



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

**DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ABSORBIDA GAMMA EN LA
CONSECIÓN MINERA ASONAMBILE DE ZAMORA CHINCHIPE.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

FÍSICA

AUTOR:

MARÍA JOSÉ CHICAIZA PUMASUNTA

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

**DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ABSORBIDA GAMMA EN LA
CONSECIÓN MINERA ASONAMBILE DE ZAMORA CHINCHIPE.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

FÍSICA

AUTOR: MARÍA JOSÉ CHICAIZA PUMASUNTA

DIRECTOR: DR. CELSO GUILLERMO RECALDE MORENO

Riobamba – Ecuador

2023

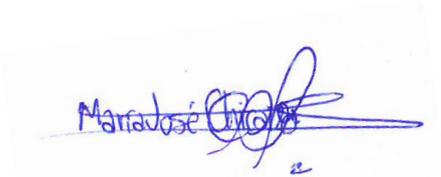
© 2023, María José Chicaiza Pumasunta

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.

Yo, María José Chicaiza Pumasunta, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 22 de noviembre de 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'María José Chicaiza Pumasunta', with a stylized flourish extending to the right.

María José Chicaiza Pumasunta

050289863-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA FÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ABSORBIDA GAMMA EN LA CONSECIÓN MINERA ASONAMBILE DE ZAMORA CHINCHIPE**, realizado por la señorita: **MARÍA JOSÉ CHICAIZA PUMASUNTA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Dr. Arquimides Xavier Haro Velastegui
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

2023-11-22

Dr. Celso Guillermo Recalde Moreno
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

2023-11-22

Dra. Azucena Nataly Bonilla García
**ASESORA DEL TRABAJO DE
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

2023-11-22

DEDICATORIA

Este trabajo va dirigido a Dios, por permitirme llegar hasta aquí. A mis padres Rubén y Adriana, quienes me han guiado por el buen camino y pese a mis errores, nunca me han dejado sola, estoy realmente agradecida de poder ser su hija. A mis hermanas y amigos quienes constantemente supieron demostrarme su cariño de varias maneras e hicieron realmente amena esta etapa de mi vida. A mi amuleto de la suerte, Hope, porque me acompañó en las noches más solitarias y me dio un motivo para seguir cuando más lo necesitaba. Finalmente, y en especial, a mi novio Fernando y a mi hija Alejandra por ser mi soporte para nunca desistir, este es solo el primer logro de muchos que conseguiremos como familia.

María

AGRADECIMIENTO

Un sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas y brindarme un ambiente idóneo para sentirme a gusto mientras me formaba profesionalmente. A mi director y mi asesora, Dr. Celso Recalde y Dra. Nataly Bonilla, quienes con mucha paciencia me brindaron sus recomendaciones y asesoría constante para poder culminar este trabajo. Finalmente, al Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA) por permitirme trabajar y aprender con ellos, en especial al Biofísico Gilson Pucha quién fue fundamental para la redacción y elaboración de este proyecto.

María

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY / ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.2. Problema General de Investigación.....	2
1.3. Problemas específicos de investigación.....	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.5. Justificación.....	3
1.5.1. <i>Justificación teórica</i>	3
1.5.2. <i>Justificación metodológica</i>	3
1.5.3. <i>Justificación práctica</i>	4

CAPÍTULO II

2. Marco teórico.....	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.2. Referencias teóricas.....	6
2.2.1. <i>Radiación ionizante natural en zonas mineras: fuentes y tipos de radiación</i>	6

2.2.2. Exposición	10
2.2.3. Medidas de dosis de radiación ionizante	12
2.2.4. Evaluación de la exposición a la radiación ionizante en zonas mineras: métodos y técnicas	15
2.2.5. Afecciones en la salud producidas por la radiación ionizante	17
2.2.6. Protección de los trabajadores de minas contra la radiación.....	18

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	19
3.1. Enfoque de investigación	19
3.2. Nivel de Investigación.....	19
3.3. Diseño de investigación	19
3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente	19
3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo	19
3.4. Tipo de estudio.....	19
3.5. Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	19
3.5.1. Población.....	19
3.5.2. Localización de estudio	20
3.5.3. Muestra	21
3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	22
3.6.1. Metodología previa al monitoreo	22
3.6.2. Instrumentos de medición	22
3.6.3. Métodos y técnicas durante el monitoreo	24
3.6.4. Tabulación de datos	28

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	32
4.1. Resultados	32

4.1.1. Mapa de dosis absorbida	32
4.1.2. Mapa de dosis efectiva	33
4.2. Interpretación de resultados	34
4.2.1. Interpretación de las mediciones obtenidas con el contador Ludlum	34
4.2.2. Interpretación de los mapas	34
4.3. Discusión	36
CONCLUSIONES	38
RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Propagación y efectos de los tipos de radiación ionizante.....	9
Tabla 2-2: Estimación de la dosis efectiva equivalente anual procedente de fuentes de radiación natural en áreas de fondo normal.....	11
Tabla 3-2: Factores de ponderación de la radiación	13
Tabla 4-2: Factores de ponderación de algunos tejidos u órganos.....	14
Tabla 5-2: Magnitudes de dosis, procesos físicos y unidades de la radiación ionizante.	14
Tabla 6-3: Descripción de instrumentos, herramientas, equipos y software utilizados.	24
Tabla 7-3: Datos obtenidos después de las mediciones tomadas en ASONAMBILE.....	28

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Diferencia entre la radiación ionizante y no ionizante.....	7
Ilustración 2-2: Porcentajes de fuentes de radiación ionizante.....	11
Ilustración 3-2: Centellador de NaI (TI) marca LUDLUM modelo 44-10.....	16
Ilustración 4-2: Energía de respuesta del centellado, marca Ludlum, modelo 44-10.....	17
Ilustración 5-3: Mapa de la ubicación de las minas de Nambija.....	20
Ilustración 6-3: Puntos de muestreo en ASONAMBILE.....	21
Ilustración 7-3: Tacímetro multidetector marca LUDLUM modelo 3003.....	23
Ilustración 8-3: Puntos tentativos de medición generados sistemáticamente por ArcMap.....	26
Ilustración 9-3: Puntos de monitoreo exactos en los que se realizaron las mediciones establecidas.....	27
Ilustración 10-3: Mapa de la concentración de dosis absorbida medida en uSv/h en la concesión minera ASONAMBILE.....	32
Ilustración 11-3: Mapa de la concentración de dosis efectiva anual medida en mSv/a en la concesión minera ASONAMBILE.....	33
Ilustración 12-3: Mapa de las áreas de la concentración de dosis absorbida en la concesión minera ASONAMBILE.....	35
Ilustración 13-3: Mapa de las áreas de la concentración de efectiva anual en la concesión minera ASONAMBILE.....	36

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2: conversión de Curie a Bequerelio.....	12
Ecuación 2-2: ecuación de dosis absorbida.	12
Ecuación 3-2: Ecuación de dosis equivalente.....	13
Ecuación 4-2: Ecuación de dosis efectiva.	13
Ecuación 5-3: Ecuación para calcular el valor de la dosis absorbida promedio.....	30
Ecuación 6-3: Tasa de dosis de radiación gamma externa.....	30
Ecuación 7-3: Tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre.	31
Ecuación 8-3: Tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre.	34

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: METODOLGÍA DE MEDICIÓN DE LA DOSIS ABOSRBIDA

ANEXO B: MONITOREO EN LA CONCESIÓN MINERA ASONAMBILE DE ZAMORA
CHINCHIPE

ANEXO C: PUNTOS REFENCIALES SEÑALADOS POR EL GPS

ANEXO D: GEOGRAFÍA DEL SUELO QUE DIFICULTÓ TOMAR MEDICIONES EN LOS
PUNTOS SEÑALADOS EN Ilustración 8-3

RESUMEN

La concesión minera ASONAMBILE de Zamora Chinchipe no cuenta con información referente a la dosis absorbida gamma que perciben sus trabajadores y pobladores de manera anual, por ello, el objetivo de la presente investigación fue estimar la dosis absorbida gamma en la concesión minera ASONAMBILE con el fin de verificar si dicha dosis sobrepasa los promedios mundiales establecidos. Haciendo uso de un detector centellador LUDLUM-440 se realizó un monitoreo a lo largo del área de interés en 19 puntos específicos, mismos que fueron generados de manera sistemática con el software Arcmap y se midieron a una distancia vertical de 1 metro del suelo. Con los resultados obtenidos, haciendo uso del software ArcGis, se diseñaron 2 proyecciones que reflejan, mediante mapas radiométricos, la dosis absorbida gamma y la dosis efectiva anual representando sus valores mediante la variación de intensidad del color de los mapas. Se determinó que la dosis absorbida gamma corresponde a 0,08 $\mu\text{Sv/h}$ en la parte Norte, 0,125 $\mu\text{Sv/h}$ en la parte Sur, solo ciertas zonas del noreste y noroeste tienen un valor de 0,145 $\mu\text{Sv/h}$, y solo unas pequeñas zonas de la parte Sureste y norte poseen un valor de 0.08 $\mu\text{Sv/h}$. El cálculo del promedio de dosis mundial establecido por el (Consejo de Seguridad Nuclear, 2010) dejó entrever que los límites anuales de dosis por radiación no deben rebasar los 20 mSv/año. Las medidas obtenidas, si bien es cierto, sobrepasan el promedio mundial, no representan un riesgo significativo ya que lo hacen en un grado intrascendente, más bien, deben su incertidumbre a que las mediciones no pudieron ser controladas en su totalidad, especialmente por aportes de la radiación cósmica e influencia de la lluvia. Como recomendación, se indica reducir el tiempo de exposición dentro de las minas para evitar sobrepasar los límites.

Palabras clave: <DOSIS ABSORBIDA>, <CENTELLADOR>, <RADIACIÓN GAMMA>, <ASONAMBILE>, <RADIACIÓN IONIZANTE NATURAL>

1168-DBRAI-UPT-2024



SUMMARY / ABSTRACT

The ASONAMBILE mining concession in Zamora Chinchipe does not have information regarding the absorbed gamma dose perceived by its workers and residents on an annual basis. Therefore, the objective of this investigation was to estimate the absorbed gamma dose in the ASONAMBILE mining concession in order to verify whether said dose exceeds the established world averages. Using a LUDLUM-440 scintillator detector, monitoring was carried out throughout the area of interest in 19 specific ports, which were systematically generated with the ArcMap software and measured at a vertical distance of 1 meter from the ground. With the results obtained, using the ArcGis software, 2 projections were designed that reflect, through radiometric maps, the absorbed gamma dose and the annual effective dose, representing their values through the variation in color intensity of the maps. The gamma absorbed dose was determined to be 0.08 $\mu\text{Sv/h}$ in the north, 0.125 $\mu\text{Sv/h}$ in the south, only certain areas in the northeast and northwest have a value of 0.145 $\mu\text{Sv/h}$, and only small areas in the southeast and north have a value of 0.08 $\mu\text{Sv/h}$. The calculation of the average world dose established by the (Nuclear Safety Council, 2010) suggested that the annual radiation dose limits should not exceed 20 mSv/year. The measurements obtained, although it is true, exceed the world average, do not represent a significant risk since they do so to an inconsequential degree; rather, their uncertainty is due to the fact that the measurements could not be fully controlled, especially due to contributions from cosmic radiation and the influence of rain. It is recommended to reduce exposure time inside mines to avoid exceeding the limits.

Keywords: <ABSORBED DOSE>, <SCENTELLATOR>, <GAMMA RADIATION>, <ASONAMBILE>, <NATURAL IONIZING RADIATION>

1168-DBRAI-UPT-2024



Lic. Luis Armando Quishpe Hipo, Mgs.

C.I. 0102801016

DOCENTE INGLÉS CARRERA DE FÍSICA

INTRODUCCIÓN

La radiación ionizante natural es un fenómeno presente en zonas mineras que han despertado interés debido a sus posibles efectos en la salud humana. Los materiales radiactivos naturales, como el potasio-40 (^{40}K) y el uranio-238 (^{238}U), han existido desde la formación de la Tierra y se encuentran presentes en minerales ricos en uranio o torio (Consejo de Seguridad Nacional, 2020). La radiación gamma que emiten estos materiales está directamente relacionada a las condiciones geográficas, geológicas y a la altitud. Una concentración alta puede tener efectos en la salud de las personas que viven o trabajan en zonas mineras.

Este trabajo se efectuó como un trabajo de campo mediante un viaje a la concesión minera ASONAMBILE de Zamora Chinchipe realizado el 1 de marzo de 2023, previamente se definieron los puntos mediante la herramienta de Fishnet del software Arcmap 10.3 que generó un muestreo sistemático con una distancia entre puntos de 200 m logrando obtener 19 puntos dentro de un área de 0,68 km². El monitoreo se llevó a cabo haciendo uso de un medidor digital (modelo 3003, marca Ludlum) conectado a un detector gamma tipo centellador de NaI(Tl) (modelo 44-10, marca Ludlum) que, de manera vertical, distaba un metro del suelo respetando la metodología que se detallará posteriormente. En este trabajo, se explorará la radiación ionizante natural en zonas mineras, sus fuentes, los posibles efectos en la salud humana y las medidas de protección que se podrían implementar. El objetivo de esta investigación fue proporcionar una visión integral de la radiación ionizante natural en la zona minera ASONAMBILE, con el fin de generar conciencia sobre los riesgos asociados y promover prácticas seguras en la industria minera. A través del análisis de datos tomados en la zona en cuestión, se elaboró un mapa radiométrico capaz de señalar las concentraciones de dosis absorbida gamma en el ambiente con la finalidad de determinar si estos valores representan algún problema significativo para los pobladores.

La estructura del presente trabajo se divide en cuatro capítulos: el capítulo I se enfoca en el trasfondo de la investigación, misma que señala la problemática que se busca resolver. El capítulo II describe detalladamente los antecedentes en los que se basó la investigación y da un puntual marco teórico que abarca la teoría que se debe conocer para la correcta comprensión del tema. En el capítulo III se trata toda la metodología que se usó pre, durante y post monitoreo. Finalmente, es el capítulo IV el encargado de presentar los resultados obtenidos complementados con su correcto análisis y discusión para poder especificar las conclusiones del trabajo.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

Una de las principales fuentes de exposición a la radiación ionizante corresponde a la radiación gamma ambiental (Consejo de Seguridad Nacional, 2020). Esta puede tener relación con la geología y geografía del sector, por tanto, los niveles de radiación gamma varían de un lugar a otro. En lugares donde se realizan actividades extractivas, los niveles de radiación gamma incrementan debido a las toneladas de material proveniente de la corteza terrestre ya que aquí es donde se encuentra una mayor concentración de radionucleidos naturales (UNSCEAR, 2008).

