis absorbida debido a emisores gamma y para la tasa de dosis efectiva anual sobrepasan en un 10%, 220,11% y 32%, respectivamente los límites permitidos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios en lugares aledaños a las minas y canteras de los cantones que sobrepasan los límites de la concentración media mundial de los radionucleidos principales y los límites de riesgo.

- Es recomendable que ARCOM en conjunto con la SCAN acudan y realicen charlas sobre Cultura de Seguridad con la finalidad de brindar a los propietarios y trabajadores de minas y canteras de la Provincia de Chimborazo conocimientos, principalmente, sobre seguridad y protección radiológica.
- Se recomienda a los estudiantes de la Escuela de Física Matemática continuar con estudios radiológicos en la Provincia de Chimborazo.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AMRANI, D Y TAHTAT, H.** Natural radioactivity in Algerian building materials. *Pergamon*, vol. 54, No. 4 (2001), pp. 687-689.
2. **ARIAS, A.** *Definición de prioridades de manejo del recurso hídrico por microcuencas en la Provincia de Chimborazo.* (Tesis pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Quito. 2007, pp. 27.
3. **ATTIX, F.** *Introduction to radiological physics and radiation dosimetry.* 4th ed. Madison-Wisconsin, Krieger, 1986, pp. 24.
4. **BESOAIN, E.** *Mineralogía de arcillas de suelos.* San José-Costa Rica, IICA, 1985, pp. 14-15.
5. **BRISTOW, C.** *Guide to the geology of the Cuenca Basin, Southern Ecuador.* Ecuatorian Geological and Geophysical Society, Quito, 1973, pp. 54.
6. **BALTIC SCIENTIFIC INSTRUMENT.** *SpectraLineGP Software.* Riga, 2010, pp. 3-19.
7. **EUROPEAN COMMISSION.** *Radiological Protection Principles concerning the Natural Radioactivity of Building Materials.* Finland, 1999, pp. 1-16.
8. **FARES et al.** Natural radioactivity and the resulting radiation doses in some kinds of commercially marble collected from different quarries and factories in Egypt. *Natural Science*, vol.3, No. 10 (2011), pp. 895-905.
9. **FERLAY et al.** Estimates of the cancer incidence and mortality in Europe in 2006. *Annals of Oncology*, vol. 18 No.3 (2007), pp. 581-592.
10. **FERNÁNDEZ, D.** *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia San Juan.* Ecuador, 2015, pp. 47-51.
11. **FERRER, A.** *Física Nuclear y de Partículas.* 2nd ed. España, 2006 pp. 215-241.

12. **FROEHLICH, K.** *Environmental Radionuclides: tracers and timers of terrestrial processes.* Viena, 2010 pp. 2-7.

13. **GARCÍA et al.** *Radiactividad natural de los materiales de construcción: Aplicación al hormigón Parte I Radiación externa: índice de riesgo radiactivo.* Academia, 2011, pp. 34-50.

14. **GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN CUMANDÁ.** *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cumandá.* Ecuador, 2014, pp. 23-30.

15. **GARZÓN, L.** *Radiactividad y medio Ambiente.* España, 1979, pp. 117-118.

16. **GRASSI, A y MIRANDA, S.** El Azufre como Material de Construcción: Relación entre las Fases Cristalinas y la Resina Mecánica. *LatinAmerican Journal 01 Metallurgy and Materials*, vol. 7, No.1 (1987), pp. 2-55.

17. **INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.** *Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy.* Viena, 2011, pp. 203-223.

18. **INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION.** *Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure.* Publication 82, 1999, pp. 1.

19. **INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR.** *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Alausí.* Alausí, 2010, pp. 3.

20. **INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS.** *Fascículo Provincial Chimborazo,* 2010, pp. 1-8.

21. **INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.** *REAL DECRETO 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes BOE nº 178 26-07-2001.* España, 2001, pp. 1-37.

22. **JIMÉNEZ, F.** *Determinación y seguimiento de I-131, Po-210 y otros radionucleidos en diferentes entornos laborales.* Universidad de Valladolid, Facultad de Ciencias, Valladolid, 2010, pp. 22-25.
23. **LABORATORY OF SPECTROMETRY AND RADIOMETRY.** *SpectraLineGP: Precision Processing of Gamma-spectra User's Manual.* Mendeleev, 2011, pp. 9-25.
24. **LU et al.** Assessment of natural radioactivity and radiological hazards in building materials used in Yanjan, China. *Health Physics*, vol. 104, No.3 (2013,) pp. 325-331.
25. **MAÑÁ, F.** *La obra gruesa unos apuntes de construcción.* España, Editions UPC, 2013, pp.73.
26. **MAPA DE CARRETERAS DE CHIMBORAZO** [en línea] [Consulta: 6 junio 2015].
Disponible en: www.zonu.com
27. **MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.** *Nueva enciclopedia del encargado de obras.* España, 2011, pp.14-15.
28. **MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.** *Nueva enciclopedia del encargado de obras.* España, 2011, pp.24-25.
29. **NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS.** NCRP Report No 160: Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. *Physics in medicine and biology*, vol. 55, No.20 (2010), pp. 6327.
30. **MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Guía para el muestreo de suelos.* Perú, 2014, pp. 17-19.
31. **NOLHEIER, G.** *El Yeso, un material apropiado para una construcción barata.* Francia, 1986, pp. 12-17.
32. **PANKAJ et al.** Distribution of natural radioactivity in soil samples and radiological hazards in buildingmaterial of Una, Himachal Pradesh. *Journal of Geochemical exploration*, vol.142 (2014), pp. 11-15

33. **PARKS, E.** *Radioactive Half-life of Barium-137m*. Tennessee, 2001, pp.1-3.
34. **QUINTANA ET AL.** *Estudio del impacto radiológico de los materiales de la construcción en Argentina*. México: Primer Congreso Americano del IRPA, 2006, pp.1-9.
35. **RODRIGUEZ et al.** *Casi todo lo que usted desea saber sobre los efectos de la Energía Nuclear en la Salud y el Medio Ambiente*. España, 2008, pp.265.
36. **SALAZAR, A.** *Ecoingeniería* [en línea] [Consulta: 31 Marzo 2016]. Disponible en: <http://www.ecoingenieria.org/>
37. **SAVOYAT et al.** *Formaciones Sedimentarias de la Sierra Tectónica Andina en el Ecuador*, Instituto Francés del Petróleo; Servicio Nacional de Geología y Minería, Quito, 1970, pp.1-20.
38. **SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN.** *Memoria Técnica Cantón Chambo Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000*. Ecuador, 2012, pp.34-35.
39. **SNI, Sistema Nacional de Información.** (2013). *Memoria Técnica Cantón Chunchi Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000*. Ecuador, pp.34-35.
40. **SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN.** *Memoria Técnica Cantón Colta Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000*. Ecuador, 2013, pp.41-42.
41. **SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN.** *Memoria Técnica Cantón Guamote Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000*. Ecuador, 2013, pp.39-42.
42. **SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN.** *Memoria Técnica Cantón Guano Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000*. Ecuador, 2012, pp.34-36.
43. **TUFAIL et al.** Natural radioactivity from the building materials used in Islamabad and Rawalpindi, Pakistan. *Science of The Total Environment*, vol.121 (1992), pp. 283-291.

44. **TUFAIL, M.** Radium equivalent activity in the light of UNSCEAR report, Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol.184, No.9 (2012), pp.5663-5667.
45. **UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION.** *Sources and effects of ionizing radiation, Annex B: Exposures from natural radiation sources.* vol.1 (2000), pp. 89-92.
46. **UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION.** *Sources and effects of ionizing radiation, Annex B: Exposures from natural radiation sources,* vol.1 (2000), pp. 93-94.
47. **UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION.** *Sources and effects of ionizing radiation Annex G: Biological mechanism of radiation at low doses,* vol.1 (2000), pp. 80-83.
48. **UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION.** *Sources and effects of ionizing radiation Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami,* vol.1 (2013), pp. 6-12.
49. **WORLD HEALTH ORGANIZATION.** IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risks to Humans Man-made Mineral Fibres and radon. *International Agency for Research on Cancer*, vol. 43 (1988), pp. 173-177.
50. **XINWEI LU et al.** Determination of natural radioactivity and associated radiation hazard in building materials used in Weinan, China. *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 81 (2012), pp. 780-784.
51. **ZHANG et al.** Physical mechanisms of river waterfall tufa (travertine) formation. *J of Sedimentary Research*, VOL. 71 (2001), pp. 205-216

ANEXOS

ANEXO A: Muestreo de minas y canteras



Fuente: Estefanía Chávez

ANEXO B: Trituración y tamizado de la muestra de material de construcción



Fuente: Estefanía Chávez

ANEXO C: Secado de la muestra



Fuente: Estefanía Chávez



Fuente: Estefanía Chávez



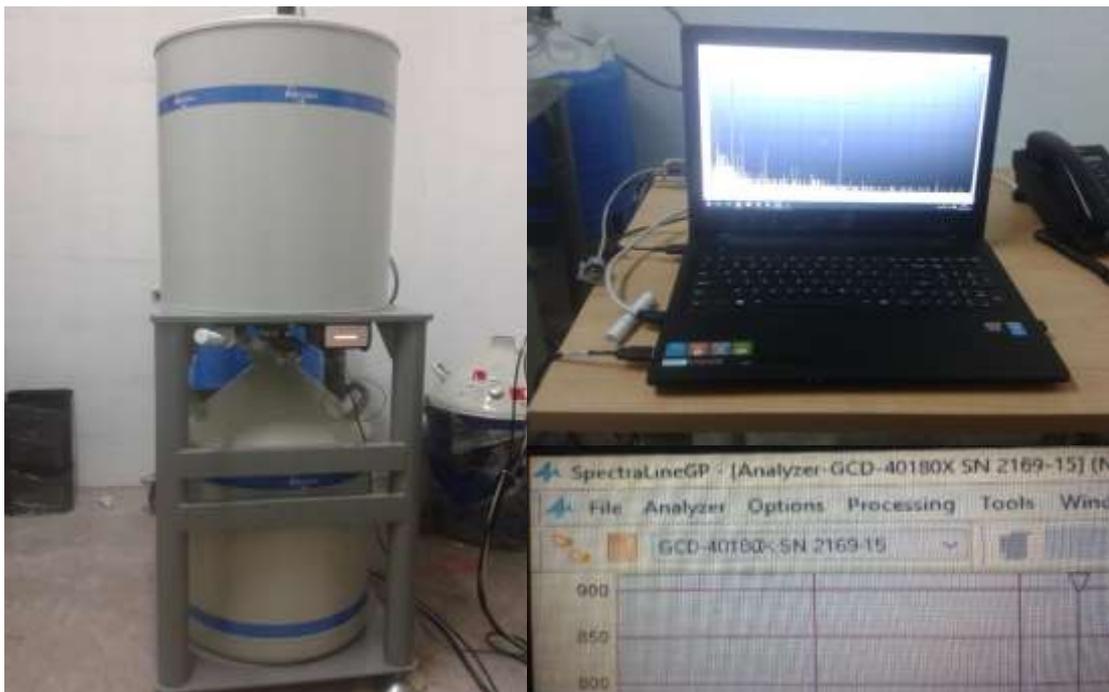
Fuente: Estefanía Chávez

ANEXO D: Marinellis y pesado de las muestras de los material de construcción



Fuente: Estefanía Chávez

ANEXO E: Análisis de las muestras de los materiales de construcción con el Software SpectraLine



Fuente: Estefanía Chávez

ANEXO F: Reportes obtenidos del análisis de la muestra de arena de río en el espectrómetro gamma

**Gamma-spectrum
processing report
from 25-05-2016**

Spectrum: C:\Lsm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD-2016-345.01_Marinelli.spe
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 25-05-2016 11:03:15
Live time: 14399.27 s.
Real time: 14405.00 s.
Comment:

Processing result on 25-05-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq	Relative error, %
K-40	4550	130	390	5
Ra-226	6200	600	14.8	11
Th-232	9900	1800	14.3	11
Unidentified	1000	130		
Background	1970	60	0	

Operator:

Fuente: Estefanía Chávez

Spectrum processing report

Spectrum: C:\Lsrml\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD-2016-345.01_Marinelli.spe

Configuration: GCD-40180X SN 2169-15

Measured: 25-05-2016 11:03:15

Live time: 14399.27 c.

Real time: 14405.00 c.

