



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE FÍSICA

**“ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA
MEDICIÓN DEL FONDO GAMMA EN LAS FUENTES
TERMALES DEL ECUADOR”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Integrador

Presentado para optar el grado académico de:

BIOFÍSICO

AUTOR:

ARIEL ALEXANDER CASTELLANO CASTELLANO

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE FÍSICA

**“ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA
MEDICIÓN DEL FONDO GAMMA EN LAS FUENTES
TERMALES DEL ECUADOR”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Integrador

Presentado para optar el grado académico de:

BIOFÍSICO

AUTOR: ARIEL ALEXANDER CASTELLANO CASTELLANO

DIRECTOR: DR. RICHARD WILLIANS PACHACAMA CHOCA

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Ariel Alexander Castellano Castellano

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

Yo, Ariel Alexander Castellano Castellano, declaro que el presente trabajo de titulación 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 autor/autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de agosto de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ariel Alexander Castellano Castellano', with a stylized flourish below it.

Ariel Alexander Castellano Castellano
050414005-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE FÍSICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto Integrador, **ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DEL FONDO GAMMA EN LAS FUENTES TERMALES DEL ECUADOR**, realizado por el señor: **ARIEL ALEXANDER CASTELLANO CASTELLANO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Mat. Luis Marcelo Cortez Bonilla PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2021-08-24
Dr. Richard Willians Pachacama Choca DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2021-08-24
Biof. Vilma Nohemí Yanchapanta Bastidas Msg. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2021-08-24

DEDICATORIA

A DIOS por haber darme la vida y sabiduría, a mis padres y familiares por ese apoyo incondicional durante toda mi formación académica.

Ariel

AGRADECIMIENTO

A mi tutor y miembro de tesis, Mgs. Vilma Yanchapanta Bastidas por ese apoyo en la realización de este presente trabajo de investigación así mismo, a mis profesores por su paciencia y conocimiento brindado durante toda mi formación profesional.

Ariel

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	7
1.1. Radiación natural.....	7
1.1.1. Radiación cósmica	8
1.1.2. Rayos gamma procedentes de la tierra y de los edificios	8
1.1.3. Alimentos y bebidas.....	9
1.2. Límites de dosis	9
1.2.1. Principales formas de controlar la exposición a la radiación	11
1.2.2. Tipos de exposición a radiaciones ionizantes:	11
1.2.3. Clasificación de los trabajadores expuestos	12
1.3. Ubicación geográfica del Ecuador	12
1.4. Variaciones en la radiactividad natural terrestre.	13
1.4.1. Humedad del suelo.....	13
1.4.2. Nieve.	14
1.4.3. Contenido de radón.....	14
1.5. Tipos de radiación ionizante	14
1.5.1. Desintegración α (alfa)	15
1.5.2. Desintegración β (beta).....	16
1.5.3. Radiación γ (gamma)	16

1.5.4.	<i>Rayos x</i>	17
1.6.	Radiación de Fondo Gamma	17
1.6.1.	<i>La radiación gamma-terrestre</i>	17
1.6.2.	<i>Radiación gamma-cósmica</i>	18
1.7.	Efectos biológicos de las Radiaciones Ionizantes	18
1.7.1.	<i>Efectos determinísticos no estocástico</i>	18
1.7.2.	<i>Efectos Estocásticos</i>	20
1.8.	Magnitudes Dosimétricas	20
1.8.1.	<i>Exposición</i>	21
1.8.2.	<i>Dosis Absorbida</i>	21
1.8.3.	<i>Dosis Equivalente</i>	22
1.8.4.	<i>Dosis Efectiva</i>	22
1.9.	Detector Gamma Scout	23
1.10.	Bases conceptuales	24
1.10.1.	<i>Radiación Gamma</i>	24
1.10.2.	<i>La radiación gamma ambiental</i>	25
1.10.3.	<i>Exposición a la radiación externa</i>	25

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	26
2.1.	Tipo de Investigación	26
2.2.	Diseño de la investigación	26
2.2.1.	<i>Diseño pre experimental</i>	27
2.1.1.1	<i>Identificaciones variables</i>	27
2.1.1.2.	<i>Operacionalización de las variables</i>	27
2.3.	Termales existentes en el Ecuador	28
2.3.1.	<i>Distancia por cada punto en piscinas grandes</i>	31
2.3.2.	<i>Distancia por cada punto en piscinas pequeñas (abiertas) y sitios cerrados.</i>	31

2.3.	Metodología para el monitoreo del fondo gamma.....	32
2.3.1.	<i>Toma de medidas</i>	32
2.3.2.	<i>Ubicación de los equipos para la toma de datos en las aguas termales.</i>	32
2.3.3.	<i>Distancia por cada punto en piscinas grandes</i>	32
2.3.4.	<i>Distancia por cada punto en piscinas pequeñas.</i>	33
2.3.5.	<i>Altura de cada punto</i>	33
2.3.6.	<i>Tiempo de lectura del dosímetro Gamma Scout</i>	33
2.3.7.	<i>Tiempo estimado para del estudio de las fuentes termales</i>	33
2.3.8.	<i>Obtención de los datos</i>	34
2.4.	Aplicación de la metodológica propuesta en el caso de estudio.	34
2.4.1.	<i>Población de estudio</i>	35
2.4.2.	<i>Tamaño de la muestra</i>	35
2.4.3.	<i>Método de muestreo</i>	36
2.5.	Equipos y materiales usados para la toma de datos en la fuente termal.....	36
2.5.1.	<i>Detector “Gamma Scout”</i>	36
2.5.2.	<i>Equipo y Software</i>	37
2.5.3.	<i>Trípode</i>	38
2.6.	Análisis e interpretación de datos	38
2.6.1.	<i>Análisis Estadístico Inferencial</i>	38
2.6.2.	<i>Exposición</i>	38
2.6.3.	<i>Dosis Equivalente</i>	38

CAPÍTULO III

3.	ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	40
3.1.	Datos de radiación gamma de dos fuentes termales.....	40
3.1.1.	<i>Análisis Estadístico Descriptivo de la tasa de radiación de fondo natural gamma de las fuentes de aguas termales de Licamancha</i>	41
3.1.2.	<i>Análisis Estadístico Descriptivo de la radiación de fondo natural gamma de las fuentes de aguas termales de Cunuyacu</i>	48

3.2.	Cálculo de la Exposición de radiación de fondo gamma de los diferentes puntos muestrales de la termal de Licamancha y Cunuyacu a una altura de 20cm y 100 cm.	53
3.2.1.	<i>Tasa dosis de exposición de la radiación de fondo gamma de la termal de Licamancha.</i>	53
3.2.2.	<i>Tasa dosis de exposición de la radiación de fondo gamma de la termal de Cunuyacu</i>	55
3.3.	Mapa de las fuentes de aguas termales del Ecuador.....	57
	CONCLUSIONES.....	58
	RECOMENDACIONES.....	59
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Límites de dosis para el profesionalmente expuesto y el público	10
Tabla 2-1:	Estimación de la dosis equivalente efectiva anual y sus respectivos rangos típicos.....	14
Tabla 3-1:	Factores de ponderación de la radiación y de los tejidos.....	23
Tabla 1-2:	Operacionalización de las variables	27
Tabla 2-2:	Aguas termales del Ecuador	28
Tabla 3-2:	Matriz para obtención de datos.....	34
Tabla 4-2:	Características técnicas del detector Gamma Scout	36
Tabla 5-2:	Descripción de los equipos y materiales utilizados	37
Tabla 1-3:	Estadística Descriptiva de los datos de radiación de fondo natural gamma de las aguas termales de Licamancha, a 20 cm de altura.	41
Tabla 2-3:	Estadística Descriptiva de los datos de radiación de fondo natural gamma de las aguas termales de Licamancha, a 100 cm de altura.	44
Tabla 3-3:	Estadística Descriptiva de los datos de radiación de fondo natural gamma de las aguas termales de Cunuyacu, a 20 cm de altura.	48
Tabla 4-3:	Estadística Descriptiva de los datos de radiación de fondo natural gamma de las aguas termales de Cunuyacu, a 100 cm de altura.	50
Tabla 5-3:	Tasa de exposición de radiación de fondo gamma de la termal de Licamancha dada por puntos a una altura de 20 cm.	54
Tabla 6-3:	Tasa de exposición de radiación de fondo gamma de la termal de Licamancha dada por puntos a una altura de 100cm.....	54
Tabla 7-3:	Tasa de exposición de la radiación de fondo gamma de la termal de Cunuyacu por puntos a una altura de 20 cm.	56
Tabla 8-3:	Radiación de fondo gamma de la termal de Cunuyacu por puntos a una altura de 100cm.	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	País del Ecuador.....	13
Figura 2-1:	Capacidad de penetración de las partículas alfa, beta y gamma	15
Figura 1-2:	Provincia de Cotopaxi casos de estudio.....	35

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Dosis debidas a fuentes naturales de radiación	48
Gráfico 1-3:	Radiación de fondo gamma de la termal de Licamancha distribuida por puntos a diferentes alturas.	48
Gráfico 2-3:	Radiación de fondo gamma de la termal de Licamancha distribuida por puntos a diferentes alturas.	53

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Datos del monitoreo a la termal de Licamancha a 20cm
- Anexo B:** Datos del monitoreo a la termal de Licamancha a 100cm.
- Anexo C:** Datos del monitoreo a la termal de Cunuyacu a 100cm.
- Anexo D:** Datos del monitoreo a la termal de Cunuyacu a 20cm.
- Anexo E:** Obtención de los datos de radiacion de fondo gamma en las aguas termales de Licamancha
- Anexo F:** Monitoreo de la radiacion de fondo gamma con el detector Gamma Scout
- Anexo F:** Toma de medidas de la termal de Cunuyacu
- Anexo G:** Monitoreo de la radiacion de fondo gamma
- Anexo H:** Guía para la medición de la radiacion de fondo gamma de una termal

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular tiene como objetivo la elaboración de una metodología para el monitoreo del fondo gamma en las fuentes termales del Ecuador. Para ello se identificó 56 fuentes termales en el país con la ayuda de los sistemas de información geográficos, se conoció el nivel de radiación de fondo gamma de dos termales, iniciando con monitoreo del termal de Licamancha, la misma que se encuentra a 2349 msnm con una temperatura promedio del agua y ambiental de 22,5 °C y 15 °C, una humedad promedio ambiental de 75%, se estimó los niveles de radiación de fondo gamma a dos alturas diferentes de 20 cm y 100 cm obteniendo una tasa de dosis de 1,207 y 1,074 mSv/año respectivamente. Luego se estudió la termal de Cunuyacu, ubicada en la falda del Iliniza sur a una altura de 4132 msnm, obteniendo una temperatura promedio del agua y ambiental de 31,3 y 13°C, una humedad promedio ambiental de 78%, además se identificó los niveles de radiación de fondo gamma siendo estos de 1,792 y 1,6102 mSv/año a una altura de 20 cm y 100 cm encontrándose dichos valores de radiación de fondo gamma por debajo de los límites establecidos por organismos internacionales. Así mismo se analizó la tasa de exposición de la radiación de fondo gamma en ambas termales a diferentes alturas, las mismas que se encuentran por debajo del límite máximo establecido que es de 7,065E-05 C/Kg año, cabe señalar que se debe ampliar el tiempo de análisis a 45 días en diferentes estaciones del año, además de utilizar equipos que permitan medir humedad del suelo, viento o nieve.

Palabras clave: <AGUAS TERMALES> <RADIACIÓN GAMMA> <FONDO NATURAL>
<DETECTOR GAMMA SCOUT> <TASA DE DOSIS>



1740-DBRA-UPT-2021

2021-09-06

ABSTRACT

The aim of this curricular integration work is the elaboration of a methodology for monitoring the gamma background in the thermal springs of Ecuador. For this purpose, 56 hot springs in the country were identified with the help of geographic information systems, the level of gamma background radiation of two hot springs was known, starting with the monitoring of the Licamancha hot spring, which is located at 2349 meters above sea level with an average water and environmental temperature of 22.5 °C and 15 °C, an average environmental humidity of 75%. The levels of gamma background radiation were estimated at two different heights of 20 cm and 100 cm, obtaining a dose rate of 1,207 and 1,074 mSv/year respectively. The Cunuyacu hot spring, located on the slopes of the southern Iliniza at an altitude of 4132 m above sea level, was then studied, obtaining an average water and ambient temperature of 31.3 and 13°C, an average ambient humidity of 78%, and the levels of gamma background radiation were identified as 1.792 and 1.6102 mSv/year at a height of 20 cm and 100 cm, these background gamma radiation values being below the limits established by international organisations. Likewise, the exposure rate of gamma background radiation was analysed in both hot springs at different heights, which are below the maximum limit established, which is 7.065E-05 C/Kg/year. It should be noted that the analysis time should be extended to 45 days in different seasons of the year, in addition to using equipment that allows measuring soil humidity, wind or snow.

Key words: <THERMAL WATERS> <GAMMA RADIATION> <NATURAL BACKGROUND>. <GAMMA SCOUT DETECTOR>, <DOSE RATE>.

INTRODUCCIÓN

El Ecuador está ubicado geográficamente sobre el Cinturón de Fuego del Pacífico, y es por ello que presenta una biodiversidad diversa, como las fuentes de aguas termales que se encuentran localizadas en zonas cercanas a volcanes o fallas tectónicas, las mismas que brotan desde el interior de la tierra, en donde el agua se calienta para posteriormente subir a la superficie, ya sea como vapor o agua termal, produciendo una temperatura superior a la ambiental. Estas fuentes de aguas termales generalmente son aprovechadas por los seres humanos, debido a sus propiedades terapéuticas y relajantes que son promocionadas en balnearios con fines recreativos y medicinales.

Debido a que la fuente termal es de origen geológico, va a constituir una fuente de exposición de radiación natural y, por ende, un posible riesgo para la población en general. De modo que, desde un punto de vista radiológico, es necesario elaborar una metodología que se pueda utilizar, con el fin de identificar cuáles son las zonas en nuestro país que tienen mayor cantidad de fondo gamma y con ello, conocer dichos niveles y saber si la integridad de las personas como empleados y bañistas que acuden a estos lugares no se encuentren ante una posible fuente de exposición por radiación gamma de origen natural que ponga en riesgo su salud a largo plazo.

Con lo expuesto anteriormente, el presente trabajo de integración curricular se realiza en base a una investigación experimental y con un enfoque cualitativo, esto con el fin de elaborar un procedimiento adecuado y aplicarlo en las aguas termales de estudio, de tal manera que sirva como base para estudios o investigación posteriores, dicho trabajo estará distribuido en tres capítulos:

En el Capítulo I, se realiza una descripción de los antecedentes y a su vez un planteamiento formal del problema, se justifica la necesidad de elaborar una metodología que sirva para monitorear las fuentes termales, además se establecen objetivos que se desean alcanzar con este estudio, también se menciona las bases teóricas y conceptos necesarios como: las magnitudes dosimétricas y las dosis de fuentes naturales de radiación entre otras.

En el capítulo II, se plantea el marco metodológico, siendo la parte fundamental de esta investigación señalando el tipo y diseño de la investigación, asimismo los materiales, pasos y procedimientos a seguir para la medición del fondo gamma en las fuentes termales.

En el Capítulo III, se detallan los resultados obtenidos, como es la cantidad de radiación de fondo gamma, que emite las fuentes de aguas termales como caso de estudio, de la misma manera se muestra el cálculo de la exposición y la dosis equivalente.

Finalmente, se analiza y comprende los resultados arrojados por parte de la investigación, además se enuncia las conclusiones y recomendaciones obtenidas, las mismas que son de suma importancia en este estudio.

ANTECEDENTES

En primer lugar, en el año 2010 en la ciudad de Tafila ubicada en Jordania se realizó un artículo denominado, “*Radiation doses due to natural radioactivity in the Afra hot springs, Jordan*”, el cual tuvo como objetivo conocer las áreas con mayor radiación del fondo natural, de las aguas termales de Afra, y esto a su vez permitió identificar los impactos potenciales más conocidos relacionados a la exposición de la radiación, que afecta la salud pública de todas las personas.

Se utilizó un contador de Geiger-Muller portátil y un detector de NaI (TI), el cual permitió registrar una tasa dosis de rayos gamma, que se ubicó a 1 m por encima del suelo, medidas que estuvieron en el rango de 10 a 18 000 $\frac{nSv}{h}$. Posteriormente a ello, se colocó el medidor en el suelo, en dónde se registraron tasas de dosis más altas que las anteriores. La tasa promedio de 150 $\frac{nSv}{h}$, que es 15 veces mayor que los niveles de radiación existentes en áreas circundantes, que permitió obtener un resultado sorprendente, el cual fue la tasa de dosis gamma registrada en zonas de alta radiación en las aguas termales de Afra se midió en 4.0 $\frac{mSv}{h}$, que es la tasa de dosis más alta registrada en cualquier parte del mundo (Ajlouni et al., 2010).