El (GAD MUNICIPAL DE ZAMORA, 2018) expresó que Nambija es una de las áreas mineras en las cuales los relaves se desechan directamente al río. El mal manejo de estos relaves puede provocar que sean acumulados contribuyendo significativamente a un aumento en la dosis absorbida de radiación gamma recibida por seres vivos, de igual manera, puede ser transferido a las plantas por la absorción de agua y nutrientes a través de las raíces, por lo cual aumenta la exposición de la población cuando son ingeridos y tienden a concentrarse en lugares poblados (Real, 2010).

En Ecuador, las investigaciones en zonas mineras destacadas como la concesión minera ASONAMBILE de Zamora Chinchipe son escasas, esta falta de información previa sobre los niveles de radiación gamma supone un riesgo debido a que no se conoce la medida real de dosis absorbida.

1.2 Problema General de Investigación

¿Variarán significativamente las mediciones de dosis absorbida gamma en la zona minera ASONAMBILE dependiendo de la geología y geografía de cada punto de muestreo?

1.3 Problemas específicos de investigación

¿Se aproximará lo suficiente la dosis absorbida gamma obtenida de manera práctica en la zona minera ASONAMBILE con los valores teóricos estimados?

¿Representará un riesgo para la salud de los pobladores del sector la exposición por radiación gamma en la zona minera ASONAMBILE?

¿Permitirá un mapa radiométrico establecer con claridad las zonas con mayor exposición de radiación gamma en la concesión minera ASONAMBILE?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar la dosis absorbida gamma en la concesión minera ASONAMBILE de Zamora Chinchipe.

1.4.2 Objetivos específicos

- Establecer los puntos de muestreo representativo en la concesión minera ASONAMBILE mediante el software Arcmap 10.3.
- Medir los niveles de radiación gamma a la que están expuesta la población de la concesión minera ASONAMBILE empleando un medidor de campo.
- Diseñar un mapa radiométrico de los niveles de radiación gamma en la concesión minera ASONAMBILE de la provincia de Zamora Chinchipe.

1.5 Justificación

1.5.1 Justificación teórica

En el presente trabajo, se propone brindar información acerca de la radiación gamma producida por la presencia de radionucleidos de origen natural considerando sus efectos en la salud según el nivel de exposición al que se someta el individuo mediante la recopilación de investigaciones similares previas que fundamenten el desarrollo del estudio. Dichas investigaciones comprueban que hay elementos radiactivos en zonas mineras y, en consecuencia, teóricamente, evidencian la existencia de radiación gamma.

1.5.2 Justificación metodológica

Se hará uso de la metodología descrita en los antecedentes en una zona en la que no se ha utilizado antes. Mediante el software Arcmap se establecerán puntos de muestreo de manera sistemática dentro del área de estudio. Una vez determinados dichos puntos, se realizarán las mediciones de radiación gamma en cada zona mediante un centellador DE NaI (TI) marca LUDLUM 44-10. Las mediciones obtenidas proporcionarán datos suficientes para elaborar un mapa radiométrico de la zona monitoreada.

1.5.3 Justificación práctica

La presente investigación beneficia a la población de Nambija localizada dentro de la concesión minera ASONAMBILE puesto que no existe información previa que permita estimar los niveles de dosis absorbida gamma y de dosis efectiva anual, las cuales están delimitadas por estándares internacionales.

El desarrollo de un estudio radiométrico en la concesión minera es necesario debido a la escasa información referente a monitoreos y análisis radiométricos en los relaves. En los últimos años, se ha sugerido realizar estudios radiométricos en lugares estratégicos del país, pues existe interés del organismo de control y ministerios encargados en brindar apoyo técnico en estos estudios que son necesarios para evaluar riesgos a la salud.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

La minería consiste en la extracción de minerales específicos existentes en la corteza terrestre tales como el oro, la plata, el cobre, entre otros. El Distrito Minero de Nambija se descubrió a principios de los años 80 y con prontitud se estableció como un centro de “fiebre de oro” con más de 20.000 personas trabajando allí. El área consta de rocas volcano-sedimentarias con intrusiones de granodiorita (Vélez, 2017), sus mineralizaciones están relacionadas con las intrusiones y aparecen en la andesita como yacimientos irregulares de sulfuro-skarn o como sulfuros en vetas de cuarzo (Aillón, 2016). Al presente, Nambija ha alcanzado reconocimiento por ser un distrito minero de pequeña proporción al que se ha denominado ASONAMBILE (Asociación de Producción Minera Nambija Legendaria). La minería en este sector es de tipo artesanal y la recuperación de oro es deficiente. La fácil disposición de los recursos en este sector ha sido una causa para una explotación irracional y antitécnica utilizando métodos deficientes y sobre todo perjudiciales tanto para el ser humano como para el medio ambiente.

La fundamentación teórica se basará principalmente en aquellos estudios similares que sirvan como orientación sobre las consideraciones que se deben tomar en cuenta antes de llevar a cabo la investigación. Environmental Terrestrial Gamma Radiation Dose and its Relationship with Soil Type and Underlying Geological Formations in Pontian District, Malaysia Introduction desarrollada por (Ramli, 1997) es de los primeros trabajos en estudiar la radiación gamma ambiental, esta determinó que la geología del lugar tiene incidencia en las mediciones tomadas. Mediante el uso de dos detectores: un centellador de NaI y un detector Geiger-Müller se compararon las mediciones obtenidas concluyendo que las zonas acuosas son aquellas que tuvieron el valor más alto medido el cual fue equivalente a 67 nGy, solo 3 nGy por debajo del límite global establecido.

(Sanusi et al., 2014) desarrolló un estudio similar en Kuala Lumpur, Malasia, estableciendo que existe una fuerte correlación entre la tasa de dosis, la geología del lugar y los tipos de suelo. Se resalta que, dado que los suelos estudiados fueron afectados por procesos de meteorización de rocas, la abundancia de los radionucleidos también dependió de la geología del lugar. (Abba et al., 2017) que trabajaron en Nigeria, llegaron a la misma conclusión: existe relación entre la dosis de radiación gamma y las formaciones geológicas.

(Njinga & Tshivhase, 2016) estudiaron una mina de oro en Sudáfrica, encontraron dosis de radiación gamma que estaban significativamente por encima del rango mundial, esto explicó porque en la zona en la que se desarrolló la investigación se registraban tantos casos de personas con cáncer; en comparación con el promedio mundial, en esta zona, el riesgo de cáncer a lo largo de la vida se duplica llegando incluso a triplicarse. El mapeo ejecutado por (Saini y Bajwa, 2017) tiene un estudio con objetivos muy similares a los de esta investigación. Los niveles de actividad del ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K de las muestras recolectadas en Punjab, India se presentan en un mapa por cada radionucleido.

Finalmente (Alomari et al., 2019) reveló que, en Jordania, la radiación gamma del lugar de estudio tuvo un valor medio de 90 nGy/h, lo que está por encima del promedio mundial de 59 nGy/h. Determinaron que la variación de mediciones se debió a las diferentes formaciones geológicas del lugar y a los diversos tipos de suelos. Fue uno de los primeros estudios en implementar el software Arcmap como método sistemático para determinar los puntos de medición y realizar los mapas digitales mismos que servirían como referencia para la central nuclear que se tiene planeado establecer en la zona en el futuro. Es este último estudio el que permitirá replicar la metodología necesaria mediante el software Arcmap para el desarrollo de este trabajo de titulación.

2.2 Referencias teóricas

2.2.1 Radiación ionizante natural en zonas mineras: fuentes y tipos de radiación

La radiación ionizante natural es un tipo de radiación presente en la naturaleza que rodea a todo ser vivo. Conjuntamente con la radiación cósmica, también se producen radiaciones ionizantes debido a materiales radiactivos de origen natural presentes en la corteza terrestre (Consejo de Seguridad Nacional, 2020). Estos elementos naturales, tales como el potasio-40 (^{40}K) y el uranio-238 (^{238}U) presentan un conjunto de ondas electromagnéticas y partículas que tienen suficiente energía para alejar los electrones de los átomos y moléculas ocasionando cambios en las propiedades químicas del material (US EPA, 2021). Al tener la mayor cantidad de energía dentro del espectro electromagnético, esta radiación abarca desde la radiación ultravioleta hasta la radiación gamma (Ilustración 1-2). La radiación de energía que provoca la ionización tiene un límite inferior para la radiación ionizante que está entre los 10 Kiloelectronvoltios (KeV) (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2021).

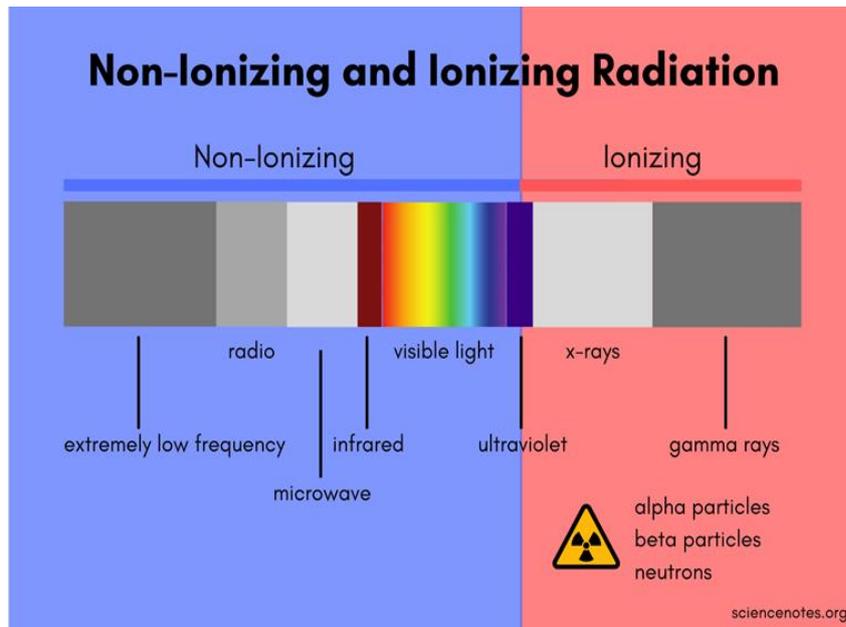


Ilustración 1-2: Diferencia entre la radiación ionizante y no ionizante.

Fuente: sciencenotes, 2019

En las zonas mineras, la exposición a la radiación ionizante natural puede ser mayor debido a la presencia de materiales radiactivos en la corteza terrestre. Los elementos radiactivos naturales, especialmente el radio, el torio y el potasio, se encuentran en la corteza terrestre y pueden estar presentes en los minerales extraídos en las minas. Además, la exposición a la radiación ultravioleta también puede ser un riesgo en la actividad minera dependiendo de la altura, geografía y geología del sector (Sievert, 1958).

Los tipos de radiación ionizante natural que se encuentran en las zonas mineras incluyen la radiación gamma, la radiación alfa y la radiación beta. Así, la radiación ionizante se clasifica según su naturaleza en corpusculares y en electromagnéticas.

Radiación Corpuscular

Partículas alfa (α)

Conformadas por núcleos de helio formados por dos protones y dos neutrones, las partículas alfa son un tipo de radiación ionizante. Estas partículas se mueven muy rápido y tienen una gran cantidad de energía cinética (Cascón, 2009). A pesar de que son las partículas ionizantes más pesadas, tienen un alcance de solo unos pocos centímetros en el aire. Sin embargo, son altamente ionizantes y tienen suficiente energía para interactuar con los electrones y desprenderlos de los átomos. Las partículas alfa pueden ser absorbidas por láminas metálicas o papel higiénico, pero son peligrosas si se inhalan o ingieren (Ortega Aramburu y Jorba Bisbal, 2009). Se producen por

la desintegración alfa radiactiva y se utilizan en diversas aplicaciones, como detectores de humo, dispositivos antiestáticos y generadores termoeléctricos, así como para bombardear tumores en la radioterapia.

Partículas beta (β)

Las partículas beta están formadas por electrones o positrones de alta energía que algunos materiales radiactivos emiten cuando se transforman (ATSDR, 1999). A diferencia de las partículas alfa, estas partículas poseen una masa mucho menor y, en consecuencia, tienen mayor capacidad para penetrar en la materia. Son relativamente ionizantes, pero no tanto como las partículas alfa y en su mayoría están cargadas negativamente. Estas se producen por la desintegración beta radiactiva y se utilizan en diversas aplicaciones, como la radioterapia para tratar tumores. Pueden ser detenidas por unos pocos milímetros de aluminio, pero no significa que los isótopos emisores de beta puedan estar completamente protegidos por escudos tan delgados (Badel et al., 2018).

Radiación Electromagnética

Radiación gamma (γ)

Generalmente, este tipo de radiación electromagnética es producida por procesos subatómicos tales como la aniquilación de un par positrón-electrón o por presencia de elementos radiactivos. Los rayos gamma son paquetes sin peso de energía llamados fotones y tienen una energía mucho más alta que la luz visible (Chiossi, 2020). Estos rayos interactúan con la materia de diversos modos, siendo los más importantes el efecto fotoeléctrico y la dispersión Compton. Debido a las altas energías que poseen, los rayos gamma constituyen un tipo de radiación ionizante que posee la capacidad de penetrar con mayor profundidad que la radiación alfa o beta; estos pueden causar grave daño al núcleo de las células, por lo que son usados para esterilizar equipos médicos y alimentos, además de ser usados en tratamientos de cáncer y restauración de obras de arte. Al tener una mayor capacidad de penetración que las partículas anteriormente mencionadas, estos pueden atravesar fácilmente las barreras que frenarían a las partículas preliminares, como la piel y la vestimenta, y se necesitarían varias pulgadas de un material denso, como el plomo o incluso unos cuantos pies de cemento, para detenerlos (Ubeda et al., 2017).

Radiación X

Son los fotones que poseen una alta concentración de energía, pero que a diferencia de la radiación gamma esta es de origen extra nuclear. Es un tipo de radiación ionizante que se produce mediante la emisión de rayos X por parte de ciertos materiales o procesos. Estos rayos X son una forma de radiación electromagnética de alta energía que puede penetrar en la materia y causar ionización,

tienen la capacidad de atravesar tejidos blandos, pero son absorbidos por materiales más densos como los huesos, lo que permite obtener imágenes detalladas del interior del cuerpo (OMS, 2023).

