



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

EVALUACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE MATERIALES RADIACTIVOS DE
ORIGEN NATURAL EN PROCESAMIENTO DE MINERÍA DE ORO

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y
Remediación.

Profesor Guía
M.Sc.. Yasser Alejandro González Romero.

Autor
Daniel Esteban Salinas Mantilla

Año
2016

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Yasser Alejandro González Romero
Magister en Ingeniería Ambiental
CI: 070373762-7

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Daniel Esteban Salinas Mantilla

CI: 171660615-5

AGRADECIMIENTOS

A mi Abuelo Guido, mi madre Elena y mi hermano Santiago, por su apoyo incondicional y constante motivación; al Ingeniero Alejandro González, por su tiempo y dedicación durante el proceso de realización de este proyecto. Al Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva de la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares, por abrirme las puertas de sus instalaciones; además a la ingeniera Pavlova Sigcha por su constante colaboración.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, quien ha sido mi apoyo en los momentos más difíciles; a mi familia que con gran esfuerzo me ha permitido llegar a ser la persona que hoy en día soy, y mis compañeros.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como finalidad el desarrollo de una línea base, donde se evaluó la presencia de radionucleidos de origen natural en muestras tales como: rocas y arenas, provenientes del tratamiento y explotación de minerales en la industria minera de oro en los sectores de Zaruma y Portovelo, ubicado en la provincia de El Oro, con el fin de determinar la concentración de actividad radiactiva. Previo al análisis de radiactividad, se realizó una macro caracterización solo en rocas, con el fin de diferenciarlas físicamente. Las muestras fueron analizadas en la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN), mediante el sistema de espectrometría gamma, dando como resultado la presencia de ^{210}Pb , ^{40}K , ^{212}Pb , ^{214}Pb , ^{235}U , ^{238}U , ^{228}Ac , ^{226}Ra , ^{214}Bi , y ^{207}Bi siendo el ^{210}Pb el único radionucleido con niveles de radiactividad altos, sobrepasando los 1000 Bq/kg recomendado por normas internacionales, sin embargo al evaluar la tasa de dosis de los trabajadores, mediante un modelamiento de escenarios, con el fin de conocer la exposición que estos tienen en el periodo de un año, se obtuvo que los resultados están por debajo de los límites máximos permisibles, de 20 mSv/año durante un periodo de 5 años consecutivos establecido por el Organismo Internacional de Energía Atómica. Se elaboró una guía de mitigación desde el punto de vista de protección radiológica, la cual debe ser tomada en cuenta si los valores de tasa de dosis superan los límites máximos permisibles, por lo que es importante que exista un monitoreo periódico, ya que la actividad radiactiva puede variar

ABSTRACT

This paper aims to develop a baseline, where the presence of naturally occurring radionuclides are evaluated in the gold mining sector at Portovelo and Zaruma, located in the province of El Oro, in order to determine the concentration of radioactivity existing in the rock and mineral sands. Prior to analyzing radioactivity, a macro characterization was made to physically differentiate mineral rocks. The samples were analyzed at the Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) by gamma spectrometry system, resulting in the presence of ^{210}Pb , ^{40}K , ^{212}Pb , ^{214}Pb , ^{235}U , ^{238}U , ^{228}Ac , ^{226}Ra , ^{214}Bi , and ^{207}Bi , even though, ^{210}Pb was the only radionuclide with high levels of radioactivity, surpassing the 1000 Bq/kg recommended by international standards, on the other hand, to assess the dose rate of workers by modeling scenarios to know the exposure, they have on one-year period the results obtained were, that are below to the maximum permissible limits of 20mSv /year for a period of 5 consecutive years set by the International Atomic Energy Agency. A mitigation guideline was developed from the point of view of radiation protection. Which it must be taken if the dose rate values, exceed the maximum permissible limits, so it is important that there is regular monitoring, because the radioactivity may vary.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. DESARROLLO DEL TEMA	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Hipótesis	3
1.3. Alcance	3
1.4. Justificación.....	3
1.5. Objetivos	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos	4
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Radiación ionizante y no ionizante	5
2.1.1. La radiación ionizante.....	5
2.1.2. La radiación ionizante de origen natural	6
2.2. NORM en la industria	8
2.3. Geología minera de Ecuador.....	9
2.3.1. Geología local del distrito minero Zaruma y Portovelo	9
2.3.2. Litología de Zaruma y Portovelo.....	10
2.4. Rocas minerales que son afines a la presencia de NORM. .	10
2.5. Control y reglamentación de material radiactivo en Ecuador	11
2.6. Protección radiológica	11
2.7. Tecnologías existentes.....	12
2.7.1. Detectores de radiación.....	12
2.7.2. Detectores gaseosos	12
2.7.3. Detectores solidos	13
2.7.3.1. Detectores Semiconductores.....	13
2.7.3.2. Detectores termoluminiscentes.....	13
2.7.3.3. Detectores de centelleo	13

2.8. Sistema de Espectrometría Gamma.....	14
3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	15
3.1 Localización del área de estudio	15
3.2 Plan de muestreo	18
3.3 Toma de muestra	19
3.3.1 Procedimiento de toma de muestras:	19
3.3.2. Zonas en las que se realizaron las tomas de muestras	21
3.4. Análisis de las muestras en laboratorio.....	22
3.4.1. Arenas	22
3.4.1. Rocas	23
3.5. Sistema de espectrometría gamma	26
3.5.1 Cristal semiconductor	27
3.5.2 Preamplificador, fuente de alta tensión y amplificador.....	27
3.5.3. Convertidor analógico digital.....	28
3.5.4. Blindaje del detector	28
3.5.5. Sistema criostático.....	29
3.6. Calibración.....	29
3.6.1. Calibración en energía.....	30
3.6.2. Calibración en eficiencia	31
3.7. Medidas de mitigación desde el punto de vista de protección radiológica ³²	
3.8. Modelamiento de escenarios para exposición de radiación a trabajadores.....	33
4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1 Macrocaracterización física de las rocas	35
4.2 Resultados obtenidos mediante análisis por espectrometría gamma con germanio hiperpuro	60
4.3 Modelamiento de escenarios.....	75

5.	CAPÍTULO V. Guía de mitigación desde el punto de vista de protección radiológica en la minería subterránea y tratamiento de materias primas.....	82
5.1.	Requisitos para el cumplimiento de protección radiológica ...	83
5.1.1	Exposición ocupacional	83
5.1.2.	Concesión de la licencia	83
5.1.3.	Autorización	84
5.1.4.	Responsabilidades.....	85
5.1.5.	Incumplimiento e inspecciones	85
5.2.	Consideraciones y limitación de dosis desde el punto de vista de protección radiológica	86
5.2.1.	Exposición a radionucleidos	86
5.2.2.	Límites de dosis permisibles.....	87
4.3.	Medidas para la protección radiológica.....	87
5.3.1.	Expertos cualificados	88
5.3.2.	Evaluación de dosis y monitoreo radiológico	89
5.3.3.	Mediciones de las concentraciones de fuentes significativas	90
5.3.4.	Monitoreo de las concentraciones de polvo radiactivo.....	90
5.3.5.	Monitoreo de la contaminación superficial	91
5.3.6.	Monitorización radiológica para la evaluación de las exposiciones y las dosis ocupacionales.....	91
5.3.7.	Monitorización radiológica individual.....	91
5.4.	Medidas administrativas y tecnológicas para protección radiológica	92
5.4.1.	Ventilación	93
5.4.2.	Control de polvo.....	93
5.4.3.	Medidas para un control en tratamiento de materias primas	94
5.4.4.	Equipos de protección individual	94
5.4.5.	Protección respiratoria	95

5.4.6. Higiene personal	95
5.4.7. Primeros auxilios.....	96
5.4.8. Rotación laboral.....	96
5.4.9. Vigilancia de la salud	96
6. CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y	
RECOMENDACIONES	98
6.1. Conclusiones	98
6.1.2. Recomendaciones	99
REFERENCIAS.....	100
ANEXOS	107

INTRODUCCIÓN

La radiación natural o NORM por su acrónimo en inglés que significa (*Naturally Occurring Radioactive Material*), se encuentra presente en todas partes del planeta tierra, y todos los humanos estamos expuesto de cierto modo, sin embargo la concentración de los radionucleidos primordiales y sus series de desintegración ^{238}U , ^{232}Th y ^{40}K llamados así porque existen desde la formación de la tierra, varían en distintos lugares del planeta, por ejemplo en la materia prima y minerales existe mayor cantidad de NORM, por lo que en industrias donde los trabajadores estén involucrados en la explotación de lo antes mencionado, pueden resultar expuestos a niveles significativos de radiación natural. (Osores, 2008, p. 10)

En la minería el procesamiento y la extracción del mineral de los yacimientos para la obtención de metales importantes para su comercio, genera gran cantidad de residuos sólidos y líquidos, los cuales pueden tener altos niveles de radiactividad natural, que dependerá de las formaciones geológicas y el tipo de mineral que está siendo extraído, donde puede ser necesario la implementación de medidas de protección radiológica para proteger a trabajadores o miembros del público.

La Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN), es el encargado del control y la regulación de las fuentes radiactivas que existen en el Ecuador, sin embargo no se cuenta con una legislación que regule los límites permisibles de NORM, por lo que se tomó como referencia la normativa internacional establecida por el Organismo Internacional de Energía atómica-OIEA.

1. CAPÍTULO I. DESARROLLO DEL TEMA

1.1. Antecedentes

Según la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (Canadian Nuclear Safety Commission – CNSC, 2014) los NORM se definen como:

“Naturally occurring radioactive material (NORM) es el material encontrado en el ambiente que contiene elementos radiactivos de origen natural. Los NORM contienen principalmente uranio, torio y potasio. Estos elementos decaen naturalmente, por lo que se considera un principal contribuyente a dosis individuales de radiación”.

Existen distintas industrias que podrían generar NORM, por ejemplo la minería a cielo abierto y subterráneo. En ciertos minerales se puede encontrar niveles considerables de NORM que son extraídos y procesados junto a otros elementos que pueden aumentar la concentración de estos radionúclidos, lo que podría aumentar la exposición de los trabajadores, asimismo producir un importante daño al medio ambiente (López, 2006, p. 77).

Los NORM son de larga vida, como el uranio, torio y potasio; cualquiera de sus productos de desintegración, como el radio y el radón, han estado siempre presentes en la corteza terrestre y la atmósfera; al término NORM se usa también para distinguir material radiactivo natural de fuentes antropogénicas de material radiactivo, como las producidas por la energía nuclear (The Chamber of Minerals and Energy – CEM, 2010).

Cualquier operación minera u otra actividad industrial que implique un mineral o materia prima, tiene el potencial de aumentar la dosis efectiva recibida por individuos procedentes de fuentes naturales como resultado de la exposición a los radionucleidos de origen natural contenido o liberado de dicho material. Cuando este aumento en dosis es significativa, pueden ser necesarias medidas

de protección radiológica para proteger trabajadores o miembros del público (International Atomic Energy Agency – IAEA, 2006, p. 1).

De acuerdo a la Comisión Internacional de Protección Radiológica (2013) los materiales radiactivos de origen natural deben ser analizados bajo sistemas de protección radiológica que prevenga la contaminación y la exposición a radiación tanto interna como externa. Algo importante que se toma en cuenta es el principio de ALARA (As Low As Reasonably Achievable) como un principio internacional para los estudios radiológicos (European ALARA Network, 2015)

1.2. Hipótesis

Los niveles de actividad radiactiva presentes en las rocas y arenas minerales, provenientes de la explotación minera de oro en el sector minero de Zaruma y Portovelo, es de significancia dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Internacional de Energía atómica para trabajadores con exposición planificada.

1.3. Alcance

El proyecto, se basa en evaluar la presencia de material radiactivo de origen natural en actividades de procesamiento de minería de oro artesanal subterránea en los cantones Zaruma y Portovelo, provincia de El Oro; se tomarán muestras de arena y roca mineral proveniente en actividades de procesamiento de minería de oro; se evaluará la presencia de NORM (material radioactivo de origen natural) lo cual servirá para generar una línea base sobre la presencia de radionucleidos en la minería; se propondrá también medidas de mitigación desde el punto de vista de la protección radiológica.

1.4. Justificación

En el Ecuador la Autoridad Regulatoria en materia de radiaciones ionizantes es el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, a través de la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) y por ley está encargada del control y reglamentación de material radiactivo y máquinas generadoras de

radiaciones ionizantes así como de todo aquello que competa con la protección radiológica de trabajadores, público y medio ambiente a la exposición a los radionucleidos, siendo su responsabilidad el monitoreo ambiental de radiaciones ionizantes. La SCAN desde el año 2008 trabajó dentro de proyecto RLA/9/055 “Fortalecimiento de la Infraestructura Nacional y el Marco Regulator para el Control de las Exposiciones del Público con Énfasis en la Seguridad de la Gestión de los Desechos Radiactivos” (Suárez y González, 2010); Por lo que el presente proyectó de titulación busca generar una línea base sobre la presencia de radionúclidos en actividades que involucren la explotación minera artesanal subterránea y así contribuir con la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares para generar una normativa que contemple a los NORM en la minería, ya que no existen estudios sobre radionucleidos de origen natural en la minería del Ecuador.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Evaluar las concentraciones de material radiactivo de origen natural en actividades de procesamiento de minería de oro en los cantones Portovelo y Zaruma de la provincia de El Oro.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Elaborar un plan de muestreo de rocas minerales, arenas y relaves en minería de oro en los cantones Portovelo y Zaruma de la provincia de El Oro.
- Caracterización macroscópica de rocas minerales mediante las observaciones de sus propiedades físicas.
- Cuantificación de la concentración de radionucleidos de origen natural mediante un sistema de espectrometría gamma.
- Proponer medidas de mitigación desde el punto de vista de la protección radiológica.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Radiación ionizante y no ionizante

La radiación se la puede encontrar de forma natural o artificial y se la denomina como: energía en movimiento a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas o partículas (Villasuso, 2006, p. 4); pueden ser de dos tipos: radiación no ionizante, que es aquella que tiene la suficiente fuerza para mover los átomos de una molécula o hacerlos vibrar, pero no alcanza la fuerza suficiente para remover electrones (Environmental Protection Agency, 2014); y radiaciones ionizantes, que son aquellas que al interaccionar con los átomos de un medio, tienen la suficiente energía para arrancar electrones, dando como resultado iones que son más activos e inestables que el átomo neutro inicial (Roig, 2013, p.21).

2.1.1. La radiación ionizante

Cuando el número de neutrones del núcleo de un átomo es escaso o excesivo, lo vuelve inestable y genera emisiones de radiación ionizante, llamándolo átomo radiactivo, a la vez que se libera energía que puede ser de cinco tipos: 1) Las partículas alfa (α) tiene gran intensidad energética, pero es limitada la capacidad de penetración en la materia, por lo que puede ser detenida por una hoja de papel o por nuestra dermis; está formada de dos protones y dos neutrones (Gallego, 2009, p.3). 2) Las partículas beta (β) son electrones o positrones muy energéticos que se originan en el núcleo del átomo, cuando este se desintegra. Son un poco más penetrantes que las partículas alfa; puede ser detenido por una hoja de papel aluminio (Acosta, 2005, p.34) 3) Las partículas gamma (γ) son radiación electromagnética constituida por fotones, su intensidad energética es muy alta por lo que es muy penetrante y puede ser detenida por el plomo u hormigón (González y Rabin, 2011, p. 32). 4) La radiación neutrónica consiste en la liberación de neutrones de los átomos, los cuales al entrar en contacto con núcleos de otros átomos, se forman nuevos isótopos que generan radiación; se puede dar mediante procesos de fisión

nuclear o fusión nuclear; son extremadamente penetrantes y para detenerlos se utiliza masas gruesas de hormigón o parafina. (Carrasco, 2006, p. 8) 5) Los rayos X son radiaciones ionizantes electromagnéticas, con una longitud de onda corta de 10nm hasta 0,01nm y alta energía, capaz de atravesar muchos materiales opacos a la luz. Mientras la longitud de onda sea menor su energía será mayor y de igual manera su poder de penetración. (Speakman, 2012)

2.1.2. La radiación ionizante de origen natural

Por su acrónimo en el idioma inglés (NORM) significa “naturally occurring radioactive material”, que son todos los minerales y materias primas que contienen radionucleidos de origen natural, los más importantes para fines de protección radiológica son los radionucleidos de la serie de desintegración del U 238, Th 232 y K 40. (Herrador, 2010, p. 35)

A continuación en la figura 1 y 2 se muestra las cadenas de desintegración del ^{238}U y ^{232}Th .

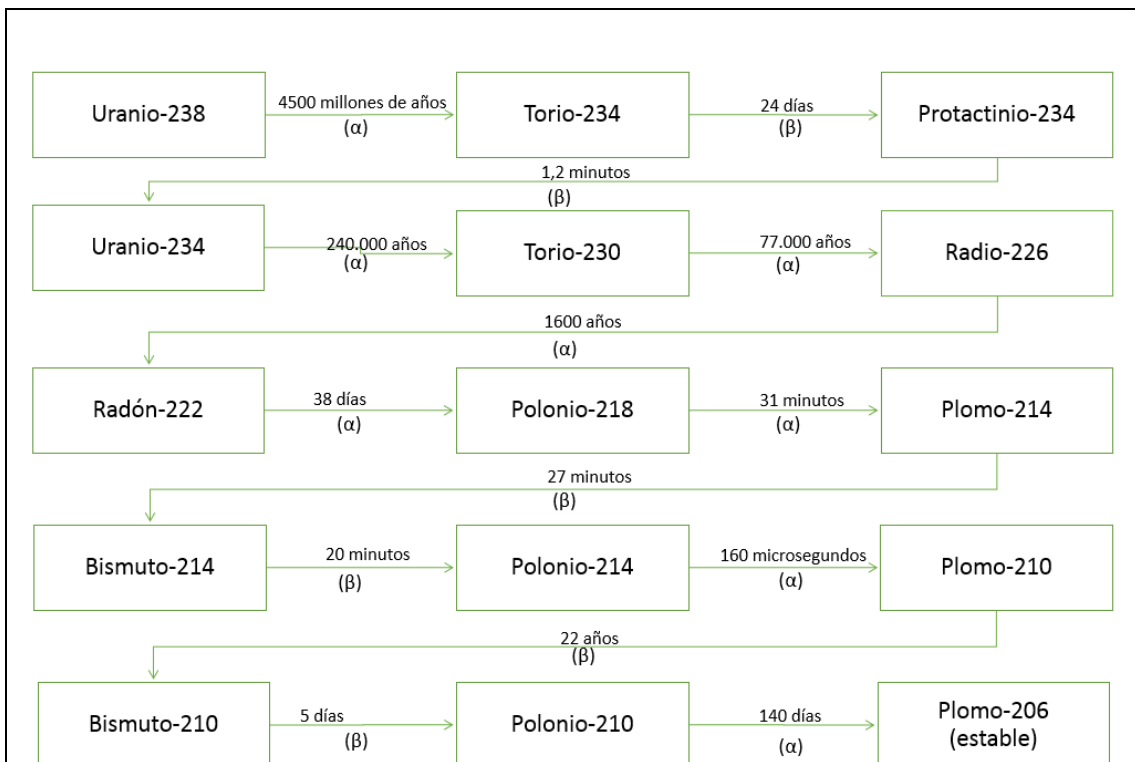


Figura 1: Serie de desintegración del Uranio 238

Adaptado de IAEA, 2011

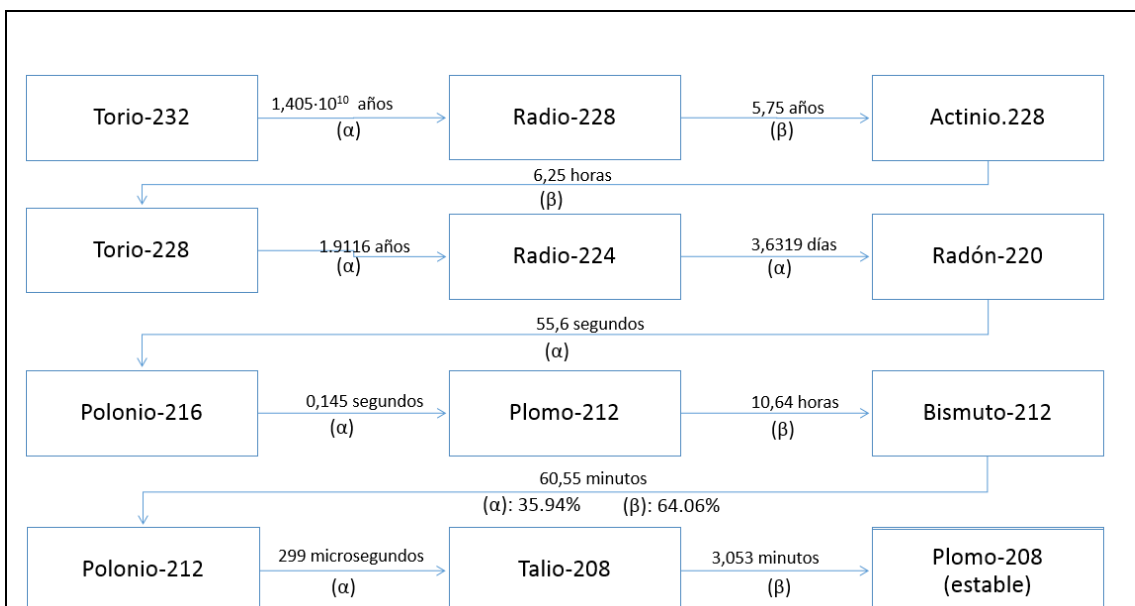


Figura 2: Serie de desintegración del Torio 232

Adaptado de American Chemical Society-ACM, 2013

En la figura 1 los símbolos α y β indican emisiones alfa y beta y el tiempo determina la vida media, que de acuerdo con la IAEA (2007), es el periodo de tiempo que se requiere para que se desintegren la mitad de los núcleos radiactivos de un radioisótopo. Los núcleos que se van desintegrando producen radiación que da como resultado otro núcleo radiactivo distinto, el cual emite diferente radiación. El núcleo inicial es denominado núcleo padre, que vendría a ser uranio 238 y va formando una cadena o serie radiactiva que seguirá hasta que se genere un núcleo estable, no radiactivo que sería el plomo 206. (Consejo de Seguridad Nacional, 2013, p.12)

2.2. NORM en la industria

A nivel mundial existe la necesidad de avanzar hacia un sistema armonizado en el enfoque a la gestión de NORM especialmente teniendo en cuenta que minerales y materias primas son objeto de comercio internacional a gran escala. Entre países existen diferentes interpretaciones en cuanto a exposiciones a NORM por lo que genera numerosas y significativas inconsistencias en la aplicación de medidas de control y reglamentación sobre riesgos radiológicos involucrados (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2013, p. 6)

Los NORM se encuentran en diferentes concentraciones en la corteza terrestre y puede aumentar por procesamientos de productos, subproductos, residuos derivadas de tratamientos. (Cooper, 2005, p. 10)

Tabla 1: Principales procesos industriales que generan residuos NORM.

Principales industrias que generan NORM	Materia prima que se genera u obtiene.	Estado de los desechos o residuos en la industria.	Presencia de NORM en los residuos.
Explotación minera y procesamiento del mineral	Mineral: rocas y arena	Líquidos sólidos	Relaves , agua de proceso
Industria del fosfato	Fertilizantes , ácido fosfórico	Líquidos sólidos	Fosfoyesos
La generación de energía (combustibles fósiles)	electricidad	Sólidos gases	agua de la mina
La producción de petróleo y gas	Petróleo, gas	Líquidos sólidos	Lodos, incrustaciones y agua de proceso

Adaptado de Velzen, 2015 y OIEA, 2013, p. 14

2.3. Geología minera de Ecuador

En 1995 inicio el Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA), por el Ministerio de Energía y Minas (MEM) con el apoyo financiero del Banco Mundial, el cual solo duro hasta el 2000 y fue considerado el proyecto minero más importante que el Ecuador ha tenido. (Bermeo, Cordovez, Crespo, Larrea y Miño, 2004, p.12). El objetivo principal de este proyecto fue modernizar la extracción minera, su gestión y dar a conocer el potencial de los recursos disponibles que nuestro país tiene, generando una base de datos mineralógicos que incentivaron a la explotación minera, por lo que se dieron violentos enfrentamientos de comunidades que se veían afectados y no estaban de acuerdo con la explotación. (Sacher y Acosta, 2012, p, 39)

2.3.1. Geología local del distrito minero Zaruma y Portovelo

El distrito minero de Zaruma y Portovelo se encuentra en el sector nor-oeste de la provincia de El Oro y está expuesto por dos falla principales: la de Piñas-Portovelo, dentro del grupo Saraguro y la de Blusa palestina. (Washington, 2007, p. 6)

2.3.2. Litología de Zaruma y Portovelo

Una secuencia volcánica calco-alcalino dominado por andesitas, basalto-andesíticas, andesíticas, tobas andesíticas y dacíticas que forma parte del grupo Saraguro, con edad de mineralización del periodo Terciario tardío que se depositan en un sistema de vetas mineralizadas que se extienden continuamente por más de 15 km Norte Sur con una anchura máxima de 4km y extensión vertical de 1,4 km; la potencia de las vetas principales varía entre 0,2 a 2,7 metros con un promedio de 1,3 metros (Alulima, 2009, p.13)

2.4. Rocas minerales que son afines a la presencia de NORM.

Los minerales radiactivos están distribuidos de forma natural alrededor de la corteza terrestre, pero existen zonas en la que por diferentes motivos geoquímicos o geológicos, las concentraciones de estos elementos son mayores (Duque, 2005, p. 24); en gran parte el uranio y el torio son óxidos que están junto a diversos silicatos, arseniatos, carbonatos, vanadatos y fosfatos; se los puede encontrar formando una parte muy pequeña de la roca mineral o siendo el principal componente (Instituto Geominero de España, s.f. p. 5). Se conocen más de 500 especies minerales que contienen uranio, entre los cuales los minerales primarios son pesados y tienen un color pardo oscuro o negro y los secundarios tienen un color verde brillante, amarillo o anaranjado y pueden estar en polvo o masas ferrosas (Servicio Geológico Mexicano, 2014).

Entre las rocas minerales más comunes donde se puede encontrar radiactividad están la riolita, granito y toba volcánica, que son rocas ígneas, llamadas así porque fueron formadas por el enfriamiento y solidificación del magma en el interior del planeta tierra, este tipo de roca contiene a menudo elementos radiactivos alrededor de partículas cristalinas que son muy finas (Edward y Frederick, s.f.) No obstante también se los encuentra en rocas metamórficas, llamadas así por su formación a partir de rocas sedimentarias o ígneas a altas presiones. El contenido de material radiactivo tiene a mantenerse en las rocas originarias (Duque, 2005, p. 46)

2.5. Control y reglamentación de material radiactivo en Ecuador

En el Ecuador el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, a través la Dirección Nacional de Seguridad Nuclear y Ambiente de la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) es la autoridad reguladora que se encarga del control y reglamentación las fuentes de exposición crónicas a las radiaciones ionizantes de origen natural (Suárez y González, 2010). Sin embargo, Ecuador no dispone de un documento legal que permita ejercer y regular adecuadamente el uso de las radiaciones ionizantes de origen natural y personas que puedan estar expuestos indirecta o directamente en sus empleos o en general. (Reglamento de Seguridad Radiológica, 1979)

2.6. Protección radiológica

La radiación está presente en materia prima que es usada por algunas industrias como la explotación de minerales, que contienen en forma natural material radiactivo. Mediante la acción humana en procesos para explotarla, se modifica la condición original de los radionucleidos presentes de forma natural, volviéndolos aún más radiactivos, como resultado los residuos, productos y subproductos pueden aumentar su peligrosidad desde el punto de vista de protección radiológica. (Sydney y Porter, 2006, p.34) El fin principal de la protección radiológica es controlar que los trabajadores y público en general, no se expongan a cantidades de radiación superiores a reglamentación y normas que pueden ser dadas por organismos internacionales o nacionales competentes. (Organismo Internacional de Energía Atómica-OIEA, 2011) Una persona al estar irradiado por fuentes radiactivas ya sean de origen natural o no, puede presentar efectos agudos, es decir que aparecen poco tiempo después de la radiación, o crónicos, que aparecen después de algunos años de ser expuestos (Upton, 2006, p. 4); que puede ser de dos tipos: efectos Deterministas donde aparecen a partir de un cierto umbral y efectos Estocásticos que son de naturaleza aleatoria, que nos indica que si dos personas han sido irradiadas a iguales condiciones uno de ellos puede presentar efectos y el otro no. (Ramírez y Cano, 2010, p. 27) En determinados

casos la protección radiológica no se aplica, por ejemplo a exposiciones durante algún tratamiento medio o diagnóstico y por voluntad propia en pacientes que participen en programas de investigación. (Sociedad Española de Protección Radiológica, 2005, p.60)

2.7. Tecnologías existentes

2.7.1. Detectores de radiación

Para poder medir magnitudes de radiación ionizante se utilizan detectores los cuales reciben energía radiactiva y la transforman de tal manera que sean cuantificables y entendibles de leer para el observador, (Radiansa, 2012) estos medidores que toman una medición de entrada y la modifican en una de salida conservando la información, tienen el nombre de transductor y se clasifican en detectores gaseosos y sólidos (Instituto Balseiro, 2007, p. 1)

2.7.2. Detectores gaseosos

2.7.2.1. Cámara de ionización

Es un equipo de radiación portátil que detecta fotones de radiación, se usa para rayos x de baja energía. En las cámaras de ionización se generan corrientes muy bajas, por lo que estos detectores no son recomendados para contaje de eventos (Gallegos, 2010, p. 4)

2.7.2.2. Contadores proporcionales

Son equipos donde la cantidad de iones que se producen son proporcionales a la energía de partículas incidente, por lo que son equipos de detección que se usan para contaje de eventos y para monitoreo de contaminación superficial por partículas alfa y beta (α y β). (Gonzalez y Pulido, 2010, p. 20)

2.7.2.3. El detector Geiger-Müller

Consiste en un cilindro que en su centro se encuentra un hilo metálico que actúa como polo negativo y las paredes como polo positivo. En su interior frecuentemente esta gas argón. Cuando se tiene la presencia de una partícula ionizante (α, β, γ) en su interior la partícula toma un electrón del átomo del argón, el cual se transforma en un ion, que viajan hacia el cátodo mientras que los electrones mucho más ligeros ionizan otros átomos generando un pulso o señal eléctrica (Vázquez, 2007, p. 2).

2.7.3. Detectores solidos

2.7.3.1. Detectores Semiconductores

Consiste en un detector que tiene un medio ionizable de alta densidad que puede ser germanio o silicio, que por unidad de volumen brinda una alta eficacia de detección. Dependiendo de la radiación incidente, la temperatura ambiente, la presión o el campo eléctrico, puede comportarse como un aislante o como un conductor (Riola, 2009, p. 36)

2.7.3.2. Detectores termoluminiscentes

Este tipo de detectores actúan al calentarse un cristal que puede ser de fluoruro de litio o fluoruro de calcio, mide los electrones que quedan atrapados y por lo tanto la radiación total. La luz que emite el cristal es directamente proporcional a la dosis que recibe, el cristal puede mantener su luminiscencia por algunos meses, después de haber sido irradiado (Kaney Sternheim, 2005, p. 739-744)

2.7.3.3. Detectores de centelleo

Estos detectores se los llama así porque están compuestos de unos materiales denominados centelladores que al entrar en contacto con radiación ionizante, convierten una parte de las partículas en energía cinética a energía luminoso,

que se define como eficiencia de centelleo que va a depender de la energía y naturaleza de las partículas; el resto de energía se transforma en energía calórica en forma de vibraciones (Cueva, 2008, p.21)

2.8. Sistema de Espectrometría Gamma

Mediante espectrometría gamma de alta resolución, se puede analizar radiación gamma emitida en muestras ambientales, estos son detectores semiconductores que pueden ser de silicio o germanio. (Flakus, 2010, p. 8). Esta técnica que consiste en receptar el espectro de energía de fotones gamma que son emitidos por radionucleidos, que permite tanto determinar cómo identificar de forma simultánea los radioisótopos presentes en la muestra. (Barrera, Romero y Valiño, 2008, p.8). El sistema de espectrometría gamma está formado por un detector semiconductor tipo P que está unido a un criostato que es un balón de nitrógeno líquido, que tiene el objetivo de mantener una adecuada temperatura de operación del equipo, un amplificador, un pre amplificador y una fuente de voltaje asociado a un ordenador que dada la complejidad del espectro obtenido, es necesario procesarlos para interpretar los resultados. (Gómez, Miranda, Aparicio y Llosa, 2004 p. 67)

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Localización del área de estudio

El presente estudio se realizó en el distrito minero Zaruma-Portovelo que se encuentra a lo largo de los ríos Amarillo, Salado y Pindo ubicados en las parroquias de Malvas y Arcapamba, cantones Zaruma y Portovelo en la provincia de El Oro situado en la parte occidental de la cordillera de los Andes al sur-este del Ecuador.

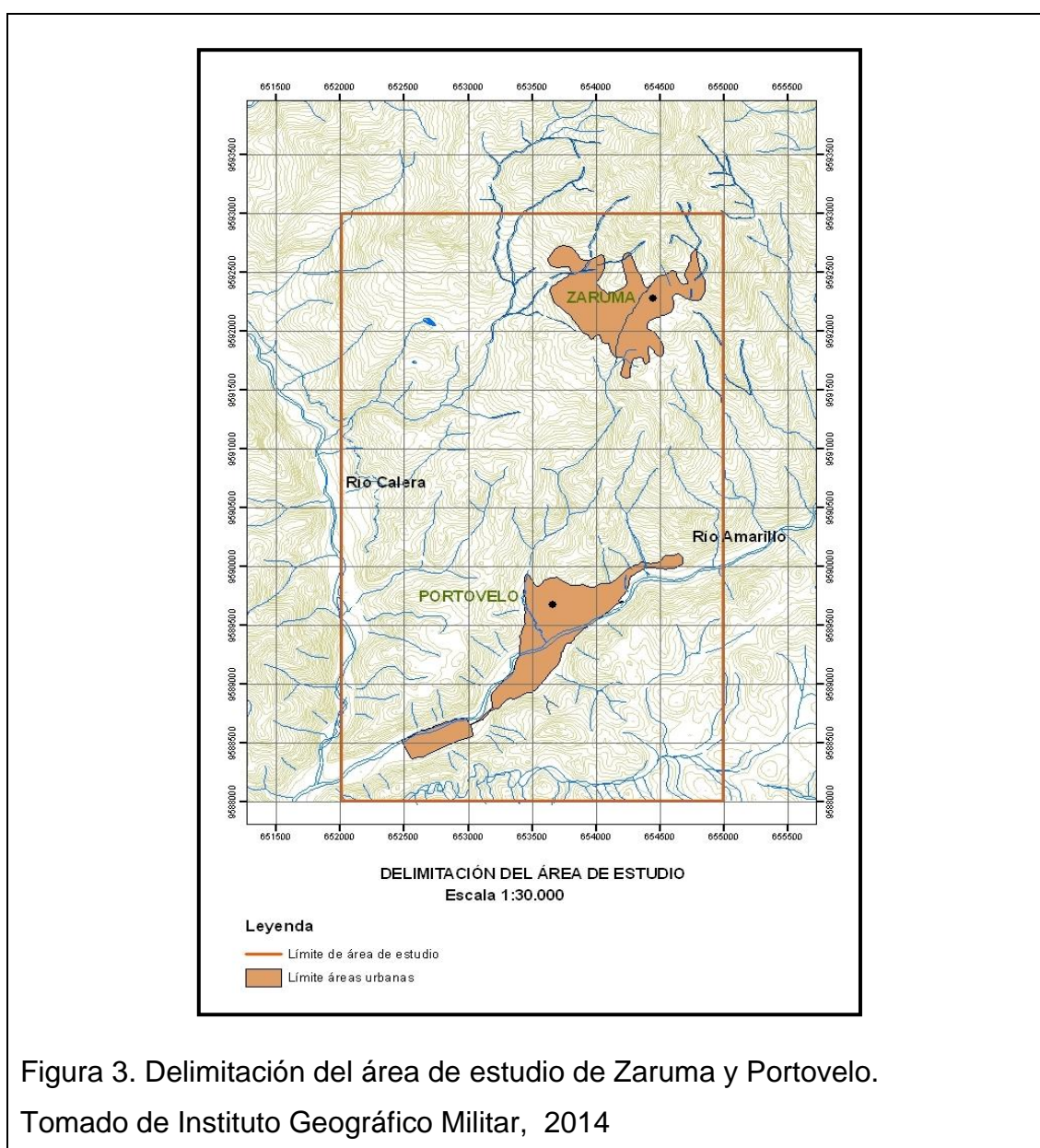


Figura 3. Delimitación del área de estudio de Zaruma y Portovelo.
Tomado de Instituto Geográfico Militar, 2014

En la provincia de El Oro existen 104 plantas de beneficio las cuales están reguladas por la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM). Las mismas están agrupadas en La Asociación de Propietarios de Plantas de Beneficio, Fundición y Refinación de Sustancias Minerales de la provincia de El Oro (APROPLASMIN) cuyo objetivo principal es el manejo adecuado en apego a las leyes y normas ambientales. En el distrito minero de Zaruma y Portovelo están en funcionamiento 28 plantas, que es donde se realiza la molienda y procesamiento; cada planta tiene una capacidad que va desde 2 toneladas hasta 50 toneladas por día.

El proceso de molienda no tiene tiempo preciso de duración, ya que esto depende de la dureza y cantidad del mineral que va a ser procesado, la molienda se realiza las 24 horas del día y requiere un control permanente en la alimentación del material a la entrada y salida de los canalones que están provistos de bayetas que son lavados constantemente, ya que es aquí donde se acumula el oro y los distintos metales pesados, una vez terminado este proceso de molienda, las arenas concentradas que han sido acumuladas en tanques entran a un proceso de concentración manual o platoneo donde se obtiene un concentrado o relave, que estará listo para la amalgamación con mercurio o cianuro, esto se lo realiza de manera manual mediante la utilización de un platón grande con una piedra con movimientos circulares



Figura 4. Actividades en planta de beneficio

- a) Trabajador alimentando el molino con rocas minerales,
- b) Canaletas por donde pasa las arenas que salen del molino.
- c) Molino o chancadora (planta de beneficio Jesús del Gran Poder)

El proceso de amalgamación también se lo realiza en los tambores amalgamadores o chanchas, que consiste en colocar las arenas concentradas en los tambores colocando mercurio o cianuro, después de unas horas se

obtiene la amalgama de oro la misma que es limpiada y quemada en el recuperador de mercurio o retorta. La producción promedio varía entre 4 y 6 gramos por tonelada cuando las condiciones son favorables.



3.2. Plan de muestreo

En el distrito minero de Zaruma y Portovelo, previó al inicio de ejecución de toma de muestras, se realizó un estudio sobre la ubicación de las plantas de beneficio, la accesibilidad y disponibilidad para efectuar la toma de muestras. Se puede observar el mapa de muestreo en anexos.

Se programó la visita a 15 plantas de beneficio en las cuales se tomó 39 muestras, separándolas en 19 rocas y 19 arenas.