Peaks found: 122

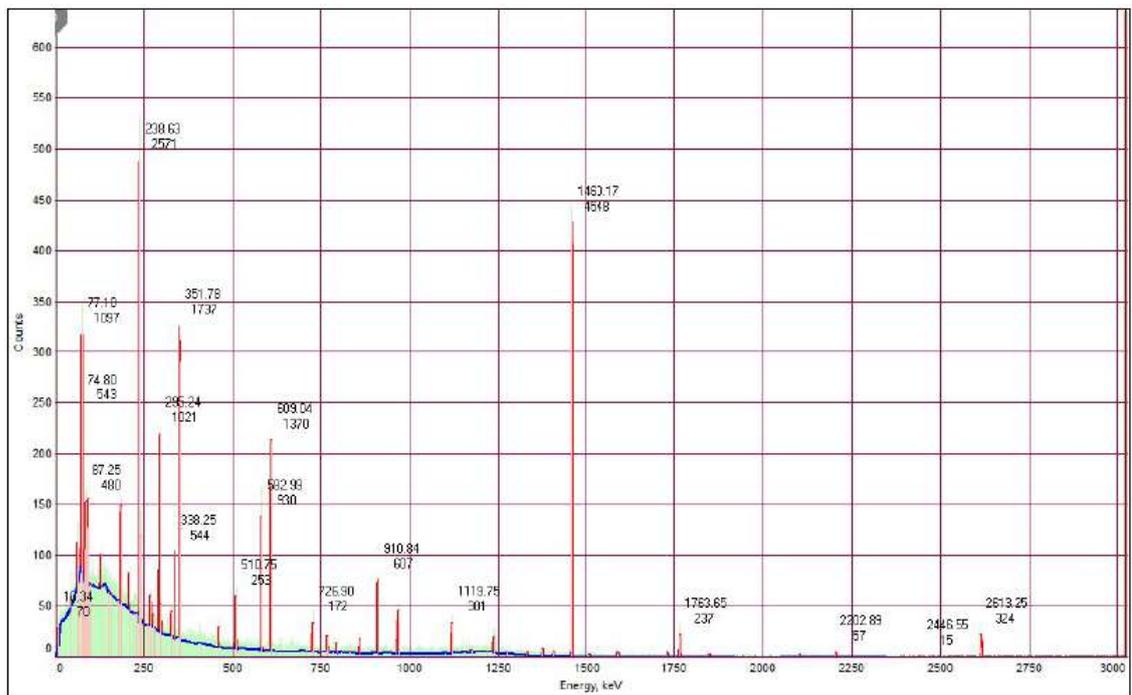
Channel	dChannel	Energy, keV	dE, keV	FW, keV	dFW, keV	Area	Area uncert.
56.004	0.166	10.341	0.031	0.659	0.061	70	20
250.756	0.289	46.350	0.053	0.776	0.107	42	12
342.109	0.261	63.241	0.048	0.808	0.097	47	12
342.786	0.427	63.366	0.079	0.808	0.000	159	58
366.455	0.118	67.743	0.022	0.812	0.274	5	33
367.132	0.118	67.868	0.022	0.812	0.214	-23	25
404.639	0.118	74.803	0.022	0.823	0.179	-19	66
404.639	0.118	74.803	0.022	0.823	0.052	543	129
405.244	0.805	74.914	0.149	0.823	0.102	151	17
405.499	0.118	74.962	0.022	0.823	0.111	88	93
405.499	0.118	74.962	0.022	0.823	0.521	-2	8
416.720	0.805	77.036	0.149	0.827	0.152	66	14
417.078	0.118	77.103	0.022	0.827	0.136	-33	115
417.078	0.118	77.103	0.022	0.827	0.038	1097	130
423.714	0.118	78.330	0.022	0.828	0.193	-29	32
435.705	0.259	80.547	0.048	1.071	1.785	0	4
456.111	0.259	84.320	0.048	1.078	0.231	98	61
457.782	0.259	84.629	0.048	1.078	2.014	0	3
456.566	0.621	84.404	0.115	1.079	0.229	124	16
470.114	0.621	86.909	0.115	1.083	0.293	74	14
471.941	0.259	87.247	0.048	1.083	0.380	-17	61
471.941	0.259	87.247	0.048	1.083	0.115	480	97
475.911	0.259	87.981	0.048	1.084	0.407	6	70
486.264	0.284	89.895	0.053	1.088	0.132	364	78
499.136	0.621	92.275	0.115	1.092	0.211	151	16
502.541	0.255	92.904	0.047	1.093	0.117	477	81
543.102	4.665	100.404	0.863	0.863	1.725	3	17
698.859	0.446	129.203	0.082	0.897	0.000	167	54
824.486	4.943	152.431	0.914	0.921	1.828	1	11
845.881	3.089	156.387	0.571	0.925	1.142	1	4
970.318	3.404	179.395	0.629	0.948	1.259	1	5
997.497	18.113	184.420	3.349	1.059	5.266	1	29
1005.664	62.167	185.930	11.495	1.061	1.784	134	17
1005.988	18.113	185.990	3.349	1.061	0.958	457	72
1131.814	0.360	209.255	0.067	0.975	0.000	200	51
1201.350	0.360	222.112	0.067	0.987	0.000	1	9
1240.356	0.360	229.324	0.067	0.993	0.000	1	4
1290.696	0.387	238.632	0.072	1.001	0.215	-106	379
1290.696	0.387	238.632	0.072	1.001	0.066	2571	404

Fuente: Estefanía Chávez

1291.405	6.872	238.763	1.271	1.001	0.282	144	19
1303.433	0.387	240.987	0.072	1.003	0.206	255	74
1303.433	0.387	240.987	0.072	1.003	0.685	-9	40
1308.252	0.394	241.878	0.073	1.004	0.146	39	14
1308.749	0.500	241.970	0.093	1.004	1.051	436	77
1427.471	0.356	263.921	0.066	1.022	0.000	1	4
1460.841	0.356	270.091	0.066	1.027	0.000	176	46
1499.311	0.356	277.204	0.066	1.033	0.000	-5	18
1499.311	0.356	277.204	0.066	1.033	0.000	83	44
1517.212	0.126	280.514	0.023	0.945	0.845	0	10
1596.830	0.126	295.235	0.023	0.956	0.062	1021	66
1594.604	1.487	294.824	0.275	0.956	0.193	101	13
1623.147	0.126	300.101	0.023	0.959	0.152	166	18
1623.147	0.126	300.101	0.023	0.959	0.495	-7	20
1774.028	0.434	327.999	0.080	1.069	0.164	141	17
1829.481	0.157	338.252	0.029	1.096	0.059	544	53
1902.662	0.348	351.783	0.064	1.065	0.085	1737	86
1904.017	3.395	352.033	0.628	1.065	0.256	190	15
2222.394	343.491	410.900	63.510	1.139	0.000	0	3
2502.722	0.428	462.732	0.079	1.180	0.000	133	34
2761.265	33.601	510.536	6.213	1.637	3.395	236	91
2761.427	33.601	510.566	6.213	1.637	10.264	-11	42
2762.671	33.601	510.796	6.213	1.637	6.405	-48	64
2762.671	33.601	510.796	6.213	1.637	4.721	77	144
2762.402	33.435	510.746	6.182	1.637	3.503	253	19
2767.539	33.601	511.696	6.213	1.638	12.671	-3	37
2865.452	463.613	529.800	85.721	1.231	0.000	0	2
3153.111	0.167	582.987	0.031	1.220	0.241	-37	110
3153.111	0.167	582.987	0.031	1.220	0.074	930	98
3155.841	3.278	583.492	0.606	1.221	0.325	47	8
3294.039	0.179	609.044	0.033	1.238	0.067	1370	77
3296.412	1.637	609.483	0.303	1.238	0.199	155	13
3363.568	7.039	621.900	1.301	1.301	2.603	-1	18
3846.938	0.261	711.274	0.048	1.044	0.682	0	9
3914.538	0.261	723.773	0.048	1.051	0.994	0	4
3931.471	0.261	726.904	0.048	1.053	0.375	-7	20
3931.471	0.261	726.904	0.048	1.053	0.115	172	17
3935.297	0.565	727.611	0.105	1.382	0.209	18	6
4066.102	0.428	751.796	0.079	1.401	0.000	0	2
4090.056	0.428	756.225	0.079	1.404	0.000	1	5
4139.116	0.428	765.296	0.079	1.411	0.000	2	19
4153.053	0.428	767.873	0.079	1.413	0.000	130	30
4174.222	0.428	771.787	0.079	1.416	0.000	37	4
4298.194	0.631	794.710	0.117	1.433	0.000	88	30
4382.517	88.326	810.301	16.331	1.445	0.000	0	9
4492.307	88.326	830.601	16.331	1.460	0.000	0	1
4652.513	0.467	860.222	0.086	1.482	0.000	126	30
4652.513	0.467	860.222	0.086	1.482	0.000	-4	14
4926.256	0.163	910.836	0.030	1.467	0.057	607	48
5216.007	0.207	964.411	0.038	1.566	0.148	122	28
5238.782	0.207	968.622	0.038	1.569	0.086	382	38

Fuente: Estefanía Chávez

6056.128	0.369	1119.747	0.068	1.867	0.196	301	26
6061.689	4.849	1120.775	0.897	1.867	0.638	26	6
6061.483	0.369	1120.737	0.068	1.868	1.207	2	13
6257.610	2.363	1157.000	0.437	1.699	0.874	-12	13
6347.174	0.567	1173.580	0.105	1.711	0.210	22	6
6430.944	7.218	1189.049	1.335	1.721	2.689	1	6
6605.950	9.269	1221.407	1.714	1.744	3.428	1	9
6657.909	5.900	1231.014	1.091	1.750	2.182	1	4
6693.535	0.490	1237.601	0.091	1.755	0.000	153	32
6890.471	0.490	1274.014	0.091	1.780	0.000	-14	16
6895.273	0.827	1274.902	0.153	1.780	0.306	12	5
7210.131	1.254	1333.118	0.232	1.819	0.000	35	6
7447.871	0.631	1377.076	0.117	1.849	0.000	73	21
7611.729	0.631	1407.373	0.117	1.868	0.000	44	18
7897.265	0.064	1460.167	0.012	1.831	0.021	4548	133
8157.899	0.298	1508.358	0.055	1.763	0.448	26	14
8584.839	0.298	1587.298	0.055	1.806	0.378	47	5
8608.274	0.298	1591.631	0.055	1.808	0.403	35	17
8608.274	0.298	1591.631	0.055	1.808	0.934	-3	10
9349.848	0.298	1728.746	0.055	1.877	0.346	55	17
9538.618	0.298	1763.649	0.055	1.894	0.177	237	20
9545.189	2.678	1764.864	0.495	1.894	0.520	26	5
9987.187	0.298	1846.588	0.055	1.932	0.469	29	15
11369.888	0.365	2102.245	0.067	2.383	1.492	-2	8
11369.888	0.365	2102.245	0.067	2.383	0.540	39	17
11451.150	0.365	2117.270	0.067	2.389	0.856	12	14
11914.196	0.365	2202.886	0.067	2.419	0.489	57	6
11922.262	3.175	2204.378	0.587	2.420	1.142	9	4
13232.043	0.365	2446.552	0.067	2.484	0.830	15	14
14133.588	0.365	2613.245	0.067	2.507	0.211	324	43
14133.588	0.365	2613.245	0.067	2.507	0.706	-12	36
14141.983	3.175	2614.798	0.587	2.507	0.667	32	6



Fuente: Estefanía Chávez

ANEXO G: Reportes obtenidos del análisis de la muestra de puzolana en el espectrómetro gamma

**Gamma-spectrum
processing report
from 30-05-2016**

Spectrum: C:\Lsrm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD-2016-345.06_Marinelli.spe
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 30-05-2016 13:02:43
Live time: 14399.60 s.
Real time: 14419.00 s.
Comment:

Processing result on 30-05-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq	Relative error, %
K-40	13310	230	1140	5
Ra-226	48300	1600	118	9
Th-232	59000	9000	79	9
Unidentified	10200	600		
Background	1590	50	0	

Operator:

Estefania Chavez

Fuente: Estefanía Chávez

Spectrum processing report

Spectrum: C:\Lsrml\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD-2016-345.06_Marinelli.spe

Configuration: GCD-40180X SN 2169-15

Measured: 30-05-2016 13:02:43

Live time: 14399.60 c.

Real time: 14419.00 c.

Peaks found: 148

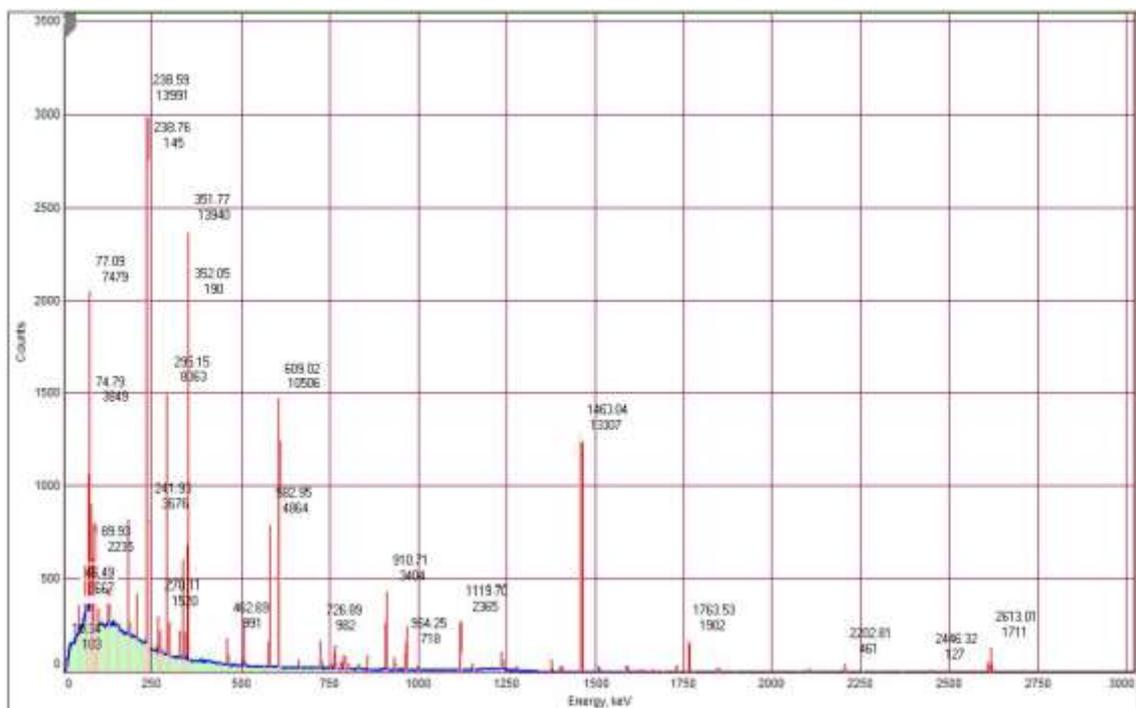
Channel	dChannel	Energy, keV	dE, keV	FW, keV	dFW, keV	Area	Area uncert.
56.004	0.141	10.341	0.026	0.659	0.052	103	49
251.489	0.100	46.486	0.019	0.753	0.078	667	111
342.517	0.124	63.316	0.023	0.623	0.044	896	120
366.367	0.040	67.726	0.007	0.806	0.214	-14	90
367.043	0.040	67.851	0.007	0.806	0.201	-29	67
404.550	0.040	74.786	0.007	0.817	0.023	3849	908
404.550	0.040	74.786	0.007	0.817	0.064	275	720
405.243	2.167	74.914	0.401	0.817	0.118	151	24
405.410	0.040	74.945	0.007	0.817	0.186	33	65
405.410	0.040	74.945	0.007	0.817	0.056	515	527
416.990	0.040	77.086	0.007	0.821	0.048	488	1260
416.990	0.040	77.086	0.007	0.821	0.017	7479	1295
423.626	0.040	78.313	0.007	0.822	0.181	-37	86
435.865	0.040	80.576	0.007	0.826	0.598	-2	11
455.897	0.125	84.280	0.023	1.224	0.373	44	125
455.897	0.125	84.280	0.023	1.224	0.092	1244	295
457.569	0.125	84.589	0.023	1.225	1.747	-1	9
458.528	3.258	84.766	0.602	1.225	0.293	122	28
471.728	0.125	87.207	0.023	1.230	0.054	3544	902
471.728	0.125	87.207	0.023	1.230	0.151	253	628
475.698	0.125	87.941	0.023	1.232	0.219	-152	289
486.435	0.201	89.926	0.037	1.235	0.070	2235	289
501.098	3.258	92.637	0.602	1.241	0.268	152	29
502.193	0.196	92.840	0.036	1.241	0.056	3563	318
538.316	0.465	99.519	0.086	0.861	0.000	413	168
543.156	0.465	100.414	0.086	0.863	0.000	-7	51
658.723	4.805	121.782	0.888	0.888	1.777	5	67
697.647	0.157	128.979	0.029	0.893	0.055	976	117
824.555	44.179	152.444	8.169	0.921	0.000	-4	26
845.951	44.179	156.400	8.169	0.925	0.000	-2	11
970.318	4.107	179.395	0.759	0.948	1.519	-2	9
997.424	5.486	184.407	1.014	1.069	2.228	-17	62
1005.653	149.572	185.928	27.655	1.070	1.293	134	17
1005.915	5.486	185.977	1.014	1.070	0.253	3617	164
1131.753	0.129	209.244	0.024	0.928	0.045	1257	120
1201.338	4.935	222.110	0.912	0.987	1.825	-4	17
1240.344	4.022	229.322	0.744	0.993	1.487	-2	8
1290.460	0.053	238.588	0.010	0.945	0.015	13991	1362
1290.460	0.053	238.588	0.010	0.945	0.040	1484	1326

