



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

CARRERA DE BIOFÍSICA

**“CÁLCULO ESTIMADO DE LA DOSIS RADIOACTIVA
RECIBIDA POR LOS TRABAJADORES DENTRO DE ÁREAS
MINERAS EN EL CANTÓN RIOBAMBA”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

BIOFÍSICO

AUTOR: DIEGO ANDRES MONTESDEOCA FREIRE

TUTOR: BIOF.TERESA ALTAMIRANO

Riobamba – Ecuador

2017

© 2017, Diego Andrés Montesdeoca Freire

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

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA CARRERA DE BIOFÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo experimental: **“Cálculo estimado de la dosis radioactiva recibida por los trabajadores dentro de áreas mineras en el Cantón Riobamba”**, de responsabilidad del señor Diego Andrés Montesdeoca Freire, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Biof. Teresa Altamirano

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Nadia González López.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DOCUMENTALISTA

SISBIB ESPOCH

Yo, Diego Andrés Montesdeoca Freire, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo experimental; y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Diego Andrés Montesdeoca Freire
180449005-8

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la mujer que con su sabiduría me guía siempre y espero que siga conmigo durante mucho tiempo, mi madre.

Diego.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia, mis amigos y mis queridos profesores que durante este tiempo compartieron conmigo y me apoyaron de forma incondicional, y de manera especial a mi madre que siempre confió en mí.

Diego.

TABLA DE CONTENIDO

	Paginas
PORTADA.....	i
DERECHO DE AUTOR.....	ii
CERTIFICACION.....	iii
DECLARACION DE RESPONSABILIDAD.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN	xii
SUMARRY	xiii
INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del problema	2
Justificación teórica	2
Justificación metodológica	3
Justificación práctica	3
Objetivos	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
1.1	Antecedentes	5
1.2	Bases teóricas	7
1.2.1	Riesgo radioactivo en las actividades mineras	7
1.2.2	Radiación natural.....	8
	Rayos cósmicos.....	8
1.2.3	Cantidades dosimétricas	9
1.2.4	Límites de dosis para situaciones de exposición previstas	12

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	15
2.1	Características de equipos experimentales	13
2.1.1	Contador Digital Geiger-Müller modelo GCA-07W.....	13
2.1.2	GPS Garmin 62s.....	14
2.2	Variables dependientes e independientes	15
2.3	Tipos y caracterización de pruebas experimentales	15
2.3.1	Determinación de puntos muestrales	15
2.3.2	Recolección, organización y procesamiento de datos	19
2.3	Modelación matemática de la experimentación	19

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	21
3.2	Curvas características de la experimentación	28
	CONCLUSIONES	31
	RECOMENDACIONES	32
	BIBLIOGRAFÍA.....	33
	ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Valores de los factores de ponderación de la radiación w_r para el cálculo de la dosis equivalente	11
Figura 1-2: Catastro minero Riobamba.....	19
Figura 2-2: Representación gráfica del procedimiento a seguir para determinar la dosis radioactiva recibida por los trabajadores dentro de las áreas mineras en el cantón Riobamba.....	23
Figura 1-3: Gráfico de comparación de los valores medios de la dosis efectiva por parroquia con los límites impuestos por el Organismo Internacional de Energía Atómica.....	33
Figura 2-3: Gráfico de comparación de los valores máximos de la dosis efectiva por parroquia con los límites impuestos por el Organismo Internacional de Energía Atómica.....	33
Figura 3-3: Gráfico de comparación de los valores medios de la dosis efectiva por mina estudiada con los límites impuestos por el Organismo Internacional de Energía Atómica.....	34
Figura 4-3: Gráfico de comparación de los valores máximos de la dosis efectiva por mina estudiada con los límites impuestos por el Organismo Internacional de Energía Atómica.....	34
Figura 5-3: Valores de dosis efectiva acumulada en un año en las minas en estudio.....	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Datos de ubicación y altura de las minas estudiadas	16
Tabla 2-2: Datos de condiciones laborales de las minas estudiadas	18
Tabla 1-3: Valores de Dosis efectiva por parroquia estudiada.	22
Tabla 2-3: Valores de Dosis efectiva por mina estudiada	23
Tabla 3-3: Valores de dosis efectiva acumulada en el tiempo.	25

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo el cálculo de dosis efectiva en las áreas mineras del cantón Riobamba donde se encuentran 21 minas de materiales de construcción en explotación distribuidas en las parroquias de San Juan, Calpi, Quimiag, Punin, Cubijies, Lican y Maldonado. El estudio se realizó utilizando un Contador Digital Geiger-Müller modelo GCA- 07W. Las mediciones se realizaron en 3 puntos diferentes por cada área minera obteniendo un total de 9 datos de radiación, luego se realizaron las comparaciones con los límite de dosis dispuestos por la Agencia Internacional de Energía Atómica el cual establece un límite de 20000 uSv/año) para trabajadores mayores de 18 años, y para la exposición pública el límite de dosis efectiva es de 1000 uSv/año. Como resultado tenemos que el valor máximo de tasa de dosis efectiva detectada es de 425,813 uSv/año en la mina Culquiloma que se encuentra ubicada en la parroquia San Juan, mismo que al compararlo con el valor límite de dosis efectiva (1000 uSv/año) podemos decir que ninguna mina presenta un riesgo por efectos de la radiación para los trabajadores en las áreas mineras. Se recomienda ampliar el presente estudio con otros métodos experimentales con el fin de conocer más específicamente los elementos radioactivos que contribuyen con la dosis efectiva detectada.

Palabras Clave:

<DOSIS EFECTIVA><MATERIALES DE CONSTRUCCION (MINAS)><RIOBAMBA (CANTON)><CONTADOR DIGITAL><RADIACION><EXPOSICION><ELEMENTOS RADIOACTIVOS><BIOFISICA>

SUMMARY

The present research aims at the calculation of effective doses in the mining areas of the Riobamba canton, where there are 21 construction materials mines in exploitation, distributed in the parishes of San Juan, Calpi, Quimiag, Punin, Cubijies, Licán and Maldonado. The study was performed using a Digital Geiger-Müller model GCA-07W. The measurements were made in 3 different points for each mining area obtaining a total of 9 radiation data, then the comparisons were made with the dose limits set by the International Atomic Energy Agency which establishes a limit of 20000 uSv / year) for workers over 18, and for public exposure the effective dose limit is 1000 uSv / year. As a result we have that the maximum effective dose rate detected is 425,813 uSv / year in the Culquiloma mine located in San Juan Parish, as compared to the effective dose limit (1000 uSv / year) we can say that no mine has a radiation risk for workers in mining areas. The research paper recommends to extend the present study with other experimental methods in order to know more specifically the radioactive elements that contribute with the detected effective dose.

Keywords:

<EFFECTIVE DOSE> <CONSTRUCTION MATERIALS (MINES)> <RIOBAMBA (CANTON)> <DIGITAL COUNTER> <RADIATION> <EXPOSURE> <RADIOACTIVE ELEMENTS> <BIOPHYSICS>.



INTRODUCCIÓN

Las radiaciones ionizantes son parte del medio ambiente terrestre, los rayos cósmicos y materiales radiactivos naturales contribuyen a la dosis recibida por los organismos vivos a causa de esta radiación. Incluyen las radiaciones electromagnéticas como rayos X y rayos gamma, además de las radiaciones conformadas por partículas subatómicas como radiaciones alfa, beta y neutrones. Las radiaciones ionizantes pueden inducir efectos no estocásticos, a veces agudos como por ejemplo, quemaduras y efectos estocásticos o probabilísticos a largo plazo por ejemplo, cáncer y enfermedades hereditarias.