3.3 Toma de muestra

Las muestras fueron tomadas por el método de conveniencia, que es la técnica no probabilística donde las muestras son seleccionadas según la accesibilidad y proximidad de los sujetos, para el investigador.

En la visita al distrito minero de Zaruma y Portovelo, se levantó las coordenadas geográficas de las 39 muestras que fueron tomadas mediante la utilización de GPS; fueron ingresadas en el programa de Google Earth con el objetivo de generar una distribución espacial del área de estudio.

3.3.1 Procedimiento de toma de muestras:

- 1) Las rocas fueron tomadas en los montículos donde se acumula el material proveniente de las minas subterráneas.
- 2) Se identificó rocas que tengan un peso aproximado de 1 kg, ya que es indispensable para poder ser analizados en el laboratorio.
- 3) Se tomaron 19 muestras de roca, las cuales fueron depositadas independientemente en una funda plástica
- 4) En cada muestra se colocó membretes que indicaban el código de la muestra, ubicación en la que fue tomada y fecha

Después las rocas entraron al proceso de trituración para ser convertidas en arenas, donde se realizó una segunda toma de muestras en la salida de los molinos al fin de los canalones.

- 1) De igual forma se tomó un aproximado de 1kg de peso por cada muestra
- 2) Se utilizó fundas plásticas con ziplock y además cada muestra fue envuelta con plástico para embalar ya que las arenas están húmedas y así se evita que se filtre agua.
- 3) Se colocó de igual manera un membrete con información del muestreo en cada arena.
- 4) Se tomaron 19 muestras.

A continuación se indican las muestras de arena y roca mineral, que fueron tomadas con sus respectivos membretes.



3.2.2. Zonas en las que se realizaron las tomas de muestras

Tabla 2: Plantas de beneficio, tipos de muestra y coordenadas geográficas (UTM WGS84 17S) donde fueron tomadas.

Nombre de la planta de beneficio	Tipo de muestra	Código de la muestra	Coordenadas geográficas	
			X	Y
Barbasco 1	Arena	Arad195.1	652969.00	9594452.00
	Roca	Arad196.1		
Tres reyes	Arena	Arad195.2	652974.00	9594446.00
	Roca	Arad196.2		
Sociedad civil tres higuerones	Roca	Arad196.3	652997.00	9594452.00
	Arena	Arad195.3		
Sagrado corazón de Jesús	Roca	Arad196.4	653714.00	9596345.00
	Roca	Arad196.5		
	Arenas	Arad195.4		
Jesús del gran poder	Roca	Arad196.6	653757.00	9596600.00
	Roca	Arad196.7		
Píllasela	Arena	Arad195.5	652836.00	9597207.00
	Arenas	Arad195.6		
	Roca	Arad196.8		
Miranda 1	Roca	Arad196.9	651852.00	9590318.00
	Arenas	Arad195.7		
Virgen del cisne	Roca	Arad196.10	651852.00	9590317.00
	Arena	Arad195.8		
Marquesa	Roca	Arad196.11	651813.00	9589472.00
	Arenas	Arad195.9		
Israel 2	Roca	Arad196.12	652743.00	9588408.00
	Arenas	Arad195.10		
Herederos Espinoza	Roca	Arad196.13	652240.00	9588075.00
	Arenas	Arad195.11		
	Arenas	Arad195.12		
Chillingos	Roca	Arad196.14	652206.00	9588038.00
	Arena	Arad195.13		
	Arena	Arad195.14		
Sociedad de los emigrantes	Roca	Arad196.15	652259.00	9588064.00
	Arenas	Arad195.15		
	Arena	Arad195.16		
	Roca	Arad196.16		
Playitas	Arenas	Arad195.17	650969.00	9585929.00
	Arenas	Arad195.18		
La cascada	Roca	Arad196.17	650975.00	9585937.00
	Roca	Arad196.18		
	Roca	Arad196.14		
	Arena	Arad195.19		

3.4. Análisis de las muestras en laboratorio

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva (VAR) de la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN).

3.4.1. Arenas

Mediante procedimiento interno de laboratorio MEER-SCAN-ARAD-013 (Análisis de Espectros) las muestras fueron ingresadas, siguiendo los siguientes pasos:

- Se preparó una fuente de aluminio revestida de plástico la cual fue pesada en una balanza cualitativa mettler PB 1502 sin muestra.
- Se colocaron la muestra de arena húmeda en la fuente de aluminio y se la volvió a pesar.



- Se colocaron en cada muestra un código de respuestas rápida interno del laboratorio y se dejó secar por 5 días a la intemperie, luego se volvió a pesar las muestras para conocer la cantidad de humedad que se perdió; posteriormente se restó el valor del peso de la fuente de aluminio sin muestra, para así conocer el peso real de las arenas ya secas.
- Cada muestra de arena fue colocada en un marinelli tratando de aproximar su peso a 1kilogramo, en algunos casos se quitó el exceso de muestra para obtener el peso ideal.
- Se selló bien la muestra y se la dejo lista para ser analizada mediante el sistema de espectrometría gamma.



3.4.1. Rocas

- Previo a la medición en el sistema de espectrometría gamma las rocas fueron sometidas a una caracterización macroscópica según la clave de identificación de rocas por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (2006)

- En cada muestra se determinó el tipo de roca, seguido a eso se identificó la constitución y se separó en secciones, donde se realizó la macrocaracterización física de cada sección, donde se determinó tamaño de partícula, fabrica y habito
- Para la identificación del tamaño de partícula, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (2006) recomienda tomar 15 mediciones con el fin de obtener la desviación estándar y determinar que la variación que existe entre cada medición sea menor a 0,5 es decir exista una homogeneidad en la roca y se pueda continuar con la macrocaracterización
- Para la medición de tamaño de partícula se usó una regla milimétrica digital measuringcaliper y lupa.



Figura 9: Caracterización de rocas

a) Muestras de rocas.

b) Lupa y regla digital milimétrica.

Con las 15 mediciones se calculó:

Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

(Ecuación 1)

Varianza

$$s = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

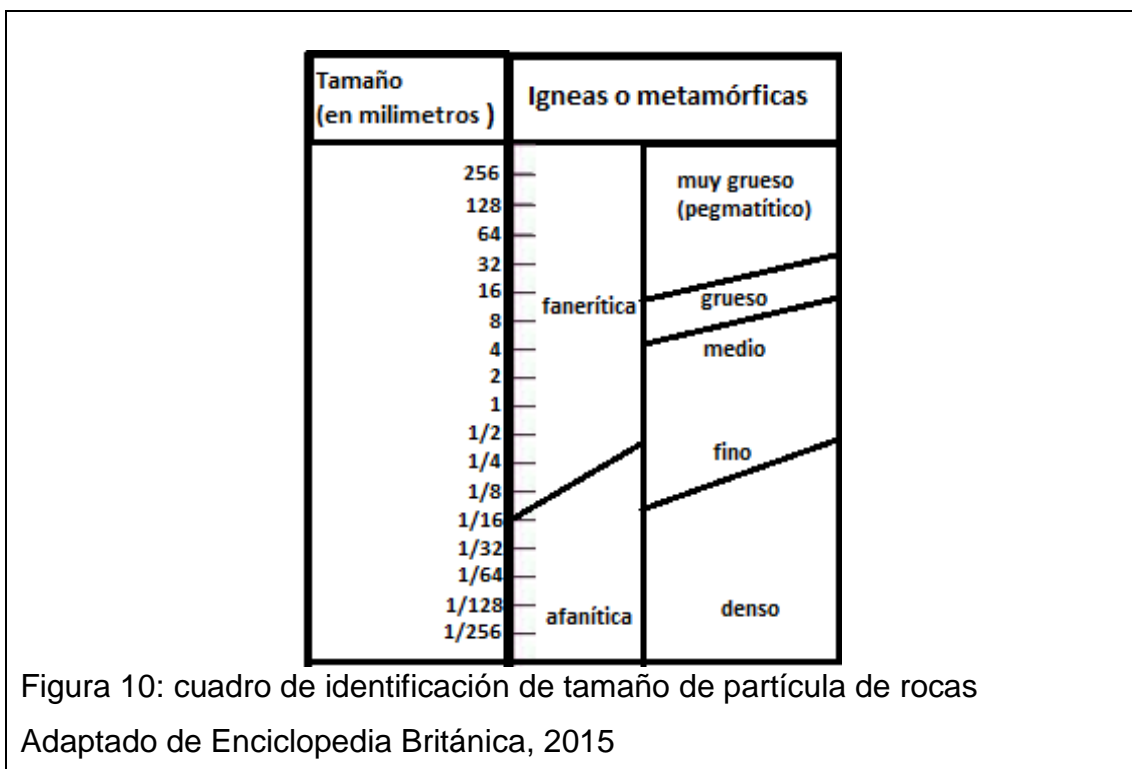
(Ecuación 2)

Desviación estándar

$$s = \sqrt{S}$$

(Ecuación 3)

- Teniendo el tamaño de partícula de cada sección de la muestra, mediante la figura 10 se determinó a que grupo pertenece.



- A continuación se describió que tipo de fábrica y habito tienen los cristales visibles y parte mágica de la roca
- Finalmente cada roca fue triturada hasta tener 1cm de diámetro y se colocó en los marinelli para poder ser analizadas en el sistema de espectrometría gamma

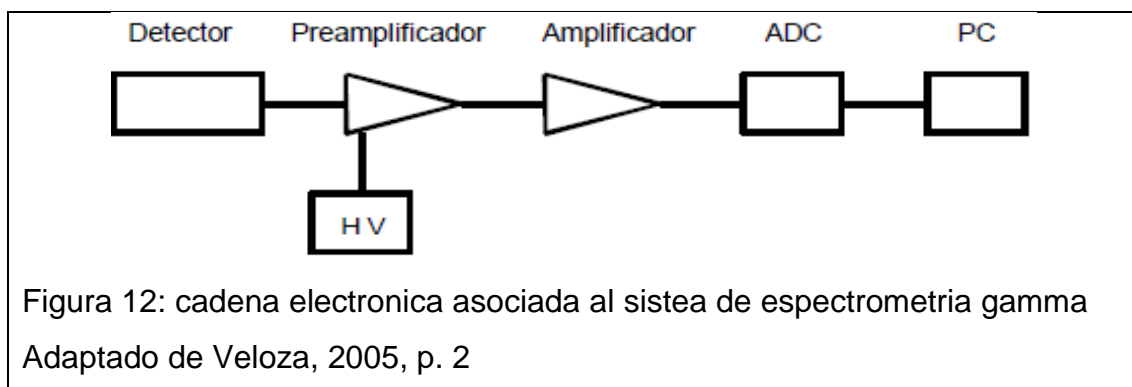
3.5. Sistema de espectrometría gamma

El sistema de espectrometria gamma cuenta con un detector de germanio hiperpuro, instalado en el Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva (VAR) de la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN), que consiste en un detector semiconductor de radiación interconectados con un analizador de altura de pulso y un ordenador. El detector es un cristal semiconductor entre dos electrodos conductores. Una diferencia potencial se establece entre los electrodos produciendo así un campo eléctrico en el semiconductor. Cuando un fotón de rayos γ entra en el semiconductor, este produce una carga libre en el cristal, el cual es proporcional a la energía perdida por el fotón de rayos γ . el movimiento de carga resultante de la influencia del campo eléctrico produce un impulso de corriente inducida en el circuito externo. El impulso de corriente integrada es proporcional a la energía perdida por el fotón de rayos γ . (IAEA, 2011, p. 5)



Figura 11: sistema de espectrometría gamma de germanio hiperpuro

El sistema de espectrometría gamma está formado de varios dispositivos que están diseñados principalmente para la medición de fotones gamma en muestras. El elemento más importante del sistema de medida es el detector, que consiste en un cristal semiconductor de germanio hiperpuro, en la que se aplica una diferencia de potencial elevada, con el fin de generar un campo eléctrico. (M. Barrera, L. Romero, F. Valiño, 2008, pp7)



3.5.1 Cristal semiconductor

Consiste en un cristal semiconductor de germanio hiperpuro (1 átomo de impureza por cada 10 a 12 átomos de Ge) el detector funciona a temperatura de licuefacción del nitrógeno (77K), con el objetivo que se logre disminuir las corrientes de pérdida que se generan a temperatura ambiente que reducen la resolución energética. El detector trabaja con un voltaje entre 4500 V y 4000 V está conectado a una cadena electrónica convencional como se muestra en la figura 0, con el fin de generar el espectro de radiación gamma. (Cruz, 2013, p. 2)

3.5.2 Preamplificador, fuente de alta tensión y amplificador

El detector está conectado a un preamplificador que tiene como objetivo transformar el pulso de carga en pulso de voltaje, con el fin de minimizar la atenuación de estos pulsos por su recorrido del detector al preamplificador, los dos dispositivos están instalados juntos en el criostato. El enfriamiento del

preamplificador ayuda a que el ruido electrónico disminuya lo que ayuda a que mejore la resolución del sistema de espectrometría gamma.(Arenas y Lopez, 2008, p. 12-20)

El preamplificador está conectado a una fuente de alto voltaje, que está encargado de establecer el campo eléctrico que el detector tiene en su interior, la fuente de alta tensión genera voltajes de 0 a 5000 V, que es el voltaje óptimo para que funcione; también tiene incorporado un inhibidor de voltaje para que cuando el detector se caliente debido a que se terminó el nitrógeno líquido, el voltaje disminuya a 0 automáticamente. (Ramírez, 2005, p. 4)

Las señales que salen del preamplificador pasan al amplificador cuyas funciones principales son amplificar y dar una forma más conveniente al pulso eléctrico.

3.5.3. Convertidor analógico digital

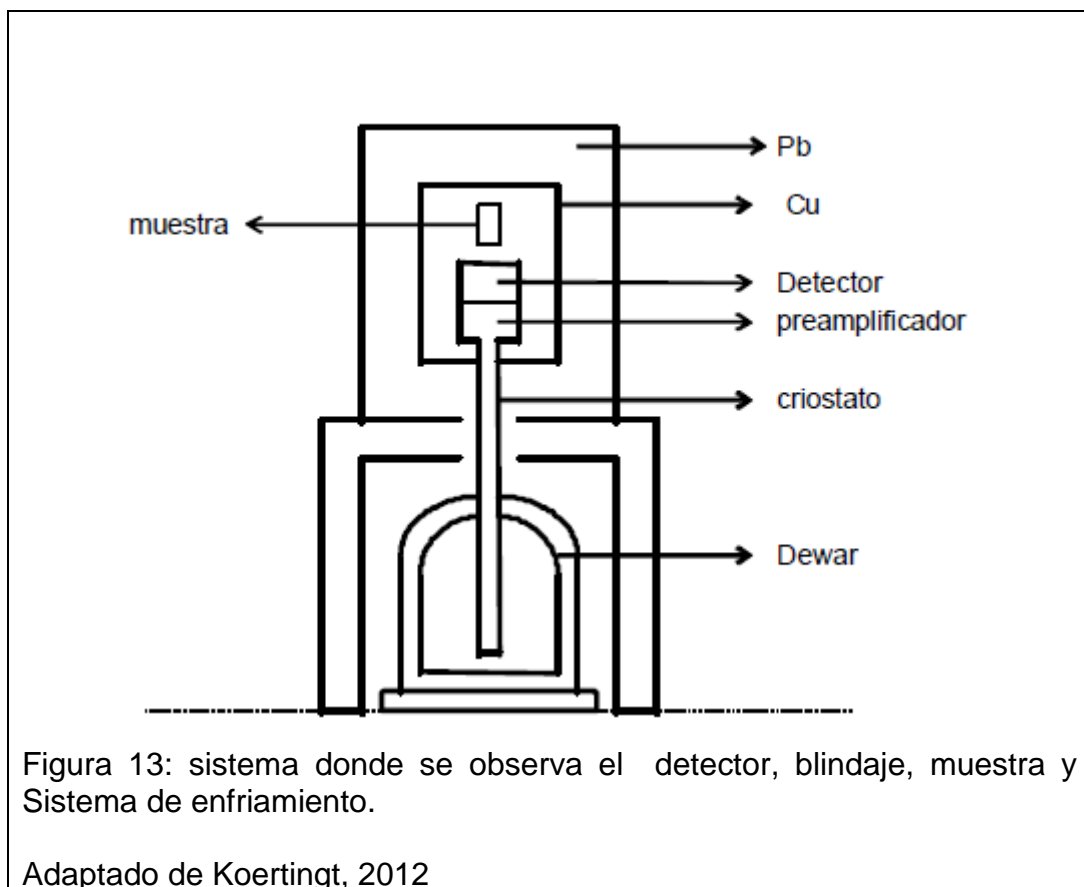
Es un dispositivo que tiene como objetivo determinar la altura de los pulsos eléctricos provenientes del amplificador, donde la señal analógica es transformada en un dígito denominado canal, que es proporcional al voltaje máximo de esta señal. (Romero y González, 2014, pp 61)

3.5.4. Blindaje del detector

Generalmente es un pequeño habitáculo que está hecho de materiales de alta densidad y de elevado número atómico como el hierro o plomo y en la cara interna tiene una capa superficial de cobre de 1mm con el fin de disminuir la radiación fluorescente de rayo X inducida en el plomo, el objetivo principal es minimizar la radiación ajena a la muestra que va a ser analizada, lo que se conoce con el nombre de fondo. Generalmente esta radiación de fondo se da por la interacción de los rayos cósmicos en la atmosfera o presencia de radioisótopos al entorno del detector. (Picado, 2010, p. 10)

3.5.5. Sistema criostático

El criostato es el encargado de enfriar el detector y preamplificador, el cual se encuentra en contacto directo con el nitrógeno líquido contenido en el dewar (figura 15) con una capacidad de 30 litros, la cual va disminuyendo a medida que se evapora, por lo que tendrá que ser repuesto con una periodicidad de una semana. (Gómez, Miranda, Aparicio y Llosa, 2004, pp 67)



3.6. Calibración

Mediante método interno MEER-SCAN-ARAD-009, El sistema de espectrometría gamma fue calibrado en energía y eficiencia, es importante hacerlo previo a la utilización del equipo, ya que la calibración establece una relación entre el número de canales disponibles en la memoria del equipo y la energía en KeV de las emisiones.

3.6.1. Calibración en energía

La escala del software Maestro, está dividida en cuentas en el eje vertical y canales en el eje horizontal, al establecer este eje horizontal en unidades KeV (kilo electrón voltios) se ha establecido una calibración en energía que permite al software y al operador identificar cualitativamente el radionúclido gamma y esta información es usada para los algoritmos en cálculo de la concentración de radionúclidos (determinación cuantitativa).

Cuando se usa el equipo por primera vez se debe usar la opción calibración y la pantalla quedara en blanco.

Se usaron fuentes de Co-60 Cs-137 y Am-241, para tomar un espectro de las mismas con el equipo en condiciones iniciales, se siguió el instructivo interno del laboratorio de procedimiento de espectrometría gamma, para colocar otra fuente en el espectro sobre el anterior, una vez obtenido el espectro, se usó la función calibrate.

Se eligió el pico en la zona más baja y se usó la función calibrate-energy, a continuación se desplego una ventana, donde se puso el valor de 59,6.

Se repitió el paso anterior para el pico más lejano que corresponde el pico Co-60, usando la función calibrate-energy con el valor de 1332.5.

Por último se ingresó las unidades a las que quiere calibrar, indicando en KeV con la fuente de cesio 137, el pico se ubicará más o menos en el tercio inferior de la pantalla, donde se confirmó que su energía es de 661,7 KeV ± 3 KeV, lo que nos da a entender que el equipo está calibrado en energía

3.6.2. Calibración en eficiencia

Con el equipo calibrado en energía se procedió a realizar una calibración en eficiencia.

Para calibrar en eficiencia se tomó un espectro de la geometría que se desea calibrar, esta geometría debe tener los radionucleidos que se van a ser analizados o al menos que posean un rango de energías que permita el análisis.

Para el caso de suelos se utilizó estándares analíticos radiactivos del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), junto a la geometría a ser analizada siguiendo el procedimiento interno del laboratorio de espectrometría gamma.

Una vez colectado el espectro, se utilizó una memoria extraíble u otro dispositivo para pasar el espectro a la computadora de análisis que tiene instalado el software gammavision, que estará en formato chn.

Se comprobó que la calibración de energía se mantenga. Si el número de canales no es el mismo en el espectro y en el software gammavision, se observará una distorsión, por lo que se debe corregir realizando los mismos pasos de calibración de energía en el gammavision que uso el software maestro, es decir se seleccionara picos conocidos para asignarles un valor (generalmente el pico de aniquilación y el pico de K.40, a 511 y 461 KeV respectivamente) o si no dispone de picos de referencia, se considerará el número de canales existentes entre una y otra aplicación y usar el factor de calibración.

Así si en el software maestro el espectro está calibrado en el rango de 0 a 2000 KeV con 1024 canales y el software gammavision con 8192 canales, la relación a ingresar en la ventana de calibración de energía será de:

$$FC = \frac{8192}{1024} = 8$$

(Ecuación 4)

Es decir si en un punto determinado del espectro tenemos 1000 KeV al observador en el software gammavision, corresponderá realmente un valor de 125 KeV ya que hay más canales, este valor deberá ser introducido en la ventana y se deberá seleccionar al menos dos puntos, uno en la región baja preferentemente cerca de 200 KeV y el otro en la región alta preferentemente 1500 KeV.

Corregidas las distorsiones por energía que se podrían haber dado, con el espectro abierto se usó la función calibrate-efficiency.

Se abrió la ventana para el cálculo de eficiencia, se debe recordar que solo se podrá calibrar cuando se disponga de material radiactivo en una geometría definida y con un certificado que indique el número de gammas por segundo a la actividad por unidad de masa o volumen.

Se ubicó sobre los picos más intensos (con mayor número de cuentas) y con ayuda de la tabla de energía, se identificó el radionucleidos que emite esa línea de energía, se verificó que las líneas se han seleccionado adecuadamente y que no corresponden a picos sima u otros artefactos espectroscópicos, los análisis se deberán presentarse cuando estén autorizados a realizar lo indicado en este instructivo, su selección de líneas será antes de proceder a usar o ingresar una calibración nueva.

3.7. Medidas de mitigación desde el punto de vista de protección radiológica

Se realizó una guía de mitigación desde el punto de vista de protección radiológica donde el principal propósito es orientar a los órganos reguladores generar una línea base, la cual tome en cuenta la exposición de NORM en la

extracción y tratamiento de materias primas, con el fin de facilitar la realización y adopción de procedimiento y normas en reglamentos nacionales y locales sobre protección radiológica en la minería y tratamiento de materias primas

Estas medidas de mitigación contemplan aspectos de organización y tecnología de control, frente a exposiciones ocupacionales en instalaciones que se dedican a la minería y tratamiento de las materias primas, cuyo propósito es regular tasa de dosis interna y externa en trabajadores, las cuales se basan en Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra radiación ionizante y seguridad de fuentes de radiación; establecidas por la Organización Internacional de Energía Atómica-OIEA

3.8. Modelamiento de escenarios para exposición de radiación a trabajadores

Es importante poder determinar la posible exposición que un trabajador recibe al año, por lo que en el presente trabajo de investigación se determinó mediante un modelo de escenarios según la IAEA-TECDOC-1000 (1998), la dosis anual por inhalación, dosis anual por exposición y dosis total anual.

En los trabajos que desempeñan los trabajadores en el interior de la mina y en las plantas de tratamiento, existen dos vías de exposición que hay que considerar:

- Irradiación externa por radionucleidos en el lodo y rocas minerales (Dosis anual por exposición)
- Irradiación interna que se da por la inhalación de radionucleidos suspendidos en el aire al momento de procesar las rocas (Dosis anual por inhalación)

Dosis anual por exposición

$$E_{si} = C \cdot sludge \cdot DF_{gr} \cdot Of$$

(Ecuación 5)

Donde:

E_{si} : dosis de radiación en $\frac{Sv}{año}$

$C'sludge$: es la concentración del radionucleidos en $\frac{Bq}{m^2}$

$DFgr$: es el factor de conversión de dosis para exposición en $\frac{SvBq}{m^2}$

Of : es la fracción de tiempo de exposición al año

Dosis anual por inhalación

$$E_{ns} = CsluAge \cdot Riah \cdot DFinh \cdot Of \cdot DL$$

(Ecuación 6)

Donde:

E_{ns} : es dosis anual de la inhalación $\frac{Sv}{año}$

$CsluAge$: es la concentración del radionucleido en $\frac{Bq}{Kg}$

$Riah$: es la tasa de inhalación anual en m^3

$DFinh$: es el coeficiente de dosis por inhalación $\frac{Sv}{Bq}$

Of : es la fracción de tiempo de exposición al año

DL : es la carga de polvo suspendido en el aire en $\frac{Kg}{m^3}$

- La fracción del tiempo de exposición por año fue tomado como 0,228 en base a un tiempo de trabajo de 2000 horas al año
- Los coeficientes de dosis por inhalación y exposición fueron tomados del ICPR- Compendiumfo Dose Coefficients Base don ICRP Publication 60, 2012
- La tasa de inhalación anual según la Organización Mundial de salud-OMS (2014) es de 8.400 m^3
- La carga de polvo ambiental en las minas dependerá de condiciones locales, pero la ICPR (2012) sugiere el valor de $1 \times 10^{-7} m^3$ para minas

Para obtener el valor total de dosis anual, se debe sumar la dosis anual por exposición y la dosis anual por inhalación.

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Macrocaracterización física de las rocas

Se realizó según la clave de identificación de rocas por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (2006)

Las rocas que fueron tomadas en el sector de Zaruma y portovelo son de tipo ígnea, es decir que fueron formadas por el enfriamiento y solidificación del magma ya hace mucho tiempo, es posible evidenciar que todas las rocas cuentan con la presencia de cristales, algunos de mayor tamaño y otro de menor, lo que nos indica que son de tipo plutónicas o intrusivas, es decir que tuvieron un enfriamiento lento llevado a cabo bajo la superficie terrestre, mientras su periodo de tiempo sea mayor, los cristales tendrán las cara más definidas

A continuación se indican las 19 rocas tomadas en el sector de Zaruma y Portovelo, con su respectiva macrocaracterización física

Muestra: arad196.1

La roca se encuentra compuesta por 4 secciones que son:

Ancho de banda blanca

- El promedio del tamaño de partícula es de 5,25 mm de diámetro, que según la figura 10 presente en la metodología, se determinó que es fanerítica gruesa.
- Su fábrica es anhedral, es decir que no tienen caras definidas.
- El hábito es granular ya que se puede evidenciar que la banda está formado por gránulos sin caras desarrolladas.

Materia tomate

- El tamaño de partícula tiene un promedio de 14,96 mm con una desviación estándar de 0,53, que según la figura 10 presente en la metodología pertenece al grupo de fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es parte de la roca es denominada matriz ya que no es un cristales.

Materia gris

- El tamaño de grano de esta parte, tiene un promedio de 23,98 mm con una desviación estándar de 0,56, que según la figura 10 presente en la metodología es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es parte de la roca es denominada matriz ya que no es un cristales.

Cristales amarillos

- El tamaño de cada cristal es de 0,11 mm de diámetro con una desviación estándar de 0,010, lo que nos indica que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio.
- La fábrica de los cristales es subhedral, que nos indica que los cristales están semidesarrollados y se puede evidenciar algunas caras definidas.
- Su hábito es equidimensional ya que su forma aún no está definida.

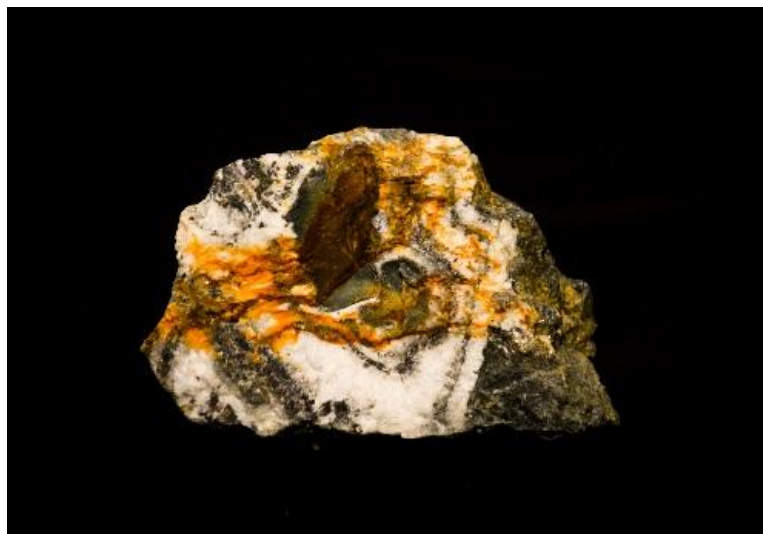


Figura 14: Muestra: arad196.1

Muestra: Muestra: arad196.2

La roca se encuentra compuesta por 3 secciones que son:

Cristales blancos

- El promedio del tamaño de cada cristales de 3,65 mm con una variación estándar de 0,67, lo que según la figura 10 presente en la metodología corresponde a fanerítica grueso.
- Su fábrica es anhedral, ya que las caras de los cristales no están definidas
- Su habito es granular, ya que los cristales tienen forma granular sin caras visibles

Materia roja

- El promedio del tamaño de partícula es 6,28 mm con una desviación estándar de 0,63, que según la figura 10 presente en la metodología es fanerítica grueso.
- No es cristal por lo que es denominado matriz.

Materia tomate

- El promedio del tamaño de partícula es 25 mm con una desviación estándar de 0,49, que según la figura 10 presente en la metodología es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- No es cristal por lo que es denominado matriz.



Figura 15: Muestra: arad196.2

Muestra: arad196.3

La roca se encuentra compuesta por 3 secciones que son:

Cristales blancos

- El tamaño de partícula de los cristales tiene un promedio de 10,09 mm de diámetro, con una desviación estándar de 0,52 por lo que según la figura 1 presente en la metodología. Es considerada fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- La fábrica es subhedral, ya que solo tiene algunas caras definidas.
- Su hábito es tabular debido a que la forma de los cristales es alargada terminada en punta.

Materia gris

- El promedio de tamaño de partícula es 8,10 mm de diámetro con una desviación estándar de 0,65 lo que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- No es cristal por lo que es denominado matriz.

Materia tomate

- El promedio de tamaño de partícula es 22,70 mm de diámetro con una desviación estándar de 0,66, que según la figura 10 que es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- No es cristal por lo que es denominado matriz.



Figura 16: Muestra: arad196.2

Muestra: arad196.3

La roca se encuentra compuesta por 4 secciones que son:

Ancho de banda blanca

- El tamaño de partícula tiene un promedio de 5,45 mm con una desviación estándar de 0,63, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica gruesa.
- Su fábrica es anhedral, lo que nos dice que los cristales no tienen caras definidas.
- Su hábito es granular ya que el ancho de banda tiene forma de gránulo y no presentan caras definidas.

Cristales grises

- El promedio del tamaño de cada cristal es de 1,49 mm y tiene una desviación estándar de 0,48, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio.
- Su fábrica es subhedral, ya que se puede ver pocas caras definidas.
- Su hábito es equidireccional, ya que al no tener caras desarrolladas, no presenta una forma definida.

Materia negra

- El promedio del tamaño de partícula es de 7,55 mm y tiene una desviación estándar de 0.51, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica). Es una matriz ya que no es cristal.

Materia negra

- El promedio del tamaño de partícula es de 14,52 mm y tiene una desviación estándar de 0.45, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).

- Es una matriz ya que no es cristal



Figura 17: Muestra: arad196.4

Muestra: arad196.5

La roca se encuentra compuesta por 6 secciones que son:

Cristales grises

- El promedio del tamaño de cada cristal es de 0,152 mm, con una desviación estándar de 0,03, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio.
- Su fábrica es anhedral, ya que los cristales no tienen caras definidas.
- Su hábito es granular, ya que no tiene caras visibles y presenta gránulos.

Cristales amarillos

- El promedio de tamaño de partícula es de 2,11 mm con una desviación estándar de 0,34, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio.
- Su fábrica es subhedral, ya que se puede ver pocas caras definidas.
- Su hábito es equidireccional, ya que al no tener caras desarrolladas no presenta una forma definida.

Cristales blancos

- Cada partícula tiene de promedio 10,82 mm con una desviación estándar de 0,67, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítico).
- Su fábrica es subhedral, ya que se puede ver pocas caras definidas.
- Su hábito es tabular, debido a que el cristal es alargado con puntas en forma de prisma.

Cristales negros

- El promedio de tamaño de partícula es de 1,93 mm con una desviación estándar de 0,30, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio.
- Su fábrica es subhedral, ya que se puede ver pocas caras definidas.
- Su hábito es equidireccional, ya que al no tener caras desarrolladas no presenta una forma definida.

Materia negra

- El promedio del tamaño de partícula es de 5,26 mm y tiene una desviación estándar de 0.66, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica grueso.
- Es una matriz ya que no está compuesta por cristales.

Materia gris

- El promedio del tamaño de partícula es de 12,39 mm y tiene una desviación estándar de 0.62, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es una matriz ya que no está compuesta por cristales.



Figura 18: Muestra: arad196.5

Muestra: arad196.6

La roca se encuentra compuesta por 3 secciones que son:

Ancho de banda blanca:

- El promedio de tamaño de partícula es de 3,08 mm y tiene una desviación estándar de 0,49, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica grueso.
- Su fábrica es subhedral ya que presenta pocas caras definidas.
- Su hábito es laminar, ya que la forma de los cristales es alargada a manera de láminas.

Materia gris

- El promedio del tamaño de partícula es de 22,87 mm y tiene una desviación estándar de 0.64, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es una matriz ya que es un cristal.

Cristales amarillos

- El promedio de tamaño de partícula es de 2,14 mm y tiene una desviación estándar de 0,35, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica grueso.
- Su fábrica es subhedral ya que presenta pocas caras definidas.
- Su hábito es equidireccional ya que tiene pocas caras definidas pero no presenta forma definida.



Figura 19: Muestra: arad196.6

Muestra: arad196.7

La roca se encuentra compuesta por 4 secciones que son:

Cristales blancos

- El tamaño de partícula tiene un promedio de 2,81 mm con una desviación estándar de 0,51, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica gruesa.
- Su fábrica es euhedral, lo que nos dice que los cristales están bien desarrollados y presentan sus caras bien definidas.
- Su hábito es prismático, porque son alargados y en forma de prisma.

Cristales amarillos

- El promedio del tamaño de cada cristal es de 0,12 mm y tiene una desviación estándar de 0,01, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio.
- Su fábrica es subhedral, ya que se puede ver pocas caras definidas.
- Su habido es equidireccional, ya que al no tener caras desarrolladas, no presenta una forma definida.

Materia gris:

- El promedio del tamaño de partícula es de 15,91 mm y tiene una desviación estándar de 0.49, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es una matriz ya que no está compuesta por cristales.



Figura 20: Muestra: arad196.7

Muestra: arad196.8

La roca se encuentra compuesta por 3 secciones que son:

Ancho de banda blanca

- El promedio de tamaño de partícula es de 2,75 mm y tiene una desviación estándar de 0,44, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica grueso.
- Su fábrica es anhedral, ya que no tiene ninguna cara definida.
- Su hábito es granular ya que la forma de los cristales, es como granos.

Materia verde

- El promedio del tamaño de partícula es de 24,32 mm y tiene una desviación estándar de 0.51, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es una matriz ya que es un cristal.

Cristales amarillos

- El promedio de tamaño de partícula es de 0,12 mm y tiene una desviación estándar de 0,011, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio.
- Su fábrica subhedral, ya que presenta pocas caras definidas.
- Su hábito es equidireccional ya que tiene pocas caras definidas pero no presenta forma definida.



Figura 21: Muestra: arad196.8

Muestra: arad196.9

La roca se encuentra compuesta por 4 secciones que son:

Cristales blancos

- El promedio de tamaño de partícula es de 2,73 mm y tiene una desviación estándar de 0,30, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica grueso.
- Su fábrica es euhedral, ya que presenta cristales con caras bien definidos.
- Su hábito: tabular.

Cristales amarillos

- El promedio del tamaño de partícula es de 0.97 mm y tiene una desviación estándar de 0.26, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio
- Su fábrica es subhedral
- Su hábito: equidimensional.

Materia gris

- El promedio del tamaño de partícula es de 12,28 mm y tiene una desviación estándar de 0.60, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es una matriz ya que es un cristal.

Cristales negros

- El promedio de tamaño de partícula es de 2,21 mm y tiene una desviación estándar de 0,33, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica grueso.
- Su fábrica subhedral, ya que presenta pocas caras definidas
- Su hábito es laminar



Figura 22:Muestra: arad196.9

Muestra: arad196.10

La roca se encuentra compuesta por 3 secciones que son:

Cristales blancos

- El promedio de tamaño de partícula es de 3,40 mm y tiene una desviación estándar de 0,84, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica grueso.
- Su fábrica es anhedral, ya que no tiene ninguna cara definida.
- Su hábito es granular ya que la forma de los cristales, es como granos.

Materia gris

- El promedio del tamaño de partícula es de 28,43 mm y tiene una desviación estándar de 0.66, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es una matriz ya que es un cristal.

Cristales grises

- El promedio de tamaño de partícula es de 0,24 mm y tiene una desviación estándar de 0,29, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio.
- Su fábrica subhedral, ya que presenta pocas caras definidas
- Su hábito es equidireccional ya que tiene pocas caras definidas pero no presenta forma definida.



Figura 23: Muestra: arad196.10

Muestra: arad196.11

La roca se encuentra compuesta por 4 secciones que son:

Cristales blancos

- El promedio de tamaño de partícula es de 7,76 mm y tiene una desviación estándar de 0,55, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica grueso.
- Fabrica: subhedral
- Hábito: laminar.

Cristales amarillos

- El promedio del tamaño de partícula es de 0,52 mm y tiene una desviación estándar de 0.24, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio
- Fabrica: anhedral
- Hábito: equidimensional.
-

Materia gris

- El promedio del tamaño de partícula es de 5,44 mm y tiene una desviación estándar de 084, que según la figura 10 es fanerítica grueso.
- Es una matriz ya que es un cristal.

Materia blanca

- El promedio del tamaño de partícula es de 3,21 mm y tiene una desviación estándar de 0.50, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es una matriz ya que es un cristal.



Figura 24: Muestra: arad196.11

Muestra: arad196.12

La roca se encuentra compuesta por 4 secciones que son:

Materia gris

- El promedio del tamaño de partícula es de 8,37 mm y tiene una desviación estándar de 0,60, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es una matriz ya que es un cristal.

Materia blanca

- El promedio del tamaño de partícula es de 17,10 mm y tiene una desviación estándar de 0.50, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es una matriz ya que es un cristal.

Cristales amarillos

- El promedio del tamaño de partícula es de 0,39 mm y tiene una desviación

- estándar de 0.50, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio
- Fabrica: anhedral
- Hábito: equidimensional.