Del mismo modo, en el 2009 en la ciudad de Ardabil-Irán se realizó un estudio dirigido por “Ardabil University of Medical Sciences”, quién investigó la probabilidad de existencia de radiación gamma en sustancias radiactivas naturales, las cuales están combinadas con yacimientos geológicos, que fueron encontrados en regiones volcánicas, específicamente en la montaña volcánica de Sabalan, en dónde se encontraron fuentes termales con aguas de hasta 80 °C. Para realizar dichas mediciones, se utilizó un dosímetro Geiger Muller (Modelo: Smart Ion) el cual, fue colocado en diferentes alturas tanto de 1 metro y 5 centímetros respectivamente de la fuente termal, teniendo como resultado una tasa promedio de rayos gamma que en comparación con el estándar mundial es de 8-10 veces mayor, cabe destacar que se puede considerarse a esta región natural como altamente radiactiva (Alizadeh et al, 2008, p.4).

Por otra parte, en el artículo “*Indoor radon levels and total gamma dose rates measurements in Portuguese thermal spas*” de (2017), se realizó un estudio para evaluar la concentración de radón y la tasa de dosis de rayos gamma, existentes en 16 establecimientos de spas termales, esto se lo realizó a través de un contador Geiger (Gamma Scout - GS3) para la radiación gamma y un detector CR-39 para la concentración de radón, en este estudio se utilizó, además un método más exhaustivo, el cual tuvo un periodo de duración de 25 a 45 días, teniendo como resultados que las concentraciones de radón fueron más elevadas en algunas termales, cabe destacar que en varios

casos, la concentración de radón excedió el umbral recomendado por la legislación portuguesa de $400 \frac{Bq}{m^3}$, donde los principales afectados a la dosis efectiva anual total son los trabajadores. Las dosis de radiación gamma tuvieron una contribución relativamente baja a la dosis anual total (Dinis et al., 2017).

En el trabajo denominado “Gamma radiation in the mineral hot springs of Ardabil, Irán: Assessment of Environmental Dose Rate and health risk for swimmers” (2020), se realizó un estudio en la provincia de Ardabil en Irán con la finalidad, de evaluar el nivel de radiación gamma presente en aguas termales, además del posible riesgo de cáncer por radiación gamma para los nadadores de dicha provincia, esto se lo realizó a través de una cámara de iones 451B, la misma que arrojó una tasa de dosis absorbida anual alta de $1,17 \times 10^{-3} \frac{Sv}{año}$ y una baja de $1,99 \times 10^{-3} \frac{Sv}{año}$ a una altura de 20 cm, mientras tanto que a una altura de 100 cm una dosis de $5,26 \times 10^{-4} \frac{Sv}{año}$ y $1,52 \times 10^{-3} \frac{Sv}{año}$ respectivamente, aunque el nivel de riesgo de cáncer fue menor al comparar con el promedio global que es de $1,45 \times 10^{-3} \frac{Sv}{año}$ declarado por Naciones Unidas, por esa razón se recomendó usar medidas de protección y prevención, para reducir los efectos de la radiación gamma (Ghaffari, 2020, pp-177-186).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Ecuador es un país turístico y acogedor debido a que cuenta, con piscinas naturales de aguas termales las mismas que, brotan desde el subsuelo y contienen diversos minerales tales como; el hierro y azufre. Por consiguiente, debido a la ubicación geográfica del Ecuador, a lo largo del llamado Cinturón de Fuego del Pacífico de los Andes, existen en las cuatro regiones de nuestro país actividad volcánica, convirtiendo al Ecuador en uno de los mejores lugares del mundo para relajarse en un baño termal de aguas ricas en minerales y lodos.

Sin embargo, esto podría ser una fuente de radiación natural, a la que están expuestos el personal que labora como el público que acude a estos lugares, debido a los elementos radiactivos presentes en la corteza terrestre como la radiación gamma. Por ende, es necesario realizar una metodología para un posterior estudio de la concentración de los niveles de exposición externa, presente en las aguas termales utilizando un gamma Scout, teniendo en cuenta que las cantidades de límite de dosis deben estar acorde a la normativa de la institución reguladora; la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP).

JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El motivo del presente estudio tiene como objeto elaborar una metodología, la cual sea factible para conocer el riesgo potencial o inmediato que podría generarse en los seres humanos, debido a que muchas de estas aguas utilizadas en las termales, provienen de la naturaleza geológica desde su origen, calentada con energía geotérmica, pudiendo construir una fuente de exposición a la radiación natural, convirtiéndose así en un aspecto que aumenta la dosis al fondo natural que reciben las personas.

Con esta investigación se busca conocer el procedimiento racional utilizado para monitorear, las principales termales del Ecuador, a fin de conocer los niveles de radiación de fondo gamma al que estamos expuestos, considerando las recomendaciones internacionales, en dónde se comparte información acerca de conceptos y valores de límite de dosis, además es necesario y fundamental desarrollar técnicas que permitan prevenir e informar toda la población, sobre el riesgo que representa la radiación gamma, además con esto permitirá conocer la localidad, en la que se encuentran las fuentes termales del Ecuador.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Elaborar una metodología para la medición del fondo gamma en las fuentes termales del Ecuador

Objetivos específicos

- Identificar geográficamente cuáles son las fuentes termales naturales del Ecuador con la ayuda de los sistemas de información geográficos.
- Calcular la exposición externa debido a la radiación gamma del interior de una fuente termal en el Ecuador.

- Conocer los niveles de radiación de fondo gamma y sus principales efectos biológicos que podrían desencadenar.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Radiación natural

Todas las personas que viven en el planeta tierra han estado siempre expuesto a fuentes naturales de radiaciones ionizantes: rayos cósmicos, materiales radiactivos que se hallan en la corteza terrestre, algunos de ellos están inmersos en materiales de construcción, el aire y en los alimentos que consumimos en nuestra vida cotidiana, además se ha encontrado material radiactivo presente dentro de organismos vivos como el potasio 40 y el carbono 14, destacados por ser esenciales para la vida. (Colegio Oficial de Físicos, 2001, p.15).

Según el (UNSCEAR) aseguran que la dosis debida a la emisión de radiación procedente de a la emisión de fuentes naturales posee un valor mundial medio de 2,4 mSv cada año, dicho valor está distribuido tal como muestra en la Figura 1-1 (Colegio Oficial de Físicos, 2001, p.15).

A estas radiaciones se las cataloga como radiación natural o de fondo, las mismas que forman parte del medio ambiente, y dependen fuertemente de diversos factores como lo describe el (Colegio Oficial de Físicos, 2001, p.16) en su investigación:

-La altura sobre el nivel del mar es una variable característica que indica que la radiación es retenida en parte por la atmósfera y debido a ello, la gente que vive en las grandes alturas recibe dosis más altas de radiación externa que las personas que habitan a nivel del mar.

-El contenido del material radiactivo presente ya sea en el suelo o materiales para construcción de edificaciones como, por ejemplo, graníticas, cuyo contenido en material radiactivo es alto, es por ello que contribuyen a tener una elevada dosis en la población residente en ella.

-Con la innovación de la tecnológica modifica la exposición del hombre a las radiaciones, como un ejemplo tenemos a la combustión del carbón, debido a esto se emana a la atmósfera un sin número de trazas de material radiactivo natural, así mismo

el uso de fertilizantes como fosfatados aumenta la irradiación debido a los radionucleidos naturales que se encuentran en la tierra (Colegio Oficial de Físicos, 2001, p.16).

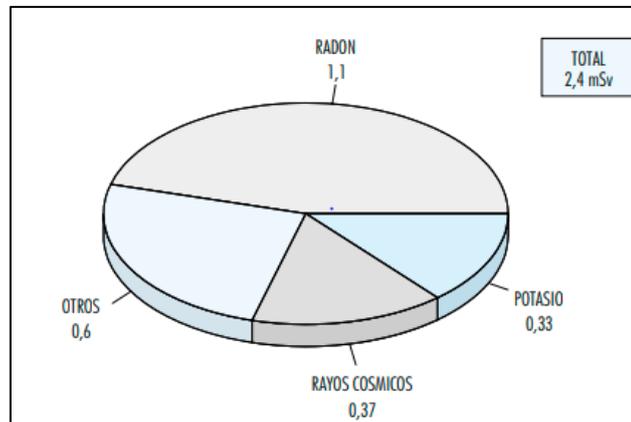


Gráfico 1-1: Dosis debidas a fuentes naturales de radiación

Realizado por: Colegio Oficial de Físicos, 2001

Dentro de las principales fuentes de raciones ionizantes a las que todos los seres vivos estamos expuestos en mayor o menor medida, son las siguientes fuentes:

1.1.1. Radiación cósmica

La dosis debida a los rayos cósmicos depende principalmente de la latitud teniendo así mayores dosis en los polos que en la línea Ecuatorial, así mismo existe una elevada dosis en las montañas que a alturas bajas, como es el caso de las costas marítimas. Las edificaciones atenúan un gran parte la radiación cósmica, cabe señalar que parte de la radiación, la constituye la radiación procedente de neutrones principalmente que constituye un (15%) y esta atraviesa con facilidad los distintos materiales con los que se construyen. La dosis promedio de 39/100 mSv al año, la misma que se encuentra entre 1/10 y 1 mSv. Los viajeros que frecuentan trasladarse en aviones reciben una dosis anual más alta que la media a causa de su mayor exposición a los rayos cósmicos debido a que se movilizan a grandes alturas, además la radiación se genera a través de las reacciones nucleares que ocurren en el interior del sol, son atenuados por efecto de la atmósfera terrestre, cuando estos se introducen a la corteza terrestre disminuye su capacidad de penetración (Consejo de Seguridad Nuclear, 2010, p.8).

1.1.2. Rayos gamma procedentes de la tierra y de los edificios

Todas las personas reciben continuamente rayos gamma emitidos por los materiales

radiactivos naturales existentes en la tierra, los mismos son empleados como materiales de construcción, que se obtienen de la tierra, también son radiactivos, por lo que las personas se encuentran sometidas a las radiaciones ionizantes, debido estar en contacto con aire libre como en lugares cerrados. La dosis recibida depende del tipo de las rocas o el material que forma el suelo y de los materiales con que están construidas las casas y edificaciones (Consejo de Seguridad Nuclear, 2010, p.9).

1.1.3. Alimentos y bebidas

Los materiales radiactivos están en todas partes, incluso en nuestro propio cuerpo como es el caso del C14 (carbono 14) y en los alimentos el K40 (potasio-40), en particular, es la fuente más importante de irradiación interna ya que está presente en los alimentos y en el agua de bebida. Existe una reducida posibilidad de reducir la exposición originada por la presencia de radiactividad natural en una dieta, ya que una dosis promedio de radiación está entre 0,29 mSv por año, 0,17 de los cuales se deben al K40. Por ejemplo. Los mariscos concentran material radiactivo debido, al constante contacto con volcanes submarinos y fallas geológicas presentes en el fondo marino de tal forma que, incluso sin que existiera radiactividad artificial presente, las personas que consumen alimentos como: ostras, mejillones y caracoles crustáceos, moluscos y otros animales marinos pueden recibir una dosis de radiactividad natural debido a la alimentación de hasta un cincuenta por ciento más alto que la media de dosis (Consejo de Seguridad Nuclear, 2010, p.10).

1.2. Límites de dosis

La dosis de radiación que puede percibir cualquier individuo no debe sobrepasar los valores establecidos como límites legales, ante el uso o exposición de elementos radiactivos y así se puede garantizar la protección del público en general y del personal ocupacionalmente expuesto, al permanecer en las proximidades de un emisor o generador de radiaciones ionizantes, depende de tres factores: (Colegio Oficial de Físicos, 2001, p.32).

- El tiempo de permanencia
- La distancia entre la fuente y el individuo
- Blindaje

Tomando en consideración en la Tabla 1-1, reflejan los límites de dosis para el personal que labora en las instalaciones que hacen uso de radiaciones ionizantes y el público. En cuanto a los límites

para los miembros del público posee un límite de 1 mSv por año oficial (Colegio Oficial de Físicos, 2001, p.33).

Tabla 1-1: Límites de dosis para el profesionalmente expuesto y el público

Límites de dosis para el personal profesionalmente expuesto	
Límite de dosis efectiva	100 mSv durante todo periodo de 5 años oficiales y 50 mSv en un año oficial
Límite de dosis equivalente al cristalino	150 mSv
Límite de dosis equivalente a la piel	500 mSv en un año oficial (1)
Límite de dosis en extremidades	500 mSv en un año oficial
(1) Valor medio expuesto sobre cualquier superficie cutánea de 1 cm ² , con independencia de la superficie expuesta.	
Límites de dosis para los miembros del público	
Límite de dosis.	1 mSv por año oficial. En circunstancias especiales puede ser superior en un único año oficial (1), siempre y cuando no se supere 5 mSv en 5 años oficiales consecutivos.
Límite de dosis equivalente al cristalino.	15 mSv
Límite de dosis equivalente a la piel.	50 mSv en un año oficial (2)
(1) Previa autorización por parte de organismo reguladores	
(2) Valor medio expuesto sobre sobre cualquier superficie cutánea de 1 m ² , con independencia de la superficie.	

Fuente: Física y Sociedad, 2006

Realizado por: Castellano, Ariel. 2020

- **Limitación del tiempo de exposición.** - La dosis recibida por parte del profesional ocupacionalmente expuesto y los pacientes, es directamente proporcional al tiempo de exposición, por aquello al disminuir el tiempo ayuda a disminuirá la dosis. Por lo que es necesario una buena planificación y un conocimiento adecuado sobre el equipo y fuentes de radiación, así mismo las operaciones a realizar ayudara a una reducción del tiempo de exposición (Universidad de Navarra, 2013, p.7).

- **Distancia a la fuente radiactiva.** - La dosis recibida por parte del profesional ocupacionalmente expuesto, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente de radiación. Por consiguiente, al aumentar el doble la distancia, la dosis recibida disminuirá en una cuarta parte. Es necesario subrayar, que la utilización de dispositivos o mandos a distancia ayuda a reducir la cantidad de dosis de radiación (Universidad de Navarra, 2013, p.7).
- **Utilización de pantallas o blindajes de protección.** – En algunas fuentes radiactivas la implementación y utilización de pantallas de protección. Con aquello, ayuda a la reducción notable de la dosis recibida por parte del profesional ocupacionalmente expuesto, existen dos tipos de pantallas o blindajes, las denominadas barreras primarias ayudan a disminuir la radiación del haz primario y las barreras secundarias, las que permiten atenuar la radiación difusa (Universidad de Navarra, 2013, p.7).

1.2.1. Principales formas de controlar la exposición a la radiación

Unas de las principales formas de controlar la exposición a la radiación incluyen la ayuda de la ingeniería, controlando de manera administrativa y con la ayuda del uso de equipos de protección personal. Algunos ejemplos según (United States Department of Labor, 2014) los controles ante la exposición a la radiación son:

- Educación y formación
- Reducción del tiempo de exposición, aumentar la distancia desde la fuente de radiación
- Utilizar una barrera física que modifique la vía entre el trabajador y la fuente de radiación, por ejemplo, hormigón o plomo
- Seguimiento de las exposiciones y grabación de exposiciones
- Proporcionar vigilancia de la salud y promover una cultura de salud y seguridad
- Cumplir con los límites establecidos de exposición a la radiación (dosis) (United States Department of Labor, 2014).

1.2.2. Tipos de exposición a radiaciones ionizantes:

Existen tres tipos de exposiciones que se someten los trabajadores profesionalmente expuestos los cuales son:

- Exposición ocupacional. - Los profesionales ocupacionalmente expuestos a las radiaciones ionizantes como consecuencia de su trabajo.

- Exposición Médica. – Las personas que como consecuencia de diagnósticos o tratamientos por enfermedades emplean radianes ionizantes.
- Exposición del público. – Constituye a todas las exposiciones que no está contemplada dentro de la área médicas u ocupacionales, bien sea las raciones ionizantes de distinto origen, ya sea natural o artificial (Universidad de Navarra, 2013, p.5).

