

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

*Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniera Ambiental*

TRABAJO EXPERIMENTAL:

**CONCENTRACIÓN DE RA-226 EN EL SUELO Y SEDIMENTOS DEL RÍO
IRQUIS EN EL ÁREA COLINDANTE DE LA MINERA LOMA LARGA
AZUAY-ECUADOR**

AUTORA:

MARÍA BELÉN PERALTA CARRIÓN

TUTOR:

TONY JESÚS VILORIA ÁVILA, PhD.

CUENCA – ECUADOR

2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo María Belén Peralta Carrión con documento de identificación N° 0106024110, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación: **CONCENTRACIÓN DE RA-226 EN EL SUELO Y SEDIMENTOS DEL RÍO IRQUIS EN EL ÁREA COLINDANTE DE LA MINERA LOMA LARGA AZUAY-ECUADOR**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera Ambiental*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado por la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero del 2019



María Belén Peralta Carrión

C.I: 0106024110

CERTIFICACIÓN

Yo, Tony Jesús Viloría Ávila, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: CONCENTRACIÓN DE RA-226 EN EL SUELO Y SEDIMENTOS DEL RÍO IRQUIS EN EL ÁREA COLINDANTE DE LA MINERA LOMA LARGA AZUAY-ECUADOR, realizado por María Belén Peralta Carrión, obteniendo un *Trabajo Experimental* que cumple con los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero del 2019



Tony Jesús Viloría Ávila

C.I: 0151688264

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo María Belén Peralta Carrión, con cédula de identidad N° 0106024110, autora del trabajo de titulación: CONCENTRACIÓN DE RA-226 EN EL SUELO Y SEDIMENTOS DEL RÍO IRQUIS EN EL ÁREA COLINDANTE DE LA MINERA LOMA LARGA AZUAY-ECUADOR, certifico que el total contenido de este *Trabajo Experimental* es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, enero del 2019

Belén Peralta C

María Belén Peralta Carrión

C.I: 0106024110

DEDICATORIA

Una vez culminada mi etapa universitaria, plasmada en el presente trabajo, donde demuestra el esfuerzo y dedicación de mis años de estudio, para poder obtener mi título como ingeniera ambiental, cumpliendo de esta manera con uno de los objetivos planteados para mi vida profesional.

Es así como dedico mi trabajo, en primer lugar a Dios por bendecirme a lo largo de mi vida y en cada una de las adversidades presentadas, también de todo corazón dedico a las personas más importantes en mi vida, mis padres Manuel Peralta y Lorena Carrión que con su esfuerzo y confianza, estuvieron a mi lado en cada uno de mis logros, así como también al apoyo de mis hermanos Milena y José Manuel.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a mis padres por estar a mi lado en cada momento, de igual manera a mi familia quien ha sido un pilar muy importante en el transcurso de mi vida.

A mi tutor de tesis Dr. Tony Viloría Ávila que con sus enseñanzas y palabras de aliento, a más de ser un excelente profesional destacando su conocimiento académico, le considero una excelente persona.

Culminando agradezco a mis amigos en especial a “La Última y Nos Vamos”, así como a todos quienes estuvieron a mi lado a lo largo de este periodo académico, compartiendo varias experiencias y anécdotas, a la vez que con una palabra, un gesto, una sonrisa, hicieron posible para que esta etapa culminara de la manera más gratificante.

RESUMEN

La concesión minera Loma Larga ubicada en la provincia del Azuay, en el área de Quimsacocha ubicada a 30km al sudoeste de la ciudad de Cuenca, es considerada una zona rica en oro y plata, y por ende una zona a ser explotada próximamente. Varios estudios han demostrado que las actividades de origen antropogénico son las responsables de incrementar el nivel de radiactividad sobre la faz de la tierra, además catalogan a la industria minera como una de las fuentes antropogénicas precursoras en generar radionúclidos, debido a los continuos procesos inherentes a esta actividad. Es por ello, que se consideró relevante realizar un estudio preliminar (de línea base), para conocer los niveles de concentración de ^{226}Ra en el suelo, rocas, sedimentos y vegetación de la región.

La concentración de ^{226}Ra para las muestras de suelo oscilaron entre 2.59 y 11.98 Bq/Kg, para rocas entre 4.94 y 13.94 Bq/Kg, para las muestras de sedimentos la concentración de ^{226}Ra estuvo entre un rango de 6.93 y 13.05 Bq/Kg, y para las muestras de vegetación la concentración de ^{226}Ra osciló entre 1.34 y 2.43 Bq/Kg. Los resultados obtenidos en este estudio, mostraron que los niveles de concentración de ^{226}Ra en los diferentes elementos analizados, se encuentran dentro de los límites promedios establecidos, según lo expuesto por la UNSCEAR, y no significan un riesgo radiológico para el ambiente y su zona de influencia.

Palabras claves: ^{226}Ra , LR-115, minería, suelo, sedimentos, vegetación.

ABSTRACT

The Loma Larga mining concession located in the province of Azuay, in the area of Quimsacocha located 30km southwest of the city of Cuenca, is considered an area rich in gold and silver, and therefore an area to be exploited soon. Several studies have shown that activities of anthropogenic origin are responsible for increasing the level of radioactivity on the face of the earth, also cataloging the mining industry as one of the precursor anthropogenic sources in generating radionuclides, due to the continuous processes inherent to this activity. For this reason, it was considered relevant to carry out a preliminary (baseline) study to determine the concentration levels of ^{226}Ra in the soil, rocks, sediments and vegetation of the region.

The concentration of ^{226}Ra for the soil samples ranged between 2.59 and 11.98 Bq / Kg, for rocks between 4.94 and 13.94 Bq / Kg, for the sediment samples the concentration of ^{226}Ra was between a range of 6.93 and 13.05 Bq / Kg, and for vegetation samples the concentration of ^{226}Ra ranged between 1.34 and 2.43 Bq / Kg. The results obtained in this study showed that the levels of concentration of ^{226}Ra in the different elements analyzed are within the established average limits, as stated by the UNSCEAR, and do not mean a radiological risk for the environment and its area. influence.

Keywords: ^{226}Ra , LR-115, mining, soil, sediments, vegetation.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
CAPÍTULO I.....	14
1 INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2 DELIMITACIÓN.....	18
1.2.1 Geográfica.....	18
1.2.2 Temporal.....	18
1.2.3 Sectorial:.....	19
1.3 EXPLICACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.4 OBJETIVOS.....	20
1.4.1 Objetivo General	20
1.4.2 Objetivos Específicos.....	20
CAPÍTULO II.....	20
2 MARCO TEÓRICO	20
2.1 RADIATIVIDAD	20
2.1.1 Historia de la Radiactividad.....	20
2.1.2 Tipos de Radiación Ionizante	21
2.1.3 Ley Fundamental de la Desintegración Radiactiva.....	23
2.1.3.1 Ley de Decaimiento Radiactivo	23
2.1.3.2 Periodo De Semidesintegración	24
2.1.3.3 Actividad	25
2.1.4 Equilibrio Secular	26
2.1.5 Detección de Radiaciones Ionizantes	27
2.1.5.1 Interacción de la Radiación con la Materia	27
2.1.5.2 Interacción de las Partículas Cargadas Pesadas con la Materia	28
2.1.5.3 Detección por Trazas en Sólidos (DTS).....	29
2.1.5.3.1 Exposición a la radiación ionizante	30
2.1.5.3.2 Revelado por proceso químico (grabado químico).....	31
2.1.5.3.3 Lectura de trazas nucleares	31
2.1.5.4 Unidades de Radiactividad	32
2.1.8 Fuentes Radiactivas.....	32
2.1.8.1 Radiactividad natural de origen natural (NORM)	32
2.1.8.2 Radiactividad Antropogénica.....	33
2.2 RADIONUCLEIDOS.....	34

2.2.1 Radón	34
2.2.1.1 Historia	34
2.2.1.2 Generalidades	34
2.2.1.3 Afecciones a la Salud	35
2.2.1.4 Importancia de su Medición	35
2.2.2 Radio.....	36
2.2.2.1 Historia	36
2.2.2.2 Generalidades	37
2.2.2.3 Afecciones en la Salud	37
2.3 GEOQUIMICA DEL RADIO.....	38
2.3.1 Radiactividad en el Ambiente	38
2.3.1.1 Radio en suelos	39
2.3.1.2 Radio en rocas	40
2.3.1.3 Radio en plantas	42
2.3.1.4 Radio en aguas	43
2.4 INCORPORACIÓN DE RADIONUCLEIDOS EN EL AMBIENTE.....	44
2.4.1 Incorporación de radionucleidos en el medio terrestre	44
2.4.1.1 Movilidad del radio en el medio terrestre	44
2.4.2 Incorporación de radionucleidos en el medio acuático.....	45
2.4.2.1 Movilidad de radio en el medio acuático	46
2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE ²²⁶ Ra	47
CAPITULO III.....	49
3 METODOLOGIA	49
3.1 ANÁLISIS DE LA ZONA DE ESTUDIO	49
3.1.1 Medio físico.....	49
3.1.1.1 Geología	49
3.1.1.2 Suelo	50
3.1.2 Medio biótico	51
3.1.2.1 Flora	51
3.2 TOMA DE MUESTRAS EN LA CONCESIÓN MINERA LOMA LARGA	52
3.3 PREPARACIÓN FÍSICA DE LAS MUESTRAS	53
3.3.1 Suelo	53
3.3.2 Rocas, Sedimentos y Vegetación	54
3.4 EXPOSICIÓN DE DETECTORES SÓLIDOS DE TRAZAS NUCLEARES (DSTN)	55

3.5 TRATAMIENTO QUÍMICO DE LOS DETECTORES SÓLIDOS DE TRAZAS NUCLEARES (DSTN)	55
3.6 CONTEO DE TRAZAS NUCLEARES	57
CAPITULO IV	58
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.1 CUANTIFICACIÓN DE CONTEO DE TRAZAS NUCLEARES EN DETECTORES	58
4.1.1 Primer muestreo	58
4.1.1.1 Número de trazas de los detectores expuestos al suelo	59
4.1.1.2 Número de trazas de los detectores expuestos a sedimentos	60
4.1.1.3 Número de trazas de los detectores expuestos a rocas	61
4.1.1.4 Número de trazas de los detectores expuestos a la vegetación	61
4.1.2 SEGUNDO MUESTREO	62
4.1.2.1 Número de trazas de los detectores expuestos al suelo	63
4.1.2.2 Número de trazas de los detectores expuestos a sedimentos	64
4.1.2.3 Número de trazas de los detectores expuestos a rocas	64
4.1.2.4 Número de trazas de los detectores expuestos a la vegetación	65
4.2 CONCENTRACION DE RADIO 226	65
4.2.1 Concentración de radio primer muestreo	65
4.2.2 Concentración de radio segundo muestreo	72
4.2.3 Promedio de la concentración de ²²⁶ Ra en los dos muestreos	79
4.3 DISCUSIÓN	80
CAPITULO V	86
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
5.1 CONCLUSIONES	86
5.2 RECOMENDACIONES	87
CAPITULO VI	88
6 BIBLIOGRAFÍA	88
6.1 BIBLIOGRAFÍA	88
CAPITULO VII	93
7 ANEXOS	93
7.1 CORRELACIÓN DEL PRIMER MUESTREO	93
7.1.1 Suelo	93
7.1.2 Sedimentos y vegetación	93
7.2 CORRELACIÓN SEGUNDO MUESTREO	94
7.2.1 Suelo	94

7.2.2 Sedimentos y vegetación	94
7.3 Muestras tomadas en campo (Concesión minera Loma Larga)	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Colisión Elástica.....	28
Ilustración 2 Colisión Inelástica.....	29
Ilustración 3 Estructura química del nitrato de celulosa	30
Ilustración 4 Perfiles de trazas reveladas (izquierda: incidencia normal) - (derecha: incidencia oblicua).....	31
Ilustración 5 Trazas nucleares	32
Ilustración 6 Esquema de parámetros físico-químicos del medio edáfico (contenido de humedad y densidad) que intervienen para la movilidad del radio.....	45
Ilustración 7 Roca sedimentaria triturada.....	50
Ilustración 8 Roca ígnea triturada	50
Ilustración 9 Suelo Franco-Arcilloso	51
Ilustración 10 Flora de la concesión minera Loma Larga	52
Ilustración 11 Concesión minera Loma Larga	52
Ilustración 12 Geometría de envases.....	55
Ilustración 13 Detectores en solución química.....	56
Ilustración 14 Enjuague detectores LR-115	57
Ilustración 15 Trazas nucleares procedentes de las muestras.....	58
Ilustración 16 Recolección de muestras	95
Ilustración 17 Peso de muestras (100gr)	96
Ilustración 18 Trituración de rocas en la prensa.....	96
Ilustración 19 Muestras deshidratadas	96

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Número de trazas de detectores expuestos al suelo, en la zona alta, media y baja	60
Gráfico 2 Número de trazas de detectores expuestos a sedimentos	60
Gráfico 3 Número de trazas de detectores expuestos a rocas.....	61
Gráfico 4 Número de trazas de detectores expuestos a la vegetación	62
Gráfico 5 Número de trazas de detectores expuestos a suelos en la zona alta, media y baja.....	63
Gráfico 6 Número de trazas de detectores expuestos a sedimentos	64
Gráfico 7 Número de trazas de detectores expuestos a rocas.....	64
Gráfico 8 Número de trazas de detectores expuestos a la vegetación	65
Gráfico 9 Concentración de 226Ra	67
Gráfico 10 Concentración de 226Ra	68
Gráfico 11 Concentración de 226Ra	70
Gráfico 12 Concentración de 226Ra	71
Gráfico 13 Concentración de 226Ra	73
Gráfico 14 Concentración de 226Ra	75
Gráfico 15 Concentración de 226Ra	76
Gráfico 16 Concentración de 226Ra	78
Gráfico 17 Promedio de la concentración de 226Ra	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Concentraciones en varias rocas.....	41
Tabla 3 Componentes con sus respectivos números de trazas	58
Tabla 4 Componentes con sus respectivos números de trazas	62
Tabla 5 Resultados obtenidos en el suelo.....	66
Tabla 6 Resultados obtenidos en las rocas	68
Tabla 7 Resultados obtenidos en sedimentos.....	69
Tabla 8 Resultados obtenidos en la vegetación	70
Tabla 9 Resultados obtenidos en el suelo.....	72
Tabla 10 Resultados obtenidos en las rocas	74
Tabla 11 Resultados obtenidos en los sedimentos	76
Tabla 12 Resultados obtenidos en la vegetación.....	77

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

Estudios demuestran que los elementos radiactivos están presentes desde el origen de la Tierra en la corteza terrestre, aunque estos se encuentran dispersos en bajas concentraciones, las diversas actividades tanto antropogénicas como naturales pueden provocar que los niveles de los radionucleidos aumenten, entre los elementos radiactivos considerados de gran interés se encuentran ^{232}Th , ^{238}U , ^{235}U , ^{226}Ra , ^{228}Ra y ^{40}K . (Alshahri, 2017).

Los radionucleidos generados por condiciones o actividades naturales se producen generalmente por radiaciones terrestres de manera externa o interna, en el caso de radiación externa se entiende por la radiación de origen cósmico que aporta radiación gamma, partículas alfa y beta, así como protones y núcleos pesados a la tierra debido a que la misma actúa como filtro ante la presencia de estos elementos. En cambio la radiación interna está presente en la corteza terrestre en forma de minerales, rocas, suelo, etc, los mismos que contienen elementos radiactivos como torio, uranio, radio entre otros.

Normalmente las concentraciones o el nivel de radiactividad generado por actividades de origen natural se ve influenciado por distintos factores ambientales (agentes atmosféricos), los mismos se encargan de fijar los elementos radiactivos sobre la superficie terrestre, en cambio los agentes que intervienen para determinar el nivel de profundidad que alcanzan estos elementos son la formación geológica, composición mineral, densidad del suelo, permeabilidad del suelo y presencia de minerales arcillosos.

Sin embargo mediante pruebas se ha demostrado que las actividades de origen antropogénico son las responsables de incrementar el nivel de radiactividad sobre la faz de la Tierra. Estudios diversos catalogan a la industria minera como una de las fuentes

antropogénicas precursoras en generar radionúclidos debido a los continuos procesos que ocurren, es por eso que elementos radiactivos como el ^{226}Ra se concentran en diferentes componentes ambientales (suelo, rocas, sedimentos, cobertura vegetal) provocando la contaminación a corto o largo plazo de los mismos.

La actividad minera genera gran cantidad de residuos tanto sólidos y líquidos, los cuales dependiendo de las características del yacimiento y del método de extracción puede significar que los residuos generados contengan elevadas concentraciones de radionúclidos provenientes de los NORM. (López, 2012).

Es por esta razón que en los últimos años se ha dado una mayor conciencia al impacto radiológico que genera este tipo de industria, la cual mediante diversos estudios afirman que aparte de los elementos radiactivos, existe la presencia de metales pesados y por ende sustancias altamente tóxicas tanto en suelo, agua como en aire. (Zorilla, 2013)

El presente estudio tiene como objetivo central determinar las concentraciones de ^{226}Ra en suelo y sedimentos del Río Iruquis en el área colindante de la concesión minera Loma Larga.

El estudio se llevará a cabo en la provincia del Azuay, en el área de Quimsacocha ubicada a 30km al sudoeste de la ciudad de Cuenca, en su fase de exploración se considera un importante potencial económico al país debido a su extracción de oro, así como abastecer también de plata y cobre; el proyecto aún no ha entrado en funcionamiento es por eso que se va a realizar un estudio preliminar con el fin de conocer las concentraciones iniciales de ^{226}Ra en las diferentes muestras, es importante recalcar que no existe información previa de esta rama investigativa en el país, es decir no se sabe con certeza el nivel de radiactividad que presenta la zona, y por ello los

resultados obtenidos serán de mucha importancia y aportación a estudios posteriores en cuanto a elementos radiactivos provenientes de la desintegración radiactiva del ^{226}Ra .

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al identificar los diferentes factores que influyen en la movilidad y fijación de elementos radiactivos en el medio biótico se puede determinar las concentraciones de radiactividad en determinadas áreas, además como se explicó anteriormente los niveles radiactivos pueden ser alterados ante la presencia de las actividades de origen antropogénico, como es el caso de la explotación minera, la cual se va a ejecutar en la provincia del Azuay, en el proyecto minero de Loma Larga, el cual una vez iniciado se predice que la producción de extracción de minerales como el oro se incremente paulatinamente y contribuya al crecimiento económico del país. Según estudios este proyecto dará inicio en el año 2018. (LatinoMinería, 2018)

Conforme aumente la producción se prevé noticias alentadoras para el sector minero, sin embargo es necesario tomar en cuenta los costos ambientales que surgirán tras esta actividad, ocasionados por elementos radioactivos que potencialmente acumulan este tipo de industrias.

Los radionucleidos generados por la industria minera y por los procesos de desintegración pueden lixiviarse a través del perfil del suelo, y a su vez con el paso del tiempo si no se toman las medidas oportunas llegar a acuíferos y contaminar el agua local, así como los recursos del suelo (vegetación), también puede tomar otras vías de exposición donde incluyen la dispersión de los elementos radiactivos a través del aire de tal forma contaminándolo y por ende bioacumulándose en la cadena alimenticia.

En cuanto a trabajos realizados de la presencia de ^{226}Ra en los diferentes componentes ambientales existe un número limitado de investigaciones. Por tal razón se mencionan destacadas investigaciones realizadas a nivel internacional con el fin de obtener un

sustento científico y técnico. Una investigación importante es “Línea De Base Ambiental De Agua Y Sedimento De Escorrentía Superficial Para La Quebrada Alipán, Sierra De Velasco, La Rioja” la cual se basa en el estudio de un proyecto minero en su etapa de exploración en donde se evalúa la calidad de agua mediante un estudio estratégico. El procedimiento para muestras de sedimentos consistió en identificar el comportamiento hidrológico de los arroyos, considerando el material de arrastre y de sus trazas de sedimentación. Estos son colocados en bolsas de polietileno adecuadas, donde fueron etiquetadas y transportadas al Laboratorio de Estudios Especiales del Departamento Prospección (GEMP, CNEA), ahí fueron secadas y tamizadas, para determinar la concentración total ^{226}Ra . Como resultado en este trabajo dio una concentración de ^{226}Ra por debajo del límite permisible (5 pCi/L) establecido para agua de bebida humana. (Nievas, y otros, 2013)

De la misma manera la investigación presentada por Joshi et al., 1983, acerca de “Estudios Sobre Las Actividades ^{226}Ra Y ^{210}Pb Y Los Factores De Concentración De ^{226}Ra En Las Capas Orgánicas Superficiales De Los Sedimentos Estuarinos De Los Ríos Mindola Y Purna En India”, los análisis demuestran que en su mayor parte están contaminados por elementos radioactivos de ^{226}Ra , superando los límites promedios establecidos según la UNSCEAR, lo cual presenta un gran problema ya que en el trayecto del río se encuentran toda clase de organismos como peces, los mismos que pueden ser consumidos por humanos y presentar graves problemas de salud y en el ambientes. (Joshi, Zingde, & Desai, 1983)

Osores, Martínez, & Yap, 2015, en su trabajo “Determinación de la línea base ambiental y evaluación de radiactividad en el desierto de Sechura, Perú” Este estudio evalúa los niveles de radiactividad ambiental de la región a través de mediciones y actividades de radionucleidos en la superficie del suelo y la vegetación, a la vez resultados indican que

la región tiene un nivel de radiación con alta variabilidad, pero dentro de los límites naturales y no muestra riesgo significativo para el medio ambiente y el público.

La medición de las concentraciones de ^{226}Ra y ^{222}Rn en los diferentes componentes ambientales (suelo, sedimentos, vegetación y rocas) es de suma importancia ya que al cuantificar la concentración de radiactividad significa dar el primer paso para realizar un diagnóstico de los posibles riesgos radiológicos en la salud humana y esto permitirá desarrollar una normativa que se aplique al momento de ponerse en contacto o manejo dentro de la industria minera.