Con el objetivo principal de acelerar y ampliar la contribución de la energía atómica para la paz, la salud y la prosperidad en todo el mundo se crearon varias instituciones como la Agencia Internacional de Energía Atómica (International Atomic Energy Agency- IAEA), las cuales han trabajado en la normativa para asegurar que el uso de la energía nuclear y sus aplicaciones se realice de forma segura para las personas y el medio ambiente. Existen límites de dosis los cuales al ser superados, representan un gran riesgo a la salud humana (IAEA, 2014 .p12).

El presente trabajo tiene como objetivo estimar la dosis recibida por los trabajadores en las áreas mineras del Cantón Riobamba, a través de las mediciones en cada una de ellas con el fin de conocer si la radiación que reciben está bajo los límites permitidos. Además encontramos en el primer capítulo una breve revisión sobre cantidades dosimétricas, en el segundo capítulo la metodología utilizada para el cálculo de la dosis efectiva presente en las áreas mineras para ser comparada con los límites de dosis determinados por la Agencia Internacional de Energía Atómica y finalmente se presentan los resultados conclusiones y recomendaciones.

Planteamiento del problema

Resulta imperioso el estudio de la radiación natural en áreas mineras debido a que representa una amenaza para la salud de las personas y pese a ese riesgo aún no se ha ejecutado un estudio con el fin de descartar la presencia de dosis elevadas de radiación natural nociva para los trabajadores de las minas de la ciudad de Riobamba o a su vez tomar medidas adecuadas de protección radiológica.

El impacto radiológico de los materiales radiactivos de procedencia natural debe ser discutido en términos de los efectos a la exposición de la radiación externa como a la contaminación interna.

Justificación teórica

El planeta se encuentra expuesto a la radiación desde su formación, ya que está presente en todas partes sea que esta proviene del exterior o de materiales radioactivos presentes en la tierra, por lo que la población recibe radiación de manera continua. Algunos mineros están también expuestos a fuentes naturales de radiación. Existen áreas en las cuales los niveles de radiación pueden ser elevados. Las dosis máximas se han cifrado en 20 mSv/año para la exposición en el trabajo (trabajadores en contacto directo con la radiación) y 1 mSv/año para la población en general (IAEA, 2014, pp. 132, 133).

La investigación y medida de la radiación natural es de importancia científica como para la salud pública. El UNSCEAR en el 2012 da a conocer que no solo las dosis altas de radiación ionizante producen daños clínicamente detectables, existen evidencias que las dosis bajas de radiación ionizante podrían causar daños (UNSCEAR, 2012, p 45).

En nuestro país no existe la tecnología para crear fuentes artificiales de radiación por lo que la radiación existente en su mayoría es de origen natural que generalmente la encontramos en radionucleidos presentes en materiales que se extraen de minas con un aporte importante de exposición externa originada por emisores gamma.

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

Justificación metodológica

La metodología que se utiliza para el cálculo estimado de dosis radioactiva en áreas mineras es posible utilizando un detector Geiger Muller (GCA-07W) este equipo portable capaz de detectar y medir sin discriminar radiación alfa (núcleos de helio), Beta (electrones), Gamma (ondas electromagnéticas) (López & Pérez, 2015, p. 27). Esta investigación es factible ya que se cuenta con la instrumentación necesaria y los puntos en los cuales se realizan son accesibles. Los datos de ubicación se obtienen mediante GPS.

Justificación práctica

En el Ecuador no se han realizado mediciones de radiación natural en zonas mineras, además existe desconocimiento de los posibles riesgos a los que están expuestos los trabajadores debido a la radiación. La obtención y análisis de los datos determinaran los niveles de exposición los cuales pueden ser utilizados en casos donde puede existir algún riesgo radiológico. Además con los resultados se pueden tomar medidas de protección en caso de ser necesario.

Objetivos

Objetivo general

Estimar la dosis radioactiva recibida por los trabajadores dentro de áreas mineras en el cantón Riobamba.

Objetivos específicos

- Revisión bibliográfica acerca del tema objeto de investigación.
- Caracterización de las áreas mineras del cantón de Riobamba.
- Estimación de la tasa de dosis efectiva recibida por los trabajadores mineros.
- Comparación de los resultados de la estimación de la tasa de dosis efectiva recibida por los trabajadores mineros con los límites de dosis recomendados por el Organismo Internacional de Energía Atómica.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

A diferencia de la radiación ionizante artificial, la natural se consideró durante décadas como un fenómeno normal que existía en la naturaleza, de manera que el hombre estaba condicionado a ignorarla. Aunque en la literatura especializada aparecían ocasionalmente informes en los que se describía la existencia de altas intensidades de radiación en edificios y en ciertas zonas habitadas, eran consideradas como simples curiosidades.

A finales de la década de los setenta del siglo pasado, esta forma de pensar cambió, debido a que se tomó conciencia del peligro que la exposición a radiación natural podía representar para la salud, empezándose a realizar y publicar estudios sobre la misma.

Con el objetivo principal de acelerar y ampliar la contribución de la energía atómica para la paz, la salud y la prosperidad en todo el mundo en 1956 se aprobó formalmente la creación de la Agencia Internacional de Energía Atómica (International Atomic Energy Agency- IAEA) (IAEA, 2014, p. 4).

Desde entonces la Agencia ha hecho varias contribuciones en cuanto a reglamentación en materia de protección radiológica, es así que en el año 1999 luego de revisiones de documentos anteriores emite la guía de seguridad titulada: “Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation” (IAEA, 1999, p. 4), la cual establece procedimientos de seguridad adecuados para la protección radiológica de los trabajadores.

En el año 2014 luego de décadas de esfuerzos para corregir documentos anteriores se publica: “Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards” (IAEA, 2014, p. 34), el cual es un conjunto de Normas básicas internacionales de

seguridad en materia de protección radiológica estandarizadas para la protección de las personas y el medio ambiente.

Varios estudios se han realizado a con el fin de asegurar que los trabajadores mineros no se encuentren expuestos a niveles de radiación nocivos para su salud. En el año 2013 se publicó un artículo titulado: “Assessment of Naturally Occuring Radioactive Materials in the Surface Soil of Uranium Mining área of Jharkhand, India” de autoría de entre otros N. K. Sethy del Bhabha Atomic Research Centre en la India quienes realizan mediciones de la concentración de la actividad en cerca de 30 localidades del área minera de Jaduguda en la India (Sethy, et al., 2013, p. 29). Luego de la determinación de la dosis efectiva anual entre otros parámetros se descarta el riesgo relativo a la radiación (Sethy, et al., 2013, p. 29).

En el año 2013 se publica un artículo denominado. “Assessment of occupational radiation exposure in underground artisanal gold mines in Tongo, Epper East Regios of Ghana” de autoría de entre otros I. Doyi del National Radioactive Waste Management Centre, Ghana Atomic Energy Commission, quienes evalúan los niveles de radiación gamma y radón en una mina artesanal subterránea de oro en el Tongo con un detector nuclear de estado sólido (Doyi, et al., 2013, p. 77). Los resultados de la dosis efectiva descartan una amenaza hacia los trabajadores a causa de la radiación(Doyi, et al., 2013, p. 77).

En la República del Ecuador, específicamente en el cantón Riobamba no se han realizado estudios acerca de la evaluación del riesgo de los trabajadores de instalaciones mineras a causa de la radiación, sin embargo existen algunos trabajos relacionados realizados por estudiantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo:

Dosimetría de Radón, en Viviendas con Diferentes Materiales de Construcción, por Colcha Ortíz María Patricia en el año de 2005(Colcha, 2005).