1.2.3. Clasificación de los trabajadores expuestos

Categoría A.- Son aquellas personas que, debido a las condiciones en las que laboran, pueden recibir una dosis efectiva que supere a 6 mSv en cada año, así mismo no debe superar los 0,33 mSv de una dosis equivalente emitida para algunos órganos como son: la piel, el cristalino, además de extremidades tanto superiores como inferiores fijadas para los trabajadores ocupacionalmente expuestos a las radiaciones ionizantes (García et al., 2004).

Categoría B.- Son las personas que efectúan actividades laborales y están expuestas a radiaciones ionizantes, las mismas que tienen poca o nula posibilidad de recibir dosis superiores a 6 mSv en cada año por el oficial, o como mínimo de 0,33 mSv de límite de dosis equivalente distribuida en ciertos órganos como son: el cristalino, la piel y las extremidades tanto superiores o inferiores, dosis que son fijados para trabajadores ocupacionalmente expuestos a las radiaciones ionizantes (García et al., 2004).

Trabajador externo. – Cualquier persona que efectúe actividades de cualquier tipo, en la zona controlada de una instalación nuclear o radiactiva y que esté empleado de forma temporal o permanente por una empresa externa distinta a la que labora comúnmente en las zonas controladas, incluidos los trabajadores en prácticas profesionales, personas en formación o estudiantes que realicen alguna actividad de aprendizaje o pasantías, o que preste sus servicios en calidad de trabajador independiente (Universidad de Navarra, 2013, p.6).

1.3. Ubicación geográfica del Ecuador

El Ecuador, es un país ubicado en la costa noroccidental de América del Sur, situada entre los paralelos 01°30' N y 03°23.5' S y los meridianos 75°12' W y 81°00' W, tiene los límites definidos; por el norte con Colombia, al sur y al este con Perú y al oeste con el océano Pacífico, el territorio atraviesa la línea ecuatorial, esto hace que la región se encuentre en dos hemisferios tanto sur como norte. Su capital es San Francisco de Quito, sede de los principales entes el gobierno, entre sus ciudades más grandes están consideradas como; Guayaquil, Cuenca y Manta (Instituto Oceanográfico, 2012, p.13).

Esta nación posee aproximadamente 70 volcanes entre activos como el Cotopaxi con una altitud de 5.897 m, e inactivos como el Chimborazo, con 6.268 m. Su principal fuente de economía es la exportación de banano a nivel mundial y uno de los principales exportadores de flores, camarones, cacao y petróleo (Ecured, 2016).

Debido a la Cordillera de los Andes atraviesa el Ecuador de sur a norte, da lugar a tres regiones naturales como son: Región Litoral o Costa, Sierra y Amazónica, las cuales se dividen en 24 provincias, repartidas en 283.561 km² de superficie, incluida la provincia insular Galápagos, situada a 1.000 kilómetros de distancia aproximadamente del litoral ecuatoriano (Ecured, 2016).



Figura 2-1: País del Ecuador

Fuente: Ecuador Noticias, 2017

1.4. Variaciones en la radiactividad natural terrestre.

La tasa de exposición a la radiación gamma natural, puede variar de acuerdo con la presencia o ausencia de factores predominantes que pueden atenúan o incrementan el nivel de radiación gamma. Entre las variables que pueden afectar pueden ser: la humedad del suelo y la presencia de nieve, teniendo en cuenta que las variaciones del contenido del gas radón en el aire también es un factor secundario influyente (Suárez et al., 2011).

1.4.1. *Humedad del suelo.*

Puede estimarse, para la radiación procedente del torio y del potasio, que el aumento de dicha humedad en un 30% puede ocasionar una disminución del nivel de radiación gamma de un 30%. En el caso del uranio, que como promedio contribuye solamente con un 10 a 20% del nivel de radiación total (Suárez et al., 2011).

1.4.2. Nieve.

Actúa siempre como pantalla que atenúa la radiación emitida por el suelo. Sin embargo, esa atenuación no es proporcional al espesor de la nieve, si no a la densidad de esta (Suárez et al., 2011).

1.4.3. Contenido de radón

En el aire es uno de los factores que, unido al contenido del torón, puede incrementar en nivel de radiación ambiental.

En la Tabla 2-1 se puede apreciar los rangos típicos de variación de la dosis equivalente efectiva anual, recibidas por el ser humano a consecuencia de su vida en tornos con diferentes niveles de radiación natural en el ambiente (Suárez et al., 2011).

Tabla 2-1: Estimación de la dosis equivalente efectiva anual y sus respectivos rangos típicos

Fuente de radiación	Dosis equivalente efectiva anual en $\frac{\mu Sv}{año}$	
	Media	Rango típico
Externa		
Radiación cósmica	360	300 a 2000
Fuentes terrestres	410	200 a 1000
Interna		
Potasio 40	180	100 a 200
Uranio-238 a radio-226	20	10 a 50
Radón-222 a polonio-214	1100	300 a 5000
Plomo-210 a radio-224	120	50 a 200
Torio-232 a radio-208	20	10 a 50
Radón-220 a talio-208	160	50 a 500
Total (redondeado)	2400	1500 a 8000

Fuente: Suárez et al., 2011.

Realizado por: Castellano, Ariel, 2021.

1.5. Tipos de radiación ionizante

Las radiaciones ionizantes, se definen como la interacción que existe entre la materia y la misma radiación que incide, la misma que puede producir una ionización (Cuando posee una suficiente

energía que hace que algunos o un electrón salga eyectado). El origen de estas radiaciones se da a nivel atómico, esta se puede producirse a escala del núcleo atómico, el cual va a depender del poder de penetración y su energía pudiendo ser de naturaleza electromagnética o corpuscular como: son los rayos x, y rayos gamma γ (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo , 2013, p.2).

Las radiaciones ionizantes que poseen una naturaleza electromagnética, son similares físicamente a cualquier otra radiación electromagnética, así mismo a las que tienen una energía de carácter fotónica ya que posee una muy elevada energía con altas frecuencias y bajas longitudes de onda. Sin embargo, con esa energía es capaz de ionizar al átomo (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo , 2013, p.2).

Por otro lado, las radiaciones corpusculares están constituidas por partículas que poseen masa (subatómicas), las mismas que se propagan con una velocidad cercana a $3 \times 10^8 \frac{m}{s}$. Debido a aquello existen diversos tipos de radiaciones, teniendo las más comunes la emisión de rayos X, la emisión " γ " y neutrones, también la desintegración " β " tanto positiva como negativa y la desintegración alfa. Las propiedades físicas y atómicas de cada radiación varían dependiendo de su tipo, cabe señalar que se diferencian una de la otra debido a particularidades claves: como la capacidad de adentrarse en cualquier material y la capacidad de eyectar un electrón de una órbita externa, además se caracteriza debido a la naturaleza propia del tipo de radiación. En la Figura 3-1 se representan gráficamente estas radiaciones y su poder de penetración en diferentes materiales (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo , 2013, p.2).

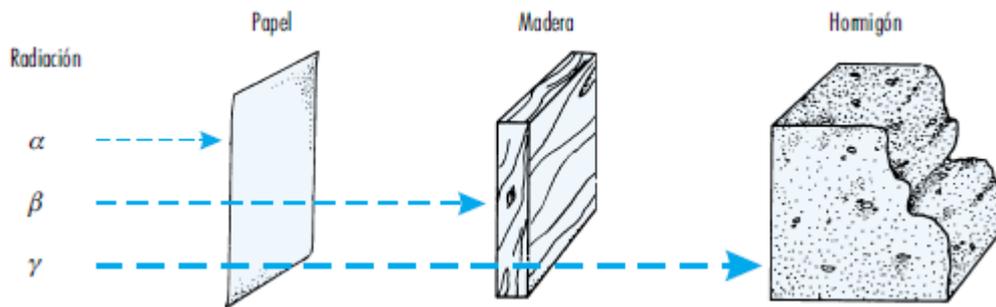


Figura 3-1: Capacidad de penetración de las partículas alfa, beta y gamma

Fuente: Colegio Oficial de Físicos, 2001

1.5.1. Desintegración α (alfa)

Este tipo de desintegración consta de la emisión de partículas alfa, este tipo de desintegración se caracteriza debido a su conformación de 2 protones y 2 neutrones los cuales están unidos, los cuales se identifican como núcleos de Helio totalmente ionizados, con un alto poder de ionización

y un bajo poder de penetración, cabe destacar que este tipo de radiación no pueden recorrer más de unos centímetros en el aire. La mayor parte de emisores de partículas alfa poseen valores de Z (número atómico) similar o mayor a el elemento (^{82}Pb plomo) (Cherry, 2000, p.11).

El problema de este tipo de radiaciones radica principalmente en salud debido a que si se ingiere o inhala sustancias que emitan partículas alfa, puede generarse un daño más grave en una región focalizada de los tejidos (Universidad de Navarra, 2013, p.1).



1.5.2. Desintegración β (beta)

La desintegración beta son flujos de positrones (beta positiva) o electrones (beta negativa) liberados debido a ciertas desintegraciones nucleares. Tienen menos masa que las alfa, aunque son algo más penetrantes, ya que fácilmente atraviesan una hoja de papel y dos centímetros de tejido vivo (piel), pero no pueden penetrar una lámina de aluminio, cabe señalar que este tipo de desintegración posee una menor energía (Consejo de Seguridad Nuclear, 2015, p.2).

Este tipo de radiación puede lesionar, los tejidos superficiales como es la piel y si por alguna razón, se ingiere o inhala alguna sustancia emisora beta, estas entraran al cuerpo y comienzan a irradiar tejidos internos ocasionando daños más graves en la salud (Universidad de Navarra, 2013, p.1).

1.5.3. Radiación γ (gamma)

La radiación gamma, es un tipo radiación de tipo electromagnética que emite partículas ionizantes debido, a que el núcleo experimenta una transición de un estado que posee una alta energía a uno con un estado energético más bajo, cabe destacar que los valores de los elementos que conforman el núcleo, no alteran en estos cambios energéticos.

La mayor parte de radiación gamma, se desprenden debido a desintegraciones beta positivo, negativo o alfa, además pueden crearse a partir de dispersiones de partículas subatómicas, su característica principal radica en la alta capacidad de penetración sobre cualquier material, además de su baja capacidad de ionización. Para atenuar dicho tipo de radiación, es preciso utilizar barreras de materiales con mayor densidad como es el caso del plomo y hormigón (Cherry, 2000, p.12).

Al considerarse radiaciones que poseen una alta energía pueden ocasionar daños en la piel y en los tejidos más profundos por su capacidad de penetración (Universidad de Navarra, 2013, p.2).

1.5.4. Rayos x

Los rayos X son un tipo de radiación electromagnética que posee una alta capacidad de penetración, así mismo comparten características a los rayos gamma, la única diferencia que tienen estos es debido a su origen. Por consiguiente, los rayos gamma se originan en el núcleo atómico, en cambio los rayos X se crean a partir de choques entre electrones de un átomo.

Sin embargo, este tipo de radiación posee una energía menor a la emitida por rayos gamma, pero con la diferencia que son usadas para el diagnóstico médico (Cherry, 2000, p.14).

1.6. Radiación de Fondo Gamma

La radiación de fondo constituye, desde la radiación interna está en nuestro cuerpo debido a lo que comemos y bebemos y al aire que nos relajamos, así como la radiación emitida por la tierra, la cual, en un sentido general se basa en condiciones topográficas y geológicas. De esta manera, se encontrará que las proporciones de porciones de radiación gamma enorme y terrestre varían dependiendo de dónde se realicen las estimaciones, es por lo que la radiación de fondo gamma puede encontrarse de dos maneras: rayos gamma terrestres y por medio de la radiación cósmica (Asadi, 2019, p.1).

1.6.1. La radiación gamma-terrestre

Los niveles específicos de radiación terrestre están relacionados estrechamente con la composición geológica de cada área separada litológicamente y con el contenido de la roca que en gran medida está constituido por radionúclidos primordiales, que principalmente son el ^{232}Th y ^{238}U , y sus series de decaimiento, así como ^{40}K , que existen a niveles de traza en la corteza terrestre, es común encontrar en rocas y el suelo, así mismo en todos elementos que constituyen el planeta tierra como el agua, océanos, materiales de construcción y suministros de agua potable (Asadi, 2019, p.2).

El propósito de calcular la radiación de fondo gamma es estar en el lado seguro para el ser humano de acuerdo con los entes reguladores tanto nacionales como internacionales que especifican con una limitación estándar del valor medio mundial o con un valor específico de rango promedio de acuerdo con el estudio de caso en materiales médicos, alimentarios o de construcción (Asadi, 2019, p.1).

1.6.2. Radiación gamma-cósmica

La radiación cósmica comprende aspectos como la radiación que emite sol, las transmisiones galácticas y extragalácticas, que estas interaccionan con la atmosfera terrestre emitiendo diferentes clases de partículas como que poseen muchos componentes, como rayos X, rayos gamma y partículas, que pueden ser mesones, electrones, protones, neutrones o hiperones (Gholami, 2019, p.3).

La energía inicial de las partículas individuales emitidas constituye un amplio espectro desde unos pocos electrones voltios (eV) hasta aproximadamente 1.020 eV. La radiación cósmica pierde energía a medida que penetra en la atmósfera terrestre, es por ello que esta funciona como un escudo protector, así como el campo magnético de la Tierra evitan que los componentes de radiación de energía suave penetren en la atmósfera, pero en las regiones de mayor altitud pose una capa más fina, es por ello poseen altos niveles de exposición humana (Gholami, 2019, p.3).

1.7. Efectos biológicos de las Radiaciones Ionizantes.

Los efectos biológicos que pueden desencadenar gracias a la exposición de radiaciones ionizantes pueden causar daños directos hacia la célula, ocasionado por el choque de la radiación y el tejido celular. Esto puede ocasionar un daño irreparable en la célula como una necrosis celular o simplemente modificar parte de su estructura a nivel celular, así como el normal funcionamiento de los diferentes órganos o tejidos (García et al., 2004).

1.7.1. Efectos determinísticos no estocástico

Si el número de células son necrosadas en una gran cantidad, se observará un daño a nivel de un tejido o la conformación de órgano, que finalmente causará una lesión a una persona. El daño puede producirse en personas que contraigan altas dosis de radiación, las mismas se encuentren superando al límite determinado para cada efecto, dichos efectos se los conoce como determinísticos no estocásticos, no aleatorios y dosis-dependientes, cabe señalar que depende principalmente de la dosis recibida y acumulada existiendo algunos efectos desde agudos a tardíos que según (García et al., 2004) son:

Los efectos agudos se consideran:

Irradiaciones Globales. – Si la dosis recibida es mayor o simplemente es baja (existe pérdidas celulares), más rica y prolongada es los síntomas que puede producir una enfermedad. La lesión primordial que puede aparecer debido a esto es la aplasia medular, con una linfopenia inicial, que

se da a partir de dosis superiores a 1 Gy y para radiaciones de neutrones, rayos X o gamma, deben ser superiores a 0,3 Gy, cabe señalar que en exposiciones de poco tiempo se puede apreciar daños sobre tejido responsable de la creación de células sanguíneas, que son más dañinos cuando las dosis son mucho mayores (García et al., 2004).

Irradiaciones Parciales. – La radiación puede afectar tejidos o órganos de forma particular a:

Piel: Se puede producir una dermatitis exudativa, con una tasa de exposición mayor a 10 Gy para radiaciones de rayos X y gamma, la cual debe ser tener exposiciones de pocos minutos.

Pelo: Se puede producir alopecia tras irradiación de forma localizada del cuero cabelludo, teniendo en cuenta que las exposiciones deben ser iguales o mayores a 3 Gy, con un tiempo de exposición estimado de pocos minutos.

Gónadas: Las células testiculares son muy radiosensibles, teniendo así que puede afectar a este tipo de células con una dosis inicial de 0,3 Gy. Para radiaciones de rayos X y gamma, así mismo la exposición debe ser de pocos minutos para producir oligospermia. Con una dosis mayor a 4 Gy pueden afectar seriamente causando la esterilidad de los hombres de manera definitiva, cabe señalar que, en la mujer en los órganos reproductores (los ovarios) poseen una radiosensibilidad menor por lo que, la esterilidad en las féminas se da por dosis de radiación mayores a 8 Gy (García et al., 2004).

Los efectos tardíos: La irradiación actúa de forma retardada, siendo esta, que haya sido en un lapso breve o prolongada.

Ojo: A partir de una acumulación de dosis en el cristalino de 10 Gy, con radiación tipo de rayos X y 0,8 Gy en el caso de neutrones, pueden producir afecciones como la aparición de cataratas en los ojos.