Es de suma importancia tener conocimiento de la gravedad que presenta estos radionucleidos, además de realizar estudios que sirvan como referencia previo al inicio de la actividad minera y para que posteriormente se realicen estudios similares de modo que permita determinar la concentración de ^{226}Ra que surge como resultado de las actividades mineras en la fase operativa de la mina.

De la misma manera ayuda a determinar si la expansión operativa de las minas a estas nuevas concesiones o no habrá agregado o elevado los niveles de NORM dentro y alrededor del área de estudio en una operación futura y la operación posterior de la instalación.

1.2 DELIMITACIÓN

1.2.1 Geográfica: El estudio se llevó a cabo en la provincia del Azuay a 30 km al sudoeste de la ciudad de Cuenca en el área de Quimsacochoa.

1.2.2 Temporal: se llevaron a cabo dos muestreos en la concesión minera Loma Larga, una vez procesados y siguiendo la metodología explicita se dejan a exponer un tiempo de 60 días ante los detectores LR-115 tipo II, según la técnica de Lata “*Can Technique*”.

1.2.3 Sectorial: Esta investigación va dirigida a todo público en general de instituciones públicas o privadas que deseen indagar sobre el tema, ya que vivimos en un país minero, y muchas de las veces no se sabe las consecuencias al generar esta actividad ya que mediante investigaciones es una de las principales fuentes antropogénicas en generar radionúclidos, y debido a la falta de información puede ocasionar la contaminación al ecosistema.

1.3 EXPLICACIÓN DEL PROBLEMA

SEMARNAT & ASEA (2015), ratifican que un estudio de línea base ambiental es de gran importancia, ya que permite conocer, la situación actual del área de estudio y su zona de influencia, a través de la caracterización de los elementos presentes en el ambiente, y obtener resultados que sirvan como punto de partida, para poder predecir impactos tanto positivos y negativos (contaminación de suelo y otros componentes ambientales) antes de ejecutarse cualquier proyecto de transformación del ambiente, como por ejemplo, la extracción de minerales.

Siendo el principal problema la contaminación de los componentes ambientales, debido a las diferentes actividades de origen antropogénico a realizarse en una zona en particular, es lo que lleva a realizar este estudio, donde se permitirá conocer los niveles de concentración de ^{226}Ra presentes, en suelo, sedimentos, rocas y vegetación de la concesión mineral Loma Larga.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Analizar la concentración de Ra-226 en el suelo y sedimentos del río Iruquis en el área colindante de la minera loma larga Azuay-Ecuador.

1.4.2 Objetivos Específicos

Cuantificar la concentración de radio-226 en las muestras de suelo.

Cuantificar la concentración de radio-226 en las muestras de sedimentos superficiales.

Cuantificar la concentración de radio-226 en las muestras de rocas.

Cuantificar la concentración radio-226 en las muestras de vegetación.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 RADIATIVIDAD

La radiactividad no es más que una reacción nuclear de descomposición espontánea, esto quiere decir que un nucleído inestable se descompone en otro más estable, en términos breves la radiactividad consiste en la emisión de radiación a partir de núcleos inestables. La radiación emitida se produce ya sea en forma de partículas subatómicas (como partículas alfa, beta) o también en forma de energía (como rayos gamma). (Santos & Pérez, 2012)

2.1.1 Historia de la Radiactividad

En el año de 1895, el físico Roëntgen, mientras experimentaba con rayos catódicos, descubrió el primer tipo de radiación artificial que ha utilizado el ser humano, siendo este los rayos X. Este se trata de ondas electromagnéticas originadas por el choque de electrones con un determinado material, en el interior de un tubo de vacío.

Un año después tres tipos de radiación (alfa, beta y gamma) fueron descubiertas por el físico francés Henri Becquerel en 1868, mientras realizaba estudios acerca de la fluorescencia del sulfato doble de uranio y potasio.

Pocos años después, la joven Marie Curie y su esposo Pierre descubrieron que el uranio tenía la capacidad de emitir espontáneamente una misteriosa radiación, es por eso que gracias a este hallazgo se pudo determinar que existen diferentes elementos con la capacidad de emitir radiaciones sin ser excitados previamente, y este fenómeno es lo que se conoce hoy en día como radiactividad.

El fenómeno descubierto inicialmente por Becquerel dio lugar a múltiples investigaciones futuras, entre ellas una de las contribuciones más importantes fue la realizada por el matrimonio francés de Pierre y Marie Curie, quienes estudiaron varias sustancias hasta que finalmente encontraron que el torio, polonio y radio contenían propiedades radiactivas, gracias a este descubrimiento se dio inicio al uso de elementos radiactivos en el campo de la medicina. (WordPress, 2012)

2.1.2 Tipos de Radiación Ionizante

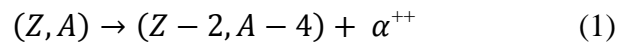
Como se explicó anteriormente en cuanto al concepto de radiactividad al desintegrarse los núcleos inestables o radiactivos, estos emiten radiaciones, que son de distintos tipos.

Las radiaciones más importantes son:

Radiación alfa: en cuanto a su poder de penetración, las partículas con esta radiación es limitada, ya que se puede detener con una hoja de papel, incluso con la misma piel. (Cano, 2006)

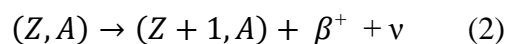
Es importante recalcar que un núcleo radiactivo alfa se compone de partículas alfa, la misma contiene dos protones y dos neutrones, donde si el núcleo de la partícula alfa pierde consecutivamente un par de neutrones y protones inmediatamente se genera un

cambio en el núcleo del elemento y a su vez da origen a otro elemento con un número atómico con dos unidades menores.

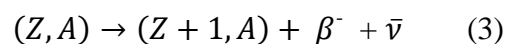


Radiación beta: este tipo de radiación se encuentra formada por partículas de masa similar a las de los electrones, dando como resultado un mayor poder de penetración. Pese a esto, la radiación beta se detiene en algunos metros de aire o unos centímetros de agua, y es puede ser detenida por una lámina de aluminio, cristal de una ventana, prenda de ropa o por el tejido subcutáneo. Sin embargo, puede dañar la piel desnuda, resultando peligroso en caso de que ingresaran en el cuerpo partículas emisoras de beta, las cuales irradiarían los tejidos internos. Se distinguen dos tipos de decaimiento beta, las cuales se expresan a continuación:

Decaimiento beta positivo. Este proceso consiste en un núcleo que, buscando un estado más estable, convierte un protón en un neutrón, y genera a su vez una partícula β positiva (positrón) y un neutrino.

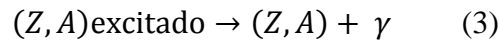


Decaimiento beta negativo: Este proceso consiste en un núcleo que, buscando un estado más estable, convierte un neutrón en un protón, y genera a su vez una partícula β negativa (electrón) y un antineutrino.



Radiación gamma: Corresponde a un tipo de radiación electromagnética, constituida por fotones. El núcleo no modifica el número atómico ni el número de neutrones, solamente disminuye su energía. (Castillo, 2016)

Este tipo de rayos (γ) tienen su origen en el núcleo excitado, consecuentemente al emitir una partícula ya sea alfa o beta, el núcleo se encuentra con un exceso de energía, el cual es desechado en forma de ondas electromagnéticas de frecuencia elevada.



2.1.3 Ley Fundamental de la Desintegración Radiactiva

La posibilidad de que un núcleo proporcionado se desintegre a la unidad de tiempo es una constante independiente del instante de vida considerado, así como independiente de la edad del núcleo. La constante se denomina *constante de desintegración* la misma que viene representada por λ . Dicho esto, entonces $P(dt) = \lambda dt$. De esta manera, se tiene la cantidad de átomos que se desintegran (N) en un intervalo de tiempo:

$$dN = -\lambda N(t) dt$$

$$N(t) = N(0) e^{-\lambda t}$$

2.1.3.1 Ley de Decaimiento Radiactivo

Ernest Rutherford y Frederick Soddy expresaron en 1902 que la emisión de partículas radiactivas de cualquier sustancia radiactiva decae de manera exponencial en un tiempo transcurrido.

Se denomina decaimiento radiactivo al proceso en el cual un núcleo inestable se convierte en uno más estable, de manera que cada núcleo puede emitir un fotón (rayos gamma) al mismo tiempo que libera energía durante el proceso dando lugar al decaimiento. Es por ello que gracias a la ley de decaimiento radiactivo se puede determinar el tiempo de desintegración de un nucleído ya sea este de manera rápida o lenta que puede tomar millones de años en desintegrarse. (Pacheco & Avedaño, 2011)

La constante de proporcionalidad λ es conocida como constante de desintegración radiactiva, posee dimensiones de tiempo inverso, se expresa en las siguientes unidades

s^{-1} , min^{-1} , h^{-1} , entre otras. En cambio el periodo de desintegración $t_{1/2}$ es el tiempo en el cual el número inicial de núcleos se reduce a la mitad. Con esto se deduce que cada sustancia radiactiva posee un periodo de desintegración particular, en otras palabras el periodo de desintegración es la vida de un radioisótopo τ , que no es más que la inversa de la constante de desintegración: (Dolores & Ruiz, 2009)

$$\tau = 1/\lambda \text{ de donde } t_{1/2} = 0,693 \tau$$

2.1.3.2 Periodo De Semidesintegración

En física nuclear y radioquímica se define periodo de semidesintegración o también llamado constante de semidesintegración al tiempo en que demora en transformarse la mitad de los átomos radiactivos de una muestra inicial de un radioisótopo, es decir, es el tiempo empleado para que el número inicial de átomos (N_0) pasen a convertirse en $N_0/2$. Transcurrido ese tiempo se forman átomos diferentes, de acuerdo con los iniciales. (Lawson, 1999)

Dada la forma exponencial de desintegración, la muestra de átomos radiactivos iniciales puede tardar un largo periodo hasta convertirse en inactiva. Es importante saber que no se pueden acelerar los procesos de desintegración, por tal razón se considera uno de los principales peligros de la radiactividad.

El periodo de semidesintegración no debe ser confundido con vida media la cual se representa con τ (Pacachoff, 1997). A continuación se detalla la notación empleada para calcular el periodo de desintegración de una muestra radiactiva:

$t_{1/2} \rightarrow$ Período de semidesintegración

$N(t) \rightarrow$ Número de núcleos de la muestra en un instante de tiempo (t)

$N_0 \rightarrow$ Número inicial de núcleos de la muestra

λ → Contante de desintegración

Es así como, en el instante en que el número de núcleos se ha reducido a la mitad es

$t_{1/2}$:

$$N(T_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$$

Seguido de esto se sustituye en la fórmula de decaimiento exponencial:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$\ln \frac{1}{2} = -\ln 2 = \ln e^{-\lambda T_{1/2}} = -\lambda T_{1/2}$$

Es así como la relación entre el periodo de desintegración de la muestra de un radioisótopo y su constante de desintegración es la siguiente fórmula:

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

Y por lo tanto su vida media es:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

2.1.3.3 Actividad

Se entiende por actividad (A) o rapidez de desintegración de una muestra de carácter radiactivo al número de núcleos que desaparecen por unidad de tiempo.

$N = N_0 e^{-\lambda t}$ #de radionúclidos en la muestra

$$A \text{ (Actividad)} = \frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

Si la constante radiactiva (λ) es mayor al igual que el número de núcleos presentes, también lo será la actividad o rapidez de desintegración. (Bulbulian, 2001)

La actividad de una sustancia radiactiva depende en todo momento de la cantidad de la muestra, y sus unidades de medida son el Curie, Rutherford y el Bequerelio, donde:

- 1 Bequerel (Bq) \rightarrow corresponde a una desintegración/segundo
- 1 Curie (Ci) \rightarrow corresponde a un gramo de radio y genera $3.7 \cdot 10^{10}$ Bq.
- 1 Rutherford (Rd) \rightarrow corresponde a 10^6 Bq.

2.1.4 Equilibrio Secular

El equilibrio secular, llamado también equilibrio radiactivo, se alcanza cuando la relación de las actividades de los nucleídos de una cadena de desintegración es equivalente a la unidad. Para que esto ocurra es necesario que el periodo de semidesintegración del padre sea mucho mayor que el nucleído progenie.

Varios de los nucleídos radiactivos resisten sucesivas transformaciones en que el nucleído padre genera un nucleído progenie también radiactivo. Si la vida media del padre es mayor que la del núcleo progenie ($\lambda_1 < \lambda_2$), entonces después de cierto periodo se va a producir una suerte de equilibrio en que la razón entre la actividad del hijo y la del padre llegará a ser constante $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$. En cambio en el segundo caso, sucede lo contrario, ($\lambda_1 > \lambda_2$). (Rodríguez, 2013)

El decaimiento (tasa o razón de decaimiento) del hijo está entonces gobernado por la vida media o decaimiento (o tasa de desintegración) del padre.

El equilibrio secular para el ^{226}Ra y ^{222}Rn se logra aproximadamente al cabo de 30 días, esto sucede debido al decaimiento (λ) del elemento ^{226}Ra ($1,36 \times 10^{-11} \text{s}^{-1}$) $\ll \lambda$ ^{222}Rn ($2,1 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$).

2.1.5 Detección de Radiaciones Ionizantes

Las radiaciones ionizantes, por su origen y alto poder energético que poseen, tienen la capacidad de adentrarse en la materia, arrancar los átomos que la constituyen y generar la ionización.

Es por esto, que se define a la radiación como ionizante, cuando al momento de interactuar con la materia, genera la ionización de la misma, esto quiere decir, que origina partículas con carga eléctrica (iones) (CC.OO., 2006).

2.1.5.1 Interacción de la Radiación con la Materia

Al hablar de reacciones nucleares se refiere a todo tipo de interacción con los núcleos atómicos. Un tema que engloba la parte de reacciones nucleares es aquella interacción que se genera por los fotones y partículas, esto también se conoce como radiación, es decir cuando los mismos inciden sobre la materia e interactúan con los núcleos atómicos, a este fenómeno se le conoce como interacción de la radiación con la materia

En lo que hace referencia a la interacción de la radiación con un material en particular, depende fundamentalmente de su carga eléctrica y masa, a partir de esto es necesario distinguir entre lo siguiente:

1. Partículas sin carga y sin masa (dentro de este grupo están fotones, es decir, aquellos de radiación gamma y rayos X)
2. Partículas cargadas – ligeras (radiación beta, es decir, electrones y positrones)
3. Partículas cargadas – pesadas (radiación alfa)
4. Partículas con masa y sin carga (neutrones)

Las radiaciones consideradas de más interés o índole, son aquellas constituidas por neutrones y fotones, seguidas por las partículas cargadas (electrones, protones, partículas alfas, entre otras). La principal diferencia entre los dos grupos mencionados es muy sustancial, ya que cabe recalcar en primer lugar que los mecanismos de

interacción son completamente diferentes. Sin embargo como se dijo las radiaciones de neutrones y fotones debido a la gran variedad de interacciones que generan, y por su capacidad de penetración en la materia son consideradas de mayor interés. (UNSCEAR, 2008)

2.1.5.2 Interacción de las Partículas Cargadas Pesadas con la Materia

La interacción de partículas cargadas con la materia, sucede a través de colisiones, ya sean estas elásticas o inelásticas, con núcleos atómicos, con electrones orbitales o a su vez con cargas libres. (ATSDR, 1999)

Se dice que la colisión es elástica cuando la partícula choca con los átomos del medio, provocando una desviación de su trayectoria y cede una cierta cantidad de energía en forma de energía cinética. Aquí no se produce alteración atómica, ni nuclear del medio.

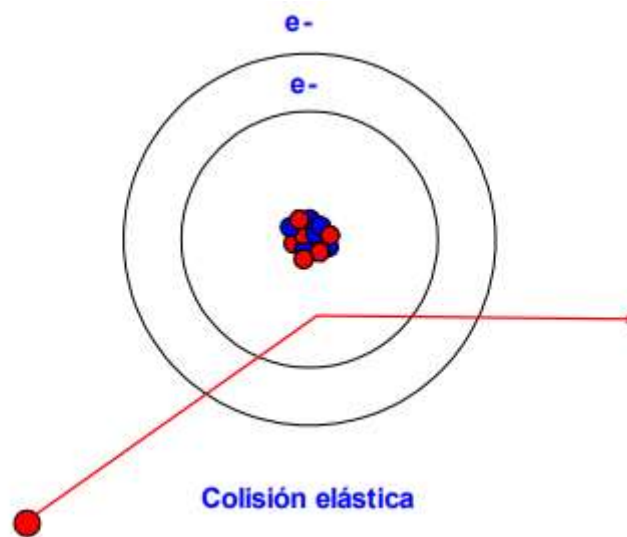


Ilustración 1 Colisión Elástica

Fuente: (CSN, 2009)

En cambio la interacción es inelástica cuando la energía no se conserva, cuando a partir de la misma se transforma en otro tipo de energía. Es importante mencionar que la energía transferida puede ocasionar que el electrón atómico salga de la atracción del

núcleo generando la ionización del átomo, o en otro caso que el electrón atómico pase a un estado menos ligado produciendo la excitación del átomo.

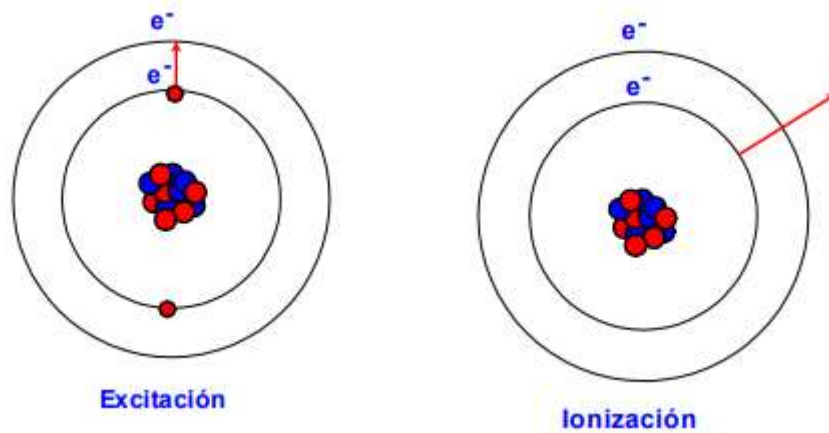


Ilustración 2 Colisión Inelástica

Fuente: (CSN, 2009)

De manera general las partículas cargadas interactúan con la materia a través de una de las cuatro alternativas, mostradas a continuación:

1. Colisión elástica con electrones atómicos.
2. Colisión elástica con núcleos.
3. Colisión inelástica con electrones atómicos.
4. Colisión inelástica con núcleos.

2.1.5.3 Detección por Trazas en Sólidos (DTS)

Como se sabe la formación de la traza en el material se debe a los distintos fenómenos físicos. Entre los distintos métodos de detección de radiación ionizante, se encuentra el método denominado “Detección por Trazas en Sólidos (DTS)”, se caracteriza por su simplicidad y también por no requerir grandes recursos tecnológicos para su utilización.

Este método se basa en tres pasos:

2.1.5.3.1 Exposición a la radiación ionizante

Este tipo de detector es sensible a las partículas alfa, iones pesados y fragmentos de fisión, lo que no sucede con las partículas beta, radiación gamma y rayos X. Cabe recalcar que la sensibilidad de estos detectores depende de muchos factores ambientales, como: humedad, presión, temperatura, entre otros. Estos detectan, como se mencionó partículas alfa dentro de una ventana y si las partículas inciden con un ángulo mayor que el crítico.

Es así como el primer paso consiste en exponer el material detector a la radiación ionizante, de esta manera mediante la exposición se genera gran cantidad de trazas nucleares en el material, el mismo que permanece latente por mucho tiempo, esperando a ser descubiertos hasta que se revele mediante un proceso químico. (Espinosa, Gamboa, & Golarri, 1987)

El detector LR-115 de tipo II, es considerado como uno de los detectores de trazas nucleares más comunes para la medición de radón, y torón, estos consisten en una película roja no desprendible de nitrato de celulosa (90%), de 12 micras de espesor, colocado sobre una base de poliéster de 100 micras. La parte sensible de estos detectores da lugar a que ocurran los procesos fisicoquímicos, donde es posible la detección de partículas cargadas masivas, como las partículas alfa (Barrillon, 2005)

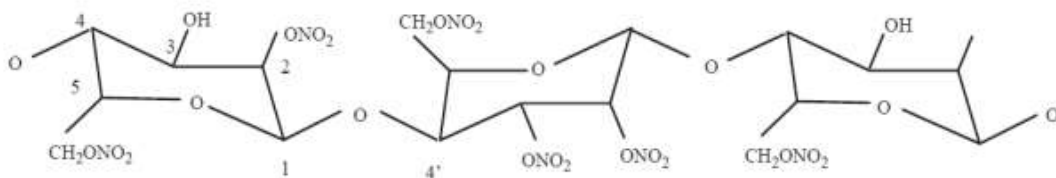


Ilustración 3 Estructura química del nitrato de celulosa

Fuente: (Barrillon, 2005)

2.1.5.3.2 Revelado por proceso químico (grabado químico)

Seguido de la exposición del material a la radiación ionizante, se procede a realizar un revelado químico, este consiste en el desgaste superficial, en las zonas donde incidió la radiación ionizante, así se consigue formar un cono, o como también lo llaman traza grabada. Los parámetros a considerar para realizar el revelado son: características del material, solución química a usarse, temperatura y tiempo a la que permanecerá la solución, todo esto en conjunto recibe el nombre de grabado químico.