Cuantificación de los Niveles de Radón en Ambientes de Dormitorios en la Parroquia Victoria del Portete (Cuenca - Azuay). En construcciones que Contengan Diferentes tipos de materiales, por Pichisaca Córdova Carmen Eugenia en el año 2006(Pichisaca, 2006).

Propuesta de Reducción de los Niveles de Radón en Construcciones de Cemento Armado, por Ramos Flores María Eugenia en el 2008.

Determinación de radiación natural en la provincia de Chimborazo, por Mario Humberto Pérez Galeas y Wilson Alejandro López Martínez en el año 2015.

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Riesgo radioactivo en las actividades mineras

Las radiaciones ionizantes son parte del ambiente humano (por ejemplo, rayos cósmicos y materiales radiactivos naturales). Incluyen rayos X y rayos gamma (radiaciones electromagnéticas), así como radiaciones corpusculares (partículas subatómicas: radiaciones alfa, beta y neutrón) (Niu, 2011, p. 1).

Las radiaciones ionizantes pueden inducir efectos agudos (por ejemplo, quemaduras) y efectos a largo plazo (por ejemplo, cáncer y enfermedades hereditarias), que también se conocen como efectos no estocásticos (determinísticos) y estocásticos. (Niu, 2011, p. 1) Las fuentes radiactivas se utilizan en todo el mundo para una amplia variedad de propósitos beneficiosos en la industria, la medicina, la investigación, la agricultura y la educación. (Niu, 2011, p. 1)

Algunos trabajadores están expuestos a fuentes naturales de radiación, como sucede con el radón en la minería, en las minas subterráneas de oro en Sudáfrica por ejemplo, la dosis anual promedio en el año 2000 fue de 7 mSv y de entre los 123333 trabajadores de las minas de oro, 3700 trabajadores recibieron dosis superiores a 20 mSv / año (Niu, 2011, p. 4). La tasa de dosis media estimada mediante monitoreo individual para los mineros en los túneles de fosfatos de Abu-Tartur es de 15.55 mSv / año. (Niu, 2011, p. 4)

Las actividades mineras, en particular los sitios de desechos de minas, tienen el potencial de inducir el riesgo de causar cáncer de pulmón como resultado de la gran cantidad de radón liberado de las represas de barro (Speelman, 2004, p. 5). Se desprende de la evidencia histórica de que los productos de decadencia del radón están asociados con los riesgos para la salud de la población minera subterránea de Scheeberg (Alemania) y St Joachimstahl (Bohemia) en el siglo XVI (Speelman, 2004, p. 5)

1.2.2 Radiación natural

El medio ambiente humano es radiactivo y los seres humanos están expuestos a la radiación procedente de fuentes que incluyen rayos cósmicos, radionucleidos naturales en agua, aire, suelo y plantas; Y la radiactividad artificial de la precipitación en las pruebas nucleares y las aplicaciones médicas (Ademola, et al., 2014, p. 249). La radiación gamma de radionucleidos naturales y los rayos cósmicos constituyen la exposición externa, mientras que los derivados de la inhalación y la ingestión a través de alimentos y agua potable constituye una exposición interna a los seres humanos (Ademola, et al., 2014, pp. 249 - 250).

La radiación natural se encuentra presente en el medio ambiente existe desde que la tierra fue formada, lo cual constituye una exposición continua de la población a la radiación ionizante, la radiación natural está constituida por: (López & Pérez, 2015, p. 4).

Radiación de origen extraterrestre, radiación cósmica. (López & Pérez, 2015, p. 4)

Radiación de origen terrestre, nucleídos radiactivos presentes en la corteza de la tierra, en materiales de construcción y en el aire. (López & Pérez, 2015, p. 4)

La IAEA estimó en 1996 que el 80% de las dosis contribuidas en el medio ambiente se derivan de los radionucleidos naturales, mientras que el 20% restante procede de rayos cósmicos y de procesos nucleares.(Ademola, et al., 2014, p. 250).

1.2.2.1 Radiación de origen extraterrestre

Rayos cósmicos

Los rayos cósmicos son partículas provenientes del espacio exterior, en su mayoría protones o núcleos de átomos, generalmente producidas y aceleradas como consecuencia de llamaradas solares, supernovas, pulsar, permaneciendo en nuestra galaxia tiempos medios de 200 millones de años. (López & Pérez, 2015, p. 4) La mayoría de las partículas de origen cósmico tienen energía de entre 102y 105MeV, aunque algunas veces alcanzan valores mucho más elevados. (López & Pérez, 2015, p. 4)

1.2.2.2. Radiación de Origen terrestre

Los radionúclidos primordiales, así como sus descendientes están presentes en la corteza terrestre desde el origen de la tierra, son de vidas media en el orden de millones de años. Los radionúclidos primordiales están clasificados como: no en serie y en serie dependiendo de la vía de decaimiento. Las dos primeros radionúclidos primordiales en la no serie son ^{40}K y ^{87}Rb . El ^{40}K es emisor β y γ y el ^{87}Rb emisor γ , ambos contribuyen a las dosis de exposición interna y externa de especies vivas. (López & Pérez, 2015, p. 7 - 8).

La contribución a la dosis externa es variable, dependiendo de su concentración en rocas y suelo, aunque su concentración promedio en rocas de la corteza terrestre es aproximadamente 0,6Bq/g (17pCi/g). El ^{40}K es encontrado en materiales de construcción tal como ladrillos y bloques de cemento. (López & Pérez, 2015, p. 7 - 8). El ^{87}Rb es encontrado en rocas de la corteza en concentraciones cercanas a 0.07 Bq/g (2pCi/g), ya que es un emisor beta causa poco peligro externo. (López & Pérez, 2015, p. 7 y 8).

La composición química del suelo es una mezcla de materiales sólidos, aire, agua y materia orgánica que refleja la formación geológica del área, la concentración de actividad del elemento radioactivo y de los metales pesados en el suelo depende en gran medida de la formación geológica y de la mineralización en la troposfera. (Sethy, et al., 2013, p. 29).

La distribución de radionucleidos en el suelo es de gran preocupación ya que su movilidad geoquímica les permite moverse fácilmente y contamina los diferentes componentes del ambiente, debido a la meteorización, la sedimentación y la interacción química en la corteza terrestre, los radionucleidos primordiales se encuentran en diversas concentraciones en el suelo. (Sethy, et al., 2013, p. 29) En las concentraciones de fondo, los radionucleidos de origen natural en las series de uranio, actinio y torio contribuyen aproximadamente a la mitad de la radiación externa de fondo natural (Sethy, et al., 2013, p. 29).

1.2.3 Cantidades dosimétricas

Las cantidades dosimétricas recomendadas para fines de protección radiológica y en las que los límites de dosis se expresan en el BSS (Basic Safety Standards) son la dosis efectiva E y la dosis

equivalente H_T en el tejido u órgano T. Las cantidades físicas básicas incluyen la fluencia de partícula ϕ , el kerma K y la dosis absorbida D. (IAEA, 1999, p. 3).

1.2.3.1 Dosis absorbida

La dosis absorbida D puede definirse en términos de la energía impartida ϵ . La energía impartida por la radiación a la materia con una masa m en un volumen V está definida como:

$$\epsilon = (i) - (o) + (i) - (o) + \Sigma$$

Donde (i) = es la energía radiante de partículas no cargadas entrando a un volumen V.

(i) = es la energía radiante de las partículas cargadas entrando a V.

(o) = es la energía radiante de partículas cargadas saliendo de V.

Σ = Energía neta derivada de la masa en reposo en V ($m \rightarrow E$ positivo, $E \rightarrow m$ negativo).