Piel: Con dosis acumulada mayores a 10 Gy, puede producir la aparición de patologías como la Radiodermatitis crónica, telangiectasias o hiperqueratosis en exposiciones reiteradas de 5 mGy al día.

Embrión y Feto: En mujer embarazada, cuando es sometida a radiaciones ionizantes puede ocasionar que el feto no se forme correctamente, además depende principalmente de la dosis recibida por parte del feto y del tiempo de la irradiación en el transcurso de la formación del feto, esto debido a irradiaciones accidentales pueden ocasionar:

- Malformaciones cerebrales o malformaciones óseas: Se pueden producir debido a exposiciones de dosis mayores a 0,3 Gy en la fase de evolución y formación en los diferentes órganos que conforman un organismo.
- Retraso intelectual: Ocasionado debido a la irradiación hacia el feto, con una dosis mayor a 0,5 Gy, teniendo en cuenta que es causada principalmente esta patología en la octava semana de gestación (García et al., 2004).

1.7.2. Efectos Estocásticos

Se produce este tipo de efectos cuando no se produce un daño mortal hacia las células, pero si puede ocasionar una modificación a nivel estructural debido a la radiación, dañando o alterando por lo general el ADN, y debido a aquello el cuerpo humano reacciona ante estos daños estructurales tratando de reparar las células, y si la reparación no es 100% total, puede provocar que la célula trate de sobrevivir con mutaciones, las mismas que se transmitirán de generación en generación. Si las células mutadas son somáticas, pueden presentar una neoplasia en el órgano o tejido dañado a causa de la radiación del mismo modo, si las células modificadas participan en el proceso hereditario del ser humano podría adquirir una enfermedad hereditaria que según (García et al., 2004) da lugar a patologías como:

- Epitelioma espinocelular cutáneo: Dónde se necesita dosis acumulada superiores a 15 Gy para ocasionar lesiones como la Radiodermatitis crónica.
- Osteosarcoma: Con dosis mayores a 8 Gy acumuladas en el sistema óseo y debido a la incorporación de radionucleidos con tropismo óseo.
- Leucemia: Es un tipo cáncer radioinducido más común, esta patología estocástica ocasionada entre las víctimas de explosiones nucleares y exposiciones de diagnóstico o tratamiento profesional, la mayoría de las formas de leucemia pueden ser radioinducidas.

Cáncer primitivo de pulmón: Durante exposiciones con radiaciones alfa, se pueden producir este tipo de cánceres ligados a la exposición del radón, sobre todo en trabajos en yacimientos que contengan este elemento. Es preciso señalar que cuando existe una irradiación ionizante a las células con dosis inferiores, la célula se puede reparar por completo (García et al., 2004).

1.8. Magnitudes Dosimétricas

Existen varios procesos, en los cuales la radiación pierde energía al interactuar con la materia, la energía al ser absorbida o captada por los átomos con los cuales se produce la

interacción puede provocar en la materia una gran diversidad de efectos, tanto físicos, como biológicos y químicos en los seres vivos (Colegio Oficial de Físicos, 2001, p.8).

Cantidades similares de energía absorbida de diferentes partes pueden ocasionar en un sistema varios efectos, según la absorción se efectúe en un volumen muy pequeño o en un volumen muy grande del mismo, para poder cuantificar y evaluar la causa y el posible efecto que se puede producir las radiaciones, según (Colegio Oficial de Físicos, 2001, p.9), se definen las siguientes magnitudes dosimétricas como son:

1.8.1. Exposición

La exposición se conoce como módulo de un valor real de la carga completa de todos los iones de un mismo signo los cuales, se producen en el aire cuando todos los electrones son libres y los fotones son absorbidos por la masa dm , los mismos que son frenados completamente en el aire, cabe señalar que, es una magnitud definida exclusivamente para un haz, caracterizada por ser de naturaleza fotónica como son: la radiación X y gamma, las cuales están en un medio específico (el aire) (Consejo de Seguridad Nuclear, 2009, p. 5)

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (3)$$

1.8.2. Dosis Absorbida

Se define como la porción de energía que proviene de la radiación ionizante, misma que se deposita en un medio y depende de la masa que posee.

$$D = \frac{d\epsilon}{dm} \quad (4)$$

Donde:

D representa la dosis absorbida, así mismo $d\epsilon$ la energía promedio que deposita sobre un medio en una unidad de masa dm

Sus unidades en el (Sistema Internacional de Unidades) es la dosis absorbida que se representa en $(J Kg^{-1})$, conociendo también como gray (Gy). Si bien está definido en

cualquier punto en la materia, su valor se obtiene como el promedio en un elemento de masa dm y por ende para muchos átomos o moléculas de materia (Comisión Internacional de Protección Radiológica, 2007, p.57).

1.8.3. Dosis Equivalente

Esta magnitud dosimétrica sirve, para tener en cuenta la distinta eficacia biológica relativa de los distintos tipos de radiación ionizante en los diferentes niveles de exposición, tomando en consideración, que es empleada esta magnitud en el área de protección radiológica, así mismo emplea para asegurar que la probabilidad de efectos en la salud sobre el ser humano sean menores gracias a la regulación de los niveles de referencia de radiación (Comisión Internacional de Protección Radiológica, 2007, p.57).

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R} \quad (5)$$

Donde:

H_T es la dosis equivalente, W_R es el factor que ayuda a la cuantificación de la dosis y este depende de cada tipo de radiación, $D_{T,R}$ es la dosis absorbida media que se imparte en un volumen (órgano) del cuerpo T depende de R, cabe señalar que la unidad de dosis equivalente es el $J Kg^{-1}$ y tiene como nombre como la unidad del sievert (Sv) (Comisión Internacional de Protección Radiológica, 2007, p.57).

1.8.4. Dosis Efectiva

Con esta magnitud dosimétrica se puede estimar la probabilidad de aparición de efectos estocásticos depende no solo del tipo de radiación sino también del órgano considerado a irradiar ya que no todos son igualmente radiosensibles. La dosis efectiva según (Consejo de Seguridad Nuclear, 2009, p. 19) está definida como la suma de la multiplicación de cada uno de los factores de cuantificación de dosis equivalentes de los tejidos, y se calcula con la siguiente formula:

$$E = \sum W_T H_T = \sum \sum W_r D_{T,R} \quad (6)$$

Donde:

E es la dosis efectiva, W_T el factor de ponderación para el órgano o tejido y H_T la dosis equivalente recibida en el órgano o tejido. Las unidades de la dosis están dadas en Sv (Sievert), cabe recalcar que W_T , es el factor de cuantificación de dosis para el tejido T y $\sum w_T = 1$. Cuando el factor W_T es igual a 1, se considera como la suma sobre todos los órganos y tejidos del cuerpo humano considerados sensibles (Comisión Internacional de Protección Radiológica, 2007, p.61).

Tabla 3-1: Factores de ponderación de la radiación y de los tejidos

Factores de ponderación de la radiación W_R		Factores de ponderación de los tejidos W_T		
Tipo y rango de Energía	W_R	Tejido u Órgano	W_T	$\sum w_T$
Fotones, todas las energías	1	Gónadas	0,08	0,08
Electrones y muones	1	Médula ósea (roja), colón, pulmón, estómago, mama, resto de los tejidos*	0,12	0,72
Protones y piones cargados	2	Vejiga, hígado, esófago y tiroides.	0,04	0,16
Partículas alfa, fragmentos de fisión, iones pesados	20	Piel y superficie ósea, cerebro, glándulas salivales.	0,01	0,04
Todos los valores están relacionados a la radiación incidente en el cuerpo o, para las fuentes de radiación internas que se conoce, emitidas por radionucleido(s) incorporado(s) en el cuerpo, cabe señalar que los neutrones dependen de una función continua de energía		Total		1,0
		*Resto de los Tejidos están considerados como son: Adrenales, región extra torácica (ET), vesícula, corazón, riñones, nódulos linfáticos, músculo, mucosa oral, páncreas, próstata, intestino delgado, bazo, timo, útero/cérvix.		

Fuente: Comisión Internacional de Protección Radiológica, 2007

Realizado por: Comisión Internacional de Protección Radiológica, 2007

1.9. Detector Gamma Scout

Es un instrumento de medición, el cual permite medir con precisión la radiación alfa, beta y gamma, además aquel dispone de un amplio rango de medición y puede emplearse tanto para

mediciones esporádicas o para mediciones que tengan estudios de larga duración o para hacer una simple inspección. (PCE Iberica, 2004).



Figura 4-1: Detector Gamma Scout

Fuente: PCE Iberica, 2004

El medidor de radiación proporciona una medición certificada de la radiación ambiental natural y de la radiación elevada artificialmente, se puede ajustar hasta un valor límite de 500 veces, además posee varias aplicaciones, como leer de manera online las lecturas de radiación al computador. Los valores de medición de la radiación pueden guardarse en la memoria del mismo dispositivo y pueden ser transmitidos y valorados en un ordenador por medio de un software o un cable de datos. La radiación se puede determinar tanto en un rango bajo de radiación, el cual se encuentra entre ($> 0,01$ pSv/h), teniendo una radiación relativamente fuerte de (1.000,00pSv/h). Los valores de radiación se pueden almacenar en este equipo y enviados en una hoja de Excel, así mismo se transferir por medio de impulsos entre 0,33 o 60 segundos (PCE Iberica, 2004).

1.10. Bases conceptuales

1.10.1. Radiación Gamma

Son ondas electromagnéticas, posee características similares a los fotones, además son de la misma naturaleza que la luz visible, pero esta radiación gamma posee más energía. Es por ello que tienen un alto poder penetrante que va desde hasta unos 200 metros de aire o de unos 40 cm de suelo y casi el 90% de la radiación gamma se origina en la corteza terrestre (Suárez et al., 2011).

1.10.2. La radiación gamma ambiental

Caracterizada por ser una de las principales fuentes de exposición a la radiación ionizante, dónde está contribuye los elementos radiactivos naturales propios de la tierra como rocas, aire o simplemente el suelo, que están contenidos en la corteza terrestre y con bajo porcentaje se encuentra la radiación cósmica. (Consejo de Seguridad Nuclear, 2017).

1.10.3. Exposición a la radiación externa

Habitualmente para hacer una evaluación de dosis de exposición individual a la radiación de las fuentes externas, se puede llevar a cabo mediante un monitoreo y análisis radiológico empleando dosímetros personales colocados sobre el cuerpo o sobre fuentes de radiación con el objetivo de precautelar la vida y salud con la ayuda la protección radiológica (Comisión Internacional de Protección Radiológica, 2007, p.64).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de Investigación

La investigación desarrollada en el presente trabajo tiene como objeto conocer radiológicamente el fondo natural de las aguas termales, las mismas que se encuentran ubicadas en el Ecuador, además tiene un enfoque cuantitativo debido al uso del instrumento de medida del fondo gamma utilizando un gamma scout.

De igual manera posee un carácter aplicativo, porque tiene como finalidad: conocer los niveles de exposición al fondo gamma que están recibiendo, tanto empleados, bañistas al estar expuestos a una fuente termal, con esa información se pretende, dar a conocer si los límites dosis de radiación está dentro de los permitidos por los organismos nacionales e internacionales.

Finalmente, este tipo de trabajo también será de tipo mixto ya que permitirá conocer ciertos datos que son fundamentales para la aplicación de la metodología dejando, identificados los puntos a monitorear en futuras investigaciones.

2.2. Diseño de la investigación

Para realizar este trabajo de investigación se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- **Revisión Bibliográfica:** en esta parte se realizará una investigación amplia de varias fuentes bibliográficas, como artículos científicos y trabajos de titulación anteriores, con el fin de enriquecer la metodología y comprobar nuestra hipótesis planteada.
- **Desarrollo del problema de investigación:** una vez identificadas geográficamente las fuentes termales naturales del Ecuador, se aplicará la metodología propuesta, que servirán de base para futuras investigaciones, que se realicen en torno al tema con el fin, de conocer los niveles de radiación de fondo gamma en las termales de todo el país.

- **Análisis de resultados:** Se realizará una revisión de los resultados, aplicando la metodología propuesta que servirá como un caso piloto, el cual permitirá, medir la radiación gamma de una fuente de agua termal en el Ecuador y así, conocer la radiación de fondo natural, en dónde estos niveles de radiación deben estar por debajo de los límites de dosis contemplados por organismos internacionales, como el caso del (Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas) (UNSCEAR), dónde estima que la radiación natural promedio es de 2,4 mSv cada año, el mismo, que no posee ninguna actividad humana, que se denomina fondo radiactivo natural.

2.2.1. *Diseño pre experimental*

El diseño de esta investigación es de tipo preexperimental, debido a que se va a realizar un estudio exploratorio en dónde, se procederá a medir la dosis de radiación gamma que emite una fuente termal, utilizando un gamma scout, a fin de analizar el comportamiento de los niveles de radiación como un caso de ejemplo a seguir. Además de compararse con los emitidos en otros países. Cabe señalar que, se podrá abrir camino para que se realicen estudios más profundos a futuro, con el objeto de elaborar un mapa completo de radiación de fondo natural de las fuentes termales del Ecuador.

2.1.1.1 *Identificaciones variables*

Variables dependientes: concentración de la radiación gamma.

Variables independientes: nieve, altitud, temperatura del agua, ubicación geográfica.

2.1.1.2. *Operacionalización de las variables*

Tabla 1-2: Operacionalización de las variables

VARIABLE	CONCEPTO	INDICADOR	INSTRUMENTO
Variable independiente:	Distancia vertical que existe entre cualquier punto de la Tierra en relación con el nivel del mar.	msnm	GPS
Altitud			

Nieve	Precipitación de pequeños cristales de hielo.	Nivómetro	Nivómetro
Temperatura del agua	Magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general.	Grado Celsius	Termómetro
Ubicación geográfica	Es la identificación de un punto de la superficie terrestre simplemente con dos números.	Coordenadas UTM	GPS
Variable dependiente:	Es la cantidad de rayos gamma emitidos por los materiales radiactivos naturales existentes en la tierra como el tipo de las rocas que forman el suelo.	$\frac{\mu Sv}{h}$	Gamma scout
Concentración de la radiación gamma			

Fuente: Castellano, Ariel, 2020

Realizado por: Castellano, Ariel. 2020

2.3. Termales existentes en el Ecuador

Se elaboró un mapa de puntos obtenidos gracias a la ayuda de aplicaciones que nos ayudaron a ubicar geográficamente como son: Google Maps, GPS, aplicaciones móviles (Altímetro Preciso), la aplicación web “*Tool Online*”, los mismos que sirvieron para ubicar las fuentes termales y posteriormente georreferenciar dichas fuentes con sus respectivas coordenadas “UTM” en la zona del Ecuador “17S”, finalmente se logró identificar 56 termales, las cuales tienen mayor incidencia en el ámbito turístico, las mismas que se representan en la Tabla 3-2.