Tabla 1-2. Propagación y efectos de los tipos de radiación ionizante

Tipo de radiación ionizante	Cómo viaja y penetra	Cómo entrega la dosis al cuerpo
Partículas alfa (α)	Las partículas alfa no pueden penetrar la mayoría de los otros materiales. Un trozo de papel, las capas exteriores muertas de la piel o incluso unos pocos centímetros de aire son suficientes para detener las partículas alfa.	El material radiactivo que emite partículas alfa puede ser muy dañino para las células vivas cuando las partículas alfa se inhalan, se ingieren o se absorben en el torrente sanguíneo (p. ej., a través de un corte o un área de piel no intacta).
Partículas beta (β)	Las partículas beta pueden viajar hasta varios pies en el aire. Las partículas beta pueden detenerse con algunos plásticos, aluminio o un bloque de madera. Las partículas beta nunca deben protegerse con plomo u otros escudos de alto número atómico, lo que podría provocar la liberación de rayos X.	Algunas partículas beta son capaces de penetrar la piel y causar daño por radiación, como quemaduras en la piel. Las partículas beta son más dañinas para las células vivas cuando se inhalan o se ingieren.
Rayos gamma (γ) y rayos X (radiación electromagnética)	Los rayos gamma y los rayos X son muy penetrantes y pueden viajar grandes distancias. El plomo o el hormigón es capaz de reducir la intensidad de los rayos gamma y los rayos X.	Los rayos gamma y los rayos X pueden atravesar fácilmente el cuerpo humano por completo; sin embargo, una fracción de la energía puede ser absorbida por el tejido y dañar las células vivas.
Partículas de neutrones	Los neutrones tienen una capacidad excepcional para penetrar materiales. Los materiales que contienen hidrógeno (concreto o agua) son los mejores para proteger los neutrones.	Los neutrones pueden contribuir significativamente a la dosis de radiación.

Fuente: U.S. DEPARTMENT OF LABOR, 2019.

Realizado por: Chicaiza M, 2023

En zonas mineras, las fuentes de radiación ionizante natural pueden estar relacionadas con la presencia de materiales radiactivos en la corteza terrestre. Algunas de estas fuentes incluyen:

- **Materiales radiactivos en la corteza terrestre:** La presencia de minerales radiactivos como el uranio, el torio y el potasio-40 en la corteza terrestre puede generar radiación ionizante. Estos materiales pueden estar presentes en rocas, minerales y suelos de las zonas mineras (Pascual, 2019).
- **Desprendimiento de radón:** El radón es un gas radiactivo que se produce de forma natural a partir de la recolección del uranio presente en el suelo y las rocas. En las zonas mineras, donde hay una mayor concentración de minerales radiactivos, puede haber una mayor emisión de radón.
- **Emisión de partículas alfa y beta:** Algunos minerales radiactivos presentes en las zonas mineras pueden emitir partículas alfa y beta como parte de su desintegración radiactiva. Estas partículas pueden ser una fuente de radiación ionizante en el entorno minero (Consortio, 2004).

Es importante tener en cuenta que la radiación ionizante natural en zonas mineras puede variar dependiendo de la composición geológica y los tipos de minerales presentes en la región. Además, es fundamental tomar medidas de protección y seguridad para minimizar la exposición a esta radiación en el entorno minero.

2.2.2 Exposición

Los seres humanos se exponen a radiaciones ionizantes de dos formas: por exposición interna y por exposición externa. La primera ocurre cuando un radionucleido es inhalado o ingerido, como, por ejemplo, por medio de una inyección o por una herida, alojándose en el torrente sanguíneo. Esta exposición no cesa hasta que el radionucleido sea expulsado del cuerpo de forma espontánea por medio de los desechos biológicos o mediante un tratamiento previo. La segunda exposición tiene lugar cuando un material radiactivo que viaja en un medio se deposita en la piel o la ropa, o a su vez, se da si un cuerpo es expuesto a una fuente externa que lo irradie, como, por ejemplo, con la exposición a los Rayos X que se usan con fines médicos, este tipo de exposición cesa una vez que la fuente ha sido contenida o se ha retirado del área cercana al individuo.

Así, estas exposiciones se dan bajo 3 situaciones: con situaciones planificadas tal y como sucede en casos médicos, con exposiciones previas como ocurre cuando existe exposición al radón en un hogar en el cual se deben tomar medidas y con exposiciones de en situaciones de emergencia como sucede cuando ocurren accidentes nucleares.

Tabla 2-2. Estimación de la dosis efectiva equivalente anual procedente de fuentes de radiación natural en áreas de fondo normal

Dosis efectiva equivalente anual (milisievert)				
Fuente	Irradiación externa	Irradiación interna	Total (mSv/a)	% del total
Radiación cósmica				
Componente ionizante	0,30	-	0,30	12,3
Componente neutrónica	0,055	-	0,055	2,0
Nucleidos cosmogénicos	-	0,015	0,015	6,1
Nucleidos primordiales:				
Potasio-40	0,150	0,18	0,33	13,5
Rubidio-87	-	0,006	0,006	0,2
Serie del U-238	0,1			4,06
* U-238 a U-234		0,005		0,2
* Torio 230		0,007		0,28
* Radio 226		0,007		0,28
* Radón 222 a polonio 214		1,1		45,16
* Plomo 210 a polonio 210		0,12		4,92
Total serie del uranio 238	0,1	1,24	1,34	55,0
Torio. Serie del Th-232	0,16			
* Torio 232		0,003		0,12
* Radio 228 a radio 224		0,013		0,53
* Radón 220 a talio 208		0,160		6,57
Total serie del torio 232	0,16	0,18	0,34	13,95
Total (redondeado)	0,82	1,616	2,436	100%

Fuente: UNSCEAR, 1996.
Realizado por: Chicaiza, 2023

Según datos recabados por (UNSCEAR, 1996) se conoce que la dosis media recibida por el ser humano debido a causas naturales corresponde a 2.4 mSv/año (Tabla 2-2). Desglosando este valor, aproximadamente 0.38 mSv/año se debe a la radiación cósmica, 0.46 mSv/año se atribuye a la radiación terrestre, 1.28 mSv/año son causados por inhalación del radón-222 y sus descendientes, 0.27 mSv/año emana de los isótopos incorporados en el organismo y 0.01 mSv/año concierne al poso radiactivo de experimentos nucleares. Estos datos interpretados mediante porcentajes dan la siguiente gráfica:

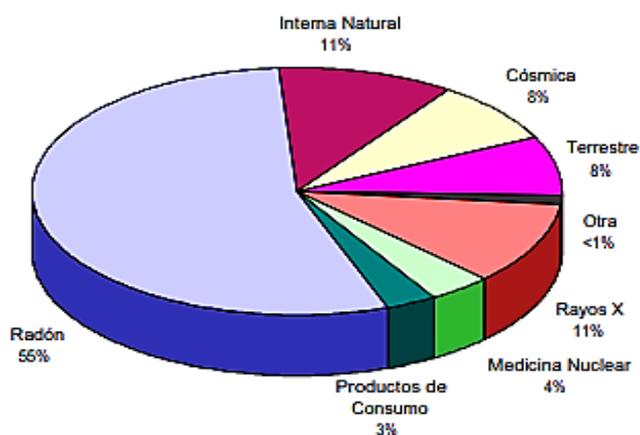


Ilustración 2-2: Porcentajes de fuentes de radiación ionizante.

Fuente: Carrasco, 2007

2.2.3 *Medidas de dosis de radiación ionizante*

La radiactividad es el número de partículas energizadas o fotones emitidos por una fuente de material radiactivo por unidad de tiempo. Otra forma de describir la radiactividad es el número de desintegraciones que ocurren por unidad de tiempo. La unidad internacional de medida de la radiactividad es el Becquerel, aunque en Estados Unidos se usa el Curie.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ decaimiento por segundo}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

Ecuación 1-2: conversión de Curie a Bequerelio

La dosimetría para radiaciones ionizantes implica el cálculo de la cantidad de dosis que pueden absorber los tejidos por estar expuestos a cierta cantidad de radiación ionizante. Las dosis se pueden expresar en:

Dosis absorbida (D)

La dosis absorbida es la cantidad dosimétrica fundamental de la radiación ionizante, se define como la energía depositada por la radiación en un material con una masa específica. En esencia, corresponde a la energía que la materia recibe por parte de la radiación ionizante (Flanagan, 2021). Su unidad de medida es el Gray (Gy), aunque en el sistema internacional también se hace uso de J/Kg o [mSv]/ γ . Se puede utilizar para todo tipo de partículas, matemáticamente viene definido por:

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta M}$$

Ecuación 2-2: ecuación de dosis absorbida.

Donde:

ΔE : cantidad de energía depositada

ΔM : unidad de masa

Para finalizar los cálculos pertinentes se debe evaluar el efecto biológico que tienen las dosis de radiación depositada en el organismo. El resultado obtenido recibe entonces el nombre de dosis equivalente, o simplemente dosis.

Dosis equivalente (H)

Es el resultado de la dosis absorbida por un órgano u objeto, multiplicada por un factor de ponderación. Este factor de ponderación dependerá del tipo de energía y su rango de actividad (Andisco et al., 2014). Sus unidades se expresan en el sistema internacional como J / Kg o bien conocido como Sievert (Sv).

$$H = WR * D$$

Ecuación 3-2. Ecuación de dosis equivalente.

Donde:

WR: Factor de ponderación de la radiación.

D: Dosis absorbida

Tabla 3-2. Factores de ponderación de la radiación

Tipos de Energías	WR
Fotones	1
Electrones y Muones	1
Neutrones	5
Partículas Alfa	20

Fuente: Brosed, 2011

Realizado por: Chicaiza M, 2023

Dosis efectiva (E)

Cuantifica el efecto que causa una dosis absorbida de radiación ionizante en algún tejido o material, es la relación directa entre la dosis recibida y la radiosensibilidad del órgano que recibió la radiación (Cherry, 2014). Esta dosis, tiene en cuenta que los órganos y tejidos poseen diferente sensibilidad a la radiación ionizante, por ello existe un factor de ponderación diferente según el tejido u órgano. Sus unidades se expresan en el sistema internacional en Sieverts Sv.

$$E = WT * WR * D$$

Ecuación 4-2. Ecuación de dosis efectiva.

Donde:

WT: Factor de ponderación del tejido.

WR: Factor de ponderación de la radiación

D: Dosis Absorbida.

Tabla 4-2. Factores de ponderación de algunos tejidos u órganos.

Tejido / Órgano	WT
Gónadas	0,2
Médula Ósea	
Pulmón	
Estómago	0,12
Colon	
Vejiga	
Esófago	
Mama	0,05
Tiroides	
Hígado	
Superficie Ósea	
Piel	0,01
Cerebro	
Resto del Organismo	0,12

Fuente: Sociedad Argentina de Radio protección, 2014

Realizado por: Chicaiza M, 2023

Mediante la siguiente tabla se hace una recopilación aclaratoria de lo expuesto anteriormente.

Tabla 5-2. Magnitudes de dosis, procesos físicos y unidades de la radiación ionizante.

Magnitud	Proceso físico medido	Unidades S.I.
Radiación	Desintegración nuclear	Becquerel (Bq)
Dosis absorbida	Energía almacenada	Gray (Gy)
Dosis equivalente	Efecto a nivel biológico	Sievert (Sv)
Dosis efectiva	Riesgos	Sievert (Sv)

Realizado por: Chicaiza M, 2023

2.2.4 Evaluación de la exposición a la radiación ionizante en zonas mineras: métodos y técnicas

La exposición a la radiación ionizante en zonas mineras es un tema de gran importancia debido al riesgo que representa para la salud de los trabajadores y pobladores del sector. En caso de no existir un correcto control de los niveles de exposición a la radiación ambiental se pueden producir efectos biológicos en los seres vivos, como mutaciones genéticas, cáncer entre otros problemas de salud (Álvarez, 1997). Por lo tanto, es necesario realizar una correcta evaluación a la exposición a la radiación ionizante en la concesión minera ASONAMBILE para prevenir y limitar posibles patologías producidas por dicha exposición.

Existen diferentes métodos y técnicas para evaluar la exposición a la radiación ionizante en zonas mineras, entre ellos se encuentran:

1. Dosimetría personal: es un método que consiste en medir la dosis absorbida por un trabajador que estuvo expuesto a la radiación ionizante. Se utilizan diferentes dispositivos, como dosímetros de película, termoluminiscentes, de ionización y de estado sólido (García et al., 2003).
2. Monitoreo ambiental: este método consiste en medir la cantidad de radiación ionizante presente en el ambiente de trabajo. Se utilizan diferentes dispositivos, como detectores de radiación, monitores de radiación y espectrómetros gamma (Camacho, 2017).
3. Evaluación de la exposición acumulada: consiste en evaluar la exposición acumulada a la radiación ionizante de un trabajador durante un período de tiempo determinado. Se utilizan diferentes técnicas, como la evaluación de la exposición acumulada a través de la dosimetría personal y el monitoreo ambiental (Alvarez, 1997).

Para el presente trabajo, se hizo uso del segundo método, al asistir a la concesión minera ASONAMBILE en Zamora Chinchipe, se aplicó un monitoreo ambiental en 19 puntos específicos y se ocupó el equipo de medición conocido como detector de centelleo.

Equipo de medición Centellador NaI (TI)



Ilustración 3-2: Centellador de NaI (Tl) marca LUDLUM modelo 44-10.

Fuente: Ludlum Measurements, 2015

(Ludlum Measurements, 2015) describe en su manual *Model 44-10 Gamma Scintillator* el equipo: El centellador gamma de yoduro de sodio (NaI) Modelo 44-10 es principalmente utilizado para detectar radiación gamma de alta energía en el rango de 60 keV a 2 MeV. Es dependiente de la energía, con una respuesta excesiva por un factor de 5 en los 100 keV y respuesta insuficiente por un factor de 0,5 por encima de 1 MeV cuando se normaliza a ^{137}Cs .

Algunas aplicaciones comunes para este detector incluyen el monitoreo de radiación de fondo, la topografía de alta sensibilidad y el espectro análisis cuando se utiliza junto con un canal único o multicanal analizador.