Se puede definir a la dosis absorbida D en cualquier punto P en un volumen V como:

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

La dosis absorbida D es el valor probable de la energía impartida para la materia por unidad de masa en un punto (Attix, 2004, pp. 29 - 30).

La magnitud de dosis absorbida es el gray(Gy) y un gray es el equivalente a la unidad de dosis equivalente Sievert (Sv), que toma la dosis física que se multiplica por un factor de evaluación que toma en cuenta la radiosensibilidad individual de los siguientes tipos de tejidos, además 1Sv es equivalente a 1J/Kg (ICRU, 2012, p. 2).

1.2.3.2 Dosis Equivalente y Dosis Efectiva

La determinación de la dosis equivalente, y por lo tanto de la dosis efectiva, implica el uso de factores de ponderación de la radiación w_R como multiplicadores de la dosis absorbida, para

reflejar el mayor detrimento resultante de una dosis absorbida dada cuando se suministra mediante radiación de transferencia de energía lineal alta (LET), en lugar de baja radiación LET (IAEA, 1999, p. 3). Los valores recomendados de w_R se basan en una revisión de la información biológica publicada y se enumeran en la Figura 1-1(IAEA, 1999, p. 3).

Valores de los factores de ponderación de la radiación w_R para el cálculo de la dosis equivalente, adoptados en las Normas Básicas de Seguridad (IAEA, 2014, p. 3)

Type and energy range ^b	Radiation weighting factor, w_R
Photons, all energies	1
Electrons and muons, all energies ^c	1
Neutrons ^d , energy:	
< 10 keV	5
10 keV to 100 keV	10
> 100 keV to 2 MeV	20
> 2 MeV to 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protons, other than recoil protons, energy > 2 MeV	5
Alpha particles, fission fragments, heavy nuclei	20

^a All values relate to the radiation incident on the body or, for internal sources, emitted from the source.

^b The choice of values for other radiations is discussed in Annex A of Ref. [I-1].

^c Excluding Auger electrons emitted from radionuclides bound to DNA, for which special microdosimetric considerations apply.

^d To assist in providing consistency in calculations, a smooth fit to the w_R values for neutrons as a function of energy is given as a mathematical relationship:

$$w_R = 5 + 17e^{-[\ln(2\epsilon)]^2/6}$$

where ϵ is the energy in MeV. See Annex A of Ref. [I-1].

FIGURA 1-1: Valores de los factores de ponderación de la radiación w_r para el cálculo de la dosis equivalente

Fuente:(IAEA, 2014, p. 3)Normas básicas de seguridad (iaea, radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards, 2014).

1.2.4 Límites de dosis para situaciones de exposición previstas

1.2.4.1 Exposición ocupacional

Para la exposición ocupacional de los trabajadores mayores de 18 años, los límites de dosis son:

A) Una dosis efectiva de 20 mSv por año (2,283 μ Sv/h); promediado en cinco años consecutivos (El comienzo del período de promedio será coincidente con el primer día del período anual pertinente posterior a la fecha de entrada en vigor de las presentes Normas, sin ningún promedio retroactivo.) (100 mSv en 5 años) y de 50 mSv en un solo año (IAEA, 2014, pp. 132, 133);

B) Una dosis equivalente a la lente del ojo de 20 mSv por año promediada en cinco años consecutivos (100 mSv en 5 años) y de 50 mSv en un solo año;

(C) Una dosis equivalente a las extremidades (manos y pies) o a la piel (Los límites de dosis equivalentes para la piel se aplican a la dosis media superior a 1 cm² de la zona más altamente irradiada de la piel. La dosis a la piel también contribuye a la dosis efectiva, siendo esta contribución la dosis media para toda la piel multiplicada por el factor de ponderación tisular para la piel.) de 500 mSv en un año. (IAEA, 2014, pp. 132-133).

Se aplican restricciones adicionales a la exposición profesional para una trabajadora que ha notificado el embarazo o está amamantando.

Para la exposición ocupacional de los aprendices de 16 a 18 años de edad que están siendo entrenados para el empleo con radiación y para la exposición de los estudiantes de 16 a 18 años que utilizan fuentes en el curso de sus estudios, los límites de dosis son (IAEA, 2014, p. 133):

(A) Una dosis efectiva de 6 mSv en un año (0,685 μ Sv/h);

(B) Una dosis equivalente a la lente del ojo de 20 mSv en un año;

(C) Una dosis equivalente a las extremidades (manos y pies) o en la piel (Los límites de dosis equivalentes para la piel se aplican a la dosis media superior a 1 cm² de la zona más altamente irradiada de la piel. La dosis a la piel también contribuye a la dosis efectiva, siendo esta contribución la dosis media para toda la piel multiplicada por el factor de ponderación tisular para la piel.) de 150 mSv en un año. (IAEA, 1999, p. 133).

1.2.4.2 Exposición pública

Para la exposición pública, los límites de dosis son:

(A) Una dosis efectiva de 1 mSv en un año (0,114 µSv/h);

(B) En circunstancias especiales (Por ejemplo, en condiciones operativas autorizadas, justificadas y planificadas que conducen a un aumento transitorio de las exposiciones.), podría aplicarse un valor más elevado de dosis efectiva en un solo año, siempre que la dosis efectiva media durante cinco años consecutivos no supere 1 mSv por año (IAEA, 2014, pp. 132, 133);

(C) Una dosis equivalente a la lente del ojo de 15 mSv en un año;

(D) Una dosis equivalente a la piel de 50 mSv en un año. (IAEA, 2014, pp. 132, 133).

2.1 Características de equipos experimentales

En la presente investigación se usaron los siguientes equipos:

2.1.1 Contador Digital Geiger-Müller modelo GCA-07W.

El dispositivo digital Geiger Müller modelo GCA-07W es un contador portable capaz de detectar y medir radiación alfa (Núcleos de helio), Beta (electrones), Gamma (Ondas electromagnéticas). Cuenta con una sonda externa, en el cual se encuentra el tubo Geiger

Müller, el contador digital tiene la capacidad de expresar la medida de radiación en cuentas por segundos (CPS) que es el número de cuentas detectada en un segundo, también puede expresar su medida en cuentas por minutos (CPM) que muestra la cantidad de cuentas acumulada en un minuto, el número de cuentas detectada es expresado en mR/h y en mSv/h. (López & Pérez, 2015, pp. 27, 28).

El contador Digital Geiger counter modelo GCA-07W ha sido calibrado con una fuente de ¹³⁷y certificado en la lectura precisa de niveles de radiación dentro del 5% de error. (López & Pérez, 2015, p. 28).

2.1.2 GPS Garmin 62s

El receptor del Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System -GPS-) marca Garmin en su versión 62s, permitió la georreferenciación de los puntos donde se tomó la medida de radiación natural. (López & Pérez, 2015, p. 28).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo describiremos las características de los equipos que se usaron en la investigación y las fases que con las que esta cuenta.

2.2 Variables dependientes e independientes

Variable independiente: Cuentas por minuto.

Variable dependiente: Dosis de radiación ocupacional.

2.3 Tipos y caracterización de pruebas experimentales

2.3.1 *Determinación de puntos muestrales*

En la ciudad de Riobamba está caracterizada por 21 minas que se muestran en las figuras en anexos. Las minas en explotación según la página del Gobierno Ecuatoriano Geoportal (Ministerio de minería, s.f.) se encuentran en la Tabla 1-2 donde podemos encontrar información detallada de ubicación, altura, así como el estado en que se encuentra la misma. Contamos con actividad minera en las parroquias rurales: San Juan, Calpi, Punín, Químiag, y Cubijés, así como en la zona urbana de Maldonado.