Figura 25: Muestra: arad196.13

Muestra: arad196.13

La roca se encuentra compuesta por 3 secciones que son:

Materia gris

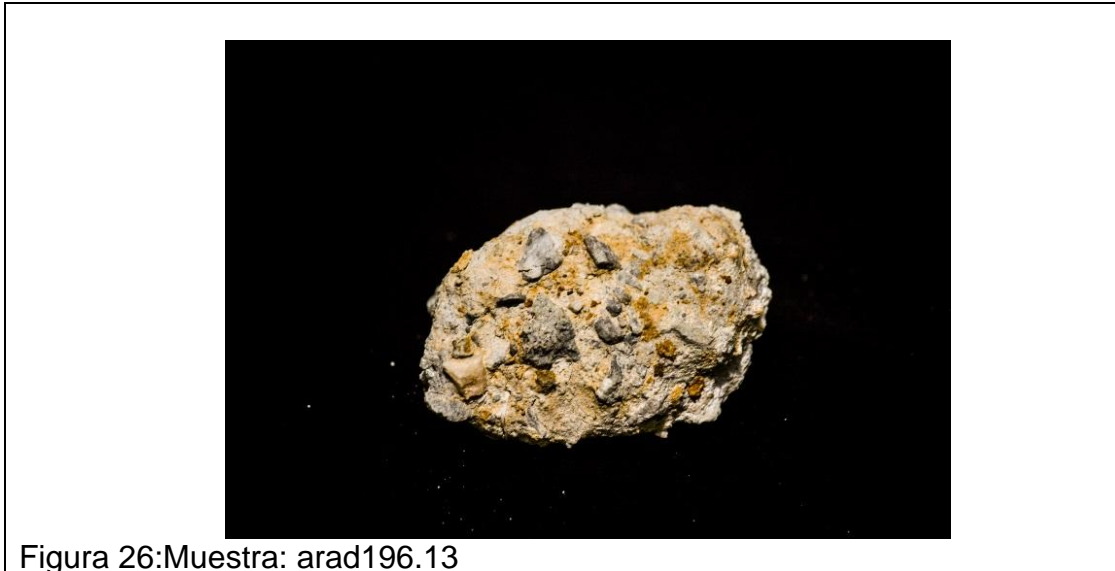
- El promedio de tamaño de partícula es de 3,82 mm y tiene una desviación estándar de 0,52, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica grueso.
- Fabrica: subhedral
- Hábito: laminar.

Cristales grises

- El promedio del tamaño de partícula es de 0,62 mm y tiene una desviación estándar de 0.44, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio
- Fabrica: anhedral
- Hábito: equidimensional.

Materia blanca

- El promedio del tamaño de partícula es de 6,34 mm y tiene una desviación estándar de 0.54, que según la figura 10 es fanerítica grueso.
- Es una matriz ya que es un cristal.



Muestra: arad196.14

La roca se encuentra compuesta por 4 secciones que son:

Materia gris

- El promedio de tamaño de partícula es de 20,26 mm y tiene una desviación estándar de 0,63, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es una matriz ya que es un cristal.

Cristales amarillos

- El promedio del tamaño de partícula es de 9,38 mm y tiene una desviación estándar de 0.37, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Forma: subhedral
- Hábito: laminar.

Materia negra

- El promedio del tamaño de partícula es de 15,46mm y tiene una desviación estándar de 0.39, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica grueso.
- Es una matriz ya que es un cristal.

Cristales negros

- El promedio del tamaño de partícula es de 1,85 mm y tiene una desviación estándar de 0.28, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio
- Fabrica: anhedral
- Hábito: equidimensional.

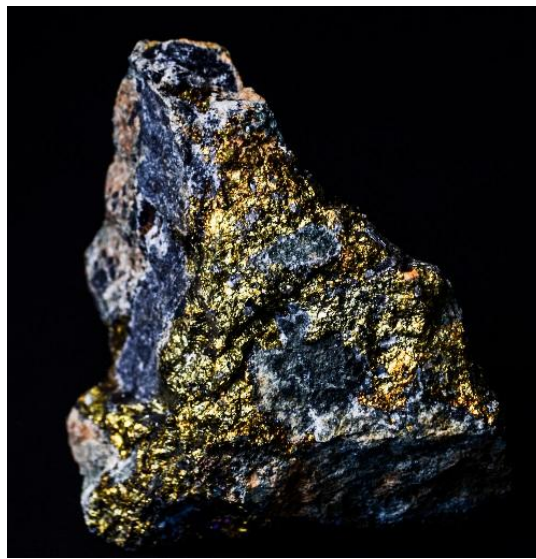


Figura 27: Muestra: arad196.14

Muestra: arad196.15

La roca se encuentra compuesta por 3 secciones que son:

Materia gris

- El promedio de tamaño de partícula es de 14,67 mm y tiene una desviación estándar de 0,44, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es una matriz ya que es un cristal.

Cristales grises

- El promedio del tamaño de partícula es de 0,78 mm y tiene una desviación estándar de 0.07, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio.
- Forma: subhedral
- Hábito: equidimensional.

Materia negra

- El promedio del tamaño de partícula es de 16,80 mm y tiene una desviación estándar de 0.60, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica grueso.
- Es una matriz ya que es un cristal.



Figura 28: Muestra: arad196.15

Muestra: arad196.16

La roca se encuentra compuesta por 3 secciones que son:

Materia blanca

- El promedio del tamaño de partícula es de 21,52 mm y tiene una desviación estándar de 0,72, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica). Es una matriz ya que es un cristal.

Materia gris

- El promedio del tamaño de partícula es de 20,18 mm y tiene una desviación estándar de 0.50, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es una matriz ya que es un cristal.

Cristales amarillos

- El promedio del tamaño de partícula es de 0,92 mm y tiene una desviación estándar de 0.15, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio
- Forma: anhedral
- Hábito: equidimensional.



Figura 29: Muestra: arad196.16

Muestra: arad196.17

La roca se encuentra compuesta por 4 secciones que son:

Cristales blancos

- El promedio del tamaño de partícula es de 4,34 mm y tiene una desviación estándar de 0,43, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica grueso
- Fabrica: subhedral
- Hábito: laminar

Materia blanca

- El promedio del tamaño de partícula es de 20,10 mm y tiene una desviación estándar de 0.42, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es una matriz ya que es un cristal.

Cristales amarillos

- El promedio del tamaño de partícula es de 0,13 mm y tiene una desviación estándar de 0.02, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio
- Fabrica: anhedral
- Hábito: equidimensional



Figura 30: Muestra: arad196.17

Muestra: arad196.18

La roca se encuentra compuesta por 4 secciones que son:

Materia gris

- El promedio del tamaño de partícula es de 8,17 mm y tiene una desviación estándar de 0,63, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es una matriz ya que es un cristal

Materia blanca

- El promedio del tamaño de partícula es de 6,15 mm y tiene una desviación estándar de 0,47, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica grueso
- Es una matriz ya que es un cristal

Materia roja

- El promedio del tamaño de partícula es de 12,89 mm y tiene una desviación estándar de 0.49, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Es una matriz ya que es un cristal.

Cristales grises

- El promedio del tamaño de partícula es de 0,35 mm y tiene una desviación estándar de 0,03, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica medio
- Forma: anhedral
- Hábito: equidimensional



Figura 31: Muestra: arad196.18

Muestra: arad196.19

La roca se encuentra compuesta por 4 secciones que son:

Cristales blancos

- El promedio de tamaño de partícula es de 6,96 mm y tiene una desviación estándar de 0,58, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica muy grueso (pegmatítica).
- Fabrica: euedral
- Hábito: tabular.

Materia gris

- El promedio del tamaño de partícula es de 8,63 mm y tiene una desviación estándar de 0,43, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica grueso.
- Es una matriz ya que es un cristal.

Materia gris

- El promedio del tamaño de partícula es de 5,97 mm y tiene una desviación estándar de 0,53, que según la figura 10 presente en la metodología, es fanerítica grueso.
- Es una matriz ya que no contiene cristales.



Figura 32: Muestra: arad196.19

4.2. Resultados obtenidos mediante análisis por espectrometría gamma con germanio hiperpuro

Los espectros obtenidos se pueden observar en el anexo 1

La (IAEA. 2008) recomienda que las fuentes de radiación natural no deben ser mayor a 1000 Bq/Kg para la serie de desintegración ^{238}U y ^{232}Th , o 10000 Bq/Kg en el caso del de ^{40}K , actividad que se relaciona con la tasa de dosis aceptable para trabajadores que es de 1 mSv / año, según la (ICPR, 2007)

A continuación se muestran los radionucleidos analizados en las muestras de arena y roca

^{210}Pb

La figura 1 muestra la variación que tiene el ^{210}Pb en las 19 muestras de roca que fueron tomadas en el sector minero de Zaruma y Portovelo, donde el pico más alto fue la muestra arad 196.2, tomada en la planta de beneficio Tres reyes, con una actividad radiactiva de 3345,3 Bq/Kg, que según la (IAEA. 2008) sobrepasa el límite de 1000 Bq/Kg, mientras que el pico más bajo es la muestra arad.196.9 tomada en la planta de beneficio Miranda 1, con una actividad radiactiva de 636,66 Bq/Kg, estando por debajo del límite recomendado

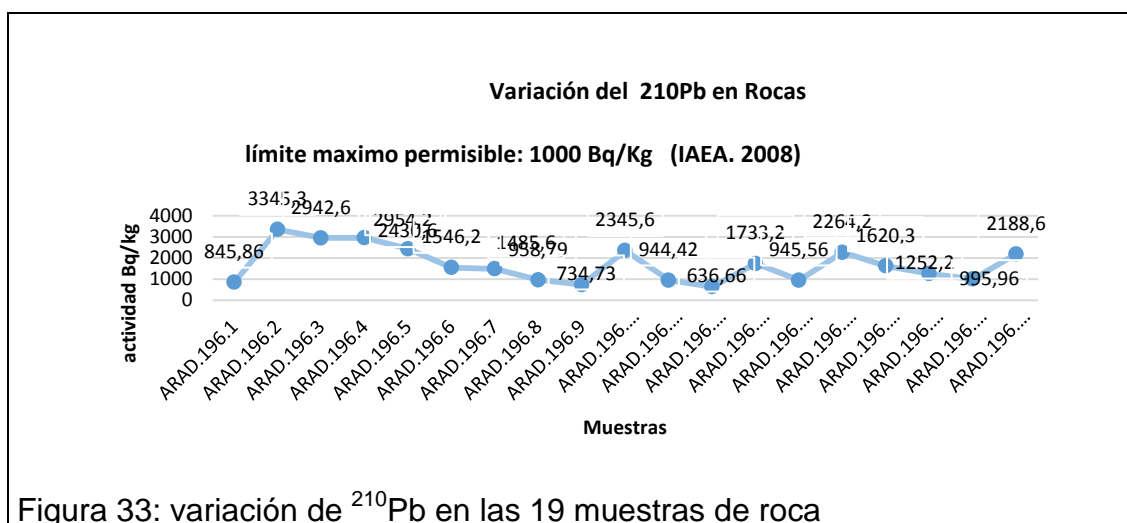
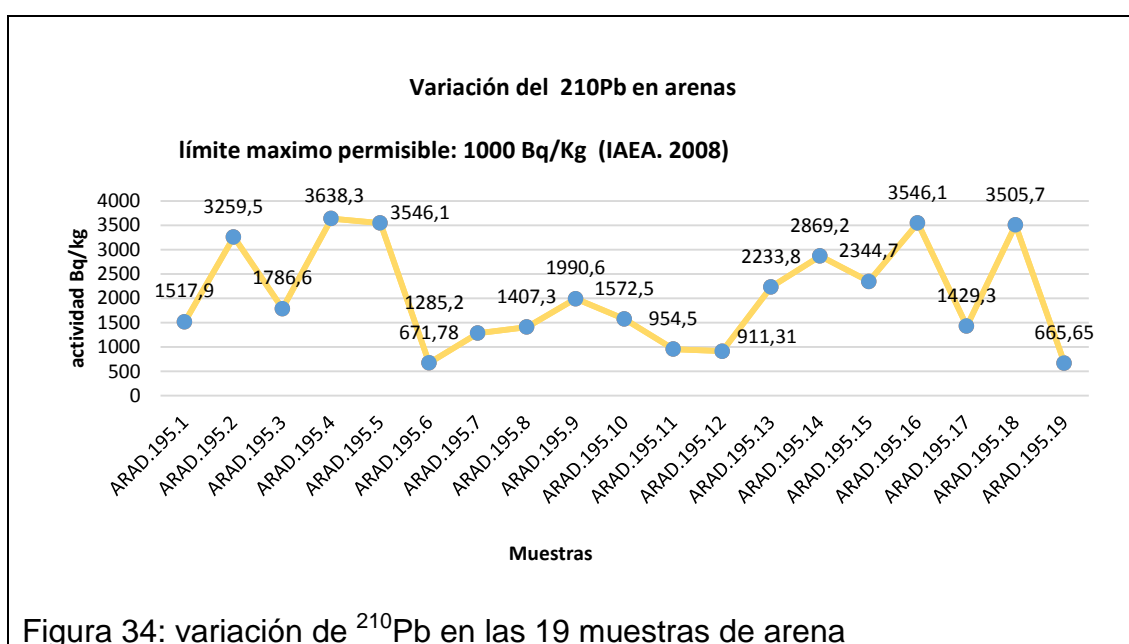


Figura 33: variación de ^{210}Pb en las 19 muestras de roca

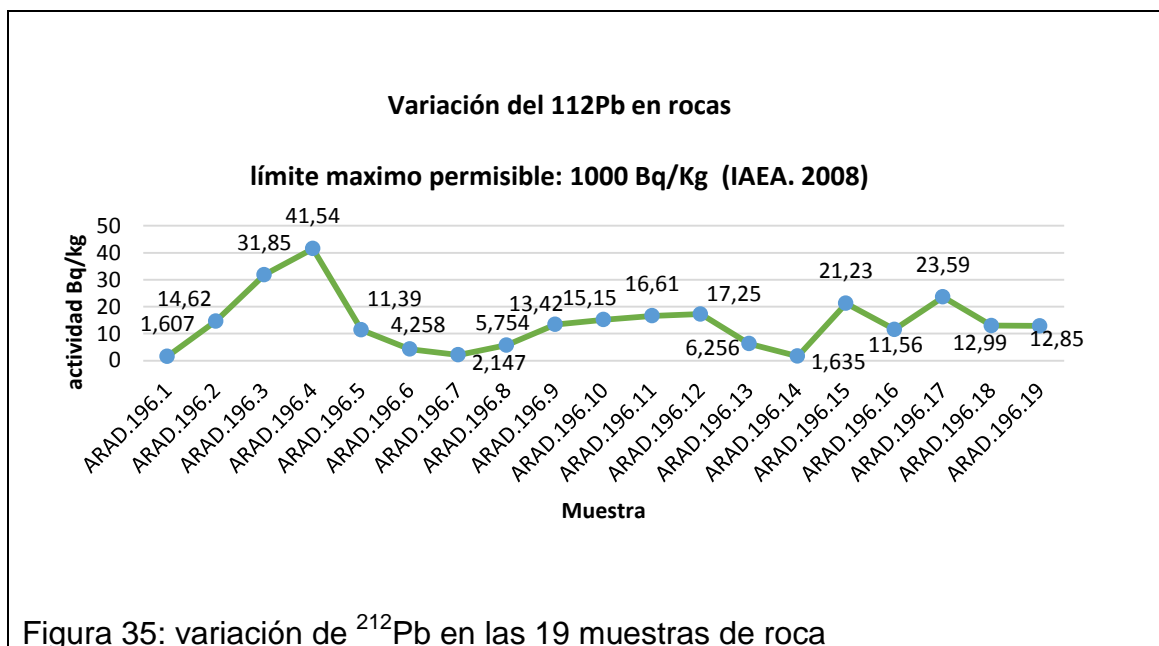
En la figura 2 el ^{210}Pb se pueden observar las 19 arenas tomadas en el sector minero de Zaruma y Portovelo, donde el valor más alto presenta la muestra Arad 195.4, tomada en la planta de beneficio Sagrado Corazón de Jesús, con una actividad radiactiva de 3638,3 Bq/Kg, que según la (IAEA. 2008) sobrepasa el límite recomendado de 1000 Bq/Kg, mientras que el valor más bajo, es la muestra arad arad.196.9 tomada en la planta de beneficio Marquesa, con una actividad radiactiva de 671,78 Bq/Kg, estando por debajo del límite permisible



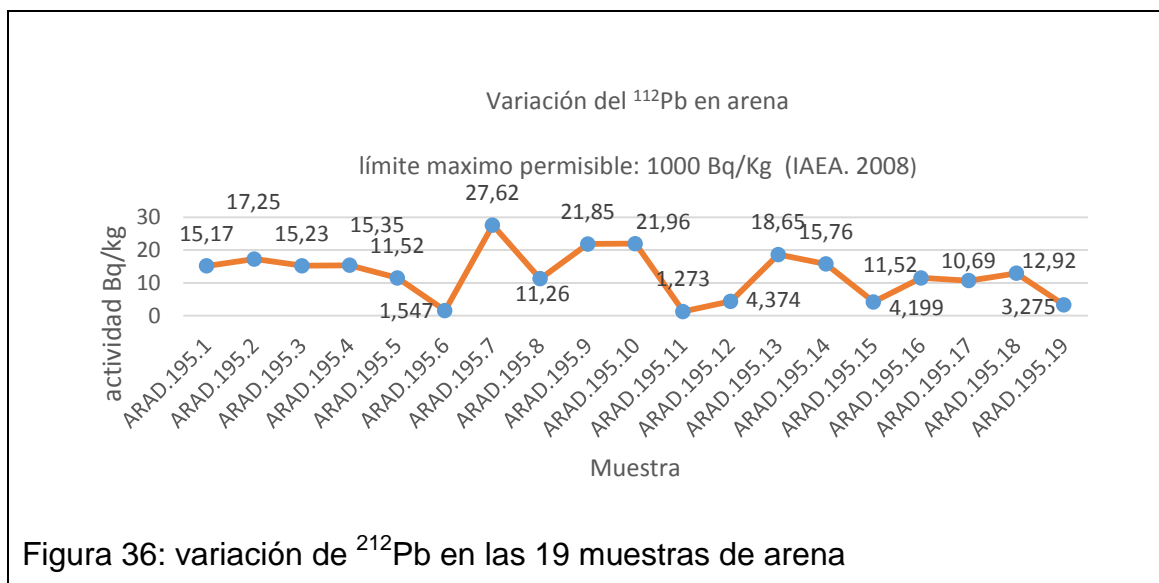
El radioisótopo ^{210}Pb es un radioisótopo formado a partir de la cadena del ^{238}U vía ^{222}Rn , con un tiempo de vida media de 22,3 año (Swang, 2008), al ser analizado en las muestras de arena y roca mineral presentan las medias más elevadas y coeficientes de variación bajos en relación a otros elementos, lo que indica que su presencia es elevada en todas las muestras

La razón por los elevados valores de ^{210}Pb en las muestras de roca y arena mineral, se debe a que es el isótopo más abundante del plomo, y las muestras presentan gran cantidad de metales pesados como lo es el plomo (Castro y Gonzales, 2014 p. 25)

La figura 3 muestra que el pico más alto en rocas fue la muestra arad 196.4, tomada en la planta de beneficio Sagrado Corazón de Jesús del gran poder, con una actividad radiactiva de 41,54 Bq/Kg, mientras que el pico más bajo es la muestra arad.196.14 tomada en la planta de beneficio Chilingos, con una actividad radiactiva de 1,635 Bq/Kg; estando por debajo del límite sugerido establecido por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg

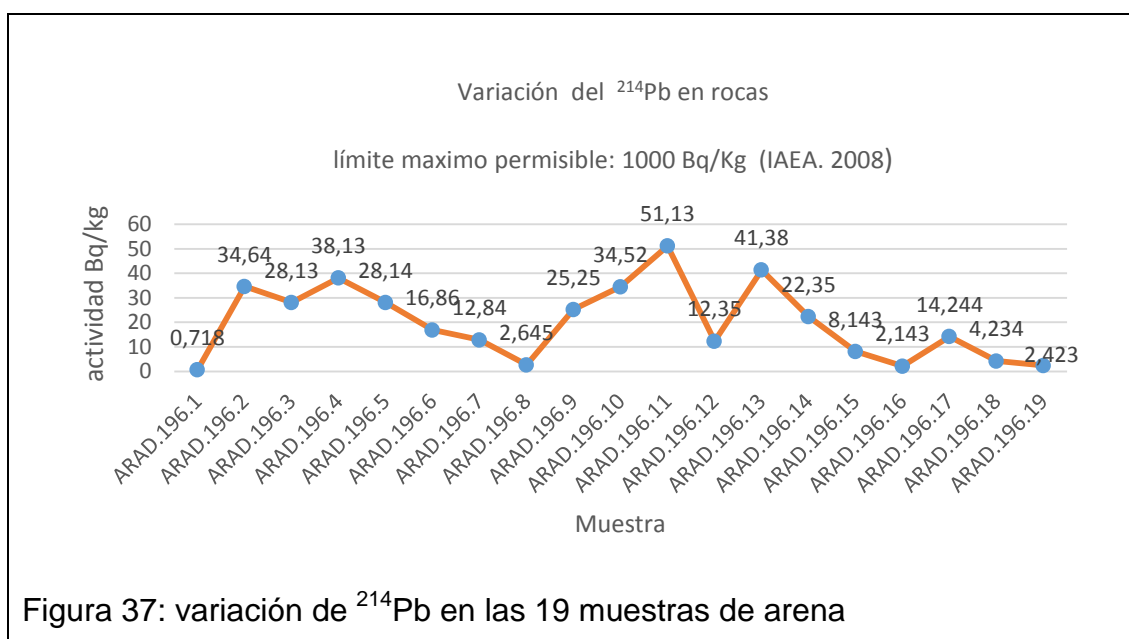


En la figura 4 se observar que el valor más alto en rocas fue la muestra arad 195.7, tomada en la planta de beneficio Miranda 1, con una actividad radiactiva de 27,62/Kg, mientras que el valor más bajo es la muestra arad arad.196.9 tomada en la planta de beneficio dos Herederos Espinoza, con una actividad radiactiva de 2,273 Bq/Kg; estando por debajo del límite recomendado por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg

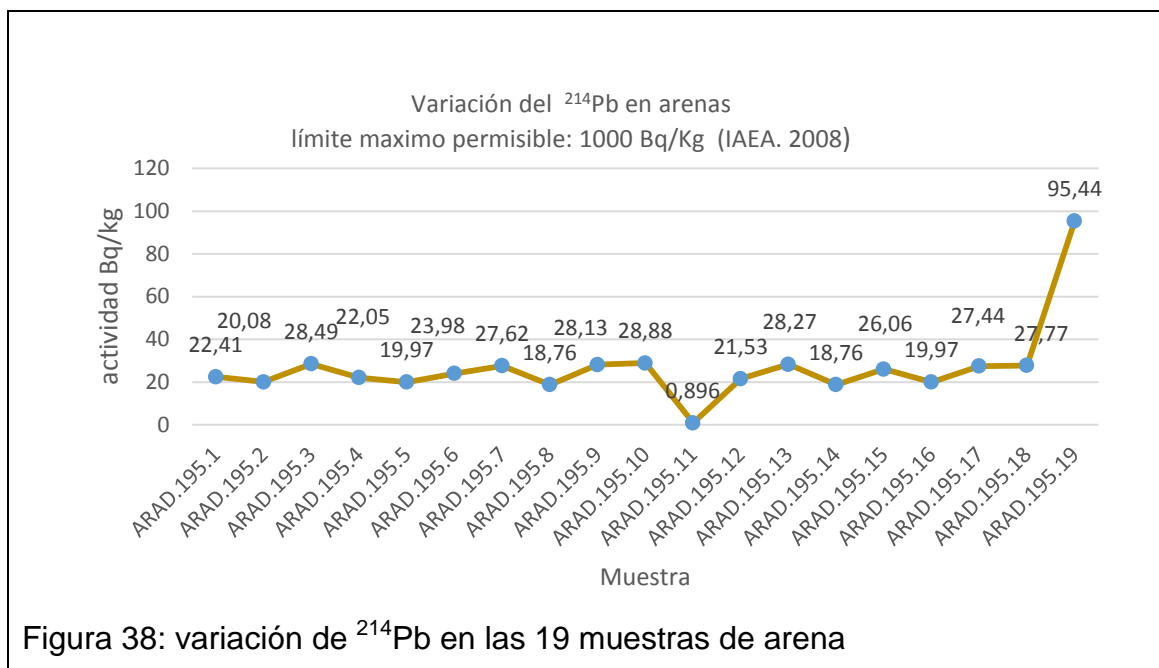


^{214}Pb

Se muestra en la figura 5, el pico más alto en rocas que fue la muestra arad 196.11 tomada en la planta de beneficio, Marquesa, con una actividad radiactiva de 51,13 Bq/Kg, siendo el pico más bajo es la muestra arad.195.1 tomada en la planta de beneficio Barbasco 1, con una actividad radiactiva de 0,718 Bq/Kg; estando por debajo del límite sugerido por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg



La figura 6 indica de manera gráfica el pico más alto en arenas que fue la muestra arad196.19, tomada en la planta de beneficio La Cascada, con una actividad radiactiva de 95,44 Bq/Kg, mientras que el pico más bajo es la muestra arad arad.196.9 tomada en la planta de beneficio Herederos Espinoza, con una actividad radiactiva de 0,896 Bq/Kg; estando por debajo del límite sugerido por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg

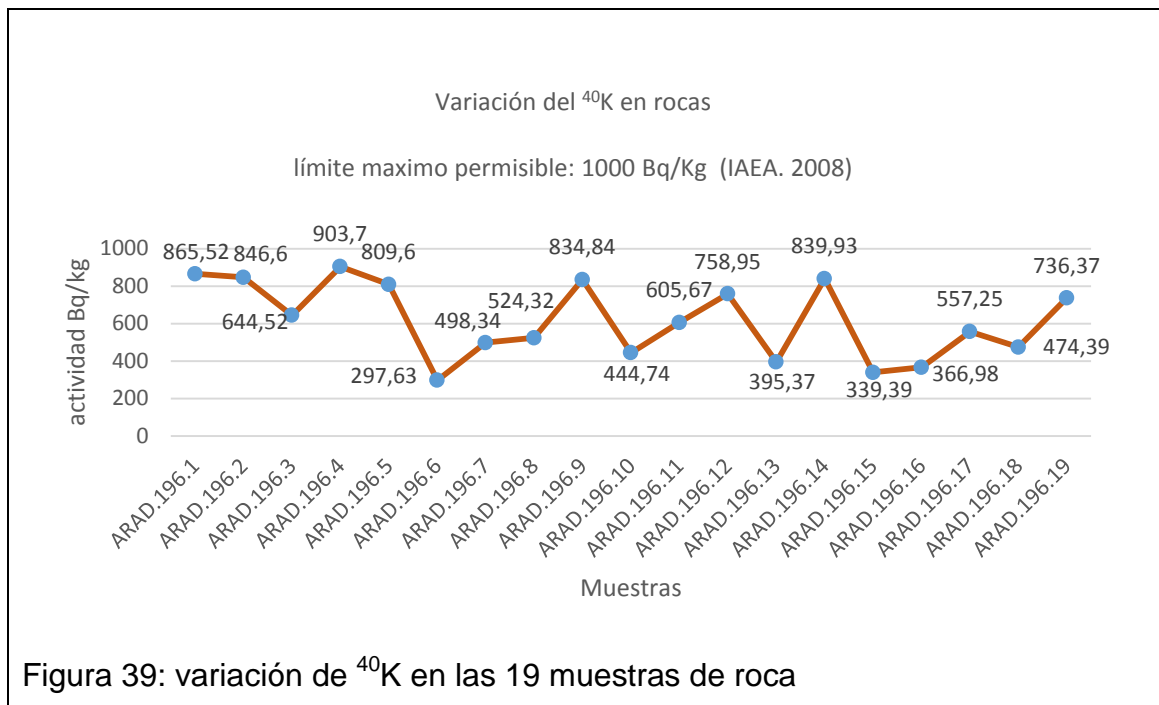


El ^{212}Pb proveniente de la cadena de decaimiento de ^{238}U y el ^{214}Pb de la cadena de decaimiento del ^{232}Th , son radioisótopos caracterizados por que su detección es compleja debido a que su periodo de vida media es muy corto 10,64 horas para el ^{212}Pb y 26,8 minutos para el ^{214}Pb . (IAEA, 2013, p. 26) Los valores obtenidos en rocas y arenas son muy bajos para ser considerados peligrosos para la salud de los trabajadores

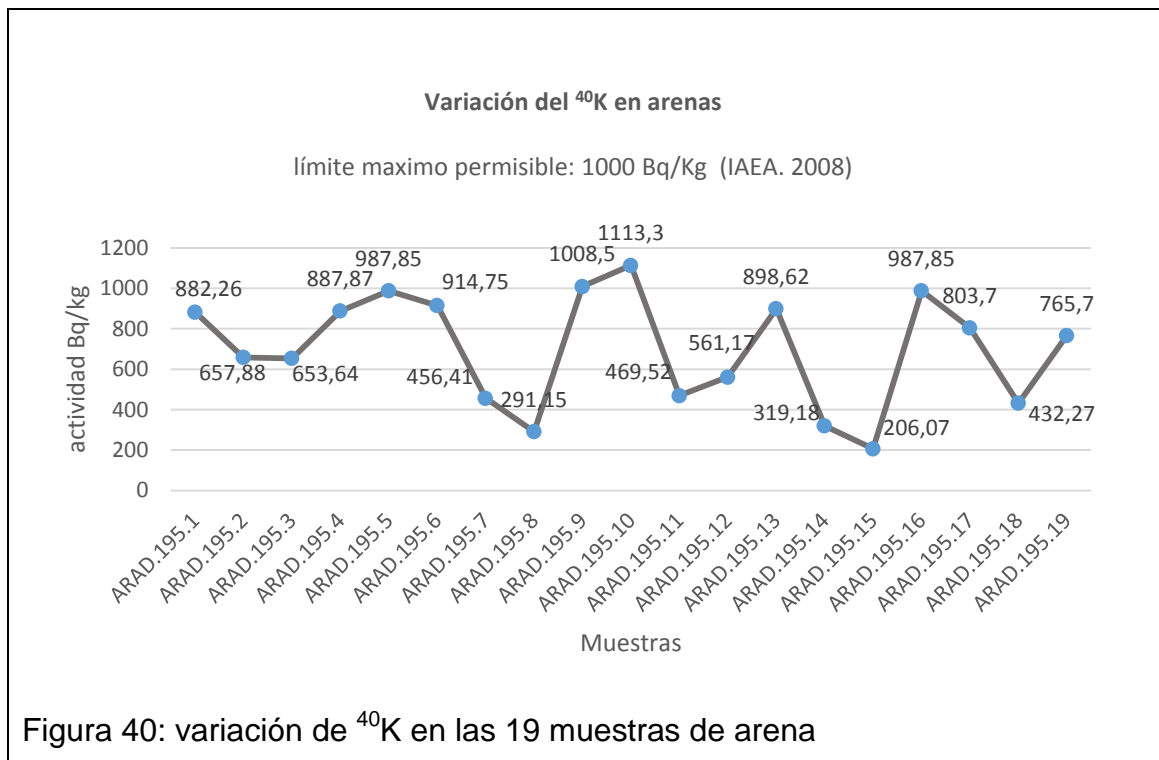
^{40}K

La figura 7 explica que el pico más alto en rocas fue la muestra arad 195.4, tomada en la planta de beneficio Sagrado Corazón de Jesús, con una actividad radiactiva de 903,7 Bq/Kg, mientras que el pico más bajo es la muestra arad.195.6 tomada en la planta de beneficio Jesús del Gran Poder, con una

actividad radiactiva de 297,63 Bq/Kg; estando por debajo del límite recomendado por el (IAEA. 2008) de 10000 Bq/Kg



La figura 8 revela que el valor más alto en arenas fue la muestra arad195.10, tomada en la planta de beneficio Israel 2, con una actividad radiactiva de 1113,3 Bq/Kg, mientras que el pico más bajo es la muestra arad arad.195.15 tomada en la planta de beneficio Sociedad de los emigrantes, con una actividad radiactiva de 206,7 Bq/Kg; estando por debajo del límite sugerido por el (IAEA. 2008) de 10000 Bq/K



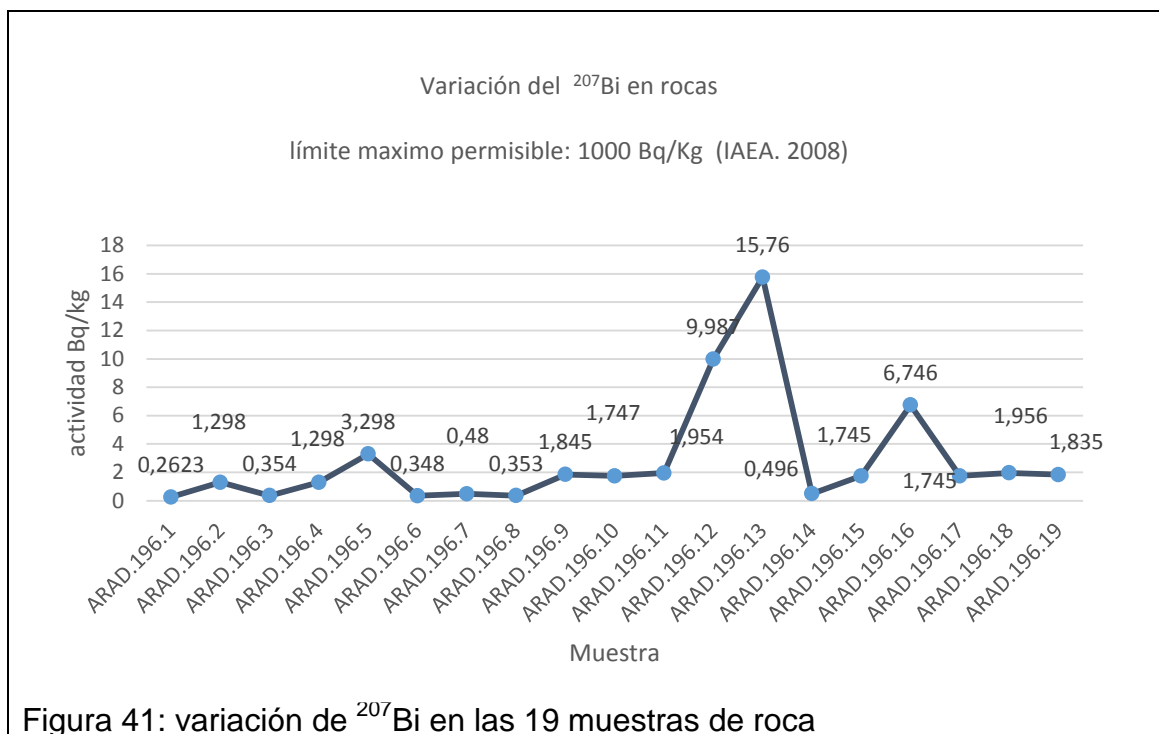
El ^{40}K posee un periodo de vida media extremadamente largo de 1.251×10^9 años lo cual es casi imposible eliminar su fuente de radiación, (Perez y Zeller, 2002, p. 2) a eso se suma que su ubicuidad es mucho más alta que cualquier elemento radiactivo con una abundancia natural de 0,012%, por lo que es considerado como una fuente natural de radiación de fondo (Katz, 2012, p. 7). Dentro de las muestras su coeficiente de variación es bajo, indicando que su presencia es alta en todas las muestras

El ^{40}K tiene su orden de magnitud más elevado que el ^{238}U y el ^{232}Th con sus cadenas de decaimiento. (Environmental Science Division-EVS, 2005, p. 4) por eso se debe a que su valor máximo permisible es de 10000 Bq/Kg, siendo más alto que los demás elementos radiactivos

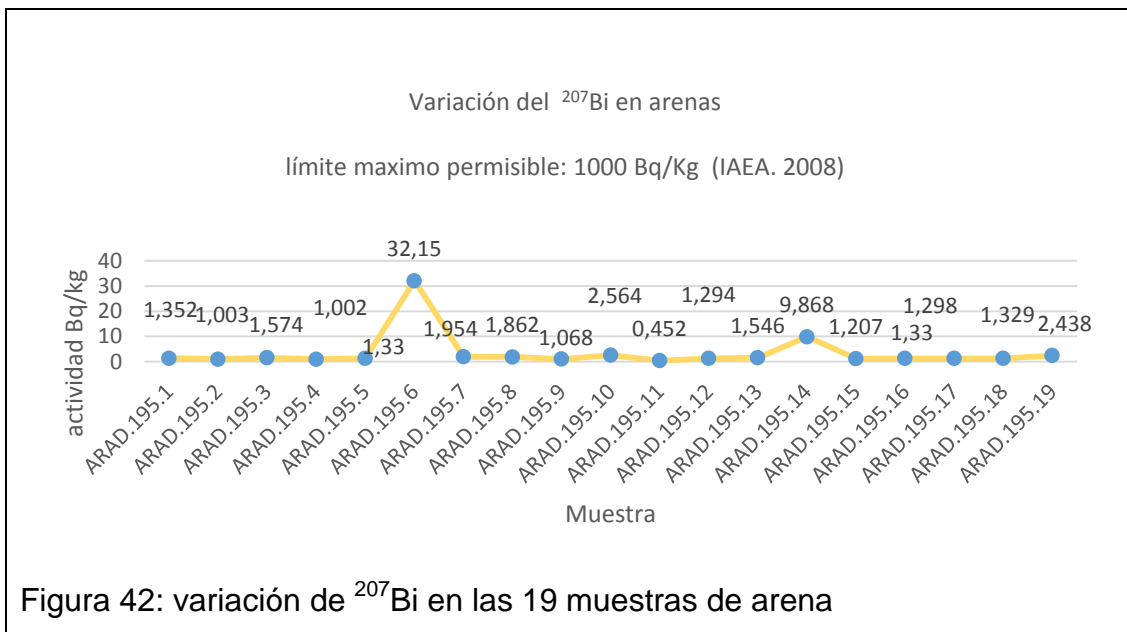
^{207}Bi

En la figura 9 se puede observar que el valor más alto en rocas fue la muestra arad196.13, tomada en la planta de beneficio Herederos Espinoza, con una actividad radiactiva de 15,76 Bq/Kg, mientras que el pico más bajo es la

muestra arad arad.196.1 tomada en la planta de beneficio Barbasco 1, con una actividad radiactiva de 0,262 Bq/Kg; estando por debajo del límite sugerido por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg

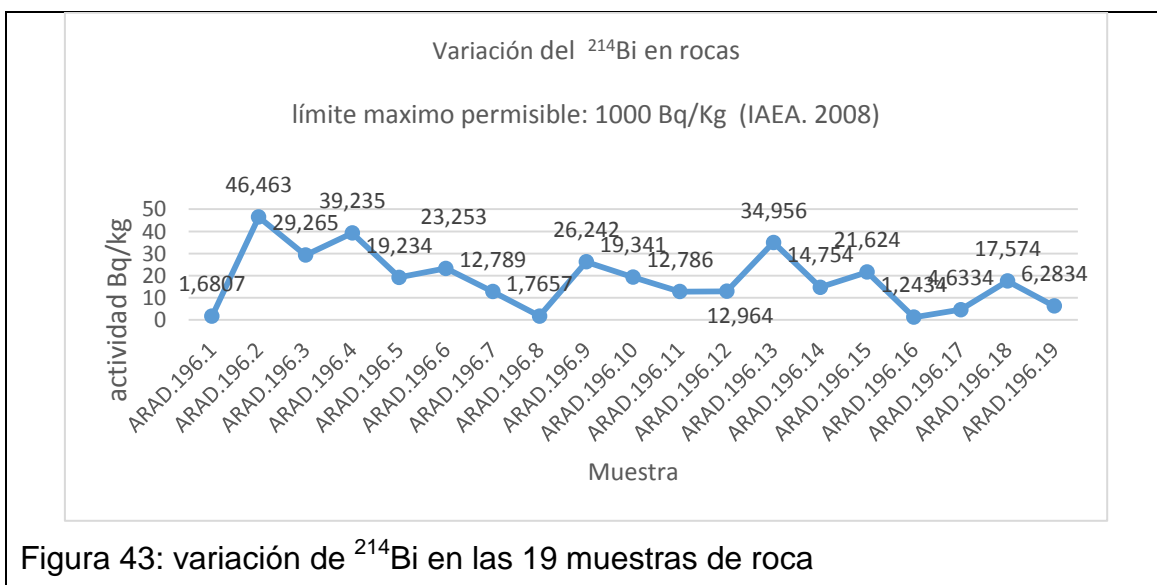


En la figura 10 se puede evidenciar que la muestra con el valor más alto en arenas, fue arad195.6, tomada en la planta de beneficio Pillasela, con una actividad radiactiva de 32,11 Bq/Kg, mientras que el pico más bajo es la muestra arad arad.196.11 tomada en la planta de beneficio Herederos Espinoza, con una actividad radiactiva de 0,452 Bq/Kg; estando por debajo del límite recomendado por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg

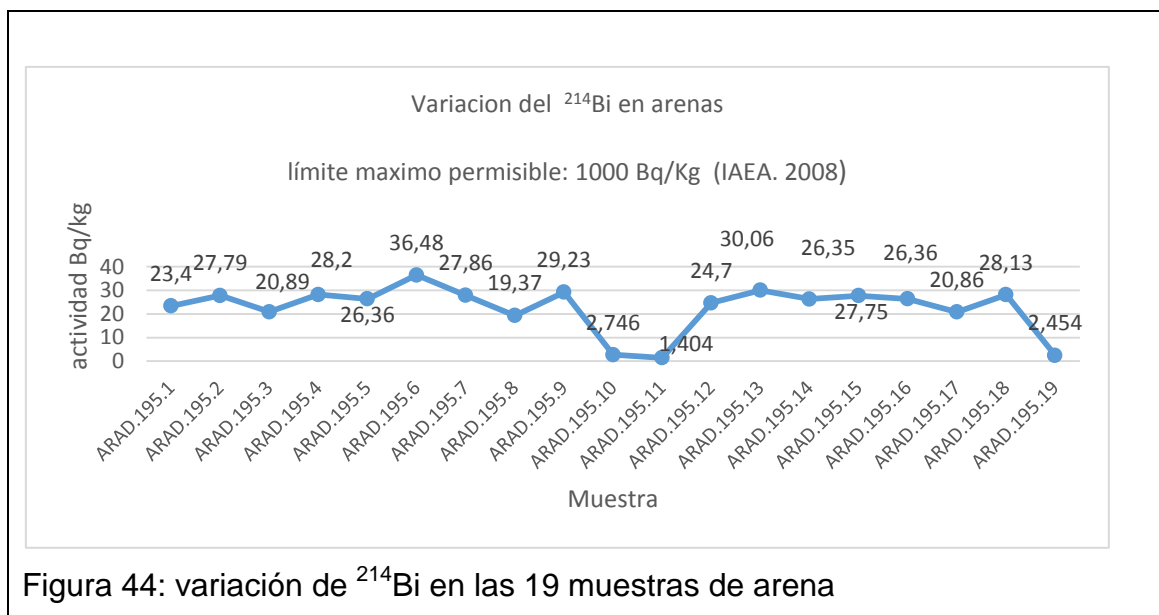


²¹⁴Bi

Se puede distinguir en la figura 11 que el valor más alto en rocas fue la muestra arad196.2, tomada en la planta de beneficio Tres reyes, con una actividad radiactiva de 46,46 Bq/Kg, mientras que el pico más bajo es la muestra arad.196.9 tomada en la planta de beneficio sociedad de los emigrantes, con una actividad radiactiva de 1,24 Bq/Kg; estando por debajo del límite sugerido por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg



La figura 12 expone que el valor más alto en arenas fue la muestra arad195.6, tomada en la planta de beneficio Pillasela, con una actividad radiactiva de 36,48 Bq/Kg, he indica que el pico más bajo es la muestra arad arad.195.11 tomada en la planta de beneficio Herederos Espinoza, con una actividad radiactiva de 1,404 Bq/Kg; estando por debajo del límite recomendado establecido por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg



El ^{207}Bi y ^{214}Bi tienen una diferencia de tiempo de vida media muy alta, siendo de 32.9 años para el ^{207}Bi y 19,9 minutos para el ^{214}Bi , según (World Nuclear Association, 2012) los radioisótopos provenientes del bismuto se encuentran en mayor cantidad en la superficie del suelo, decayendo exponencialmente con la profundidad (UC San Diego, 2009), por lo que en este trabajo de investigación se explica los valores bajos de ^{207}Bi y ^{214}Bi siendo considerados no peligrosos

^{235}U

La figura 13 revela que el valor más alto en rocas fue la muestra arad196.5, tomada en la planta de beneficio Sagrado Corazón de Jesús, con una actividad radiactiva de 53,43 Bq/Kg, y que el valor más bajo tiene la muestra arad.196.7 tomada en la planta de beneficio Jesús del Gran Poder, con una actividad radiactiva de 1,28 Bq/Kg; estando por debajo del límite recomendado por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg

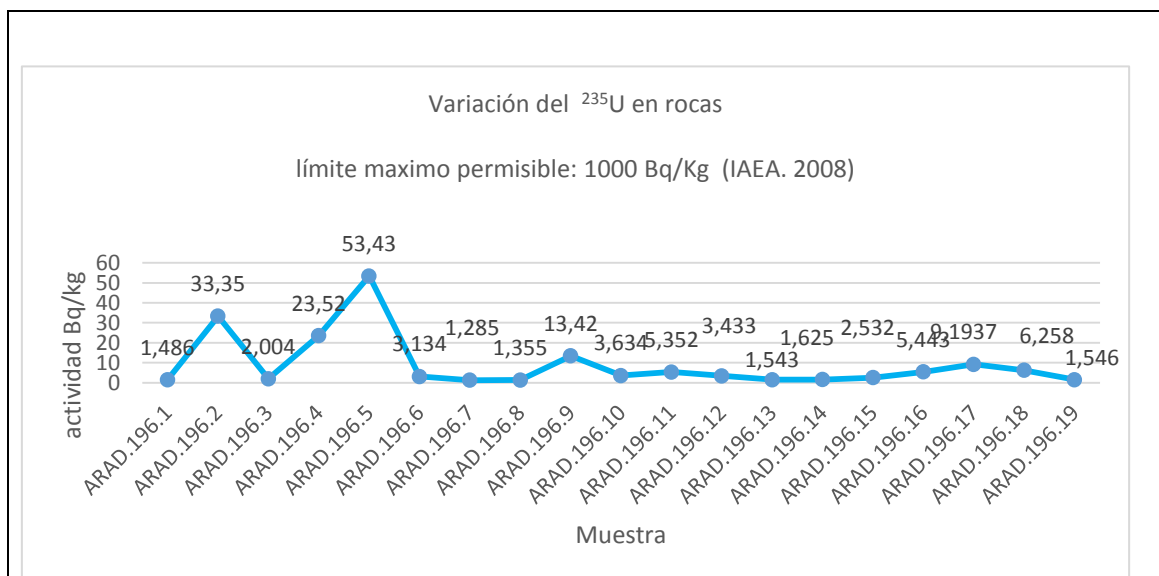


Figura 45: variación de ^{235}U en las 19 muestras de roca

A través de la figura 14 se puede observar gráficamente que el pico más alto en arenas fue la muestra arad195.19, tomada en la planta de beneficio La Cascada, con una actividad radiactiva de 26,54 Bq/Kg, además se observa que el pico más bajo es la muestra arad.195.11 tomada en la planta de beneficio Herederos Espinoza, con una actividad radiactiva de 1 Bq/Kg; estando por debajo del límite sugerido por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg

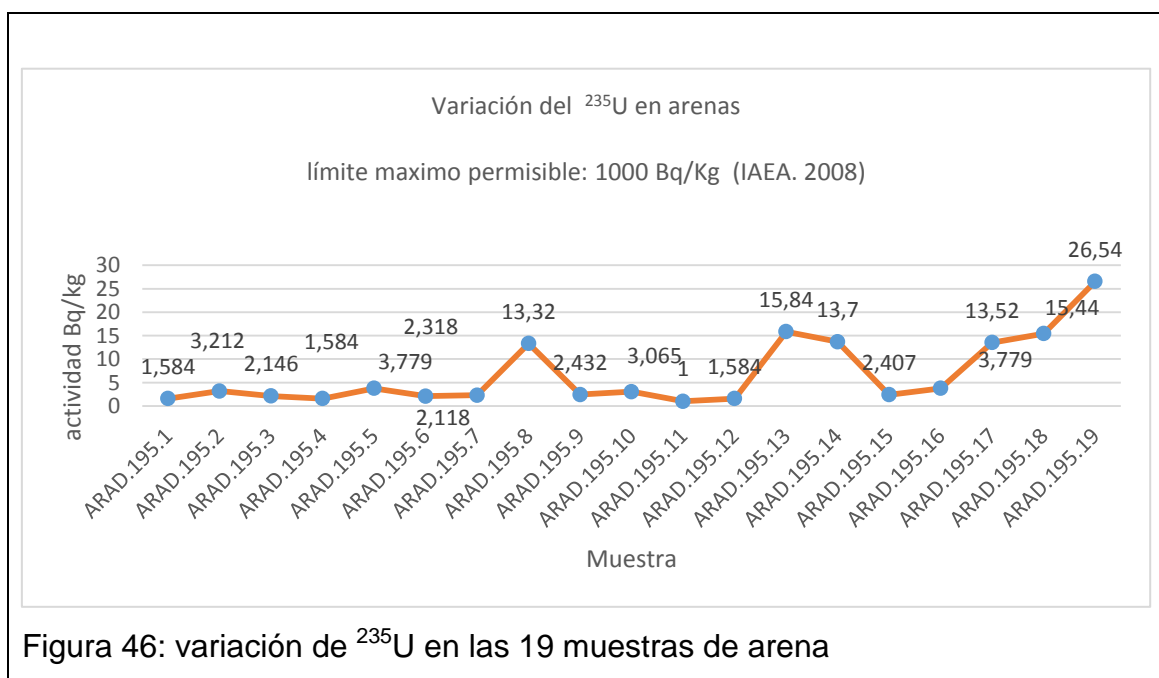
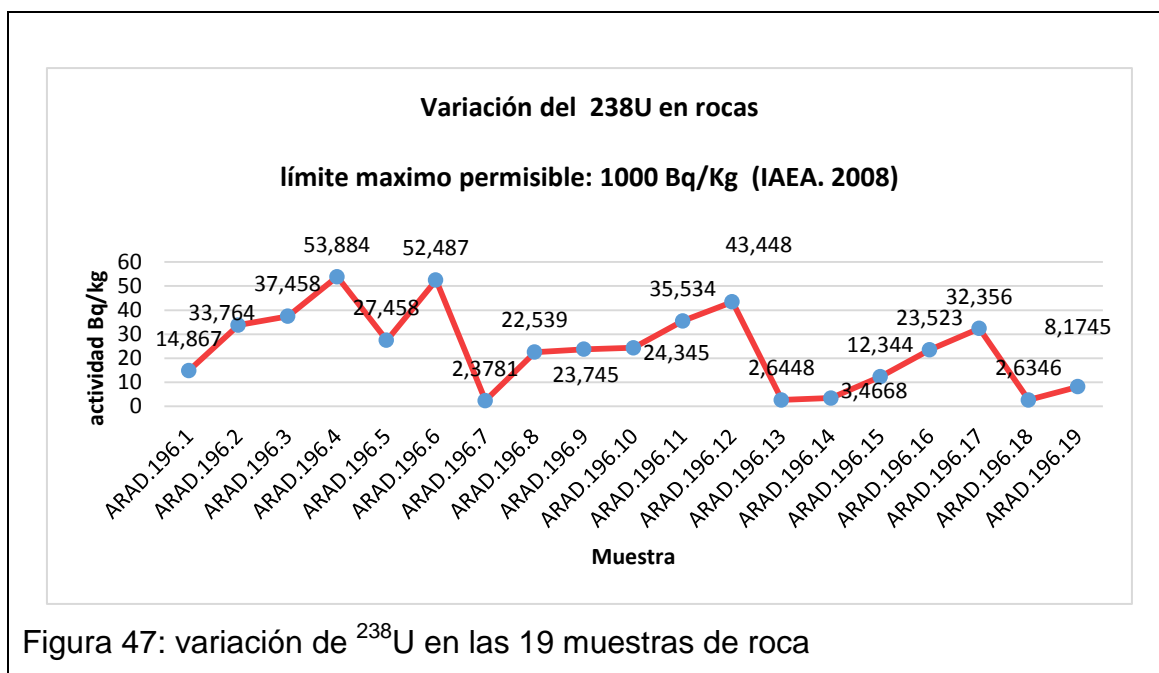


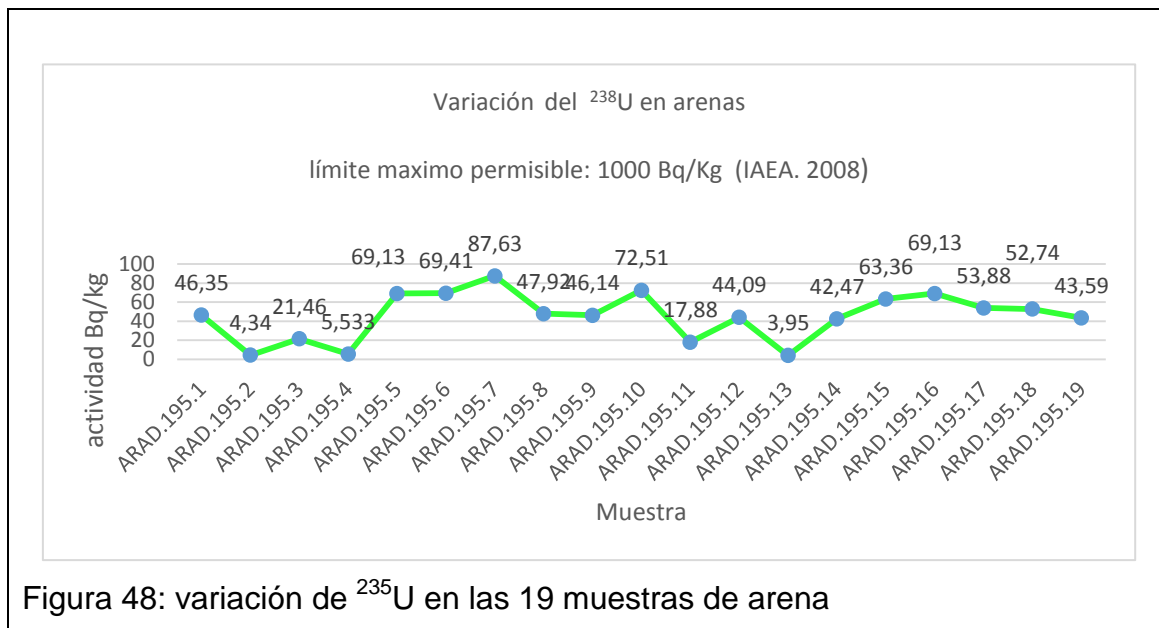
Figura 46: variación de ^{235}U en las 19 muestras de arena

^{238}U

En la figura 15 se puede ver que el valor más alto en rocas fue la muestra arad196.4, tomada en la planta de beneficio Sagrado Corazón de Jesús, con una actividad radiactiva de 53,88 Bq/Kg, mientras que el pico más bajo es la muestra arad.196.7 tomada en la planta de beneficio Jesús del gran poder, con una actividad radiactiva de 2,378 Bq/Kg; estando por debajo del recomendado por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg



La figura 16 demuestra que el pico más alto en arenas fue la muestra arad195.7, tomada en la planta de beneficio Miranda 1, con una actividad radiactiva de 87,63 Bq/Kg, mientras que el pico más bajo es la muestra arad.195.13 tomada en la planta de beneficio Chilingos, con una actividad radiactiva de 3,95 Bq/Kg; estando por debajo del límite máximo sugerido por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg



El ^{238}U y ^{235}U son radioisótopos que se encuentran con una alta frecuencia en la corteza terrestre. (Ligero, 2011, p. 97) El ^{235}U se caracteriza por ser el único compuesto natural fisible, es decir que puede provocar una reacción en cadena, que se expande rápidamente (World Nuclear Association, 2015), el tiempo de vida media del ^{238}U es extremadamente largo de 700 millones de años y 4500 millones de años para el ^{235}U (Servicio Geológico Mexicano-SGM, 2014)

En la minería cuando es extraído el uranio de la tierra, este se encuentra formado de ^{238}U y ^{235}U , del cual el 0,72% es ^{235}U y el resto ^{238}U es decir de cada 1000 de uranio natural solo existe 7 kilos de ^{235}U , (Ramos, 2014, p.18) por esto se debe que la cantidad de ^{235}U en las muestras tomadas en el presente estudio son menores en comparación al ^{238}U

^{228}Ac

La variación del ^{228}Ac en rocas se puede observar en la figura 17, donde el pico más alto es la muestra arad196.2, tomada en la planta de beneficio Tres reyes, con una actividad radiactiva de 65,46 Bq/Kg, mientras que el pico más bajo es la muestra arad.196.1 tomada en la planta de beneficio Barbasco 1,

con una actividad radiactiva de 2,587 Bq/Kg; estando por debajo del límite sugerido por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg

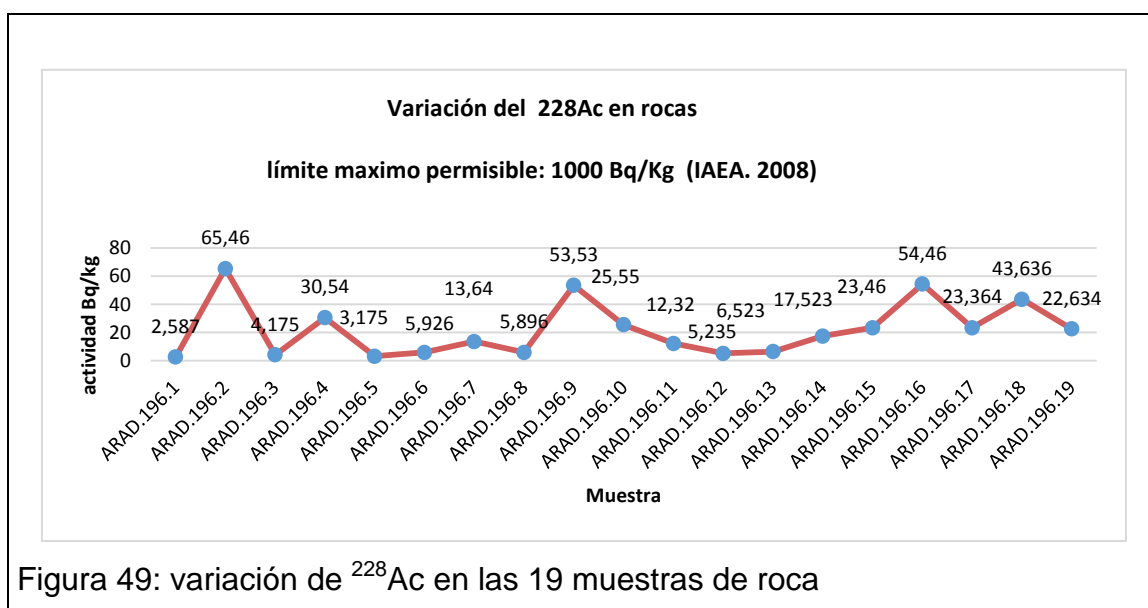


Figura 49: variación de ^{228}Ac en las 19 muestras de roca

La variación del ^{228}Ac en arenas se puede ver en la figura 18, en la cual el valor más alto es la muestra arad195.15, tomada en la planta de beneficio Sociedad de los emigrantes, con una actividad radiactiva de 63,36 Bq/Kg, mientras que el pico más bajo es la muestra arad.195.11 tomada en la planta de beneficio Herederos Espinoza, con una actividad radiactiva de 3,173 Bq/Kg; estando por debajo del límite recomendado por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg

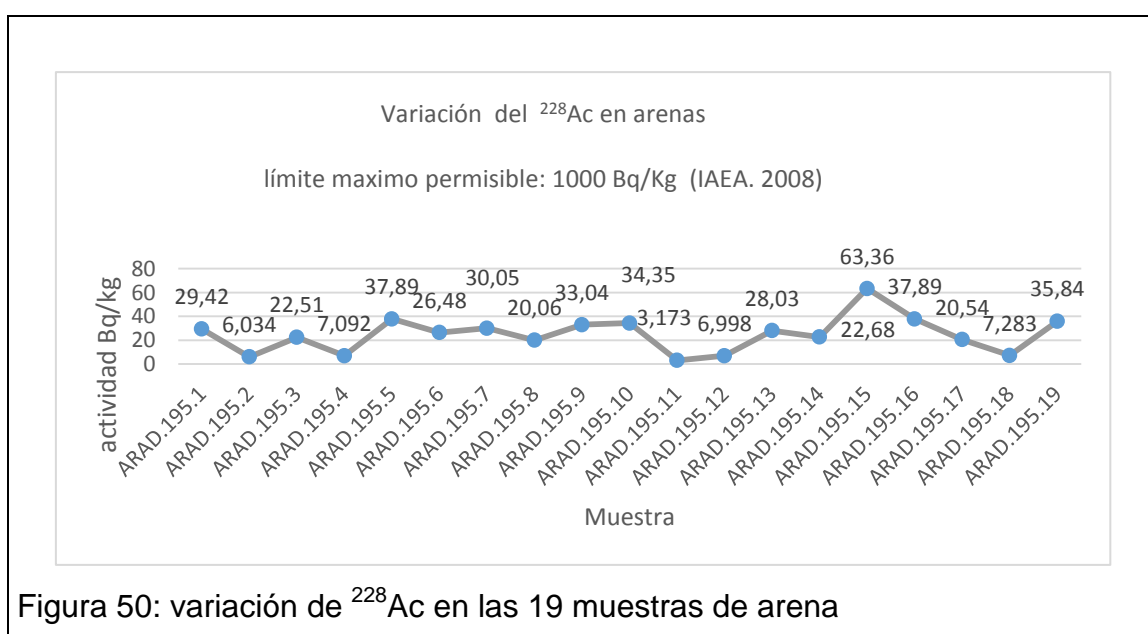
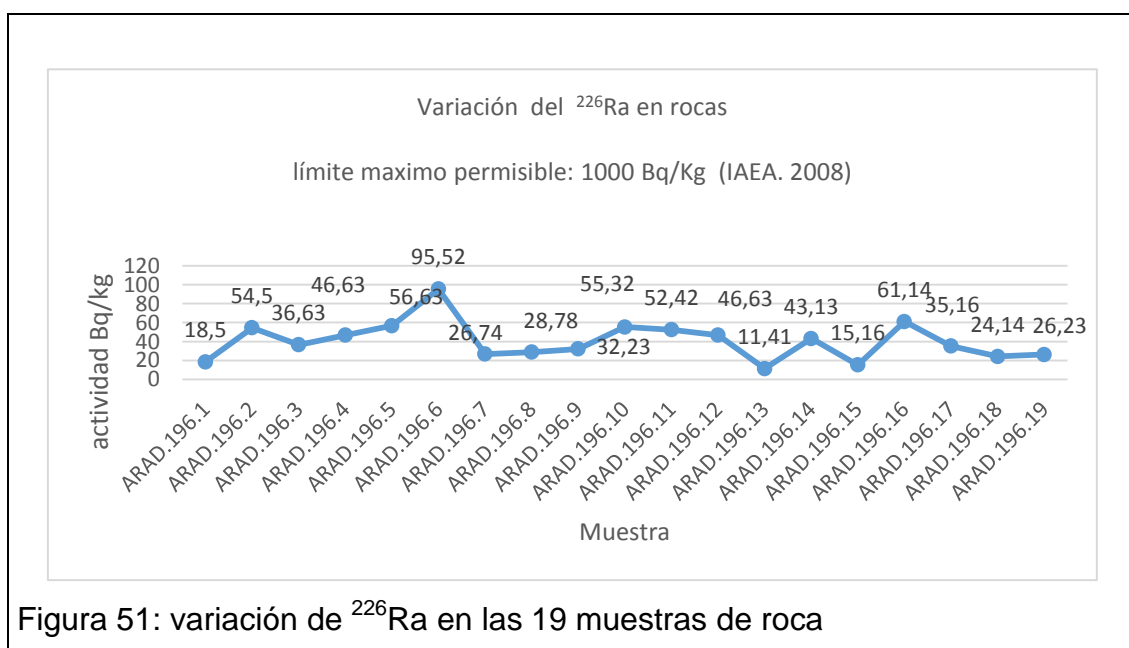


Figura 50: variación de ^{228}Ac en las 19 muestras de arena

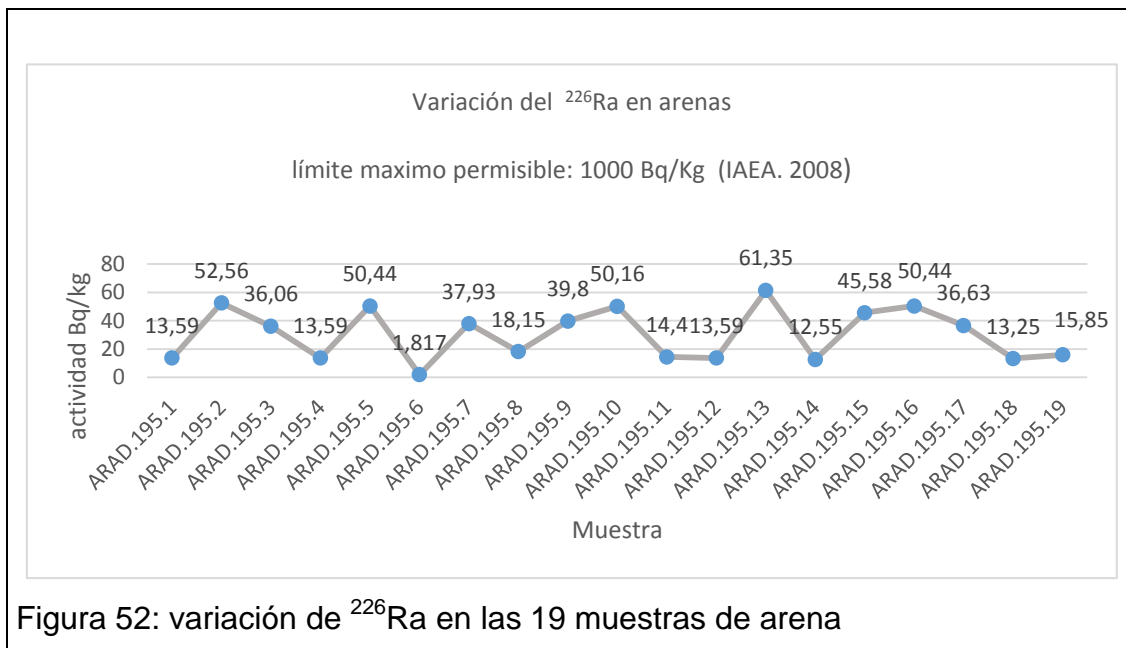
El ^{226}Ac es un radionucleido que tiene un tiempo de vida media muy corto de 29 horas, lo que lo vuelve difícil de detectar (EVS, 2005), además la concentración que se encontró en las muestras de arenas y rocas son muy bajas, lo que lo vuelve no peligroso para los trabajadores

^{226}Ra

La figura 19 indica que valor más alto de actividad radiactiva en rocas fue la muestra arad196.6, tomada en la planta de beneficio Jesús del Gran Poder, con una actividad radiactiva de 95,52 Bq/Kg, mientras que el pico más bajo es la muestra arad.196.13 tomada en la planta de beneficio Herederos Espinoza, con una actividad radiactiva de 11,41 Bq/Kg; estando por debajo del límite máximo recomendado por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg



En la figura 20 se puede distinguir que el pico más alto en arenas fue la muestra arad195.13, tomada en la planta de beneficio Chilingos, con una actividad radiactiva de 61,35 Bq/Kg, mientras que el pico más bajo es la muestra arad.195.6 tomada en la planta de beneficio Pillasela, con una actividad radiactiva de 1,817 Bq/Kg; estando por debajo del límite máximo sugerido por el (IAEA. 2008) de 1000 Bq/Kg



El ^{226}Ra es uno de los radionúclidos más abundantes del radio y consta con una vida media alta de 1600 años, lo que lo vuelve difícil de eliminar; (Bieda y Lizurek, 2008, p. 96) cabe recalcar que la concentración media normal de ^{226}Ra en la litosfera es de 33,3 Bq/kg en suelo no alterado (Tzortzis y Tsertos, 2005, p. 14), lo que al compararlo con este trabajo de investigación, nos indica que las muestras de rocas tiene un promedio de 40,36 Bq/kg y las muestras de arena un promedio de 30,40 Bq/kg dando como resultado que se encuentra entre los límites de la media normal, por lo que no es considerado peligroso para los trabajadores.

4.3. Modelamiento de escenarios

Se realizó un modelo de escenarios según la IAEA-TECDOC-1000 (1998), donde se obtuvo como resultado: la dosis anual por inhalación, dosis anual por exposición y dosis total anual, con el fin de comparar los resultados con la norma internacional del Organismo Internacional de Energía Atómica y conocer la problemática real que enfrentan los trabajadores a exposición planificada de radiación de origen natural, en el interior de las minas y plantas de beneficio de Zaruma y Portovelo

Según la (IAEA, 2006) la dosis máxima permisible para exposición planificada en trabajadores es:

- Una dosis efectiva de 20 mSv por año como promedio en un período de 5 años consecutivos

Para exposición no planificada, es decir para público en general

- Una dosis efectiva de 1 mSv por año como promedio en un período de 5 años consecutivos;

Según la (ICPR. 2007), para que se considere exposición mínima, la tasa de dosis debe ser de 1 mSv o mayor. Valores menores son considerados completamente inofensivos o que no existe exposición

A continuación se puede observar en tablas, los resultados obtenidos en el modelamiento de escenarios, de las muestras de rocas y arenas tomadas en el sector minero de Zaruma y Portovelo

^{210}Pb

Tabla 3: resultados de dosis anual recibida del ^{210}Pb

Muestras de arena	Dosis anual de inhalación (mSv/año)	Muestras de roca	Dosis anual de exposición (mSv/año)	Dosis anual total recibida (mSv/año)
ARAD.195.1	1,60E-03	ARAD.196.1	9,64E-01	9,66E-01
ARAD.195.2	3,43E-03	ARAD.196.2	3,81E+00	3,82E+00
ARAD.195.3	1,88E-03	ARAD.196.3	3,35E+00	3,36E+00
ARAD.195.4	3,83E-03	ARAD.196.4	3,37E+00	3,37E+00
ARAD.195.5	3,74E-03	ARAD.196.5	2,77E+00	2,77E+00
ARAD.195.6	7,08E-04	ARAD.196.6	1,76E+00	1,76E+00
ARAD.195.7	1,35E-03	ARAD.196.7	1,69E+00	1,69E+00
ARAD.195.8	1,48E-03	ARAD.196.8	1,09E+00	1,09E+00
ARAD.195.9	2,10E-03	ARAD.196.9	8,38E-01	8,40E-01
ARAD.195.10	1,66E-03	ARAD.196.10	2,67E+00	2,68E+00
ARAD.195.11	1,01E-03	ARAD.196.11	1,08E+00	1,08E+00
ARAD.195.12	9,60E-04	ARAD.196.12	7,26E-01	7,27E-01
ARAD.195.13	2,35E-03	ARAD.196.13	1,98E+00	1,98E+00
ARAD.195.14	3,02E-03	ARAD.196.14	1,08E+00	1,08E+00
ARAD.195.15	2,47E-03	ARAD.196.15	2,58E+00	2,58E+00
ARAD.195.16	3,74E-03	ARAD.196.16	1,85E+00	1,85E+00
ARAD.195.17	1,51E-03	ARAD.196.17	1,43E+00	1,43E+00
ARAD.195.18	3,69E-03	ARAD.196.18	1,14E+00	1,14E+00
ARAD.195.19	7,01E-04	ARAD.196.19	2,50E+00	2,50E+00

La dosis anual total del ^{210}Pb supera el valor de 1 mSv/año en 16 muestras de las 19 que se tomó, sin embargo se encuentra por debajo de los límites permisibles de 20 mSv/año para exposición planificada según la (IAEA, 2006). La dosis anual por inhalación presenta valores bajos debido a que se toma en cuenta el material particulado que se encuentra en estado de suspensión para que pueda ser inhalado.

Los radioisótopos ^{40}K , ^{212}Pb y ^{214}Pb en ninguno de sus valores supera el 1 mSvpor año, establecido por la (ICPR. 2007), por lo que no son considerados como fuente de exposición

^{40}K

Tabla 4: resultados de dosis anual recibida del ^{40}K

Muestras de arena	Dosis anual de inhalación (mSv/año)	Muestras de roca	Dosis anual de exposición(mSv/año)	Dosis anual total recibida(mSv/año)
ARAD.195.1	5,58E-07	ARAD.196.1	5,92E-04	5,93E-04
ARAD.195.2	4,16E-07	ARAD.196.2	5,79E-04	5,79E-04
ARAD.195.3	4,13E-07	ARAD.196.3	4,41E-04	4,41E-04
ARAD.195.4	5,61E-07	ARAD.196.4	6,18E-04	6,19E-04
ARAD.195.5	6,24E-07	ARAD.196.5	5,54E-04	5,54E-04
ARAD.195.6	5,78E-07	ARAD.196.6	2,04E-04	2,04E-04
ARAD.195.7	2,88E-07	ARAD.196.7	3,41E-04	3,41E-04
ARAD.195.8	1,84E-07	ARAD.196.8	3,59E-04	3,59E-04
ARAD.195.9	6,37E-07	ARAD.196.9	5,71E-04	5,72E-04
ARAD.195.10	7,04E-07	ARAD.196.10	3,04E-04	3,05E-04
ARAD.195.11	2,97E-07	ARAD.196.11	4,14E-04	4,15E-04
ARAD.195.12	3,55E-07	ARAD.196.12	5,19E-04	5,19E-04
ARAD.195.13	5,68E-07	ARAD.196.13	2,70E-04	2,71E-04
ARAD.195.14	2,02E-07	ARAD.196.14	5,75E-04	5,75E-04
ARAD.195.15	1,30E-07	ARAD.196.15	2,32E-04	2,32E-04
ARAD.195.16	6,24E-07	ARAD.196.16	2,51E-04	2,52E-04
ARAD.195.17	5,08E-07	ARAD.196.17	3,81E-04	3,82E-04
ARAD.195.18	2,73E-07	ARAD.196.18	3,24E-04	3,25E-04
ARAD.195.19	4,84E-07	ARAD.196.19	5,04E-04	5,04E-04

^{212}Pb Tabla 4: resultados de dosis anual recibida del ^{212}Pb

Muestras de arena	Dosis anual de inhalación (mSv/año)	Muestras de roca	Dosis anual de exposición(mSv/año)	Dosis anual total recibida(mSv/año)
ARAD.195.1	1,05E-07	ARAD.196.1	1,20E-05	1,22E-05
ARAD.195.2	1,20E-07	ARAD.196.2	1,10E-04	1,10E-04
ARAD.195.3	1,06E-07	ARAD.196.3	2,40E-04	2,40E-04
ARAD.195.4	1,07E-07	ARAD.196.4	3,13E-04	3,13E-04
ARAD.195.5	8,01E-08	ARAD.196.5	8,57E-05	8,58E-05
ARAD.195.6	1,08E-08	ARAD.196.6	3,20E-05	3,20E-05
ARAD.195.7	1,92E-07	ARAD.196.7	1,62E-05	1,63E-05
ARAD.195.8	7,83E-08	ARAD.196.8	4,33E-05	4,34E-05
ARAD.195.9	1,52E-07	ARAD.196.9	1,01E-04	1,01E-04
ARAD.195.10	1,53E-07	ARAD.196.10	1,14E-04	1,14E-04
ARAD.195.11	8,85E-09	ARAD.196.11	1,25E-04	1,25E-04
ARAD.195.12	3,04E-08	ARAD.196.12	1,30E-04	1,30E-04
ARAD.195.13	1,30E-07	ARAD.196.13	4,71E-05	4,72E-05
ARAD.195.14	1,10E-07	ARAD.196.14	1,23E-05	1,24E-05
ARAD.195.15	2,92E-08	ARAD.196.15	1,60E-04	1,60E-04
ARAD.195.16	8,01E-08	ARAD.196.16	8,70E-05	8,71E-05
ARAD.195.17	7,43E-08	ARAD.196.17	1,77E-04	1,78E-04
ARAD.195.18	8,98E-08	ARAD.196.18	9,77E-05	9,78E-05
ARAD.195.19	2,28E-08	ARAD.196.19	9,67E-05	9,67E-05

 ^{214}Pb Tabla 5: resultados de dosis anual recibida del ^{214}Pb

Muestras de arena	Dosis anual de inhalación (mSv/año)	Muestras de roca	Dosis anual de exposición(mSv/año)	Dosis anual total recibida(mSv/año)
ARAD.195.1	2,27E-08	ARAD.196.1	7,8578E-07	8,08E-07
ARAD.195.2	2,03E-08	ARAD.196.2	3,791E-05	3,79E-05
ARAD.195.3	2,88E-08	ARAD.196.3	3,0785E-05	3,08E-05
ARAD.195.4	2,23E-08	ARAD.196.4	4,1729E-05	4,18E-05
ARAD.195.5	2,02E-08	ARAD.196.5	3,0796E-05	3,08E-05
ARAD.195.6	2,42E-08	ARAD.196.6	1,8452E-05	1,85E-05
ARAD.195.7	2,79E-08	ARAD.196.7	1,4052E-05	1,41E-05
ARAD.195.8	1,90E-08	ARAD.196.8	2,8947E-06	2,91E-06
ARAD.195.9	2,84E-08	ARAD.196.9	2,7634E-05	2,77E-05
ARAD.195.10	2,92E-08	ARAD.196.10	3,7779E-05	3,78E-05
ARAD.195.11	9,06E-10	ARAD.196.11	5,5957E-05	5,60E-05
ARAD.195.12	2,18E-08	ARAD.196.12	1,3516E-05	1,35E-05
ARAD.195.13	2,86E-08	ARAD.196.13	4,5286E-05	4,53E-05
ARAD.195.14	1,90E-08	ARAD.196.14	2,446E-05	2,45E-05
ARAD.195.15	2,64E-08	ARAD.196.15	8,9117E-06	8,94E-06
ARAD.195.16	2,02E-08	ARAD.196.16	2,3453E-06	2,37E-06
ARAD.195.17	2,77E-08	ARAD.196.17	1,5589E-05	1,56E-05
ARAD.195.18	2,81E-08	ARAD.196.18	4,6337E-06	4,66E-06
ARAD.195.19	9,65E-08	ARAD.196.19	2,6517E-06	2,75E-06