Especificaciones

- Diámetro: 5.1 x 5.1 cm (2 x 2 in.)
- Sensibilidad: 900 cpm/ $\mu\text{r/hr}$ (Cs^{137} gamma)
- Respuesta energética: depende de la energía
- Tubo: 5.1 cm (2 in.) Diámetro magnéticamente blindado por un fotomultiplicador.
- Voltaje de operación: 500-1200 v
- Eficiencia (4π): 4% al I^{125} , 20% al Co^{57} , 9% al Cs^{137} ; y 15% al Co^{60} .
- Conector: series “c”
- Estructura superficial: carcasa de aluminio con poliuretano y pintura de esmalte beige.
- Tolerancia de temperatura: -20 a 50 °C (-4 a 122 °F); puede funcionar también de -40 a 65 °C (-40 a 150 °F)
- Tamaño: 6.6 x 27.9 cm (2.6 x 11 in.)
- Peso: 1.04 kg (2.3 lb).

Energía de respuesta para el centellador 44-10

El centellador que se utilizará para medir la radiación gamma responde a las siguientes energías:

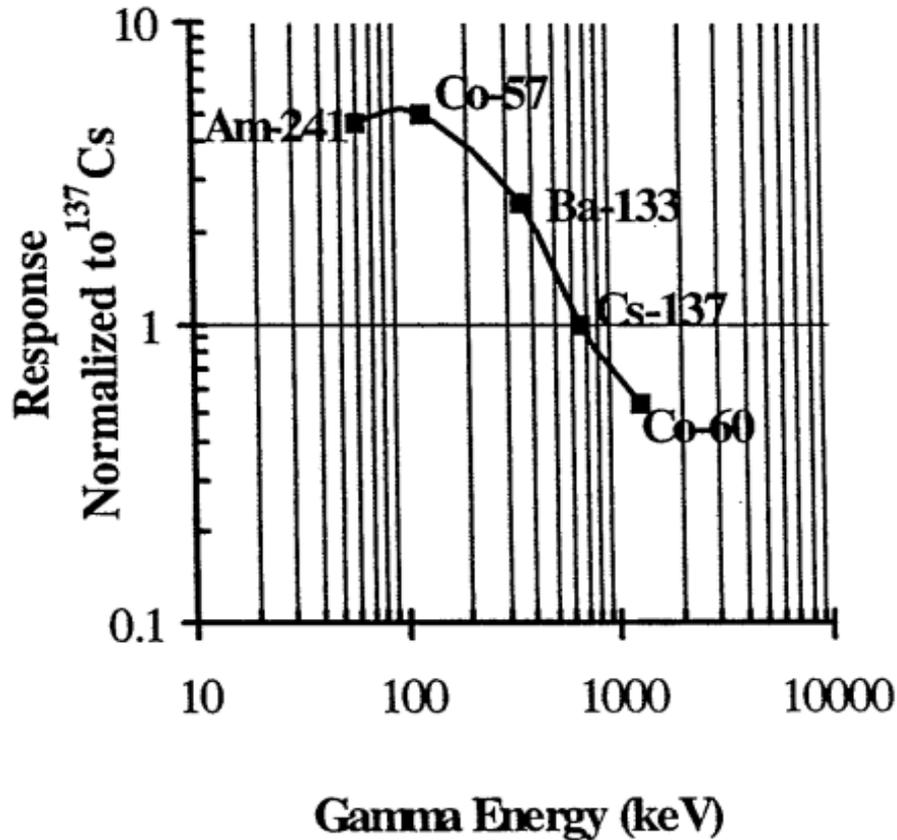


Ilustración 4-2: Energía de respuesta del centellado, marca Ludlum, modelo 44-10.

Fuente: LUDLUM Measurements, 2015

2.2.5 *Afecciones en la salud producidas por la radiación ionizante*

Como se mencionó con antelación, una de las características que distingue a la radiación ionizante es que esta posee suficiente energía para dañar los átomos de las células vivas y, por consiguiente, afectar su material genético (ADN). Favorablemente, las células del cuerpo humano son ampliamente eficientes al momento de reparar dicho daño. No obstante, si el daño no se repara correctamente y existe una falla, la célula puede morir o volverse cancerosa (Badel et al., 2018). La exposición a niveles muy altos de radiación, por ejemplo, por estar cerca de una explosión atómica, puede causar efectos agudos sobre la salud, entre ellos, quemaduras de piel y síndrome de radiación aguda conocida como radiotoxemia producida por un exceso de exposición a radiación ionizante (US EPA, 2021). La radiación ionizante se utiliza para realizar exámenes y tratamientos médicos, así como con fines industriales y de manufactura de armamento y desarrollo de armas, entre otros, pero si existe una constante exposición incrementa la probabilidad de aumentar las probabilidades de desarrollar cáncer (Fundación UOCRA, 2017). Al igual que con otros efectos sobre la salud, la posibilidad de desarrollar cáncer depende de la cantidad de radiación a la que se ha estado expuesto y del tiempo de exposición (Preciado & Luna, 2005). En la actualidad, no existen estudios que comprueben que la exposición a bajos niveles de

radiación ionizante presentes en el medio ambiente sean capaces de afectar la salud de los seres vivos (Sepúlveda et al., 2015).

En síntesis, la exposición a la radiación ionizante puede tener efectos agudos y crónicos en la salud humana, como quemaduras de piel, síndrome de radiación aguda, cáncer y enfermedades cardiovasculares (Massa et al., 2005). La posibilidad de desarrollar cáncer depende de la cantidad de radiación y del tiempo de exposición. Si un ser vivo se ha expuesto a altos niveles de radiación ionizante durante un periodo prolongado de tiempo asume un mayor riesgo que aquellos que se han visto expuestos a niveles bajos en periodos de tiempo cortos, pues no se ha demostrado que las dosis bajas de radiación ionizante presenten un peligro para la salud.

2.2.6 Protección de los trabajadores de minas contra la radiación

La protección contra la radiación tiene como objetivo reducir o limitar los posibles efectos a largo plazo de la radiación. Dentro del ámbito minero, se señalan 2 principales maneras de proteger a las personas contra la radiación:

- Tiempo de exposición

Los trabajadores de la industria minera están continuamente expuestos a materiales con concentraciones variables de Uranio que pueden resultar peligrosas para su salud (Fundación UOCRA, 2017). Mediante la reducción y control de las horas de trabajo de los mineros, se puede conseguir un impacto significativo en la reducción de los niveles de exposición. La problemática radica en que, al ser Nambija una concesión minera en la que todos los habitantes de la zona participan activamente de las actividades de extracción, es difícil controlar que respeten las horas establecidas por su seguridad.

- Aumento de la distancia entre la fuente y el empleado expuesto

Uno de los factores que más influyen en la actividad minera es el contacto obrero- mineral, donde en la mayoría del tiempo de la jornada de trabajo se realiza este contacto, lamentablemente, esta forma de protección no es viable en la industria minera porque el trabajo de mina exige un contacto inmediato con la roca, sin embargo, se sugiere de manera insistente que los trabajadores hagan uso del equipo de protección básico para reducir su exposición directa a dosis de radiación ionizante.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de investigación

El enfoque de la investigación fue cuantitativo puesto que la variable a estudiar es la dosis absorbida de radiación gamma la cual fue cuantificada en microsievvert por hora ($\mu\text{Sv/h}$), además, se calculó también la dosis efectiva anual, misma que viene dada en milisievert por año (mSv/año).

3.2 Nivel de Investigación

El nivel de la investigación fue descriptivo puesto que no solo se recolectaron datos, sino que se los tabuló y presentó mediante un mapa radiológico, en el cual, en función a la intensidad de colores, se mostraron los distintos niveles de radiación gamma del área de estudio y la variación de la dosis efectiva anual resultante.

3.3 Diseño de investigación

3.3.1 *Según la manipulación o no de la variable independiente*

Al no existir manipulación de la variable independiente, se establece que el carácter fue no experimental.

3.3.2 *Según las intervenciones en el trabajo de campo*

La investigación según la intervención en el trabajo de campo fue de carácter transversal, pues las mediciones se realizaron en un único periodo de tiempo desarrollado el 1 de marzo de 2023.

3.4 Tipo de estudio

La investigación tiene un tipo de estudio de campo; los valores se recopilaban con mediciones realizadas utilizando un detector centellador conectado a una sonda con la cual se recorrieron los 19 puntos en el área a estudiar previamente establecidos.

3.5 Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.5.1 *Población:*

Este estudio no se centra en la población humana en sí sino más bien en la zona en la que el personal humano habita y trabaja. Sin embargo, es importante mencionar que, según el Censo Minero del 2010, el 78,6% de las personas que fueron encuestadas en la parroquia San Carlos de Minas, están involucradas con la actividad minera. En consideración de que existe tanto porcentaje de personas involucradas, la población objetivo serán todos aquellos puntos dentro de la concesión minera ASONAMBILE en Zamora Chinchipe.

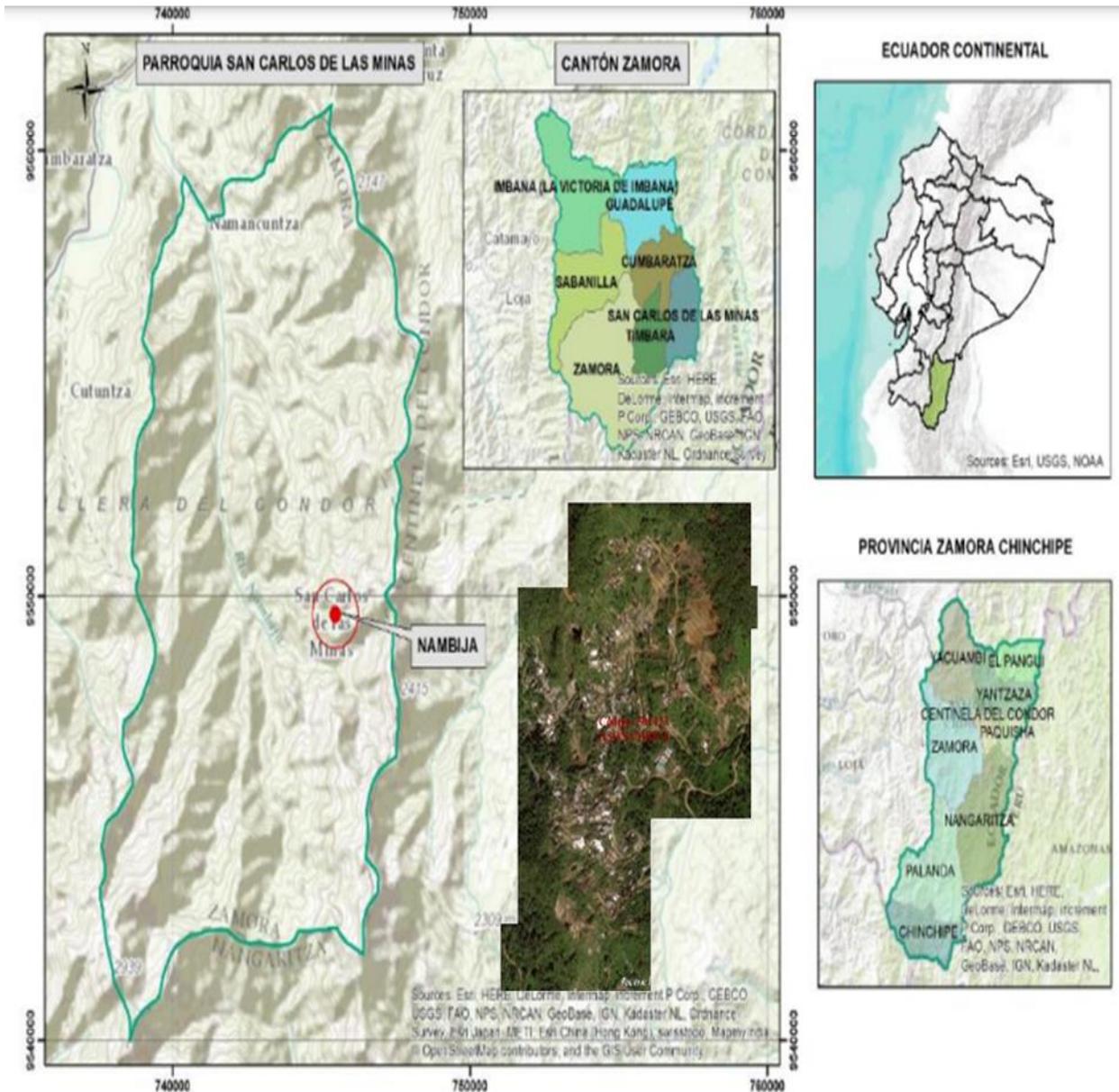


Ilustración 5-3: Mapa de la ubicación de las minas de Nambija.

Fuente: PRAS, 2012

Realizado por: Pucha & Chicaiza, 2023

3.5.2 Localización de estudio

El sector Nambija pertenece a uno de los 25 sitios mineros de oro en el país, ubicado en la Zona 7 de Senplades, ocupa un lugar dentro de la parroquia San Carlos de las Minas en el cantón Zamora de la Provincia de Zamora Chinchipe (Ilustración 5-3). Forma parte de la región morfoestructural en la cordillera de Nanguipa la misma que es parte de un ramal ubicado entre la Cordillera Real y la Cordillera del Cóndor (Veintimilla, 2014). El área por estudiar comprende 0.68 km². Los últimos datos recabados indicaron que permanecen 68 propietarios de molinos

chilenos dentro de Nambija, los cuales son representados legalmente por ASONAMBILE. El método in situ que se aplica para la extracción de oro corresponde netamente a la amalgamación. Un estudio previo realizado por el GEAA en una salida de campo en 2019 determinó la presencia de uranio natural (U) debido a su histórico uso, esto convierte a Nambija en un centro de estudio puesto que es de gran importancia identificar la concentración de actividad de radionucleidos naturales tales como ^{238}U , ^{232}Th y ^{40}K en los residuos mineros.