La tasa de revelado a lo largo de la traza, depende fundamentalmente de la pérdida de energía de la partícula que produjo la traza, su masa y su carga, en conjunto con las condiciones o características del revelado. A continuación se visualizan perfiles de trazas reveladas, cuando la partícula incide ya sea en forma perpendicular u oblicua:

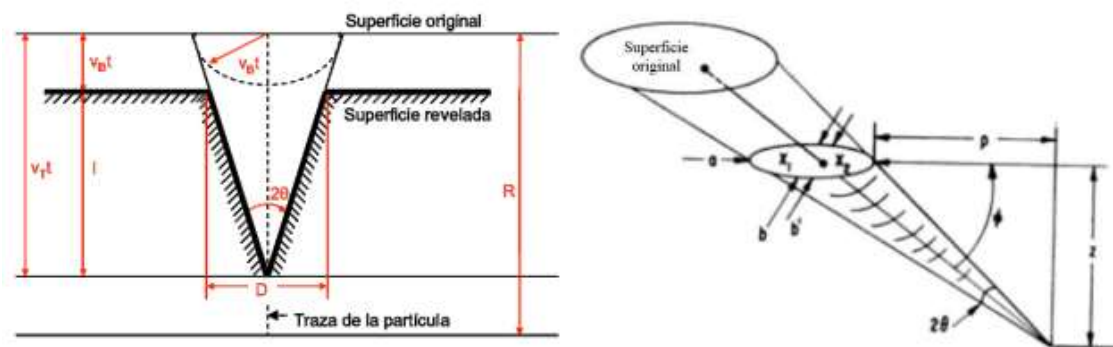


Ilustración 4 Perfiles de trazas reveladas (izquierda: incidencia normal) - (derecha: incidencia oblicua)

Fuente: (Fleischer, 1975)

2.1.5.3.3 Lectura de trazas nucleares

Esto se realiza generalmente por medio de un microscopio óptico, que será leída entre 10 y 100 μm . Mediante esto se obtendrá un número de trazas grabadas por unidad de área, que a su vez da una relación del número de partículas incidentes y el tamaño del diámetro de la traza, captado en la superficie del material, es decir gracias a esto nos permite obtener y cuantificar posteriormente la energía de la partícula. (Raya, 1985)

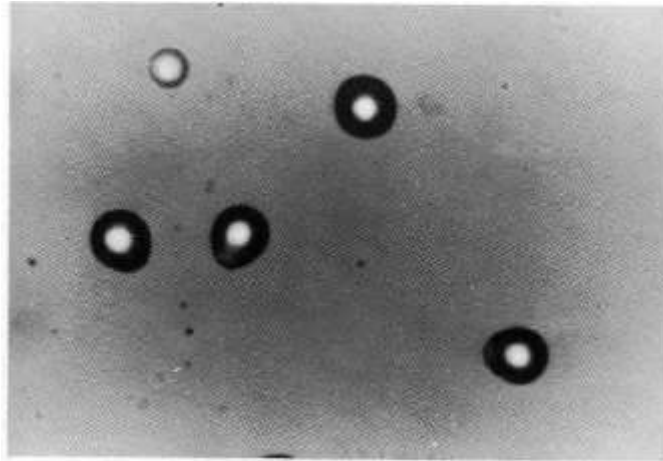


Ilustración 5 Trazas nucleares

Fuente: (Castillo, Gamboa, Espinoza, Somogyl, & Tapia, 1984)

2.1.5.4 Unidades de Radiactividad

El nivel de radiación de una sustancia se cuantifica por el número de desintegraciones por unidad de tiempo, esto puede ser expresado de dos maneras ya sea a través del Curie (Ci) el cual se define como la actividad correspondiente a un gramo de Radio, la cual es igual a 3.7×10^{10} desintegraciones por segundo, o en el SI cuya unidad es el becquerel (Bq) el mismo que cuantifica una desintegración por segundo. (GreenPeace, 2005)

2.1.8 Fuentes Radiactivas

2.1.8.1 Radiactividad natural de origen natural (NORM)

La radiactividad en la tierra ha estado presente desde su origen, hace aproximadamente 4543 millones de años. No es posible detectarla a simple vista, razón por cual ha sido objeto de estudio para detectarla, medirla y por ende controlarla.

La mayoría de personas que no están familiarizadas con el fenómeno de la radiactividad creen que la mayor exposición a ella es debido a la actividad de las centrales nucleares o a los accidentes ocurridos, a lo largo de la historia moderna, en estas centrales, como por ejemplo, las más recientes las de Chernobyl y Fukushima, entre otras, sin embargo múltiples estudios han corroborado que un 87% de dosis recibida por radiaciones ionizantes proviene de fuentes naturales. Gracias a estos estudios es posible afirmar que

la radiactividad está presente en todo momento como en nuestros hogares, los alimentos que consumimos, el aire que nos rodea, incluso el agua, los mismos que al ser ingeridos o inhalados son asimilados en los tejidos vivos. La tierra de por si es considerada radiactiva, esta radiación proviene generalmente de rocas superficiales y suelo, la cual está constituida principalmente de basalto y granito. (López & Luis, 2004)

A pesar de todas las fuentes naturales expuestas anteriormente, se dice que la principal fuente radiactiva de origen natural es la que proviene del sol y las estrellas, debido a que la Tierra recibe constantemente rayos cósmicos los cuales están constituidos principalmente por protones, partículas alfa o beta así como partículas neutras, tales como fotones gama, neutrinos, todos ellos con muy alta energía (OIEA, 2009).

Estas partículas al ingresar en la capa superior de la atmosfera colisionan con los núcleos de los átomos que forman el aire, y debido a estas interacciones se generan núcleos radiactivos o partículas secundarias.

2.1.8.2 Radiactividad Antropogénica

La contaminación antropogénica por lo general surge como consecuencia de un mal desarrollo tecnológico y científico, y debido a esto la humanidad ha pagado las consecuencias de estas malas acciones.

El hombre ha sido el actor principal un generar un sinnúmero de radionucleidos artificiales debido a las diferentes actividades que realiza.

La contaminación antropogénica causada por la actividad humana tiene diversos orígenes como:

La medicina la cual a pesar de sus avances científicos, es una de las principales fuentes en generar desechos radiactivos por ejemplo en la radioterapia, o la medicina nuclear, entre otros.

Los reactores nucleares los mismos a pesar de tener varias ventajas, también son los causantes de accidentes, generados a su vez por errores del ser humano, aquí el problema principal son los residuos radiactivos generados ya que son difícil de eliminar convirtiéndose en persistentes y peligrosos.

También se encuentran las diferentes industrias como la dedicada a la minería ya que debido a la acumulación de residuos provoca impactos ambientales negativos, es decir el problema de los residuos radiactivos van a presentar una alta concentración de radionucleídos producto del decaimiento del U y Th, alta tasa de emisión gamma, altos niveles de exhalación de radón y probabilidad de contaminar el entorno freático de la región.

2.2 RADIONUCLEIDOS

Un radionucleido es considerado un nucleído inestable que se desintegra espontáneamente emitiendo radiaciones alfa, beta, gamma o de neutrones, estos se caracterizan por tener una vida media finita, que pueden ir desde pequeñas fracciones de tiempo (segundos) a miles de años.

2.2.1 Radón

2.2.1.1 Historia

Ramsay y Gray en el año de 1908 se ingeniaron en la construcción de una balanza la cual permitió determinar la masa atómica de la emanación de un gas procedente del radio, en ese entonces fue denominada como *Nitón*, este fue uno de los gases con más peso en relación a los otros encontrados, con un valor de 222 y debido a este aporte fue que se integró al conjunto de los elementos químicos. No fue hasta el año de 1923 que fue conocido mundialmente como *radón*. (Galán, 2003)

2.2.1.2 Generalidades

El radón (^{222}Rn) es considerado el isótopo más abundante, cuya procedencia surge a partir del decaimiento radiactivo del ^{226}Ra , que a su vez la cadena de decaimiento

comienza a partir de la desintegración del ^{238}U , hasta llegar al ^{226}Ra , el cual una vez formado decae hasta ^{222}Rn . Como se sabe el radio y el uranio se encuentran de forma natural en suelos y rocas.

El gas radón tiene un periodo de desintegración de 3,82 días, como se expuso anteriormente emana de manera natural de rocas y suelo, así mismo se concentra en espacios cerrados como tal son los casos de minas subterráneas o casas los cuales aportan en gran proporción a la dosis de radiación ionizante absorbida por el ser humano.

Al igual que el resto de gases nobles el radón en estado líquido o gaseoso es incoloro, inodoro e insípido, al condensarse en forma sólida toma un intenso color rojo-anaranjado esto sucede a temperaturas bajas. Así mismo la reactividad química es muy baja en condiciones normales. (Gupta, 2011)

2.2.1.3 Afeciones a la Salud

En el momento que se inhala gas ^{222}Rn , las partículas alfa son inmensamente ionizantes las cuales son emitidas por los productos de desintegración del ^{222}Rn y son depositados en el tracto respiratorio a la vez estas interactúan con los tejidos biológicos pulmonares pudiendo provocar daños en el ADN.

Estudios toxicológicos afirman que al exponerse a una dosis alta de radón se corre el riesgo de sufrir congestiones pulmonares, parálisis en extremidades posteriores esto en el caso de animales, además de hiperactividad a nivel pulmonar, dermis y glándulas suprarrenales (ICPR, 1987).

2.2.1.4 Importancia de su Medición

Al encontrar de manera natural el radón en el suelo este es de gran utilidad en el campo de la geología ya que sirve como precursor de eventos de gran magnitud como sismos, erupciones volcánicas, identificar fallas geológicas, así como también es utilizado en la

geotermia en el estudio de zonas hidrotermales que se pueden explotar, y en el campo de la hidrogeología en el área de agua subterránea y superficial. El radón al ser utilizado en el campo de ciencias de la Tierra sirve como factor para determinar sistemas de circulación y ventilación en minas y cuevas.

2.2.2 Radio

2.2.2.1 Historia

El radio tiene la característica de ser un metal alcalinotérreo, el mismo pertenece al grupo IIA en la tabla periódica con el número atómico 88. Este elemento posee más de 20 isótopos en la actualidad, absolutamente todos ellos son radiactivos, cabe recalcar que dos de los isótopos del radio estos ^{226}Ra y ^{228}Ra tienen más importancia en el campo de la radiología debido a que su tiempo de vida en el ambiente son relativamente largas con dosis altas.

El radio fue descubierto por Marie y su esposo Pierre Currie en 1898, en ese entonces este elemento no era considerado un peligro para los seres humanos, no fue hasta 1950 que identificaron que el mismo era el precursor de la contaminación del ambiente, causado por la minería y molienda de uranio en los EEUU, de la misma manera futuras investigaciones realizadas en Europa coincidieron que diferentes industrias fueron catalogadas como fuentes importantes de contaminación ambiental debido a la liberación de radio.

El radio en aguas superficiales es demasiado baja para que se exceda el producto de solubilidad del sulfato de radio o cualquier otro compuesto de radio.

Es por eso que, la adsorción y la coprecipitación (con bario y calcio) desempeñan el papel más importante en la formación de depósitos que contienen radio. Años más tarde en 1990 se publicaron en los Informes Técnicos del OIEA el “Comportamiento

ambiental del radio" donde explica propiedades del radio, el comportamiento en el medio ambiente y los métodos de detección. (IEA, 2010)

2.2.2.2 Generalidades

El radio es caracterizado por tener un color blanco inmaculado, pero se oscurece al ser expuesto al aire esto se debe a la rápida oxidación del metal con el oxígeno. El radio como se mencionó anteriormente es un metal alcalinotérreo que se halla a nivel de trazas en minas de uranio. Es considerado extremadamente radiactivo, incluso un millón de veces más que el uranio. El ^{226}Ra es considerado su isótopo más estable, el cual, tiene un periodo de semidesintegración de 1.602 años y se transmuta dando radón.

El radio produce diferentes tipos de radiaciones estas pueden ser alfa, beta y gamma, además los preparados del radio se destacan ya que se mantienen a temperaturas más altas que su entorno, una de sus mezclas es con berilio la cual es capaz de dar paso a la formación de neutrones.

2.2.2.3 Afecciones en la Salud

En la naturaleza se encuentra el radio de manera natural, pero en cantidades pequeñas, sin embargo el propio ser humano es el responsable en elevar los niveles de concentración del radio, ocasionando una serie de problemas en la salud de las personas. Al elevarse los niveles de este elemento en el suelo, las plantas y animales, los asimilan y de esta manera al ingerir los seres humanos estos alimentos provenientes de la madre tierra ingresan al organismo donde aproximadamente el 80% de este elemento se elimina por las excretas mientras que el 20% se distribuye en el torrente sanguíneo, cabe recalcar que el radio sigue un proceso metabólico similar al del calcio ya que donde se concentra finalmente en el esqueleto óseo llegando en ocasiones a producir cáncer óseo, además repercute en otras enfermedades como anemia, cataratas, descalcificación en los dientes, entre otras.

Un caso importante registrado es el de Martland (1931) en el cual hizo referencia el caso de 18 pintores de radio dial, los mismos quienes estuvieron expuestos a altas dosis de radio y a su vez ingerían elevadas cantidades de radio, que les llevó a un cruel destino que es la muerte, los pintores padecieron cáncer entre las edades comprendidas de 20 a 54 años, las diferentes causas de muerte fueron anemia, necrosis de la mandíbula y sarcoma osteogénico.

2.3 GEOQUIMICA DEL RADIO

2.3.1 Radiactividad en el Ambiente

Los efectos ambientales de elementos radiactivos no fueron considerados de gran importancia hasta después de la segunda guerra mundial. Con el paso de los años estudios realizados en el medio acuático y terrestre, el radio (elemento generado de manera constante debido al decaimiento radiactivo del uranio y torio) no era más que un radionucleido de ocurrencia natural con impactos insignificantes. Sin embargo no fue hasta los años 50, cuando se dio una relevancia significativa al impacto que los residuos de algunas actividades antropogénicas, como la minería, causaban al ambiente, en particular al agua y los suelos.

Debido a todos los problemas diagnosticados con el paso del tiempo muchos los estudios que se han llevado a cabo en lo que a remediación y cuidado ambiental se refiere, destacando en los últimos años los siguientes:

“Estudio de línea de Base Radiológico Ambiental en las zonas Uraníferas de Macusani y Corani en Puno” (Gonzáles, y otros, 2008).

“Estudio de línea de Base Radiológico Ambiental en el área de influencia del Proyecto Bayovar: Radioactividad beta global en el suelo superficial” (Osores & Jara, 2008).

“Estudio de alternativas de métodos de remoción de ^{226}Ra de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicos” (Jiménez, 2013).

“Estudio de línea base radiológica ambiental en el área de influencia de un laboratorio de pruebas de lixiviación de uranio en Juliaca, Puno” (Osores, Gonzáles, Martínez, López, & Jara, 2008). También en el año 2009 el IPEN ha desarrollado los estudios “Tratamiento de Líquidos Lixiviados conteniendo Uranio” y “Monitoreo de Radón en la Zona Uranífera de Macusani”.

Todos estos estudios concluyen que el ^{226}Ra procedente de los relaves y desmontes, alrededor de los centros de procesamiento de los minerales, pudieran llegar a los ríos o lixiviarse a través del perfil del suelo a niveles peligrosos. El ^{226}Ra tiene un papel esencial en todos los estudios ambientales sobre minería, siendo el suelo su principal fuente.

2.3.1.1 Radio en suelos

El suelo está compuesto por una gran cantidad de rocas y minerales, los cuales emiten radiación constante y a la vez pueden ocasionar daños irreparables al ambiente si no se toman las medidas oportunas.

Iyengar, 1990 expresa que las propiedades del suelo así como la concentración de radionucleidos de origen natural presentes en el mismo dependen en gran parte de las propiedades de la roca madre. Las rocas debido a los diversos factores ambientales se ven afectadas, cabe recalcar que las mismas influyen en la formación y cambios constantes del suelo.

Entre las diferentes características que tiene un suelo para mayor movilidad de los radionucleidos están:

- Contextura del suelo, aquí está incluido el pH, concentración de iones inorgánicos, de sustancias orgánicas y potencial de oxidación reducción
- Propiedades físico-químicas del suelo, es decir la clase de suelo con sus debidas características, óxidos, materia orgánica, carga de partículas.
- Especies encontrados entre ellos microorganismos y hongos.

- Temperatura.

El radio (Ra) presente en el suelo se comporta de un modo similar a los elementos de la tabla periódica del Grupo 2 (metales alcalinotérreos), como el Ca, Sr y Ba. Así mismo los procesos de intercambio iónico son de gran importancia en cuanto a la migración de Ra en la corteza terrestre, sin embargo dependiendo de los diferentes tipos de suelo así como de las características de intercambio iónico influyen de manera significativa en la distribución de Radio en el estrato. Según datos de la UNSCEAR informa que el nivel de concentración promedio de ^{226}Ra en el mundo en el suelo es de 35 Bq/kg, sin embargo dependiendo de la zona, existen áreas en el mundo que superan el rango normal en cuanto a la variación de radionucleidos, así como también del tipo de actividades que se realicen en determinadas regiones.

Con el paso del tiempo y debido al crecimiento tecnológico e industrial se ha depositado en el suelo elementos radiactivos artificiales provenientes de centrales nucleares, así como por la explotación de minerales (oro, plata cobre), de aquí surge la importancia de cuantificar el contenido radiactivo de elementos presentes en el suelo previo a las actividades a realizar en las diferentes áreas ya que mediante esta caracterización determina la concentración de las cadenas radiactivas naturales que se encuentran presentes en el suelo de todo el mundo.

La mayoría de radionucleidos que se encuentran en el suelo están en forma catiónica, y a la vez un combinados con un bajo pH, al igual que un bajo contenido de arcillas y baja capacidad de intercambio catiónico la movilidad de los radionucleidos en el estrato es mayor y a su vez proporcionan gran cantidad a las plantas. (Yastrebov, 1973)

2.3.1.2 Radio en rocas

La corteza terrestre está formada por una variedad de rocas entre las cuales están las pertenecientes a los grupos ígneos, sedimentarios, metamórficos.

Las rocas ígneas surgen tras el enfriamiento y solidificación del magma localizado en el interior de la tierra, las mismas contienen trazas de radiactividad dentro de partículas cristalinas, sin embargo existen otro tipo de rocas como son las que se forman por acumulación de sedimentos o más conocidas como rocas sedimentarias que albergan en su interior minerales de U y Th dando lugar a depósitos importantes de minerales radiactivos. (Arabi AM, 2007).

La concentración de radionucleidos en rocas ígneas es superior en comparación con las rocas sedimentarias, con excepción de las lutitas, sedimentos de aguas profundas y rocas de fosfato, es importante mencionar que las concentraciones de elementos radiactivos de las rocas metamórficas tienen concentraciones similares de las rocas de las cuales se derivaron.

Las rocas ígneas con alto contenido de sílice tienen concentraciones más altas de U en comparación con las rocas ígneas con bajo contenido de sílice, un ejemplo son las rocas basálticas.

La variación de concentración de ^{226}Ra en diversos tipos de rocas se observa en la siguiente tabla:

Tabla 1 Concentraciones en varias rocas

Fuente (Krishnaswami & Cochran, 1978)

Grupo de Roca	Tipo de Roca	Concentración Promedio de ^{226}Ra (Bq/kg)
Magmatita	Rocas Volcánicas	48 – 137
	Base de lava	33
	Granito	0.037 - 185
	Basalto	11 - 48
Rocas magmáticas	Ácido	111
	Intermedio	96
	Base	11 - 48

Rocas sedimentarias	Esquistos	14.8 - 2220
	Pizarra de bituminosa	629 - 1040
	Rocas sedimentarias	9.2 - 15
	Limosas	5 - 18
	Arenisca	7 - 55
	Rocas de fosfato	148 - 1480
	Carbonato	26 - 30
	Rocas de arcilla	55

Como se puede observar en la tabla anterior la concentración de ^{226}Ra es mayor en esquistos, pizarra bituminosa, y también en rocas de origen volcánico y fosfatadas, seguidas de granitos, rocas arcillosas y areniscas, y finalmente en menor concentración están las rocas sedimentarias, cal y carbonato. (Richardson, 1964)

Al determinar elementos radiactivos presentes en la corteza terrestre es posible cuantificar la concentración y niveles de radiación presentes en el suelo para futuras investigaciones, a la vez informar y dar a conocer el daño que es causado al ambiente.

2.3.1.3 Radio en plantas

Existen dos vías principales por las cuales los isótopos de radio se transfieren a las plantas, éstas son por: la absorción a través de las raíces por el suelo, y la absorción foliar que consiste en la intercepción de los radionucleidos por las superficies externas de las plantas.

Según (Simon & Ibrahim, 1987) expresa que la materia orgánica adsorbe diez veces más Ra que la arcilla, sin embargo otros factores como por ejemplo el aumento de Ca, pH y alto contenido de sulfato en el suelo bajan las concentraciones de ^{226}Ra en las plantas. (Taskayev, Testov, & Popova, 1984)

Estudios corroboran que las concentraciones más altas se observan en musgos, líquenes, y hongos, seguidos de árboles, arbustos, pajonal, pastos, y finalmente de cereales y

hortalizas. Muchas especies de hongos se caracterizan por tener la capacidad de asimilación de radionucleidos y metales pesados a diferencia de las plantas leñosas, especialmente de ^{137}Cs , sin embargo datos sobre las concentraciones de Ra en hongos es muy escaso en la actualidad.

Así mismo se ha demostrado que el Ra en las plantas con niveles más bajos son generalmente para climas templados por ejemplo Saskatchewan, Canadá, en cambio zonas industriales secas las concentraciones son de tres a cinco veces más altas. (IAEA, 2010)

2.3.1.4 Radio en aguas

En el agua se encuentran elementos radiactivos naturales que contienen radionucleidos provenientes de rocas y minerales presentes en la corteza terrestre, los cuales se transfirieron al medio acuático por los ciclos hidrológicos. Otro elemento de origen natural presente en el agua son los que se producen por las interacciones de los átomos en la atmósfera con los rayos cósmicos, es decir los elementos contienen radionucleidos cosmogénicos. (US EPA, 2007)

Las actividades humanas contribuyen a la dispersión de NORM en las aguas superficiales, una de ellas es la minería, que dependiendo de la composición geoquímica del yacimiento libera radionucleidos al cuerpo del agua y sus alrededores. En esta actividad mucha de las veces se lleva a cabo un proceso llamado hidrofracking que consiste en la mezcla de arena con productos químicos para fracturar formaciones rocosas y liberar el gas natural, esto se realiza en las primeras fases del proceso de explotación minera. (Urbina, 2011)

Uno de los elementos radiactivos como el radio en el agua surge de fuentes naturales o artificiales, a través de la entrada de aguas subterráneas, resuspensión de sedimentos, así como la precipitación y deposición de partículas debido a las corrientes de aire

Para medios acuáticos como lagos, o para agua de río la concentración de ^{226}Ra está dentro de un rango (0.5 – 20 mBq/L) (Vandenhove, Verrezen, & Landa, 2010).