Tabla 2-2: Aguas termales del Ecuador

Aguas Termales			Coordenadas UTM	
Código Provincial	Código de cada Termal	Nombre del establecimiento	X	Y
Manabí (M)	M-PAS	Pozo de agua Sulfuroza	538268,16	9896398,91

Guayas (G)	G-SHT	Centro Shuar Tsuer Entsa Aguas Termales	651139,74	9690633,39
	G-SHT	Aguas Termales Jesús María	667525,06	9709577,33
Santa Elena (Y)	Y-BBV	Balneario Baños de San Vicente	533276,94	9753698,21
El Oro (O)	O-TAC	Terma "Agua Caliente"	655781,23	9590589,04
	O-SJA	Aguas termales de San José / Atahualpa	649013,33	9599922,4
Cachi (C)	C-PEA	Piscinas El Angel	836335,25	10064751,4
	C-CAH	Complejo Ecoturístico Aguas Hediondas	844604,88	10089710,65
	C-ATR	Rumichaca (Aguas termales)	871251	10090273,6
	C-LTC	Balneario Los Tres Chorros, Tulcán	865202,41	10090964,05
	C-GVP	Gruta de la Virgen de la Paz	851344,27	10055261,55
	C-PDP	Piscina de Paluz	850826,732	10068381,67
	C-SMC	Termas de San Miguel de Car	855940,21	10088941,92
	C-BGP	Balneario de la Gruta de la Paz	851144,438	10055144,53
Imbabura (I)	I-ATN	Termas Nangulvi	773036,69	10036279,63
	I-BPL	Piscinas Lagartija	803772,31	10025725,2
	I-SCH	Santagua Termas de Chachimbiro	807552,72	10050973,71
	I-ATS	Agua Savia	807950,42	10051528,19
	I-ATT	Aguas Termales de Timbuyacu	804151,36	10047039,55
	I-HCH	Hostería Hacienda Chachimbiro	812194,43	10046051,84
	I-TDI	Termas dinastía Incaica	807215,34	10026549,51
	I-CAI	Chachimbiro Arco Iris	807957,74	10050880,64
	P-TLM	Termas De La Merced	789852,44	9967687,32
	P-PET	Piscinas El Tingo	785027,35	9968267,5

Pichincha (P)	P-BAC	Balneario Cununyacu	786021,4	9974632,51
	P-BLR	Balneario de Rumiloma	783594,53	9970964,79
	P-BDG	Balnearios de Guangopolo	783550,3	9970812,55
	P-ATU	Aguas Termales Urauco	763867,26	9974170,57
	P-CTP	Centro Turístico el Pisque	814128,83	10000798,54
	P-FDT	Fuente de Tesalia	773780,21	9944913,77
	P-CPT	Cascada-piscina el Tingo	813788,06	9999603,43
Cotopaxi (X)	X-ATA	Termas de Aluchan	748058,68	9883982,83
	X-TDC	Termas Cunugyacu	756136,43	9925172,55
	X-ATL	Termas de Licamancha	737271,43	9926784,21
	X-ATY	Aguas termales Yanayacu, Chucchilán	720554,9	9901457,8
Tungurahua (T)	T-BES	Balneario El Salado	785733,01	9844572,09
	T-TVB	Termas de la Virgen, Baños	787371,68	9845235,2
	T-TSA	Termas de Santa Ana, Baños	787379,27	9845224,48
	T-ATP	Aguas Termales Pilahuín	737467,2	9851989,85
Chimborazo (H)	H-SFG	Aguas Termales San Francisco - Guayllabamba	772867,45	9801826,43
	H-LEG	Los Elenes, Guano	765961,45	9821002,52
	H-ATP	Termales Palitahua	782986,79	9833600,67
El Cañar (U)	U-TAY	Termas Yanayacu-San Miguel	693178,25	9727986,42
	U-ATG	Complejo de Aguas Termales de Guapan	739293,85	9700160,89
	U-ATN	Aguas termales las Nieves	739878,53	9700338,08
Azuay (A)	A-PAT	Piedra de Agua, Fuente Termal & Spa	715241,98	9676834,63
	A-ATP	Termas Pumamaqui	698627,25	9675411,27

	A-SPA	Novaqua SPA, Cuenca	715403,78	9676768,91
Napó (N)	N-ATO	Termas Oyacachi	824277,51	9976371,55
	N-ATS	Sachaycu Termas	813449,83	9958496,34
	N-ATJ	Termas de Jamanco	815083,08	9958542,82
	N-BSC	Balneario Santa Catalina	818179,29	9958143,76
	N-ATP	Termas de Papallacta	817390,98	9959959,84
Morona Santiago (V)	V-ATP	Aguas Termales de Pania	798237,83	9699530,09
	V-CTM	Cascadas Termales de Miasal	856015,2	9709614,049
	V-SRM	Aguas Termales de Santa Rosa de Mamanguy	787851	9657722

Fuente: Castellano, Ariel .2021

Realizado por: Castellano, Ariel. 2021

Los puntos que se deben considerar para el monitoreo de cada una de las termales del Ecuador estarán en función del tamaño de las piscinas ya sean estas grandes, pequeñas o en lugares cerrados:

2.3.1. Distancia por cada punto en piscinas grandes

Según (Suárez et al., 2011), la radiación gamma al ser ondas electromagnéticas o fotones de la misma naturaleza que la luz visible, pero ondas que poseen mayor energía. Es por ello, que tiene un poder penetrante de hasta unos 200 metros de aire o de unos 40 cm del suelo cabe señalar, que se consideró medir por puntos a una distancia de cada uno de 2 metros al rededor del perímetro trazado anteriormente y en el centro de la misma.

2.3.2. Distancia por cada punto en piscinas pequeñas (abiertas) y sitios cerrados.

La radiación gamma concretamente, el 90 % de la radiación proviene originalmente del suelo, la misma que interacciona con los seres vivos, procede de los primeros 25 cm de este.

Por lo que, según (Alberigi et al., 2011) se consideró medir por puntos, distribuidos a una distancia de 1 metro al alrededor del perímetro señalado en la piscina, de la misma manera se estimó medir en lugares que sean cerrados como cuevas o piscinas cubiertas, tomando en cuenta que se medirá la dosis de radiación en el centro de la piscina.

Se recomienda, hacer un estudio al interior de los establecimientos cerrados, debido a que en estos lugares hay poca ventilación, lo que provoca la acumulación de la radiación de fondo gamma.

2.3. Metodología para el monitoreo del fondo gamma

2.3.1. Toma de medidas

Se procederá a tomar las respectivas medidas tanto de perímetro como de el volumen de la piscina, la misma que, se calcula en función de la longitud, el ancho y las profundidades promedio. Básicamente, para tratar de calcular el área cúbica de toda la piscina, luego multiplicarla por un volumen dado de agua por esa unidad cúbica de medida. Posteriormente, se multiplicará dependiendo de las unidades de medida que use (Pure Planet Science & Technology, 2020).

- *1 pie cúbico = 7.48 galones/28.31 L*
- *1 metro cúbico = 264.17 galones/1,000 L*

2.3.2. Ubicación de los equipos para la toma de datos en las aguas termales.

Los instrumentos como termohigrómetro, termómetros, se colocará en lugares donde los bañistas se relajan como en zonas de piscinas para la respectiva toma de temperatura, variables relevantes e importantes que podrían afectar la radiación de fondo gamma.

De la misma manera, se ubicará el dosímetro Gamma Scout alrededor de las piscinas de aguas termales en la orilla y en el centro de esta.

2.3.3. Distancia por cada punto en piscinas grandes

La radiación gamma tiende a poseer un poder penetrante mayor que la de los rayos x, de hasta unos 200 metros de aire o de unos 40 cm del suelo, es por ello, se recomienda según (Maxwell et al., 2020), estima cubrir la mayor parte del perímetro de la piscina o río, midiendo por puntos a una distancia de 2 metros cada uno, de la misma manera se tomó la dosis de radiación en el centro de la piscina.

2.3.4. Distancia por cada punto en piscinas pequeñas.

Por lo que, según (Alberigi et al., 2011) recomienda medir por puntos, distribuidos a una distancia de 1 metro en lugares pequeños, debido a aquello se considera medir al alrededor del perímetro, tomando en cuenta que se medirá la dosis de radiación en el centro de la piscina.

2.3.5. Altura de cada punto

Según (Ghaffari, 2020, p.2) y (Hazrati, 2011), se recomienda que el detector se ubique a dos alturas a 20 cm y 100 cm por encima del nivel del suelo (piscina), debido a que la radiación gamma se propaga en el aire y los bañistas permanecen la mayor parte del tiempo a estas dos alturas promedio por aquello, es preciso analizar la dosis de radiación gamma en cada punto señalado en el perímetro y en el centro.

2.3.6. Tiempo de lectura del dosímetro Gamma Scout

Según (Ghaffari, 2020, pp-177-186), se tomará la lectura con el dosímetro Gamma Scout y este almacenará cada minuto, así mismo tomando en base a estudios realizados por (Alizadeh et al, 2008, p.4) se recomienda que el dosímetro se mantenga estable durante al menos diez minutos en cada altura por cada punto, teniendo así según (Goli Ahmadabad, 2018, p. 111) una dosis de radiación gamma registrada durante 20 minutos en cualquier punto.

2.3.7. Tiempo estimado para del estudio de las fuentes termales

Según (Dinis et al., 2017, p. 77) el dosímetro, se utilizó para la medición la tasa de dosis de radiación gamma durante un período de tiempo de almacenados de datos entre 10 y 45 días, en diferentes estaciones del año para poder observar su comportamiento.

De acuerdo con investigaciones realizadas por (Bazrgari, 2019), todas las aguas termales al aire libre e interior es recomendable medir el fondo por radiación gamma en dos estaciones (verano y invierno)

En la investigación de (Alberigi et al., 2011), se estima que el tiempo de estudio de cada termal, puede ser al menos, de 2 meses.

2.3.8. Obtención de los datos

Se recomienda anotar las lecturas obtenidas por el detector haciendo uso de la Tabla 4-2, para posteriormente comparar con los datos guardados de manera automática por el equipo, en caso de alguna falla en el mismo, para así tener un respaldo, y con ello tener una mayor certeza de los datos obtenidos, e ir registrando las observaciones y posibles variables que afecten la dosis de radiación gamma.

Tabla 3-2: Matriz para obtención de datos

Número de puntos	Periodo de tiempo por cada punto	Dosis Equivalente (H)	Temperatura del agua	Temperatura Ambiental	Observaciones

Fuente: Castellano, Ariel .2021

Realizado por: Castellano, Ariel. 2021

2.4. Aplicación de la metodológica propuesta en el caso de estudio.

El caso de estudio se realizó en dos fuentes de aguas termales, que se encuentran ubicadas en la provincia de Cotopaxi, cabe destacar que con la ayuda de los sistemas de información geográficos se pudo georreferenciar, para dar a conocer la ubicación exacta, como se muestra en la Figura 1-2.



Figura 1-2: Provincia de Cotacachi casos de estudio

Realizado por: Castellano, Ariel 2021

2.4.1. Población de estudio

La población de estudio en esta investigación, serán las dos fuentes de aguas termales en las mismas que, se aplicará la metodología propuesta, a fin de conocer la dosis de radiación gamma emitida por la fuente de agua termal, que debe encontrarse dentro de los límites establecidos de la norma internacional.

2.4.2. Tamaño de la muestra

En este estudio se medirá la radiación gamma natural de una fuente de agua termal, tomando en cuenta que el detector se encuentre a una altura de 1m y 0,20 m según (Ghaffari, 2020, p.2) y (Hazrati, 2011), los datos se obtendrán por un intervalo de 10 minutos cada altura, dichos datos se almacenarán durante aproximadamente 10 días, teniendo un estimado de 20 0 datos en total por cada punto.

2.4.3. Método de muestreo

El método usado en esta investigación será el muestreo por conveniencia, debido a que permite una correcta recolección y análisis posterior de datos, misma que es una técnica no probabilística que pretende seleccionar muestras de acuerdo con las facilidades de obtención en los diferentes puntos geográficos, dónde se encuentren ubicadas las fuentes de aguas termales.

2.5. Equipos y materiales usados para la toma de datos en la fuente termal

2.5.1. Detector “Gamma Scout”

El instrumento de medición usado para esta investigación es preciso para medir radiación de diferentes tipos tanto alfa, beta y gamma, dispone de un amplio rango de medición y puede emplearse tanto para mediciones espontáneas como para mediciones de una duración más larga o para un simple testeo radiológico. Los valores de medición de la radiación pueden guardarse en la memoria del mismo equipo, el mismo que posee características específicas detalladas en la Tabla 4-2 (PCE Iberica, 2004, pp.25-26).

Tabla 4-2: Características técnicas del detector Gamma Scout

Principio de medición / Detector de radiación	Tubo contador Geiger-Müller, auto apagado, carcasa de acero noble con relleno de halógeno - longitud de medición = 38,1 mm - diámetro de medición = 9,1 mm - ventana = 1,5 ... 2,5 mg/m ²
Tipos de radiación	Radiación alfa a partir de 4 MeV - radiación beta a partir de 0,2 MeV - radiación gamma a partir de 30 keV
Selección de diafragma	Alpha + Beta + Gamma (sin diafragma) Beta + Gamma (hoja Al (aprox. 0,1 mm) protege totalmente alfa) - Gamma (pantalla Al (aprox. 3 mm) protege totalmente radiación alfa y beta aprox. 2 MeV, atenúa Gamma menos del 7 %)
Sensibilidad Gamma	95,0 impulsos / min. para radiación Co60
Cuota nula	< 10 impulsos / min. con protección 3 mm Al y 50 mm Pb
Rangos de medición	0,01 µSv / h - 1000 µSv / h
Grabación interna de impulsos	A seleccionar intervalos de 1 min., 10 min., 1 hora, 1 día y 7 días
Magnitud física de medida	Actividad (Becquerel (Bq)), Dosis de iones (Coulomb / kg), Dosis de energía D (Gray (Gy)), Dosis equivalente H (Sievert (Sv)).

Fuente: PCE Iberica, 2004

Realizado por: Castellano, Ariel. 2020

Así mismo para el desarrollo de la presente investigación se utilizó varios equipos y materiales que detallo a continuación en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Descripción de los equipos y materiales utilizados

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
Altímetro	Aplicación-Android (Altímetro Preciso), usada para estimación de las coordenadas de ubicación y altura.
Computador	Portátil (Lenovo ADM PRO)
Termohigrómetro digital BOE 330	Permite medir la temperatura y humedad relativa ambiental.
Termómetro trazable plus	Ayuda a medir con precisión las temperaturas en congeladores, baños de agua, bloques de calefacción, etc. Contiene una botella aísla el sensor de los cambios rápidos de temperatura.
MATERIALES	CARACTERÍSTICAS
Trípode	Madera, conformado de dos alturas 0,20m y 1m respectivamente
Ficha de recolección de datos	Papel bond, tamaño A4
Flexómetro	Instrumento de medida que consiste en una cinta flexible graduada, utilizada para medir distancias.
SOTWARES INFORMÁTICOS	CARACTERÍSTICAS
ArcGis	Elaboración de Mapas
Excel	Análisis y graficas de los datos

Realizado por: (Castellano, Ariel 2020)

2.5.2. Equipo y Software

Se utilizó aplicaciones computacionales y móviles como “Map-Tools” y “Altímetro Preciso”, las mismas que se encuentran en las direcciones web “<https://tool-online.com/es/map-tools.php>” y “https://play.google.com/store/apps/details?id=com.arlabsmobile.altimeterfree&hl=es_EC&gl=US”, empleados para establecer la georreferencia de las fuentes de aguas termales del Ecuador en coordenadas (UTM) “Universal Transverse Mercator”, en el sistema “WGS-84 UTM Zona 17S”

Con ello sirvió para la elaboración de un mapa para identificar de manera exacta la ubicación de las termales del Ecuador mediante el software ArcGis versión 10.3, encontrándolo el instalador

en la dirección web “<https://sigyury.blogspot.com/2015/06/descargar-arcgis-103-crack.html>” por otra parte, para almacenar la información, analizar y graficar los datos obtenidos de la radiación gamma, se utilizó el programa Excel versión 2011.

2.5.3. Trípode

Se elaboró un trípode de madera para la toma de los datos, con la altura estándar establecida en la metodología, teniendo así un trípode dos alturas la primera a 0,20 m y la segunda 1 m.

2.6. Análisis e interpretación de datos

2.6.1. Análisis Estadístico Inferencial

Para este trabajo se hizo uso de las herramientas de la estadística descriptiva la cual, conlleva a emplear tablas para el ordenamiento cronológico de la tasa de dosis y el análisis de los datos, además de gráficos que muestren el comportamiento del nivel radiación gamma de la fuente termal.

2.6.2. Exposición

La exposición es una magnitud que se emplea para cuantificar la capacidad que posee un haz rayos gamma o rayos x, para ionizar una masa de aire. La misma que expresa la cantidad de carga eléctrica de los electrones dada por la letra Q que se genera por unidad de masa de aire dada en metros (m), en el Sistema Internacional de Unidades, la unidad cambia a coulomb (C) por cada kg de aire, siendo así la unidad de medida de (C/kg-aire), cabe señalar que la exposición es Roentgen, que equivale a $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg (Andisco et al., 2014, pp-114-117).

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt} \quad (7)$$

2.6.3. Dosis Equivalente

Permite medir los efectos de la radiación sobre los seres vivos, tomando en consideración, que son magnitudes de protección radiológica, teniendo en cuenta que la unidad de dosis equivalente es en el SI (Sistema Internacional de Medidas) está dado por (J kg⁻¹) y su nombre particular se le denomina sievert (Sv) (Comisión Internacional de Protección Radiológica, 2007, p.61).

$$H_T = \sum_R W_R \quad (8)$$

Donde:

El factor H_T representa a la dosis equivalente y W_R : es la de ponderación de la radiación para la radiación R

CAPÍTULO III

3. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

3.1. Datos de radiación gamma de dos fuentes termales.

En el presente trabajo de investigación, se identificó la radiación de fondo gamma de la termal de Licamancha, que se encuentra ubicada en la provincia de Cotopaxi en las coordenadas (X=737271,43; Y=9926784,21) en el sistema de en las coordenadas “UTM” a una altura de 2349 msnm.