3.5.3 Muestra

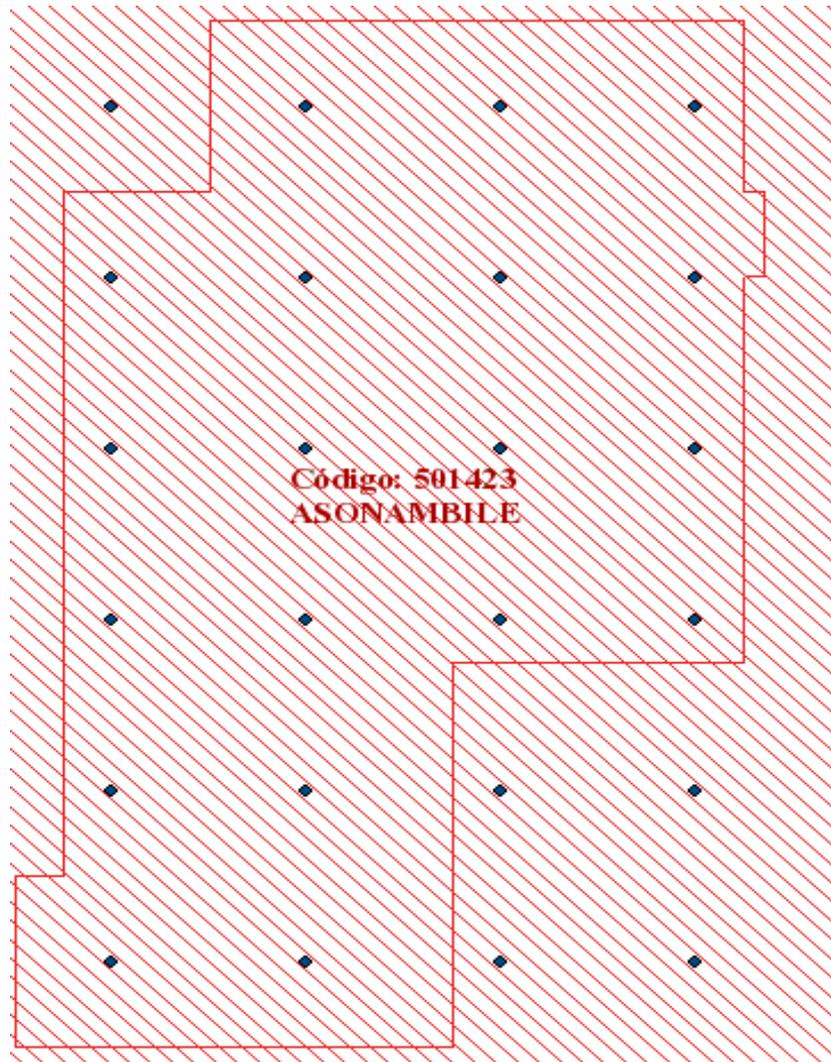


Ilustración 6-3: Puntos de muestreo en ASONAMBILE.

Realizado por: Pucha, 2022

Debido a que en la zona minera correspondiente a Nambija existe una sola geología, se aplicó un muestreo sistemático mediante la herramienta de Fishnet del software Arcmap 10.3, considerando una distancia entre puntos de 200 m, logrando obtener 19 puntos de muestreo dentro de un área de $0,68 \text{ km}^2$ (Ilustración 6-3).

3.6 Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.6.1 Metodología previa al monitoreo

Previo a realizar el viaje a Zamora Chinchipe se establecieron ciertos puntos con criterios a tomar en cuenta durante las mediciones y posterior a ellas para tener un plan detallado de lo que se buscaba conseguir. Basado en las investigaciones mencionadas en los antecedentes, se determinó que la metodología más idónea a seguir para alcanzar una correcta obtención de resultados deberá seguir el siguiente esquema:

- Toma de medidas:

Mediante un medidor digital (modelo 3003, marca Ludlum) conectado a un detector gamma tipo centellador de NaI (TI) (modelo 44-10, marca Ludlum) que mide dentro del rango de energía de 30 keV a 3 MeV (Ludlum Measurements, 2015), se realizarán 5 mediciones de dosis absorbida durante un minuto cada una en cada punto de monitoreo, en efecto para chequear la reproducibilidad de los datos y estimación de la incertidumbre. La sonda gamma se mantendrá en posición vertical con el área detectable hacia abajo a una altura de 1m sobre la superficie del suelo siguiendo la metodología que aplica (Lucchetti et al., 2019).

- Tabulación y análisis de datos:

Con la ayuda de un GPS se georreferenciarán los lugares de monitoreo, de tal manera de representar los valores medidos en el sistema de geoinformación Arcmap tal y como se hizo en el trabajo de (Alomari et al., 2019). Posteriormente, se aplicarán métodos de interpolación para buscar el modelo más adecuado para la construcción de un mapa de dosis absorbida. A partir de los datos de dosis absorbida se calculará la dosis efectiva anual y de igual manera, los resultados se representarán en un mapa.

- Elaboración del mapa radiométrico:

Finalmente, para el mapeo radiológico se necesitará el manejo y uso del Software Arcmap 10.3 para la representación espacial de los niveles de radiación gamma obtenidos en las mediciones realizadas en la concesión minera ASONAMBILE de Zamora Chinchipe.

3.6.2 Instrumentos de medición

1. *Medidor digital Ludlum modelo 3003*



Ilustración 7-3 Tacímetro multidetector marca LUDLUM modelo 3003.

Fuente: LUDLUM, 2015

La metodología sugerida por (Lucchetti et al., 2019), aplica el uso de el mismo medidor digital modelo 3003, marca Ludlum que irá conectado al centellador de NaI (TI). Este instrumento sirve para estudios de radiación alfa, beta, gamma o de neutrones. En específico, este es un medidor analógico portátil que posee la capacidad de acoplarse hasta a cuatro detectores externos respetando sus parámetros de calibración entre los cuales consta el detector de centelleo y el Geiger- Müller (GM). Consta de cuatro modos dependiendo de las detecciones que se quieran realizar, es capaz de registrar hasta mil puntos de datos medidos en cuentas por minuto (cpm). Su capacidad permite configurar un detector de centelleo otorgándole a este una mayor sensibilidad a un isótopo o región específica (Ludlum Measurements, 2015).

2. *Detector gamma tipo centellador de NaI (TI)*

Se hizo uso del equipo modelo 44-10 de la marca Ludlum (Ilustración 3-3) para acoplarlo al medidor digital mencionado anteriormente.

Los contadores llamados de centelleo basan su principio en la ionización que se produce a causa de partículas cargadas que se desplazan a una velocidad muy alta en determinados medios transparentes de líquidos y sólidos que se conocen como materiales centelleantes. Esta ionización produce destellos de luz visible los cuales son captados por un tubo fotomultiplicador que los convierte en pulsos eléctricos que se registran de manera electrónica. (Gallego, 2010).

En síntesis, mediante la Tabla 6-3 se muestran los instrumentos, herramientas, equipos y tipos de software que se ocuparon para desarrollar correctamente la metodología.

Tabla 6-3. Descripción de instrumentos, herramientas, equipos y software utilizados.

Tipo	Nombre	Características	Uso
Instrumentos	Medidor digital	Marca Ludlum modelo 3003	Medir analógicamente radiación
	Detector Centellador	Marca Ludlum modelo 44-10	Medir dosis absorbida gamma
Herramientas	Trípode	Elaborado con palos de madera de 1 metro y una base de triplex de 30x30 cm.	Servir como base para apoyar el contador garantizando que se respete siempre la altura establecida en la metodología
	Botas	De caucho	Facilitar el movimiento
	Casco		Protección
	Paraguas		Evitar que el detector tenga contacto con la lluvia
Equipos	Computadora	Acer Intel i7 portátil	Procesar y almacenar datos
Software	ArcGis	Licencia de pago	Crear mapas

Realizado por: Chicaiza M, 2023

3.6.3 Métodos y técnicas durante el monitoreo

- Trabajo de campo

Una vez determinados los puntos de muestreo, se ubicó cada uno de los ellos utilizando un GPS marca Garmin considerando la accesibilidad de los mismos y si estos cumplían con los requisitos establecidos en la metodología referenciada en el punto 3 del apartado 3.6.3.1. Al llegar a cada punto, se procedió a colocar el trípode para sujetar el medidor considerando varios ítems:

3.6.3.1 Protocolo de colocación del detector centellador NaI(Tl)

La metodología ocupada señala una serie de pasos para poder realizar mediciones de manera correcta:

1. Tanto el detector digital como el centellador deben estar calibrados, para ello, para cada punto establecido se debe apagar y prender el detector digital y configurar el modo y las unidades en las que se desean las mediciones.
2. El centellador deberá estar a un metro de distancia del suelo antes de iniciar la medición en cada punto.
3. El equipo de medición debe estar alejado de las viviendas en caso de existir, mientras más alejadas estén del punto de medición existirá mayor precisión, además se debe considerar que el suelo del punto en el que se mida deberá ser lo más plano posible.
4. Una vez iniciada la medición, se deberá tomar el tiempo de un minuto, posteriormente se reinicia y se repite el paso para cada una de las cinco mediciones en cada uno de los puntos predeterminados.
5. El equipo no debe ser expuesto a ningún tipo de líquido como lluvia debido a que esta afectará la precisión de las mediciones.

3.6.3.2 Monitoreo para obtención de medidas

El 1 de marzo de 2023 se llevó a cabo el viaje a la concesión minera ASONAMBILE de Zamora Chinchipe, una vez allí, tomando en cuenta los puntos expuestos en el ítem anterior, se procedió a realizar las mediciones correspondientes en base a (Ilustración 8-3) la cual muestra los puntos tentativos que el software Arcmap 10.3 mediante la herramienta Fishnet generó sistemáticamente considerando el área de la concesión correspondiente a 0,68 km². Sin embargo, debido a que ciertos puntos eran inaccesibles por su localización geográfica en cerros o lugares de difícil acceso con pendientes pronunciadas como se visualiza en (Anexo D) se consideraron aquellos puntos más cercanos que cumplían con los protocolos descritos en el inciso 3 de la sección de protocolos, estos nuevos puntos son los que formaron parte de un nuevo mapa (Ilustración 9-3).

Distribución de Puntos de Monitoreo Radiación Gamma

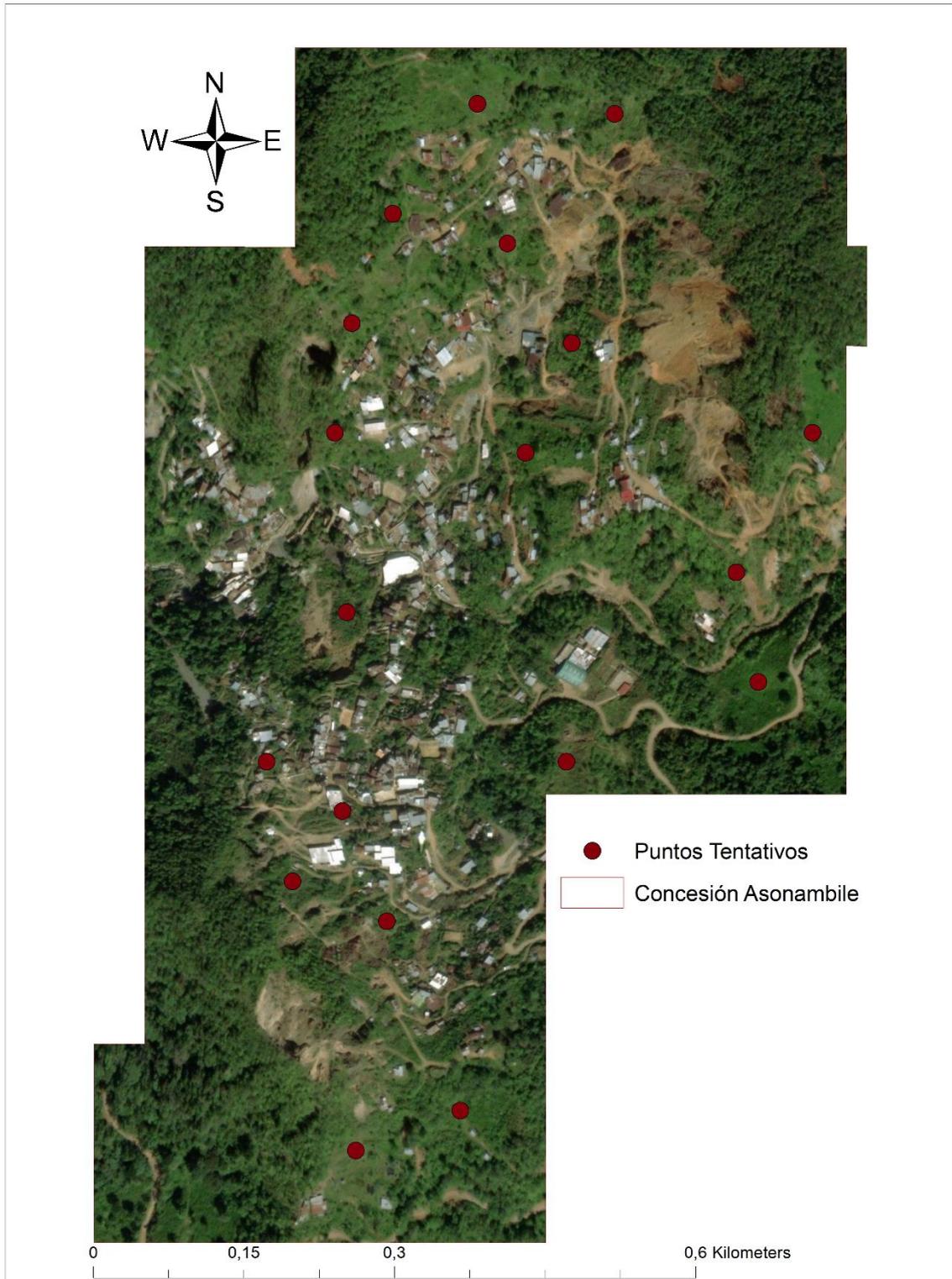


Ilustración 8-3: Puntos tentativos de medición generados sistemáticamente por ArcMap.