Fuente: Estefanía Chávez

1291.399	6.242	238.762	1.154	0.945	0.147	145	18
1303.197	0.053	240.943	0.010	0.947	0.113	130	298
1303.197	0.053	240.943	0.010	0.947	0.049	1267	328
1308.513	0.053	241.926	0.010	0.948	0.030	3676	174
1323.262	0.053	244.653	0.010	0.950	0.656	1	15
1427.571	0.172	263.940	0.032	1.399	1.106	-2	9
1460.941	0.172	270.110	0.032	1.408	0.065	1520	138
1499.788	0.246	277.292	0.045	0.978	0.227	67	170
1499.788	0.246	277.292	0.045	0.978	0.104	556	203
1509.734	0.246	279.131	0.045	0.979	0.404	8	88
1516.781	0.246	280.434	0.045	0.980	0.657	-8	26
1596.360	0.113	295.148	0.021	1.003	0.019	8063	188
1597.065	9.472	295.279	1.751	1.003	0.169	100	13
1622.677	0.113	300.014	0.021	1.007	0.057	922	74
1622.677	0.113	300.014	0.021	1.007	0.154	93	71
1626.534	0.113	300.727	0.021	1.007	1.270	-1	2
1773.985	0.157	327.991	0.029	1.065	0.060	799	63
1829.137	0.055	338.188	0.010	1.025	0.020	3137	125
1861.333	0.055	344.141	0.010	1.029	0.249	3	38
1902.585	0.069	351.788	0.013	1.062	0.020	13940	249
1904.109	5.314	352.050	0.982	1.062	0.170	190	15
2222.393	90.869	410.900	16.801	1.139	37.224	-2	9
2223.561	90.869	411.116	16.801	1.139	64.284	0	4
2401.222	4.382	443.965	0.810	1.165	1.620	0	4
2502.492	0.172	462.690	0.032	1.299	0.065	991	98
2760.041	1.716	510.310	0.317	1.060	0.191	669	479
2760.417	0.852	510.379	0.158	1.060	0.184	819	332
2760.579	0.852	510.409	0.158	1.060	0.333	152	295
2761.823	0.852	510.639	0.158	1.060	0.236	310	568
2761.823	0.852	510.639	0.158	1.060	0.611	-34	110
2764.012	0.774	511.044	0.143	1.060	0.357	252	18
2766.691	0.852	511.539	0.158	1.061	0.488	-101	78
2865.436	39.762	529.797	7.352	1.231	0.000	-1	4
3046.347	39.762	563.247	7.352	1.257	0.000	1	4
3050.350	39.762	563.987	7.352	1.257	0.000	0	0
3079.285	39.762	569.337	7.352	1.261	0.000	2	7
3152.895	0.048	582.947	0.009	1.228	0.018	4864	427
3152.895	0.048	582.947	0.009	1.228	0.048	518	437
3268.935	0.045	604.403	0.008	1.274	0.345	10	36
3293.922	0.045	609.023	0.008	1.277	0.018	10506	208
3296.649	2.761	609.527	0.511	1.278	0.144	155	13
3361.960	0.045	621.603	0.008	1.287	0.241	-42	32
3597.757	0.410	665.201	0.076	1.570	0.155	326	60
3846.860	0.161	711.259	0.030	1.314	0.532	-5	23
3931.393	0.161	726.889	0.030	1.326	0.065	982	85
3931.393	0.161	726.889	0.030	1.326	0.178	97	89
4066.182	0.140	751.811	0.026	1.408	1.074	-1	4
4082.390	0.530	754.808	0.098	1.410	0.138	169	45
4153.134	0.140	767.888	0.026	1.420	0.061	953	73
4174.302	0.140	771.802	0.026	1.423	0.132	205	16
4212.678	0.561	778.898	0.104	1.412	1.347	1	10

Fuente: Estefanía Chávez

4247.649	0.561	785.364	0.104	1.417	0.385	56	29
4247.649	0.561	785.364	0.104	1.417	0.256	151	12
4296.578	0.215	794.411	0.040	1.448	0.087	576	66
4301.207	0.215	795.267	0.040	1.448	0.480	7	27
4334.199	0.215	801.367	0.040	1.453	1.474	1	3
4357.429	0.447	805.662	0.083	1.456	0.138	221	50
4379.629	0.215	809.767	0.040	1.459	0.575	-5	19
4492.109	0.952	830.564	0.176	1.460	0.000	-1	4
4515.084	0.952	834.812	0.176	1.463	0.000	72	67
4519.659	0.952	835.658	0.176	1.464	0.000	94	68
4651.352	0.200	860.007	0.037	1.437	0.082	528	125
4651.352	0.200	860.007	0.037	1.437	0.188	56	110
4688.178	0.200	866.816	0.037	1.442	1.527	0	3
4925.581	0.076	910.712	0.014	1.443	0.027	3404	137
5049.291	0.239	933.585	0.044	1.609	0.091	532	60
5211.459	0.103	963.570	0.019	1.535	0.845	1	11
5215.126	0.103	964.248	0.019	1.536	0.072	718	81
5237.901	0.103	968.459	0.019	1.539	0.043	2043	117
5411.204	0.542	1000.502	0.100	1.566	0.000	178	43
5872.904	8.915	1085.969	1.648	1.648	3.297	0	7
6011.303	0.100	1111.459	0.019	1.633	0.826	1	9
6018.718	0.100	1112.830	0.019	1.634	3.555	0	0
6055.874	0.100	1119.700	0.019	1.639	0.036	2365	106
6061.228	0.100	1120.690	0.019	1.639	0.421	-5	27
6244.630	0.419	1154.600	0.078	1.698	0.177	299	50
6257.581	6.598	1156.995	1.220	1.699	0.614	-15	24
6347.174	0.558	1173.560	0.103	1.711	0.206	23	6
6430.915	6.598	1189.044	1.220	1.722	1.143	-2	11
6605.921	6.598	1221.402	1.220	1.744	0.905	-4	18
6657.909	64.605	1231.014	11.945	1.750	1677.438	-2	8
6692.536	0.215	1237.416	0.040	1.700	0.080	840	82
6894.086	9.469	1274.682	1.751	1.780	0.000	-10	32
6924.234	0.718	1280.257	0.133	1.784	0.000	153	43
7209.301	2.271	1332.965	0.420	1.819	0.000	36	7
7447.032	0.236	1376.921	0.044	1.889	0.086	571	62
7576.085	0.479	1400.782	0.089	1.908	0.164	201	37
7610.637	0.343	1407.171	0.064	1.913	0.136	298	46
7610.637	0.343	1407.171	0.064	1.913	0.998	1	10
7896.554	0.039	1460.036	0.007	1.851	0.013	13307	232
8157.554	0.436	1508.294	0.081	2.187	0.165	283	43
8584.711	0.282	1587.274	0.052	1.594	0.140	255	21
8608.146	0.282	1591.607	0.052	1.596	0.259	38	82
8608.146	0.282	1591.607	0.052	1.596	0.217	68	87
8759.397	0.432	1619.573	0.080	1.997	0.000	12	9
8759.397	0.432	1619.573	0.080	1.997	0.000	117	11
8814.168	0.432	1629.700	0.080	2.003	0.000	121	10
8979.210	0.703	1660.216	0.130	2.019	0.000	95	25
9349.247	0.271	1728.635	0.050	1.958	0.096	386	42
9537.974	0.115	1763.530	0.021	2.016	0.040	1902	79
9996.576	0.340	1846.475	0.063	1.781	0.124	232	34
11371.069	0.436	2102.464	0.081	2.558	0.220	198	70



Fuente: Estefanía Chávez

ANEXO H: Reportes obtenidos del análisis de la muestra de azufre en el espectrómetro gamma

**Gamma-spectrum
processing report
from 15-06-2016**

Spectrum: C:\Lsrml\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD-2016-345.11_Marinelli.spe
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 15-06-2016 12:09:02
Live time: 14399.45 s.
Real time: 14404.00 s.
Comment:

Processing result on 15-06-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq	Relative error, %
K-40	1840	90	158	6
Th-232	8300	1500	11.4	12
Ra-226	4400	500	10.5	11
ANNIGL	260	120	1.1	40
Unidentified	690	90		
Background	2010	60	0	

Operator:

Estefania Chavez

Fuente: Estefanía Chávez

Spectrum processing report

Spectrum: C:\Lsrm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD-2016-345.11_Marinelli.spe
 Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
 Measured: 15-06-2016 12:09:02
 Live time: 14399.45 c.
 Real time: 14404.00 c.

Peaks found: 128

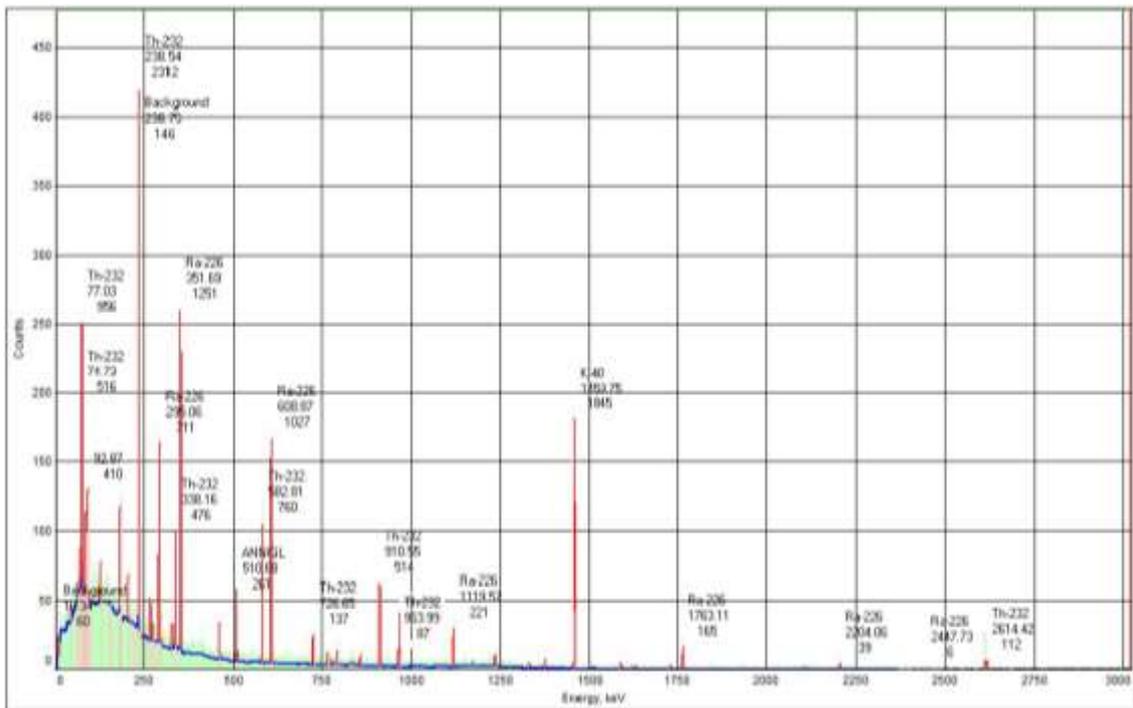
Channel	dChannel	Energy, keV	dE, keV	FW, keV	dFW, keV	Area	Area uncert.
56.004	0.188	10.341	0.034	0.659	0.069	60	15
250.756	0.279	46.350	0.051	0.776	0.103	44	12
342.109	0.238	63.241	0.044	0.808	0.087	51	11
366.496	4.263	67.750	0.788	0.816	1.576	6	27
367.172	1.800	67.875	0.333	0.816	0.666	12	21
404.241	0.113	74.729	0.021	0.824	0.059	516	113
404.241	0.113	74.729	0.021	0.824	0.132	-56	119
405.208	0.672	74.908	0.124	0.824	0.113	150	17
405.101	0.113	74.888	0.021	0.824	0.384	-7	14
405.101	0.113	74.888	0.021	0.824	0.161	37	81
416.685	0.672	77.030	0.124	0.828	0.167	66	14
416.680	0.113	77.029	0.021	0.828	0.045	956	111
416.680	0.113	77.029	0.021	0.828	0.100	-98	209
423.317	0.113	78.256	0.021	0.830	0.267	15	27
435.556	0.113	80.519	0.021	0.833	0.732	-2	3
456.654	0.250	84.420	0.046	0.974	0.377	16	51
458.325	0.250	84.729	0.046	0.975	1.977	0	2
456.192	0.427	84.335	0.079	0.975	0.214	123	16
469.740	0.427	86.840	0.079	0.979	0.270	76	14
472.484	0.250	87.347	0.046	0.979	0.120	379	79
472.484	0.250	87.347	0.046	0.979	0.237	-52	110
476.454	0.250	88.081	0.046	0.980	0.318	-33	52
486.449	0.272	89.929	0.050	0.983	0.139	284	62
498.761	0.427	92.206	0.079	0.988	0.198	149	16
502.362	0.225	92.871	0.042	0.988	0.117	410	69
539.103	1.335	99.665	0.247	0.861	0.000	45	44
543.944	1.335	100.560	0.247	0.863	0.000	3	14
697.593	0.463	128.969	0.086	0.897	0.000	146	52
824.486	3.547	152.431	0.656	0.921	1.312	2	8
845.881	2.432	156.387	0.450	0.925	0.899	1	3
970.318	2.667	179.395	0.493	0.948	0.986	1	4
997.374	4.604	184.398	0.851	1.051	0.939	-17	25
1005.490	11.934	185.898	2.207	1.053	0.426	134	18
1005.865	4.604	185.968	0.851	1.053	0.264	339	69
1131.228	0.343	209.147	0.063	0.975	0.000	185	46
1200.764	0.343	222.004	0.063	0.987	0.000	2	7
1239.770	0.343	229.216	0.063	0.993	0.000	1	3
1290.216	0.223	238.543	0.041	0.954	0.067	2312	288
1290.216	0.223	238.543	0.041	0.954	0.157	-314	269