2.4 INCORPORACIÓN DE RADIONUCLEIDOS EN EL AMBIENTE

2.4.1 Incorporación de radionucleidos en el medio terrestre

Cualquier contaminante que ingrese en el suelo ya sea en un medio poroso saturado, homogéneo e isótropo, está gobernado bajo la ecuación de conservación de masa, es decir bajo el estudio de los mecanismos que gobiernan el transporte de radionucleidos. Sin embargo los diversos mecanismos de transporte se ven afectados por distintos procesos entre los cuales están cambios físico-químicos del suelo, reacciones geoquímicas, biológicas y por ende el decaimiento radiactivo como sucede con los radionucleidos.

2.4.1.1 Movilidad del radio en el medio terrestre

La movilidad del radio en el medio edáfico se realiza de diferentes maneras sobre todo dependiendo de los parámetros físicos y químicos del estrato ya que una vez capturados en el suelo se transfiere al tejido vegetal asimilándolo como nutriente a través de sus raíces.

Uno de los medios de transporte es por dispersión mecánica en el medio poroso, aquí el radio se transporta pasivamente debido al movimiento del propio fluido a la velocidad media del flujo, que a la vez depende de la conectividad de la red de poros del medio.

Otro caso sucede cuando el flujo de agua presente en el medio poroso ocasiona el movimiento lento del contaminante, este efecto se puede comparar al del flujo hídrico, el mismo recibe el nombre de transporte por dispersión hidrodinámica.

Por último se encuentra la difusión en medios porosos insaturados, esto ocurre ante la presencia nula de flujo de agua, es decir en medio insaturados, aquí como la velocidad

de infiltración de agua es nula y a la vez no se ve afectado por la dispersión mecánica explicado anteriormente el transporte de radio se hace con mayor velocidad.

Es por eso que el medio edáfico es de suma importancia considerar los parámetros físicos como la distribución y tamaño de poros y a su vez el contenido de agua más conocido como el nivel de saturación, como se observa en la siguiente figura:

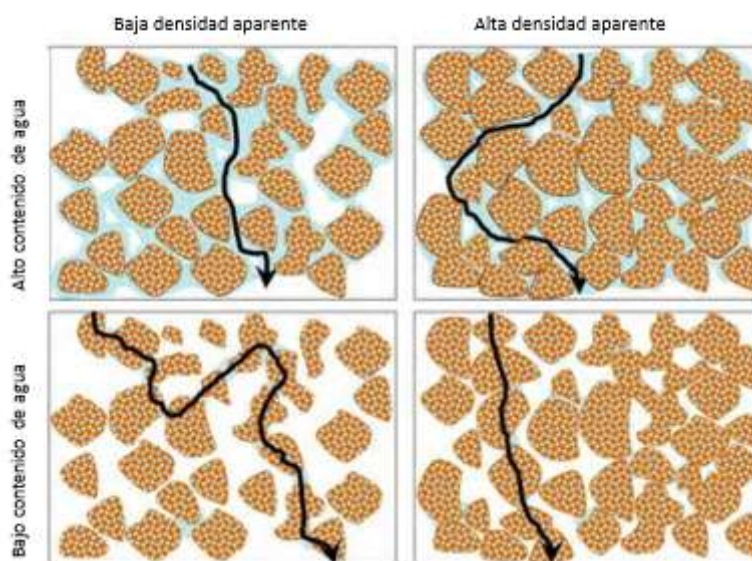


Ilustración 6 Esquema de parámetros físico-químicos del medio edáfico (contenido de humedad y densidad) que intervienen para la movilidad del radio

Fuente: (Rakesh & Singh, 2009)

2.4.2 Incorporación de radionucleidos en el medio acuático

Para analizar el comportamiento de radionucleidos en los ecosistemas acuáticos es necesario de estudios cuantitativos con el fin de determinar fenómenos hidráulicos, geoquímicos, sedimentología, ecología y naturaleza artificial antropogénica.

Al momento de hablar de procesos hidrológicos, un fenómeno relevante es el transporte de sustancias tóxicas en el agua, por otro lado los procesos geoquímicos influyen en la interacción de los radionucleidos disueltos con el material suspendido en el agua y los sedimentos.

Existen diversos procesos físicos que influyen en la transferencia de radionucleidos en aguas, estos son: (Calmon, Fesenko, Voigt, & Linsley, 2009)

- Transporte: ocasionado por la corriente de agua, aquí se toma en cuenta la variación escalar en un punto dado, debido a un vectorial.
- Difusión y dispersión: causado por gradientes de concentración y turbulencia en el agua.
- Deposición y removilización de radionucleidos: siguen una dirección que consiste en la interacción del material suspendido en el agua y los sedimentos.
- Intercambio de contaminantes: entre fases disueltas y sólidos.

2.4.2.1 Movilidad de radio en el medio acuático

El Uranio (U) es considerado un oligoelemento de gran abundancia en el medio acuático. El Torio (Th) al ser desintegrado a partir del Uranio se deposita de manera rápida y se adhiere a los sedimento de aguas profundas. Como se sabe el ^{226}Ra se produce a partir del decaimiento del Th, es por eso que parte del ^{226}Ra desintegrado en su camino se mezcla con toda la columna de agua.

La entrada del Ra al medio acuático se debe a los procesos de bioturbación y la mezcla física que incrementa de tal manera la vida media del isótopo de interés. Existen dos fuentes por las cuales ingresa el Ra al agua, una de ellas como se explicó brevemente es la desintegración natural del Th en sedimentos de aguas profundas. Otra fuente de gran interés es a través de los procesos de lixiviación de agua subterránea que en su camino encuentran cuerpos de agua, enriqueciendo de tal forma al medio de ^{226}Ra .

Las concentraciones de ^{226}Ra es mayor en el océano, especialmente en el océano Pacífico norte, debido a que se produce una mezcla de agua de mar y agua subterránea fresca, en cambio las fuentes menores de ^{226}Ra son fluidos hidrotermales, ríos, entre otros. (Evans, Kip, & Moberg, 1938)

A pesar de la distribución de Radio en los diferentes cuerpos de agua es importante mencionar que debido al aumento de la fuerza iónica del agua y este en contacto con los sedimentos provoca la liberación de Ra en la solución, y el resto se retiene dentro de la red mineral. (Webster, Hancock, & Murray, 1995)

2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE ^{226}Ra

Al culminar el proceso de conteo de trazas en cada uno de los detectores expuestos a los diferentes componentes, se procede a calcular en primera instancia la densidad de las mismas, la cual está en función del número de trazas visualizadas entre el número total de campos de visión por el área de cada campo de visión, como se expresa a continuación:

$$\rho = \frac{\sum N_T}{n * Av} \left[\frac{\text{trazas}}{\text{cm}^2} \right]$$

Donde:

N_T = Número de trazas por campo de visión

n = Número total de campos de visión

Av = Área del campo de visión [cm^2]

Una vez calculada la densidad de trazas es posible calcular la exposición de radón integrado que se obtiene a partir del producto de la densidad de trazas por el tiempo de exposición expresado en horas, dividido entre el producto del tiempo de exposición expresado en días por el factor de calibración (0.03) .

$$C = \frac{p * t}{d * k} \left(\frac{\text{Bq} * h}{\text{m}^3} \right)$$

Donde:

P = Densidad de Trazas ($\text{trazas}/\text{cm}^2$)

T = Tiempo de exposición (días)

D = Días de exposición (horas)

K = factor de calibración
($\text{trazas}/\text{cm}^3$)/($\text{cm}^2 * \text{Bq} * \text{d}$)

Dado el valor de concentración de exposición del radón, se procede a calcular la tasa de exhalación de radón en términos de área (Abd-lmoniem, Sh, & Mohammed, 2014) y masa (Somogyi, Hafez, Hunyadi, & Toth, 1986) a partir de las siguientes ecuaciones:

$$E_A = \frac{C * V * \lambda}{A * T_{eff}} \left(\frac{Bq * h}{m^2} \right)$$

$$E_M = \frac{C * V * \lambda}{M * T_{eff}} \left(\frac{Bq * h}{kg} \right)$$

Donde:

E_A = Exhalación del radón por área.

E_M = Exhalación del radón por masa.

C = Concentración de exposición de radón.

V = Volumen entre el detector y la superficie de la muestra.

λ = Constante de decaimiento.

A = Área de superficie.

M = Masa.

T_{eff} = Tiempo efectivo.

El tiempo efectivo (T_{eff}) es relacionado con el tiempo de exposición real (d) y la constante de decaimiento (λ) para ^{222}Rn , este se calcula a partir de la siguiente formula (Elzain, 2015):

$$T_{eff} = d - \frac{1}{\lambda} * (1 - e^{-\lambda d})(días)$$

Para determinar la concentración de radón se toma en cuenta la densidad de trazas calculada anteriormente (p) dividida entre el producto del factor de calibración (k) por el tiempo de exposición del detector en días (d).

$$C_{Rn} = \frac{p}{k * d} \left(\frac{Bq}{m^3} \right)$$

Y por último se calcula la concentración efectiva de radio 226 presente en las muestras de los diferentes componentes (suelo, rocas, sedimentos y vegetación), a partir de la siguiente ecuación (Mohd, Hsakhir, & Deepak, 2011):

$$C_{Ra} = \frac{p}{k * T_{eff}} * \frac{h * A}{M} \left(\frac{Bq}{kg} \right)$$

Es de suma importancia conocer el error de medición, la misma es posible calcular a partir del número de trazas como lo expresa la siguiente ecuación:

$$Error = \sqrt{N_T}$$

Calculado el error de número de trazas y a partir del resultado obtenido, se puede calcular el error de densidad de trazas (Δp), y así consecutivamente para las demás operaciones como, error de exposición de radón integrado, error de exhalación de radón por área y masa, error de la concentración de radón y de radio, un ejemplo se visualiza en la siguiente ecuación:

$$\Delta p = \frac{\sqrt{N_T}}{n * A} \left[\frac{trazas}{cm^2} \right]$$

CAPITULO III

3 METODOLOGIA

3.1 ANÁLISIS DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1 Medio físico

3.1.1.1 Geología

El proyecto Loma Larga se halla conformado por las áreas mineras Cerro Casco y Río Falso, el mismo se encuentra en el terreno continental Chaucha, sobre este basamento se depositan productos volcánicos, tobas y lavas de composición andesita a riolíticas.

En el área de estudio lo que abarca la tesis, se han identificado rocas de origen volcánico y volcanoclásticas de composición andesita de color gris-oscuro no vesiculadas con textura fluidal, así mismo se han registrado cuerpo de rocas silíceas masivas calcedónicas, color beige sin presentar mineralización económica de Au, las

rocas silíceas se encuentran dentro del subconjunto de rocas sedimentarias, todo esto forma parte a su vez de la formación Quimsacocha y la misma sobre-yace a la formación Turi.



Ilustración 7 Roca sedimentaria triturada

Fuente: Autor



Ilustración 8 Roca ígnea triturada

Fuente: Autor

3.1.1.2 Suelo

En la concesión minera presenta suelo de origen volcánico, en cuanto a sus características físico químicas presenta baja densidad aparente, alta capacidad de intercambio catiónico, así como alto contenido de materia orgánica, con una gran cantidad de Nitrógeno disponible, cabe recalcar el pH conforme el avanza el horizonte del suelo, va descendiendo, es extremada a fuertemente ácido.

El suelo es de color negro, se ha catalogado al mismo un suelo de tipo franco-arcilloso y estructura masiva, tienen alto contenido de agua debido a que la zona cuenta con precipitaciones mayores 1000mm distribuida de forma uniforme durante todo el año y por ende con mayor contenido de humedad.



Ilustración 9 Suelo Franco-Arcilloso

Fuente: Autor

3.1.2 Medio biótico

3.1.2.1 Flora

El ecosistema se caracteriza por la dominancia de especies típicas como *Calamagostris intermedia*, seguida por *Azorella pendunculata*, las dos cubren un total del 90% del área estudiada, sin embargo cabe recalcar que estas especie se encuentran entremezcladas con otras especies del páramo herbáceo.



Ilustración 10 Flora de la concesión minera Loma Larga

Fuente: Autor

3.2 TOMA DE MUESTRAS EN LA CONCESIÓN MINERA LOMA LARGA

El muestro se llevó a cabo en la concesión minera “Loma Larga”, específicamente en el área “Río Falso”. El mismo se llevó a cabo en 3 puntos clave, estos son en la zona alta, adyacente y baja a la concesión minera, con el fin de determinar la concentración radiactiva en las diferentes zonas.

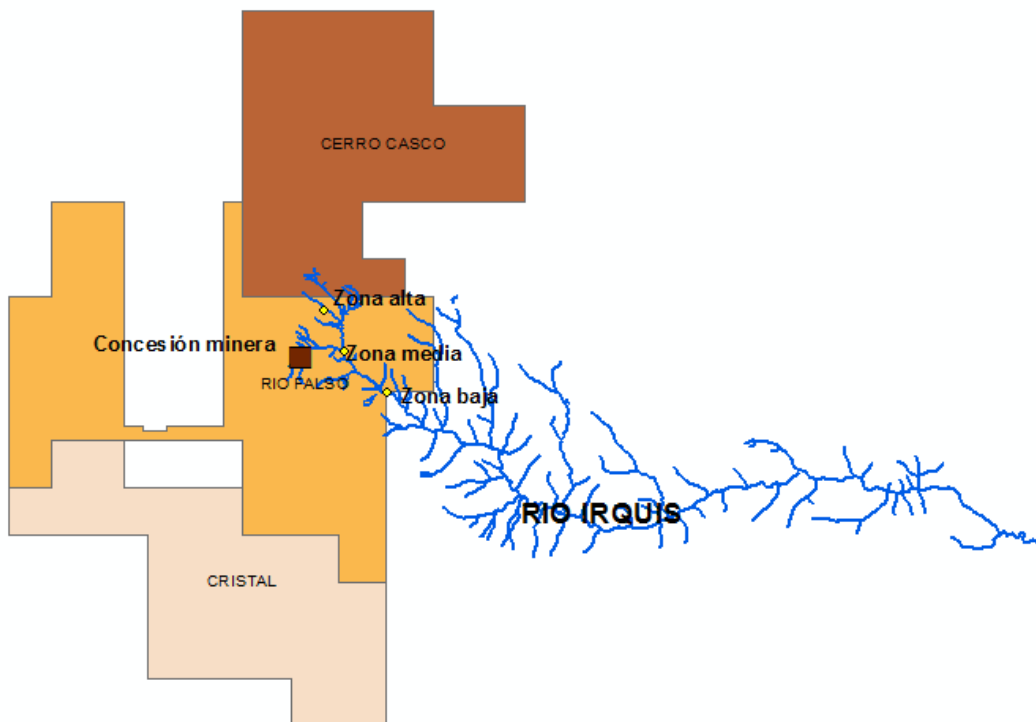


Ilustración 11 Concesión minera Loma Larga

Fuente: Autor

En cuanto al muestreo de suelo según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), dependiendo del uso de suelo se establece un protocolo, es decir por medio de este se establece la profundidad precisa a la que se debe realizar el muestreo. De acuerdo a los

diferente usos de suelo, para este trabajo se seleccionó la opción de uso de suelo comercial/industrial/Extractivo, el cual expresa que la muestra se toma a una profundidad de 0-10cm, por debajo de la capa orgánica, con el fin de evitar influencias meteorológicas en los análisis posteriores, de igual manera se recomienda un mínimo de tres muestras en cada excavación. (Becket, J.A, 1993).

De la misma manera se tomaron muestras de sedimento, vegetación y rocas, con la diferencia de que solo se tomó una muestra por cada punto.

Cabe recalcar que en un mes se recolectaron dos muestras de cada matriz, todos los puntos de muestreo mencionados anteriormente se visualizan en la siguiente ilustración.

En lo que hace referencia al transporte, las muestras se llevaron hasta el laboratorio completamente selladas para de evitar el contacto con el aire del ambiente. Así mismo se debe de llevar a la universidad en un tiempo no superior a 4 días, en caso de que se demore el traslado las muestras deben estar en refrigeración, a la temperatura más baja, pero por encima de 0°C con el fin de evitar la congelación ($4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) (Jobbagy, Altitzoglou, Malo, Tanner, & Hult, 2016).

3.3 PREPARACIÓN FÍSICA DE LAS MUESTRAS

3.3.1 Suelo

Para medir la actividad del Ra-226 en los suelos, se debe proceder de la siguiente manera:

1. Se toma unos 150-200 gramos de muestra de suelo de las tres zonas a muestrear, es decir zona alta, medio y baja. La muestra se toma a una profundidad de 5, 10 y 15cm, por debajo de la capa orgánica ya mencionada anteriormente.
2. Se coloca la muestra en una bolsa de polietileno.
3. Debido a la humedad que presenta en el laboratorio, se debe secar la muestra en una estufa a 110°C durante 12 horas.

4. Completamente secas las muestras se procede a triturar con materiales del laboratorio, con la finalidad de obtener una granulometría fina, esto se logró con el tamiz de una apertura de 106 micras.
5. Seguido se coloca en una balanza la muestra hasta obtener un total de 100gr, para luego colocar en los envases, todo esto basado en la técnica de lata, donde las muestras permanecerán durante un periodo de tres meses.

3.3.2 Rocas, Sedimentos y Vegetación

Para medir la actividad del Ra-226 en las rocas, se debe proceder de la siguiente manera:

1. Las muestras se toman en las zonas cercanas a la concesión minera, de la misma manera se establecieron tres puntos de muestreo.
2. Se identificó rocas que aproximadamente tenga un peso aproximado de 1kg. En el caso de sedimentos y vegetación recolectar las muestras hasta obtener un peso de 100gr.
3. En cada muestra se colocó membretes que indicaban el punto de muestreo.
4. Las muestras se llevan al laboratorio, donde se la colocan en una estufa a 110°C durante 12 horas.
5. Una vez deshidratadas las muestras se procede a triturarlas, en el caso de las rocas se lleva a la prensa localizada en el laboratorio de mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, con la finalidad de obtener una granulometría fina, esto se logró con el tamiz de una apertura de 106 micras.
6. Seguido se coloca en una balanza las muestras hasta obtener un total de 100gr, para luego colocar en los envases, todo esto basado en la técnica de lata, donde las muestras permanecerán durante un periodo de tres meses.

3.4 EXPOSICIÓN DE DETECTORES SÓLIDOS DE TRAZAS NUCLEARES (DSTN)

La metodología empleada se basa en la Técnica de Lata (*can technique*) utilizando detectores solidos de trazas nucleares, con medio activo de nitrato de celulosa, LR-115 tipo II, con la finalidad de medir la concentración de radio en muestras sólidas, en este caso las muestras suelo, rocas, sedimentos y vegetación. Las muestras (100gr) deshidratadas y pulverizadas se ubican en el fondo de los envases plásticos, con las dimensiones que se muestran a continuación:

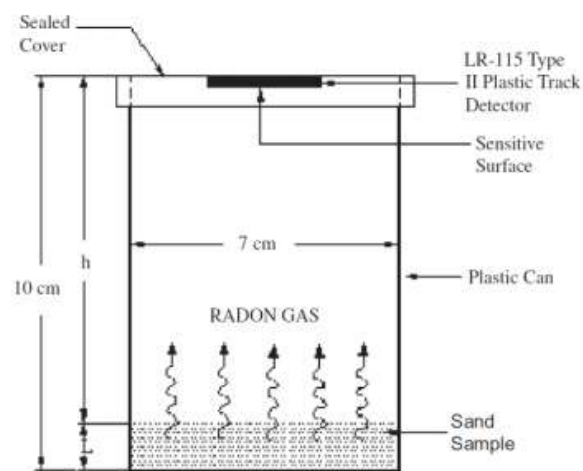


Ilustración 12 Geometría de envases

Fuente: (Mahur, Shakir Khan, Naqvi, Prasad, & Azam, 2008)

Es importante mencionar se mantuvieron completamente sellados por un tiempo de 90 días, así como también el imán colocado en la parte superior se retiró al cabo de 30 días con el objetivo de permitir la decadencia de la serie del ^{238}U y a la vez que este pueda alcanzar el equilibrio secular. (Montaña, y otros, 2011)

3.5 TRATAMIENTO QUÍMICO DE LOS DETECTORES SÓLIDOS DE TRAZAS NUCLEARES (DSTN)

Sumersión de detectores LR-115 en solución química: Se prepara el baño maría de tal manera que este alcance una temperatura de 60 °C. Mediante el uso de una

gradilla se procede a colocar tubos de ensayo con una solución de hidróxido de sodio 2.5 N en una cantidad de 10 ml por cada tubo de ensayo, con el fin de reducir el espesor del detector LR-115 en aproximadamente 5 μ m.

Se continuó el proceso con la verificación de la temperatura a 60°C, tanto dentro de los tubos de ensayo como fuera de ellos. Una vez alcanzada la temperatura óptima, se procedió a colocar los detectores dentro de los tubos de ensayo mediante la ayuda de un porta-detector (alambre de cobre).

Cuando se termina de colocar los detectores se deja transcurrir un lapso de tiempo de 90 minutos considerado un tiempo óptimo, según pruebas llevadas a cabo anteriormente expresan que el revelado comprende entre un tiempo de 75-100 minutos.



Ilustración 13 Detectores en solución química

Fuente: Autor

Lavado mediante agitación a detectores LR-115: una vez culminado el periodo de revelado, se procedió a retirar los detectores de la solución de hidróxido de sodio, y colocarlos en un vaso de precipitación con agua destilada y un agitador magnético a 4rpm \pm 1, por un tiempo de 20 minutos. Para finalizar este proceso se retiran los

detectores del vaso de precipitación y se colocan sobre un medio seco para su posterior conteo de trazas.