Realizado por: (Chicaiza, 2023)

Puntos de Monitoreo - Radiación Gamma

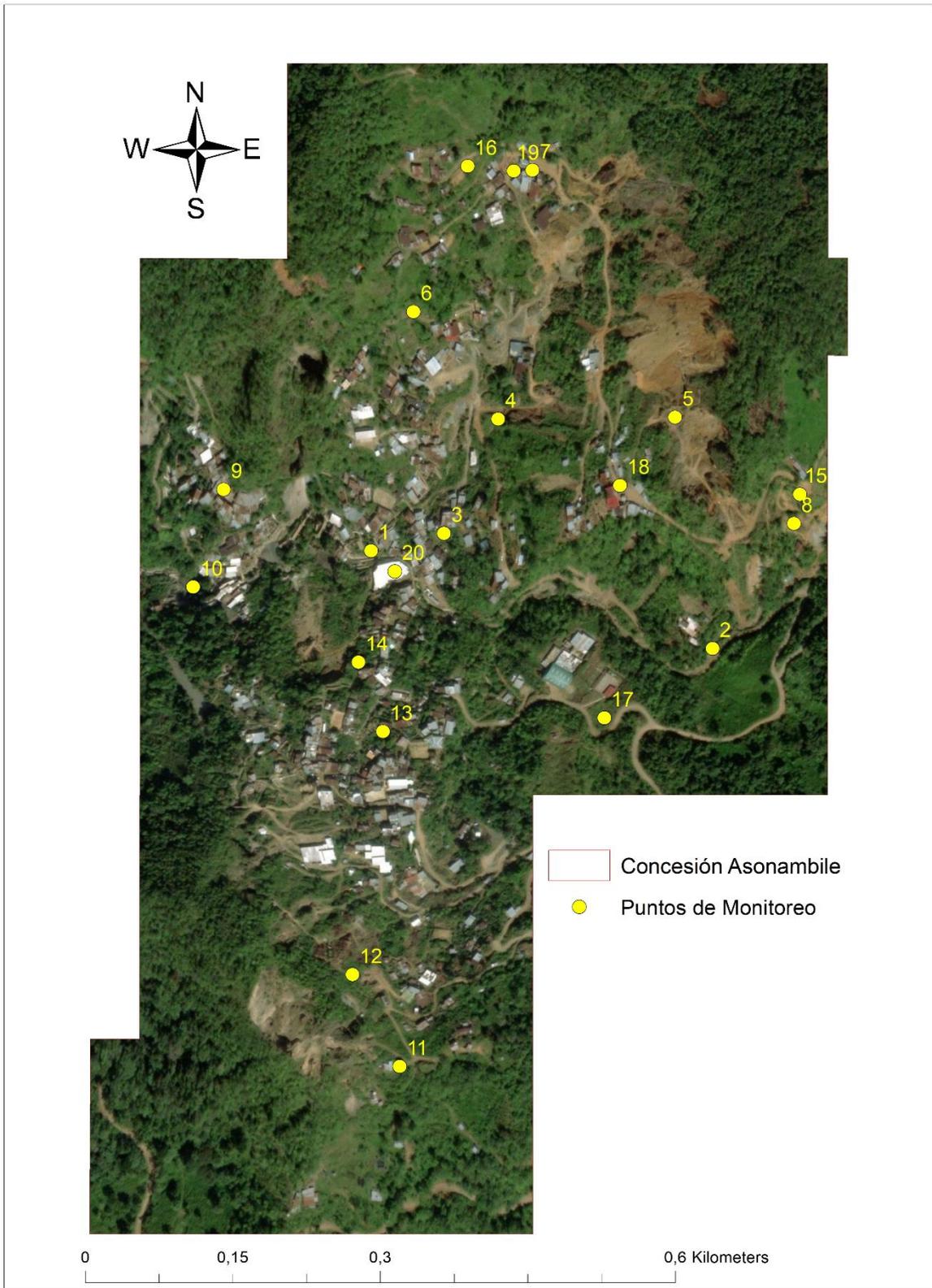


Ilustración 9-3: Puntos de monitoreo exactos en los que se realizaron las mediciones establecidas.

Realizado por: (Chicaiza, 2023)

3.6.4 Tabulación de datos

Tabla 7-3: Datos obtenidos después de las mediciones tomadas en ASONAMBILE.

FID	CÓDIGO	X	Y	ALTURA (m)	Dosis_abs1	Dosis_abs2	Dosis_abs3	Dosis_abs4	Dosis_abs5	Promedio	Dosis_Efec
0	1	745385	9549637	1865	0,15	0,14	0,15	0,14	0,15	0,15	0,18
1	2	745732	9549537	1860	0,14	0,14	0,13	0,14	0,13	0,14	0,17
2	3	745459	9549655	1837	0,09	0,10	0,09	0,09	0,08	0,09	0,11
3	4	745514	9549772	1860	0,11	0,12	0,10	0,11	0,11	0,11	0,13
4	5	745694	9549774	1946	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11	0,13
5	6	745428	9549882	1887	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,09
6	7	745549	9550027	1800	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09
7	8	745815	9549665	1920	0,10	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,12
8	9	745235	9549700	1817	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,11
9	10	745204	9549600	1788	0,15	0,14	0,15	0,15	0,14	0,15	0,18
10	11	745414	9549109	1982	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,14
11	12	745366	9549203	1969	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12
12	13	745397	9549452	1876	0,10	0,11	0,11	0,10	0,12	0,11	0,13
13	14	745372	9549523	1869	0,14	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,16
14	15	745821	9549695	1949	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,13

15	16	745483	9550031	1954	0,11	0,11	0,10	0,11	0,11	0,11	0,13
16	17	745622	9549466	1879	0,11	0,12	0,11	0,12	0,10	0,11	0,14
17	18	745638	9549704	1919	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,11
18	19	745530	9550026	1947	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,10
19	20	745409	9549616	1710	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11	0,14

Realizado por: Chicaiza M, 2023

*Se anexan fotografías del GPS utilizado para conocer las coordenadas y la altura en la que los puntos fueron medidos, adicionalmente, en la sección de anexos se verifica las condiciones geográficas que dificultaron que se siguiera lo sugerido por Ilustración 8-3 causando que el mapa de puntos de muestreo se modifique al que aparece en Ilustración 9-3.

Cálculo del promedio de dosis absorbida por cada punto

El sistema utilizado para realizar las mediciones se caracteriza por detectar la dosis absorbida gamma del ambiente, para reducir la incertidumbre de los datos, se tomaron 5 mediciones durante 1 minuto en cada uno de los 19 puntos, es así como para conocer el valor con el que se va a trabajar para poder calcular la dosis efectiva anual, se obtiene un promedio de las 5 mediciones en cada punto.

Para el cálculo del promedio de la dosis absorbida en cada punto se hizo uso de la siguiente ecuación:

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

Ecuación 5-3. Ecuación para calcular el valor de la dosis absorbida promedio.

Donde:

x_m : valor medido

n_i : frecuencia con la que se repite el valor

n : total de datos medidos

Cálculo de la tasa de dosis de radiación gamma externa

Para analizar la tasa de dosis se consideran las concentraciones específicas de Th²³², K⁴⁰ y Ra²²⁶ las cuales se encuentran y miden en el suelo y se expresan mediante la siguiente ecuación:

$$D_{out} = 0.462CRa + 0.604CTh + 0.0417CK$$

Ecuación 6-3: Tasa de dosis de radiación gamma externa.

Donde:

0.462 C: factor de conversión de Ra²²⁶

0.604 C: factor de conversión de Th²³²

0.0417 C: factor de conversión de K⁴⁰

El programa utiliza estos factores conversión de Ra-226, Th-232 y K-40 respectivamente, con los cuáles ejecuta la conversión de actividad específica en dosis absorbida expresándola en Bq/kg o por nGy /h.

3.6.4.1 Cálculo de la dosis efectiva anual

Conjuntamente, se pueden encontrar los valores de dosis efectiva equivalente anual terrestre, aplicando el resultado obtenido con la ecuación 6-3, mediante la expresión:

$$AEDE = D_{out} \times DCF \times OF \times T$$

Ecuación 7-3: Tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre.

Donde:

DCF: factor de conversión de dosis

OF: factor de ocupación usado para dosis externa

T: tiempo

El resultado es medido en mSv/año, se estima que el valor promedio de AEDE en el planeta es de 0.7 mSv/año.

En el trabajo realizado por (Njinga & Tshivhase, 2016) se menciona que la tasa de dosis gamma media máxima y mínima en exteriores tomada a 1 m sobre el suelo fue de $202,74 \pm 14,18$ nGy/h y $131,09 \pm 5,43$ nGy/h, respectivamente. Asimismo, la media máxima y mínima dosis anual efectiva. La dosis gamma de los alrededores de la mina Tudor Shaft fue de $2,49 \times 10^{-1}$ y 1,61 mSv/año. (Ludlum Measurements, 2015) expresa que las muestras de suelo analizadas por espectroscopia gamma y las actividades promedio de ^{238}U , ^{232}Th y ^{40}K son de $271,96 \pm 3,59$ Bq/kg, $47,65 \pm 3,69$ Bq/kg y $87,17 \pm 5,19$ Bq/kg, respectivamente (Ludlum Measurements, 2015).

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados

4.1.1 *Mapa de dosis absorbida*

Dosis Absorbida - Radiación Gamma

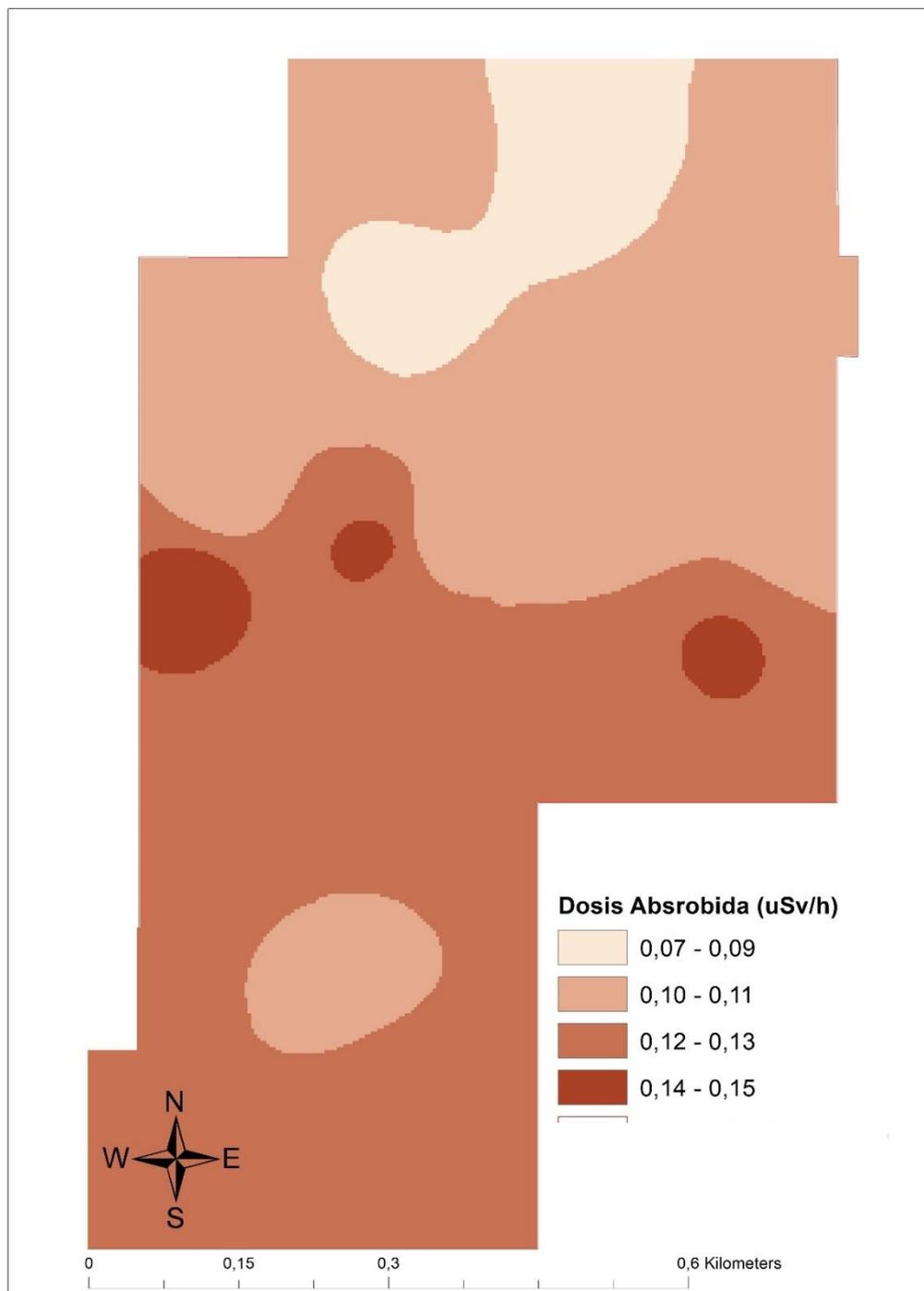


Ilustración 10-3: Mapa de la concentración de dosis absorbida medida en uSv/h en la concesión minera ASONAMBILE.

Realizado por: Chicaiza, 2023

4.1.2 *Mapa de dosis efectiva*

Dosis Efectiva - Radiación Gamma

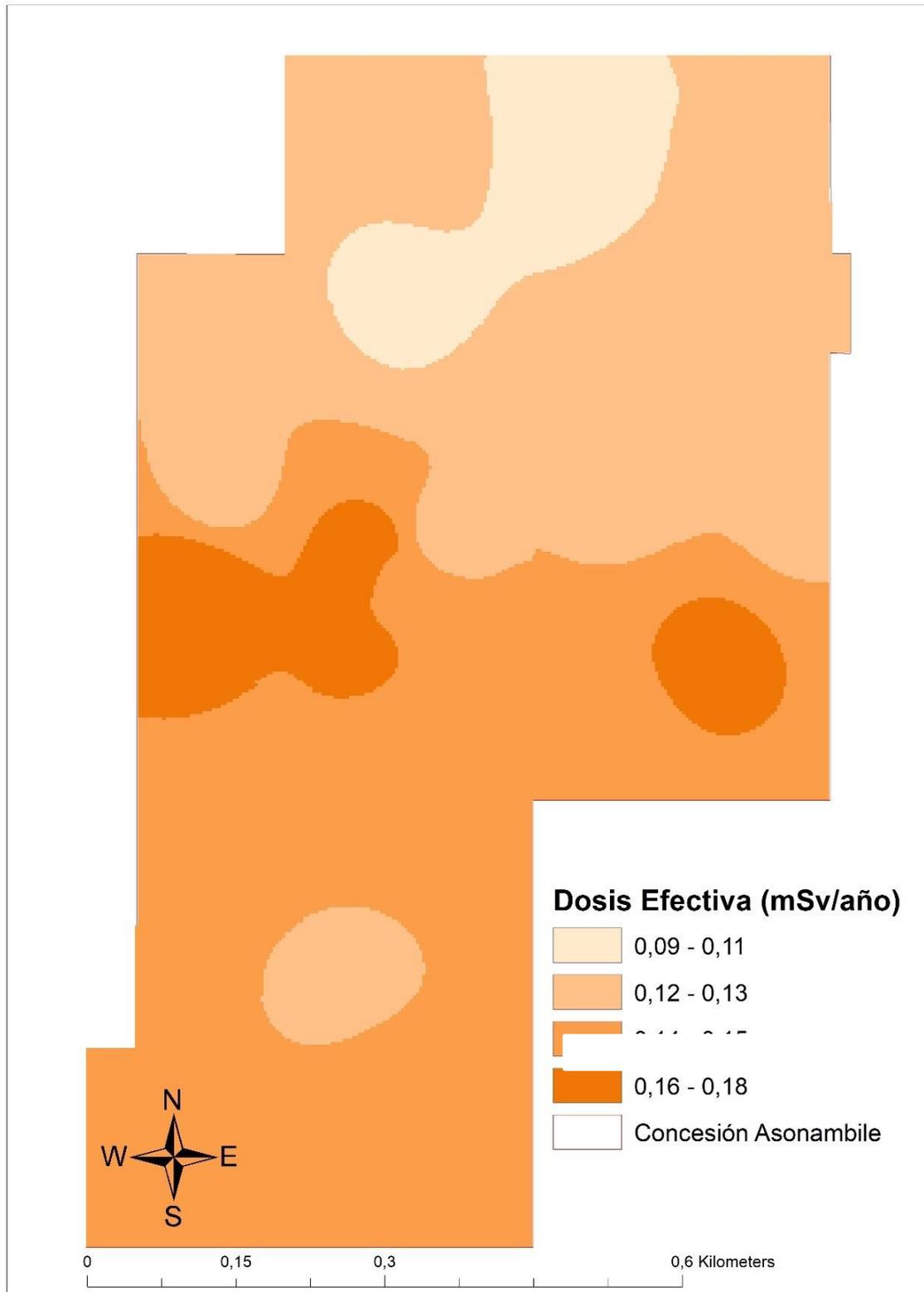


Ilustración 11-3: Mapa de la concentración de dosis efectiva anual medida en mSv/a en la concesión minera ASONAMBILE.