Tabla 1-2: Datos de ubicación y altura de las minas estudiadas.

Descripción de las minas en estudio					
Parroquia	Nombre de la mina	Coordenadas			Altura (m.s.n.m.)
San Juan	Cuiquiloma	737509 E	9826887 N	91°E	3931
	Shobol Centro	744570 E	9823370 N	263° C	3518
	6F	738777 E	9831809 N	351° N	
Calpi	Pucunpalag	750145 E	9818666 N	181° S	3248
	Cantera Calpi	749767 E	9818032 N	181° S	3273
Punin	Cacha	753402 E	9810738 N	6° N	2420
	Cacha Chuyug San Pedro	754288 E	9808756 N	339° N	2076
Quimiag	Toldo	774968 E	9815544 N	176° S	3435
	Tumba	772145 E	9818579 N	181° S	2570
	El Cisne	773869 E	9816810 N	261° C	2595
	M Top Rio Chambo	773156 E	9823088 N	181° S	2433
	Quillhan	773869 E	9817861 N	1° N	3166
	Fernando	774336 E	9821941 N	1° N	2814
Cubijes	San Antonio	768547 E	9816816 N	261° O	2492
Licán	la Esperanza	756566E	981593N	181S	2941
	Sillahuam	753553E	981731N	181S	3043
	Blanca Chico	752403 E	4816396 N	73E	2985
	Once hermanos	754475E	9817144N	107E	2984
Maldonado	Lamina 3	764711E	9815150N	138S	
	Gusqui	764081E	9816116N	243S	
	María Auxiliadora	76134E	9822320N	165S	

Realizado por: MONTESDEOCA, F. Diego A. 2017

En la tabla 1-2 se observa que la mina de Cuiquiloma en la parroquia San Juan es la más alta se encuentra a 3931m ,mientras que la mina Cacha Chuyug San Pedro que se encuentra a 2076m en la parroquia Punín es la más baja.

Una de las características que encontramos en los accesos es la falta de señalización en estas las minas, lo cual dificulta su ubicación.

En la Figura 1-2 podemos observar el catastro minero que se encuentra presente en el Geoportal del gobierno Ecuatoriano.

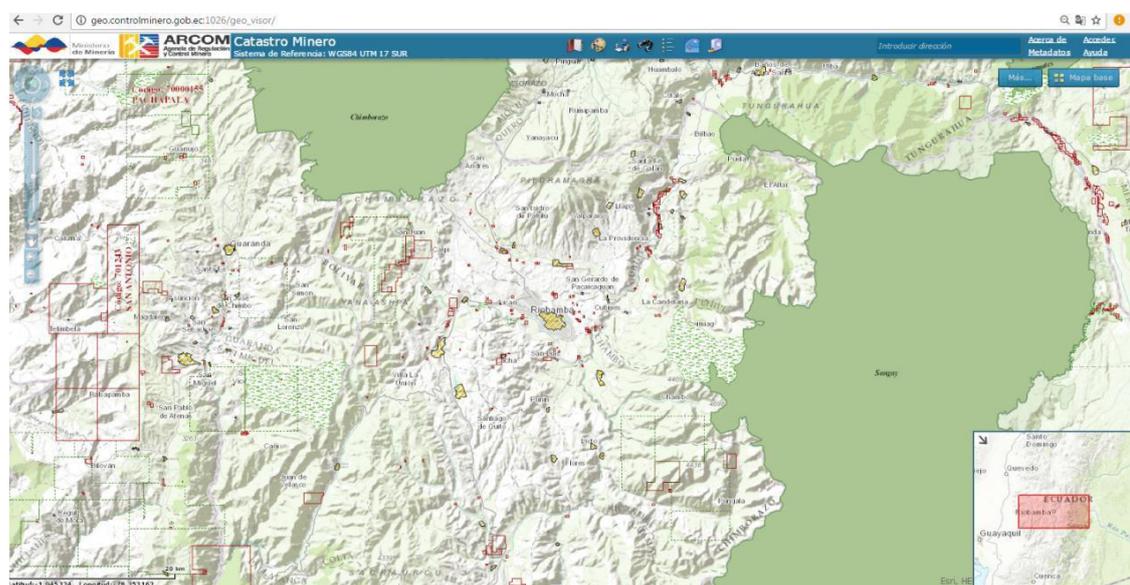


Figura 1-2: Catastro minero Riobamba.

Fuente: Ministerio de Minas Ecuador – Arcom. 2016

Tabla 2-2: Datos de condiciones laborales de las minas estudiadas.

Descripción de las minas en estudio			
Parroquia	Nombre de la mina	Hora laboral/1 día	N° trabajadores
San Juan	Cuiquiloma	8	3
	Shobol Centro	8	3
	6F	8	5
Calpi	Pucunpalag	8	No dato
	Cantera Calpi	8	5
Punin	Cacha	8	2
	Cacha Chuyug San Pedro	8	No dato
Quimiag	Toldo	8	3
	Tumba	8	5
	El Cisne	8	2
	M Top Rio Chambo	8	No dato
	Quillhan	8	3
	Fernando	8	No dato
Cubijies	San Antonio	8	No dato
Licán	la Esperanza	8	No dato
	Sillahuam	8	5
	Blanca Chico	8	3
	Once hermanos	8	No dato
Maldonado	Lamina 3	8	No dato
	Gusqui	8	No dato
	María Auxiliadora	8	3

Realizado por: MONTESDEOCA, F. Diego A. 2017

2.3.2 Recolección, organización y procesamiento de datos

La recolección de datos se realizó en los meses de Agosto y Septiembre del 2016 en días laborables en horarios de 10am a 4pm.

De cada una de las 21 minas se tomaron 9 datos de radiación los cuales fueron tomados en 3 puntos diferentes del área minera, tales puntos corresponden a los lugares donde más frecuentaba el personal que labora en estas minas, en cada mina se tomó además datos de altura y las coordenadas.

El dispositivo digital Geiger Müller modelo GCA-07W provee un valor de la tasa de dosis absorbida es decir las interacciones detectadas en un minuto, expresado en mR/h y en mSv/h. Al considerar un factor de calidad de la radiación de 1 obtenemos el valor de la tasa de dosis efectiva, por medio de la cual se evalúa el riesgo ocupacional. Por efectos prácticos en adelante denominamos dosis efectiva a la tasa de dosis efectiva.

2.3 Modelación matemática de la experimentación

Presentamos a continuación una representación esquemática de los pasos que se llevaron a cabo para poder realizar este trabajo experimental.

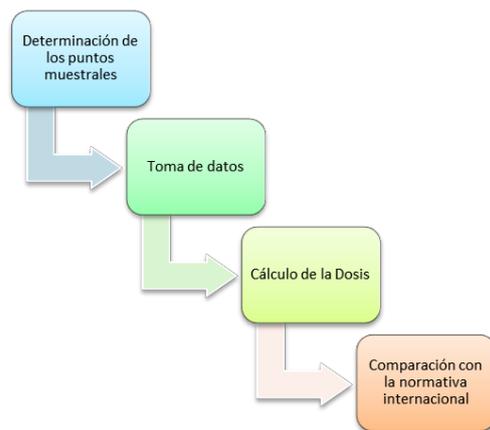


Figura 2-2: Representación gráfica del procedimiento a seguir para determinar la dosis radioactiva recibida por los trabajadores dentro de las áreas mineras en el cantón Riobamba.