Los radioisótopos ^{235}U , ^{238}U y ^{228}Ac en ninguno de sus valores supera el 1 mSv por año, establecido por la (ICPR. 2007), por lo que no son considerados como fuente de exposición

^{235}U

Tabla 6 resultados de dosis anual recibida del ^{235}U

Muestras de arena	Dosis anual de inhalación (mSv/año)	Muestras de roca	Dosis anual de exposición(mSv/año)	Dosis anual total recibida(mSv/año)
ARAD.195.1	6,01E-07	ARAD.196.1	6,10E-04	6,10E-04
ARAD.195.2	1,22E-06	ARAD.196.2	1,37E-02	1,37E-02
ARAD.195.3	8,14E-07	ARAD.196.3	8,22E-04	8,23E-04
ARAD.195.4	6,01E-07	ARAD.196.4	9,65E-03	9,65E-03
ARAD.195.5	1,43E-06	ARAD.196.5	2,19E-02	2,19E-02
ARAD.195.6	8,03E-07	ARAD.196.6	1,29E-03	1,29E-03
ARAD.195.7	8,79E-07	ARAD.196.7	5,27E-04	5,28E-04
ARAD.195.8	5,05E-06	ARAD.196.8	5,56E-04	5,61E-04
ARAD.195.9	9,22E-07	ARAD.196.9	5,51E-03	5,51E-03
ARAD.195.10	1,16E-06	ARAD.196.10	1,49E-03	1,49E-03
ARAD.195.11	3,79E-07	ARAD.196.11	2,20E-03	2,20E-03
ARAD.195.12	6,01E-07	ARAD.196.12	1,41E-03	1,41E-03
ARAD.195.13	6,01E-06	ARAD.196.13	6,33E-04	6,39E-04
ARAD.195.14	5,20E-06	ARAD.196.14	6,67E-04	6,72E-04
ARAD.195.15	9,13E-07	ARAD.196.15	1,04E-03	1,04E-03
ARAD.195.16	1,43E-06	ARAD.196.16	2,23E-03	2,24E-03
ARAD.195.17	5,13E-06	ARAD.196.17	3,77E-03	3,78E-03
ARAD.195.18	5,85E-06	ARAD.196.18	2,57E-03	2,57E-03
ARAD.195.19	1,01E-05	ARAD.196.19	6,34E-04	6,45E-04

^{238}U

Tabla 7: resultados de dosis anual recibida del ^{238}U

Muestras de arena	Dosis anual de inhalación (mSv/año)	Muestras de roca	Dosis anual de exposición(mSv/año)	Dosis anual total recibida(mSv/año)
ARAD.195.1	1,56E-05	ARAD.196.1	5,4235E-03	5,44E-03
ARAD.195.2	1,46E-06	ARAD.196.2	1,2317E-02	1,23E-02
ARAD.195.3	7,23E-06	ARAD.196.3	1,3665E-02	1,37E-02
ARAD.195.4	1,87E-06	ARAD.196.4	1,9657E-02	1,97E-02
ARAD.195.5	2,33E-05	ARAD.196.5	1,0017E-02	1,00E-02
ARAD.195.6	2,34E-05	ARAD.196.6	1,9147E-02	1,92E-02
ARAD.195.7	2,95E-05	ARAD.196.7	8,6753E-04	8,97E-04
ARAD.195.8	1,62E-05	ARAD.196.8	8,2222E-03	8,24E-03
ARAD.195.9	1,56E-05	ARAD.196.9	8,6622E-03	8,68E-03
ARAD.195.10	2,44E-05	ARAD.196.10	8,8811E-03	8,91E-03
ARAD.195.11	6,03E-06	ARAD.196.11	1,2963E-02	1,30E-02
ARAD.195.12	1,49E-05	ARAD.196.12	1,5850E-02	1,59E-02
ARAD.195.13	1,33E-06	ARAD.196.13	9,6482E-04	9,66E-04
ARAD.195.14	1,43E-05	ARAD.196.14	1,2647E-03	1,28E-03
ARAD.195.15	2,14E-05	ARAD.196.15	4,5031E-03	4,52E-03
ARAD.195.16	2,33E-05	ARAD.196.16	8,5812E-03	8,60E-03
ARAD.195.17	1,82E-05	ARAD.196.17	1,1803E-02	1,18E-02
ARAD.195.18	1,78E-05	ARAD.196.18	9,6110E-04	9,79E-04
ARAD.195.19	1,47E-05	ARAD.196.19	2,9821E-03	3,00E-03

^{228}Ac Tabla 8: resultados de dosis anual recibida del ^{228}Ac

Muestras de arena	Dosis anual de inhalación (mSv/año)	Muestras de roca	Dosis anual de exposición(mSv/año)	Dosis anual total recibida(mSv/año)
ARAD.195.1	7,44E-08	ARAD.196.1	7,0780E-06	7,15E-06
ARAD.195.2	1,53E-08	ARAD.196.2	1,7910E-04	1,79E-04
ARAD.195.3	5,69E-08	ARAD.196.3	1,1423E-05	1,15E-05
ARAD.195.4	1,79E-08	ARAD.196.4	8,3557E-05	8,36E-05
ARAD.195.5	9,58E-08	ARAD.196.5	8,6868E-06	8,78E-06
ARAD.195.6	6,69E-08	ARAD.196.6	1,6214E-05	1,63E-05
ARAD.195.7	7,60E-08	ARAD.196.7	3,7319E-05	3,74E-05
ARAD.195.8	5,07E-08	ARAD.196.8	1,6131E-05	1,62E-05
ARAD.195.9	8,35E-08	ARAD.196.9	1,4646E-04	1,47E-04
ARAD.195.10	8,68E-08	ARAD.196.10	6,9905E-05	7,00E-05
ARAD.195.11	8,02E-09	ARAD.196.11	3,3708E-05	3,37E-05
ARAD.195.12	1,77E-08	ARAD.196.12	1,4323E-05	1,43E-05
ARAD.195.13	7,09E-08	ARAD.196.13	1,7847E-05	1,79E-05
ARAD.195.14	5,73E-08	ARAD.196.14	4,7943E-05	4,80E-05
ARAD.195.15	1,60E-07	ARAD.196.15	6,4187E-05	6,43E-05
ARAD.195.16	9,58E-08	ARAD.196.16	1,4900E-04	1,49E-04
ARAD.195.17	5,19E-08	ARAD.196.17	6,3924E-05	6,40E-05
ARAD.195.18	1,84E-08	ARAD.196.18	1,1939E-04	1,19E-04
ARAD.195.19	9,06E-08	ARAD.196.19	6,1927E-05	6,20E-05

Los radioisótopos ^{226}Ra , ^{214}Bi y ^{207}Bi en ninguno de sus valores supera el 1 mSv por año, establecido por la (ICPR. 2007), por lo que no son considerados como fuente de exposición

 ^{226}Ra Tabla 9: resultados de dosis anual recibida del ^{226}Ra

Muestras de arena	Dosis anual de inhalación (mSv/año)	Muestras de roca	Dosis anual de exposición(mSv/año)	Dosis anual total recibida(mSv/año)
ARAD.195.1	6,30E-06	ARAD.196.1	9,2796E-03	9,29E-03
ARAD.195.2	2,44E-05	ARAD.196.2	2,7337E-02	2,74E-02
ARAD.195.3	1,67E-05	ARAD.196.3	1,8374E-02	1,84E-02
ARAD.195.4	6,30E-06	ARAD.196.4	2,3390E-02	2,34E-02
ARAD.195.5	2,34E-05	ARAD.196.5	2,8406E-02	2,84E-02
ARAD.195.6	8,42E-07	ARAD.196.6	4,7913E-02	4,79E-02
ARAD.195.7	1,76E-05	ARAD.196.7	1,3413E-02	1,34E-02
ARAD.195.8	8,41E-06	ARAD.196.8	1,4436E-02	1,44E-02
ARAD.195.9	1,84E-05	ARAD.196.9	1,6167E-02	1,62E-02
ARAD.195.10	2,32E-05	ARAD.196.10	2,7749E-02	2,78E-02
ARAD.195.11	6,67E-06	ARAD.196.11	2,6294E-02	2,63E-02
ARAD.195.12	6,30E-06	ARAD.196.12	2,3390E-02	2,34E-02
ARAD.195.13	2,84E-05	ARAD.196.13	5,7233E-03	5,75E-03
ARAD.195.14	5,82E-06	ARAD.196.14	2,1634E-02	2,16E-02
ARAD.195.15	2,11E-05	ARAD.196.15	7,6043E-03	7,63E-03
ARAD.195.16	2,34E-05	ARAD.196.16	3,0668E-02	3,07E-02
ARAD.195.17	1,70E-05	ARAD.196.17	1,7636E-02	1,77E-02
ARAD.195.18	6,14E-06	ARAD.196.18	1,2109E-02	1,21E-02
ARAD.195.19	7,35E-06	ARAD.196.19	1,3157E-02	1,32E-02

^{214}Bi Tabla 10: resultados de dosis anual recibida del ^{214}Bi

Muestras de arena	Dosis anual de inhalación (mSv/año)	Muestras de roca	Dosis anual de exposición(mSv/año)	Dosis anual total recibida(mSv/año)
ARAD.195.1	1,04E-07	ARAD.196.1	8,0472E-06	8,15E-06
ARAD.195.2	1,23E-07	ARAD.196.2	2,2246E-04	2,23E-04
ARAD.195.3	9,24E-08	ARAD.196.3	1,4012E-04	1,40E-04
ARAD.195.4	1,25E-07	ARAD.196.4	1,8786E-04	1,88E-04
ARAD.195.5	1,17E-07	ARAD.196.5	9,2092E-05	9,22E-05
ARAD.195.6	1,61E-07	ARAD.196.6	1,1134E-04	1,11E-04
ARAD.195.7	1,23E-07	ARAD.196.7	6,1234E-05	6,14E-05
ARAD.195.8	8,57E-08	ARAD.196.8	8,4542E-06	8,54E-06
ARAD.195.9	1,29E-07	ARAD.196.9	1,2565E-04	1,26E-04
ARAD.195.10	1,21E-08	ARAD.196.10	9,2605E-05	9,26E-05
ARAD.195.11	6,21E-09	ARAD.196.11	6,1219E-05	6,12E-05
ARAD.195.12	1,09E-07	ARAD.196.12	6,2072E-05	6,22E-05
ARAD.195.13	1,33E-07	ARAD.196.13	1,6737E-04	1,68E-04
ARAD.195.14	1,17E-07	ARAD.196.14	7,0642E-05	7,08E-05
ARAD.195.15	1,23E-07	ARAD.196.15	1,0354E-04	1,04E-04
ARAD.195.16	1,17E-07	ARAD.196.16	5,9534E-06	6,07E-06
ARAD.195.17	9,23E-08	ARAD.196.17	2,2185E-05	2,23E-05
ARAD.195.18	1,24E-07	ARAD.196.18	8,4144E-05	8,43E-05
ARAD.195.19	1,09E-08	ARAD.196.19	3,0085E-05	3,01E-05

 B^{207} Tabla 11: resultados de dosis anual recibida del B^{207}

Muestras de arena	Dosis anual de inhalación (mSv/año)	Muestras de roca	Dosis anual de exposición(mSv/año)	Dosis anual total recibida(mSv/año)
ARAD.195.1	2,39E-10	ARAD.196.1	5,0236E-08	5,05E-08
ARAD.195.2	1,77E-10	ARAD.196.2	2,4859E-07	2,49E-07
ARAD.195.3	2,79E-10	ARAD.196.3	6,7798E-08	6,81E-08
ARAD.195.4	1,77E-10	ARAD.196.4	2,4859E-07	2,49E-07
ARAD.195.5	2,35E-10	ARAD.196.5	6,3163E-07	6,32E-07
ARAD.195.6	5,69E-09	ARAD.196.6	6,6649E-08	7,23E-08
ARAD.195.7	3,46E-10	ARAD.196.7	9,193E-08	9,23E-08
ARAD.195.8	3,30E-10	ARAD.196.8	6,7607E-08	6,79E-08
ARAD.195.9	1,89E-10	ARAD.196.9	3,5335E-07	3,54E-07
ARAD.195.10	4,54E-10	ARAD.196.10	3,3459E-07	3,35E-07
ARAD.195.11	8,00E-11	ARAD.196.11	3,7423E-07	3,74E-07
ARAD.195.12	2,29E-10	ARAD.196.12	1,9127E-06	1,91E-06
ARAD.195.13	2,74E-10	ARAD.196.13	3,0184E-06	3,02E-06
ARAD.195.14	1,75E-09	ARAD.196.14	9,4994E-08	9,67E-08
ARAD.195.15	2,14E-10	ARAD.196.15	3,342E-07	3,34E-07
ARAD.195.16	2,35E-10	ARAD.196.16	1,292E-06	1,29E-06
ARAD.195.17	2,30E-10	ARAD.196.17	3,342E-07	3,34E-07
ARAD.195.18	2,35E-10	ARAD.196.18	3,7461E-07	3,75E-07
ARAD.195.19	4,31E-10	ARAD.196.19	3,5144E-07	3,52E-07

5. CAPÍTULO V. Guía de mitigación desde el punto de vista de protección radiológica en la minería subterránea y tratamiento de materias primas

El objetivo de esta Guía es orientar en base al control ocupacional a exposiciones planificadas a radiación ionizantes de origen natural, mediante el establecimiento de medidas de protección radiológica, que protejan a los trabajadores.

Inicialmente se mencionó que, Ecuador no dispone de un documento legal que permita ejercer y regular adecuadamente la exposición a radiación ionizante en el ámbito laboral. A pesar de ello, uno de los objetivos específicos del presente trabajo de investigación es elaborar una propuesta que involucre el desarrollo de medidas que garanticen la protección y seguridad de los trabajadores que se encuentran directamente relacionados con operaciones de la minería subterránea, como: exploración y extracción de minerales (oro y plata); así como la construcción y explotación de una mina o de instalaciones en las que se realicen los tratamientos físico-químico de dichos minerales y el cierre o clausura de una mina o de plantas de tratamiento.

Las medidas propuestas en la siguiente guía, tienen aplicación únicamente sobre las materias primas que contengan niveles considerables de actividad radiactiva de origen natural (NORM), en donde la tasa de dosis de los trabajadores expuestos, supere los niveles máximos permisibles establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica. Por lo que el alcance de las medidas de mitigación de protección radiológica ha sido establecido en función a su naturaleza y a la magnitud de los riesgos radiológicos que estos puedan presentar, la cual se dividió en 4 secciones que comprenden lo siguiente:

5.1. Requisitos para el cumplimiento de protección radiológica

5.1.1 Exposición ocupacional

- Es la exposición que puede recibir un trabajador y que genere una dosis recibida o comprometida durante el periodo laboral, sin embargo las Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad No 115, OIEA, Viena (1997). Dicen que si los riesgos radiológicos son lo suficientemente bajos, se puede excluir su regulación.
- Para que las acciones de protección a exposición radiología, se lo pueda realizar de forma correcta se debe entender que: toda exposición sufrida durante periodos de trabajo, excluyendo las exposiciones que han sido causadas por prácticas o fuentes externas será considerado como responsabilidad de la dirección regulatoria.

5.1.2. Concesión de la licencia

- Las disposiciones para adquirir una licencia o autorización de trabajo son basadas en Las Normas Básicas Internacionales de Seguridad (NBS) para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad No 115, OIEA, Viena (1997), que señalan que:
- La persona jurídica responsable de cualquier zona de explotación minera o planta de tratamiento de minerales en los que los niveles de radiación sean altos, deberá solicitar una autorización al órgano regulador.
- La necesidad de una licencia aplica, siempre y cuando los niveles de exposición sean altos y sea necesario medidas de protección radiológica. Dado sea el caso se deberá adoptar algunas operaciones

como construcción, explotación, gestión de desechos y la clausura o cierre de la mina o la planta de tratamiento.

- Se debe tener también un registro o inscripción cuando los niveles de exposición sean relativamente bajos y se asegure que existe un grado de control, pero se debe tomar en cuenta que dicha exposición puede cambiar, por lo que se deberá realizar inspecciones periódicas, con el fin de asegurar la salud ocupacional.

5.1.3. Autorización

- Al generar una autorización de trabajo para la planta de tratamiento, explotación, extracción del mineral y cierre de la mina, el órgano regulador se debe cerciorar que el solicitante tenga previsto cumplir con los requisitos fundamentales de protección y seguridad, los cuales incluyen al público en general y a los trabajadores, tomando en cuenta la supervisión de la entrada no autorizada a la mina y planta de tratamiento.
- Es importante que el solicitante presente información sobre:
 - Las medidas que se van a utilizar para que exista un control a la exposición de radiación durante jornadas laborales
 - Las medidas necesarias que se deberá tomar para supervisar el cumplimiento del reglamento interno de protección radiológica.
 - Todo tipo de información que el órgano regulador necesite, siempre y cuando sea de interés.
- El solicitante de una autorización deberá demostrar que se dispone de recursos financieros para el cierre de una mina o planta de tratamiento

5.1.4. Responsabilidades

- Siempre y cuando no haya otras disposiciones, la responsabilidad recaerá al titular registrado como persona jurídica. En caso de que el titular registrado no sea el encargado de dirigir las operaciones y actividades en la mina, la responsabilidad está en la dirección de la instalación o el empleador, pero el encargado de rendir cuentas siempre será el titular registrado de la licencia.

5.1.5. Incumplimiento e inspecciones

- El órgano regulador es el encargado de realizar las inspecciones para constatar que los registros de seguridad y cumplimiento se están llevando a cabo de una forma adecuada, mientras que el titular registrado deberá permitir las visitas periódicas debidamente autorizadas.
- En caso que se presente algún tipo de incumplimiento, se deberá seguir de la siguiente manera, según como proceda:
 - Conocer las causas del incumplimiento, las circunstancias y las consecuencias que esto puede originar.
 - Corregir lo más antes posible, tomando en cuenta las causas que provocaron el incumplimiento, para que no se repita.
 - Comunicar inmediatamente al órgano regulador las causas del incumplimiento, las medidas preventivas y correctoras; que vayan a ser adoptadas
- El incumplimiento o quebrantamiento de los requisitos para garantizar la protección radiológica, deberán estar sujetos a sanciones por el órgano regulador o por la legislación nacional pertinente del estado.

- Durante la inspección realizada por el órgano regulador, el titular registrado debe incluir todos los documentos sobre la salud y seguridad de los trabajadores.
- Al dar por terminada la inspección, el órgano regulador debe encargarse de que las conclusiones, recomendaciones y medidas correctoras se emitan tan pronto como sea factible.

5.2. Consideraciones y limitación de dosis desde el punto de vista de protección radiológica

5.2.1. Exposición a radionucleidos

- Los requisitos que deben ser tomados en cuenta, cuando se habla de exposición a radiación en actividades que involucren a la minería y tratamiento de materias primas son tomados de las recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica-OIEA. (2007), Normas de Seguridad N° RS-G-1.7.
 - 1) Las prácticas sean debidamente justificadas.
 - 2) Debe existir una limitación de dosis de radiación a los trabajadores.
 - 3) Se debe optimizar la seguridad y la protección en ámbitos de trabajo.
 - 4) Se debe tomar en cuenta factores económicos y sociales.
- Es importante tomar en cuenta que ningún tipo de exposición a radiación deberá ser autorizada a no ser que esta produzca un beneficio al individuo o a la sociedad, suficiente para que puedan ser justificados los daños provenientes de la radiación. La exposición a la radiación debe ser tan bajo como sea razonablemente alcanzable, y se deben basar en cuatro puntos que son:

5.2.2. Límites de dosis permisibles

A continuación, se especifican para la exposición ocupacional, las dosis efectivas que provienen de fuentes externas, las cuales son aplicadas a la suma de dosis efectivas comprometidas por periodos específicos:

- a) una dosis efectiva de 20 mSv por año como promedio en un período de 5 años consecutivos;
- b) una dosis efectiva de 50 mSv por año;
- c) una dosis equivalente al cristalino de 150 mSv en un año;
- d) una dosis equivalente a las extremidades (manos y pies) o a la piel de 500 mSv en un año.

Si existen trabajadores menores de edad, que estén realizando prácticas o formándose para un empleo, se deben aplicar los siguientes límites de dosis:

- a) una dosis efectiva de 6 mSv en un año;
- b) una dosis equivalente al cristalino de 50 mSv en un año;
- c) Una dosis equivalente a las extremidades o la piel de 150 mSv en un año.

5.3. Medidas para la protección radiológica

- El ámbito y estructura de la protección ocupacional radiológica, están basadas en las normas generales, presentes en la sección cinco de la guía de seguridad “Protección radiológica ocupacional” Colección de Normas de Seguridad N° RS-G-1.5, OIEA, Viena (2011).
- Es importante tener en cuenta que dependiendo del tipo de plantas de tratamiento, las exposiciones radiológicas pueden variar considerablemente, por lo que la guía debe adaptarse al caso que se esté enfrentando.

5.3.1. Expertos cualificados

- Las plantas de tratamiento y zonas de explotación minera que estén aprobadas con una licencia de trabajo, deberán constar con expertos cualificados en las áreas de:
 - Seguridad industrial.
 - Ventilación
 - Medicina ocupacional
 - Protección radiológica y dosimetría

- El empleador debe encargarse de que los expertos cualificados que se encargan de la protección radiológica, estén en relación con los trabajadores responsables de los riesgos que no son radiológicos, con el fin de la protección ocupacional sea eficiente

- Es importante que existan dos tipos de expertos que trabajen conjuntamente, el oficial de protección radiológica que se encargara que se lleve a cabo todas las medidas de seguridad en el ámbito laboral, para que los trabajadores no se vean afectados por la posible radiación a la que pueden estar expuestos; y el oficial de ventilación que será el encargado de que en el interior de la mina subterránea exista un eficiente sistema de ventilación, con el fin de asegurar la salud de los trabajadores.

- Es importante que los trabajadores cuenten con un equipo de protección personal.

- El área de medicina ocupacional debe tener total conocimiento sobre los problemas que conlleva la exposición a radiación y las medidas que se deben tomar en caso de emergencia.

- El oficial de ventilación y de protección radiológica, deben ser expertos que cuenten con una licencia profesional y títulos académicos que verifiquen su completo conocimiento en el área de trabajo, también es importante que cuenten con experiencia.
- Se debe realizar periódicamente capacitaciones a los trabajadores de la mina y de planta de tratamiento, con el fin de que conozcan las medidas de seguridad que deben tomar y los daños a los que pueden estar expuestos si no cumplen con las disposiciones establecidas

5.3.2. Evaluación de dosis y monitoreo radiológico

- Se debe tener un control sobre el funcionamiento y la eficacia de la ventilación en el interior de la mina. El sistema de ventilación debe ser monitoreado constantemente y modificado conforme el desarrollo de la mina va avanzando.
- Para garantizar la seguridad radiológica, la dirección superior debe realizar monitoreos periódicos que van a estar a cargo del oficial de protección radiológica, con el fin de conocer las fuentes significativas presentes en la mina subterránea.

Los principales monitoreos que se deben llevar a cabo son los siguientes:

- La radiación gamma externa.
- El polvo radiactivo suspendido en el aire que está presente en el interior de la mina subterránea y en la planta de tratamiento.
- Las fuentes significativas con sus respectivas cadenas de decaimiento.
- Los niveles de contaminación superficial.
- El oficial de radiología va a estar encargado de la frecuencia y de la magnitud del monitoreo radiológico de una zona, se debe tomar en cuenta las tasas de dosis y la concentración de contaminantes, así como su fluctuación en el tiempo.

5.3.3. Mediciones de las concentraciones de fuentes significativas

- En los puestos de trabajo la monitorización radiológica también es importante, ya que tiene como fin, conocer las concentraciones de material radiactivo, los resultados históricos, el nivel de riesgo y las variaciones de las mediciones que se pueden dar en un tiempo determinado. La frecuencia del monitoreo debe incrementar si:
 - a) La concentración de las mediciones empieza a superar el rango que se tiene habitualmente.
 - b) Se dan cambios en el interior de la mina o en los métodos de extracción.
 - c) Si se alteraría el sistema de ventilación por algún cambio en el avance de la mina.
 - d) Se debe evaluar la eficacia de una medida correctora.
 - e) Se sospecha del aumento de una fuente radiactiva.

5.3.4. Monitoreo de las concentraciones de polvo radiactivo

- En la planta de tratamiento y en el interior de la mina, se debe tomar en cuenta el polvo radiactivo que se encuentra suspendido en el aire, ya que puede resultar peligroso, por lo que es importante que periódicamente se lleve a cabo una monitorización de radiactividad y de que se establezcan medidas a tomar en caso de recibir dosis significativas por medio de inhalación de polvo radioactivo en los trabajadores.

Para tomar en cuenta la frecuencia del monitoreo se debe:

- Conocer las concentraciones del polvo radiactivo en el interior de la mina y la planta de tratamiento.
- La distribución de los tamaños de las partículas de polvo y el potencial que existe para su inhalación o ingestión.

5.3.5. Monitoreo de la contaminación superficial

- El material radiactivo superficial existe en las estructuras y los equipos de la zona de molienda en la planta de tratamiento, por lo que se debe realizar mediciones de la contaminación de polvo desprendible, con el fin de evaluar el control de polvo en las instalaciones y las incorporaciones en trabajadores. Las mediciones se deben efectuar en zonas donde la concentración de polvo sea significativo.

5.3.6. Monitorización radiológica para la evaluación de las exposiciones y las dosis ocupacionales

- Es obligatorio que el empleador establezca un programa de evaluación de dosis individual, donde exista un cumplimiento de los límites de dosis permitidos, asimismo se deberá demostrar que las dosis recibidas son tan bajas como razonablemente pueda alcanzarse, tomando en cuenta los factores sociales y económicos
- Para determinar los niveles de exposición individual de los trabajadores para la evaluación de dosis, existen dos métodos cuando así convenga o alternativos:
 - Un control radiológico periódico al personal y a los puestos de trabajo
 - Un control radiológica personal y a de los puestos de trabajo en circunstancias que amerite hacerlo. Este método es aplicable solo si la mina tiene muy poca cantidad de material radiactivo

5.3.7. Monitorización radiológica individual

- Se debe tomar en cuenta que si los trabajadores de la mina o planta de tratamiento que están expuestos a radiación gamma, las tasas de dosis llegasen a ser significativa al límite permisible, estos deberá usar dosímetros individuales durante las jornadas de trabajo.

- Para el uso de dosímetro se debe considerar los niveles de exposición, las condiciones de trabajo y tareas individuales en un tiempo determinado, también es importante conocer el tipo de dispositivo que se va a proveer a los trabajadores, para determinar el cambio de dosímetro. Por lo general cada tres meses se debe realizar el cambio de dosímetro.
- Existen dispositivos personales para la medición de polvo radiactivo, sin embargo el costo de estos equipos es muy elevado por lo que se recomienda mantener un buen control de ventilación, con el fin de evitar la necesidad de un monitoreo. En caso de tener zonas con elevada concentración de polvo se recomienda su uso.
- En caso de que en el interior de la mina o planta de tratamiento exista personal que no está expuesto o que sus tareas tengan mínima exposición, es posible determinar tasa de dosis promedio mediante el monitoreo de un subconjunto seleccionado del grupo, con el fin de estimar las dosis individuales de todos los miembros
- Se debe considerar realizar monitorización radiológica a los trabajadores mediante técnicas de bioensayo, las cuales involucren exámenes de heces, de orina y conteo pulmonar, donde puede ser detectable radiación por inhalación y retención en los pulmones en formas químicas de baja solubilidad. También si es necesario se puede realizar un análisis respiratorio in vitro en lugares que se considere que los radionucleidos suspendidos en el aire pudieran ser considerablemente altos

5.4. Medidas administrativas y tecnológicas para protección radiológica

- Para asegurar la protección de los trabajadores, se debe implementar medidas preventivas de control como: calidad del diseño de las instalaciones, mantenimiento, limpieza y un trabajo continuo entre la administración y los trabajadores; antes de recurrir a equipos de protección de personal. Dado el caso en que las medidas de control no

sean suficientes para garantizar la seguridad de los trabajadores, es indispensable que se tomen medidas de protección individual

5.4.1. Ventilación

- En el interior de una mina subterránea es indispensable que exista un sistema de ventilación funcional que se encargue de circular aire fresco a los puestos de trabajo, para evitar que los contaminantes derivados de la explotación minera afecten la salud de los trabajadores, siendo el oficial de ventilación el encargado de que exista un correcto funcionamiento de los caudales de entrada y salida de la mina.

5.4.2. Control de polvo

- Cuando se habla de minería y tratamiento de materias primas, es primordial que existan medidas para el control de polvo, que contemplen la protección de los trabajadores a peligros que se dan al inhalarlo, es fundamental no centrarse únicamente en el daño por exposición radiológica que esto puede causar, sino por su alto contenido de metales pesados que puede ser inclusive más dañino para la salud. Con el fin de disminuir la cantidad de polvo en las zonas de trabajo se deben aplicar las siguientes recomendaciones:
 - a) Utilizar técnicas de explotación apropiadas, por ejemplo hacerlo periódicamente y con la utilización de agua para humedecer la roca y minimizar el levantamiento de polvo en las zonas de trabajo.
 - b) Cuando sea factible se deberá eliminar la concentración de polvo desde el origen, mediante la utilización de equipos que absorban el aire y lo filtren atrapando las partículas de polvo.
 - c) Se debe controlar la re-suspensión de partículas de polvo que son causadas por las velocidades de aire en el interior de la mina.

En caso de que las medidas de control de partículas de polvo no garanticen la protección de los trabajadores, será indispensable la utilización de equipos personales que contengan suministro de aire

5.4.3. Medidas para un control en tratamiento de materias primas

- Las técnicas, el diseño y el funcionamiento de la planta de molienda y tamizado deben ser apropiados, con el fin de reducir un escape de contaminantes.
- Los desechos líquidos que se producen a la salida de los molinos de trituración deben tener una gestión adecuada, ya que contienen altos contaminantes.
- Los molinos de trituración deben tener un diseño apropiado que minimice la generación de contaminante de polvo suspendido y líquido.

5.4.4. Equipos de protección individual

- El empleador debe proporcionar equipo de protección personal a todos los trabajadores según el cargo que desempeñen. Los trabajadores deben cambiarse su ropa personal y de trabajo en vestuarios apropiados para que se evite la dispersión de contaminantes radiactivos, de igual manera el acceso a instalaciones donde puedan lavar su ropa, botas y si es necesario un sistema de descontaminación radioactiva.
- Es importante que el equipo de protección personal se seleccione tomando en cuenta los riesgos a los que los trabajadores se van a ver enfrentados, el cual deberá ser cómodo y completo. En caso de que se requiera de un equipo de protección personal más complejo, el trabajador deberá recibir instrucciones de su uso.

- El empleador debe asegurarse mediante un control diario, de que todos los trabajadores tengan completo su equipo de protección personal y que lo usen mientras estén trabajando, en caso de que algún trabajador pierda o se deteriore parte del equipo de protección, el empleador deberá proporcionarle uno nuevo.

5.4.5. Protección respiratoria

- No es necesario que los trabajadores usen la mascarilla en todo momento en el interior de la mina o planta de tratamiento, solo cuando estén realizando operaciones de explotación, trituración y extracción o cuando sea considerable la concentración de partículas de polvo suspendidas en el aire.
- En casos extremos o de emergencia, los trabajadores deberán usar equipos especiales que contengan suministros de aire, para evitar riesgos en la salud.

5.4.6. Higiene personal

- Todos los trabajadores deben tener acceso a baños limpios con lavamanos y duchas de buena calidad, que tengan suministro de agua limpia, donde puedan lavarse adecuadamente para evitar incorporaciones de material radioactivo y de metales pesados
- Es importante que existan tiempos suficientes para el uso de los lavamanos previos a las pausas de descanso y almuerzo.
- Ningún trabajador deberá masticar chicle, fumar, beber o comer durante el trabajo, ya que pudiera ingerir material radiactivo o metales pesados.

- El empleador debe organizar capacitaciones sobre adecuadas normas de higiene personal para disminuir el riesgo a exposición y enfermedades.

5.4.7. Primeros auxilios

- Se deben prestar especiales precauciones para heridas ocasionadas en zonas donde exista material radiactivo o que hayan sido causadas por equipos contaminados.
- Las heridas y cortes deben ser cubiertas adecuadamente con vendas impermeables, antes de entrar a zonas que contentan material radiactivo.
- Es importante que se capacite al personal con los procedimientos a seguir en caso de que se requiera prestar primeros auxilios en un accidente laboral.

5.4.8. Rotación laboral

- En el interior de la mina donde los niveles de radiación sean elevados, se puede trabajar con un sistema de rotación para disminuir la exposición individual de los trabajadores; sin embargo este método solo se deberá usar en caso de que no haya otros medios de control radiológico apropiados. El sistema de rotación no deberá sustituir nunca a otra medida de mitigación.

5.4.9. Vigilancia de la salud

- Debe existir una correcta vigilancia de la salud de los trabajadores de la mina y de la planta de tratamiento, la cual debe estar en conformidad con el reglamento establecido por el órgano regulador. Un programa de vigilancia de salud debe contemplar los siguientes puntos

- Los trabajadores deben pasar por una evaluación de salud, previo a realizar sus operaciones laborales, de igual manera debe existir un control permanente para garantizar la buena salud de la dirección y empleados.
- Deben existir las disposiciones necesarias para tratar casos de exposición accidental y sobre-exposición de los trabajadores.
- El empleador debe prestar asistencia médica a los trabajadores de la planta y de la mina, así mismo cada empleado debe tener un registro medico el cual será confidencial
- Debe existir un médico ocupacional que sea el responsable de la vigilancia de la salud personal y que tenga un completo conocimiento sobre los efectos que puede ocasionar la exposición a radiación en la salud humana, así mismo evaluaciones dosimétricas, interpretación y control de datos de exposición.
- El medico ocupacional debe conocer a detalle el ámbito de trabajo de todos los empleados y realizar visitas periódicas a los puestos de trabajo, con el fin de conocer las condiciones ambientales que tienen y determinar si existe la necesidad de algún cambio.

6. CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Al realizar la macrocaracterización física de las rocas se determinó que todas las rocas son de tipo ígnea plutónica ya que las muestras poseen cristales visibles.
- Mediante la elaboración de un plan de muestreo en los sectores mineros de Zaruma y Portovelo, donde se realiza el tratamiento de rocas provenientes de la explotación minera de oro, se encontró la presencia de material radiactivo de origen natural en arenas y rocas. Al ser evaluadas las muestras, se encontró: ^{210}Pb , ^{40}K , ^{212}Pb , ^{214}Pb , ^{235}U , ^{238}U , ^{228}Ac , ^{226}Ra , ^{214}Bi , ^{207}Bi .
- Al cuantificar la presencia de radionucleidos de origen natural en las muestras, mediante un sistema de espectrometría gamma, el ^{210}Pb es el radioisótopo con mayor actividad radioactiva en rocas y arenas, sobrepasando el valor recomendado por el Organismo Internacional de Energía Atómica de 1000 Bq/año.
- Al realizar el modelo de escenarios se obtuvo que la tasa de dosis de las muestras, no supera el límite máximo permitido de 20 mSv/año, en un periodo 5 años consecutivos para exposición planificada en trabajadores, establecido por el Organismo Internacional de Energía Atómica, por lo que los obreros en el interior de la mina y plantas de procesamiento, no son considerados Personal Ocupacional Expuesto (POE)
- Se realizó una guía de mitigación desde el punto de vista de protección radiológica, la cual debe ser tomada en cuenta si los valores de tasa de dosis, superan los límites máximos permisibles, establecido por el Organismo Internacional de Energía Atómica, por lo que debe existir un monitoreo periódico en el interior de la mina y plantas de tratamiento, debido a que la actividad radiactiva puede variar.

- La ICPR dice que para radionucleidos con valores de tasa de dosis menores a 1 mSv por año, no serán considerados fuente de exposición; y al compararlo con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se determinó que solo el ^{210}Pb supera este valor, siendo peligroso para el público en general, pero no para el personal con exposición planificada.

6.1.2. Recomendaciones

- Se recomienda que se tenga mayor control sobre las personas que entran a las minas y a las plantas de beneficio, debido a que la tasa de dosis es inferior para exposición planificada pero para público en general supera los límites máximos permisibles de 1 mSv por año establecidos por el Organismo Internación de Energía Atómica.
- Se recomienda que la industria minera cuente con detectores de radiación, con el fin de alertar a los trabajadores de la presencia de material radiactivo ya que puede variar dependiendo de la ubicación de la mina
- El Ecuador cuenta con un reglamento de seguridad radiológica del año 1979 donde no se toma en cuenta a los NORM, por lo que se recomienda que se actualice el reglamento, con el fin de asegurar la seguridad y salud ocupacional de trabajadores.