Realizado por: Chicaiza, 2023

4.2 Interpretación de resultados

4.2.1 Interpretación de las mediciones obtenidas con el contador Ludlum

Debido a que se tomaron 5 mediciones por cada punto de monitoreo de radiación gamma terrestre, se procedió a sacar un promedio en por punto, en total se estimaron 95 medidas, y se realizó su correspondiente estadística descriptiva. Para obtener las magnitudes dosimétricas para las mediciones registradas con el registrador Ludlum, se toma en consideración la sensibilidad de la sonda Ludlum 44-2 que contiene un factor de conversión establecido ($175 \text{ cpm} = 0,1 \mu\text{Sv/hr}$) (Ludlum Measurements, 2015). Esta conversión permitió calcular la tasa de dosis absorbida (Dout, $\mu\text{Sv/h}$), permitiendo reescribir la ecuación (7-1) correspondiente a la Tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre de la siguiente forma:

$$AEDE_{out} = 0.7 * D * T * F * /10^3$$

Ecuación 8-3: Tasa de dosis efectiva equivalente anual terrestre.

Donde:

T: número total de horas en un año (8760 horas al año)

F: factor de ocupación exterior con un valor de 0.2 (Lucchetti et al., 2019).

4.2.2 Interpretación de los mapas

Con antelación, en el inciso 4.1. se expusieron los mapas radiométricos resultantes, estos muestran las variaciones de dosis absorbida y dosis efectiva anual respectivamente mediante la variación de intensidad de los colores, sin embargo, el resultado resulta meramente cualitativo puesto que solo se conocen los valores de variación de dosis y se detallan según su posición con referencia geográfica, esto representa un problema a la hora de presentar los resultados debido a que no se puede dar una referencia exacta por área pintada. Para evitar la problemática en cuestión, mediante el software ArcGis, se determinaron los valores de cada una de las áreas, estos se detallan a continuación:

4.2.2.1 Áreas en el mapa de dosis absorbida [$\mu\text{Sv/h}$]

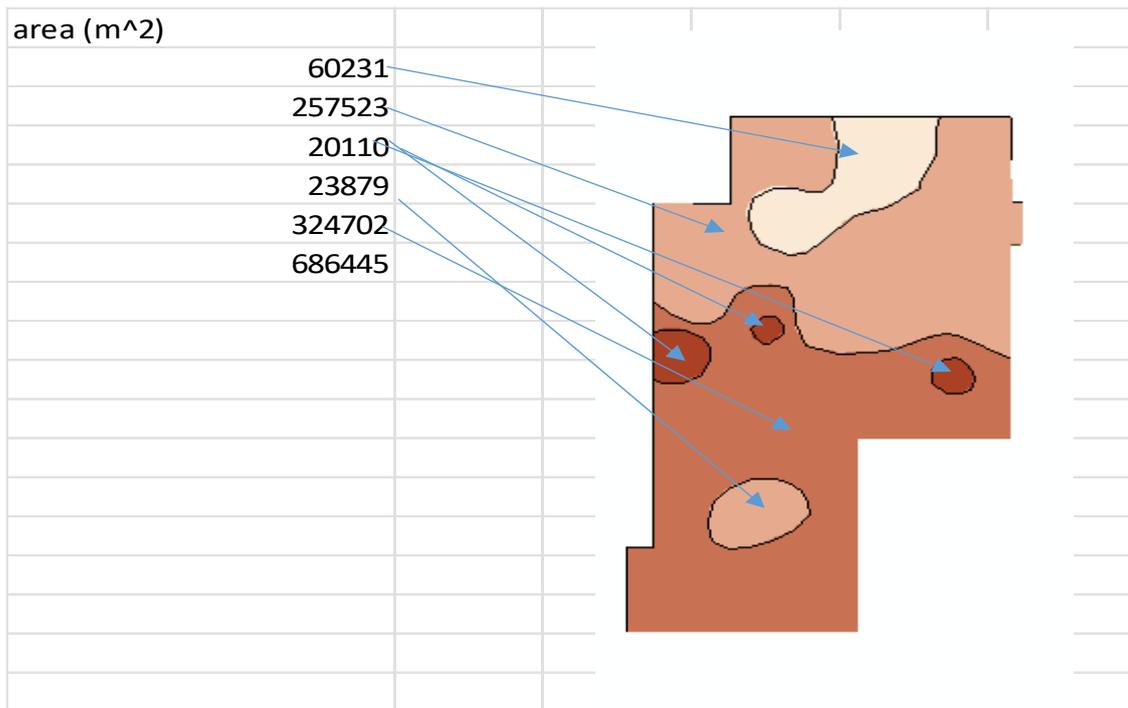


Ilustración 12-3: Mapa de las áreas de la concentración de dosis absorbida en la concesión minera ASONAMBILE.

Realizado por: Chicaiza, 2023

Como se puede visualizar, cada región posee un intervalo de dosis absorbida diferente. Al compararlas con la Ilustración 10.3. se obtuvieron las siguientes áreas con su respectivo valor de dosis absorbida:

- El intervalo de 0.07-0.09 $\mu\text{Sv/h}$ posee una sola área de 60231 m²
- El intervalo de 0.10-0.11 $\mu\text{Sv/h}$ posee dos áreas: una de 257523 m² y otra más pequeña de 23879 m², en total tiene un área de 281402 m².
- El intervalo de 0.12-0.13 $\mu\text{Sv/h}$ posee una sola área de 324702 m²
- El intervalo de 0.14-0.15 $\mu\text{Sv/h}$ posee tres áreas pequeñas: todas de 20110 m², en total tiene un área de 60330 m².

En total, la sumatoria de todas las áreas estudiadas equivale a 686445 m².

4.2.2.2 Áreas en el mapa de dosis efectiva anual [mSv/a]

Del mismo modo que en el apartado anterior, cada región posee un intervalo de dosis absorbida diferente. Al compararlas con la Ilustración 11-3. se obtuvieron las siguientes áreas con su respectivo valor de dosis absorbida:

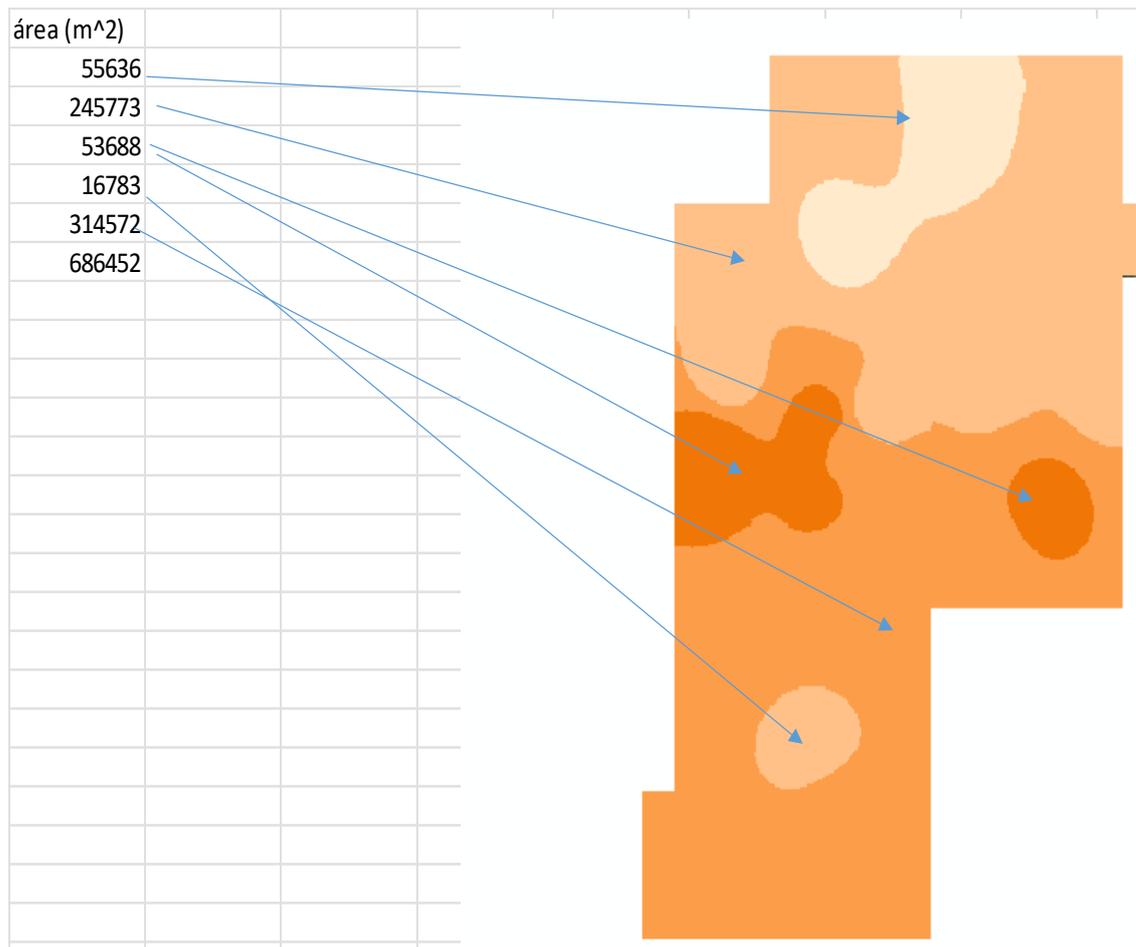


Ilustración 13-3: Mapa de las áreas de la concentración de efectiva anual en la concesión minera ASONAMBILE.

Realizado por: Chicaiza, 2023

- El intervalo de 0.07-0.09 $\mu\text{Sv/h}$ posee una sola área de 55636 m²
- El intervalo de 0.10-0.11 $\mu\text{Sv/h}$ posee dos áreas: una de 245773 m² y otra más pequeña de 16783 m², en total tiene un área de 262556 m²
- El intervalo de 0.12-0.13 $\mu\text{Sv/h}$ posee una sola área de 314572 m²
- El intervalo de 0.14-0.15 $\mu\text{Sv/h}$ posee dos áreas: ambas de 53688 m², en total tiene un área de 107376 m²

En total, la sumatoria de todas las áreas estudiadas equivale a 686452 m².

4.3 Discusión

(Alomari et al., 2019) quien realizó un trabajo investigativo muy similar a este en una mina de Jordania referenció que la radiación gamma tiene un promedio mundial de 59 nGy/h, es decir, 0,06 $\mu\text{Sv/h}$. En este mismo trabajo se evidenció que la variación de mediciones se debió a las diferentes formaciones geológicas del lugar y a los diversos tipos de suelos, es decir, depende de la geología. Ya que esta investigación fue de las primeras en implementar el software ArcMap como método sistemático para determinar los puntos de medición y realizar los mapas digitales,

se utilizó este trabajo como referencia de la cual partir para aplicarla en una de las zonas mineras más importantes del país: ASONAMBILE en Zamora Chinchipe. La metodología del artículo referenciado instauró las bases para definir lo siguiente:

Este es un trabajo in situ que presentó ciertas complicaciones entre las cuales se resalta: primero, el clima del día en que se realizaron las mediciones infirió en los valores medidos, estas mediciones no pudieron ser controladas debido a la lluvia. El manual establecido por (Ludlum Measurements, 2015) enfatiza en ciertas condiciones que se deben cumplir de manera obligatoria para reducir la posibilidad de errores, destaca que las mediciones se deben hacer al aire libre, respetando la distancia de un metro del suelo al centellador, a su vez, indica también que debe estar lo más alejado de viviendas posible y que el instrumento de medida no puede estar expuesto a condiciones pluviosas, sin embargo, al ser Nambija una concesión minera, está rodeada de formaciones irregulares de terreno a más de estar llena de las viviendas de los pobladores, es así que cierto puntos tentativos tuvieron que variar puesto que estaban precisamente en lugares como cerros o dentro de viviendas.

Una vez analizadas las causas por las que existe posibilidad de errores en las mediciones, se tiende a definir lo detallado a continuación: los equipos sobredimensionaron los resultados por factores externos. Como se ve en la Ilustración 10.3, la dosis absorbida mínima fue de $0,07 \mu\text{Sv/h}$ y la máxima fue de $0,15 \mu\text{Sv/h}$, el límite mundial permitido esquivale a $0,06 \mu\text{Sv/h}$, como se puede observar, las mediciones pasan este límite, sin embargo, gracias a trabajos como los realizados por (Abba et al. 2017; Alomari et al. 2019; Ramli 1997) y a las condiciones expuestas con anterioridad atribuidas al fabricante del equipo, se afirma que estos niveles no representan un peligro para la salud humana de los pobladores, más bien, deben su sobredimensión a cuestiones ambientales que no pueden ser controladas, como las condiciones climáticas o el incuestionable aporte de radiación cósmica al equipo.