Fuente: Estefanía Chávez

1291.342	3.331	238.751	0.616	0.954	0.267	146	16
1302.953	0.223	240.898	0.041	0.956	0.437	-28	61
1302.953	0.223	240.898	0.041	0.956	0.201	246	54
1308.252	0.390	241.878	0.072	1.004	0.144	39	12
1308.749	0.280	241.970	0.052	1.004	0.909	380	57
1428.302	2.546	264.075	0.471	1.022	0.942	1	3
1461.239	0.350	270.165	0.065	1.027	0.000	172	46
1499.710	0.350	277.278	0.065	1.033	0.000	85	41
1499.710	0.350	277.278	0.065	1.033	0.000	-14	34
1517.136	1.643	280.500	0.304	1.036	0.608	-6	8
1595.896	0.393	295.062	0.073	0.962	0.089	711	57
1596.861	3.077	295.241	0.569	0.962	0.234	100	14
1622.213	0.393	299.928	0.073	0.966	0.458	-20	18
1622.213	0.393	299.928	0.073	0.966	0.204	134	16
1626.069	0.393	300.641	0.073	0.966	2.238	-1	1
1772.992	0.452	327.807	0.084	1.074	0.000	108	15
1828.961	0.146	338.156	0.027	1.000	0.055	476	46
1902.144	0.262	351.687	0.049	0.996	0.082	1251	73
1903.715	1.878	351.977	0.347	0.997	0.208	190	15
2222.393	1.335	410.900	0.247	1.139	0.494	-2	2
2502.178	0.311	462.631	0.057	1.151	0.111	169	32
2760.655	2.947	510.423	0.545	1.161	1.400	42	75
2760.817	2.947	510.453	0.545	1.162	1.524	-32	69
2762.061	2.947	510.683	0.545	1.162	0.700	261	116
2762.061	2.947	510.683	0.545	1.162	1.341	-60	54
2760.196	2.362	510.338	0.437	1.162	0.775	253	18
2766.928	2.947	511.583	0.545	1.162	2.404	12	30
2865.453	1.242	529.800	0.230	1.231	0.459	-1	2
3152.166	0.147	582.812	0.027	1.160	0.070	760	81
3152.166	0.147	582.812	0.027	1.160	0.158	-110	91
3155.671	1.647	583.460	0.305	1.160	0.274	48	8
3293.085	0.161	608.868	0.030	1.197	0.070	1027	65
3295.890	1.044	609.386	0.193	1.198	0.180	155	13
3363.568	3.894	621.900	0.683	1.301	1.366	5	13
3845.541	0.317	711.015	0.059	0.990	0.563	-5	7
3930.075	0.317	726.645	0.059	0.999	0.143	137	15
3930.075	0.317	726.645	0.059	0.999	0.318	-20	17
3935.297	0.535	727.611	0.099	1.382	0.198	19	6
4065.448	0.407	751.676	0.075	1.401	0.000	-1	2
4152.399	0.407	767.753	0.075	1.413	0.000	66	22
4173.567	0.407	771.667	0.075	1.416	0.000	29	3
4244.304	0.407	784.746	0.075	1.426	0.000	21	2
4296.084	0.407	794.320	0.075	1.433	0.000	82	23
4379.136	0.407	809.676	0.075	1.445	0.000	-5	7
4489.235	0.660	830.032	0.122	1.460	0.000	-1	1
4516.785	0.660	835.126	0.122	1.464	0.000	15	16
4576.678	0.660	846.200	0.122	1.472	0.000	-2	14
4651.292	0.660	859.996	0.122	1.482	0.000	-12	25
4651.292	0.660	859.996	0.122	1.482	0.000	74	23
4924.703	0.178	910.549	0.033	1.519	0.063	514	43
5213.747	0.194	963.993	0.036	1.321	0.151	87	22

Fuente: Estefanía Chávez

5236.522	0.194	968.204	0.036	1.323	0.084	300	32
5609.026	0.194	1037.079	0.036	1.366	1.463	0	2
6055.163	0.378	1119.568	0.070	1.569	0.120	221	20
6054.711	1.660	1119.485	0.307	1.569	0.331	27	6
6060.517	0.378	1120.558	0.070	1.569	0.669	2	10
6253.598	0.378	1156.258	0.070	1.593	0.547	6	11
6340.016	1.660	1172.237	0.307	1.604	0.375	22	5
6425.781	0.745	1188.094	0.138	1.721	0.000	1	5
6600.787	0.745	1220.452	0.138	1.744	0.000	2	7
6652.745	0.745	1230.059	0.138	1.750	0.000	1	3
6691.232	0.745	1237.175	0.138	1.755	0.000	72	24
6692.075	0.745	1237.331	0.138	1.755	0.000	-1	7
6893.331	2.068	1274.543	0.382	1.780	0.765	-17	15
6895.273	0.851	1274.902	0.157	1.780	0.315	12	5
7209.291	0.464	1332.963	0.086	1.819	0.172	32	6
7445.792	0.819	1376.691	0.151	1.849	0.000	61	19
7895.026	0.105	1459.753	0.019	1.784	0.040	1845	87
7901.896	1.337	1461.024	0.247	1.784	0.225	57	7
8581.934	0.374	1586.761	0.069	1.761	0.440	37	4
8605.369	0.374	1591.094	0.069	1.763	0.488	24	15
8605.369	0.374	1591.094	0.069	1.763	0.651	-9	18
8756.626	0.374	1619.061	0.069	1.777	0.657	17	2
8811.397	0.374	1629.188	0.069	1.783	0.655	17	2
9346.943	0.374	1728.209	0.069	1.831	0.466	30	15
9535.713	0.374	1763.112	0.069	1.847	0.220	165	15
9543.881	2.166	1764.622	0.400	1.847	0.552	25	5
9572.479	0.374	1769.910	0.069	1.850	3.213	0	1
11004.272	0.971	2034.644	0.179	2.238	14.670	0	1
11376.252	0.971	2103.422	0.179	2.265	2.370	-7	14
11376.252	0.971	2103.422	0.179	2.265	1.647	21	16
11457.513	0.971	2118.447	0.179	2.270	2.279	9	12
11920.560	0.971	2204.063	0.179	2.299	1.391	39	5
11926.254	4.767	2205.116	0.881	2.300	2.926	8	4
13238.406	0.971	2447.729	0.179	2.360	2.627	6	13
14042.216	0.971	2596.351	0.179	2.381	12.158	0	1
14139.951	0.971	2614.422	0.179	2.383	0.817	112	33
14139.951	0.971	2614.422	0.179	2.383	1.278	-37	31
14145.976	4.767	2615.536	0.881	2.383	1.786	24	6



Fuente: Estefanía Chávez

ANEXO I: Reportes obtenidos del análisis de la muestra de arena macadán en el espectrómetro gamma

**Gamma-spectrum
processing report
from 09-06-2016**

Spectrum: C:\Lsrm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD-2016-345.28_Marinelli.spe
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 09-06-2016 08:49:16
Live time: 14150.89 s.
Real time: 14158.00 s.
Comment:

Processing result on 09-06-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq	Relative error, %
K-40	6230	160	543	5
Cd-109	680	110	48	16
Ra-226	7700	600	18.9	11
Th-232	12300	2100	17.9	11
Unidentified	1500	900		
Background	1910	60	0	

Operator:

Estefania Chavez

Fuente: Estefanía Chávez

Spectrum processing report

Spectrum: C:\Lsrn\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD-2016-345.28_Marinelli.spe

Configuration: GCD-40180X SN 2169-15

Measured: 09-06-2016 08:49:16

Live time: 14150.89 c.

Real time: 14158.00 c.

Peaks found: 129

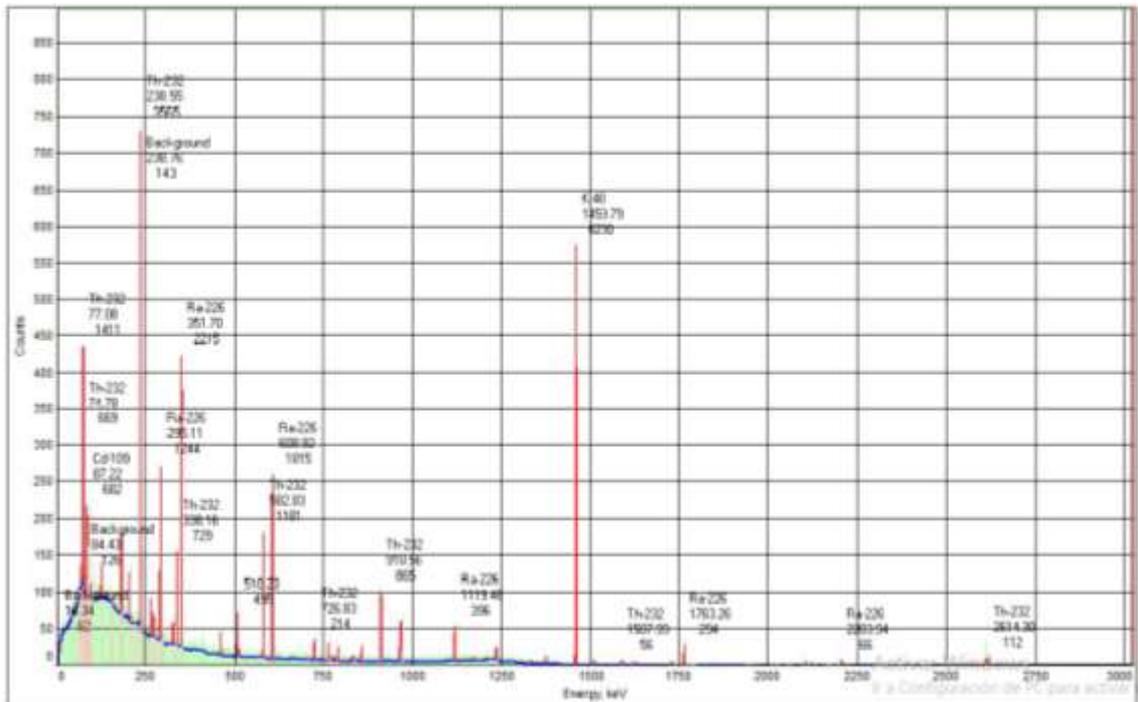
Channel	dChannel	Energy, keV	dE, keV	FW, keV	dFW, keV	Area	Area uncert.
56.004	0.192	10.341	0.036	0.659	0.071	62	16
250.756	0.316	46.350	0.058	0.776	0.117	38	14
342.109	0.235	63.241	0.043	0.808	0.087	51	13
366.518	5.192	67.754	0.960	0.816	0.000	11	39
367.194	5.192	67.879	0.960	0.816	0.000	-26	30
404.537	0.071	74.784	0.013	0.763	0.044	669	160
404.537	0.071	74.784	0.013	0.763	0.199	-2	69
405.254	0.722	74.916	0.133	0.763	0.096	149	17
405.397	0.071	74.943	0.013	0.763	0.580	0	8
405.397	0.071	74.943	0.013	0.763	0.092	110	123
416.718	0.236	77.036	0.044	0.830	0.087	65	14
416.976	0.071	77.084	0.013	0.766	0.031	1411	155
416.976	0.071	77.084	0.013	0.766	0.151	-4	120
423.612	0.071	78.311	0.013	0.768	0.172	-33	33
435.994	25.692	80.600	4.750	0.836	4491.390	3	5
451.985	0.213	83.557	0.039	1.078	0.285	57	69
453.656	0.213	83.866	0.039	1.079	1.804	1	3
456.706	0.716	84.430	0.132	1.079	0.234	126	16
470.254	0.716	86.935	0.132	1.084	0.302	73	15
467.815	0.213	86.484	0.039	1.084	0.304	26	112
467.815	0.213	86.484	0.039	1.084	0.469	-2	66
471.785	0.213	87.218	0.039	1.085	0.100	682	105
486.336	0.299	89.908	0.055	1.088	0.126	423	88
499.275	0.716	92.301	0.132	1.093	0.217	151	17
502.706	0.237	92.935	0.044	1.093	0.106	625	90
537.897	0.328	99.442	0.061	0.861	0.000	92	57
542.738	0.328	100.337	0.061	0.863	0.000	6	18
697.748	0.328	128.998	0.061	0.897	0.000	243	64
824.410	20.429	152.417	3.777	0.921	0.000	3	10
845.805	20.429	156.373	3.777	0.925	0.000	1	4
970.242	20.429	179.381	3.777	0.948	0.000	1	5
997.265	4.067	184.377	0.752	1.053	0.512	23	36
1005.612	16.316	185.921	3.017	1.055	0.280	131	16
1005.757	4.067	185.947	0.752	1.055	0.138	534	79
1131.572	0.239	209.210	0.044	0.977	0.092	376	65
1201.319	21.745	222.106	4.020	0.987	0.000	3	9
1240.324	21.745	229.318	4.020	0.993	0.000	1	4
1290.246	0.149	238.549	0.028	0.937	0.043	3565	399
1290.246	0.149	238.549	0.028	0.937	0.187	-11	376