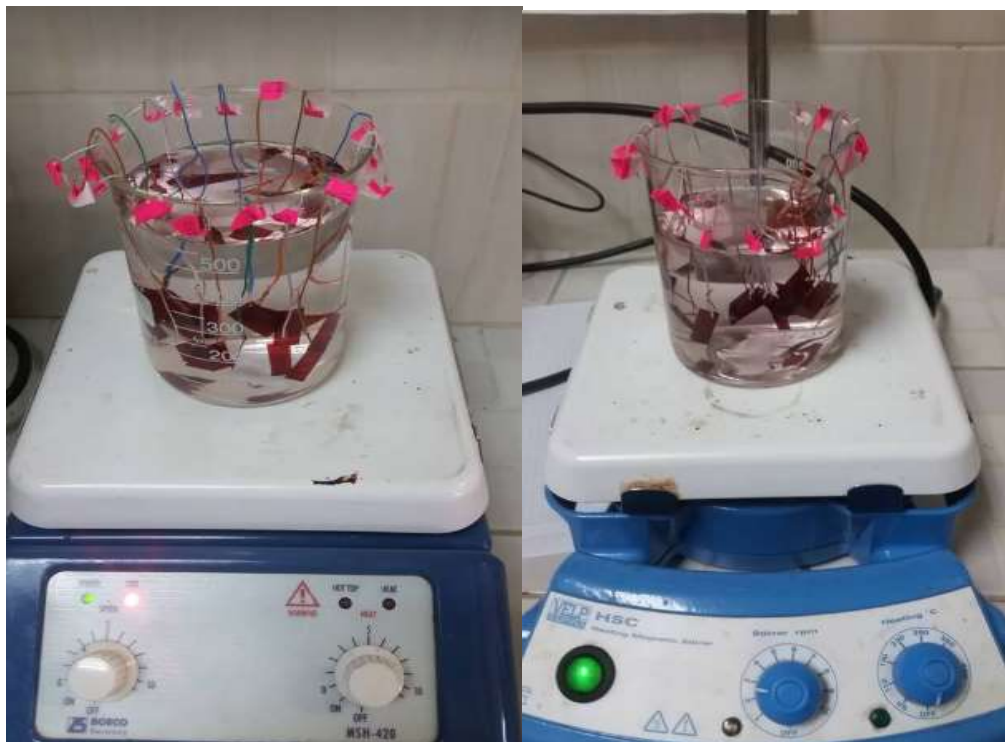


Ilustración 14 Enjuague detectores LR-115

Fuente: Autor

3.6 CONTEO DE TRAZAS NUCLEARES

Para poder realizar el análisis estadístico se procede al conteo de trazas en cada uno de los 36 detectores. Esto se llevó a cabo mediante el uso de un microscopio óptico “Micros Austria” con el objetivo de gran aumento (lente de 400X), el área de visión corresponde a $0,196 \text{ mm}^2$, y un total de 75 campos de visión en el detecto LR-115.

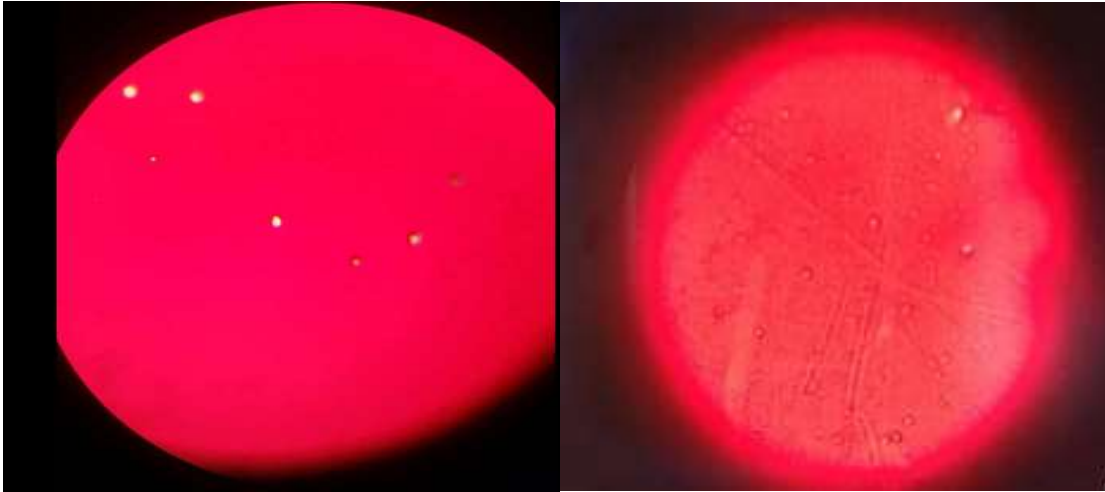


Ilustración 15 Trazas nucleares procedentes de las muestras

Fuente: Autor

CAPITULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CUANTIFICACIÓN DE CONTEO DE TRAZAS NUCLEARES EN DETECTORES

Se realizó en conteo de trazas de los detectores, tanto del primer y segundo muestreo como se muestra a continuación:

4.1.1 Primer muestreo

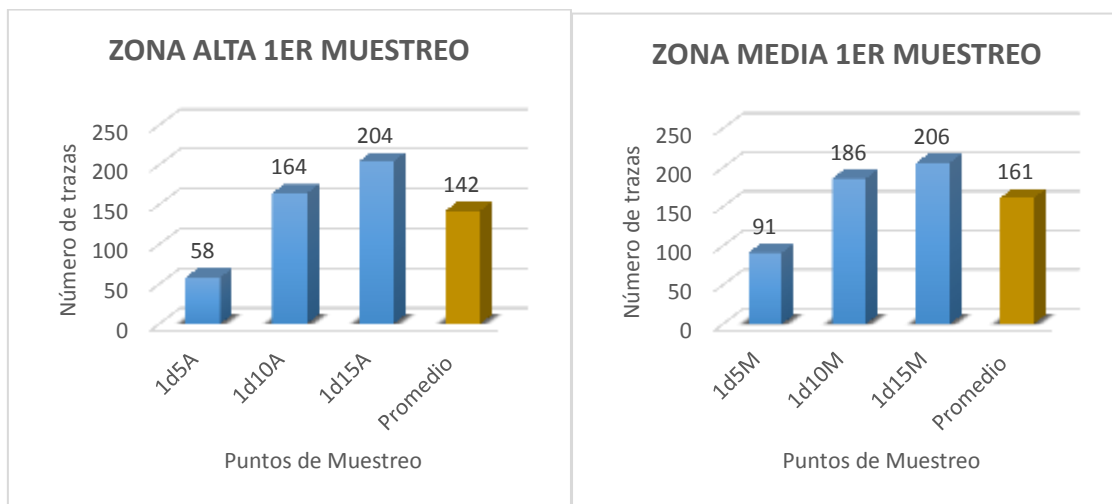
Tabla 2 Componentes con sus respectivos números de trazas

Fuente: Autor

	Punto Muestreo	Simbología	Numero de trazas	
SUELO	1d5A	1er muestreo 0-5cm zona alta	58	±8
	1d10A	1er muestreo 5-10cm zona alta	164	±13
	1d15A	1er muestreo 10-15cm zona alta	204	±14
	PROMEDIO		142	±12
	1d5M	1er muestreo 0-5cm zona media	91	±10
	1d10M	1er muestreo 5-10cm zona media	186	±14
	1d15M	1er muestreo 10-15cm zona media	206	±14
	PROMEDIO		161	±13
	1d5B	1er muestreo 0-5cm zona baja	156	±12

	1d10B	1er muestreo 5-10cm zona baja	190	±14
	1d15B	1er muestreo 10-15cm zona baja	226	±15
	PROMEDIO		191	±14
ROCAS	1RoA	1er muestreo de rocas zona alta	97	±10
	1RoM	1er muestreo de rocas zona media	101	±10
	1RoB	1er muestreo de rocas zona baja	91	±10
	PROMEDIO		96	±10
SEDIMENTOS	1SeA	1er muestreo sedimentos zona alta	112	±11
	1SeM	1er muestreo sedimentos zona media	128	±11
	1SeB	1er muestreo sedimentos zona baja	150	±12
	PROMEDIO		130	±11
VEGETACION	1VeA	1er muestreo vegetación zona alta	39	±6
	1VeM	1er muestreo vegetación zona media	52	±7
	1VeB	1er muestreo vegetación zona baja	71	±8
	PROMEDIO		54	±7

4.1.1.1 Número de trazas de los detectores expuestos al suelo



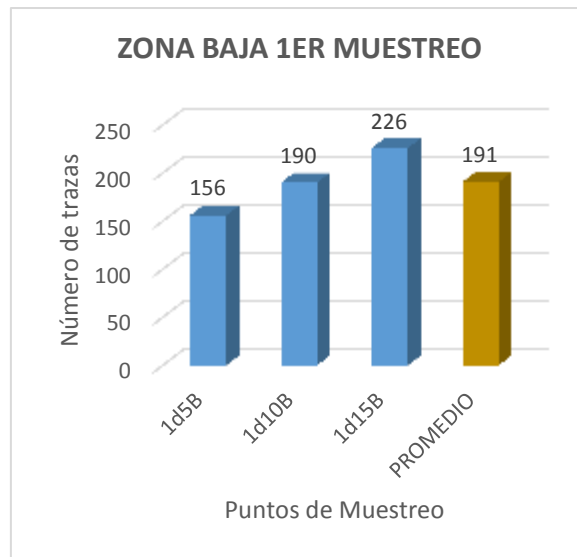


Gráfico 1 Número de trazas de detectores expuestos al suelo, en la zona alta, media y baja

Fuente: Autor

El número de trazas de los detectores expuestos al suelo en el primer muestreo, asciende conforme se extraen muestras en capas más profundas del estrato, de igual manera aumenta en las distintas zonas, es decir la cantidad de trazas de la zona alta es considerablemente menor en cuanto a la zona media y a la baja.

4.1.1.2 Número de trazas de los detectores expuestos a sedimentos

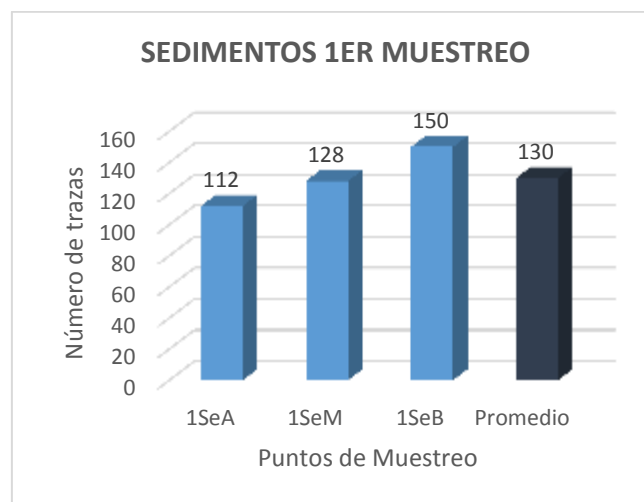


Gráfico 2 Número de trazas de detectores expuestos a sedimentos

Fuente: Autor

El número total de trazas de los detectores expuestos a los sedimentos en el primer muestreo, en la zona alta es menor en cuanto a la zona adyacente a la concesión minera, y a la vez esta es baja en comparación con la zona baja.

4.1.1.3 Número de trazas de los detectores expuestos a rocas

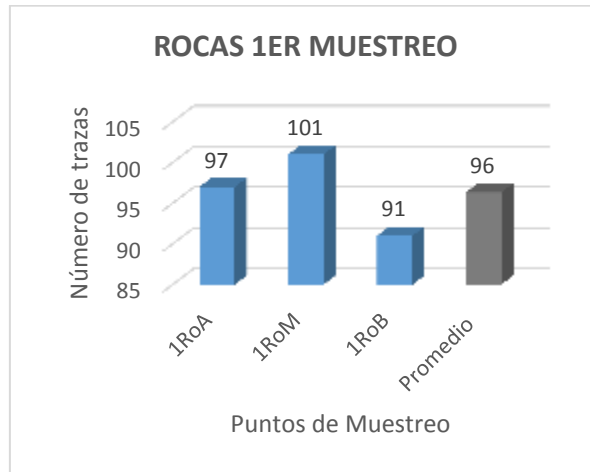


Gráfico 3 Número de trazas de detectores expuestos a rocas

Fuente: Autor

Debido a los tipos de rocas existentes en la zona como se mencionó con anterioridad la cantidad de trazas varían, en este caso en el primero muestreo se recolectaron rocas sedimentarias, dando como resultado en los detectores expuestos a las rocas, mayor cantidad de trazas de las rocas sedimentarias en la zona adyacente a la mina, seguido de la zona alta, y por último la zona baja.

4.1.1.4 Número de trazas de los detectores expuestos a la vegetación

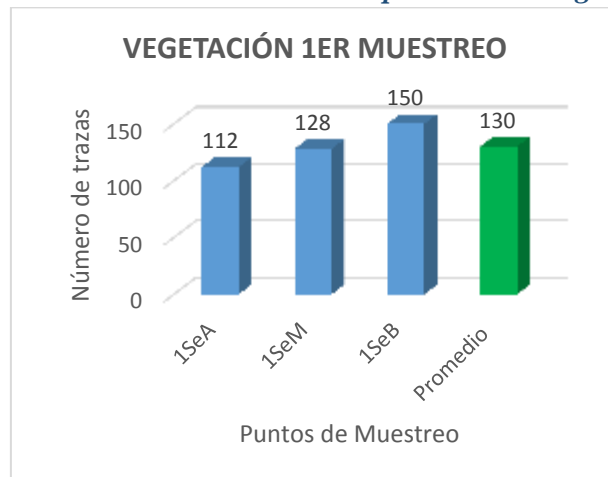


Gráfico 4 Número de trazas de detectores expuestos a la vegetación

Fuente: Autor

El comportamiento del número de trazas en los detectores expuestos a la vegetación, fue similar al de los detectores expuestos al suelo y los sedimentos, es decir en la zona alta, para todas las muestras, el número resultó ser menor, seguido por la zona media y la zona baja, siendo esta última la de mayor cantidad de trazas en los detectores.

4.1.2 SEGUNDO MUESTREO

Tabla 3 Componentes con sus respectivos números de trazas

Fuente: Autor

	Punto Muestreo	Simbología	Numero de trazas	
SUELO	2d5A	2do muestreo 0-5cm zona alta	91	±10
	2d10A	2do muestreo 5-10cm zona alta	109	±10
	2d15A	2do muestreo 10-15cm zona alta	131	±11
	PROMEDIO		110	±11
	2d5M	2do muestreo 0-5cm zona media	101	±10
	2d10M	2do muestreo 5-10cm zona media	111	±11
	2d15M	2do muestreo 10-15cm zona media	141	±12
	PROMEDIO		118	±11
	2d5B	2do muestreo 0-5cm zona baja	177	±13
	2d10B	2do muestreo 5-10cm zona baja	207	±14
2d15B	2do muestreo 10-15cm zona baja	268	±16	
ROCAS	PROMEDIO		217	±15
	2RoA	2do muestreo de rocas zona alta	220	±15
	2RoM	2do muestreo de rocas zona media	78	±9
	2RoB	2do muestreo de rocas zona baja	183	±14
SEDIMENTOS	PROMEDIO		160	±13
	2SeA	2do muestreo sedimentos zona alta	134	±12
	2SeM	2do muestreo sedimentos zona media	142	±12
	2SeB	1er muestreo sedimentos zona baja	211	±15
VEGETACION	PROMEDIO		162	±13
	2VeA	2do muestreo vegetación zona alta	47	±7
	2VeM	2do muestreo vegetación zona media	56	±7

	2VeB	2do muestreo vegetación zona baja	60	±8
	PROMEDIO		54	±7

4.1.2.1 Número de trazas de los detectores expuestos al suelo



Gráfico 5 Número de trazas de detectores expuestos a suelos en la zona alta, media y baja

Fuente: Autor

El número de trazas de los detectores expuestos al suelo en el segundo muestreo, asciende conforme se extraen muestras en capas más profundas del estrato, de igual manera aumenta en las distintas zonas, es decir la cantidad de trazas de la zona alta es considerablemente menor en cuanto a la zona media y a la baja.

4.1.2.2 Número de trazas de los detectores expuestos a sedimentos

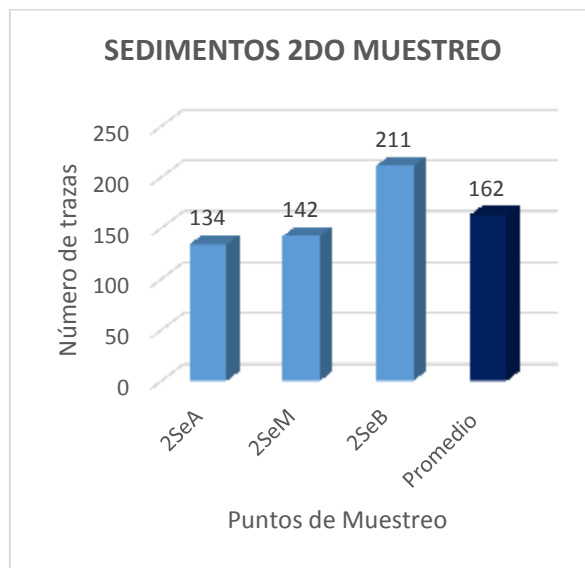


Gráfico 6 Número de trazas de detectores expuestos a sedimentos

Fuente: Autor

El número total de trazas de los detectores expuestos a los sedimentos en el segundo muestreo, en la zona alta es menor en cuanto a la zona adyacente a la concesión minera, y a la vez esta es baja en comparación con la zona baja.

4.1.2.3 Número de trazas de los detectores expuestos a rocas

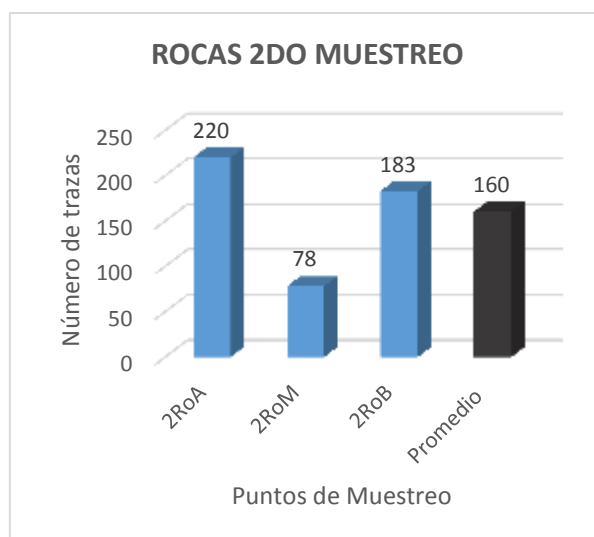


Gráfico 7 Número de trazas de detectores expuestos a rocas

Fuente: Autor

Debido a los tipos de rocas existentes en la zona como se mencionó con anterioridad la cantidad de trazas varían, en este caso en el segundo muestreo se recolectaron rocas ígneas y sedimentarias, dando como resultado en los detectores expuestos a las rocas, mayor cantidad de trazas en las rocas ígneas de la zona alta y baja, en cambio el tipo de roca recolectada en la zona media es sedimentaria y la cantidad de trazas por lo tanto es menor.

4.1.2.4 Número de trazas de los detectores expuestos a la vegetación

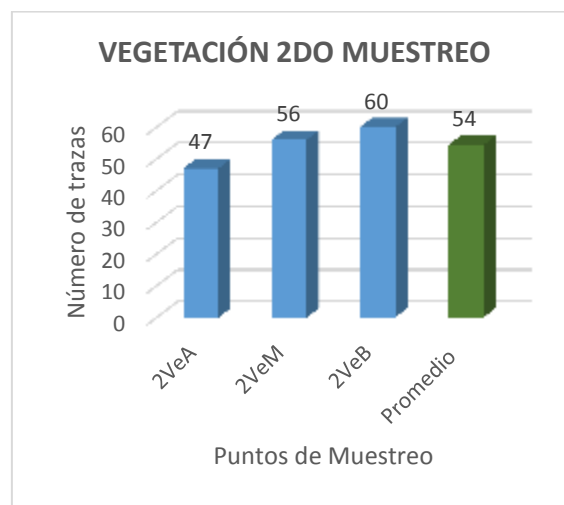


Gráfico 8 Número de trazas de detectores expuestos a la vegetación

Fuente: Autor

El comportamiento del número de trazas en los detectores expuestos a la vegetación, fue similar al de los detectores expuestos al suelo y los sedimentos, es decir en la zona alta, para todas las muestras, el número resultó ser menor, seguido por la zona media y la zona baja, siendo esta última la de mayor cantidad de trazas en los detectores.