En cuanto a los resultados obtenidos de los mapas radiológicos resultantes (Ilustración 10-3 y 11-3) se deduce que el área más grande es de 324702 m^2 y tiene un intervalo de $0.12-0.13 \mu\text{Sv/h}$, el área más pequeña corresponde al intervalo de $0.07-0.09 \mu\text{Sv/h}$ por lo que se afirma que la parte norte del mapa posee menor radiactividad que la parte sur.

CONCLUSIONES

Se determinó la dosis absorbida gamma en la concesión minera ASONAMBILE de Zamora Chinchipe. Se estableció que la dosis absorbida gamma corresponde a 0.08 $\mu\text{Sv/h}$ en la parte Norte, 0.125 $\mu\text{Sv/h}$ en la parte Sur, solo ciertas zonas del noreste y noroeste tienen un valor de 0.145 $\mu\text{Sv/h}$, y solo unas pequeñas zonas de la parte Sureste y norte poseen un valor de 0.08 $\mu\text{Sv/h}$ medidas que si bien es cierto, sobrepasan los niveles estandarizados, no representan un riesgo significativo debido principalmente a que las mediciones no pudieron ser controladas en su totalidad, principalmente por aportes de la radiación cósmica y la influencia de la lluvia.

Se establecieron los puntos de muestreo representativo en la concesión minera ASONAMBILE mediante el software Arcmap 10.3, los primeros puntos establecidos de manera sistemática tuvieron que ser cambiados a otros cercanos debido a que algunos de ellos estaban en lugares de difícil acceso en quebradas o zonas con una pendiente demasiado elevada.

Se midieron los niveles de radiación gamma a la que están expuesta la población de la concesión minera ASONAMBILE empleando un medidor de campo el cual consistió en un contador digital conectado a un detector centellador marca LUDLUM capaz de estimar la dosis absorbida gamma siempre y cuando se sigan las recomendaciones mencionadas con antelación.

Se diseñó un mapa radiométrico de los niveles de radiación gamma en la concesión minera ASONAMBILE de la provincia de Zamora Chinchipe, adicionalmente, mediante otro mapa radiométrico se señalaron los niveles de dosis efectiva anual en las minas de Nambija de la concesión minera ASONAMBILE.

RECOMENDACIONES

Llevar a cabo con una mayor frecuencia estudios radiométricos en concesiones mineras del país con el fin de tener valores estándar en Ecuador con los cuales trabajar en caso de investigación.

Considerando que el clima se adecuado para cuando se haga el monitoreo.

Utilizar equipos de estimación de dosis absorbida gamma para reducir el porcentaje de incertidumbre de estas medidas.

Si se desea realizar trabajos de campo en la concesión minera ASONAMBILE se recomienda evitar viajar en los primeros meses del año debido a que la época de invierno dificulta la toma de medidas e interfiere en los resultados finales.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ABBA, Habu; et al.** “Terrestrial gamma radiation dose (TGRD) levels in northern zone of Jos Plateau, Nigeria: Statistical relationship between dose rates and geological formations”. *Radiation Physics and Chemistry* [en línea], 2017, vol. 140, págs. 167-172. [Consulta: 23 enero 2023]. ISSN 18790895. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.01.023>
2. **AILLÓN VÁSCONEZ, María.** “Historia de las normas mineras en Ecuador”. (Página en línea: Pérez, Bustamante & Ponce, 2016). [consulta: 17 enero 2023]. Disponible en: <https://www.pbplaw.com/es/historia-de-las-normas-mineras-en-ecuador/>
3. **ALOMARI, Ahmad; et al.** “Investigation of natural gamma radiation dose rate (GDR) levels and its relationship with soil type and underlying geological formations in Jordan”. *Journal of African Earth Sciences* [en línea], 2019, vol. 155, págs. 32-42. ISSN 1464-343X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.04.006>
4. **ALVAREZ, Julio.** “Sobre la fundamentación del concepto de dosis absorbida”. *Memorias de la Sociedad Mexicana de Seguridad Radiológica A.C* [en línea], vol. 28, 1997, (México), págs. 70-80.
5. **ANDISCO, Daniel; et al.** “Dosimetría en radiología”. *Revista Argentina de Radiología* [en línea], 2014, (Argentina), vol. 78 (2), págs. 114-117. ISSN 0048-7619, Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rard.2014.06.010>.
6. **ATSDR, (AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES),** Radiación Ionizante en la salud pública. *Departamento de salud y servicios humanos de los EE.UU* [en línea]. Kansas: 1999. [consulta: 17 enero 2023]. Disponible en: www.atsdr.cdc.gov/es.
7. **ATSDR, (AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES),** Radiación Ionizante en la salud pública. *Departamento de salud y servicios humanos de los EE.UU* [en línea]. Atlanta: 2021. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs149.html
8. **BADEL, Aníbal; et al.** “Radiación ionizante: revisión de tema y recomendaciones para la práctica”. *Revista Colombiana de Cardiología* [en línea], 2018, (Colombia), vol. 25 (3), págs. 222- 229 ISSN 0120-5633. Disponible en: DOI 10.1016/J.RCCAR.2017.10.008.
9. **CAMACHO SUAREZ, Juan Carlos.** Dosis estimada de radiación cósmica ionizante en rutas aéreas de operadores colombianos. [En línea]. (Trabajo de titulación) Universidad Nacional De Colombia, facultad de Medicina, medicina aeroespacial. Medellín- Colombia. 2017. Disponible en: https://n9.cl/https___repositorio_unal_edu_c

10. **CASCÓN Adriana.** “Riesgos asociados con las radiaciones ionizantes”. *Revista Argentina de Cardiología* [en línea]. 2009, 77(2), págs.123-128 ISSN: 0034-7000. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305327028010>
11. **CHERRY, Robert.** “Cantidades, unidades y definiciones de la radiación ionizante”. *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*, vol. 2, (2014). Pág 48- 74.
12. **CHIOSSI, Carlos.** 2020. “Una mirada a la Interacción de la Radiación Electromagnética Ionizante con la Materia y aplicaciones”. *Hojitas de conocimiento* [en línea], 2020, (Argentina), vol 2, págs. 331-332. ISBN: 978-987-1323-12-8. Disponible en: <https://n9.cl/rghzkr>
13. **CONSEJO DE SEGURIDAD NACIONAL.** Radiación natural y artificial. [en línea], 2020. [consulta: 29 julio 2023]. Disponible en: <https://www.csn.es/radiacion-natural-y-artificial2>.
14. **CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR.** Dosis de radiación. *CSN.* [en línea], 2010. (España). Disponible en: <https://n9.cl/z3017>
15. **CONSORCIO, Gabriela.** “Guía para la protección del trabajador y el ambiente durante la exploración de uranio”. 2004. (Perú).
16. **FLANAGAN, Edward.** “Radiación ionizante en entornos de trabajo”. *Mother To Baby / Fact Sheets* [en línea], 2022, [consulta: 30 julio 2023]. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK582774/pdf/Bookshelf_NBK582774.pdf
17. **Fundación UOCRA.** *Salud y seguridad en trabajos de minería.* Buenos Aires- Argentina: aulas y andamios, 2017. ISBN: 978-987-24878-9-8, págs. 74-77.
18. **GAD MUNICIPAL DE ZAMORA.** “Ordenanza para la gestión y manejo de los desechos peligrosos generados en el cantón Zamora”. 2018, págs. 12-15.
19. **GALLEGO DÍAZ, Eduardo.** Las radiaciones ionizantes: una realidad cotidiana. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Dpto. Ingeniería Nuclear. Madrid- España. 2010. Págs. 31-33. Disponible en: https://oa.upm.es/9751/1/INVE_MEM_2010_87691.pdf
20. **GARCÍA ESCANDÓN, Fernando, et al.** “Protocolos de vigilancia sanitaria específica radiaciones ionizantes”. *Salud laboral* [en línea], 2003, (España), págs. 17-21. [consulta: 30 julio 2023]. Disponible en: <https://www.saludcastillayleon.es/profesionales/es/saludlaboral/protocolos-vigilancia-salud-especifica.ficheros/1224229-Ionizantes.pdf>.
21. **LUDLUM MEASUREMENTS,** 2015. **LUDLUM MODEL 44-10 GAMMA SCINTILLATOR** Manual. S.I.

22. **MASSA, José María; et al.** Cálculo de dosis absorbida en radioterapia. *VII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación* [en línea], 2005, págs. 3-4. [consulta: 30 julio 2023]. Disponible en: <https://n9.cl/dqe0p>
23. **NJINGA, Raymond & TSHIVHASE, Victor.** “Lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in soils from Tudor Shaft mine environs, South Africa.” *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* [en línea], 2016, vol. 9 (3), págs. 310-315. ISSN 16878507. DOI 10.1016/j.jrras.2016.02.003.
24. **OMS (Organización Mundial de la Salud).** “Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección”, [en línea], 2023. [consulta: 30 julio 2023]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>.
25. **ORTEGA ARAMBURU, Xavier & JORBA BISBAL, Jaime.** *Radiaciones ionizantes. Utilización y riesgos II* [en línea]. Edicions UPC. [consulta: 17 enero 2023]. vol. 2. Disponible en: <https://books.google.com.cu/books?id=0PTbC9IZPqoC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>.
26. **PASCUAL BENÉS, Adoración.** “NTP 728: Exposición laboral a radiación natural.” *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo* [en línea], 2019, págs. 3-4. [consulta: 30 julio 2023]. Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/327446/ntp_728.pdf/bb16cb55-75dc-42ad-a071-c9439843e9a3
27. **PRECIADO, Mercedes & LUNA, Verónica.** *Medidas Básicas de Protección Radiológica. Cancerología 5* [en línea], 2005, págs. 25-30. [consulta: 16 enero 2023] Disponible en: <https://n9.cl/by38n>
28. **RAMLI, Ahmad.** “Environmental Terrestrial Gamma Radiation Dose and its Relationship with Soil Type and Underlying Geological Formations in Pontian District, Malaysia.” *Applied Radiation and Isotopes* [en línea], 1997, vol 48 (3), págs. 407-412. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(96\)00264-3](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(96)00264-3)
29. **SAINI, Komal y BAJWA, Bassi.** “Mapping natural radioactivity of soil samples in different regions of Punjab, India.” *Applied Radiation and Isotopes* [en línea], 2017, vol. 127, págs 73-81, ISSN 18729800. Disponible en: DOI 10.1016/j.apradiso.2017.05.013.
30. **SANUSI, Mahad; et al.** “Isodose mapping of terrestrial gamma radiation dose rate of Selangor state, Kuala Lumpur and Putrajaya, Malaysia.” *Journal of Environmental Radioactivity* [en línea], 2014, vol. 135, págs. 67-74, ISSN 18791700. Disponible en: DOI 10.1016/j.jenvrad.2014.04.004.
31. **SEPÚLVEDA, Sabrina.** “Protección radiológica y de buenas prácticas en radiología dento-maxilo-facial”. *Manual de Protección Radiológica y de Buenas Prácticas* [en línea], 2015, vol. 16, págs. 101-107. Disponible en:

https://www.sefm.es/userfiles/foro_csn_sefm_sepr/manual_general_pr_medio_hospitalario.pdf

32. **SIEVERT, Rolf.** Exposición del hombre a las radiaciones ionizantes, con especial referencia a sus posibles efectos genéticos [en línea], 1958, págs. 12-14. (Estocolmo). Disponible en: <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/12359/v45n3p196.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
33. **UBEDA, Carlos; et al.** “Radioprotección al día en radiología diagnóstica: Conclusiones de la Conferencia Iberoamericana de Protección Radiológica en Medicina (CIPRaM)”. *Revista chilena de radiología* [en línea], 2017, vol. 23 (1), ISSN 0717-9308. DOI 10.4067/S0717-93082017000100004. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071793082017000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=en.
34. **UNSCEAR,** “Sources and effects of ionizing radiation”. *United nations* [en línea], 1996, vol 1, págs. 359-374. ISBN 92-1-142238-8. Disponible en: https://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR_2000_Report_Vol.1.pdf
35. **US EPA, O.** Información básica sobre la radiación. *EPA en español* [en línea], 2021. [consulta: 30 julio 2023]. Disponible en: <https://19january2021snapshot.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-la-radiacion>.
36. **VEINTIMILLA GRANDA, Jorge Enrique.** Caracterización geológica y mineralógica del sector El Tierrero, distrito minero Nambija, provincia de Zamora Chinchipe – Ecuador. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Técnica Particular de Loja, área técnica, geología y minas. Loja- Ecuador. 2014. Pág 20-24. Disponible en: <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/11014/1/Veintimilla%20Granda%2C%20Jorge%20Enrique.pdf>
37. **VÉLEZ VÉLEZ, Valeria Guadalupe.** Evaluación del Factor ORG con mineral de mina en el Condominio Sur, Nambija. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Técnica Particular de Loja, Área Técnica, Geología y Minas. Loja-Ecuador. 2017. Págs. 66-68. Disponible en: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/18394>



ANEXOS

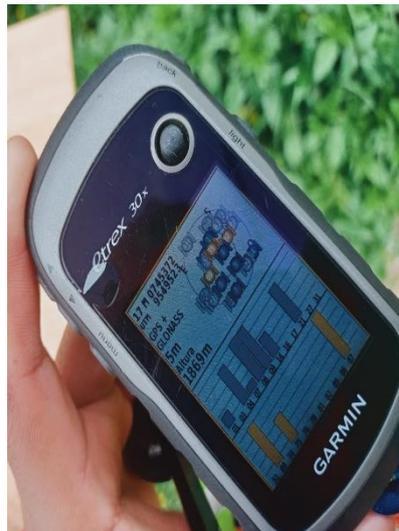
ANEXO A: METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE LA DOSIS ABOSRBIDA



ANEXO B: MONITOREO EN LA CONSECIÓN MINERA ASONAMBILE DE ZAMORA CHINCHIPE



ANEXO C: PUNTOS REFERENCIALES SEÑALADOS POR EL GPS



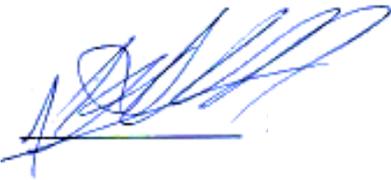
ANEXO D: GEOGRAFÍA DEL SUELO DE DIFICULTÓ TOMAR MEDICIONES EN LOS PUNTOS SEÑALADOS EN Ilustración 8-3





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 14/08/24

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: María José Chicaiza Pumasunta
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Física
Título a optar: Física
 Dr. Celso Guillermo Recalde Moreno Director del Trabajo de Integración Curricular  Dra. Azucena Nataly Bonilla García Asesora del Trabajo de Integración Curricular