Fuente: Estefanía Chávez

1291.378	4.069	238.758	0.752	0.937	0.217	143	15
1302.982	0.149	240.904	0.028	0.939	0.631	-1	33
1302.982	0.149	240.904	0.028	0.939	0.132	375	69
1308.252	0.390	241.878	0.072	1.004	0.144	38	11
1308.749	0.205	241.970	0.038	1.004	0.639	567	69
1428.540	44.457	264.119	8.220	1.022	0.000	1	4
1460.420	0.248	270.014	0.046	0.958	0.119	274	58
1498.890	0.248	277.127	0.046	0.963	0.158	148	55
1498.890	0.248	277.127	0.046	0.963	0.679	-1	19
1517.121	7.059	280.497	1.305	1.036	0.000	8	12
1596.172	0.305	295.114	0.056	0.971	0.061	1244	79
1596.991	4.160	295.265	0.769	0.971	0.212	98	14
1622.489	0.305	299.980	0.056	0.975	0.610	-1	25
1622.489	0.305	299.980	0.056	0.975	0.147	208	24
1626.345	0.305	300.693	0.056	0.976	1.687	1	2
1773.435	0.386	327.889	0.071	1.074	0.000	171	22
1829.003	0.132	338.163	0.024	0.999	0.048	729	65
1902.236	0.162	351.704	0.030	1.023	0.054	2215	99
1903.937	2.076	352.019	0.384	1.023	0.183	187	15
2222.382	31.478	410.898	5.820	1.139	0.000	2	5
2502.683	0.369	462.725	0.068	1.436	0.141	254	47
2759.620	1.713	510.232	0.317	1.216	0.000	495	952
2757.591	5.674	509.857	1.049	1.216	0.000	2	91
2757.754	5.674	509.887	1.049	1.216	0.000	-1	40
2758.997	5.674	510.117	1.049	1.217	0.000	17	75
2758.997	5.674	510.117	1.049	1.217	0.000	-135	940
2761.005	1.077	510.488	0.199	1.217	0.000	253	17
2763.865	5.674	511.017	1.049	1.217	0.000	-7	51
2865.485	14.317	529.806	2.647	1.231	0.000	2	3
3046.396	14.317	563.256	2.647	1.257	0.000	3	5
3077.327	0.111	568.975	0.021	1.210	0.549	7	9
3152.238	0.111	582.826	0.021	1.220	0.216	-4	132
3152.238	0.111	582.826	0.021	1.220	0.052	1181	120
3155.783	2.327	583.481	0.430	1.220	0.258	46	8
3268.386	0.130	604.301	0.024	1.304	0.395	26	23
3293.373	0.130	608.921	0.024	1.308	0.055	1815	97
3296.382	1.476	609.478	0.273	1.308	0.189	152	14
3363.568	7.039	621.900	1.301	1.301	2.603	-3	23
3849.244	6.826	711.700	1.262	1.370	0.000	7	12
3914.117	0.453	723.695	0.084	1.446	1.693	0	5
3931.051	0.453	726.826	0.084	1.449	0.708	-1	28
3931.051	0.453	726.826	0.084	1.449	0.171	214	25
4065.296	0.364	751.647	0.067	1.479	1.322	2	2
4089.249	0.364	756.076	0.067	1.483	1.328	0	5
4138.309	0.364	765.147	0.067	1.490	0.666	0	21
4152.247	0.364	767.724	0.067	1.492	0.154	187	36
4173.415	0.364	771.638	0.067	1.495	0.319	46	5
4245.711	1.733	785.006	0.321	1.426	0.000	33	3
4295.577	0.509	794.226	0.094	1.433	0.000	133	36
4300.207	0.509	795.082	0.094	1.434	0.000	18	16
4333.198	0.509	801.182	0.094	1.438	0.000	0	4

Fuente: Estefanía Chávez

4390.061	1.506	809.847	0.278	1.445	0.000	7	12
4489.852	1.506	830.147	0.278	1.480	0.000	1	2
4517.402	1.506	835.241	0.278	1.464	0.000	34	27
4651.805	0.450	860.091	0.083	1.482	0.000	0	16
4651.805	0.450	860.091	0.083	1.482	0.000	160	39
4924.754	0.162	910.559	0.030	1.614	0.056	865	63
5214.342	0.197	964.103	0.037	1.565	0.147	151	35
5237.116	0.197	968.314	0.037	1.568	0.084	495	47
6054.691	0.254	1119.481	0.047	1.497	0.101	396	31
6061.869	0.512	1120.808	0.095	1.673	0.189	26	6
6064.530	18.574	1121.300	3.434	1.674	228.900	4	13
6257.813	4.608	1157.038	0.852	1.699	0.000	-13	15
6347.174	0.555	1173.560	0.103	1.711	0.205	23	6
6431.147	4.608	1189.087	0.852	1.721	0.000	2	6
6606.153	4.608	1221.445	0.852	1.744	0.000	3	11
6657.909	57.360	1231.014	10.606	1.750	0.000	1	4
6691.580	0.584	1237.240	0.108	1.755	0.000	158	37
6888.517	0.584	1273.653	0.108	1.780	0.000	5	21
6895.273	0.837	1274.902	0.155	1.780	0.310	12	5
7209.291	0.486	1332.963	0.090	1.819	0.180	30	6
7445.235	0.657	1376.588	0.121	1.849	0.000	97	25
7895.249	0.056	1459.795	0.010	1.867	0.019	6230	156
8157.178	1.009	1508.225	0.187	1.931	0.000	48	18
8588.581	0.715	1587.990	0.132	1.978	0.000	56	6
8612.015	0.715	1592.323	0.132	1.981	0.000	0	10
8612.015	0.715	1592.323	0.132	1.981	0.000	26	19
8763.272	0.715	1620.290	0.132	1.997	0.000	26	3
8818.043	0.715	1630.417	0.132	2.003	0.000	26	3
9347.748	0.340	1728.357	0.063	1.958	0.434	40	15
9536.518	0.340	1763.260	0.063	1.976	0.173	294	23
9542.391	3.660	1764.346	0.677	1.976	0.572	25	5
11368.847	1.105	2102.053	0.204	2.224	0.000	50	19
11368.847	1.105	2102.053	0.204	2.224	0.000	0	8
11450.108	1.105	2117.078	0.204	2.230	0.000	21	14
11919.880	0.820	2203.937	0.152	2.330	0.571	66	8
11926.266	1.422	2205.118	0.263	2.259	0.526	7	4
14139.271	0.820	2614.296	0.152	2.414	1.013	-1	44
14139.271	0.820	2614.296	0.152	2.414	0.425	112	48
14145.987	1.921	2615.538	0.355	2.340	13.137	24	6



Fuente: Estefanía Chávez

ANEXO J: Reportes obtenidos del análisis de la muestra de caliza en el espectrómetro gamma

**Gamma-spectrum
processing report
from 14-06-2016**

Spectrum: C:\LsrmlWork\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD-2016-345.34_Marinelli.spe
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 14-06-2016 05:26:44
Live time: 14399.85 s.
Real time: 14404.00 s.
Comment:

Processing result on 14-06-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/kg	Relative error, %
K-40	1130	70	79	7
Ra-226	5700	500	11.2	11
Th-232	3000	800	2.7	17
Unidentified	340	60		
Background	2010	60	0	

Operator:

Estefania Chavez

Fuente: Estefanía Chávez

Spectrum processing report

Spectrum: C:\Lsrm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD-2016-345.34_Marinelli.spe

Configuration: GCD-40180X SN 2169-15

Measured: 14-06-2016 05:26:44

Live time: 14399.85 c.

Real time: 14404.00 c.

Peaks found: 124

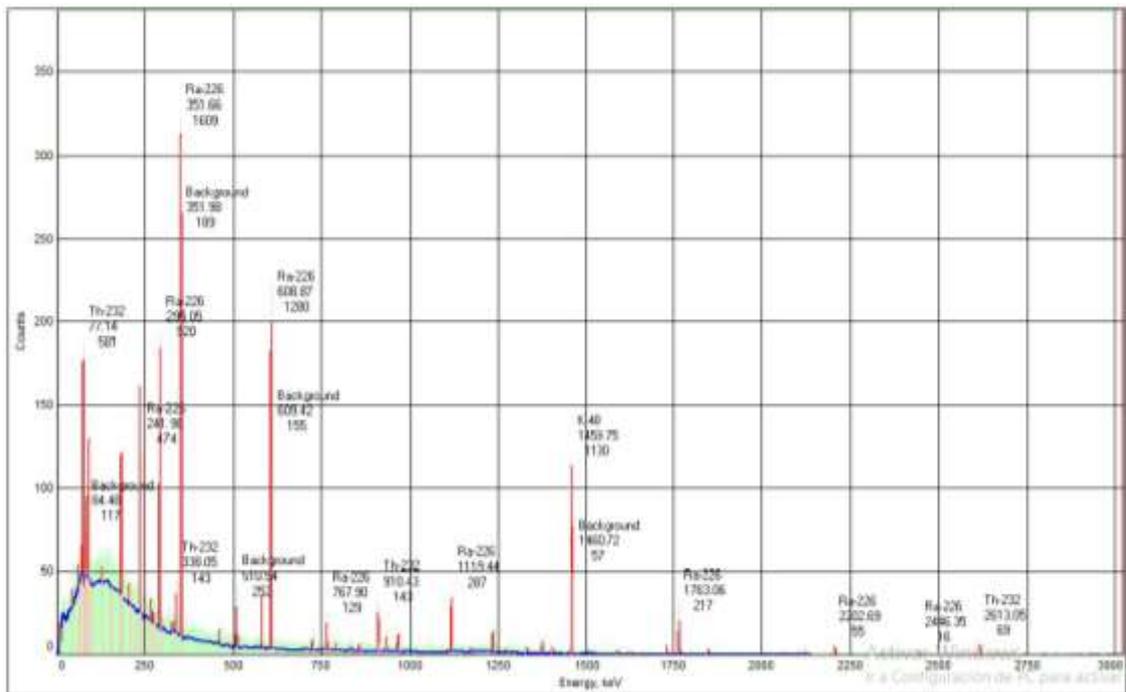
Channel	dChannel	Energy, keV	dE, keV	FW, keV	dFW, keV	Area	Area uncert.
56.004	0.224	10.341	0.041	0.659	0.083	44	14
250.756	0.273	46.350	0.050	0.776	0.101	44	13
342.109	0.220	63.241	0.041	0.808	0.081	55	12
366.496	4.386	67.750	0.811	0.816	1.622	-5	27
367.172	1.385	67.875	0.256	0.816	0.512	-13	20
404.827	0.116	74.837	0.022	0.783	0.095	255	61
404.827	0.116	74.837	0.022	0.783	0.323	-10	30
403.635	0.306	74.617	0.057	0.783	0.128	149	17
415.112	0.306	76.739	0.057	0.786	0.189	67	14
417.266	0.116	77.137	0.022	0.786	0.065	581	75
417.266	0.116	77.137	0.022	0.786	0.245	-17	52
423.903	0.116	78.364	0.022	0.788	0.306	-17	22
436.142	0.116	80.627	0.022	0.791	1.065	1	3
456.219	0.116	84.709	0.022	0.796	1.398	0	2
456.962	0.306	84.477	0.057	0.796	0.147	117	15
470.510	0.306	86.982	0.057	0.800	0.181	75	14
472.378	0.116	87.327	0.022	0.800	0.116	174	53
472.378	0.116	87.327	0.022	0.800	0.344	-9	27
500.818	1.006	92.586	0.186	0.866	0.144	268	62
501.432	1.898	92.699	0.351	0.866	0.196	152	17
543.235	19.179	100.429	3.546	0.876	0.834	-3	13
698.113	1.347	129.065	0.249	0.897	0.000	44	39
824.486	3.530	152.431	0.653	0.921	1.305	-1	7
845.881	2.321	156.387	0.429	0.925	0.858	-1	3
970.318	2.555	179.395	0.472	0.948	0.945	-1	3
997.256	9.438	184.376	1.745	1.117	1.562	5	25
1005.551	29.829	185.909	5.515	1.119	0.552	134	17
1005.747	9.438	185.946	1.745	1.119	0.308	425	67
1131.261	0.962	209.153	0.178	0.975	0.000	67	42
1200.797	0.962	222.010	0.178	0.987	0.000	-1	8
1239.803	0.962	229.222	0.178	0.993	0.000	-1	4
1290.309	0.220	238.560	0.041	0.931	0.142	-54	132
1290.309	0.220	238.560	0.041	0.931	0.058	657	149
1291.047	1.146	238.697	0.212	0.931	0.126	144	15
1303.046	0.220	240.915	0.041	0.933	0.164	70	40
1303.046	0.220	240.915	0.041	0.933	0.445	-5	15
1307.895	1.146	241.812	0.212	0.934	0.234	39	12
1308.362	0.220	241.898	0.041	0.934	0.070	474	59
1426.380	0.627	263.719	0.116	1.022	0.000	-1	3