4.2 CONCENTRACION DE RADIO 226

4.2.1 Concentración de radio primer muestreo

Tabla 4 Resultados obtenidos en el suelo

Fuente: Autor

	Punto de muestreo	Densidad de trazas (trazas/cm ²)		radón Integrado (Bq*h/m ³)		Exhalación de radón			Concentración de radón (Bq/m ³)		Concentración de radio-226 (Bq/kg)		
						Por área (Bq*h/m ²)	Por masa (Bq*h/Kg)						
SUELO	1d5A	394.56	±51.81	315646.26	±41446.38	0.51	±0.07	0.51	±0.0026	219.20	±28.78	2.59	±0.34
	1d10A	1115.65	±87.12	892517.01	±69693.87	1.43	±0.11	0.06	±0.0043	619.80	±48.40	7.33	±0.57
	1d15A	1387.76	±97.16	1110204.08	±77729.83	1.78	±0.12	0.07	±0.0048	770.98	±53.98	9.12	±0.64
	PROMEDIO	965.99	±81.06	772789.12	±64851.02	1.24	±0.10	0.21	±0.0040	536.66	±45.04	6.35	±0.53
	1d5M	619.05	±64.89	495238.10	±51915.06	0.79	±0.08	0.03	±0.0032	343.92	±36.05	4.07	±0.43
	1d10M	1265.31	±92.78	1012244.90	±74221.40	1.62	±0.12	0.06	±0.0046	702.95	±51.54	8.32	±0.61
	1d15M	1401.36	±97.64	1121088.44	±78109.93	1.80	±0.13	0.07	±0.0048	778.53	±54.24	9.21	±0.64
	PROMEDIO	1095.24	±86.32	876190.48	±69053.48	1.41	±0.11	0.05	±0.0043	608.47	±47.95	7.20	±0.57
	1d5B	1061.22	±84.97	848979.59	±67972.77	1.36	±0.11	0.05	±0.0042	589.57	±47.20	6.98	±0.56
	1d10B	1292.52	±93.77	1034013.61	±75015.23	1.66	±0.12	0.06	±0.0046	718.07	±52.09	8.50	±0.62
	1d15B	1537.41	±102.27	1229931.97	±81813.86	1.97	±0.13	0.08	±0.0050	854.12	±56.82	10.11	±0.67
	PROMEDIO	1297.05	±93.93	1037641.72	±75146.72	1.67	±0.12	0.06	±0.0046	720.58	±52.19	8.53	±0.62

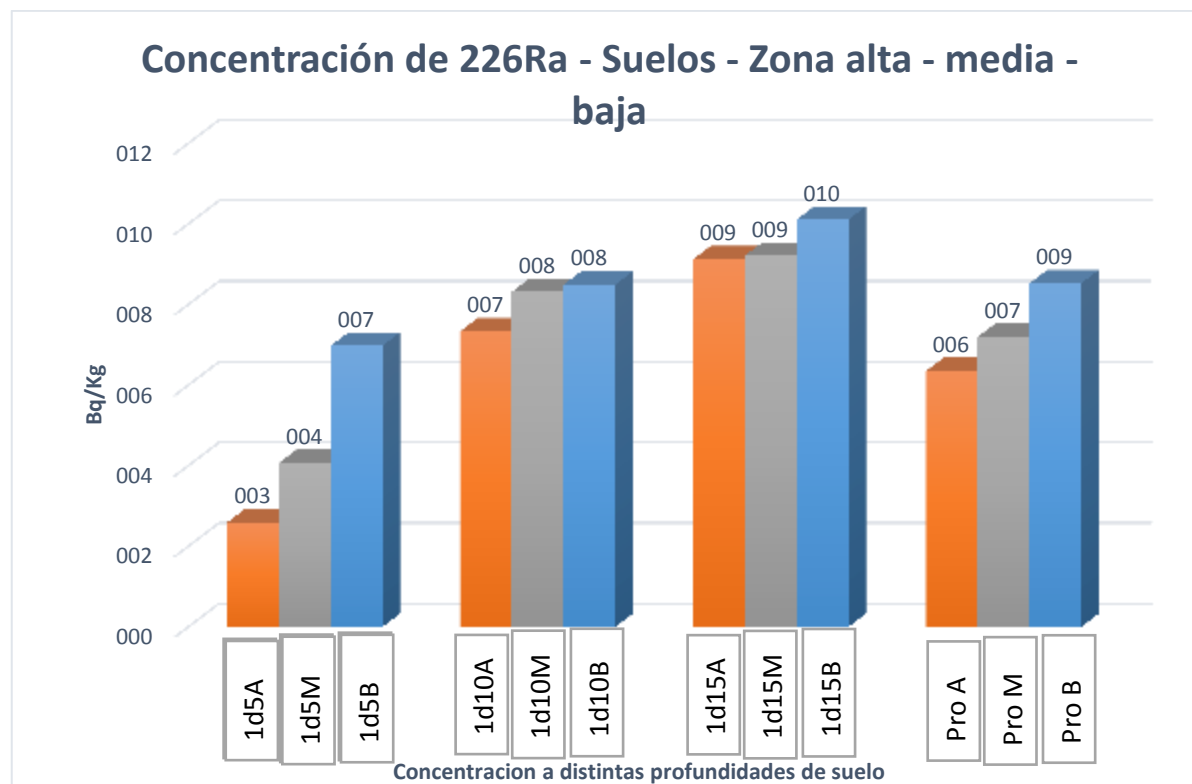


Gráfico 9 Concentración de ^{226}Ra

Fuente: Autor

La concentración de ^{226}Ra en suelos del primer muestreo se muestra en la tabla 5, adjunto se observa la concentración de ^{226}Ra en la gráfica 9, tanto de la zona alta (color naranja), media (color gris) y baja (color azul) a las profundidades de 0 a 5, de 5 a 10 y de 10 a 15cm. Como se puede

observar la mayor concentración de ^{226}Ra , es en la zona baja a la concesión minera Loma Larga a 0-5cm (9,12Bq/Kg), 5-10cm (9,21 Bq/Kg) y 10-15cm (10,11 Bq/Kg), también se observa los promedios de la zona alta, adyacente y baja de la concesión minera.

Tabla 5 Resultados obtenidos en las rocas

Fuente: Autor

	Punto Muestra	Densidad Trazas (trazas/cm ²)	radón Integrado (Bq*h/m ³)	Exhalación radón		Concentración de radón (Bq/m ³)	Concentración de radio-226 (Bq/kg)
				Área (Bq*h/m ²)	Masa (Bq*h/Kg)		
ROCAS	1RoA	659.86 ±67.00	527891.16 ±53599.23	1.20 ±0.12	0.0461 ±0.0047	366.59 ±37.22	6.14 ±0.44
	1RoM	687.07 ±68.37	549659.86 ±54693.20	1.25 ±0.12	0.0480 ±0.0048	381.71 ±37.98	6.40 ±0.45
	1RoB	619.05 ±64.89	495238.10 ±51915.06	1.13 ±0.12	0.0432 ±0.0045	343.92 ±36.05	5.76 ±0.43
	PROMEDIO	655.33 ±66.77	524263.04 ±53414.72	1.19 ±0.12	0.0458 ±0.0047	364.07 ±37.09	6.10 ±0.44

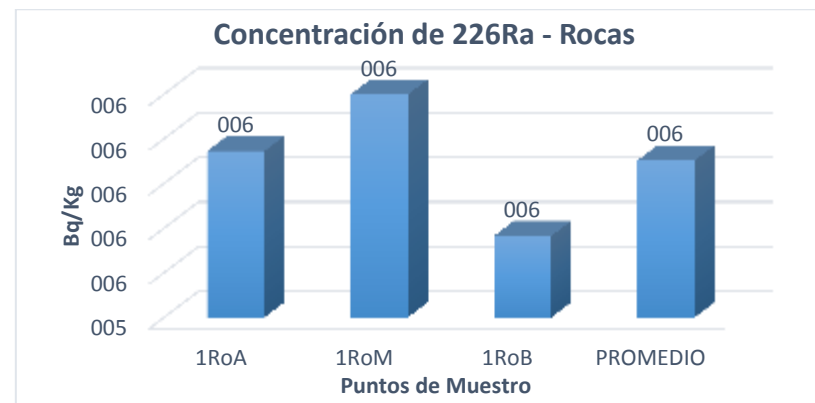


Gráfico 10 Concentración de ^{226}Ra

Fuente: Autor

La concentración de ^{226}Ra en las rocas del primer muestreo se muestra en la tabla 6, adjunto se observa la concentración de ^{226}Ra , en la gráfica 10, de la zona alta, media y baja, aquí se puede observar que la concentración de ^{226}Ra es mayor considerablemente en la zona media (6,40Bq/Kg), y la menor concentración en la zona baja (5,76Bq/Kg), también se observa los promedios de concentración de ^{226}Ra en las rocas de la concesión minera, es importante recalcar que estos valores corresponden a rocas de origen sedimentario.

Tabla 6 Resultado obtenidos en sedimentos

Fuente: Autor

	Punto muestreo	Densidad de trazas (trazas/cm ²)		radón Integrado (Bq*h/m ³)		Exhalación de radón				Concentración de radón (Bq/m ³)		Concentración de radio-226 (Bq/kg)	
						Área (Bq*h/m ²)		Masa (Bq*h/Kg)					
SEDIMENTOS	1SeA	761.90	±71.99	609523.81	±57594.59	1.35	±0.13	0.0520	±0.0049	423.28	±40.00	6.93	±0.47
	1SeM	870.75	±76.96	696598.64	±61571.20	1.55	±0.14	0.0594	±0.0052	483.75	±42.76	7.92	±0.51
	1SeB	1020.41	±83.32	816326.53	±66652.78	1.81	±0.15	0.0696	±0.0057	566.89	±46.29	9.28	±0.55
	PROMEDIO	884.35	±77.56	707482.99	±62050.36	1.57	±0.14	0.0603	±0.0053	491.31	±43.09	8.04	±0.51

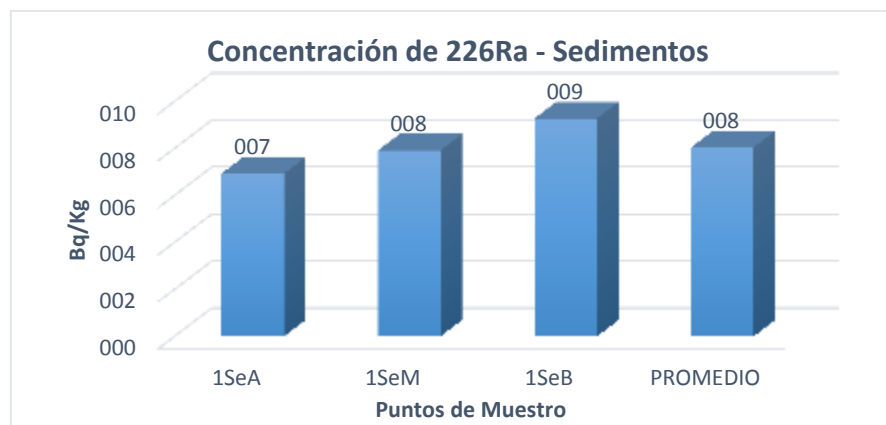


Gráfico 11 Concentración de 226Ra

Fuente: Autor

La concentración de ^{226}Ra de sedimentos del primer muestreo se muestra en la tabla 7, adjunto se observa la concentración de ^{226}Ra , en la gráfica 11, tanto de la zona alta, media y baja, aquí se muestra mayor concentración de ^{226}Ra en la zona baja (9,28Bq/Kg), y la menor concentración en la zona alta (6,93Bq/Kg), también se observa los promedios de concentración de los sedimentos en la concesión minera.

Tabla 7 Resultados obtenidos en la vegetación

Fuente: Autor

	Punto Muestreo	Densidad Trazas (trazas/cm ²)		radón Integrado (Bq*h/m ³)		Exhalación radón				Concentración de radón (Bq/m ³)		Concentración de radio-226 (Bq/kg)	
						Área (Bq*h/m ²)		Masa (Bq*h/Kg)					
VEGETACION	1VeA	265.31	±42.48	212244.90	±33986.38	0.26	±0.04	0.0100	±0.0016	147.39	±23.60	1.34	±0.28
	1VeM	353.74	±49.06	282993.20	±39244.10	0.35	±0.05	0.0134	±0.0019	196.52	±27.25	1.78	±0.32
	1VeB	482.99	±57.32	386394.56	±45856.60	0.48	±0.06	0.0183	±0.0022	268.33	±31.84	2.43	±0.38
	PROMEDIO	367.35	±49.99	293877.55	±39991.67	0.36	±0.05	0.0139	±0.0019	204.08	±27.77	1.85	±0.33

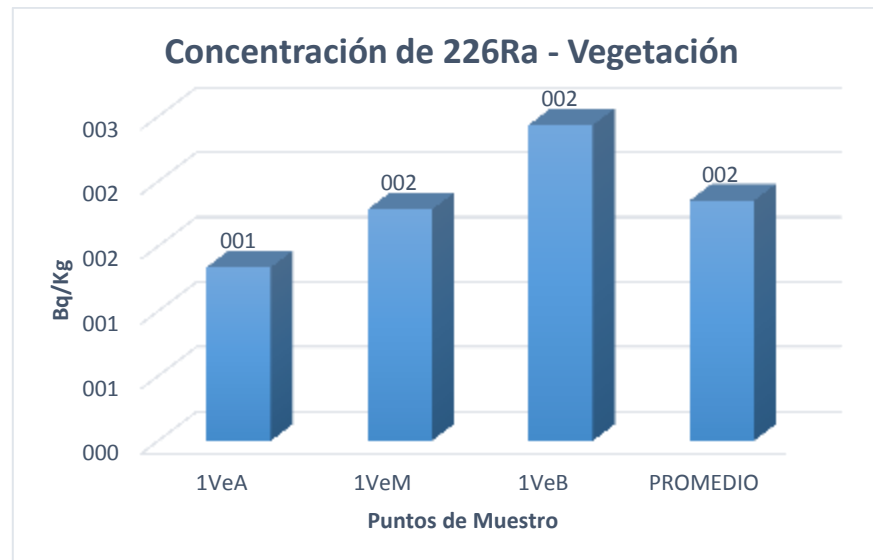


Gráfico 12 Concentración de ^{226}Ra

Fuente: Autor

La concentración de ^{226}Ra de vegetación del primer muestreo se muestra en la tabla 8, adjunto se observa la concentración de ^{226}Ra , en la gráfica 12, tanto de la zona alta, media y baja, aquí se muestra mayor concentración de ^{226}Ra en la zona baja (2,43Bq/Kg), y la menor concentración en la zona alta (1,34Bq/Kg), también se observa los promedios de concentración de ^{226}Ra en las muestras de vegetación de la concesión minera.

4.2.2 Concentración de radio segundo muestreo

Tabla 8 Resultados obtenidos en el suelo

Fuente: Autor

	Punto Muestreo	Densidad Trazas (trazas/cm ²)		radón Integrado (Bq*h/m ³)		Exhalación radón				Concentración de radón (Bq/m ³)		Concentración de radio-226 (Bq/kg)	
						Área (Bq*h/m ²)		Masa (Bq*h/Kg)					
SUELO	2d5A	619.05	±64.89	495238.10	±51915.06	0.79	±0.08	0.03	±0.0032	343.92	±36.05	4.07	±0.43
	2d10A	741.50	±71.02	593197.28	±56817.99	0.95	±0.09	0.04	±0.0035	411.94	±39.46	4.87	±0.47
	2d15A	891.16	±77.86	712925.17	±62288.56	1.14	±0.10	0.04	±0.0038	495.09	±43.26	5.86	±0.51
	PROMEDIO	750.57	±71.46	600453.51	±57164.45	0.96	±0.09	0.04	±0.0035	416.98	±39.70	4.93	±0.47
	2d5M	687.07	±68.37	549659.86	±54693.20	0.88	±0.09	0.03	±0.0034	381.71	±37.98	4.52	±0.45
	2d10M	755.10	±71.67	604081.63	±57336.89	0.97	±0.09	0.04	±0.0035	419.50	±39.82	4.96	±0.47
	2d15M	959.18	±80.78	767346.94	±64622.27	1.23	±0.10	0.05	±0.0040	532.88	±44.88	6.30	±0.53
	PROMEDIO	800.45	±73.79	640362.81	±59033.61	1.03	±0.09	0.04	±0.0036	444.70	±41.00	5.26	±0.49
	2d5B	1204.08	±90.50	963265.31	±72403.45	1.55	±0.12	0.06	±0.0045	668.93	±50.28	7.91	±0.59
	2d10B	1408.16	±97.87	1126530.61	±78299.29	1.81	±0.13	0.07	±0.0048	782.31	±54.37	9.26	±0.64
	2d15B	1823.13	±111.37	1458503.40	±89092.28	2.34	±0.14	0.09	±0.0055	1012.85	±61.87	11.98	±0.73
	PROMEDIO	1478.46	±100.29	1182766.44	±80229.82	1.90	±0.13	0.07	±0.0049	821.37	±55.72	9.72	±0.66

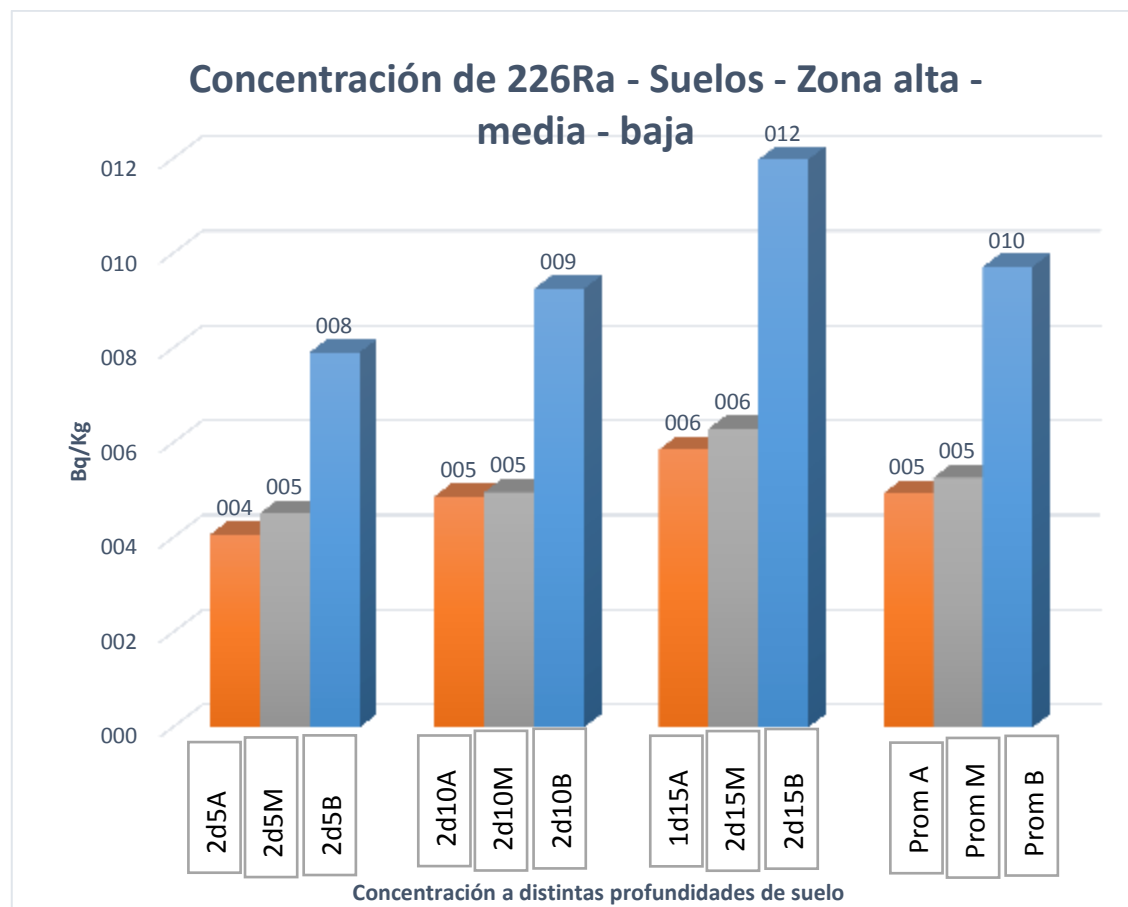


Gráfico 13 Concentración de ^{226}Ra

Fuente: Autor

La concentración de ^{226}Ra en suelos del segundo muestreo se visualiza en la tabla 9, adjunto se observa la concentración de ^{226}Ra , en la gráfica 13, tanto de la zona alta (color naranja), media (color gris) y baja (color azul) a las profundidades de 0 a 5, de 5 a 10 y de 10 a 15cm. Como se puede observar la mayor concentración de ^{226}Ra , es en la zona baja a la concesión minera Loma Larga a 0-5cm (5,86Bq/Kg), 5-10cm (6,30 Bq/Kg) y 10-15cm (11,98 Bq/Kg), también se observa los promedios de la concentración de ^{226}Ra de las muestras de suelo, de la zona alta, adyacente y baja de la concesión minera.

Tabla 9 Resultados obtenidos en las rocas

Fuente: Autor

	Punto Muestreo	Densidad Trazas (trazas/cm ²)		radón Integrado (Bq*h/m ³)		Exhalación radón				Concentración de radón (Bq/m ³)		Concentración de radio-226 (Bq/kg)	
						Área (Bq*h/m ²)		Masa (Bq*h/Kg)					
ROCAS	2RoA	1496.60	±100.90	1197278.91	±80720.53	2.72	±0.18	0.1045	±0.0070	831.44	±56.06	13.94	±0.66
	2RoM	530.61	±60.08	424489.80	±48064.00	0.97	±0.11	0.0371	±0.0042	294.78	±33.38	4.94	±0.39
	2RoB	1244.90	±92.03	995918.37	±73620.40	2.26	±0.17	0.0869	±0.0064	691.61	±51.13	11.59	±0.60
	PROMEDIO	1090.70	±86.14	872562.36	±68910.37	1.98	±0.16	0.0762	±0.0060	605.95	±47.85	10.16	±0.57

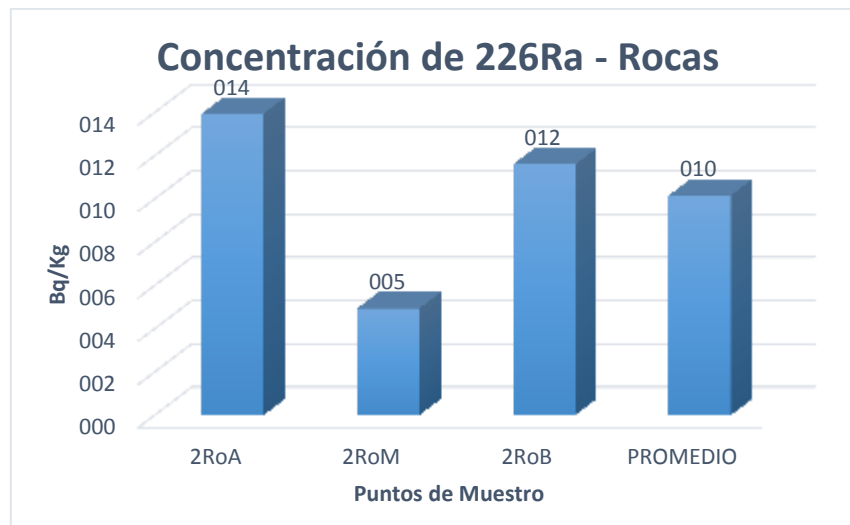


Gráfico 14 Concentración de ^{226}Ra

Fuente: Autor

La concentración de ^{226}Ra de rocas del segundo muestreo se muestra en la tabla 10, adjunto se observa la concentración de ^{226}Ra , la gráfica 14, tanto de la zona alta, media y baja, como se puede observar la mayor concentración de ^{226}Ra es en la zona alta (13,94Bq/Kg), y la menor concentración en la zona media (4,94Bq/Kg), también se observa los promedios de concentración de ^{226}Ra de las rocas de la concesión minera. Estos resultados son relativamente altos en cuanto al primer muestreo, esto se debe a que son rocas de origen volcánico (ígneas).