La piscina termal posee una capacidad de aproximadamente 122091.28 litros, con un perímetro semi rectangular de 24,96 metros, para ello se realizó un monitoreo para estimar la tasa dosis de radiación de fondo gamma en dicha termal, durante 6 días a 20 cm y 100 cm de altura respectivamente, distribuidos en 12 puntos alrededor de la piscina y en el centro de esta, con la ayuda del detector Gamma Scout, se midió la dosis de radiación de fondo gamma, así mismo se procedió a medir la temperatura promedio del agua de 22,5 °C, humedad promedio ambiental de 75% y una temperatura ambiente 15 °C. Con la finalidad de obtener la radiacion de fondo a diferentes alturas, tal como se muestra en el Anexo C y Anexo D.

De la misma manera, se analizó la fuente termal de Cunyacu, ubicada en la provincia de Cotopaxi, junto al nevado “Los Ilinizas” en las coordenadas (X=756107,66; Y=9925239,39) en el sistema de en las coordenadas “UTM” a una altura de 4132 msnm.

La piscina termal posee una capacidad de aproximadamente 5461,12 litros, con un perímetro semicircular de 7,40 metros, dónde se realizó un monitoreo obteniendo los siguientes datos: una temperatura promedio del agua y ambiental de 31,3 °C y 13°C correspondientemente, una humedad promedio ambiental de 78%, de la misma manera, se identificó la tasa de dosis de radiación de fondo gamma, durante 10 días a 20 cm y 100 cm de altura respectivamente, en 7 puntos alrededor del perímetro de la piscina y en el centro de esta con la ayuda del detector Gamma Scout. Con el fin de estimar la radiacion de fondo a diferentes alturas, tal como se muestra en el Anexo C y Anexo D.

3.1.1. Análisis Estadístico Descriptivo de la tasa de radiación de fondo natural gamma de las fuentes de aguas termales de Licamancha

Haciendo uso de las herramientas de la estadística descriptiva, se analizó los datos de radiación de fondo gamma a dos alturas diferentes a 20 cm y 100 cm del suelo, en los diferentes puntos tal como se presenta en la Tabla 1-3 y la Tabla 2-3 respectivamente.

Tabla 1-3: Estadística Descriptiva de los datos de radiación de fondo natural gamma de las aguas termales de Licamancha, a 20 cm de altura.

Número de puntos a 20 cm	° N	Promedio individual de la radiación de fondo gamma (mSv/año)	Desviación estándar	Error estándar	Promedio por cada Punto
Punto 1	1	1,215	0,077	0,024	1,223
	2	1,241	0,087	0,028	
	3	1,256	0,088	0,028	
	4	1,202	0,059	0,019	
	5	1,219	0,072	0,023	
	6	1,198	0,094	0,030	
	7	1,209	0,074	0,023	
	8	1,228	0,086	0,027	
	9	1,231	0,044	0,014	
	10	1,235	0,076	0,024	
Punto 2	11	1,235	0,082	0,026	1,220
	12	1,229	0,107	0,034	
	13	1,249	0,097	0,031	
	14	1,195	0,083	0,026	
	15	1,212	0,092	0,029	
	16	1,241	0,089	0,028	
	17	1,206	0,084	0,026	
	18	1,213	0,071	0,022	
	19	1,216	0,082	0,026	
	20	1,199	0,061	0,019	
Punto 3	21	1,198	0,050	0,016	1,194
	22	1,179	0,061	0,019	
	23	1,221	0,085	0,027	
	24	1,215	0,058	0,018	
	25	1,174	0,062	0,020	
	26	1,196	0,062	0,019	
	27	1,205	0,069	0,022	
	28	1,190	0,063	0,020	
	29	1,197	0,084	0,026	

	30	1,168	0,074	0,023	
Punto 4	31	1,232	0,085	0,027	1,190
	32	1,172	0,101	0,032	
	33	1,214	0,123	0,039	
	34	1,178	0,059	0,019	
	35	1,204	0,090	0,028	
	36	1,165	0,053	0,017	
	37	1,156	0,060	0,019	
	38	1,200	0,100	0,032	
	39	1,175	0,073	0,023	
	40	1,202	0,054	0,017	
Punto 5	41	1,173	0,086	0,027	1,184
	42	1,193	0,097	0,031	
	43	1,167	0,057	0,018	
	44	1,218	0,056	0,018	
	45	1,186	0,069	0,022	
	46	1,161	0,095	0,030	
	47	1,179	0,080	0,025	
	48	1,190	0,088	0,028	
	49	1,189	0,066	0,021	
	50	1,184	0,126	0,040	
Punto 6	51	1,220	0,101	0,032	1,196
	52	1,192	0,127	0,040	
	53	1,216	0,050	0,016	
	54	1,175	0,071	0,022	
	55	1,196	0,069	0,022	
	56	1,186	0,071	0,022	
	57	1,183	0,090	0,029	
	58	1,194	0,066	0,021	
	59	1,169	0,063	0,020	
	60	1,227	0,064	0,020	
Punto 7	61	1,208	0,067	0,021	1,197
	62	1,210	0,059	0,019	
	63	1,160	0,055	0,017	
	64	1,169	0,077	0,024	
	65	1,211	0,083	0,026	
	66	1,177	0,049	0,015	
	67	1,230	0,068	0,021	
	68	1,187	0,071	0,022	
	69	1,203	0,064	0,020	
	70	1,212	0,055	0,017	
Punto 8	71	1,200	0,073	0,023	1,210
	72	1,197	0,073	0,023	

	73	1,187	0,089	0,028	
	74	1,214	0,063	0,020	
	75	1,240	0,057	0,018	
	76	1,237	0,069	0,022	
	77	1,251	0,118	0,037	
	78	1,215	0,069	0,022	
	79	1,164	0,081	0,026	
	80	1,193	0,050	0,016	
Punto 9	81	1,247	0,062	0,020	1,218
	82	1,225	0,053	0,017	
	83	1,206	0,032	0,010	
	84	1,223	0,074	0,023	
	85	1,244	0,085	0,027	
	86	1,237	0,045	0,014	
	87	1,204	0,073	0,023	
	88	1,176	0,050	0,016	
	89	1,221	0,047	0,015	
	90	1,201	0,076	0,024	
Punto 10	91	1,244	0,139	0,044	1,210
	92	1,196	0,084	0,026	
	93	1,209	0,061	0,019	
	94	1,225	0,063	0,020	
	95	1,184	0,096	0,030	
	96	1,238	0,103	0,032	
	97	1,235	0,087	0,028	
	98	1,200	0,056	0,018	
	99	1,157	0,071	0,022	
	100	1,214	0,039	0,012	
Punto 11	101	1,268	0,059	0,019	1,216
	102	1,243	0,046	0,015	
	103	1,202	0,115	0,036	
	104	1,180	0,094	0,030	
	105	1,204	0,066	0,021	
	106	1,201	0,047	0,015	
	107	1,219	0,045	0,014	
	108	1,192	0,057	0,018	
	109	1,241	0,062	0,020	
	110	1,215	0,056	0,018	
Punto 12	111	1,237	0,084	0,027	1,216
	112	1,222	0,054	0,017	
	113	1,215	0,105	0,033	
	114	1,203	0,098	0,031	
	115	1,187	0,068	0,022	

	116	1,242	0,062	0,020	
	117	1,210	0,091	0,029	
	118	1,180	0,048	0,015	
	119	1,222	0,052	0,016	
	120	1,243	0,108	0,034	
Centro	121	1,201	0,065	0,021	1,214
	122	1,218	0,079	0,025	
	123	1,224	0,080	0,025	
	124	1,199	0,125	0,039	
	125	1,241	0,110	0,035	
	126	1,221	0,106	0,033	
	127	1,203	0,081	0,026	
	128	1,220	0,066	0,021	
	129	1,199	0,057	0,018	
	130	1,218	0,082	0,026	
Desviación estándar		0,024	Media		1,207
Rango		0,112	Error típico		0,002
Promedio mínimo de radiación de fondo gamma (mSv/año)		1,156	Mediana		1,205
Promedio máximo de radiación de fondo gamma (mSv/año)		1,268	Moda		N/A

Realizado por: Castellano, Ariel. 2021

Tabla 2-3: Estadística Descriptiva de los datos de radiación de fondo natural gamma de las aguas termales de Licamancha, a 100 cm de altura.

Número de puntos a 100 cm	° N	Promedio individual de la radiación de fondo gamma (mSv/año)	Desviación estándar	Error estándar	Promedio por cada Punto
Punto 1	1	1,085	0,082	0,026	1,096
	2	1,113	0,089	0,028	
	3	1,132	0,099	0,031	
	4	1,069	0,059	0,019	
	5	1,098	0,082	0,026	
	6	1,091	0,129	0,041	
	7	1,084	0,090	0,028	
	8	1,095	0,086	0,027	
	9	1,097	0,044	0,014	
	10	1,101	0,076	0,024	
Punto 2	11	1,102	0,082	0,026	1,086
	12	1,095	0,107	0,034	
	13	1,116	0,097	0,031	

	14	1,061	0,083	0,026	
	15	1,079	0,092	0,029	
	16	1,108	0,089	0,028	
	17	1,072	0,084	0,026	
	18	1,080	0,071	0,022	
	19	1,082	0,082	0,026	
	20	1,066	0,061	0,019	
Punto 3	21	1,064	0,050	0,016	1,061
	22	1,045	0,061	0,019	
	23	1,088	0,085	0,027	
	24	1,081	0,058	0,018	
	25	1,041	0,062	0,020	
	26	1,062	0,062	0,019	
	27	1,071	0,069	0,022	
	28	1,056	0,063	0,020	
	29	1,063	0,084	0,026	
	30	1,034	0,074	0,023	
Punto 4	31	1,099	0,085	0,027	1,056
	32	1,039	0,101	0,032	
	33	1,081	0,123	0,039	
	34	1,044	0,059	0,019	
	35	1,070	0,090	0,028	
	36	1,031	0,053	0,017	
	37	1,022	0,060	0,019	
	38	1,066	0,100	0,032	
	39	1,042	0,073	0,023	
	40	1,068	0,054	0,017	
Punto 5	41	1,039	0,086	0,027	1,050
	42	1,059	0,097	0,031	
	43	1,033	0,057	0,018	
	44	1,084	0,056	0,018	
	45	1,052	0,069	0,022	
	46	1,027	0,095	0,030	
	47	1,046	0,080	0,025	
	48	1,056	0,088	0,028	
	49	1,055	0,066	0,021	
50	1,050	0,126	0,040		
Punto 6	51	1,086	0,101	0,032	1,062
	52	1,058	0,127	0,040	
	53	1,082	0,050	0,016	
	54	1,042	0,071	0,022	
	55	1,063	0,069	0,022	
	56	1,053	0,071	0,022	
	57	1,050	0,090	0,029	
	58	1,060	0,066	0,021	
	59	1,036	0,063	0,020	
	60	1,093	0,064	0,020	
Punto 7	61	1,088	0,067	0,021	1,076
	62	1,090	0,059	0,019	
	63	1,040	0,055	0,017	
	64	1,049	0,077	0,024	

	65	1,080	0,088	0,028	
	66	1,057	0,049	0,015	
	67	1,110	0,068	0,021	
	68	1,067	0,071	0,022	
	69	1,083	0,064	0,020	
	70	1,092	0,055	0,017	
Punto 8	71	1,069	0,073	0,023	1,076
	72	1,066	0,073	0,023	
	73	1,056	0,089	0,028	
	74	1,083	0,063	0,020	
	75	1,109	0,057	0,018	
	76	1,106	0,069	0,022	
	77	1,093	0,060	0,019	
	78	1,084	0,069	0,022	
	79	1,033	0,081	0,026	
	80	1,062	0,050	0,016	
Punto 9	81	1,141	0,137	0,043	1,087
	82	1,091	0,053	0,017	
	83	1,072	0,032	0,010	
	84	1,089	0,074	0,023	
	85	1,110	0,085	0,027	
	86	1,103	0,045	0,014	
	87	1,071	0,073	0,023	
	88	1,043	0,050	0,016	
	89	1,087	0,047	0,015	
	90	1,067	0,076	0,024	
Punto 10	91	1,110	0,139	0,044	1,077
	92	1,062	0,084	0,026	
	93	1,076	0,061	0,019	
	94	1,091	0,063	0,020	
	95	1,051	0,096	0,030	
	96	1,105	0,103	0,032	
	97	1,101	0,087	0,028	
	98	1,066	0,056	0,018	
	99	1,023	0,071	0,022	
	100	1,080	0,039	0,012	
Punto 11	101	1,134	0,059	0,019	1,083
	102	1,109	0,046	0,015	
	103	1,068	0,115	0,036	
	104	1,046	0,094	0,030	
	105	1,071	0,066	0,021	
	106	1,067	0,047	0,015	
	107	1,085	0,045	0,014	
	108	1,058	0,057	0,018	
	109	1,108	0,062	0,020	
	110	1,081	0,056	0,018	
Punto 12	111	1,121	0,104	0,033	1,084
	112	1,105	0,086	0,027	
	113	1,081	0,105	0,033	
	114	1,069	0,098	0,031	
	115	1,045	0,076	0,024	

	116	1,109	0,062	0,020	
	117	1,067	0,073	0,023	
	118	1,047	0,048	0,015	
	119	1,089	0,052	0,016	
	120	1,109	0,108	0,034	
Centro	121	1,067	0,065	0,021	1,072
	122	1,072	0,052	0,016	
	123	1,091	0,080	0,025	
	124	1,065	0,125	0,039	
	125	1,107	0,110	0,035	
	126	1,087	0,106	0,033	
	127	1,069	0,081	0,026	
	128	1,086	0,066	0,021	
	129	1,065	0,057	0,018	
	130	1,007	0,082	0,026	
Desviación estándar		0,025	Media		1,074
Rango		0,133	Error típico		0,002
Promedio mínimo de radiación de fondo gamma (mSv/año)		1,007	Mediana		1,071
Promedio máximo de radiación de fondo gamma (mSv/año)		1,141	Moda		N/A

Realizado por: Castellano, Ariel. 2021

En los datos de la radiación fondo gamma que se muestra en la Tabla 1-3 y Tabla 2-3, obtenido de la termal de Licamancha, presenta un análisis estadístico descriptivo, de donde se obtiene un valor promedio de la radiación de fondo gamma 1,207 mSv/año y 1,074 mSv/año a una altura de 20 cm y 100cm correspondientemente, dichos valores según (PETRUŠIĆ et al, 2014, p.184) el fondo natural gamma podría atribuirse solo a fuentes naturales (cósmicas y terrestres) ya que, los niveles de radiación ambiental en todo el mundo son de aproximadamente 0,1 μ Sv/h (0,8766 mSv/año) - 0,25 μ Sv/h (2,191 mSv/año), esto refleja que los datos obtenidos están dentro del rango permitido, de la misma manera los datos de radiación de fondo se encuentran entre un 49,71 % menos a una altura de 20 cm y un 55,25 % menos a una altura de 100 cm, que la tasa promedio de radiación de fondo natural mundial, que es de 2,4 mSv/año (valor medio mundial según el UNSCEAR).

Así mismo, se analizó el comportamiento de la radiación emitida por la termal distribuida en diferentes puntos, por medio de un diagrama de barras como se muestra en el Gráfico 1-3, donde la radiación de fondo gamma promedio, es mayor a una altura de 20 cm, en un 11,00 % en comparación a una altura de 100 cm, corroborando así que mientras más alejada de la fuente se encuentre el detector, menor es la tasa de dosis recibida.