Fuente: Estefanía Chávez

1459.750	0.627	269.889	0.116	1.027	0.000	76	32
1498.220	0.627	277.002	0.116	1.033	0.000	-2	8
1498.220	0.627	277.002	0.116	1.033	0.000	35	29
1516.233	0.586	280.333	0.108	1.028	1.500	2	8
1595.851	0.586	295.054	0.108	1.039	0.120	920	59
1596.922	5.703	295.252	1.055	1.040	0.359	100	13
1622.168	0.586	299.920	0.108	1.043	0.571	39	6
1622.168	0.586	299.920	0.108	1.043	1.355	-3	8
1772.559	0.357	327.727	0.066	1.074	0.000	33	6
1828.407	0.357	338.053	0.066	1.082	0.000	143	25
1901.980	0.173	351.657	0.032	1.006	0.061	1609	87
1903.747	1.572	351.983	0.291	1.006	0.177	189	16
2222.393	2.485	410.900	0.460	1.139	0.919	1	2
2502.316	0.747	462.657	0.138	1.180	0.000	58	24
2762.673	13.208	510.796	2.442	2.081	2.944	4	68
2762.836	13.208	510.826	2.442	2.081	4.548	-6	20
2764.080	13.208	511.056	2.442	2.081	2.356	-29	56
2764.080	13.208	511.056	2.442	2.081	1.312	117	126
2761.274	3.969	510.538	0.734	2.081	1.069	252	20
2768.947	13.208	511.956	2.442	2.082	3.290	-14	30
2865.453	2.087	529.800	0.386	1.231	0.772	0	2
3152.122	0.481	582.804	0.089	1.272	0.586	-19	46
3152.122	0.481	582.804	0.089	1.272	0.246	221	36
3155.249	2.363	583.382	0.437	1.273	0.532	47	8
3293.111	0.125	608.873	0.023	1.212	0.055	1280	71
3296.076	0.963	609.421	0.178	1.213	0.157	155	12
3330.051	0.125	615.703	0.023	1.217	1.950	0	1
3363.568	2.878	621.900	0.532	1.301	1.064	-6	11
3846.642	0.368	711.219	0.068	1.370	0.000	2	8
3914.242	0.368	723.718	0.068	1.379	0.000	2	3
3931.176	0.368	726.849	0.068	1.382	0.000	-4	8
3931.176	0.368	726.849	0.068	1.382	0.000	41	7
3934.418	2.132	727.448	0.394	1.382	0.000	19	6
4066.224	0.368	751.819	0.068	1.401	0.000	0	2
4090.178	0.368	756.248	0.068	1.404	0.000	2	4
4139.237	0.368	765.319	0.068	1.411	0.000	10	15
4153.175	0.368	767.896	0.068	1.413	0.000	129	27
4174.343	0.368	771.810	0.068	1.416	0.000	9	1
4296.098	1.207	794.322	0.223	1.433	0.000	29	18
4379.149	1.207	809.878	0.223	1.445	0.000	2	7
4488.130	0.280	829.828	0.052	1.061	1.712	0	1
4515.681	0.280	834.922	0.052	1.064	0.401	11	11
4650.188	0.280	859.792	0.052	1.078	0.276	27	15
4650.188	0.280	859.792	0.052	1.078	0.707	-2	6
4924.076	0.280	910.433	0.052	1.105	0.135	143	22
4930.758	1.376	911.669	0.254	1.105	0.336	22	6
5049.373	0.650	933.600	0.120	1.537	0.000	69	22
5213.561	0.508	963.958	0.094	1.560	0.000	38	17
5236.336	0.508	968.169	0.094	1.563	0.000	86	16
5676.374	0.312	1049.531	0.058	1.594	2.401	-1	1
6054.476	0.312	1119.441	0.058	1.644	0.154	287	23

Fuente: Estefanía Chávez

6059.133	3.516	1120.302	0.650	1.644	0.485	27	6
6059.830	0.312	1120.431	0.058	1.644	1.029	-2	9
6252.230	0.512	1156.005	0.095	1.699	0.000	-7	9
6343.562	1.843	1172.892	0.341	1.711	0.000	20	5
6425.564	0.512	1188.054	0.095	1.721	0.000	-1	4
6600.570	0.512	1220.412	0.095	1.744	0.000	-1	7
6652.529	0.512	1230.019	0.095	1.750	0.000	-1	3
6691.015	0.512	1237.135	0.095	1.755	0.000	119	25
6887.536	0.730	1273.471	0.135	1.780	0.000	-8	14
6895.273	0.854	1274.902	0.158	1.780	0.316	12	4
7207.435	1.306	1332.620	0.241	1.819	0.000	32	6
7445.501	0.730	1376.637	0.135	1.849	0.000	69	19
7615.155	1.960	1408.006	0.362	1.868	0.000	26	15
7895.027	0.151	1459.754	0.028	1.778	0.061	1130	69
7900.260	1.671	1460.721	0.309	1.778	0.266	57	7
8162.580	4.682	1509.223	0.866	1.931	0.000	10	14
8581.678	0.293	1586.713	0.054	1.825	0.754	11	2
8605.113	0.293	1591.046	0.054	1.827	1.337	-1	5
8605.113	0.293	1591.046	0.054	1.827	0.611	12	13
8756.370	0.293	1619.013	0.054	1.842	1.126	5	1
8811.141	0.293	1629.140	0.054	1.847	1.125	5	1
9346.688	0.293	1728.161	0.054	1.897	0.354	51	16
9535.458	0.293	1763.064	0.054	1.914	0.182	217	18
9547.315	1.449	1765.257	0.268	1.914	0.533	24	5
9984.026	0.293	1846.003	0.054	1.952	0.432	35	14
11368.812	0.293	2102.046	0.054	2.051	0.696	11	13
11368.812	0.293	2102.046	0.054	2.051	1.708	-1	4
11450.074	0.293	2117.071	0.054	2.056	0.599	18	13
11913.121	0.293	2202.687	0.054	2.083	0.392	55	6
11926.254	1.449	2205.116	0.268	2.083	0.898	9	4
13230.967	0.293	2446.353	0.054	2.138	0.637	16	13
14132.512	0.293	2613.046	0.054	2.158	0.822	-6	15
14132.512	0.293	2613.046	0.054	2.158	0.353	69	15
14145.975	1.449	2615.536	0.268	2.158	0.566	27	5



Fuente: Estefanía Chávez

ANEXO K: Reportes obtenidos del análisis de la muestra de feldespato en el espectrómetro gamma

**Gamma-spectrum
processing report
from 16-06-2016**

Spectrum: C:\Lsrm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD-2016-345.40_Marinelli.spe
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 16-06-2016 12:54:07
Live time: 14399.90 s.
Real time: 14406.00 s.
Comment:

Processing result on 16-06-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq	Relative error, %
K-40	4340	130	372	5
Th-232	14500	2200	18.9	11
Ra-226	4800	500	11.5	11
ANNIGL	350	130	1.5	40
Unidentified	1130	120		
Background	1960	60	0	

Operator:

Estefania Chavez

Fuente: Estefanía Chávez

Spectrum processing report

Spectrum: C:\LsrmlWork\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD-2016-345.40_Marinelli.spe

Configuration: GCD-40180X SN 2169-15

Measured: 16-06-2016 12:54:07

Live time: 14399.90 c.

Real time: 14408.00 c.

Peaks found: 131

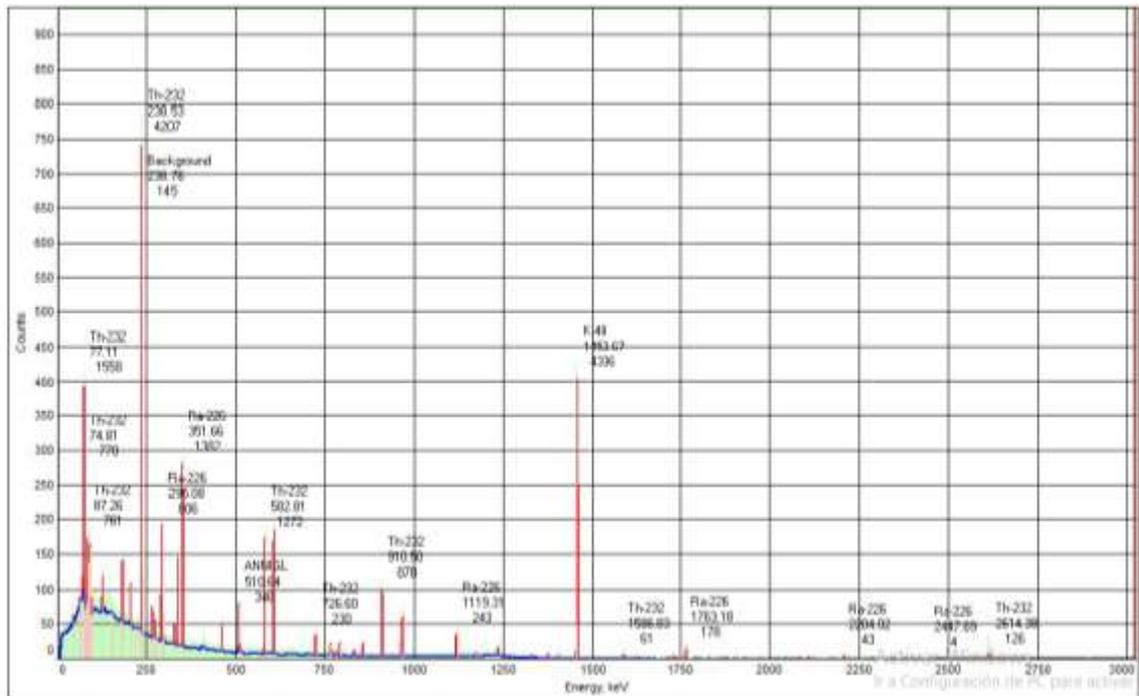
Channel	dChannel	Energy, keV	dE, keV	FW, keV	dFW, keV	Area	Area uncert.
250.756	0.296	46.350	0.055	0.776	0.109	41	13
342.109	0.230	63.241	0.042	0.808	0.085	53	12
366.496	3.581	67.750	0.662	0.816	1.324	9	34
367.172	4.412	67.875	0.816	0.816	1.632	1	26
404.679	0.083	74.810	0.015	0.827	0.123	-75	190
404.679	0.083	74.810	0.015	0.827	0.053	770	187
405.242	0.812	74.914	0.150	0.827	0.123	150	20
405.539	0.083	74.969	0.015	0.827	0.153	39	145
405.539	0.083	74.969	0.015	0.827	0.359	-9	22
416.718	0.234	77.036	0.043	0.830	0.087	66	16
417.118	0.083	77.110	0.015	0.830	0.093	-131	333
417.118	0.083	77.110	0.015	0.830	0.038	1558	178
423.755	0.083	78.337	0.015	0.832	0.378	2	36
435.994	3699.430	80.600	684.014	0.836	2130560.15	0	5
456.210	0.221	84.338	0.041	1.215	0.162	195	73
457.338	0.820	84.547	0.152	1.215	0.215	124	16
470.886	0.820	87.052	0.152	1.221	0.275	75	14
472.040	0.221	87.265	0.041	1.221	0.206	-69	149
472.040	0.221	87.265	0.041	1.221	0.087	761	118
476.010	0.221	87.999	0.041	1.222	0.338	-12	83
486.358	0.237	89.912	0.044	1.226	0.105	518	84
499.908	0.820	92.418	0.152	1.231	0.198	153	16
502.909	0.250	92.973	0.046	1.232	0.098	615	84
537.248	0.653	99.322	0.121	0.861	0.000	108	56
542.089	0.653	100.217	0.121	0.863	0.000	5	17
697.646	0.309	128.979	0.057	0.897	0.000	249	61
824.486	3.227	152.431	0.597	0.921	1.193	3	10
845.881	3.441	156.387	0.636	0.925	1.273	1	5
970.318	3.322	179.395	0.614	0.948	1.228	1	6
996.683	45.263	184.270	8.369	1.111	6.786	0	31
1005.361	141.897	185.874	26.236	1.112	2.270	134	17
1005.174	45.263	185.840	8.369	1.112	1.268	419	73
1131.169	0.232	209.136	0.043	0.979	0.087	347	58
1201.338	3.400	222.110	0.629	0.987	1.257	2	8
1240.344	2.571	229.322	0.475	0.993	0.951	1	4
1290.163	0.130	238.533	0.024	0.957	0.105	-420	378
1290.163	0.130	238.533	0.024	0.957	0.039	4207	400
1291.379	3.681	238.758	0.681	0.957	0.210	145	15
1302.899	0.130	240.888	0.024	0.959	0.121	432	67