Tabla 10 Resultados obtenidos en los sedimentos

Fuente: Autor

SEDIMENTOS	Punto Muestreo	Densidad Trazas (trazas/cm ²)		radón Integrado (Bq*h/m ³)		Exhalación radón			Concentración de radón (Bq/m ³)		Concentración de radio-226 (Bq/kg)		
						Área (Bq*h/m ²)	Masa (Bq*h/Kg)						
	2SeA	911.56	±78.75	729251.70	±62997.75	1.62	±0.14	0.0622	±0.0054	506.42	±43.75	8.29	±0.52
	2SeM	965.99	±81.06	772789.12	±64851.02	1.72	±0.14	0.0659	±0.0055	536.66	±45.04	8.78	±0.53
	2SeB	1435.37	±98.82	1148299.32	±79052.19	2.55	±0.18	0.0979	±0.0067	797.43	±54.90	13.05	±0.65
	PROMEDIO	1104.31	±86.67	883446.71	±69338.83	1.96	±0.15	0.0753	±0.0059	613.50	±48.15	10.04	±0.57

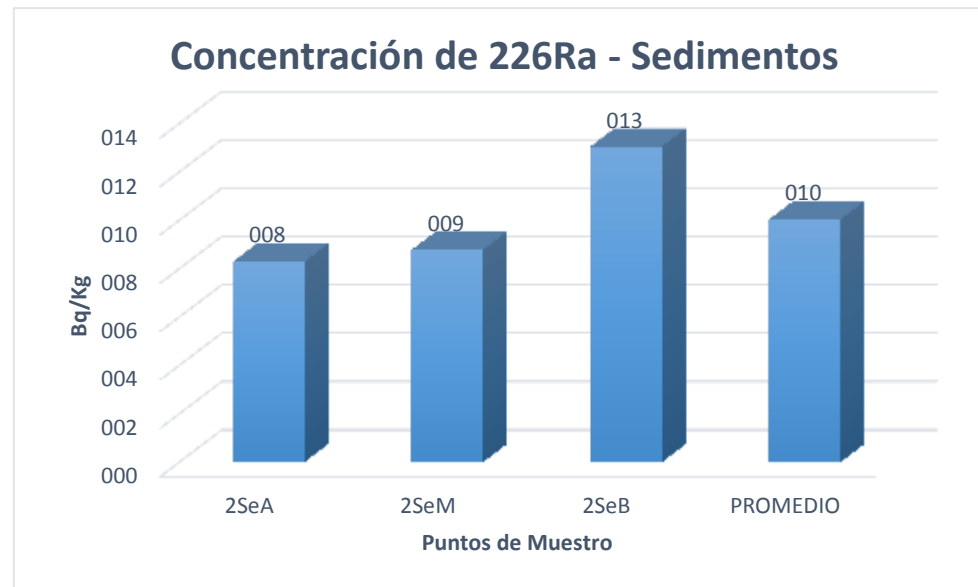


Gráfico 15 Concentración de 226Ra

Fuente: Autor

La concentración de ^{226}Ra de las muestras de sedimentos del segundo muestreo se puede visualizar en la tabla 11, adjunto se observa la concentración de ^{226}Ra , en la gráfica 15, tanto de la zona alta, media y baja, aquí se observa mayor concentración de ^{226}Ra en la zona baja (13,05Bq/Kg), y la menor concentración en la zona alta (8,29Bq/Kg), también se observa los promedios de la concentración de ^{226}Ra de los sedimentos de la concesión minera.

Tabla 11 Resultados obtenidos en la vegetación

Fuente: Autor

	Punto Muestreo	Densidad Trazas (trazas/cm ²)		radón Integrado (Bq*h/m ³)		Exhalación radón		Concentración de radón (Bq/m ³)	Concentración de radio-226 (Bq/kg)				
						Área (Bq*h/m ²)	Masa (Bq*h/Kg)						
VEGETACION	2VeA	319.73	±46.64	255782.31	±37309.68	0.31	±0.05	0.0121	±0.0018	177.63	±25.91	1.61	±0.31
	2VeM	380.95	±50.91	304761.90	±40725.52	0.37	±0.05	0.0144	±0.0019	211.64	±28.28	1.92	±0.33
	2VeB	408.16	±52.69	326530.61	±42154.92	0.40	±0.05	0.0154	±0.0020	226.76	±29.27	2.06	±0.35
	PROMEDIO	369.61	±50.14	295691.61	±40114.91	0.36	±0.05	0.0140	±0.0019	205.34	±27.86	1.86	±0.33

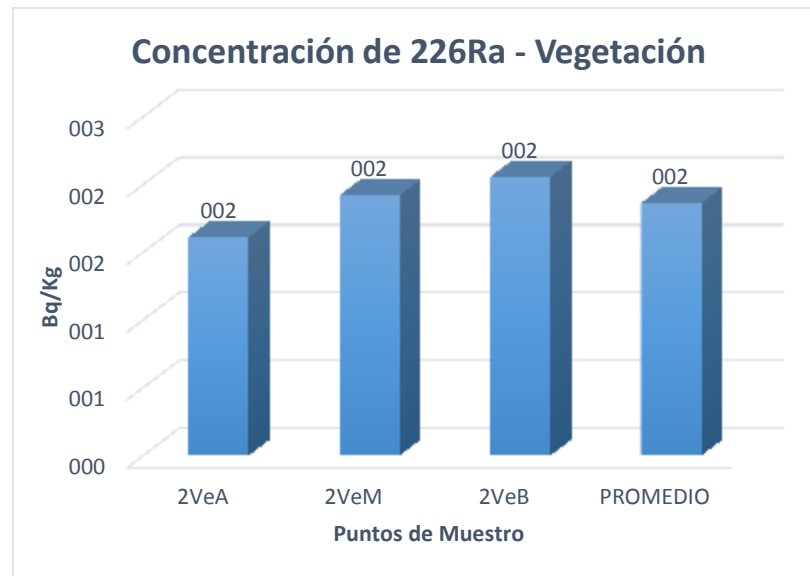


Gráfico 16 Concentración de ^{226}Ra

Fuente: Autor

La concentración de ^{226}Ra de las muestras de vegetación del segundo muestreo se visualiza en la tabla 15, adjunto se observa en la gráfica 16, la concentración de ^{226}Ra , tanto de la zona alta, media y baja, como se puede observar la mayor concentración de ^{226}Ra es en la zona baja (2,06Bq/Kg), y la menor concentración en la zona alta (1,61Bq/Kg), también se observa los promedios de concentración de ^{226}Ra de la vegetación en la concesión minera.

4.2.3 Promedio de la concentración de ^{226}Ra en los dos muestreos

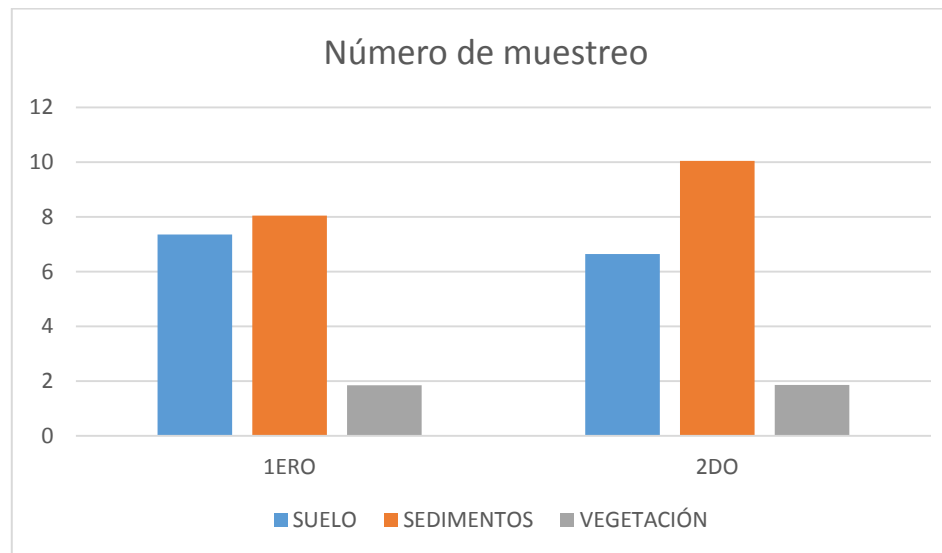


Gráfico 17 Promedio de la concentración de ^{226}Ra

Fuente: Autor

El gráfico 17 analiza cómo varía la concentración de ^{226}Ra en diferentes días, sin embargo no existe gran diferencia en cuanto a los resultados obtenidos. En el primer muestreo, en el caso del suelo se obtuvo un promedio de la concentración de ^{226}Ra de 7.35 Bq/kg, en sedimentos un promedio de concentración de ^{226}Ra de 8.04 Bq/Kg, y en vegetación un promedio de concentración de ^{226}Ra de 1.85 Bq/Kg. En el segundo muestreo, las muestras de suelo dieron un promedio en la concentración de ^{226}Ra de 6.63 Bq/kg, en sedimentos un promedio en la concentración de ^{226}Ra de 10.04 Bq/Kg, y en la vegetación un promedio de la concentración de ^{226}Ra de 1.86 Bq/Kg.

4.3 DISCUSIÓN

Innumerables son los trabajos realizados en lo que concierne a la cuantificación de la concentración de ^{226}Ra en diferentes componentes ambientales, donde además de exponer a la población mundial, la concentración promedio de ^{226}Ra permisible, comunican el peligro que representa si no se toman las medidas oportunas debido a la falta de información de algunas personas, así como se expresa en el apartado 1.1, la falta de información en el país en cuanto a un estudio de línea base para conocer el estado actual de radiactividad de una zona en particular, en este caso de la concesión minera Loma Larga, un área a ser explotada próximamente, y donde debido a varios estudios en este campo, en varias partes del mundo, aseguran la presencia de elementos radiactivos, cuando esta actividad comienza a entrar en funcionamiento.

Según la UNSCEAR manifiesta que la concentración promedio de ^{226}Ra en suelos es de 35 Bq/Kg y en sedimentos de río es de 25 Bq/Kg, de aquí se parte con el objetivo principal el cual es determinar la concentración de ^{226}Ra en suelo y sedimentos del río Irquis en el área colindante a la concesión minera Loma Larga Azuay-Ecuador.

En cuanto a los resultados obtenidos de suelo en los diferentes puntos y en los diferentes horizontes del estrato en el primer y segundo muestreo se obtuvieron los siguientes resultados:

En la zona alta, entre los 0 y 5 cm de profundidad, la concentración de ^{226}Ra fue de 59 ± 0.34 Bq/Kg, a la profundidad comprendida entre 5 y 10cm, la concentración de ^{226}Ra fue de 7.33 ± 0.57 Bq/Kg, y entre 10 y 15cm la concentración de ^{226}Ra fue 9.12 ± 0.64 Bq/Kg, esto dio un promedio de **6.35** ± 0.53 Bq/Kg, en la zona media a la profundidad comprendida entre 0 y 5cm, la concentración de ^{226}Ra fue 4.07 ± 0.43 Bq/Kg, a la profundidad de 5 y 10cm fue de 8.32 ± 0.61 Bq/Kg y a la profundidad

comprendida entre 10 y 15cm dio un valor de 9.21 ± 0.64 , esto dio un promedio de concentración de ^{226}Ra de **7.20 ± 0.57** Bq/Kg, y por último en la zona baja entre los 0 y 5cm de profundidad, la concentración de ^{226}Ra fue de 6.98 ± 0.56 Bq/Kg, a la profundidad comprendida entre 5 y 10cm la concentración de ^{226}Ra fue 8.50 ± 0.62 Bq/Kg y de 10 y 15cm, la concentración de ^{226}Ra fue 10.11 ± 0.67 , con un promedio de **8.53 ± 0.62** Bq/Kg.

En cambio en el segundo muestreo en la zona alta, entre los 0 y 5 cm de profundidad, la concentración de ^{226}Ra fue de 4.07 ± 0.43 Bq/Kg, a la profundidad comprendida entre 5 y 10cm, la concentración de ^{226}Ra fue de 4.87 ± 0.47 Bq/Kg, y entre 10 y 15cm la concentración de ^{226}Ra fue 5.86 ± 0.51 Bq/Kg, esto dio un promedio de **4.93 ± 0.47** Bq/Kg, en la zona media a la profundidad comprendida entre 0 y 5cm, la concentración de ^{226}Ra fue 4.52 ± 0.45 Bq/Kg, a la profundidad de 5 y 10cm fue de 4.96 ± 0.47 Bq/Kg y a la profundidad comprendida entre 10 y 15cm dio un valor de 6.30 ± 0.53 Bq/Kg, esto dio un promedio de concentración de ^{226}Ra de **5.26 ± 0.49** Bq/Kg, y por último en la zona baja entre los 0 y 5cm de profundidad, la concentración de ^{226}Ra fue de 7.91 ± 0.59 Bq/Kg, a la profundidad comprendida entre 5 y 10cm la concentración de ^{226}Ra fue 9.26 ± 0.64 Bq/Kg) y de 10 y 15cm, la concentración de ^{226}Ra fue 11.98 ± 0.73 Bq/Kg, con un promedio de **9.72 ± 0.66** Bq/Kg

Como se puede observar en las tres zonas tanto del primer y segundo muestreo se obtiene una menor concentración de ^{226}Ra en la capa superficial del suelo (entre los 0 y 5cm) y va ascendiendo considerablemente el valor conforme se desciende en el horizonte del suelo, lo cual coincide con lo publicado por (Hernández, Donoso, & Pérez, 2015) y varios autores. Así mismo varios artículos como el publicado por (García, 1999) expresan que algunos elementos como el caso del Ra y otros gases,

poseen mayor concentración en capas más profundas del suelo, ya que como se sabe el Ra proviene de la desintegración del ^{238}U , el mismo que se encuentra en su máxima concentración en la roca madre, esto ha sido de gran importancia en varios campos de estudio como en el caso de la geoquímica, donde mediante estos resultados han contribuido en el monitoreo y vigilancia de sistemas geológicos como volcanes o fallas activas, entre otros.

Es por tal razón que los resultados obtenidos, de la concentración de ^{226}Ra en la zona de Quimsacocha, tienen relevancia conforme a lo expuesto anteriormente, donde además de ser una zona aun no perturbada, los valores se encuentran por debajo del intervalo promedio encontrado para suelos, sin embargo es importante mencionar ciertas características físico químicas del suelo que se toma como referencia para seguir corroborando ciertos valores, según lo escrito en el apartado 2.3.2 expresa:

“La mayoría de radionucleidos que se encuentran en el suelo combinados con un bajo pH, al igual que un bajo contenido de arcillas y baja capacidad de intercambio catiónico, la movilidad de los radionucleidos en el estrato es mayor y a su vez proporcionan gran cantidad a las plantas (Yastrebov, 1973)”

Sin embargo en cuanto a las características de la zona se dice que el pH es ácido, mientras que el contenido de arcillas es mayor, considerándose un suelo franco-arcilloso, al igual que una alta capacidad de intercambio catiónico y alto contenido de materia orgánica, por lo que los valores además de estar dentro de las concentraciones promedio de ^{226}Ra son menores debido a las características ya mencionadas.

En cuanto a la concentración de ^{226}Ra en sedimentos, los valores encontrados en el primer muestreo en la zona alta, la concentración de ^{226}Ra fue de 6.93 ± 0.47 Bq/Kg, en la zona media, la concentración de ^{226}Ra fue 7.92 ± 0.51 Bq/Kg, y en la zona baja la concentración de ^{226}Ra fue de 9.28 ± 0.55 Bq/Kg, con un promedio de 8.04 ± 0.51 Bq/Kg,

en cambio en el segundo muestreo la concentración de ^{226}Ra en la zona alta fue de 8.29 ± 0.52 Bq/Kg, en la zona media la concentración de ^{226}Ra fue de 8.78 ± 0.53 Bq/Kg, y en la zona baja la concentración de ^{226}Ra fue 13.05 ± 0.65 Bq/Kg, con un promedio de **10.04 ± 0.57** Bq/Kg, de igual manera los valores de concentración de ^{226}Ra en sedimentos, está por debajo del promedio de la concentración mundial según la UNSCEAR la cual es de 25 Bq/kg, estos resultados igualmente han sido comparados con otros estudios realizados como es el caso de (Qureshi, y otros, 2014) o como el trabajo de (Jibiri & Okeyode, 2012) donde realizan estudios preliminares para conocer el estado de radiactividad de sedimentos de los distintos ríos para distintos fines, como por ejemplo el uso de sedimentos para la construcción, en uno de ellos sobrepasa las concentraciones promedio por lo que expresan que existe un riesgo eminente para las personas que albergaran en las futuras edificaciones así como en sus alrededores, en cambio en el otro trabajo como en el presente están por debajo de las concentraciones promedio de radio según UNSCEAR, es decir no presentan ningún riesgo eminente, sin embargo debido a las actividades antrópicas pueden alterar las concentraciones de ^{226}Ra y contaminando acuíferos, así como cuerpos de agua dulce, entre otros.

De aquí parte la importancia de realizar un estudio de línea base en este caso para conocer el de radiactividad de los sedimentos en la zona, alta, adyacente y baja a la concesión minera Loma Larga.

En cuanto a los análisis geológicos de la zona de estudio se corroboró que el área es de origen volcánico, por lo que las rocas que lo conforman son volcánicas y en menor proporción sedimentarias, es así como los valores obtenidos del primer y segundo muestreo en cuanto a este tipo de rocas dio los siguientes resultados:

En la zona alta del primer muestreo la concentración de ^{226}Ra dio un resultado de 6.14 ± 0.44 Bq/Kg, en la zona media, la concentración de ^{226}Ra fue de 6.40 ± 0.45 Bq/Kg

y en la zona baja la concentración de ^{226}Ra fue 5.76 ± 0.43 Bq/Kg, todo esto dio un promedio de 6.10 ± 0.44 Bq/Kg. En el segundo muestreo en la zona alta la concentración de ^{226}Ra fue 13.94 ± 0.66 Bq/Kg, en la zona media la concentración de ^{226}Ra fue de 4.94 ± 0.39 Bq/Kg, y en la zona baja dio un valor de 11.59 ± 0.60 Bq/Kg, dando un promedio en la concentración de ^{226}Ra de 10.16 ± 0.57 Bq/Kg.

De acuerdo al tipo de rocas existentes en el páramo, siendo estas volcánicas y sedimentarias (silíceas), se dice que la concentración promedio de ^{226}Ra en cuanto a las de origen volcánico según la UNSCEAR es de aproximadamente 35 Bq/kg, y según las características, mencionadas anteriormente en el apartado 3.1.1.1 dentro de este grupo se encuentran las del segundo muestreo en la zona alta y baja las mismas contienen una concentración de 13.94 ± 0.66 Bq/Kg y 11.59 ± 0.60 Bq/Kg, sin embargo el nivel de la radiactividad está por debajo de la concentración promedio de ^{226}Ra .

En cambio las demás muestras de rocas y de acuerdo al tipo de características que presentan se encuentran dentro del grupo de las rocas sedimentarias (silíceas), y según estudios realizados afirman que las rocas sedimentarias presentan menor nivel de concentración promedio de ^{226}Ra en cuanto a las ígneas y metamórficas, siendo este de 9.5-15 Bq/Kg, al exponerse estos valores podemos ver claramente que las concentraciones de ^{226}Ra obtenidas en este trabajo, están por debajo de los límites promedios, es decir por el momento no presenta ningún riesgo.

Al momento de determinar la radiactividad del medio biótico (flora) del área, no se encuentra un trabajo sustentable que publique la concentración promedio de ^{226}Ra , para este tipo de vegetación, así mismo después de haber procesado la muestra se obtuvo una matriz físicamente similar a las muestras de suelo, sedimentos, rocas, en las cuales se aplicó la técnica de lata para cuantificar la concentración de ^{226}Ra .

Después de una exhaustiva revisión bibliográfica no se encontraron trabajos que reporten el contenido promedio de Ra-226 en el pajonal (*Calamagostis intermedia*), en cambio se encontraron varios estudios referentes a la bioabsorción de radionucleidos por diferentes especies vegetales, cultivadas en condiciones normales, como la lechuga, la col, la zanahoria, entre otros, mostrando valores que sumamente altos, pudiendo notar que los valores obtenidos en este trabajo en el pajonal se encuentra muy por debajo de los expuestos en otros trabajos (Carvalho, Oliveira, & Malta, 2013). Es importante mencionar que, incluso algunas especies pueden impedir la absorción a través de la raíz llegando a excluir los radioelementos. Sin embargo, la composición del suelo también desempeña un papel importante en cuanto a la concentración de radionucleidos en las plantas.

Al momento de revisar las pruebas físico químicas realizadas en el medio físico (suelo) del sector con anterioridad, se puede observar los diferentes parámetros evaluados, entre ellos diferentes nutrientes, como es el caso del calcio (Ca), ya que como se sabe el Ra es químicamente análogo al calcio, por lo que las plantas además de asimilar este nutriente, asimilan el Ra de igual manera, de tal manera esto se vuelve un problema al momento de evaluar la concentración de radiactividad (Welelaw, 2013). Es por eso que los resultados obtenidos han corroborado la presencia de este nutriente en el suelo, dando un valor de <500 (mg/kg), valor que se cataloga como un nivel bajo presente en el suelo en cuanto a la concentración del calcio (Ca), y de esta manera se puede indagar y explicar el por qué la concentración de ^{226}Ra es baja en plantas. (Espinoza & Mozaffari, 2006)

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Los valores obtenidos en este trabajo nos permiten tener una referencia, en lo que respecta a la concentración de ^{226}Ra , considerando que en el país es escasa la información en cuánto a los niveles de radiactividad ambiental, es por eso que con este trabajo se pretende dar un diagnóstico previo a la fase de extracción, para evaluar los posibles daños al cabo de un cierto tiempo.