REFERENCIAS

- Acosta, J. (2005). *Manual de radioprotección*. Málaga, España: Universidad de Málaga.
- Alulima, J. (2009) *Rendimiento de la Flotación para Concentrar Sulfuros Minerales de los Relaves en los Distritos Mineros de Zaruma, Bella Rica y San Gerardo*. Loja, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.
- American Chemical Society. (2013). *Radioactive materials and contaminants*. Washington D.C., United states of America: ACS
- Arenas, I. López, L. (2004). *Espectroscopia de Absorción*. México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México
- Barrera, M. Romero, L Valiño, F. (2008). *Puesta a Punto de un Sistema de Espectrometría Gamma para la Determinación de Cs-137 en Suelos Españoles*. Madrid, España: Informes Técnicos CIEMAT.
- Bermeo, A. Cordovez, S. Crespo, R. Larrea, R. Miño, C. (2004). *Minería y Comunidades Locales*. Quito, Ecuador: CEPLAES
- Canadian Nuclear Safety. (2014). *Naturally Occurring Radioactive Material (NORM)*, Recuperado el 15 de diciembre de 2014 de <http://nuclearsafety.gc.ca/eng/resources/fact-sheets/naturally-occurring-radioactive-material.cfm>.
- Carrasco, J. (2006). *Radiaciones Ionizantes y No Ionizantes: Riesgos en la Salud*. Málaga, España: Universidad de la Málaga.
- Castro, J. González, E. (2014). *Estudio de la Radiactividad Ambiental en Suelos de la Costa Norte de Coruña y Lugo*. Coruña, España: Universidad de Coruña.
- Consejo de Seguridad Nacional. (2013). *Curso de Supervisores de Instalaciones Radiactivas*. Madrid, España: CSN.
- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (2006). *Texturas y Estructuras de las Rocas Ígneas: Significado Petrológico e Implicancias en las Condiciones de Formación de las Rocas*. Tucumán, Argentina: Instituto Nacional de Correlación Geológica- INSUGEO

- Consejo Supremo de Gobierno. (1979). *Reglamento de Seguridad radiológica*: Registro Oficial.
- Cooper, M. (2005) *Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Australian Industries*. Australia: The Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA).
- Cruz, W. (2010). *Caracterización de Fuentes Huérfanas Radiactivas por Espectrometría Gamma*. Rio de Janeiro. Brasil: Sociedad Brasileira de Protección Radiológica-SBPR
- Cueva, R. (2008). *Vigilancia Médica en trabajadores Expuestos a Radiaciones Ionizantes*. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito.
- Duque, G. (2005). *Manual de Geología para Ingenieros*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Edward, J. Frederick, K. (s.f.). *Una Introducción a la Geología Física* Recuperado el 04 de enero del 2015 de http://www.rutageologica.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=389&Itemid=90&showall=1
- Enciclopedia Británica, (2015). *Aphanitic texture: textural terms for rocks* Recuperado el 15 de julio de 2015 de <http://www.britannica.com/science/silt/images-videos/aphanitic-texture-textural-terms-for-rocks/61500>
- Environmental Protection Agency-EPA. (2014). *Radiation Basics*. Recuperado 12 de abril de 2015 de <http://www2.epa.gov/radiation/radiation-basics>
- Environmental Science Division-EVS. (2005). *Potassium-40*. Illinois, USA: Argonne National Laboratory
- Environmental Science Division-EVS. (2005). *Natural Decay Series: Uranium, Radium, and Thorium*. Illinois, USA: Argonne National Laboratory
- European ALARA Network. (2015). *Agenda Estratégica 2015-2020*. Recuperado el 16 de enero del 2015 de <http://www.eu-alara.net/images/stories/pdf/Divers/ean%20strategic%20agenda%202015-2020.pdf>.
- Flakus, N. (2010). *Detección y medición de las radiaciones ionizantes: historia sucinta*. OIEA Boletín, 4

- Gallego, E. (2009). *Las Radiaciones Ionizantes: Una Realidad Cotidiana*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid
- Gallego, E. (2010). *Radiaciones Ionizantes y Protección Radiológica*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Gómez, J. Miranda, H. Aparicio, C. Llosa, M. (2004). *Moderación de neutrones con polietileno y parafina*. *Revista de Investigación Física*. Lima, Perú: Departamento de Cálculo Análisis y Seguridad del Instituto Peruano de Energía Nuclear
- Gómez, J. Miranda, H. Aparicio, C. Llosa, M. (2004). Obtención de la energía gamma de los isótopos formados en la columna termina del reactor PM-10 en operación mediante espectrometría gamma. *Revista de Investigación de Física*, 2
- González, G. Rabin, C. (2005). *Para Entender Las Radiaciones*. Montevideo, Uruguay: Universidad de la Republica.
- González, K. Pulido, M. (2010). *Sistema Multicanal para Espectrometría de Radiación Nuclea*. Zacatecas, México: Universidad Autónoma de Zacatecas
- Herrador, M. (2010). Radioprotección. *Revista de la Sociedad Española de Protección Radiológica*, 64.
- Instituto Balseiro. (2007). *Principios de Detección de la Radiación*. Bariloche, Argentina: IB
- Instituto Geominero de España, (s.f.) *El Museo Geominero*. Madrid, España: IGME
- International Atomic Agency-IAEA. (1998). *Clearance of materials resulting from the use of radionuclides in medicine, industry and research*. Vienna. Austria: IAEA-TECDOC-1000.
- International Atomic Agency-IAEA. (2013). *Determination of Natural and Artificial Radionuclides in Soil and Water*. Vienna. Austria: IAEA/AQ/32.
- International Atomic Energy Agency. (2006). *Assessing the Need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials*. Vienna. Austria: IAEA

- International Atomic Energy Agency. (2007). *Terminología Empleada en Seguridad Tecnológica*. Vienna, Austria: IAEA safeguards
- International Atomic Energy Agency. (2011). *Technical Meeting (TM 40764) on Radiation induced defects in semiconductors and insulators*. Vienna, Austria: IAEA
- International Atomic Energy Agency. (2011). *Worldwide Open Proficiency Test: Determination of Natural and Artificial Radionuclides in Moss-Soil and Water*. Vienna, Austria: IAEA safeguards
- International Commission of Radiological Protection-ICRP. (2012). *Compendium for Dose Coefficients Base on ICRP*. Ottawa, Canadá: ELSIEVER Publication 119.
- Kane, J. Sternheim, M. (2005). *Physics*. New York, United States of America: Reverte.
- Katz, D. (2012). *Determination of the Half-Life of Potassium-40*. Arizona, USA: Pima Community College Department of Chemistry
- Koerting, V. (2012) *Radiactividad y Protección Radiológica. Detectores de partículas radiactivas*. Madrid, España: Departamento de Sistemas Energéticos-UPM
- Ligero, R. (2011). *Radiactividad Ambiental: Utilización de Trazadores en Sedimentos*. Cádiz, España: Universidad de Cádiz.
- Lizurek, G. Bieda, A. (2008). *NATURAL RADIOACTIVITY OF ROCKS OCCURRING IN THE CONTACT ZONE OF THE KARKONOSZE MASSIF WITH THE SZKLARSKA PORĘBA SCHIST BELT*. Będzińska, Poland: University of Silesia, Faculty of the Earth Sciences
- López, F. (2008). *Materiales Radiactivos de Procedencia Natural en la Industria Minera*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Palermo
- Ministerio de Energía y Minas del Perú, (2013). *Guía para la Protección del Trabajador y el Ambiente durante Explotación de Uranio*. Lima, Perú: MEMP.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (1997). *Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación*. Vienna, Austria:

- Colección de Normas de Seguridad No 115, OIEA
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2007). *Aplicación de los Conceptos de Exclusión Extensión y Dispensa*. Vienna, Austria: Colección de Normas de Seguridad N° RS-G-1.7, OIEA
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2011). *Protección radiológica relacionada con la exposición médica a la radiación ionizante*. Vienna, Austria: Colección de Normas de Seguridad N° RS-G-1.5, OIEA
- Organización Internacional de Energía Atómica, (2011). *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad Básicas de Protección Radiológica*. Viena, Austria: OIEA.
- Organización Internacional de Energía Atómica, (2011). *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad Básicas de Protección Radiológica*. Viena, Austria: OIEA.
- Organización Mundial de la Salud-OMS. (1998). *Contaminación del aire de interiores y salud*. Recuperado el 13 de agosto de 2015 de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/es/>
- Organización Mundial de la Salud-OMS. (1998). *Contaminación del aire de interiores y salud*. Recuperado el 13 de agosto de 2015 de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/es/>
- Osores, H. (2008). *Contaminación Radiactiva Ambiental en el Neotrópico*. Lima, Perú: Laboratorio de Radioecología. Instituto Peruano de Energía Nuclear
- Perez, P. Zeller, M. (2002) *Vida media del 40K*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires
- Picado, E. (2010). *Aplicación de Técnicas Espectrometrías para Caracterizar una Muestra de Cristales Centelladores*. Madrid. España: Universidad Complutense de Madrid
- Radiansa. (2012). *Detectores portátiles de radiación nuclear y rayos-x*. Recuperado el 13 de agosto de 2015 de <http://www.radiansa.com/detectores-radiacion/ionizante.htm>
- Ramírez, J. (2005). *Laboratorio de detectores de radiación*. Vienna. Austria: International Atomic Energy Agency-IAEA

- Ramírez, M. Luna, V. (2010). *Medidas Básicas de Protección Radiológica*. México D.F., México: Instituto Nacional de Cancerología.
- Ramos, T. (2014). *Análisis de la Extracción y Transformación de Granitos como Actividad NORM*. Badajoz, España: Universidad de Extremadura
- Riola, M. (2009). *Detección e identificación de material nuclear y radiológico*. Barcelona, España: Ministerio de Defensa.
- Roig, F (2013). *Radiación Aplicación y Riesgos para la Salud*. Valencia, España: Universidad de Valencia.
- Romero, C. González, E. (2014). *Estudio de la Radiactividad Ambiental en Suelos de la Costa Norte de la Coruña y Lugo*. Coruña. España: Universidad de Coruña
- Sacher, W. Acosta, A. (2012). *La Minería a Gran Escala*. Quito, Ecuador: Abya-Yala
- Servicio Geológico Mexicano-SGM, (2014). *El Uranio en México*. Recuperado el 24 de Agosto de 2015 de <http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/uranio/uraniomexico>
- Servicio Geológico Mexicano-SGM. (2014). *Características del Uranio*. Recuperado 26 de agosto de 2015 de <http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/es/uranio/caracturanio>
- Sociedad Española de Protección Radiológica. (2005). *Manual General de Protección Radiológica*. Valencia, España: SEPR
- Suárez, O. Gonzales, Y. (2010). *TENORM en el Ecuador: Inventario preliminar y el papel de la Autoridad Reguladora*. Quito, Ecuador.
- Speakman, S. (2012). *Basics of X-Ray Powder Diffraction*. Massachusetts, USA: Massachusetts Institute of Technology.
- Sydney, W. Porter, J. (2006). *Planificación de medidas y gestión de accidentes radiológicos*. Madrid, España: Instituto Nacional de Higiene en el Trabajo.
- The Chamber of Minerals and Energy. (2010). *Managing naturally occurring radioactive material (NORM) in mining and mineral processing*. Recuperado el el 15 de Octubre de 2014 de http://www.dmp.wa.gov.au/documents/factsheets/managing_norm-

cover_and_front_matter.pdf

- Tsertos, H. Tzortzis, M. (2005). *Gamma-ray measurements of naturally occurring radioactive samples from Cyprus characteristic geological*. Nicosia, Cyprus: University of Cyprus
- University of California San Diego. (2009). *Bismuth Radionuclide Data Sheet*, California, USA: UCSD
- Upton, C. (2006). *Biología Radiológica y Efectos Biológicos*. Madrid, España: Instituto Nacional de Higiene en el Trabajo
- Vásquez, E. (2007). *Detección de radiación ionizante (a, b, g) El detector Geiger-Müllernes*. Santiago de Compostela, España: Universidad de Santiago de Compostela.
- Veloza, S. (2005). *Curso de Protección Radiológica y Practica de Espectrometría Gamma*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional
- Velzen, L. (2015). *Environmental Remediation and Restoration of Contaminated Nuclear and Norm Sites*. Cambridge, UK: Woodhead
- Villasuco, J. (2006). *Radiactividad*. Recuperado 12 de abril de 2015 de http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/radiactividad/aularadiactividad.pdf
- Washington, J. (2007). *Elección del Sistema de Explotación del Bloque R-Norte de la veta Santa Ana, Distrito Minero Zaruma-Portovelo*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Superior Politécnica del Litoral.
- World Nuclear Association, (2012). *Radioactive Wastes - Myths and Realities*, Recuperado el 24 de Agosto de 2015 de <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Nuclear-Wastes/Radioactive-Wastes---Myths-and-Realities/>
- World Nuclear Association, (2015). *What is Uranium? How Does it Work?* Recuperado el 24 de Agosto de 2015 de <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Introduction/What-is-Uranium--How-Does-it-Work-/>

ANEXOS

ARAD195.2

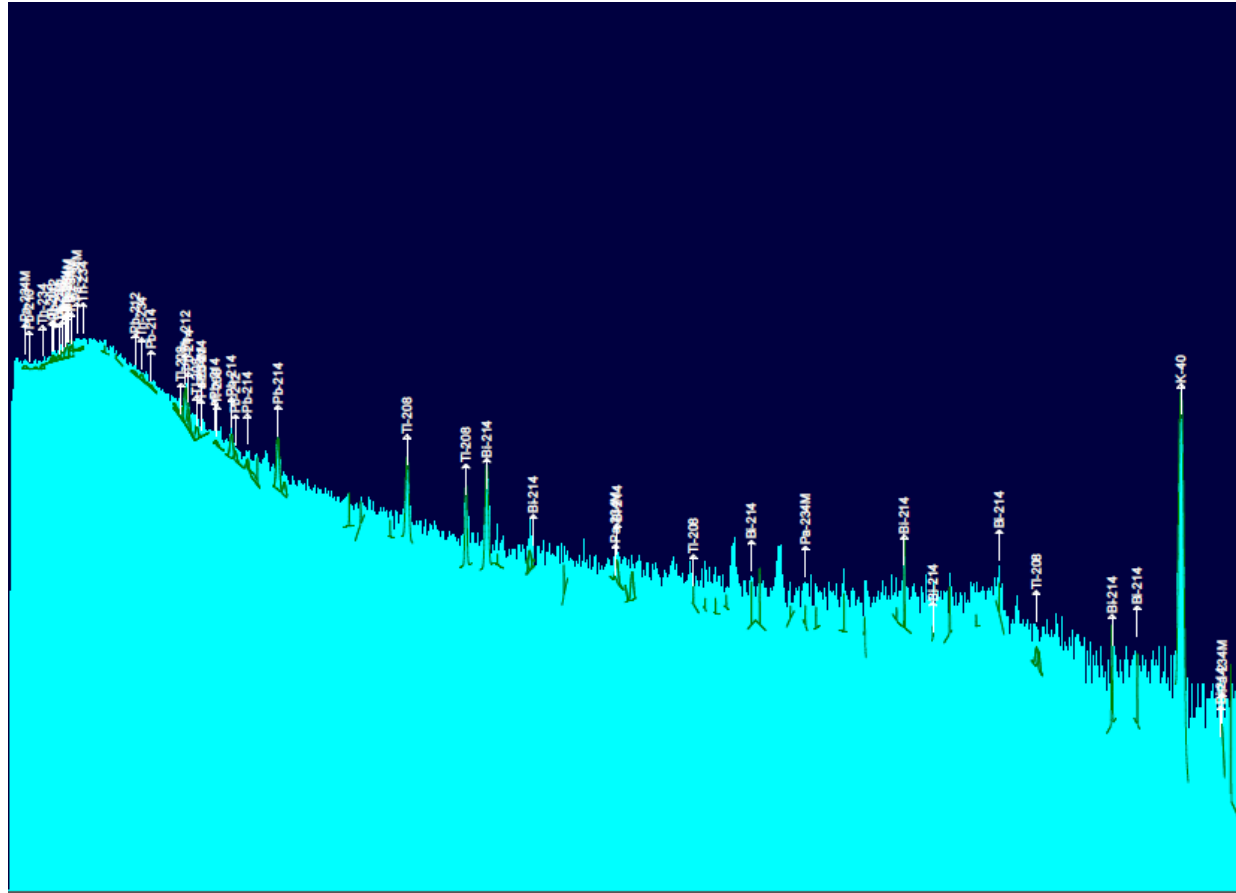


Figura 54: resultados de la muestra arad195.2

ARAD195.3

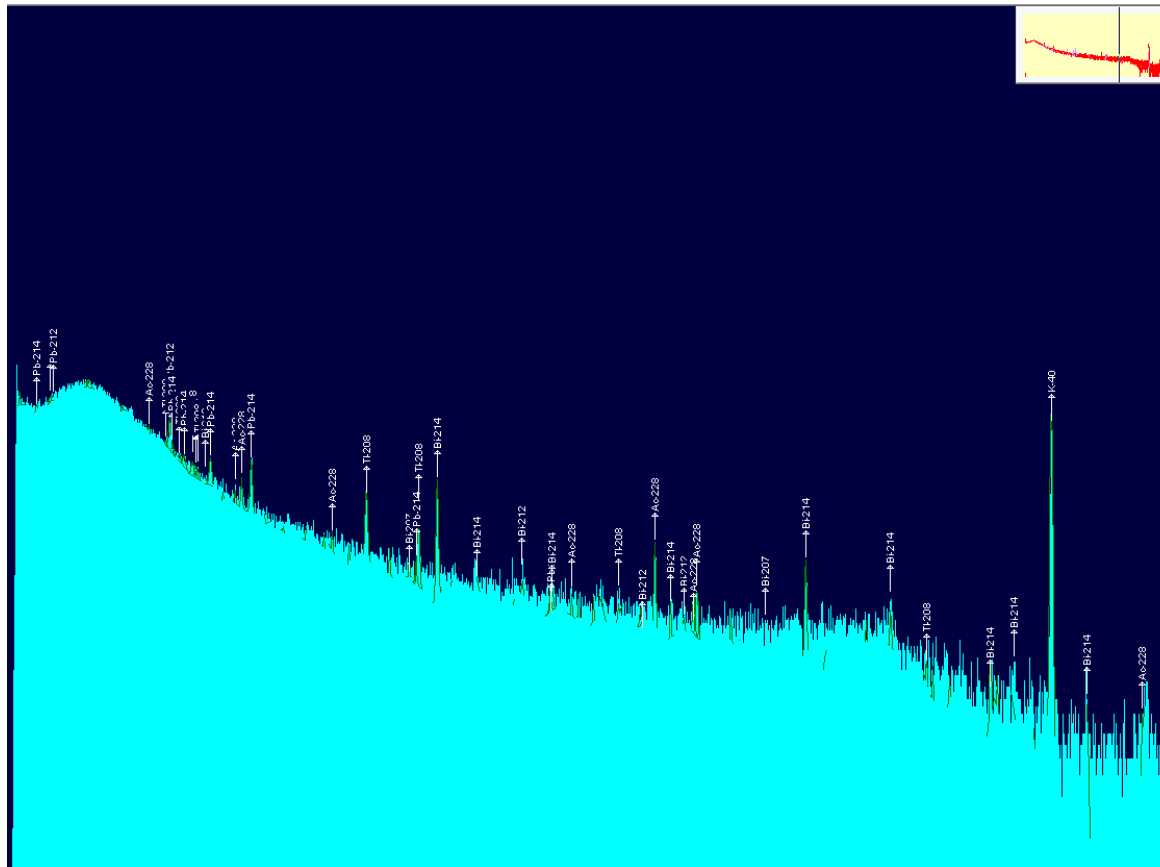
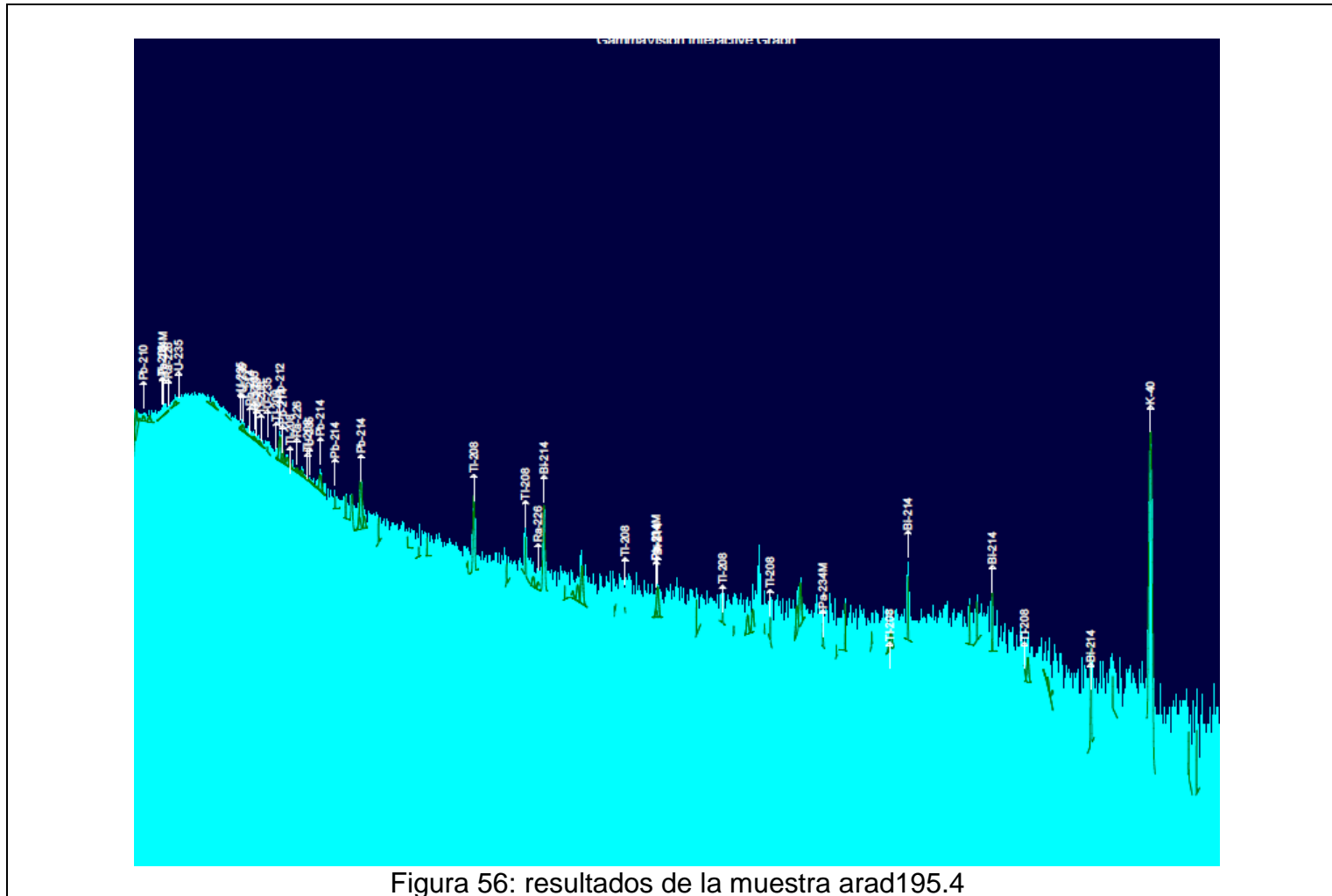
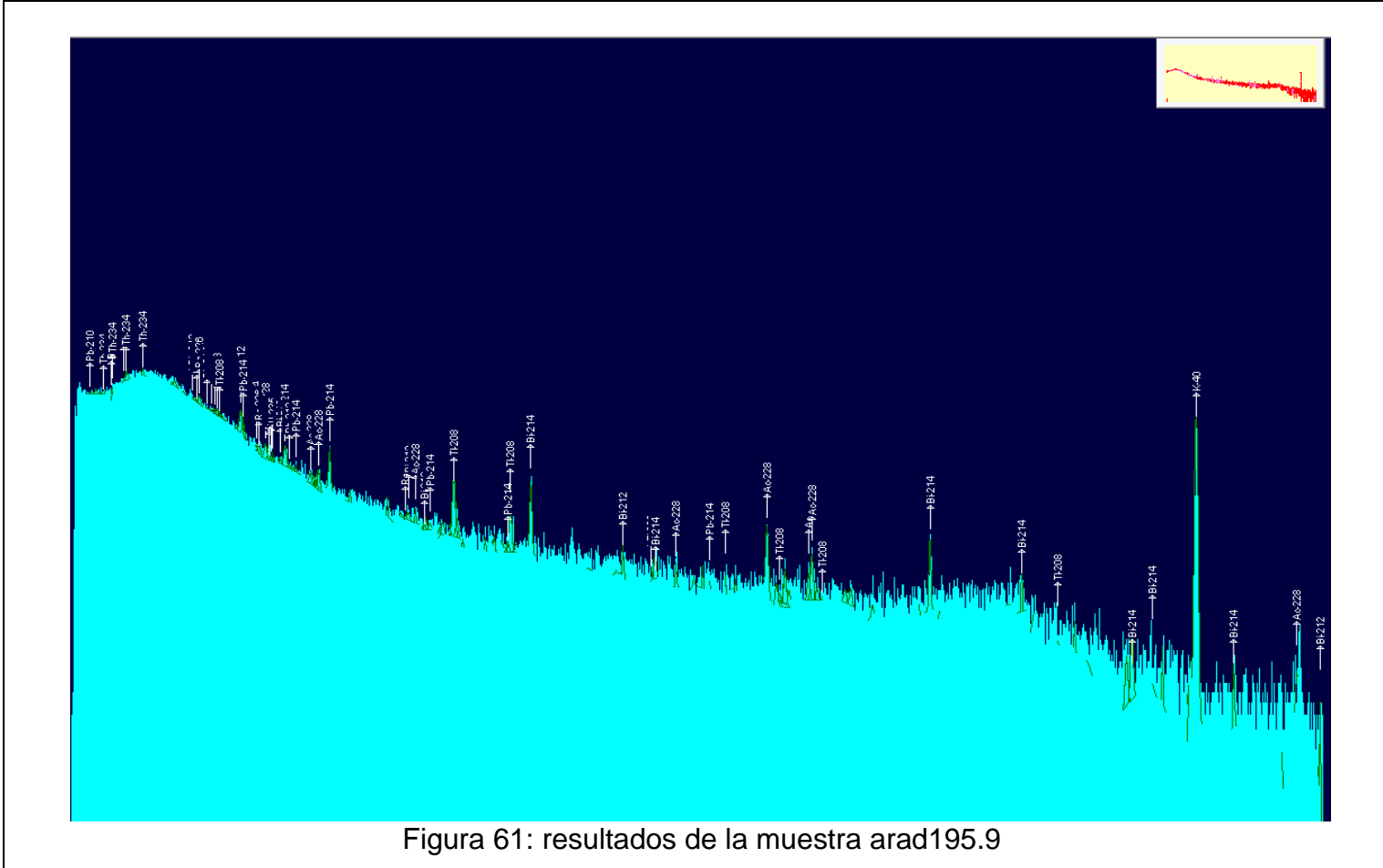