Fuente: Estefanía Chávez

1302.899	0.130	240.888	0.024	0.959	0.296	-37	80
1308.252	0.387	241.878	0.072	1.004	0.143	39	11
1308.749	0.258	241.970	0.048	1.004	1.664	337	59
1428.302	2.522	264.075	0.466	1.022	0.933	1	4
1460.838	0.253	270.091	0.047	1.253	0.123	328	56
1499.308	0.253	277.204	0.047	1.261	0.369	-19	42
1499.308	0.253	277.204	0.047	1.261	0.156	198	53
1517.136	5.602	280.500	1.036	1.036	2.072	0	10
1596.002	0.278	295.082	0.051	0.940	0.063	806	57
1596.832	2.426	295.236	0.449	0.941	0.177	101	13
1622.319	0.278	299.948	0.051	0.944	0.120	223	23
1622.319	0.278	299.948	0.051	0.944	0.296	-26	24
1626.175	0.278	300.661	0.051	0.945	2.303	0	1
1772.550	0.344	327.725	0.064	1.074	0.000	185	22
1828.681	0.117	338.104	0.022	1.066	0.043	775	59
1901.997	0.232	351.660	0.043	1.008	0.077	1382	80
1903.681	1.827	351.971	0.338	1.008	0.206	190	15
2222.393	4.671	410.900	0.864	1.139	1.727	0	3
2502.621	0.257	462.713	0.048	1.046	0.092	220	38
2760.415	0.883	510.379	0.163	1.018	0.803	48	90
2760.577	0.883	510.409	0.163	1.018	0.816	-43	94
2761.821	0.883	510.639	0.163	1.018	1.113	18	60
2761.821	0.883	510.639	0.163	1.018	0.383	346	134
2759.646	1.446	510.237	0.267	1.018	0.481	253	17
2766.689	0.883	511.539	0.163	1.019	1.655	-6	31
2865.453	3.536	529.800	0.654	1.231	1.308	0	2
3046.365	2.121	563.250	0.392	1.257	0.784	-1	3
3079.302	2.775	569.340	0.513	1.261	1.026	-2	5
3152.161	0.108	582.812	0.020	1.198	0.128	-147	133
3152.161	0.108	582.812	0.020	1.198	0.051	1272	122
3155.775	2.005	583.480	0.371	1.198	0.262	47	8
3268.006	0.145	604.231	0.027	1.098	0.491	-10	17
3292.993	0.145	608.851	0.027	1.101	0.065	1038	65
3295.660	0.972	609.344	0.180	1.102	0.168	155	12
3361.031	0.145	621.431	0.027	1.110	0.704	-3	13
3845.288	0.321	710.969	0.059	1.221	0.976	0	10
3912.888	0.321	723.468	0.059	1.230	1.158	1	5
3929.822	0.321	726.599	0.059	1.232	0.346	-27	26
3929.822	0.321	726.599	0.059	1.232	0.141	230	23
3935.297	0.535	727.611	0.099	1.382	0.198	19	6
4065.141	0.465	751.619	0.086	1.401	0.000	0	2
4089.095	0.465	756.048	0.086	1.404	0.000	2	6
4138.155	0.465	765.119	0.086	1.411	0.000	7	23
4152.092	0.465	767.696	0.086	1.413	0.000	123	34
4173.261	0.465	771.610	0.086	1.416	0.000	49	6
4246.119	1.427	785.081	0.264	1.426	0.000	36	3
4295.833	0.397	794.273	0.073	1.433	0.000	157	33
4300.463	0.397	795.129	0.073	1.434	0.000	-7	12
4333.454	0.397	801.229	0.073	1.438	0.000	-1	2
4376.957	0.790	809.273	0.146	1.445	0.000	0	9
4486.747	0.790	829.573	0.146	1.460	0.000	0	2

Fuente: Estefanía Chávez

4514.298	0.790	834.667	0.146	1.464	0.000	62	24
4650.308	0.379	859.814	0.070	1.473	0.151	177	34
4650.308	0.379	859.814	0.070	1.473	0.362	-16	35
4924.462	0.142	910.505	0.026	1.593	0.051	878	58
5214.167	0.167	964.070	0.031	1.483	0.116	166	32
5236.942	0.167	968.281	0.031	1.486	0.070	480	44
6053.776	0.277	1119.312	0.051	1.325	0.115	243	21
6061.227	1.833	1120.689	0.339	1.325	0.332	27	6
6059.130	0.277	1120.302	0.051	1.325	0.596	3	12
6257.610	9.188	1157.000	1.699	1.699	3.398	1	13
6347.174	0.593	1173.560	0.110	1.711	0.219	21	6
6430.944	5.058	1189.049	0.935	1.721	1.871	2	6
6605.950	6.066	1221.407	1.122	1.744	2.243	2	9
6657.909	4.362	1231.014	0.806	1.750	1.613	1	4
6690.577	0.774	1237.054	0.143	1.755	0.000	96	28
6887.514	0.774	1273.467	0.143	1.780	0.000	5	17
6895.273	0.799	1274.902	0.148	1.780	0.296	13	4
7199.733	1.286	1331.196	0.238	1.819	0.000	34	6
7445.379	0.742	1376.615	0.137	1.849	0.000	58	20
7609.238	0.742	1406.912	0.137	1.868	0.000	33	17
7894.590	0.069	1459.673	0.013	1.845	0.024	4336	131
7903.161	1.315	1461.258	0.243	1.845	0.202	57	7
8155.387	0.424	1507.893	0.078	1.983	0.966	4	14
8582.327	0.424	1586.833	0.078	2.032	0.418	61	6
8605.761	0.424	1591.166	0.078	2.034	0.684	-12	25
8605.761	0.424	1591.166	0.078	2.034	0.447	47	19
8757.018	0.424	1619.133	0.078	2.051	0.622	28	3
8811.789	0.424	1629.260	0.078	2.057	0.622	28	3
9347.336	0.424	1728.281	0.078	2.112	0.484	44	16
9536.106	0.424	1763.184	0.078	2.131	0.258	178	16
9540.802	3.713	1764.053	0.686	2.131	0.665	25	5
9992.066	2.941	1847.490	0.544	2.116	0.000	17	14
11376.028	1.024	2103.381	0.189	2.279	0.996	38	17
11376.028	1.024	2103.381	0.189	2.279	1.573	-9	19
11457.290	1.024	2118.406	0.189	2.285	1.949	6	12
11920.337	1.024	2204.022	0.189	2.314	1.022	43	5
11926.266	1.351	2205.118	0.250	2.259	0.500	7	4
13238.183	1.024	2447.688	0.189	2.375	2.163	4	13
14139.728	1.024	2614.381	0.189	2.398	0.841	-49	45
14139.728	1.024	2614.381	0.189	2.398	0.584	126	47
14145.987	1.757	2615.538	0.325	2.340	16.684	25	6



Fuente: Estefanía Chávez

ANEXO L: Reporte General del análisis de espectrometría gamma entregado al cliente por el Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva de la SCAN

 <p>Ministerio de Electricidad y Energía Renovable</p>	<p>INFORME DE ANÁLISIS DE CONTENIDO RADIACTIVO</p> <p>MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES LABORATORIO DE VIGILANCIA AMBIENTAL RADIACTIVA</p>																																																																													
<p>INFORME DE ANÁLISIS N°: ICAE-ARAD-2019-048</p>																																																																														
<p>SOLICITANTE:</p> <p>Muestra de (material): Muestreado por: Número de muestra(s): Fecha de ingreso al laboratorio: Fecha de Análisis Instrumental: Fecha de emisión del informe:</p>	<p>ESPOCH - ESTEFANIA CHÁVEZ</p> <p>Materiales de Construcción ESPOCH - ESTEFANIA CHÁVEZ 47 muestra de arena: 08 de mayo del 2019 20 de mayo al 18 de junio del 2019 20 de junio del 2019</p>																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CÓDIGO LABORATORIO</th> <th>CÓDIGO IDENTIFICACIÓN</th> <th>FECHA DE ENVÍO</th> <th>Radioactividad Bq/Kg</th> <th>U-235 Bq/Kg</th> <th>U-238 Bq/Kg</th> <th>Th-232 Bq/Kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ARAD-2019-348.01</td> <td>ARENA DE RIO - PALLATANGA - PALLATANGA</td> <td>03/02/2019</td> <td>5,50</td> <td>247</td> <td>5,37</td> <td>5,06</td> </tr> <tr> <td>ARAD-2019-348.02</td> <td>ARENA DE RIO-LA CAROLINA - CHIMBO</td> <td>26/02/2019</td> <td>5,50</td> <td>461</td> <td>30,34</td> <td>23,79</td> </tr> <tr> <td>ARAD-2019-348.03</td> <td>ARENA MACADAR - CARAMALITE - CHUNCHO</td> <td>28/02/2019</td> <td>5,50</td> <td>386</td> <td>6,40</td> <td>9,15</td> </tr> <tr> <td>ARAD-2019-348.04</td> <td>FUZO LAMA - CHANGARAWI 2 - COLTA</td> <td>26/02/2019</td> <td>5,50</td> <td>1880</td> <td>113,26</td> <td>71,31</td> </tr> <tr> <td>ARAD-2019-348.05</td> <td>FUZO LAMA - CHANGARAWI - COLTA</td> <td>26/02/2019</td> <td>5,50</td> <td>1628</td> <td>101,06</td> <td>66,01</td> </tr> <tr> <td>ARAD-2019-348.06</td> <td>FUZO LAMA SAN PEDRO - COLTA</td> <td>26/02/2019</td> <td>5,50</td> <td>1087</td> <td>113,52</td> <td>70,06</td> </tr> <tr> <td>ARAD-2019-348.07</td> <td>FUZO LAMA - PUJUNPALAG - BOGOTÁ</td> <td>21/02/2019</td> <td>5,50</td> <td>1117</td> <td>108,06</td> <td>72,52</td> </tr> <tr> <td>ARAD-2019-348.08</td> <td>ARENA MACADAR SAN FRANCISCO - CHUNCHO</td> <td>01/03/2019</td> <td>5,50</td> <td>43,07</td> <td>14,53</td> <td>6,40</td> </tr> <tr> <td>ARAD-2019-348.09</td> <td>ARENA MACADAR MACARI 2 - BOGOTÁ</td> <td>01/03/2019</td> <td>5,50</td> <td>353</td> <td>13,09</td> <td>12,38</td> </tr> <tr> <td>ARAD-2019-348.10</td> <td>ARENA MACADAR GUAMO VILLA - BOGOTÁ</td> <td>01/03/2019</td> <td>5,50</td> <td>404</td> <td>16,72</td> <td>22,31</td> </tr> </tbody> </table>		CÓDIGO LABORATORIO	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	FECHA DE ENVÍO	Radioactividad Bq/Kg	U-235 Bq/Kg	U-238 Bq/Kg	Th-232 Bq/Kg	ARAD-2019-348.01	ARENA DE RIO - PALLATANGA - PALLATANGA	03/02/2019	5,50	247	5,37	5,06	ARAD-2019-348.02	ARENA DE RIO-LA CAROLINA - CHIMBO	26/02/2019	5,50	461	30,34	23,79	ARAD-2019-348.03	ARENA MACADAR - CARAMALITE - CHUNCHO	28/02/2019	5,50	386	6,40	9,15	ARAD-2019-348.04	FUZO LAMA - CHANGARAWI 2 - COLTA	26/02/2019	5,50	1880	113,26	71,31	ARAD-2019-348.05	FUZO LAMA - CHANGARAWI - COLTA	26/02/2019	5,50	1628	101,06	66,01	ARAD-2019-348.06	FUZO LAMA SAN PEDRO - COLTA	26/02/2019	5,50	1087	113,52	70,06	ARAD-2019-348.07	FUZO LAMA - PUJUNPALAG - BOGOTÁ	21/02/2019	5,50	1117	108,06	72,52	ARAD-2019-348.08	ARENA MACADAR SAN FRANCISCO - CHUNCHO	01/03/2019	5,50	43,07	14,53	6,40	ARAD-2019-348.09	ARENA MACADAR MACARI 2 - BOGOTÁ	01/03/2019	5,50	353	13,09	12,38	ARAD-2019-348.10	ARENA MACADAR GUAMO VILLA - BOGOTÁ	01/03/2019	5,50	404	16,72	22,31
CÓDIGO LABORATORIO	CÓDIGO IDENTIFICACIÓN	FECHA DE ENVÍO	Radioactividad Bq/Kg	U-235 Bq/Kg	U-238 Bq/Kg	Th-232 Bq/Kg																																																																								
ARAD-2019-348.01	ARENA DE RIO - PALLATANGA - PALLATANGA	03/02/2019	5,50	247	5,37	5,06																																																																								
ARAD-2019-348.02	ARENA DE RIO-LA CAROLINA - CHIMBO	26/02/2019	5,50	461	30,34	23,79																																																																								
ARAD-2019-348.03	ARENA MACADAR - CARAMALITE - CHUNCHO	28/02/2019	5,50	386	6,40	9,15																																																																								
ARAD-2019-348.04	FUZO LAMA - CHANGARAWI 2 - COLTA	26/02/2019	5,50	1880	113,26	71,31																																																																								
ARAD-2019-348.05	FUZO LAMA - CHANGARAWI - COLTA	26/02/2019	5,50	1628	101,06	66,01																																																																								
ARAD-2019-348.06	FUZO LAMA SAN PEDRO - COLTA	26/02/2019	5,50	1087	113,52	70,06																																																																								
ARAD-2019-348.07	FUZO LAMA - PUJUNPALAG - BOGOTÁ	21/02/2019	5,50	1117	108,06	72,52																																																																								
ARAD-2019-348.08	ARENA MACADAR SAN FRANCISCO - CHUNCHO	01/03/2019	5,50	43,07	14,53	6,40																																																																								
ARAD-2019-348.09	ARENA MACADAR MACARI 2 - BOGOTÁ	01/03/2019	5,50	353	13,09	12,38																																																																								
ARAD-2019-348.10	ARENA MACADAR GUAMO VILLA - BOGOTÁ	01/03/2019	5,50	404	16,72	22,31																																																																								
<p>* LECTURA DE CUENTE 100s</p>																																																																														
<p>Método:</p>	<p>Conteo en detector de Sulfuro de Zinc: Tratamiento de la muestra: Evaporación Directa, Conteo de autoabsorción de Am-241 y de Bi-214. Determinación Alfa y Beta total en muestras de aguas ambientales, Método interno: MISA-SCAN-ARAD-013 Conteo del Contador Líquido con control de eficiencia, técnica de Geantology: MISA-SCAN-ARAD-008 Determinación Beta en muestras: Método Interno: MISA-SCAN-ARAD-008 Espectrometría Gamma de Germanio Hipopuro PLMZZR-ARAD-001</p>																																																																													
<p>Equipo:</p>	<p>Contador de Sulfuro de Zinc alta beta LUCSEM E9350 Contador de centelleo líquido Packard 1902 TR Detector Germanio Hipopuro modelo GCD-401652 38x218x15 (Resolución FWHM: 1,97 y una eficiencia 46%) Detector de NaI(Tl) 0,71x 0,36x y 0,46x 0,20Mx, 76-kg sensibilidad para Co-60</p>																																																																													
<p>Notas:</p>	<p>1 El resultado de este informe es exclusivo para la muestra de: ESPOCH - ESTEFANIA CHÁVEZ ingresada el 08 de mayo del 2019</p> <p>2 Documento confidencial para el ESPOCH - ESTEFANIA CHÁVEZ No puede reproducirse total ni parcialmente sin autorización del laboratorio.</p> <p>3 Los resultados a los que se refiere este reporte se realizaron en cubetas por 30 días luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desafiaron.</p> <p>4 El laboratorio no se responsabiliza de la interpretación dada a este resultado.</p> <p>5 Los datos asociados con este estudio (cuentas Alfa y Beta gruesa, espectros gamma, lecturas de canales líquidos, etc.) se mantendrán en custodia por un plazo de seis meses después de emitido el informe. Posterior a este periodo se destruirán.</p>																																																																													
<p>Responsable del Laboratorio (ARAD)</p>	 <p>Dr. César Salazar Firma de Responsabilidad Página 1 de 4</p>																																																																													