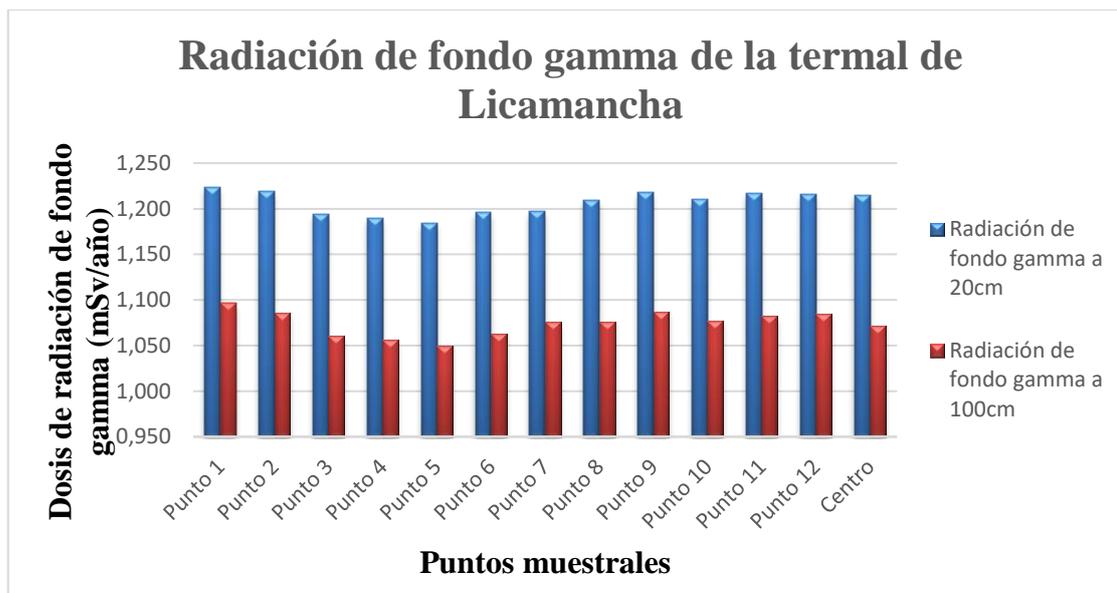


Gráfico 1-3: Radiación de fondo gamma de la termal de Licamancha distribuida por puntos a diferentes alturas.

Realizado por: Castellano, A 2021

3.1.2. Análisis Estadístico Descriptivo de la radiación de fondo natural gamma de las fuentes de aguas termales de Cunuyacu

Empleando las herramientas de la estadística descriptiva, se analizó los datos de radiación de fondo gamma a una altura de 20 cm y 100 cm del suelo en los diferentes puntos muestrales, como se presenta en la Tabla 3-3 y la Tabla 4-3 respectivamente.

Tabla 3-3: Estadística Descriptiva de los datos de radiación de fondo natural gamma de las aguas termales de Cunuyacu, a 20 cm de altura.

Número de puntos a 20 cm	° N	Promedio individual de la radiación de fondo gamma (mSv/año)	Desviación estándar	Error estándar	Promedio por cada Punto
Punto 1	1	1,740	0,193	0,079	1,663
	2	1,615	0,081	0,033	
	3	1,660	0,088	0,036	
	4	1,651	0,057	0,023	
	5	1,627	0,078	0,032	
	6	1,518	0,165	0,068	
	7	1,530	0,138	0,056	

	8	1,883	0,221	0,090	
	9	1,729	0,122	0,050	
	10	1,679	0,171	0,070	
Punto 2	11	1,689	0,088	0,036	1,815
	12	1,829	0,168	0,068	
	13	1,619	0,099	0,041	
	14	2,125	0,265	0,108	
	15	1,777	0,077	0,032	
	16	1,896	0,189	0,077	
	17	1,853	0,261	0,107	
	18	1,696	0,285	0,116	
	19	1,870	0,180	0,073	
	20	1,799	0,211	0,086	
Punto 3	21	1,709	0,094	0,038	1,932
	22	2,051	0,162	0,066	
	23	1,895	0,189	0,077	
	24	2,083	0,316	0,129	
	25	1,832	0,058	0,024	
	26	1,915	0,189	0,077	
	27	1,920	0,142	0,058	
	28	1,829	0,203	0,083	
	29	2,006	0,208	0,085	
	30	2,084	0,335	0,137	
Punto 4	31	1,806	0,127	0,052	1,825
	32	1,742	0,072	0,029	
	33	1,715	0,091	0,037	
	34	1,887	0,184	0,075	
	35	1,859	0,175	0,072	
	36	1,807	0,131	0,053	
	37	1,710	0,318	0,130	
	38	1,705	0,104	0,043	
	39	2,111	0,103	0,042	
	40	1,912	0,258	0,105	
Punto 5	41	1,772	0,059	0,024	1,712
	42	1,692	0,170	0,069	
	43	1,710	0,056	0,023	
	44	1,777	0,096	0,039	
	45	1,697	0,105	0,043	
	46	1,789	0,192	0,078	
	47	1,739	0,083	0,034	
	48	1,572	0,255	0,104	
	49	1,706	0,134	0,055	
	50	1,666	0,016	0,006	
Punto 6	51	1,651	0,070	0,029	1,791
	52	1,681	0,110	0,045	
	53	1,820	0,162	0,066	
	54	1,850	0,155	0,063	
	55	1,838	0,153	0,062	
	56	1,812	0,197	0,080	
	57	1,907	0,232	0,095	
	58	1,567	0,205	0,084	

	59	1,992	0,083	0,034	
	60	1,788	0,120	0,049	
Punto 7	61	1,726	0,190	0,078	1,737
	62	1,739	0,135	0,055	
	63	1,780	0,066	0,027	
	64	1,691	0,083	0,034	
	65	1,809	0,160	0,065	
	66	1,832	0,222	0,091	
	67	1,735	0,082	0,033	
	68	1,657	0,114	0,046	
	69	1,753	0,070	0,029	
	70	1,647	0,048	0,020	
Centro	71	1,769	0,134	0,055	1,858
	72	2,025	0,502	0,205	
	73	1,830	0,220	0,090	
	74	1,712	0,095	0,039	
	75	1,943	0,193	0,079	
	76	1,840	0,248	0,101	
	77	1,939	0,167	0,068	
	78	1,747	0,087	0,036	
	79	1,796	0,131	0,053	
	80	1,978	0,244	0,100	
Desviación estándar		0,133	Media		1,792
Rango		0,607	Error típico		0,015
Promedio mínimo de radiación de fondo gamma (mSv/año)		1,518	Mediana		1,778
Promedio máximo de radiación de fondo gamma (mSv/año)		2,125	Moda		N/A

Realizado por: Castellano, Ariel. 2021

Tabla 4-3: Estadística Descriptiva de los datos de radiación de fondo natural gamma de las aguas termales de Cunuyacu, a 100 cm de altura.

Número de puntos a 100 cm	° N	Promedio individual de la radiación de fondo gamma (mSv/año)	Desviación estándar	Error estándar	Promedio por cada punto
Punto 1	1	1,542	0,083	0,034	1,574
	2	1,597	0,098	0,040	
	3	1,626	0,085	0,035	
	4	1,535	0,125	0,051	
	5	1,635	0,161	0,066	
	6	1,593	0,171	0,070	
	7	1,549	0,119	0,049	
	8	1,574	0,137	0,056	
	9	1,535	0,116	0,047	
	10	1,554	0,032	0,013	

Punto 2	11	1,656	0,054	0,022	1,609
	12	1,511	0,036	0,015	
	13	1,616	0,131	0,054	
	14	1,642	0,131	0,054	
	15	1,635	0,121	0,049	
	16	1,699	0,041	0,017	
	17	1,506	0,063	0,026	
	18	1,580	0,050	0,021	
	19	1,597	0,055	0,023	
	20	1,650	0,137	0,056	
Punto 3	21	1,657	0,078	0,032	1,630
	22	1,607	0,086	0,035	
	23	1,598	0,085	0,035	
	24	1,622	0,056	0,023	
	25	1,644	0,115	0,047	
	26	1,642	0,097	0,039	
	27	1,638	0,139	0,057	
	28	1,612	0,050	0,020	
	29	1,609	0,054	0,022	
	30	1,675	0,151	0,062	
Punto 4	31	1,614	0,106	0,043	1,616
	32	1,641	0,065	0,027	
	33	1,629	0,084	0,034	
	34	1,675	0,098	0,040	
	35	1,629	0,071	0,029	
	36	1,603	0,127	0,052	
	37	1,626	0,152	0,062	
	38	1,568	0,070	0,028	
	39	1,596	0,071	0,029	
	40	1,582	0,071	0,029	
Punto 5	41	1,586	0,063	0,026	1,613
	42	1,677	0,109	0,045	
	43	1,609	0,068	0,028	
	44	1,729	0,097	0,040	
	45	1,576	0,084	0,034	
	46	1,598	0,109	0,044	
	47	1,578	0,078	0,032	
	48	1,666	0,110	0,045	
	49	1,551	0,065	0,027	
	50	1,565	0,108	0,044	
Punto 6	51	1,571	0,100	0,041	1,607
	52	1,642	0,148	0,060	
	53	1,558	0,147	0,060	
	54	1,577	0,109	0,044	
	55	1,546	0,091	0,037	
	56	1,606	0,135	0,055	
	57	1,628	0,047	0,019	
	58	1,652	0,116	0,047	
	59	1,634	0,062	0,025	
	60	1,655	0,078	0,032	
Punto 7	61	1,703	0,149	0,061	1,602

	62	1,618	0,085	0,035	
	63	1,441	0,183	0,075	
	64	1,585	0,162	0,066	
	65	1,655	0,135	0,055	
	66	1,512	0,130	0,053	
	67	1,720	0,210	0,086	
	68	1,532	0,042	0,017	
	69	1,622	0,083	0,034	
	70	1,633	0,157	0,064	
Centro	71	1,591	0,078	0,032	1,628
	72	1,675	0,171	0,070	
	73	1,653	0,140	0,057	
	74	1,720	0,132	0,054	
	75	1,672	0,171	0,070	
	76	1,626	0,160	0,065	
	77	1,524	0,027	0,011	
	78	1,582	0,073	0,030	
	79	1,651	0,176	0,072	
80	1,588	0,088	0,036		
Desviación estándar		0,053	Media		1,6102
Rango		0,288	Error típico		0,0060
Promedio mínimo de radiación de fondo gamma (mSv/año)		1,441	Mediana		1,6133
Promedio máximo de radiación de fondo gamma (mSv/año)		1,729	Moda		N/A

Realizado por: Castellano, Ariel. 2021

Los datos obtenidos en la termal de Cunuyacu, se realizó un análisis estadístico descriptivo, tal como se muestra en la Tabla 3-3 y Tabla 4-3, de donde se obtiene un valor promedio de la radiación de fondo gamma de 1,792 mSv/año y 1,6102 mSv/año a una altura de 20 cm y 100cm respectivamente, dichos valores se encuentran dentro del rango permitido, ya que según la publicación de (PETRUŠIĆ et al, 2014, p.184), establece que, el fondo natural gamma podría atribuirse solo a fuentes naturales (cósmicas y terrestres) ya que los niveles de radiación ambiental en todo el mundo son de aproximadamente 0,1 μ Sv/h (0,8766 mSv/año) - 0,25 μ Sv/h (2,191 mSv/año), de la misma manera dichos valores se encuentran entre un 25,333% menos a una altura de 20 cm y un 32,908% menos a una altura de 100 cm, que la tasa promedio de radiación de fondo natural mundial, que es de 2,4 mSv/año (valor medio mundial según el UNSCEAR)

Del mismo modo, se analizó el comportamiento de la radiación emitida por la termal distribuida en diferentes puntos, gracias a la ayuda de un diagrama de barras, como se muestra en el Gráfico 2-3, donde la radiación de fondo gamma promedio total a una altura de 20 cm, es mayor, en un 10,132% en comparación a una altura de 100 cm.

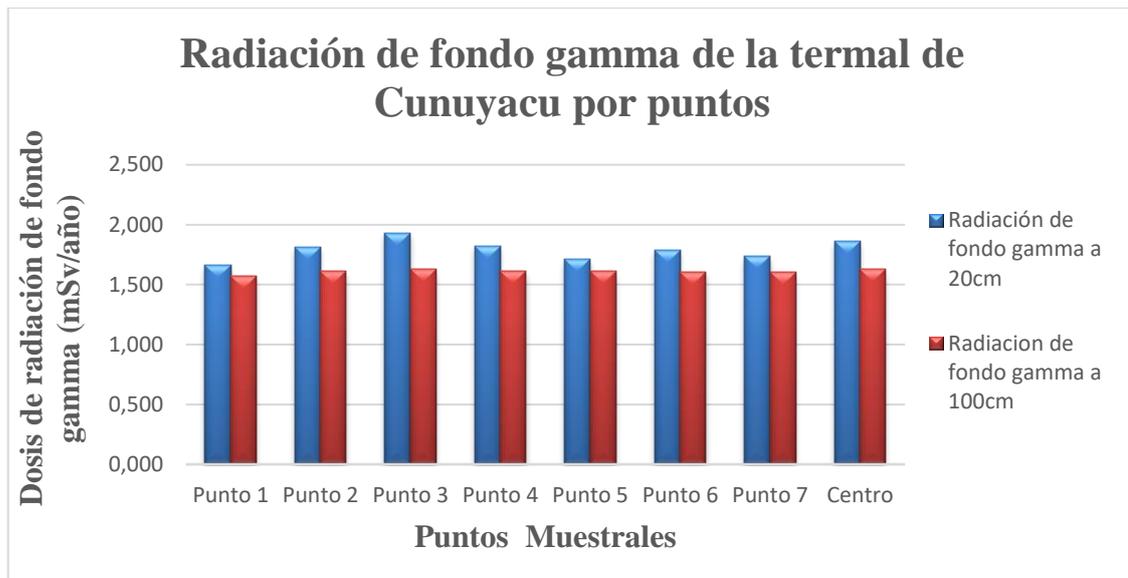


Gráfico 2-3: Radiación de fondo gamma de la termal de Licamancha distribuida por puntos a diferentes alturas.

Realizado por: Castellano, A 2021

3.2. Cálculo de la Exposición de radiación de fondo gamma de los diferentes puntos muestrales de la termal de Licamancha y Cunuyacu a una altura de 20cm y 100 cm.

Según (Attix, 1986, p.34), una dosis equivalente de 1 SIEVERT representa la cantidad de dosis de radiación que es equivalente, en términos de un daño biológico especificado, a 1 Gray de rayos X o gamma, así mismo para la obtención de la tasa de la dosis de radiación de fondo gamma en C/Kg hacemos uso de la relación de la exposición y el kerma de colisión en aire, además del criterio de partículas cargadas (CPE), que permite pasar del kerma de colisiones a la tasa dosis en el aire.

Para el caso del cálculo de la dosis en Gy y la exposición en C/Kg hacemos uso de la ecuación:

$$(D_{aire} \stackrel{CPE}{\cong} 33,97 X) \quad (9)$$

3.2.1. Tasa dosis de exposición de la radiación de fondo gamma de la termal de Licamancha.

Utilizando la Ecuación (9) y usando conceptos previos, se puede estimar la tasa de exposición de radiación de fondo gamma a diferentes alturas de 20 cm y 100cm en distintos puntos, tal como se muestra en la Tabla 5-3 y la Tabla 6-3.

Tabla 5-3: Tasa de exposición de radiación de fondo gamma de la termal de Licamancha dada por puntos a una altura de 20 cm.

Puntos Muestrales a 20 cm	Tasa de dosis de radiación de fondo gamma (Gy/año)	Tasa de exposición de la radiación de fondo gamma (C/kg*año)
Punto 1	1,223E-03	3,602E-05
Punto 2	1,220E-03	3,591E-05
Punto 3	1,194E-03	3,515E-05
Punto 4	1,190E-03	3,503E-05
Punto 5	1,184E-03	3,485E-05
Punto 6	1,196E-03	3,521E-05
Punto 7	1,197E-03	3,523E-05
Punto 8	1,210E-03	3,561E-05
Punto 9	1,218E-03	3,586E-05
Punto 10	1,210E-03	3,562E-05
Punto 11	1,216E-03	3,581E-05
Punto 12	1,216E-03	3,580E-05
Centro	1,214E-03	3,575E-05

Media de la tasa de dosis de radiación de fondo gamma (Gy/año)	1,207E-03	Media de la tasa de exposición de la radiación de fondo gamma (C/kg*año)	3,553E-05
Error típico	3,602E-06	Error típico	1,060E-07
Mediana	1,210E-03	Mediana	3,562E-05
Moda	N/A	Moda	N/A
Desviación estándar	1,299E-05	Desviación estándar	3,823E-07
Rango	3,962E-05	Rango	1,166E-06
Mínimo	1,184E-03	Mínimo	3,485E-05
Máximo	1,223E-03	Máximo	3,602E-05

Realizado por: Castellano, A 2021

Tabla 6-3: Tasa de exposición de radiación de fondo gamma de la termal de Licamancha dada por puntos a una altura de 100cm.