Figura 55: resultados de la muestra arad195.3

ARAD195.4



ARAD195.9



ARAD195.10

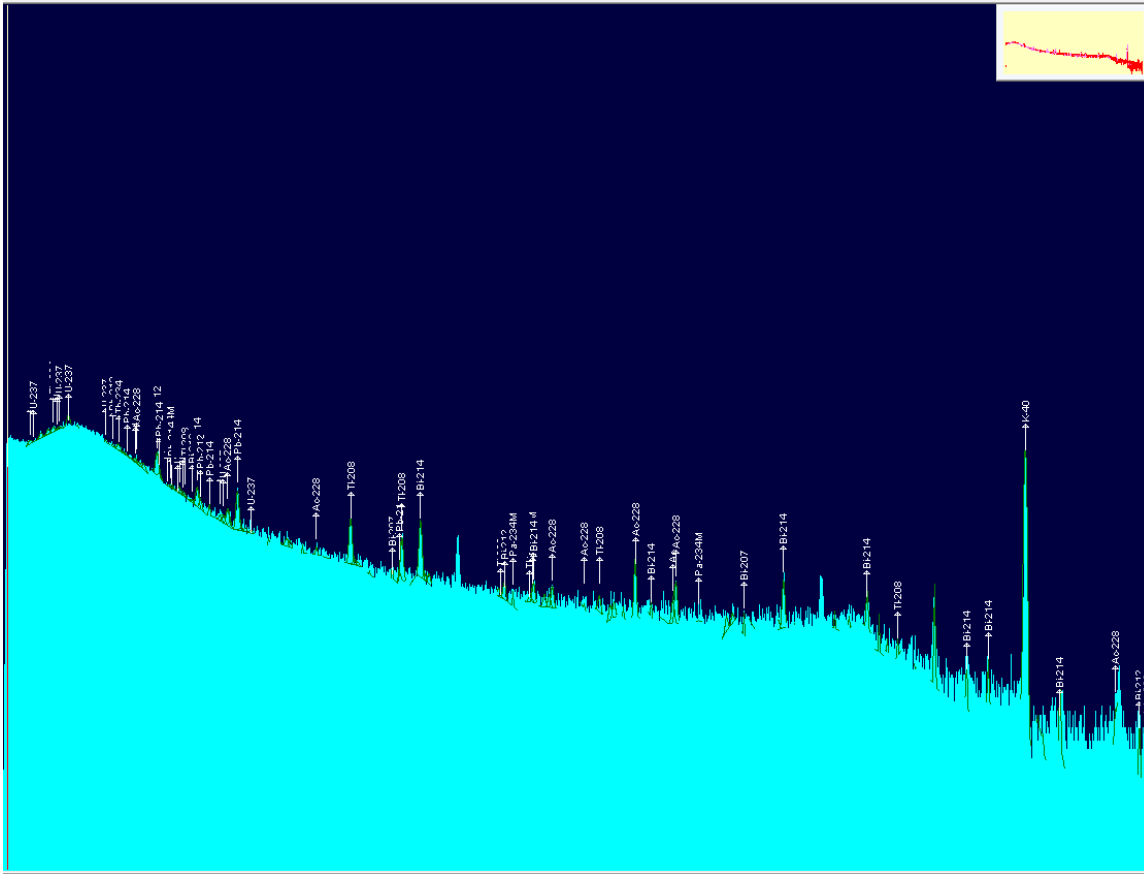


Figura 62: resultados de la muestra arad195.10

ARAD195.11

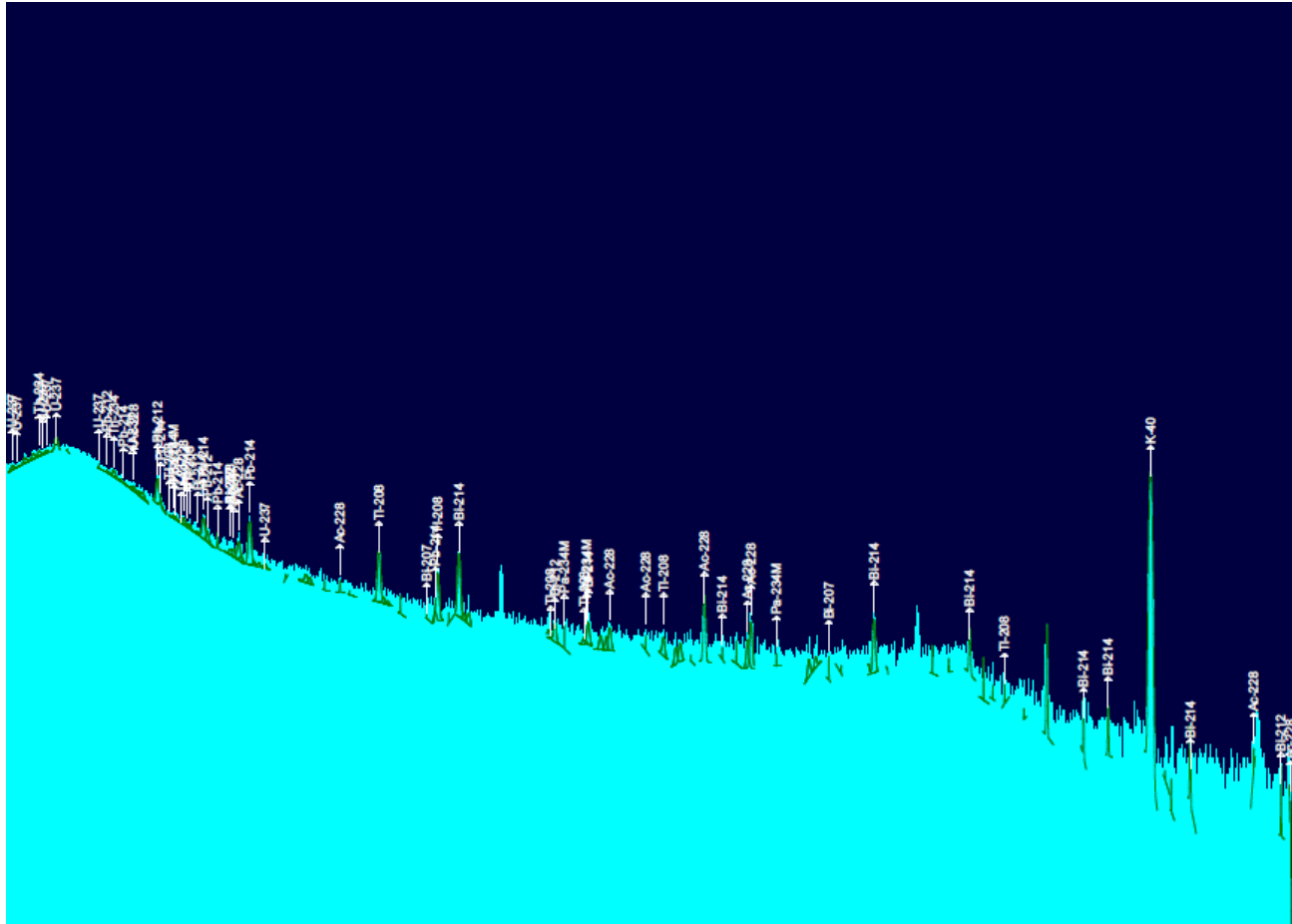


Figura 64: resultados de la muestra arad195.11

ARAD195.12

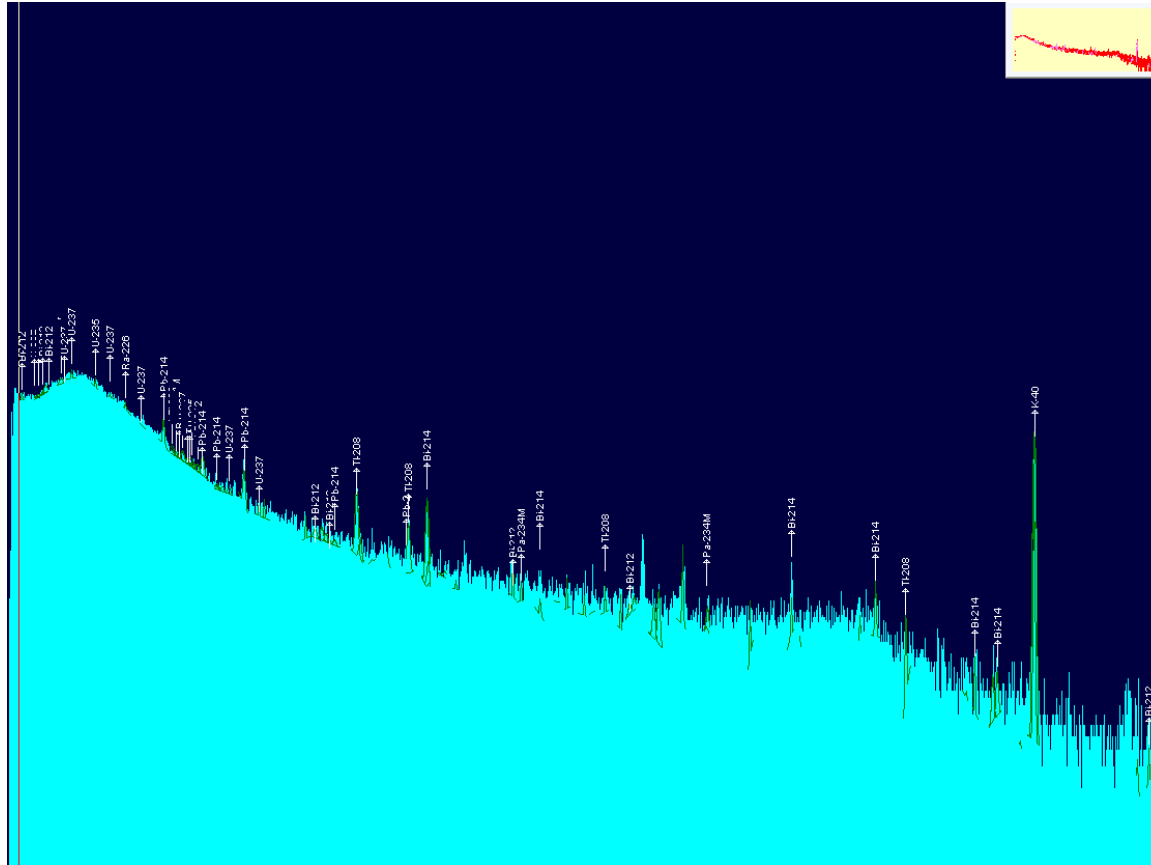


Figura 65: resultados de la muestra arad195.12

ARAD195.13

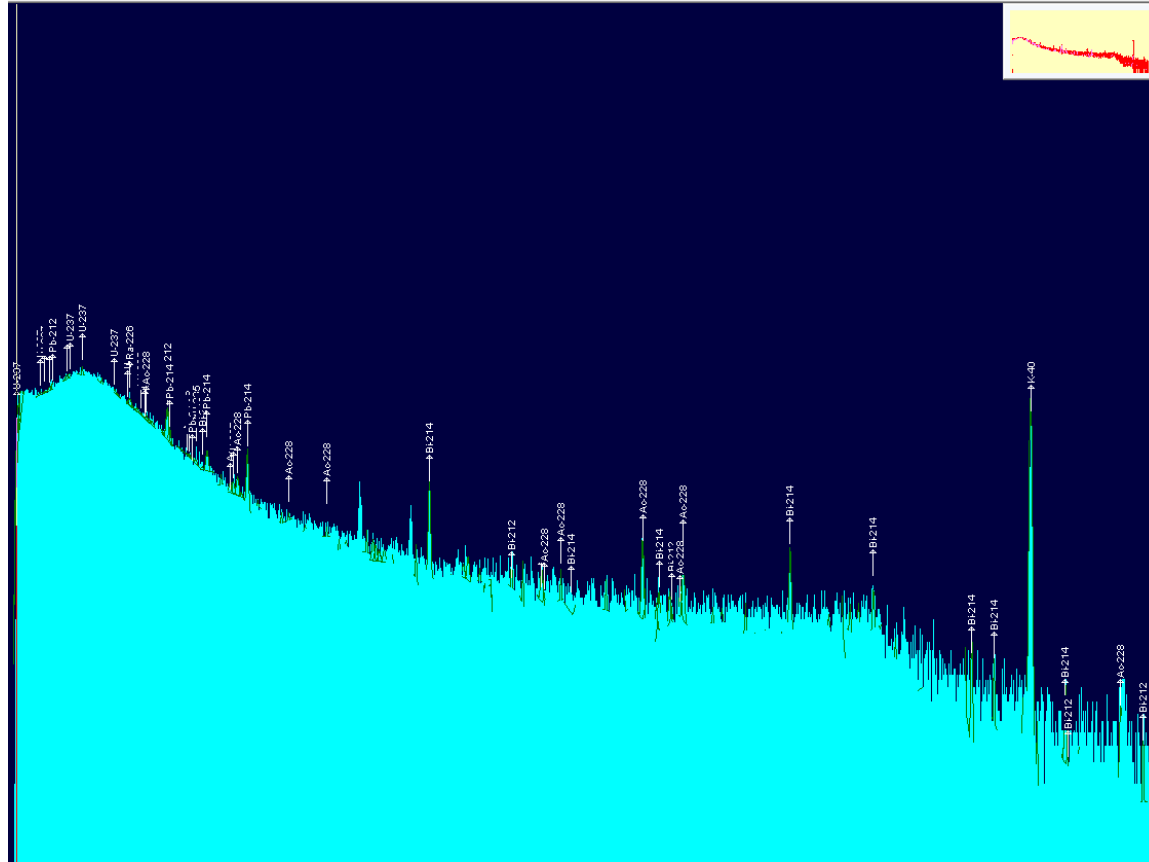


Figura 66: resultados de la muestra arad195.13

ARAD195.15

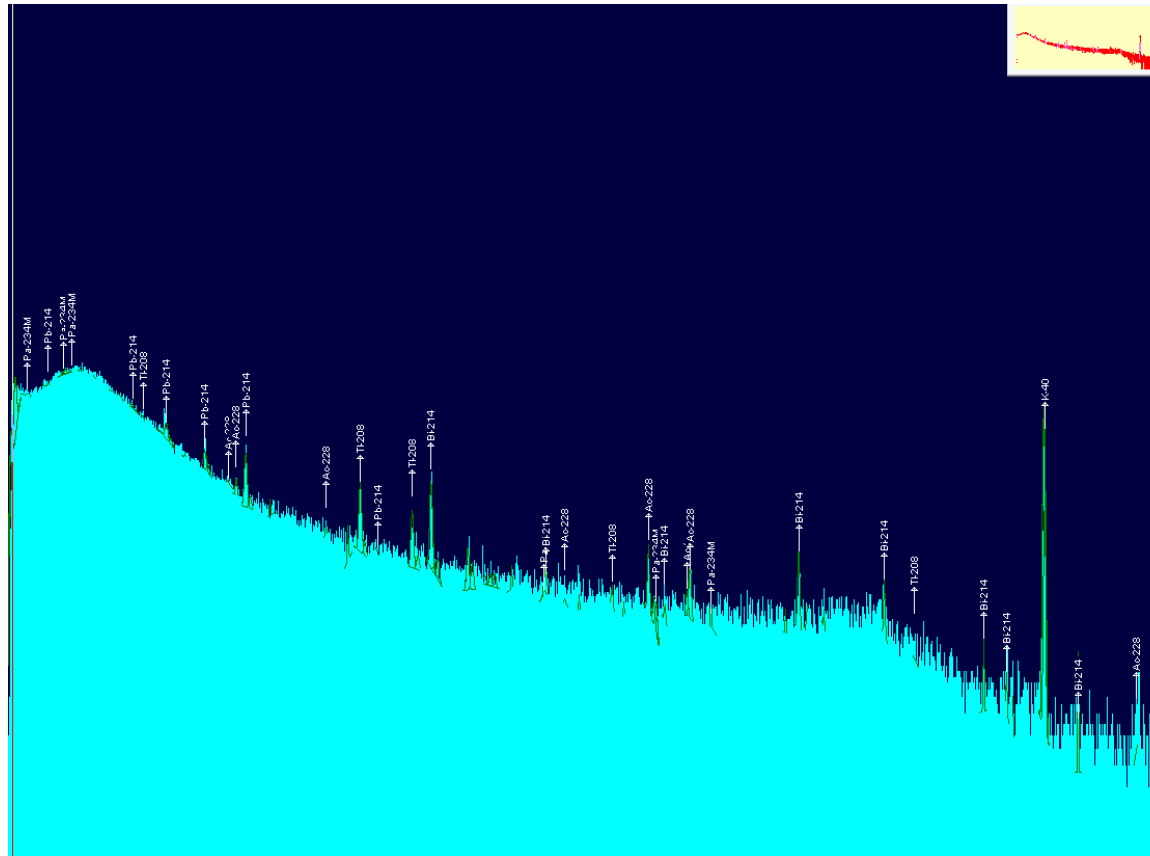


Figura 68: resultados de la muestra arad195.15

ARAD195.16

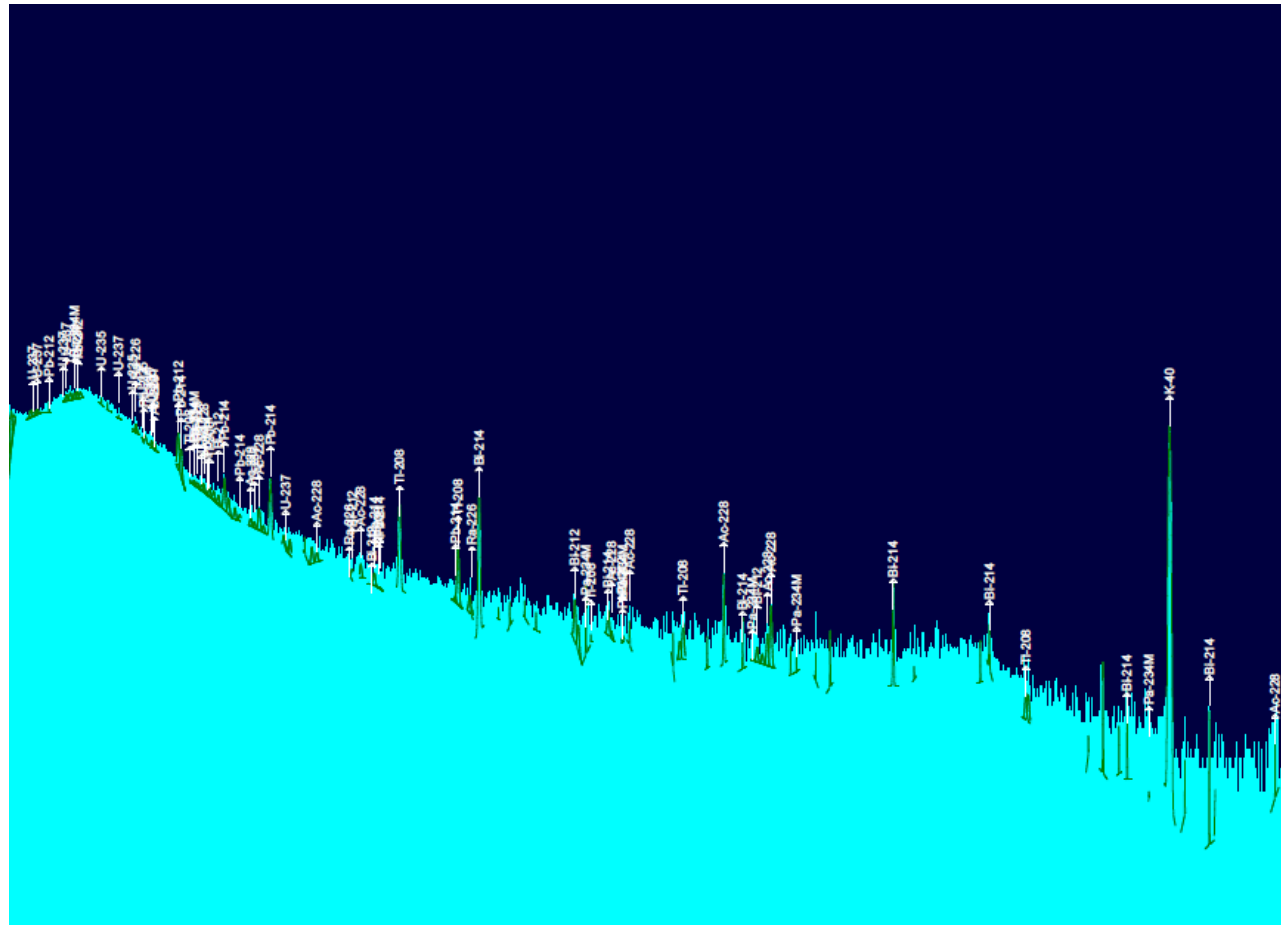


Figura 69: resultados de la muestra arad195.16

ARAD195.18

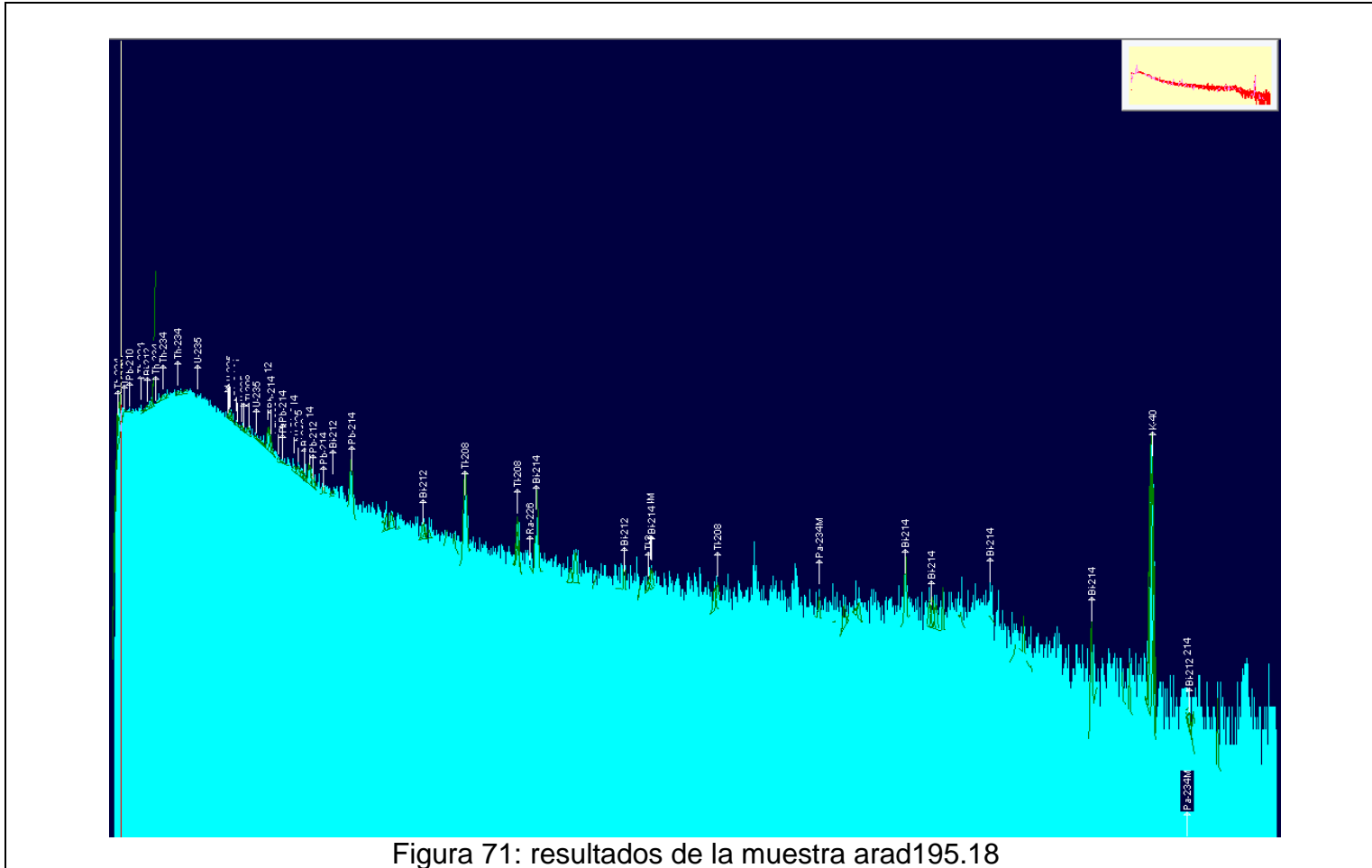


Figura 71: resultados de la muestra arad195.18

ARAD195.19

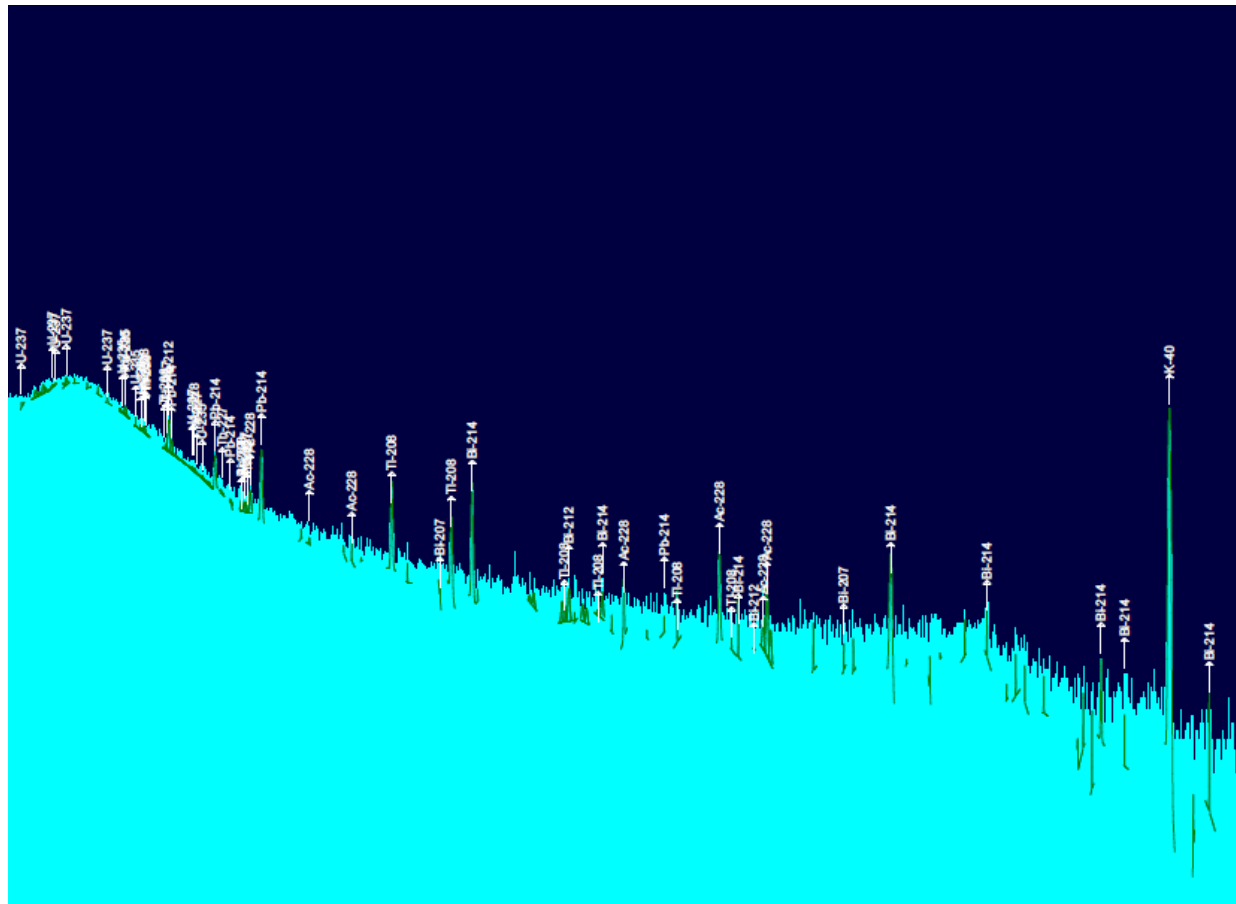


Figura 72: resultados de la muestra arad195.19

ANEXO 2: Espectros de muestras de rocas minerales
ARAD196.1

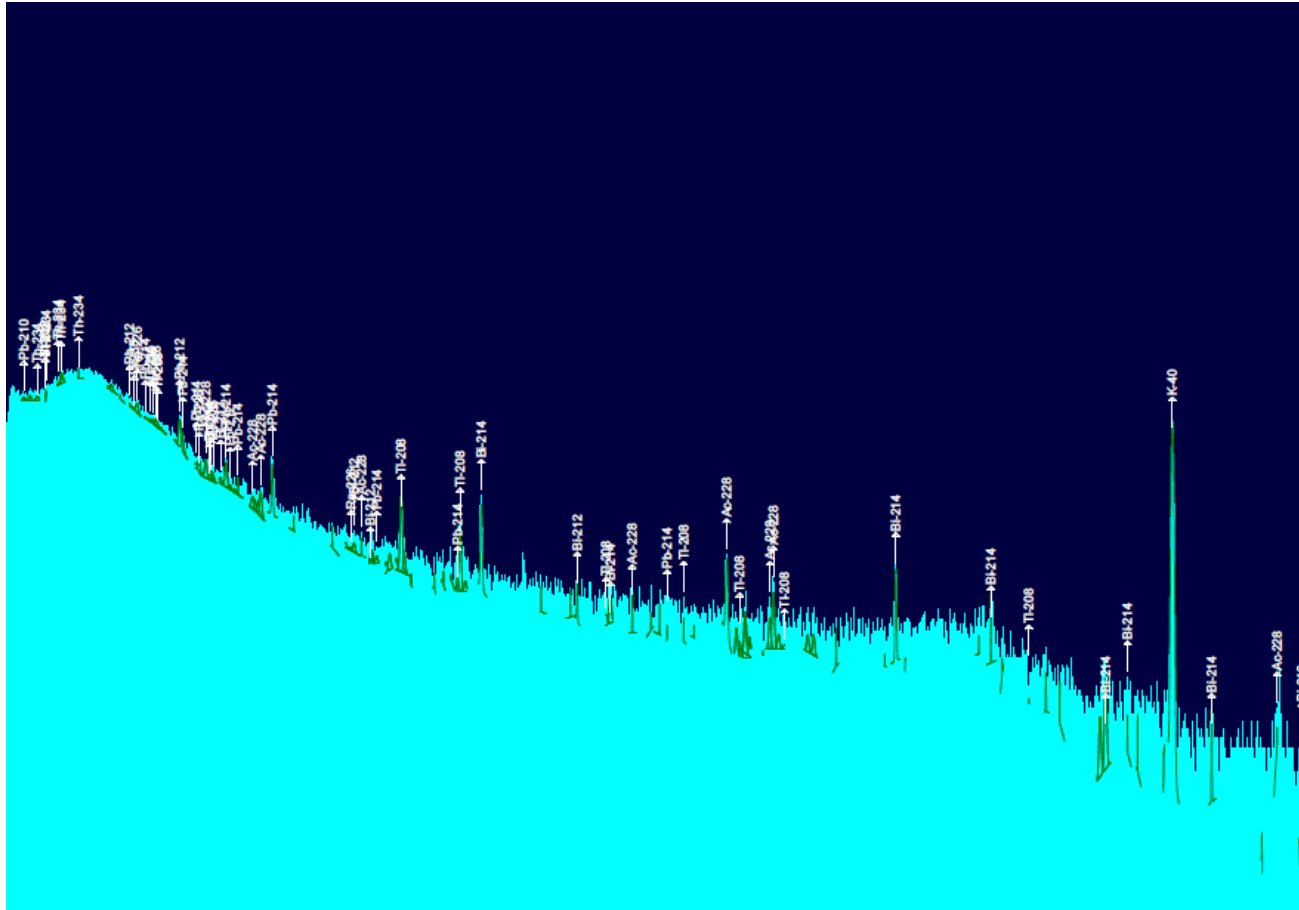


Figura 73: resultados de la muestra arad196.1

ARAD196.2

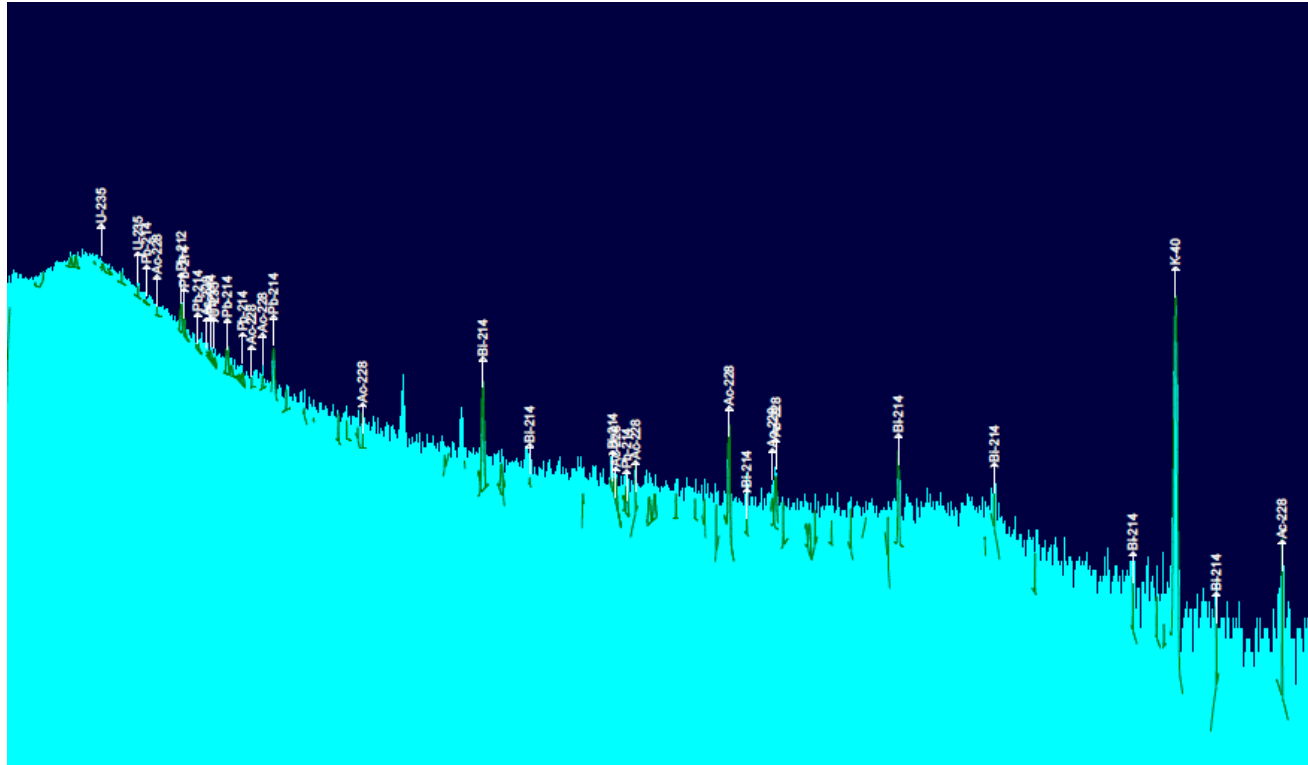


Figura 74: resultados de la muestra arad196.2

ARAD196.3

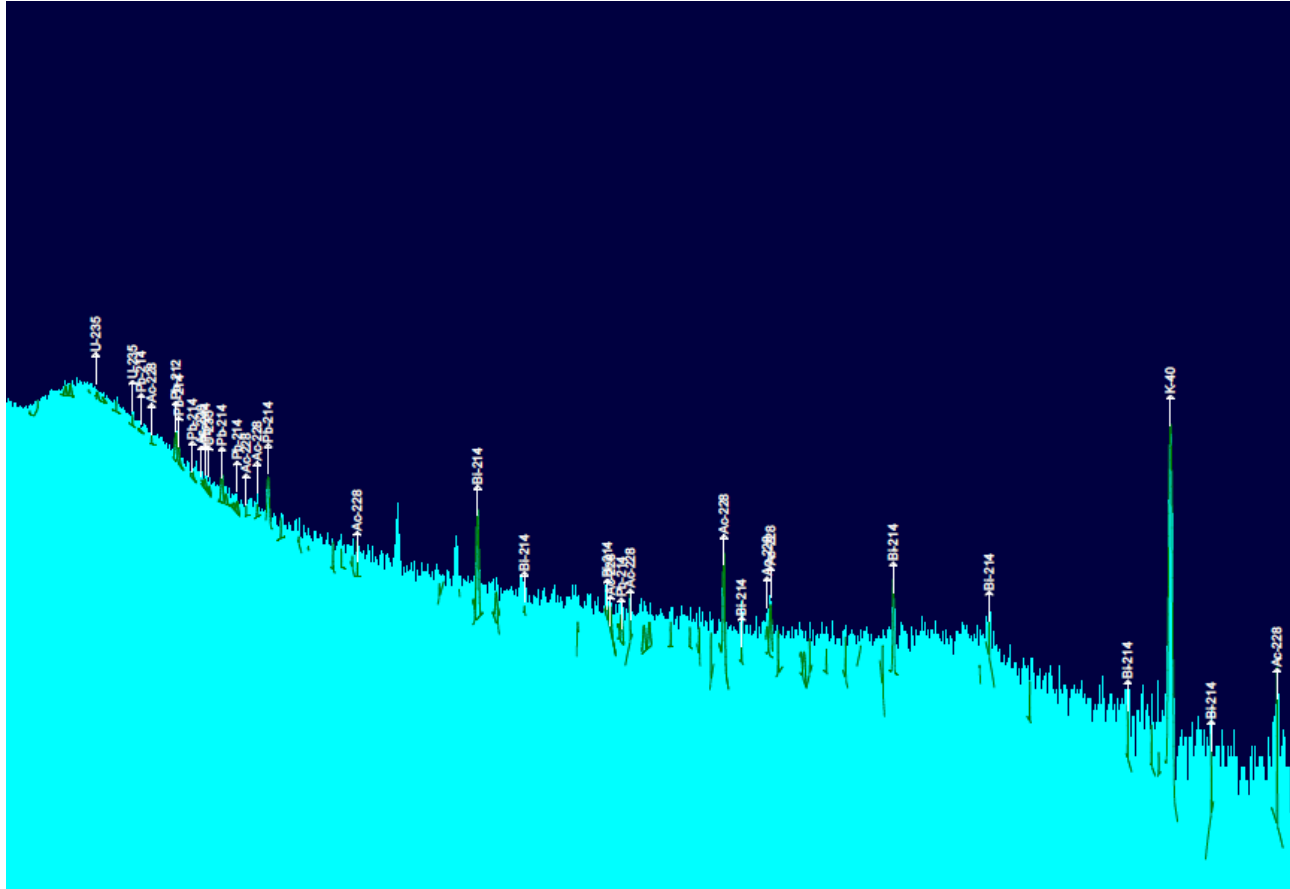


Figura 75: resultados de la muestra arad196.3

ARAD196.5

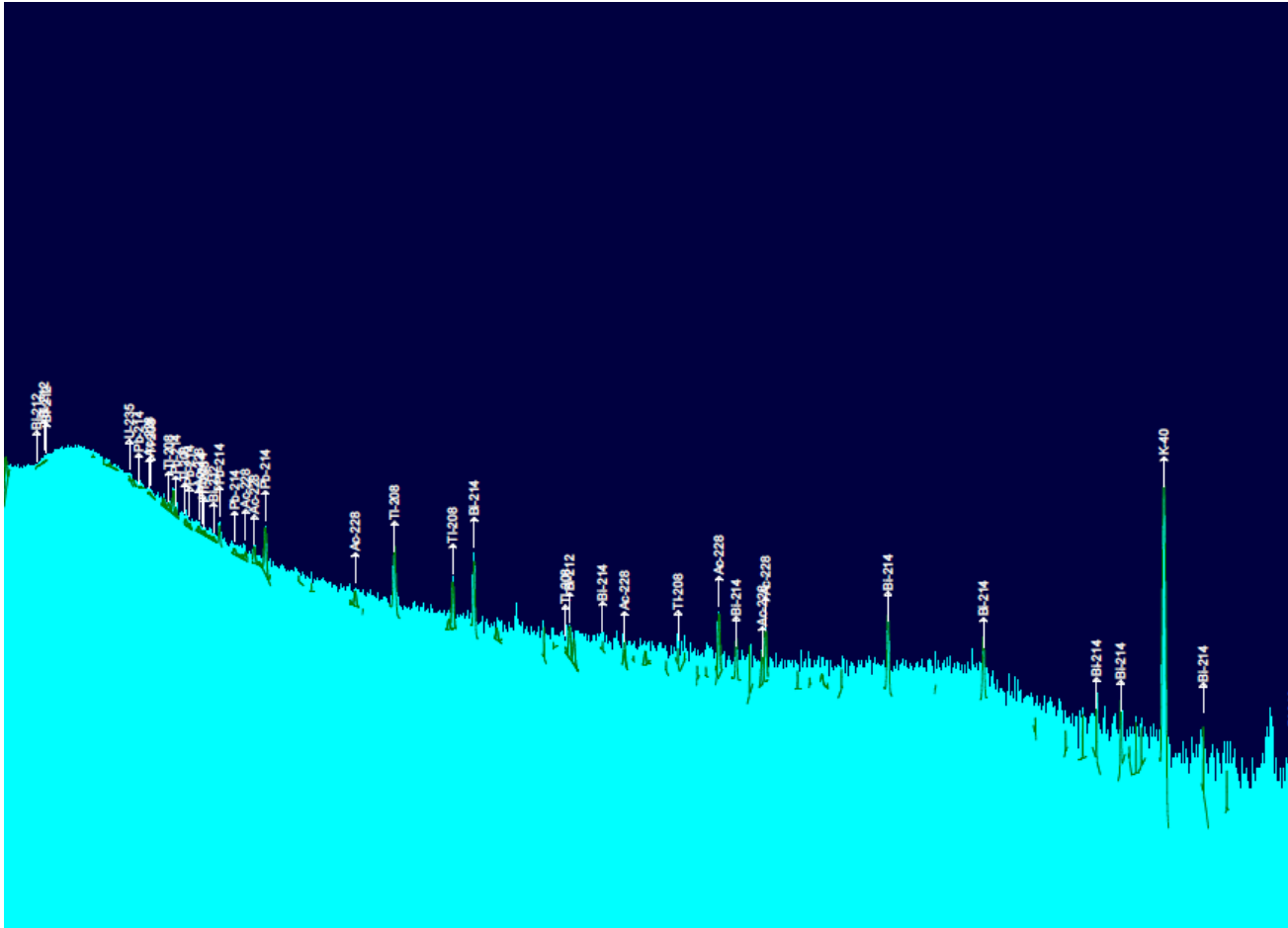


Figura 77: resultados de la muestra arad196.5

ARAD196.6

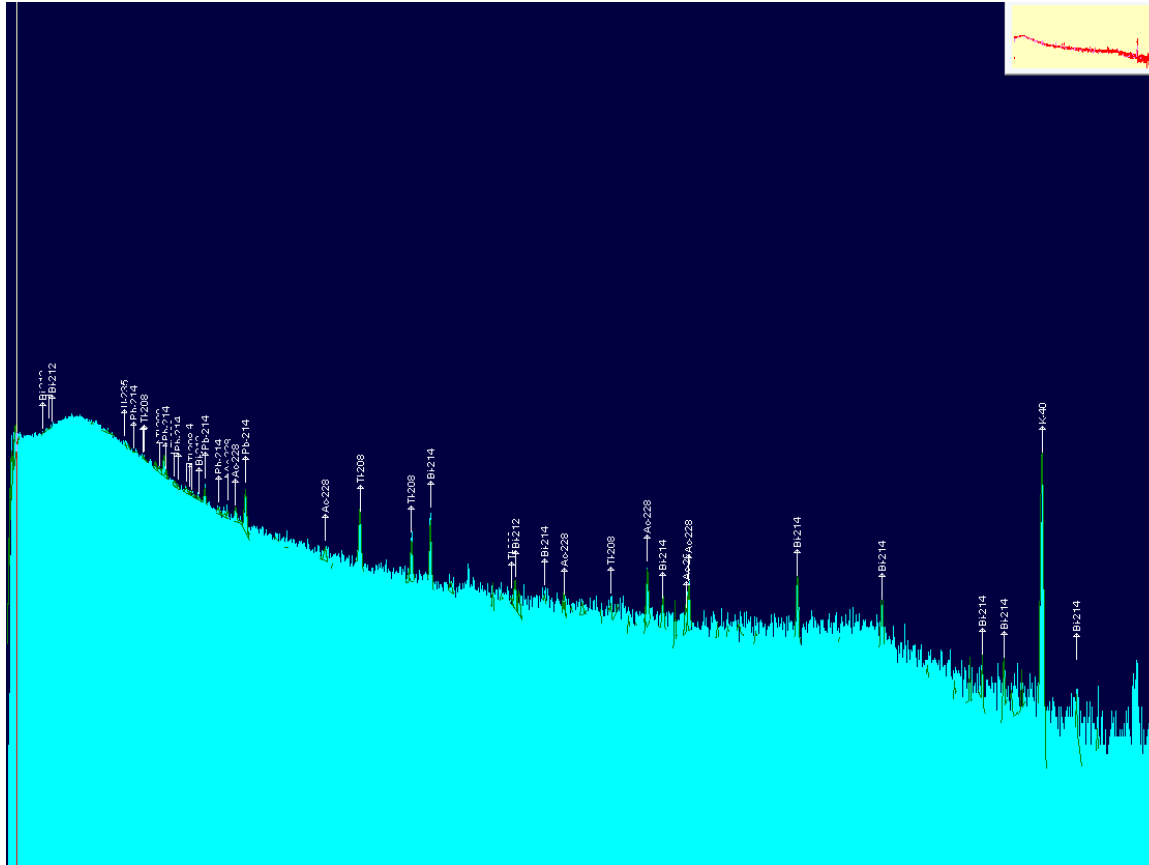


Figura 78: resultados de la muestra arad196.6

ARAD196.7

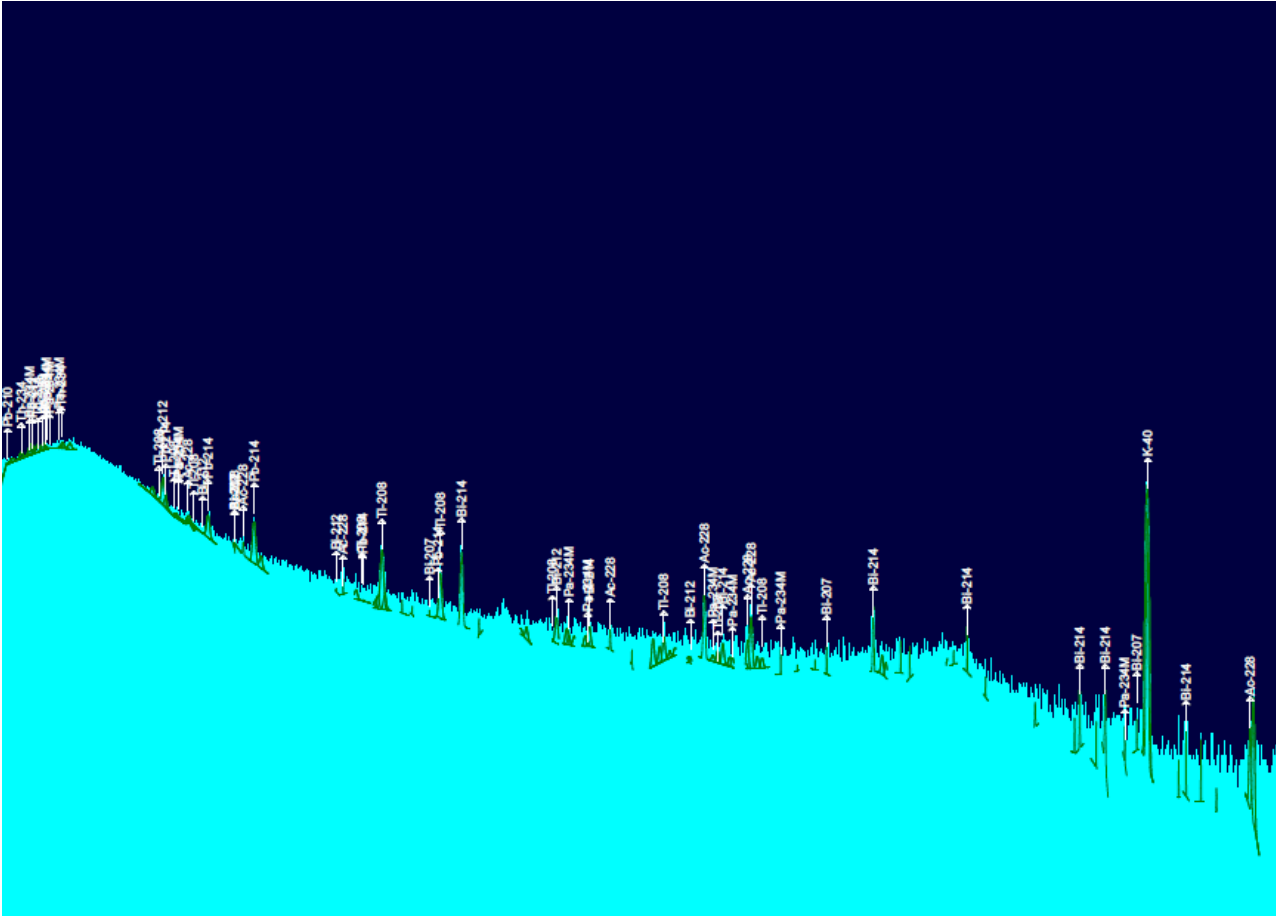


Figura 79: resultados de la muestra arad196.7

ARAD196.9

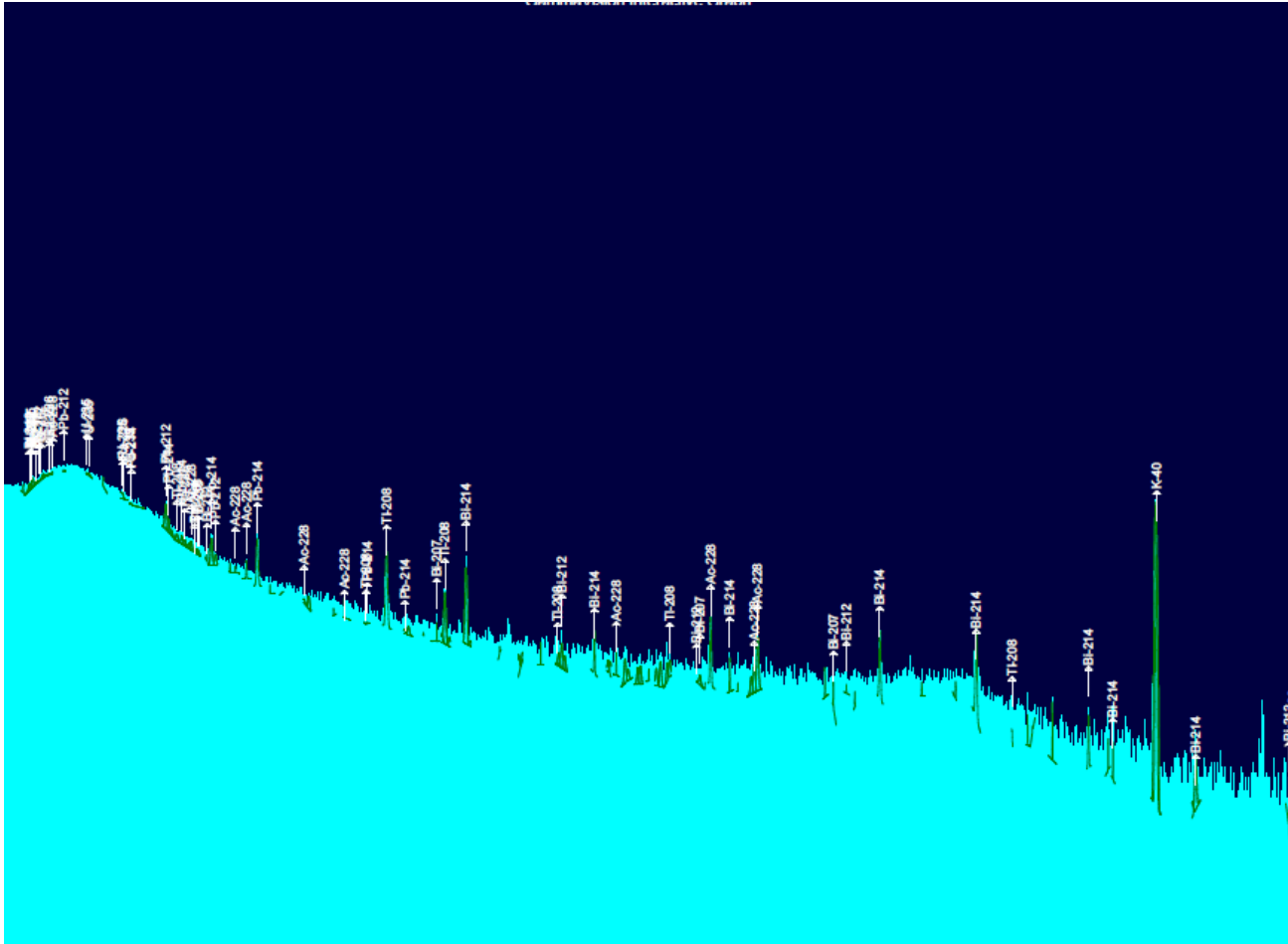


Figura 81: resultados de la muestra arad196.9

ARAD196.10

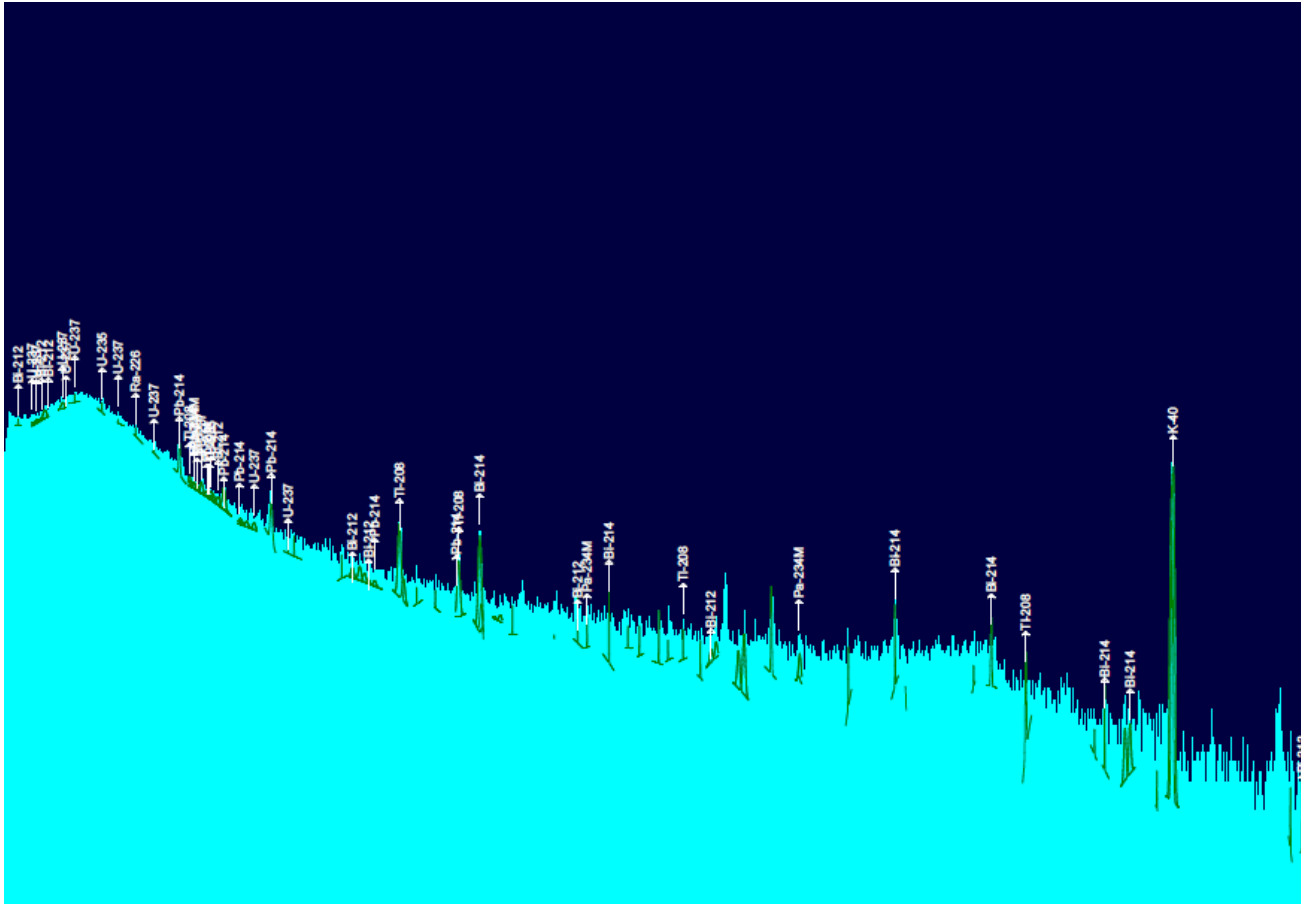


Figura 82: resultados de la muestra arad196.10

ARAD196.12

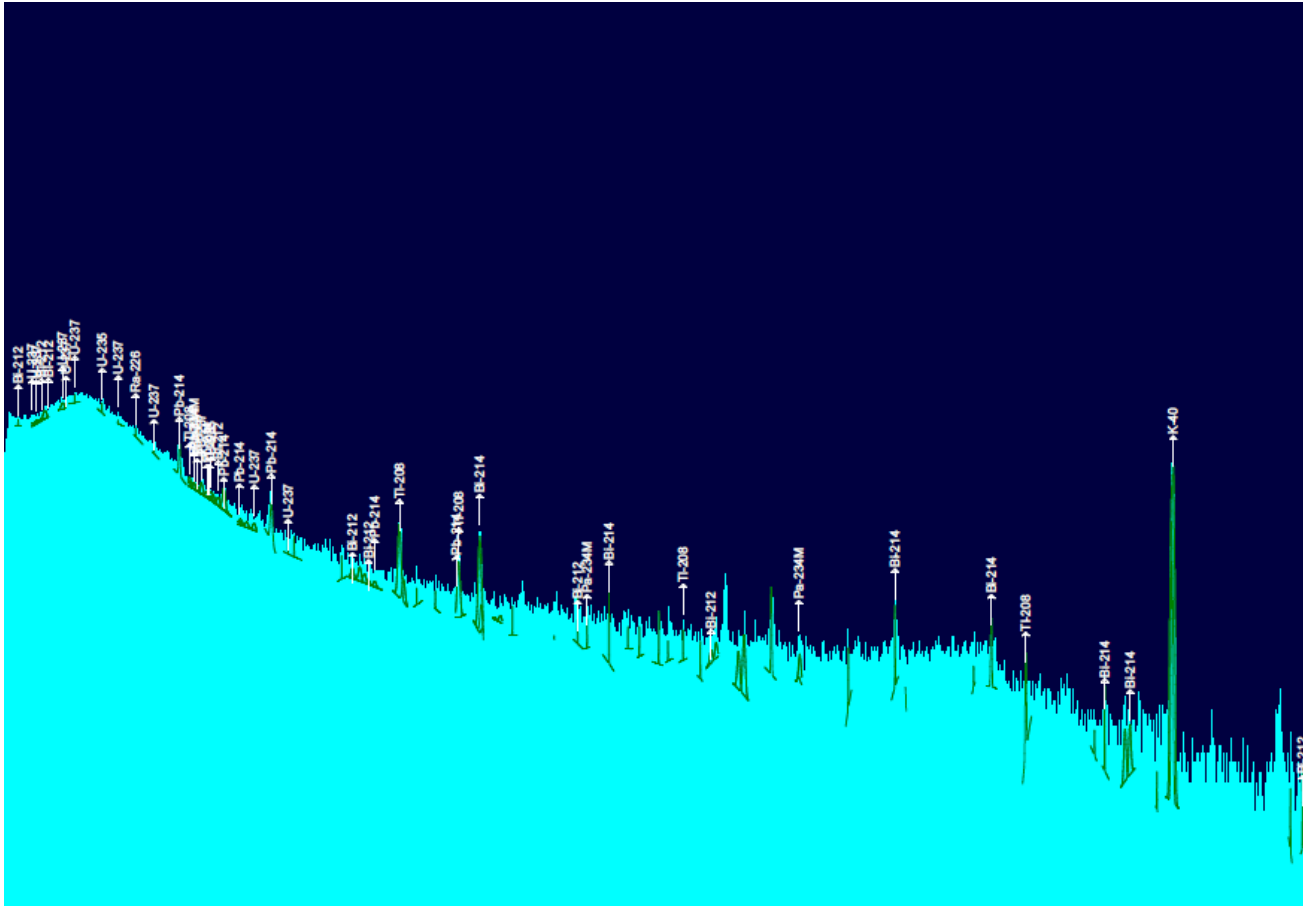


Figura 84: resultados de la muestra arad196.12

ARAD196.14

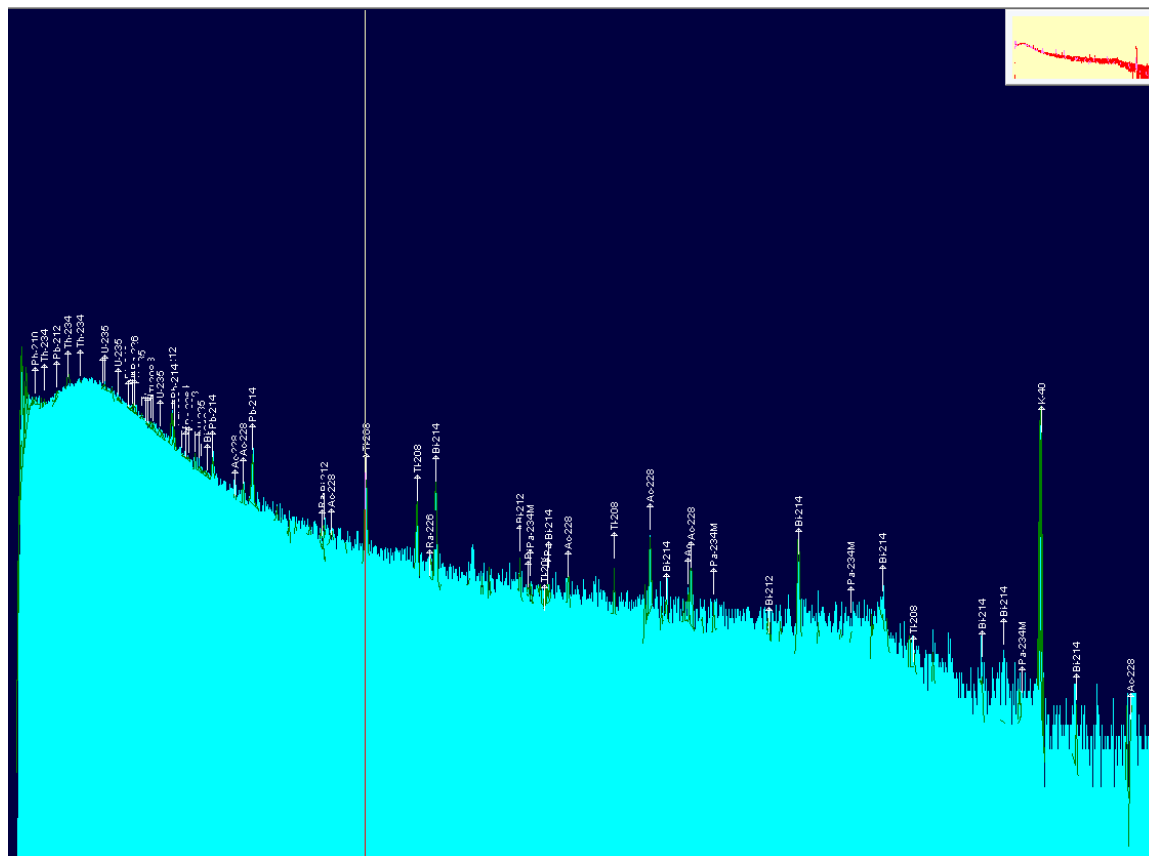