Realizado Por: MONTESDEOCA, F. Diego A. 2017

En la Fig.3-1 tenemos los siguientes conceptos:

Determinación de los puntos muestrales. Reglas que se siguen con el fin de contar los puntos en un experimento cuando estos no son fáciles de listar por su cantidad.

Toma de datos. Obtención de un grupo de datos que no han sido numéricamente ordenados.

Cálculo de Dosis. Utilizando un equipo se hace mediciones para la obtención de datos para el cálculo de dosis.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Como resultado de las mediciones se han obtenido datos de dosis de radiación de cada una de las 21 minas en estudio, así como los valores de dosis por parroquia, en la tabla 1-3 se muestra la tabla de valores estadísticos provenientes de los datos recolectados por parroquia estudiada:

Tabla 1-3: Valores de Dosis efectiva por parroquia estudiada.

Valores de dosis efectiva por parroquia										
Parroquia	Val. Válidos	Val. perdidos	Media(uSv/h)	Mediana(uSv/h)	Moda(uSv/h)	Desv. típ.(uSv/h)	Varianza(uSv/h)	Rango(uSv/h)	Mínimo(uSv/h)	Máximo(uSv/h)
LÍMITE (>18 año)			2,283							2,283
LÍMITE (16 y 18 año)			0,685							0,685
EXPOSICIÓN PÚBLICA			0,114							0,114
San Juan	27	0	0,211	0,200	0,183	0,035	0,001	0,133	0,158	0,291
Calpi	18	0	0,204	0,208	0,183	0,032	0,001	0,108	0,150	0,258
Punin	18	0	0,200	0,191	0,191	0,044	0,002	0,150	0,685	0,300
Quimiag	54	0	0,161	0,157	0,150	0,044	0,002	0,216	0,075	0,291
Cubijes	9	0	0,158	0,158	0,158	0,037	0,001	0,098	0,108	0,206
Licán	36	0	0,176	0,175	0,200	0,037	0,001	0,134	0,116	0,250
Maldonado	27	0	0,171	0,166	0,150	0,038	0,001	0,133	0,108	0,241

Realizado por: MONTESDEOCA, F. Diego A. 2017

En la tabla 2-3 se muestra los valores estadísticos de Dosis efectiva de cada una de las 21 minas estudiadas:

Tabla 2-3: Valores de Dosis efectiva por mina estudiada

Valores de dosis efectiva por mina										
Mina	Val. válidos	Val. perdidos	Media (uSv/h)	Mediana (uSv/h)	Moda (uSv/h)	Desv típ (uSv/h)	Varianza (uSv/h)	Rango (uSv/h)	Mínimo(uSv/h)	Máximo (uSv/h)
LÍMITE >18 años			2,283							2,283
LÍMITE 16 y 18 años			0,685							0,685
EXP PÚBLICA			0,114							0,114
Cuiquiloma	9	0	0,222	0,225	0,241	0,024	0,001	0,067	0,183	0,250
Shobol Centro	9	0	0,197	0,188	0,183	0,028	0,001	0,084	0,166	0,250
6F	9	0	0,213	0,200	0,158	0,047	0,002	0,133	0,158	0,291
Pucunpalag	9	0	0,216	0,216	0,183	0,029	0,001	0,075	0,183	0,258
Cantera Calpi	9	0	0,191	0,183	0,175	0,032	0,001	0,100	0,150	0,250
Cacha	9	0	0,193	0,191	0,191	0,034	0,001	0,108	0,150	0,258
Cacha Chuyug San Pe	9	0	0,206	0,200	0,175	0,052	0,003	0,150	0,150	0,300
Toldo	9	0	0,179	0,175	0,158	0,038	0,001	0,125	0,125	0,250
Tumba	9	0	0,163	0,150	0,150	0,063	0,004	0,216	0,075	0,291
El Cisne	9	0	0,147	0,150	0,150	0,042	0,002	0,142	0,083	0,225
M Top Rio Chambo	9	0	0,180	0,166	0,150	0,037	0,001	0,092	0,141	0,233
Quillhan	9	0	0,148	0,156	0,158	0,031	0,001	0,117	0,083	0,200
Fernando	9	0	0,150	0,133	0,108	0,045	0,002	0,117	0,108	0,225
San Antonio	9	0	0,158	0,158	0,158	0,037	0,001	0,098	0,108	0,206
la Esperanza	9	0	0,194	0,200	0,200	0,042	0,002	0,109	0,141	0,250
Sillahum	9	0	0,179	0,158	0,225	0,037	0,001	0,092	0,133	0,225

Blanca Chico	9	0	0,159	0,158	0,125	0,029	0,001	0,075	0,125	0,200
Once hermanos	9	0	0,170	0,175	0,116	0,037	0,001	0,100	0,116	0,216
Lamina 3	9	0	0,160	0,158	0,108	0,041	0,002	0,133	0,108	0,241
Gusqui	9	0	0,178	0,166	0,141	0,036	0,001	0,092	0,141	0,233
María Auxiliadora	9	0	0,176	0,175	0,133	0,039	0,001	0,108	0,133	0,241

Realizado por: MONTESDEOCA, F. Diego A. 2017

En la Tabla 3-3 se observa los valores de la dosis efectiva acumulada en un día, un mes y un año de acuerdo al tiempo que laboran los trabajadores en las mina estudiadas. Además se presenta en algunas minas el número de trabajadores, en otras no fue posible acceder a esta información, sin embargo este último dato no afecta al cálculo de la dosis efectiva acumulada.

Tabla 3-3: **Valores de dosis efectiva acumulada en el tiempo.**

Valores de dosis efectiva acumulada en el tiempo						
Minas	Horas laborables/1 día	Nº trabajadores	Media dosis efectiva(uSv/h)	Dosis(uSv)/día	Dosis(uSv)/mes	Dosis(uSv)/año
LÍMITE (>18 años)						20000
LÍMITE (entre 16 y 18 años)						6000
EXPOSICIÓN PÚBLICA						1000
Cuiquiloma	8	3	0,222	1,774	35,484	425,813
Shobol Centro	8	3	0,197	1,572	31,449	377,387
6F	8	5	0,213	1,708	34,151	409,813
Pucunpalag	8	No dato	0,216	1,731	34,613	415,360
Cantera Calpi	8	5	0,191	1,532	30,631	367,573
Cacha	8	2	0,193	1,542	30,844	370,133
Cacha Chuyug San Pedro	8	No dato	0,206	1,652	33,031	396,373
Toldo	8	3	0,179	1,436	28,711	344,533

Tumba	8	5	0,163	1,301	26,027	312,320
El Cisne	8	2	0,147	1,180	23,591	283,093
M Top Rio Chambo	8	No dato	0,180	1,442	28,836	346,027
Quillhan	8	3	0,148	1,187	23,733	284,800
Fernando	8	No dato	0,150	1,197	23,947	287,360
San Antonio	8	No dato	0,158	1,263	25,262	303,147
la Esperanza	8	No dato	0,194	1,554	31,076	372,907
Sillahuam	8	5	0,179	1,436	28,711	344,533
Blanca Chico	8	3	0,159	1,273	25,458	305,493
Once hermanos	8	No dato	0,170	1,362	27,236	326,827
Lamina 3	8	No dato	0,160	1,279	25,582	306,987
Gusqui	8	No dato	0,178	1,427	28,533	342,400
María Auxiliadora	8	3	0,176	1,405	28,107	337,280

Realizado por: MONTESDEOCA, F. Diego A. 2017

3.1 Análisis e interpretación de resultados

Al observar los valores de la media de las mediciones de la dosis efectiva tomadas en las minas en estudio (Figura 4 y 6) se observa que ningún dato alcanza el límite de dosis efectiva recomendada por el Organismo Internacional de Energía Atómica: 20 mSv por año (2,283 μ Sv/h) para la exposición ocupacional de los trabajadores mayores de 18 años (IAEA, 2014, pp. 132-133); Ni de 6 mSv en un año (0,685 μ Sv/h) para la exposición ocupacional de los aprendices de 16 a 18 años de edad que están siendo entrenados para el empleo con radiación y para la exposición. (IAEA, 1999, p. 133). Para el caso de la exposición pública sin embargo los valores superan el límite establecido.