Al evaluar la concentración de radio en suelo, sedimentos y vegetación, se pudo constatar que tanto en el primer muestreo como en el segundo, existe una mayor concentración de ^{226}Ra en la zona baja a la concesión minera, debido al movimiento o arrastre de los contaminantes desde las zonas altas esto se debe a factores climáticos como la precipitación, que influyen en el movimiento o arrastre de los contaminantes, ya que los mismos pueden lixiviarse a través del horizonte del suelo, así como ser llevados por las corrientes de agua (ríos), hacia cuerpo de agua lejanos, de tal manera concentrándose en su mayor esplendor en las zonas bajas. De igual manera, Los resultados muestran una diferencia en el promedio de la concentración de ^{226}Ra entre el primer y segundo muestreo en los sedimentos, mientras que en las muestras de suelo y vegetación la concentración de ^{226}Ra se mantuvo relativamente constante, esto se debe a la gran dinámica de los ríos, es importante mencionar que los valores están por debajo de la concentración promedio de ^{226}Ra según la UNSCEAR, sin presentar riesgo alguno para los moradores de las zonas aledañas; en el caso de las rocas la concentración varía, al estar mezclados los dos tipos (ígneas y sedimentarias) predominantes del área, se encuentran de igual manera por debajo de los límites promedios de concentración de ^{226}Ra .

En los anexos se observa que existe una correlación significativa entre la concentración de radio y exhalación del radón de las muestras, de los diferentes componentes ambientales. La concentración del radio es una función perfectamente lineal respecto a la exhalación del radón, así como también una buena correlación positiva (1). Es decir la variación de la exhalación de radón respecto a la concentración del ^{226}Ra es idénticas. Como tal, es evidente que a medida que aumentan los contenidos del radio, los contenidos de la exhalación del radón hijo también aumenta.

5.2 RECOMENDACIONES

Es importante realizar estudios de línea base en el campo de la radiactividad, sobre todo en zonas próximamente a ser intervenidas, sin importar la actividad a realizarse, es por ello, que, aparte de realizar un estudio previo, del medio físico, geológico, así como conocer la diversidad de flora y fauna, que presenta, es recomendable cuantificar los niveles de radiactividad que posee un lugar, como conocer los niveles de ^{226}Ra y ^{222}Rn , ya que está comprobado que los mismos elevan su concentración debido a la intervención del hombre, como en el caso de este estudio la extracción de minerales.

Aparte es necesario llevar monitoreo continuos, una vez realizada las actividades, y de esta forma intervenir de manera rápida y eficaz ante cualquier anomalía que se presente, es decir en caso de incrementar, los niveles de radiactividad, y de esta forma evitar impactos en el área y su zona de influencia que abarca todo organismo vivo y el ambiente.

CAPITULO VI

6 BIBLIOGRAFÍA

6.1 BIBLIOGRAFÍA

- Abd-lmoniem, E., Sh, K., & Mohammed, S. (2014). Radium and Radon Exhalation Studies in Some Soil Samples from Singa and Rabak Towns, Sudan using CR-39. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 632-637.
- Aldebert, S., Donati, B., Navarra, P., & Perrino, J. (2001). Complejo Minero Fabril San Rafael, Actualidad y Perspectivas . *Comisión Nacional de Energía Atómica*, 142-149.
- Alshahri, F. (2017). Radioactivity of ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K and ¹³⁷Cs in beach sand and sediment near to desalination plant in eastern Saudi Arabia: Assessment of radiological impacts. *ScienceDirect*, 174-181.
- Appleton, J. (2013). Radon un air and water. *Springer*.
- Arabi AM, E. (2007). ²²⁶ Ra, ²³² Th y ⁴⁰ K concentraciones en rocas ígneas del desierto oriental, Egipto y sus implicaciones radiológicas. *Springer*, 94-100.
- ATSDR. (1999). División Toxicológica del Radio (Radium). *AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY*.
- ATSDR. (1999). IONIZING RADIATION . *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*.
- Barrillon. (2005). Track etch velocity and chemical damages induced by ions in a cellulose nitrate detector. . *Radiation measurements* 40, 214 – 217.
- Bulbulian, S. (2001). La Radiactividad . *UDGVirtual*.
- Calmon, P., Fesenko, S., Voigt, G., & Linsley, G. (2009). Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. *Environ. Radioact.*
- Cano, D. (1 de Diciembre de 2006). *Ciencia y Tecnología Nuclear*. Obtenido de <http://www.madrimasd.org/blogs/ciencianuclear/2006/12/01/53391>
- Carvalho, F., Oliveira, J., & Malta, M. (2013). Radioactivity in Soils and Vegetables from Uranium Mining Regions. *ScienceDirect*, 38-42.
- Castillo, B. (2016). *CÁLCULO DEL RIESGO RADIOLÓGICO DEBIDO A LA CONCENTRACIÓN DE RADÓN EN LOS CENTROS DE EDUCACIÓN INICIAL DE LA ZONA URBANA Y RURAL DE CUENCA, ECUADOR*. Cuenca.
- Castillo, F., Gamboa, I., Espinoza, G., Somogyl, G., & Tapia, A. (1984). Homogeneity and Fissure Determination on Uranium Bars with SSNTD Nuclear Tracks and Radiation Measurements. 487-489.
- CC.OO. (2006). Guía de Radiaciones Ionizantes y no ionizantes. 15-16.
- CSN. (2009). INTERACCION DE DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA.

- Dolores, M., & Ruiz, R. (2009). Física Moderna: Introducción a la física nuclear y de las partículas elementales. Murcia.
- Educación, M. d. (2013). LA QUIMICA Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS DE LOS NÚCLEOS. *Recursos Didácticos para Primer Año de Bachillerato*.
- Elzain, A. E. (2015). Radon Exhalation Rates from Some Building Materials Used in Sudan. *Indoor and Built Environment*, 852-860.
- Espinosa, G., Gamboa, I., & Golzarri, J. (1987). El CR-39 como dosímetro de muy altas dosis de radiación gamma. *XXX Congreso Nacional de Investigación en Física, Mérida, Yuc.*
- Espinoza, L. S., & Mozaffari, M. (2006). Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos. *University of Arkansas System*.
- Evans, R., Kip, A., & Moberg, E. (1938). The radium and radon content of Pacific Ocean water, life and sediments, *Am. J. Sci.* 36 . 241-259.
- Fleischer. (1975). Nuclear Tracks in Solids: Principles and Applications.
- Galán, M. (2003). Puesta a Punto de Un Espectrómetro de Centelleo Líquido Para La Puesta a Punto de Un Espectrómetro de Centelleo Líquido Para La Determinación de Radón En Muestras de Agua. Tesis licenciatura en Física, Universidad de Extremadura. Madrid, España.
- García, J. (1999). INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN SOBRE LA CONCENTRACIÓN DEL RADÓN EN EL SUELO: SIMULACIÓN EN LABORATORIO Y COMPARACIÓN CON DATOS DE CAMPO. *Revista Geológica de América Central*, 23: 77-85, 2000.
- González, S., Osorio, J., López, E., Martínez, J., Jara, R., Bedregal, P., . . . Torres, B. (2008). Estudio de línea de Base Radiológico Ambiental en las zonas Uraníferas de Macusani y Corani en Puno. *Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1460, Lima 41, Perú* .
- GreenPeace. (2005). Conceptos Básicos sobre Radiactividad . *Campaña Energía - GREENPEACE*.
- Gupta, M. (2011). Monitoring of indoor radon and its progeny in dwellings of Delhi using SSNTDs. 421-426.
- IAEA. (2010). Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. *Agency International Atomic Energy*.
- ICPR. (1987). Lung Cancer Risk from Exposures to Radon Daughters.
- IEA, I. A. (2010). Analytical Methodology for the Determination of Radium Isotopes in Environmental Samples. VIENNA.
- Iyengar, M. (1990). The natural distribution of radium. *Environmental Behaviour of Radium, and IYENGAR, M. A. R., NARAYANA RAO, K., "Uptake of radium by*

marine animals, The Environmental Behaviour of Radium, Technical Reports Series. Vienna.

- Jibiri, N., & Okeyode, I. (2012). Evaluation of radiological hazards in the sediments of Ogun river, South-Western Nigeria. *ScienceDirect*, 103-112.
- Jiménez, J. A. (2013). Estudio de alternativas de métodos de remoción de radio 226 de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicos. *Repositorio Institucional - UNI*.
- Jobbagy, V., Altitzoglou, T., Malo, P., Tanner, V., & Hult, M. (2016). A brief overview on radon measurements in drinking water. *Journal of Environmental Radioactivity* 173, 18-24.
- Joshi, L., Zingde, M., & Desai, B. (15 de Junio de 1983). Studies on ^{226}Ra and ^{210}Pb activities and the concentration factors of ^{226}Ra in the surface organic layers of the estuarine sediments of Mindola and Purna rivers in India. *Springer Link*.
- Krishnaswami, S., & Cochran, J. (1978). Uranium and thorium series nuclides in oriented ferromanganese nodules: growth rates, turnover times and nuclide behavior. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 45-62.
- LatinoMinería. (7 de Febrero de 2018). *LatinoMinería.com*. Obtenido de <http://www.latinomineria.com/2018/02/07/los-principales-proyectos-mineros-en-ecuador/>
- Lawson, R. (1999). An Introduction to Radioactivity . *Chief Physicist. Nuclear Medicine Department. Manchester Royal Infirmary*, 5-7.
- López, B., & Luis, I. J. (2004). Radiactividad natural y artificial en nuestro entorno. *Revsita Ciencia* .
- López, F. (2012). *Materiales Radiactivos de Procedencia Natural en la Industria Minera*. Argentina: Palermo.
- Mohd, Z., Hsakhir, M., & Deepak, V. (2011). *International Journal of Applied Science and Engineering*. 43-47.
- Montaña, M., Camacho, A., Devesa, R., Vallés, I., Céspedes, R., Serrano, I., & Barjola, V. (9 de July de 2011). The presence of radionuclides in wasterwater treatment plants in Spain and their effect on human healt. *Journal of Cleaner Production* 60 (2013) 77-82.
- Nievas, H., Pizzio, F., Ferri, F., Alvarez, J., Karkanis, C., Tomellini, G., & Pérez, S. (2013). Línea de base ambiental de agua y sedimento de wscorrentía superficial para la quebrada Alipán, sierra de Velasco, La Rioja.
- OIEA. (2009). Clasificación de Fuentes Radiactivas. *IEAE (Organismo Internacional de Energía Atómica)*.
- Osores, J., & Jara, R. (2008). Estudio de línea base radiológica ambiental en el área de influencia del proyecto Bayovar: Radiactividad beta global en suelo superficial . *Laboratorio de Radioecología. Dirección de Investigación y Desarrollo*.

*Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú.
Laboratorio de Tratamiento de Muestras Ambientales – Dirección de Servicios
Instituto Peruano de Energía .*

- Osores, J., Gonzáles, S., Martínez, J., López, E., & Jara, R. (2008). Estudio de línea base radiológica ambiental en el área de influencia de un laboratorio de pruebas de lixiviación de uranio en Juliaca, Puno. *Laboratorio de Radioecología. Dirección de Investigación y Desarrollo. Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú. Laboratorios de Radiactividad Ambiental. Dirección de Servicios. Instituto Peruano de Energía Nuclear.*
- Osores, J., Martínez, J., & Yap, J. (2015). Determinación de la línea base ambiental y evaluación de radiactividad en el desierto de Sechura, Perú. *Subdirección de Seguridad Radiológica, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú* , 34-40.
- Pacachoff, N. (1997). Marie Curie and the Science of Radioactivity. *Oxford University Press.*
- Pacheco, D., & Avedaño, A. (2011). LA ENSEÑANZA DEL DECAIMIENTO RADIATIVO A PARTIR DE APROXIMACIONES ANALÓGICAS. *ENSEÑANZA DE LA FÍSICA.*
- Qureshi, A., Tariq, S., Ud Din, K., Manzoor, S., Calligaris, C., & Waheed, A. (2014). Evaluation of excessive lifetime cancer risk due to natural radioactivity in the rivers sediments of Northern Pakistan. *ScienceDirect*, 438-447.
- Raya, R. (1985). Optimización del espectro de energías de los fragmentos de fisión del Cf-252 con detectores de trazas en estado sólido. *FCUNAM.*
- Richardson, K. (1964). Thorium, uranium and potassium in the Conway granite, New Hampshire, U.S.A. Natural Radiation Environment. *University of Chicago Press*, 39-50.
- Rodríguez, J. (2013). CUANTIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE RADÓN (^{222}Rn) Y RADIO (^{226}Ra) APLICANDO LA TÉCNICA DE CENTELLEO LÍQUIDO EN AGUAS TERMALES DEL CERRO PACHO, LAGO DE COATEPEQUE, DEPARTAMENTO DE SANTA ANA (Tesis de Pregrado). *Universidad de el Salvador, Santa Ana, EL SALVADOR.*
- Santos, E., & Pérez, E. (2012). Estudiando el fenómeno de la radiactividad a través de noticias de prensa: el caso del espía ruso envenenado. *EUREKA.*
- SEMARNAT, & ASEA. (2015). Guía para definir la línea base ambiental previo al inicio de las actividades petroleras.
- Simon, S., & Ibrahim, S. (1987). The soil/plant concentration ratio for calcium radium, lead and polonium: Evidence for non-linearity with reference to substrate concentration *J. Environ. Radioact.* 123-142.

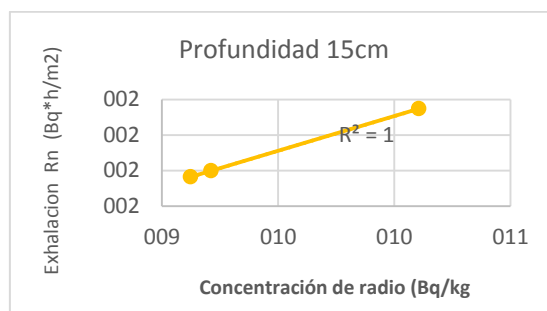
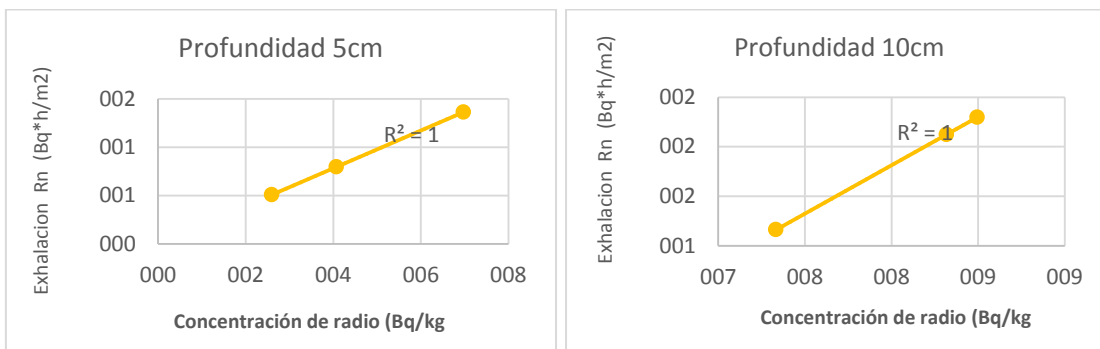
- Somogyi, G., Hafez, A., Hunyadi, I., & Toth, M. (1986). Measurement of Exhalation and Diffusion Parameters of Radon in Solids by Plastic Track Detectors. *Nucl. Tracks Radiat. Meas*, 701-704.
- Taskayev, A., Testov, B., & Popova, O. (1984). Main peculiarities of ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{224}Ra transfer to plants. *Biological Research in the north-east region of the European part of the USSR, Syktyvkar, Proceedings of Komi Scientific Center, Ural Division Academy of Sciences of the USSR*, 9-27.
- UNSCEAR. (2008). SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION. *Report to the General Assembly with Scientific Annexes* .
- Urbina, I. (2011). Regulation lax as gas wells' tainted water hits rivers, New York Times.
- Vandenhove, H., Verrezen, F., & Landa, E. (2010). "Radium", Radionuclides in the Environment, (ATWOOD D. Ed.), Wiley, Chichester. 97-108.
- Webster, I., Hancock, G., & Murray, A. (1995). Modelling the effect of salinity on radium desorption from sediments, *Geochim. Cosmochim. Acta* 59. 2469-2476.
- Welelaw, S. (2013). Radium Content and Radon Exhalation Rate Studies in soil Samples of Lalibela, Ethiopia. *Institute of Physics of the Polish Academy of Sciences*.
- WordPress. (7 de Abril de 2012). *grupo3radiobiolo.wordpress.com*. Obtenido de <https://grupo3radiobiolo.wordpress.com/2012/04/07/historia-de-la-radiactividad/>
- Yastrebov, M. (1973). Natural radioactivity of some soils in landscapes of the Kolochnaya Forest-Steppe of the Tambov region, *Proceedings of Moscow State University, series Biology*. 91-96.
- Zorilla, C. (24 de Abril de 2013). *SalvalaSelva*. Obtenido de <https://www.salvalaselva.org/noticias/5066/la-mineria-de-cobre-y-sus-impactos-en-el-ecuador>

CAPITULO VII

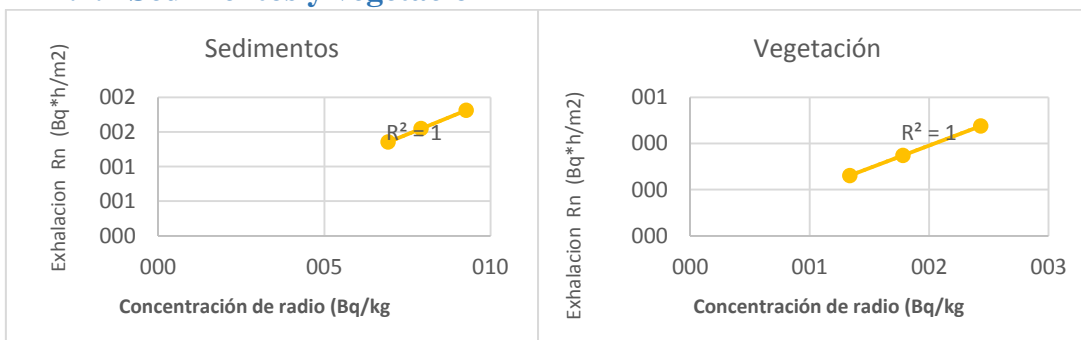
7 ANEXOS

7.1 CORRELACIÓN DEL PRIMER MUESTREO

7.1.1 Suelo

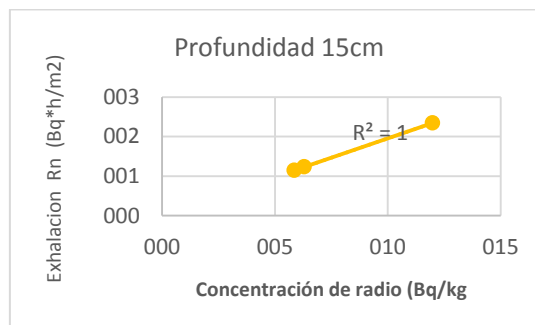
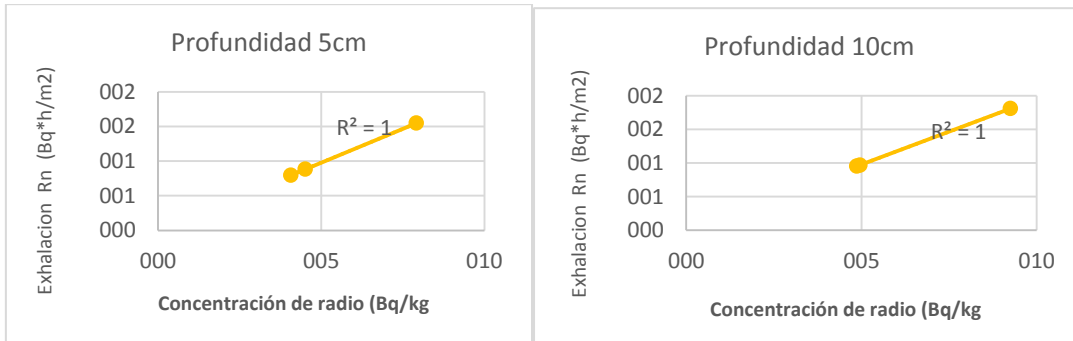


7.1.2 Sedimentos y vegetación

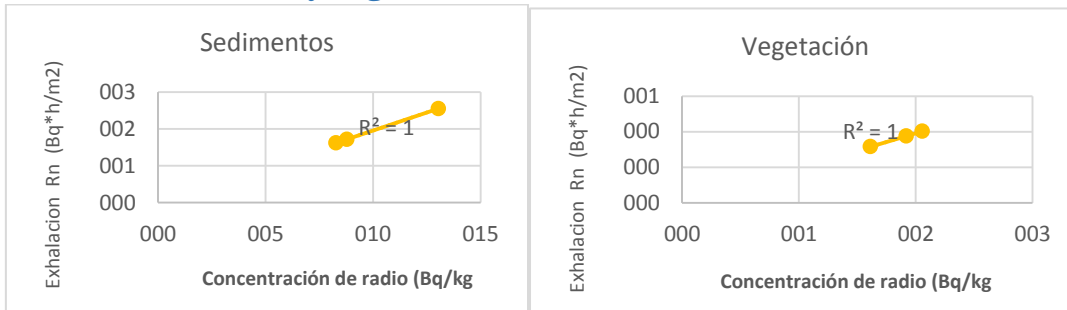


7.2 CORRELACIÓN SEGUNDO MUESTREO

7.2.1 Suelo



7.2.2 Sedimentos y vegetación



7.3 Muestras tomadas en campo (Concesión minera Loma Larga)



Ilustración 16 Recolección de muestras

Fuente: Autor



Ilustración 17 Peso de muestras (100gr)

Fuente: Autor



Ilustración 18 Trituración de rocas en la prensa

Fuente: Autor



Ilustración 19 Muestras deshidratadas

Fuente: Autor