Figura 86: resultados de la muestra arad196.14

ARAD196.15

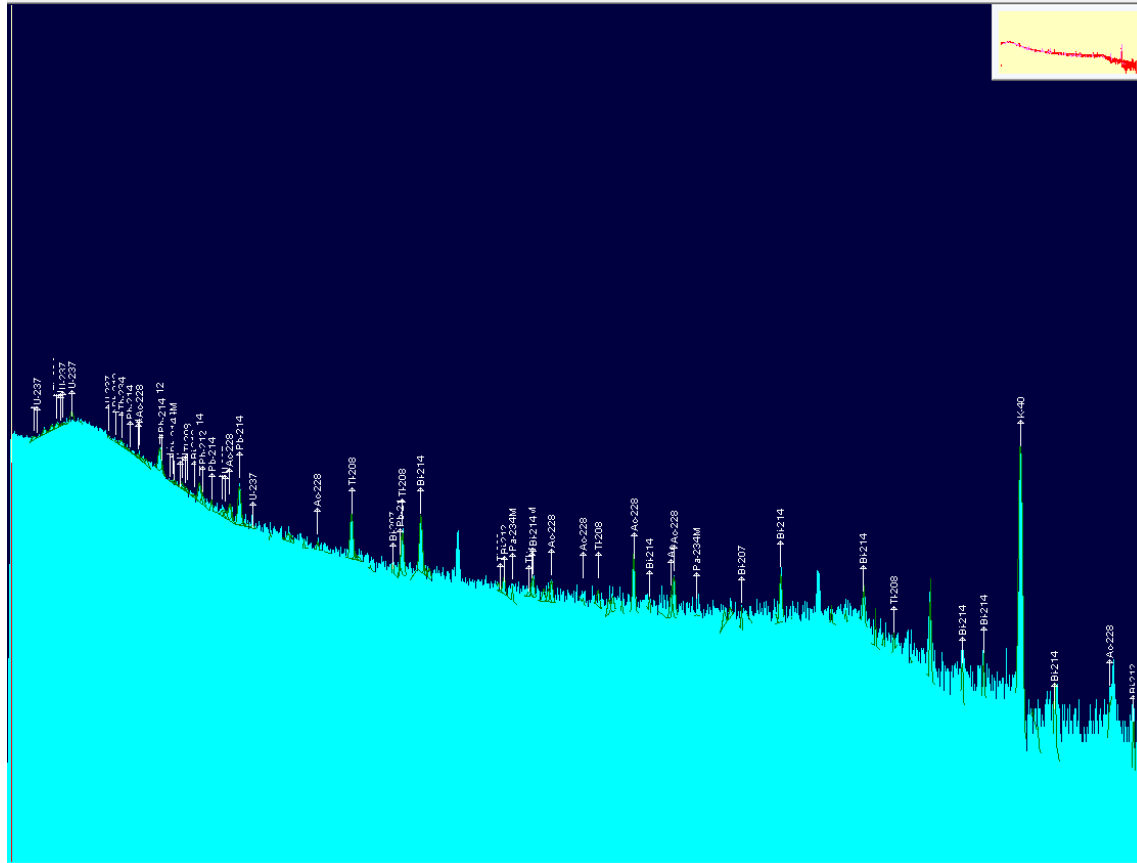


Figura 87: resultados de la muestra arad196.15

ARAD196.16

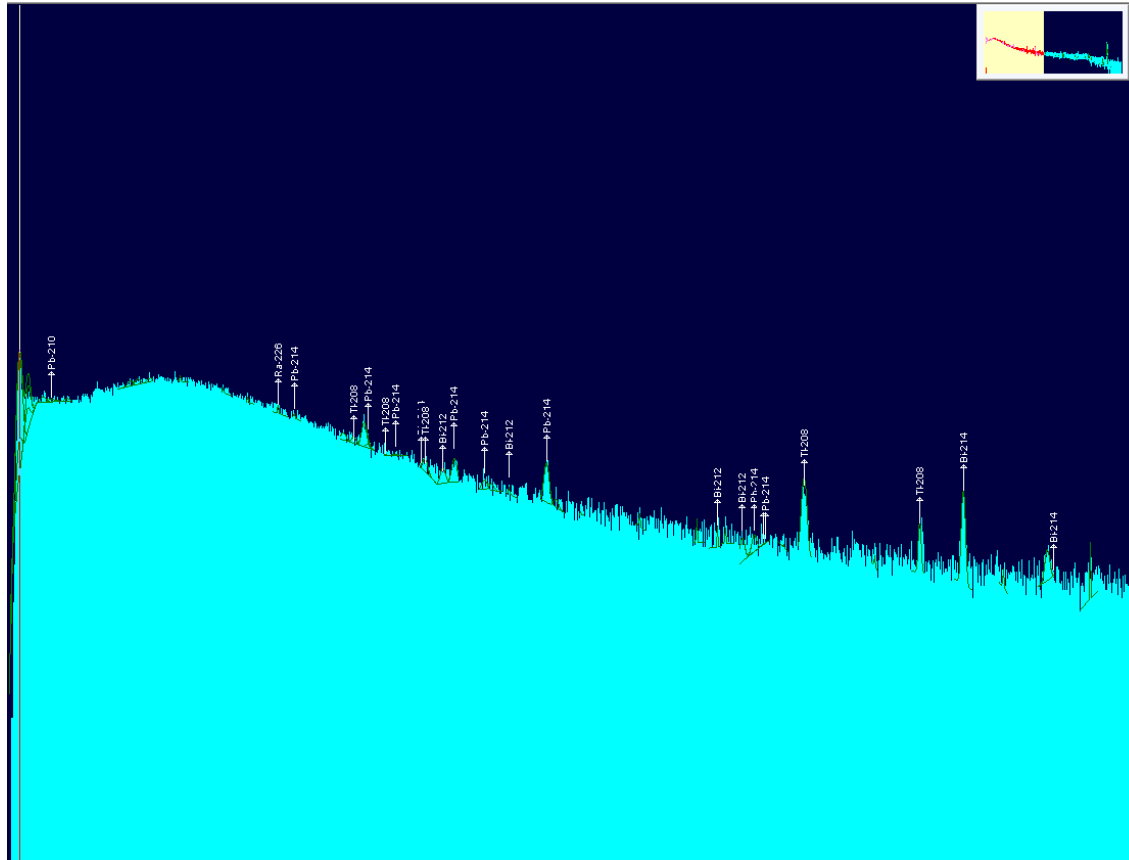


Figura 88: resultados de la muestra arad196.16

ARAD196.17

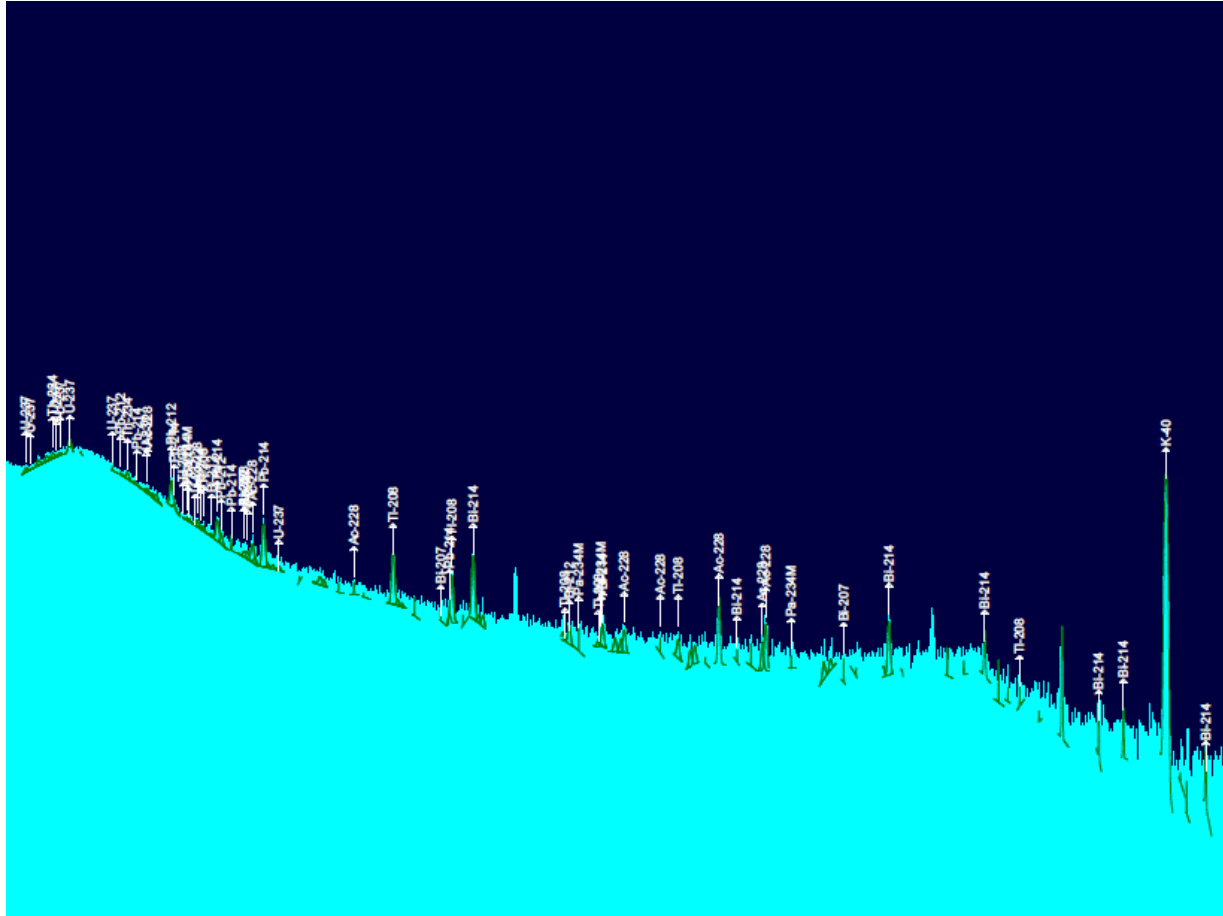


Figura 89: resultados de la muestra arad196.17

ARAD196.18

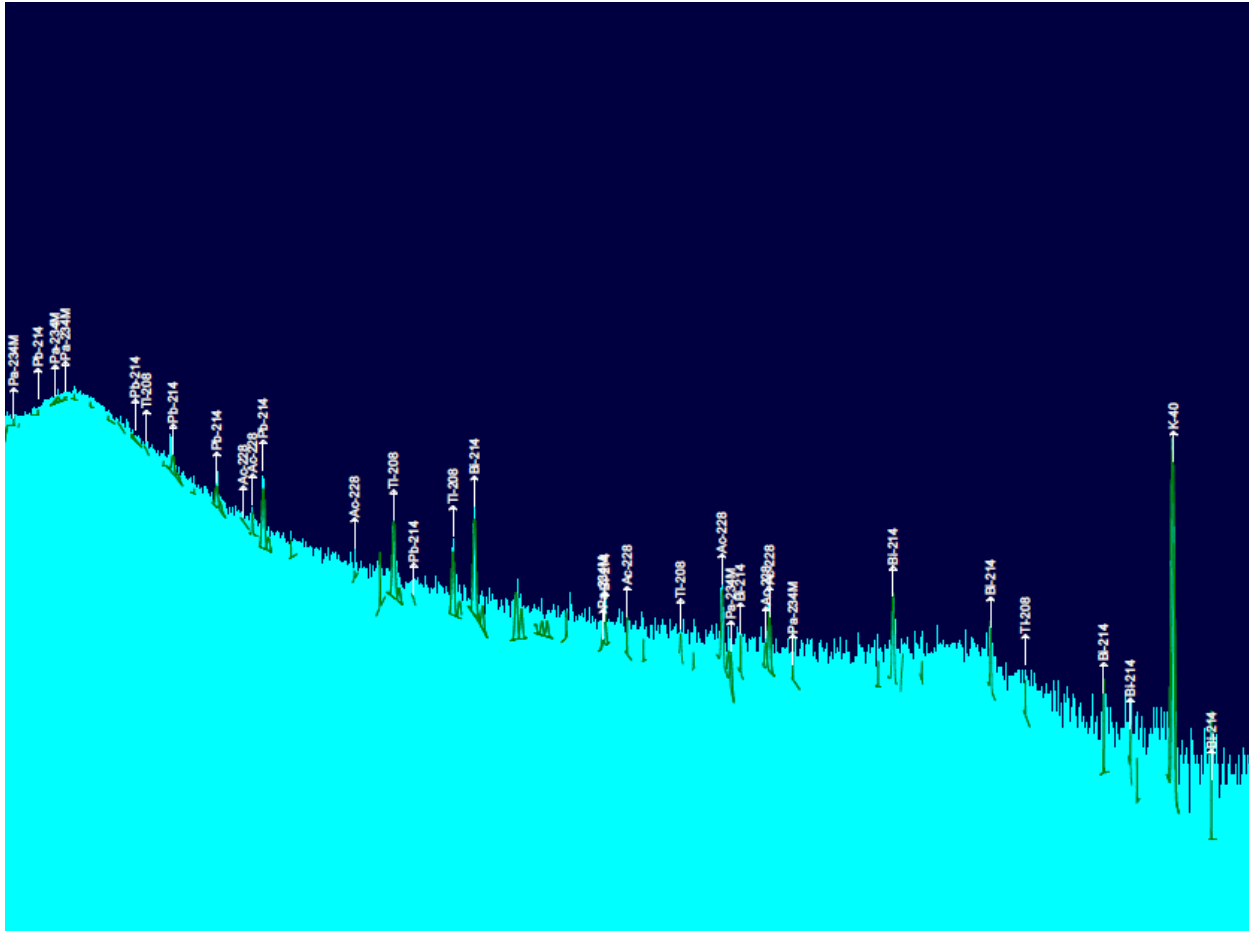


Figura 90: resultados de la muestra arad196.18

ARAD196.19

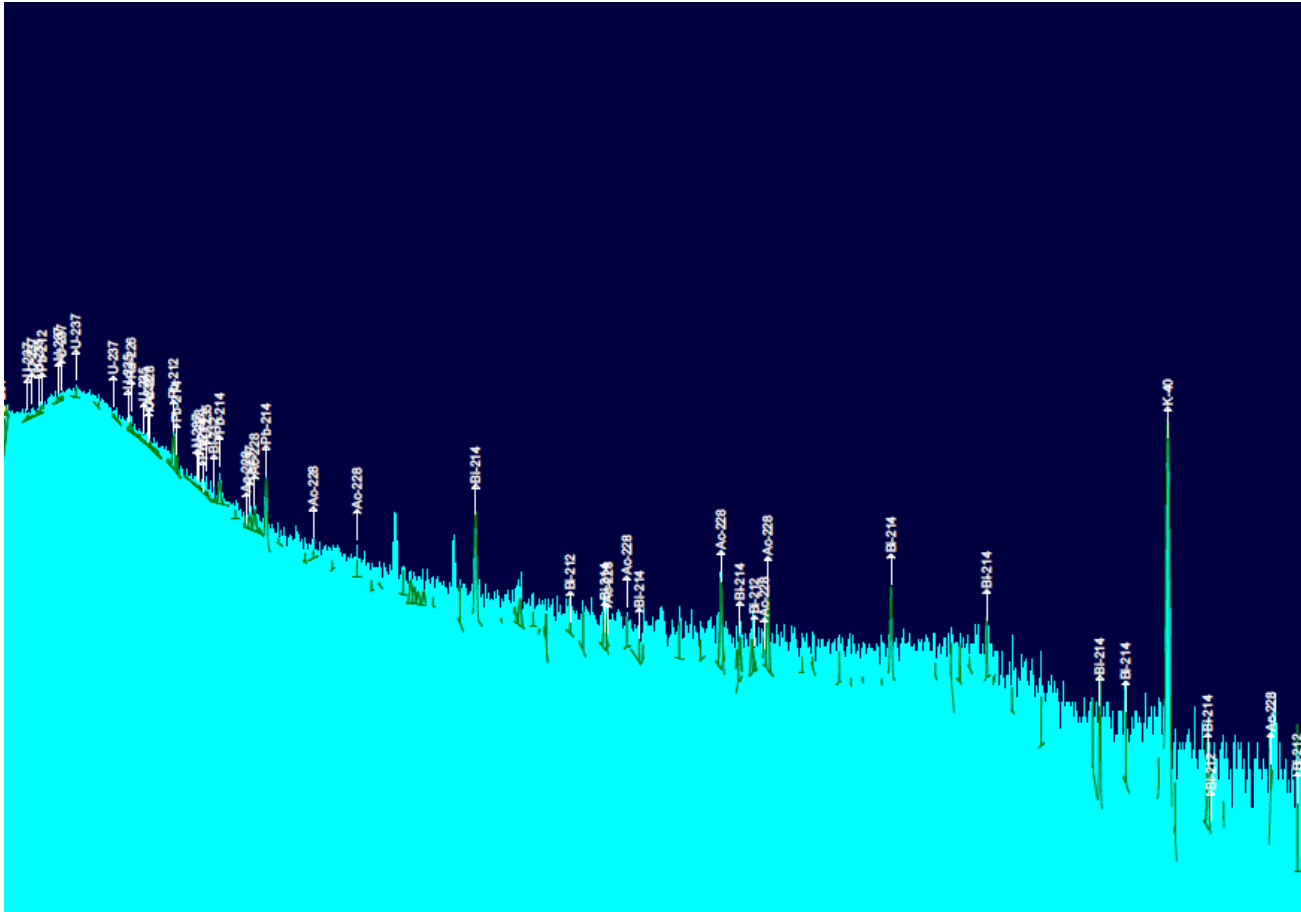
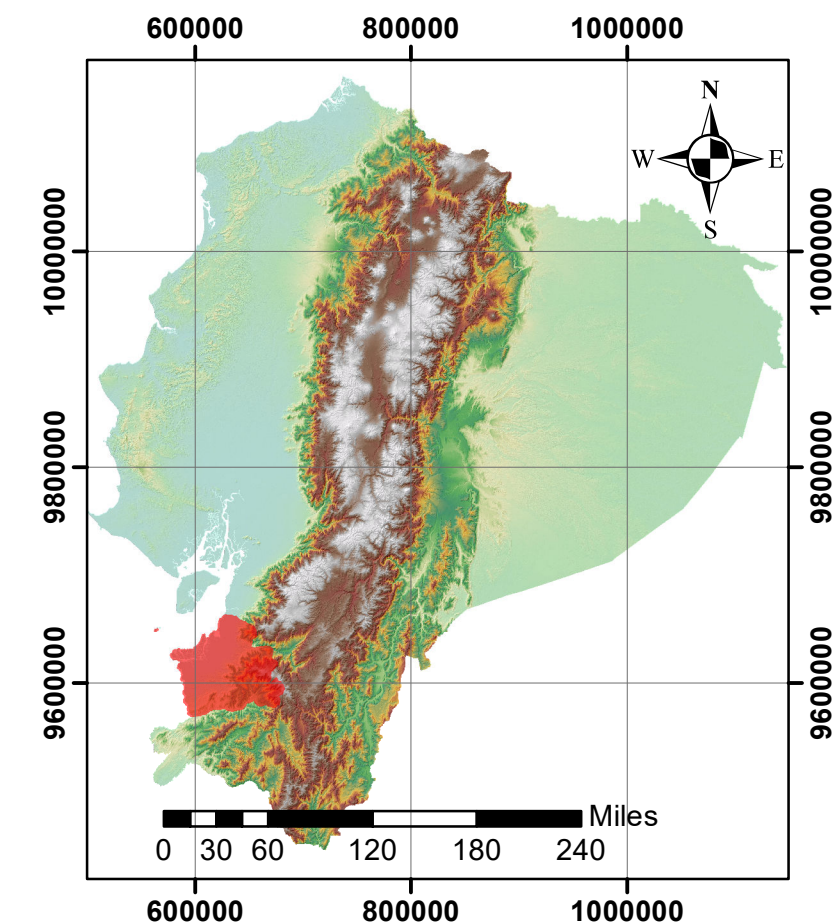
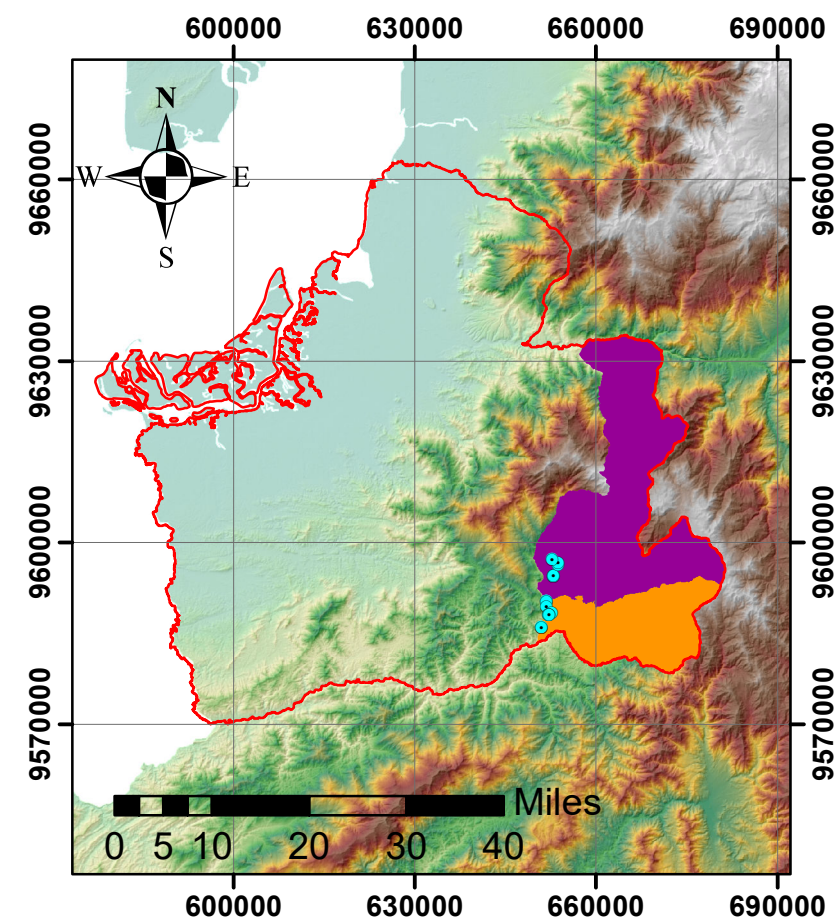
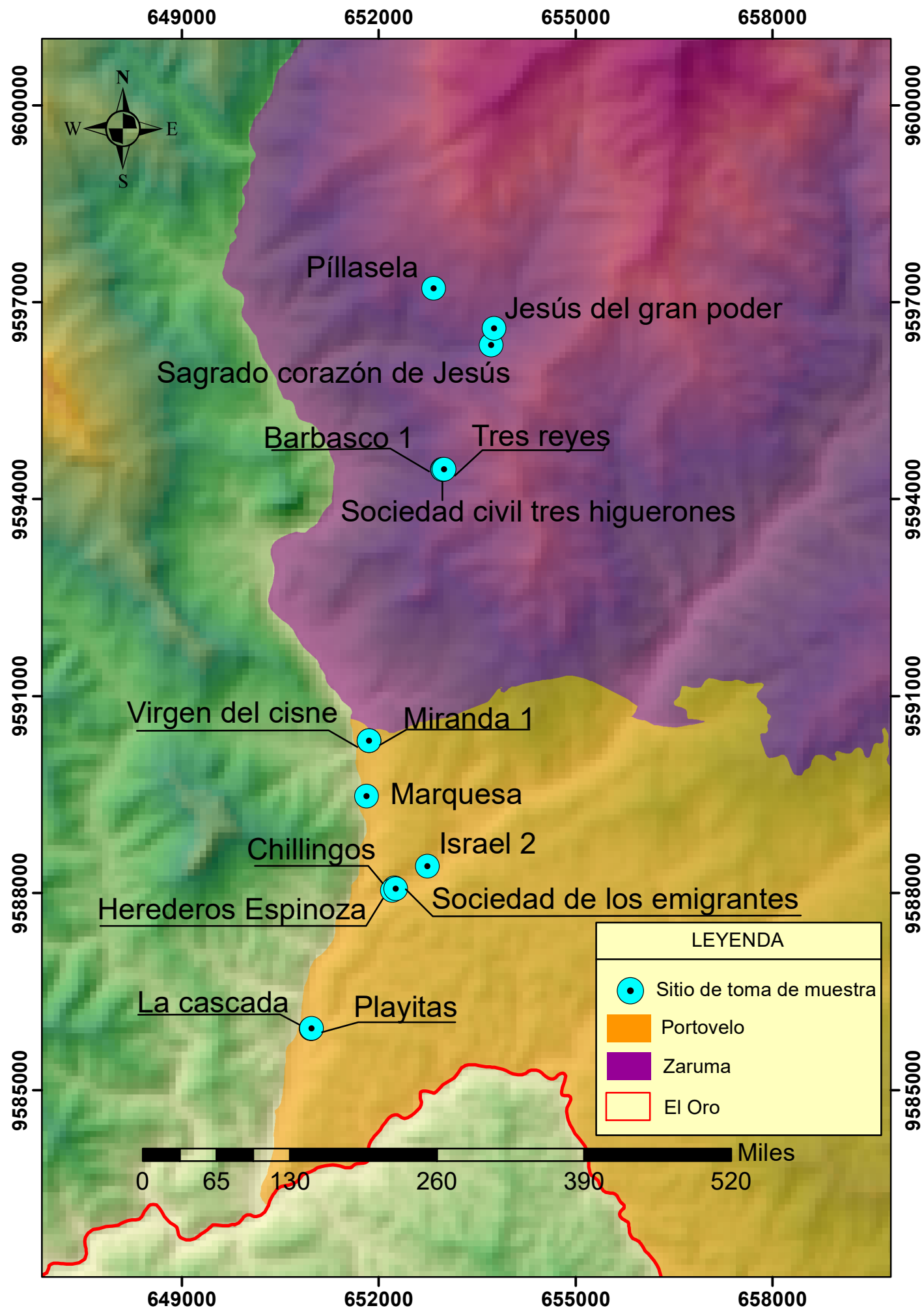


Figura 91: resultados de la muestra arad196.19

MAPA DE TOMA DE MUESTRAS



Lugar donde se tomó la muestra	Tipo de muestra	Código
Barbasco 1	Arena	Arad195.1
	Roca	Arad196.1
Tres reyes	Arena	Arad195.2
	Roca	Arad196.2
Sociedad civil tres higuerones	Roca	Arad196.3
	Arena	Arad195.3
Sagrado corazón de Jesús	Roca	Arad196.4
	Roca	Arad196.5
	Arenas	Arad195.4
Jesús del Gran Poder	Roca	Arad196.6
	Roca	Arad196.7
	Arena	Arad195.5
Píllasela	Arenas	Arad195.6
	Roca	Arad196.8
Miranda 1	Roca	Arad196.9
	Arenas	Arad195.7
Virgen del cisne	Roca	Arad196.10
	Arena	Arad195.8
Marquesa	Roca	Arad196.11
	Arenas	Arad195.9
Israel 2	Roca	Arad196.12
	Arenas	Arad195.10
Herederos Espinoza	Roca	Arad196.13
	Arenas	Arad195.11
	Arenas	Arad195.12
Chilingos	Roca	Arad196.14
	Arena	Arad195.13
	Arena	Arad195.14
	Roca	Arad196.15
Sociedad de los Emigrantes	Arenas	Arad195.15
	Arena	Arad195.16
	Roca	Arad196.16
Playitas	Arenas	Arad195.17
	Arenas	Arad195.18
	Roca	Arad196.17
La cascada	Roca	Arad196.18
	Roca	Arad196.14
	Arena	Arad195.19

Mapa de toma de muestras

Proyecto de disertación:
EVALUACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE MATERIALES
RADIATIVOS DE ORIGEN NATURAL EN PROCESAMIENTO
DE MINERÍA DE ORO

DATUM: WGS 1984 PROYECCION: UTM 17S

Nombre:
Daniel Salinas