En la Figura 5 y 7 observamos la comparación entre los valores máximos de dosis efectiva en las minas de estudio con los límites de dosis donde podemos apreciar que ningún máximo se acerca si quiera a los valores límite, En este análisis los límites de exposición pública también son superados lógicamente.

Según el criterio anterior de análisis podríamos concluir que existe un riesgo para el público expuesto, pero al considerar que el trabajador se encuentra en las minas sólo 8 horas por día y 5 días a la semana, podemos tener la certeza que la dosis efectiva acumulada para cada trabajador es la cantidad que al compararse con el límite de dosis establecido por el organismo internacional nos permite evaluar el riesgo radiológico. Así pues, en la Figura 8 podemos apreciar que los valores de dosis efectiva acumulada en un año en las minas en estudio no alcanzan el límite de dosis (1000 μ Sv/año) para la exposición pública (IAEA, 2014, pp. 132-133).

3.2 Curvas características de la experimentación



Figura 1-3: Gráfico de comparación de los valores medios de la dosis efectiva por parroquia con los límites impuestos por el Organismo Internacional de Energía Atómica.

Elaborado por: MONTESDEOCA, F. Diego A. 2017

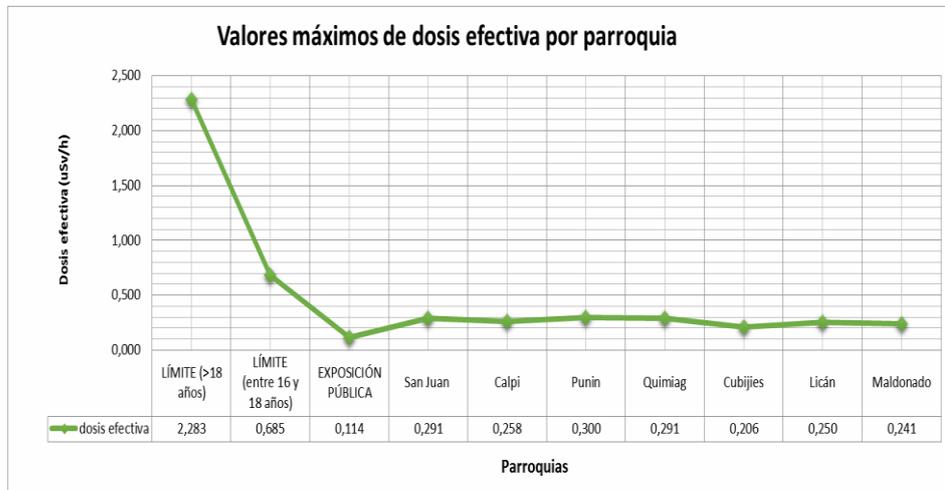


Figura 2-3: Gráfico de comparación de los valores máximos de la dosis efectiva por parroquia con los límites impuestos por el Organismo Internacional de Energía Atómica. **Elaborado por:** MONTESDEOCA, F. Diego A. 2017



Figura 3-3: Gráfico de comparación de los valores medios de la dosis efectiva por mina estudiada con los límites impuestos por el Organismo Internacional de Energía Atómica.

Elaborado por: MONTESDEOCA, F. Diego A. 2017

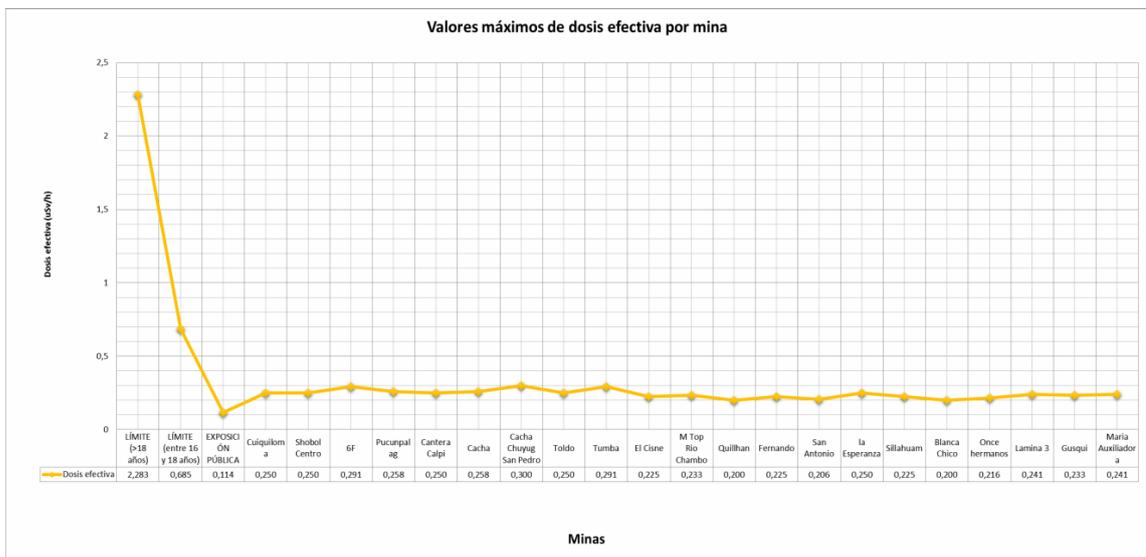


Figura 4-3: Gráfico de comparación de los valores máximos de la dosis efectiva por mina estudiada con los límites impuestos por el Organismo Internacional de Energía Atómica.

Elaborado por: MONTESDEOCA, F. Diego A. 2017

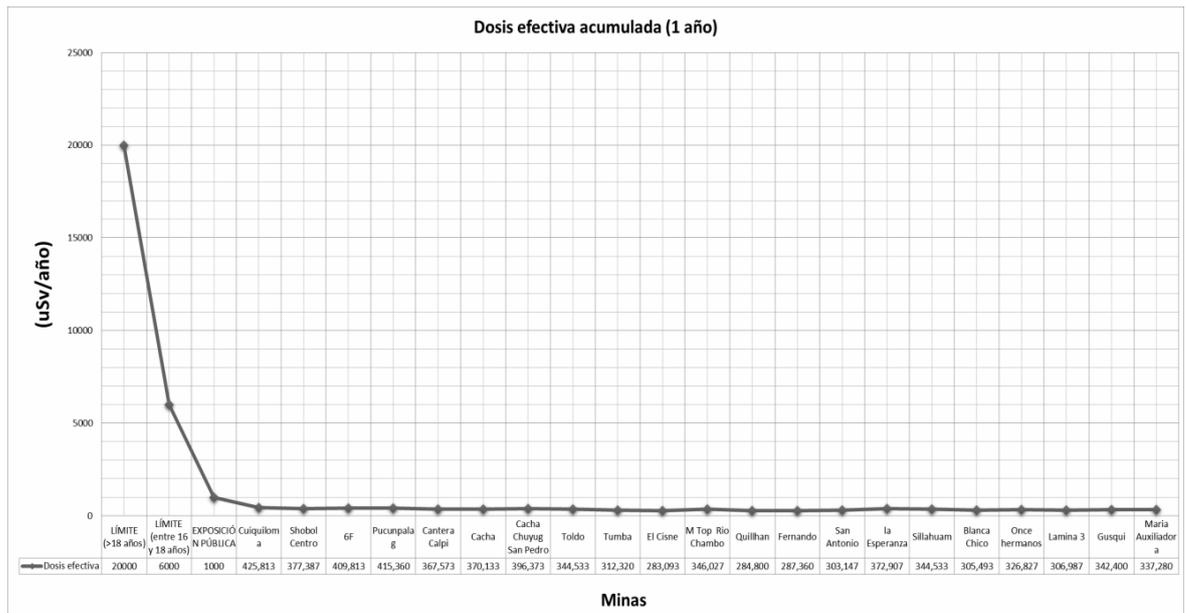


Figura 5-3: Valores de dosis efectiva acumulada en un año en las minas en estudio