Ministerio de Electricidad
y Energía Renovable

INFORME DE ANÁLISIS DE CONTENIDO RADIACTIVO

MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE
SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES
LABORATORIO DE VIGILANCIA AMBIENTAL RADIACTIVA

INFORME DE ANÁLISIS N.º: SCAN-ARAD-2016-008

SOLICITANTE:	ESPOCH - ESTEFANA CHÁVEZ
Muestras de (MATERIA):	Materiales de Construcción
Muestreado por:	ESPOCH - ESTEFANA CHÁVEZ
Número de muestras:	40 muestras de arena
Fecha de ingreso al laboratorio:	08 de mayo del 2016
Fecha de análisis instrumental:	08 de mayo al 16 de junio del 2016
Fecha de emisión del informe:	20 de junio del 2016

CODIGO LABORATORIO	CODIGO IDENTIFICACION	FECHA DE EMISIÓN	RAE (Bq/Kg)	U-235 (Bq/Kg)	Pu-239 (Bq/Kg)	Tm-232 (Bq/Kg)
ARAD-2016-048.11	AZÚFRE-ONCOS-ALAJUJ	16/06/2016	0,56	128	6,53	6,25
ARAD-2016-048.12	ARENA MACADAM AAGRA-CHUNCHU	01/06/2016	0,50	36,05	6,20	4,80
ARAD-2016-048.13	ARCILLA GUAROTE 3- GUAROTE	02/06/2016	0,50	286,86	10,27	17,56
ARAD-2016-048.14	FUJOLANA (JUCHO) - COLTA	02/06/2016	0,50	1130	106,26	70,56
ARAD-2016-048.15	FUJOLANA (PANELTA) - COLTA	02/06/2016	0,50	1128	111,60	74,71
ARAD-2016-048.16	ARENA MACADAM DELA RUA-ROBAMBA	03/06/2016	0,50	247,56	10,26	13,16
ARAD-2016-048.17	ARENA MACADAM PAGUY LAMBA	03/06/2016	0,50	371,44	11,41	12,86
ARAD-2016-048.18	ARENA MACADAM SEJUNDO LAMBA-ROBAMBA	03/06/2016	0,50	383,56	12,37	14,20
ARAD-2016-048.19	ARENA MACADAM LAMBA-ROBAMBA	06/06/2016	0,50	340,51	11,26	11,84
ARAD-2016-048.20	ARENA MACADAM ESPERANZA-ROBAMBA	06/06/2016	0,50	470,86	27,26	20,53

* LECTURA DE FONDO 1500 *

Normas: Conteo en detector de Sulfuro de Zinc. Tratamiento de la muestra Exposición Directa, Curvas de autoabsorción de Am-241 y Th-232. Determinación Alfa y Beta total en muestras de aguas ambientales. Método estándar: MEEC-SCAN-ARAD-010. Conteo por Contador Líquido con contador convencional, curvas de Quenching: MEEC-SCAN-ARAD-008. Determinación Beta en muestras: Método interno: MEEC-SCAN-ARAD-006. Espectrometría Gamma de Cuentas Rápidas: PUMER-ARAD-001.

Equipos: Contador de Sulfuro de Zinc alta beta LUCIME C300. Contador de scintilación Spector Packard 1600 TR. Detector Geantino hiperpuro modelo GCD-401802 DAC100-10 (Resolución FWHM: 1,87 y una eficiencia 40%). Detector de NaI(Tl) G 70a: 5,19kg y 6,4kg: 2,9kg, 7% de inactividad para Cs-137.

Notas:	
1	El resultado de este informe es válido para la muestra de ESPOCH - ESTEFANA CHÁVEZ ingresada el 08 de mayo del 2016
2	Documento confidencial para el ESPOCH - ESTEFANA CHÁVEZ . No puede reproducirse total ni parcialmente sin autorización del laboratorio.
3	Las muestras a las que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 30 días luego de la emisión de este informe. Concluido este período se desecharán.
4	El laboratorio no se responsabiliza de la interpretación hecha a este resultado.
5	Los datos analizados con este estudio carecen de alta y bajo grado, espectros gamma, lecturas de contador líquido, etc.) se mantendrán en custodia por un plazo de seis meses después de emitido el reporte. Posterior a este período se desecharán.

Responsable del Laboratorio (ARAD)

Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares
Firma de Responsabilidad
Página 2 de 4



Ministerio de Electricidad
y Energía renovable

INFORME DE ANÁLISIS N.º SCAN-ARAD-2019-048

INFORME DE ANÁLISIS DE CONTENIDO RADIACTIVO

MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE
SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES
LABORATORIO DE VOLCANES AMBIENTAL RADIACTIVA

SOLICITANTE:	ESPOCH - ESTEFANA CHAVEZ
Muestras de (número)	Materiales de Construcción
Muestrado por	ESPOCH - ESTEFANA CHAVEZ
Ubicación de muestras	40 muestras de arena
Fecha de ingreso al laboratorio	08 de mayo del 2019
Fecha de Análisis Instrumental	23 de mayo al 10 de junio del 2019
Fecha de emisión del informe	23 de junio del 2019

CODIGO LABORATORIO	CODIGO CUANTIFICACION	FECHA DE MUESTRO	RAZONAMIENTO Bq/Kg	U-235 Bq/Kg	K-40 Bq/Kg	Th-232 Bq/Kg
ARAD-2019-048.01	ARENA MACADAM EL PROGRESO- ROBAMBA	06/06/2019	3.32	381.19	14.77	11.32
ARAD-2019-048.02	ARENA MACADAM LA TIERRA PROMETIDA-ROBAMBA	07/06/2019	0.50	442.63	19.89	21.81
ARAD-2019-048.03	ARENA MACADAM ALLAUCA- ROBAMBA	07/06/2019	0.50	363.89	14.34	19.99
ARAD-2019-048.04	ARENA MACADAM JURDULARENA	07/06/2019	0.50	397.96	17.39	17.84
ARAD-2019-048.05	ARENA MACADAM CERRO NEGRO- ROBAMBA	08/06/2019	0.50	416.88	18.10	21.11
ARAD-2019-048.06	ARENA MACADAM FC-ROBAMBA	08/06/2019	0.50	332.21	19.98	11.81
ARAD-2019-048.07	ARENA MACADAM SAN CLEMENTE- ROBAMBA	08/06/2019	0.50	438.83	26.07	24.82
ARAD-2019-048.08	ARENA MACADAM MIRAFLORES- GUANO	08/06/2019	0.50	328.34	11.43	16.82
ARAD-2019-048.09	ARENA MACADAM GOSIPAMBA- ROBAMBA	08/06/2019	0.50	324.89	11.75	12.84
ARAD-2019-048.10	ARENA DE RD. HORMIGONES MORENO- GUANO	09/06/2019	0.50	364.58	17.89	17.47

* LECTURA DE CUANTO 1000 *

Técnicas: Conteo en detector de Sulfuro de Zinc Tratamiento de la muestra (Exposición Directa, Conteo de autoabsorción de Am-241 y Sr-90)
Determinación Alfa y Beta total en muestras de aguas ambientales, Método interno: MERN-SCAN-ARAD-010
Conteo por Contador Liquid con cristal scintilador, conteo de Quencho: MERN-SCAN-ARAD-006
Determinación Beta en muestras: Método interno: MERN-SCAN-ARAD-008
Espectrometría Gamma del Germanio Hiperpuro PUMERH-ARAD-001

Equipos: Contador de Sulfuro de Zinc modelo LUCIUM 8300
Contador de centeo líquido Packard 1602 TR
Detector Germanio Hiperpuro modelo GCO-421001-002195-10 (Resolución: FWHM: 1.67 y una eficiencia 45%)
Detector de Na(Tl) 0.75x 0.38m y 0.45x 0.38m. 7% de resolución para Co-60

Notas:	
1	El resultado de este informe es válido para la muestra de ESPOCH - ESTEFANA CHAVEZ ingresada el 08 de mayo del 2019
2	Documento confidencial para el ESPOCH - ESTEFANA CHAVEZ No puede reproducirse total ni parcialmente sin autorización del laboratorio.
3	Las muestras a la que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 90 días luego de la emisión de este informe. Culminado este periodo se desmantelará.
4	El laboratorio no se responsabiliza de la interpretación dada a este resultado.
5	Las áreas asociadas con este estudio (análisis Alfa y Beta gamma, espectros gamma, lecturas de canales, fuentes, etc.) se mantendrán en custodia por un plazo de seis meses después de emitir el reporte. Prohibido su uso posterior a este periodo de desmantelamiento.

Responsable del Laboratorio (ARAD)

Subsecretaría de Control
y Aplicaciones Nucleares

[Firma]

Dr. César Suárez
Firma de Responsabilidad

Página 9 de 9



Ministerio de Electricidad
y Energía Renovable

INFORME DE ANÁLISIS N°: SCANARAD-2019-06

INFORME DE ANÁLISIS DE CONTENIDO RADIACTIVO

MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE
SUBSECRETARÍA DE CONTROL Y APLICACIONES NUCLEARES
LABORATORIO DE VIGILANCIA AMBIENTAL RADIACTIVA

ELABORANTE:	ESPOCH - ESTEFANA CHAVEZ
Muestra de (número):	Ministerio de Construcción
Muestreado por:	ESPOCH - ESTEFANA CHAVEZ
Número de muestra(s):	40 muestra de arena
Fecha de ingreso al laboratorio:	09 de mayo del 2019
Fecha de análisis instrumental:	23 de mayo al 31 de junio del 2019
Fecha de emisión del informe:	23 de junio del 2019

CODIGO LABORATORIO	UBICACION CLAVESUBSECCION	FECHA DE TOMADO	PROCESAMIENTO (µg/g)	Am-241 (Bq/g)	Pu-239 (Bq/g)	Tm-232 (Bq/g)
ARAD-2019-045.01	ARENA DE RIO-LA PROVIDENCIA-QUAND	16/05/2019	0,20	387,53	16,78	17,71
ARAD-2019-045.02	ARENA DE RIO-PLATA ROSTA PENNY	16/05/2019	0,20	387,53	16,28	16,20
ARAD-2019-045.03	YESO U.C.C.M	13/05/2019	0,04	33,25	4,79	1,99
ARAD-2019-045.04	CALIZA CIGUELOMA-ROBAMBA	14/05/2019	0,20	62,97	7,31	1,81
ARAD-2019-045.05	ARELLA ROJA-U.C.C.M	14/05/2019	0,20	16,40	1,68	0,43
ARAD-2019-045.06	ARELLA BARDO GUAROTE	14/05/2019	0,20	291,08	15,32	13,40
ARAD-2019-045.07	ARENA MACADAM TOTORILAS-GUAROTE	16/05/2019	0,20	270,24	7,31	8,81
ARAD-2019-045.08	ARENA DE RIO ITY CHAMBO	16/05/2019	0,20	358,79	24,89	20,42
ARAD-2019-045.09	ARENA MACADAM-BIGUPAMBA-ROBAMBA	16/05/2019	0,20	490,76	20,76	21,46
ARAD-2019-045.10	PEL DE PATO COCHA-ROBAMBA	16/05/2019	0,20	286,13	6,79	14,84

* LECTURA DE CONTEO 100 s

Normas: Contador de Sulfuro de Zinc Tratamiento de la muestra Espectrometría Directa, Curvas de autoabsorción de Am-241 y Bi-210; Determinación Alfa y Beta total en muestras de aguas ambientales, Método interno: MERN-SCANARAD-010; Contador por Contador Líquido con cristal scintilador, curvas de Quenching: MERN-SCANARAD-005; Determinación Beta en muestras: Método interno: MERN-SCANARAD-009; Espectrometría Gamma de Germanio Hipopuro: MERN-ARAD-001

Equipos: Contador de Sulfuro de Zinc alta-energía LUDLUM-02030; Contador de cristales líquidos Packard 1502 TR; Detector Germanio Hipopuro modelo GCO-401803 592/09-10 (Asociación FAWM) 1,87 y una eficiencia 40%; Detector de NaCl(Tl) 0,75x 0,54x 0,45x 2,08cm, 7% de resolución para Cs-137

Notas:	
1	El resultado de este informe se extiende para la muestra de: ESPOCH - ESTEFANA CHAVEZ ingresado el: 09 de mayo del 2019
2	Documento confidencial para el: ESPOCH - ESTEFANA CHAVEZ No existe restricción total ni parcialmente en el uso de los datos de laboratorio.
3	Las muestras a la que se refiere este informe se ingresaron en contaje por 20 días luego de la emisión de este informe. Concluido este período se reanuda el contaje.
4	El laboratorio no se responsabiliza de la interpretación dada a este resultado.
5	Los datos asociados con este informe (cristales alfa y beta gruesos, espectros gamma, lecturas de contador líquido, etc.) se encuentran en custodia por un plazo de seis meses después de emitido el informe. Posteriormente a este período se descartan.

Responsable del Laboratorio (ARAD)

Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares
Firma de **SCANARAD**