Elaborado por: MONTESDEOCA, F. Diego A. 2017

CONCLUSIONES

De la revisión bibliográfica consultada referente a las minas sobre la Dosis Radioactiva se determina que en el Ecuador no existen estudios realizados de Dosis Recibida. Sin embargo existen estudios bajo este enfoque en una mina de oro en Ghana y se obtuvo un valor de dosis efectiva de 0,69mSv/año, con ese valor se descartó la posibilidad de riesgo radiológico en el Tongo región en el este de Ghana se realizó un estudio donde se obtuvo un valor máximo de dosis efectiva de 0,68mSv/año, descartando el riesgo ocupacional.

Los resultados obtenidos de la investigación en el Cantón Riobamba fueron 21 minas en explotación, que se encuentran en 7 parroquias. Las mediciones se realizaron en 3 puntos de por cada área minera con un total de 9 datos con los cuales se obtuvo una media que representa a cada área minera. Tales puntos representan los extremos y el centro del lugar donde trabajan las personas.

Los resultados de dosis efectiva acumulada en un año obtenidos en las minas de la ciudad de Riobamba (el mayor valor es de 425,813 uSv/año en la mina Culquiloma) con los valores límite de dosis efectiva establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica (1000 uSv/año(IAEA, 2014, p. 32)) podemos concluir que ninguna mina presenta un riesgo para el personal ocupacionalmente expuesto.

Ya que ningún valor acumulado registró un valor elevado de dosis efectiva con respecto al límite de dosis establecido por el Organismo Internacional de Energía Atómica, tanto para la exposición ocupacional de los trabajadores mayores de 18 años (20000 uSv/año), y tampoco superó los límites para la exposición pública (1000 uSv/año)(IAEA, 1999),se descarta la posibilidad de existencia de materiales radioactivos que puedan ser considerados un riesgo para la salud humana.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar este estudio en otras zonas mineras del país con el fin de descartar un posible riesgo de exposición fuera de los límites permitidos que puedan amenazar la salud humana.

Se recomienda ampliar el presente estudio con otros métodos experimentales con el fin de conocer más específicamente los elementos que contribuyen con la dosis efectiva detectada.

BIBLIOGRAFÍA

ADEMOLA, Adeleke. et all. Determination of natural radioactivity and hazard in soil samples in and around gold mining area in Itagunmodi, south-western, Nigeria. Nigeria. Journal of Radiation Research and Applie Sciences. 2014. pp. 249 - 250.

ATTIX, Frank. Introduction to radiological physics and radiation dosimetry. Madison Wisconsin EEUU. Heppenheim: Wiley.2004. pp. 29 - 30

COLCHA, Maria . Dosimetría de radón, en viviendas con diferentes materiales de construcción.[Tesis Pregrado] .Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Fisica y Matematica. Riobamba. Ecuador. 2005. pp. 40 - 45. [Consulta:26 de junio de 2016] .

DOYI, Israel. et all. Assessment of occupational radiation exposure in underground artisanal gold mines in Tongo, Upper East Region of Ghana. Ghana. Journal of Environmental Radioactivity - Elseiver.2013. p. 77.

AUSTRIA. AGENCY INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY (IAEA).Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation. Vienna. International Atomic Energy Agency.1999. p. 3

AUSTRIA. AGENCY INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY (IAEA).Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Vienna. International Atomic Energy Agency. 2014.pp. 132, 133

REINO UNIDO. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION PROTECTION (ICRP). Protection Commission on Radiological Protection. Report No. 82 . OXFORD. REINO UNIDO. ICRP. 1999.p. 1.

REINO UNIDO. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION PROTECTION (ICRP). Fundamental quantities and units for ionizing radiation.OXFORD. REINO UNIDO. ICRP. 2012.p.12

LÓPEZ, Wilson. & PÉREZ, Mario. Determinación de la radiación natural en la provincia de Chimborazo. [Tesis Pregrado]. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Física y Matemática. Riobamba. Ecuador. (2015) p. 26. [Consulta: 26 de Agosto de 2016] <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4800/1/86T00021%20UDCTFC.pdf>

ECUADOR. MINISTERIO DE MINERÍA. 2016. Catastro Minero Ecuador. (2016). [Web]. [Consulta: 20 de noviembre de 2016] Recuperado de: http://geo.controlminero.gob.ec:1026/geo_visor/

ESTADOS UNIDOS. NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS (NCRP). Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. Issue Report No. 60. EEUU. 2009. pp. 255-256.

NIU, Shengli. Radiation protection of workers. Geneva. Suecia. International Labour Organization. 2011. p. 4

PICHISACA, Carmen. Cuatificar los niveles de radón en ambientes de dormitorios en la parroquia Victoria de Portete en construcciones que contengan diferentes tipos de materiales. [Tesis Pregrado]. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba. Ecuador. 2006. pp. 20 - 23

RAMOS, María. Propuesta de reducción de los niveles de radón en construcciones de cemento armado. [Tesis Pregrado]. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Física y Matemática. Riobamba. Ecuador. 2008. pp. 30 - 32.

[Consulta: 26 de junio de 2016]

Recuperado de: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/62/1/17T0905.pdf>

SETHY, Nk. et al. Assessment of naturally occurring radioactive materials in the surface soil of uranium mining area of Jharkhand, India. Journal of Geochemical Exploration. India. Elsevier. 2013. p. 29.

SPEELMAN, Wilcot. MODELLING AND MEASUREMENT OF RADON DIFFUSION THROUGH SOIL FOR APPLICATION ON MINE TAILINGS DAMS. South Africa. University of the Western Cape. 2004. p. 5

ESTADOS UNIDOS. UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR). Biological mechanisms of radiation at Low doses. Volumen I. NEW YORK. EEUU. UNSCEAR.2012. p. 7.

ANEXOS

Cantera Lamiña.



Elaborado por: Montesdeoca F. Diego A. 2017

Cantera Shobol Central.



Elaborado por: Montesdeoca F. Diego A. 2017

Cantera minera "Rio Chambo".



Elaborado por:Montesdeoca F. Diego A. 2017

Cantera minera "Calpi".



Elaborado por:Montesdeoca F. Diego A. 2017

Cantera minera "María Auxiliadora".



Elaborado por:Montesdeoca F. Diego A. 2017

Cantera minera "6F".



Elaborado por:Montesdeoca F. Diego A. 2017

Cantera minera "Blanca Chico".



Elaborado por:Montesdeoca F. Diego A. 2017

Cantera minera "Cacha".



Elaborado por:Montesdeoca F. Diego A. 2017

Cantera minera "El Cisne".



Elaborado por:Montesdeoca F. Diego A. 2017

Cantera minera "Fernando".



Elaborado por:Montesdeoca F. Diego A. 2017

Cantera minera "6F".



Elaborado por: Montesdeoca F. Diego A. 2017

OPK