Puntos Muestrales a 100 cm	Tasa de dosis de radiación de fondo gamma (Gy/año)	Tasa de exposición de la radiación de fondo gamma (C/kg*año)
Punto 1	1,096E-03	3,227E-05
Punto 2	1,086E-03	3,197E-05
Punto 3	1,061E-03	3,122E-05
Punto 4	1,056E-03	3,109E-05
Punto 5	1,050E-03	3,092E-05

Punto 6	1,062E-03		3,127E-05
Punto 7	1,076E-03		3,166E-05
Punto 8	1,076E-03		3,168E-05
Punto 9	1,087E-03		3,201E-05
Punto 10	1,077E-03		3,169E-05
Punto 11	1,083E-03		3,187E-05
Punto 12	1,084E-03		3,192E-05
Centro	1,072E-03		3,155E-05
Media de la tasa de dosis de radiación de fondo gamma (Gy/año)	1,074E-03	Media de la tasa de exposición de la radiación de fondo gamma (C/kg*año)	3,163E-05
Error típico	3,775E-06	Error típico	1,111E-07
Mediana	1,076E-03	Mediana	3,168E-05
Moda	N/A	Moda	N/A
Desviación estándar	1,361E-05	Desviación estándar	4,007E-07
Rango	4,614E-05	Rango	1,358E-06
Mínimo	1,050E-03	Mínimo	3,092E-05
Máximo	1,096E-03	Máximo	3,227E-05

Realizado por: Castellano, A 2021

En la termal de Licamancha, se pudo estimar la tasa promedio de la dosis absorbida por radiación gamma que fue de 1,207E-03 Gy/año y 1,074E-03 Gy/año a una altura de 20 cm y 100 cm respectivamente, dichos valores se encuentran bajo los límites establecidos por la (UNSCEAR, 2000, p. 10) donde menciona que rango máximo de variabilidad para las tasas de dosis absorbidas en el aire de la radiación gamma terrestre es de 1,753E-3 Gy/año. Gracias a ello se identificó el promedio de tasa de exposición a una altura de 20 cm, que es de 3,553E-05 C/Kg*año y una tasa de 3,163E-05 C/Kg*año a una altura de 100 cm, tal como se muestra en la Tabla 5-3 y la Tabla 6-3.

La tasa de exposición de la radiación de fondo gamma a 20 cm, tiene un porcentaje mayor de 10,98 % en comparación a los 100 cm, debido a una distancia que difiere en 80 cm de altura, lo que atenúa y dispersa la radiación con el aire.

3.2.2. Tasa dosis de exposición de la radiación de fondo gamma de la termal de Cunuyacu

De la misma manera se analizó la radiación de fondo gamma en la termal de Cunuyacu, como se muestra en la Tabla 7-3 y la Tabla 8-3.

Tabla 7-3: Tasa de exposición de la radiación de fondo gamma de la termal de Cunuyacu por puntos a una altura de 20 cm.

Puntos Muestrales a 20 cm	Tasa de dosis de radiación de fondo gamma (Gy/año)	Tasa de exposición de la radiación de fondo gamma (C/kg*año)
Punto 1	1,663E-03	4,896E-05
Punto 2	1,815E-03	5,343E-05
Punto 3	1,932E-03	5,688E-05
Punto 4	1,825E-03	5,374E-05
Punto 5	1,712E-03	5,040E-05
Punto 6	1,791E-03	5,272E-05
Punto 7	1,737E-03	5,113E-05
Centro	1,858E-03	5,469E-05

Media de la tasa de dosis de radiación de fondo gamma (Gy/año)	1,792E-03	Media de la tasa de exposición de la radiación de fondo gamma (C/kg*año)	5,27437E-05
Error típico	3,039E-05	Error típico	8,94691E-07
Mediana	1,803E-03	Mediana	5,27437E-05
Moda	N/A	Moda	N/A
Desviación estándar	8,596E-05	Desviación estándar	2,53057E-06
Rango	2,691E-04	Rango	7,92149E-06
Mínimo	1,663E-03	Mínimo	4,89616E-05
Máximo	1,932E-03	Máximo	5,68831E-05

Realizado por: Castellano, A 2021

Tabla 8-3: Radiación de fondo gamma de la termal de Cunuyacu por puntos a una altura de 100cm.

Puntos Muestrales a 20 cm	Tasa de dosis de radiación de fondo gamma (Gy/año)	Tasa de exposición de la radiación de fondo gamma (C/kg*año)
Punto 1	1,574E-03	4,634E-05
Punto 2	1,609E-03	4,737E-05
Punto 3	1,630E-03	4,800E-05
Punto 4	1,616E-03	4,758E-05
Punto 5	1,613E-03	4,750E-05
Punto 6	1,607E-03	4,731E-05
Punto 7	1,602E-03	4,716E-05
Centro	1,628E-03	4,794E-05

Media de la tasa de dosis de radiación de fondo gamma (Gy/año)	1,610E-03	Media de la tasa de exposición de la radiación de fondo gamma (C/kg*año)	4,73997E-05
Error típico	6,216E-06	Error típico	4,74349E-05
Mediana	1,611E-03	Mediana	N/A
Moda	N/A	Moda	5,17546E-07
Desviación estándar	1,758E-05	Desviación estándar	4,74349E-05
Rango	5,627E-05	Rango	1,65637E-06
Mínimo	1,574E-03	Mínimo	4,63412E-05
Máximo	1,630E-03	Máximo	4,79976E-05

Realizado por: Castellano, A 2021

En la termal de Cunuyacu, se pudo estimar la tasa promedio de la dosis absorbida por radiación gamma que es de 1,792E-03 Gy/año y 1,610E-03 Gy/año a una altura de 20 cm y 100 cm respectivamente, cabe señalar que la dosis a una altura menor se encuentra dentro de los límites, mientras que la dosis a la altura mayor excede en un 8,88% los límites establecidos por la (UNSCEAR, 2000, p. 10) donde menciona que rango máximo de variabilidad para las tasas de dosis absorbidas en el aire de la radiación gamma terrestre es de 1,753E-3 Gy/año.

Además, gracias a ello se identificó el promedio de tasa de exposición de a una altura de 20 cm, que es de 5,27437E-05 C/Kg*año y una tasa de 4,73997E-05 C/Kg*año a una altura de 100 cm, tal como se muestra en la Tabla 5-3 y la Tabla 6-3. Siendo así, que el promedio de la tasa de exposición de radiación de fondo gamma, a los 20 cm tienen un porcentaje mayor de 10,13 %, a comparación con la tasa a 100 cm.

3.3. Mapas de las fuentes de aguas termales del Ecuador.

Con la utilización del programa “ArcGis” en su versión 10.3, que es un software libre y completo donde se apoyó para recopilar, organizar, analizar y distribuir la información geográfica por medio de mapas, encontrándose este disponible para múltiples sistemas operativos como: Windows Mac, Unix y Linux. Con ayuda de la georreferenciación de todos los establecimientos existentes en el Ecuador, en coordenadas “UTM” en la zona 17S, se elaboró un mapa general de todas las fuentes termales del Ecuador, de la misma manera, se elaboró varios mapas de cada provincia y su ubicación de las termales que poseen, mismos que se encuentran almacenados en el link “<https://aguas56termales.blogspot.com/>” cabe señalar que, al identificar claramente todas las fuentes termales, es de suma importancia debido que servirá para posteriores investigaciones.

CONCLUSIONES

- Al realizar esta investigación, se pudo elaborar una metodología detallada, de los pasos a seguir mediante una revisión minuciosa de los procedimientos usados en investigaciones anteriores, de esa manera se seleccionó la más adecuada para monitorear la radiación de fondo gamma en las termales del Ecuador.
- Los sistemas de información geográficos, nos permitieron identificar 56 fuentes de aguas termales las más principales y visitadas del Ecuador, obteniendo como resultado un mapa de ubicación de todas las termales por provincias y del país.
- La tasa de exposición de la radiación de fondo gamma en la termal de Licamancha a dos diferentes alturas tanto a 20 cm y 100cm se encuentran por debajo del límite máximo que es de $7,06506E-05$ C/Kg año establecido por (UNSCEAR, 2000, p. 10), así mismo calculó la tasa de exposición de la radiación de fondo gamma en la termal de Cunuyacu a una altura de 20 cm, encontrándose dicho valor en un 25,35% por debajo del límite máximo establecido, además se obtuvo una tasa de exposición de una altura de 100 cm, siendo dicho valor inferior que límite máximo sugerido.
- Con el monitoreo de la termal de Licamancha, la misma que se encuentra a 2349 msnm con una temperatura promedio del agua de $22,5$ °C y la termal sulfurosa de Cunuyacu, ubicada en la falda del Iliniza sur a 4132 msnm, con una temperatura promedio del agua de $31,3$ °C, dónde se identificó los niveles de radiación de fondo gamma a diferentes alturas a 20 y 100 cm, dichos valores de radiación de ambas termales se encuentran por debajo del rango máximo permitido por organismos internacionales como el CSN.
- Los niveles de radiación de fondo gamma obtenidas en ambas termales son menores a 200 mSv, por esa razón no podrían ocasionar alguna alteración a nivel biológico, ya que según él (Foro Nuclear, 2008) para que exista algún daño de menor a severo, las dosis deberán ser mayores a 1 Gy o 1 Sv.

RECOMENDACIONES

- Se deberían emplear equipos que ayuden a monitorear las condiciones ambientales extras como; lluvia, viento, ya que estas variables pueden modificar o alterar las medidas de la radiación de fondo gamma en las termales.
- Las instrucciones y procedimientos empleados en este trabajo de investigación pueden ser empleados para posteriores investigaciones, así mismo verificar si los niveles de radiación de fondo gamma están por debajo de los establecidos por organismos reguladores.
- Se recomienda monitorear las fuentes de aguas termales en diferentes estaciones del año, ya que la radiación fluctúa.
- Para tener mejores datos de radiación de fondo gamma en las termales, se debe ampliar el tiempo de estudio a un mínimo de 45 días para evidenciar de mejor manera el comportamiento de la radiación en dichos lugares.
- Debido a que las fuentes de aguas termales se encuentran a las cercanías de fallas geológicas o volcánicas, es necesario utilizar protección para las vías respiratorias, debido a la presencia de azufre en ciertas termales.

GLOSARIO

AGUAS TERMALES: Las aguas termales, son aquellas aguas subterráneas de origen natural que se encuentran principalmente en las cercanías de fallas geológicas o volcanes, de ellos brotan un manantial con temperaturas superiores a la media ambiental, se dice que tienen propiedades terapéuticas y medicinales (Significados, 2017).

COORDENADAS “UTM”: (Universal Transverse Mercator) es un sistema basado en una proyección cartográfica por medio de cuadrículas con el cual nos permite referenciar puntos sobre la superficie terrestre (Universidad Politécnica de Valencia, 2010, p. 2).

GRAY: es equivalente a una unidad de energía (julios) depositada en un kilogramo de una sustancia (Connor, 2020).

SIEVERT: El sievert (Sv) es la unidad medida que estima la tasa de dosis de radiación, el mismo que permite estimar el daño producido en el cuerpo humano por todo tipo de radiación recibida y depende fuertemente de la cantidad y tipo de radiación como es: alfa, rayos X o neutrones, beta, gamma. (Consejo de Seguridad Nuclear, 2010, p.13).

BIBLIOGRAFÍA

AJLOUNI, A., et. al, Radiation doses due to natural radioactivity in the Environmental Gamma Radiation hot springs. [en línea] 20 de Abril de 2010. [Consulta: 9 de Noviembre de 2020.]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/243755690_Radiation_doses_due_to_natural_radioactivity_in_the_Afra_hot_springs_Jordan.

ALBERIGI, S., et. al, Assessment of effective doses from radon levels for tour guides at several galleries of Santana cave, southern Brazil, with CR-39 detectors: Preliminary results. *Radiation Protection Dosimetry* [en línea], 2011, vol. 145, no. 2-3, pp. 252-255. [Consulta: 28 enero 2021]. ISSN 01448420. DOI 10.1093/rpd/ncr054. Disponible en: <https://academic.oup.com/rpd/article/145/2-3/252/1622037>.

ALIZADEH, S., et. al, Environmental Gamma Radiation Rate of Hot Springs of Ghainarjeh, Ilam and Moil in Meshkinshahr [en línea] 16 de Junio de 2008, pp-4-4. [Consulta: 28 de Noviembre de 2020.]. Disponible en: <http://jarums.arums.ac.ir/article-1-316-en.pdf>

ANDISCO, D., et. al, Dosimetría en radiología. *Revista Argentina de Radiología* [en línea], 2014, vol. 78, no. 2, pp. 114-117. [Consulta: 25 febrero 2021]. ISSN 18529992. DOI 10.1016/j.rard.2014.06.010. Disponible en: www.elsevier.es/rardwww.elsevier.es/rar.

ASADI, L., Gamma Background Radiations and Measurements with Applications. *Use of Gamma Radiation Techniques in Peaceful Applications* [en línea], S.I.: IntechOpen, 2019, [Consulta: 3 febrero 2021]. Disponible en: www.intechopen.com.

ATTIX, F., *Introduction to radiological physics and radiation dosimetry*. [ed.] Academic Press. Madison: Wiley VCH, 1986. Vol. 2, p. 34. [Consulta: 20 mayo 2020]. Disponible en: <http://www-f9.ijs.si/~mm/Attix%20-%20Introduction%20to%20radiological%20physics%20and%20radiation%20dosimetry.pdf>

BAZRGARI, H., Natural Gamma Radiation and Effective Annual Dose in Hot Springs in South Khorasan Province, Iran. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences* [en línea]. S.I.: Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, 2019. [Consulta: 9 febrero 2021]. Disponible en: <http://jmums.mazums.ac.ir/article-1-13726-en.html>.

CHERRY, ROBERT., RADIACIONES IONIZANTES. *Tipos de radiación ionizante*. [en línea] 04 de Septiembre de 2000. [Consulta: 07 de enero de 2021.]. Disponible en:

<https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+48.+Radiaciones+ionizantes>.

COLEGIO OFICIAL DE FÍSICOS., Origen y gestión de residuos radiactivos. [en línea] 18 de Enero de 2001. [Consulta: 12 de Noviembre de 2020.]. Disponible en: <https://www.cofis.es/pdf/libros/origen.pdf>.

COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA., Las Recomendaciones de la Sociedad Española de Protección Radiológica. [en línea] 06 de Julio de 2007. [Consulta: 17 de Noviembre de 2020.]. Disponible en: http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf.

CONNOR, N., Qué es Gray - Unidad de dosis de radiación - Definición. [en línea] 2020. [Consulta: 27 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.radiation-dosimetry.org/es/que-es-gray-unidad-de-dosis-de-radiacion-definicion/>.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR., MAGNITUDES Y UNIDADES RADIOLÓGICAS. [en línea] 2009. [Consulta: 15 de Diciembre de 2020.]. Disponible en: http://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/624874014_241120091324.pdf.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR., Dosis de radiación. [ed.] Pedro Justo Dorado Dellmans. *Radiación natural*. Madrid [en línea] 22 de Febrero de 2010. págs. 13-14. [Consulta: 20 de Diciembre de 2020.] Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/914805/Dosis%20de%20radiaci%C3%B3n#:~:text=Radiaci%C3%B3n%20natural%20y%20radiaci%C3%B3n%20artificial,-A%20efectos%20de&text=Para%20los%20traba%2D%20jadores%20profesionalmente,p%C3%ABlico%20es%20de%201%20mSv>.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR., Las radiaciones. *Radiaciones ionizantes*. [en línea] 28 de Marzo de 2015. [Consulta: 08 de Enero de 2021.]. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/927453/Las+radiaciones+%28Monograf%C3%ADa%29>.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR., La radiación gamma ambiental - CSN. [en línea] 06 de Enero de 2017. [Consulta: 29 de Octubre de 2020.]. Disponible en: <https://www.csn.es/radiacion-gamma-ambiental>.

DINIS, M., et. al, Indoor radon levels and total gamma dose rates measurements in Portuguese thermal spas. [en línea] 1 de Septiembre de 2017. [Consulta: 18 de Noviembre de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/319898073_Indoor_radon_levels_and_total_gamma_dose_rates_measurements_in_Portuguese_thermal_spas.

ECUADOR NOTICIAS., Mapa Político del Ecuador. [en línea] 07 de Abril de 2017 [Consulta: 22 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://ecuadornoticias.com/las-provincias-del-ecuador/>.

ECURED., Ecuador. [en línea] 18 de Abril de 2016. [Consulta: 18 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Ecuador>.

FÍSICA Y SOCIEDAD., cofis.es. Radiaciones Ionizantes. [en línea] 02 de Noviembre de 2006. [Consulta: 18 de Noviembre de 2020.] Disponible en: http://www.ffis.es/ups/ResponsabilidadGrupal/11_Radiaciones_ionizantes.pdf.

GARCÍA, E., et. al, Radiaciones Ionizantes [en línea] 13 de Abril de 2004. [Consulta: 22 de Noviembre de 2020.] Disponible en: <https://www.msbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/radiacio.pdf>

GHAFFARI, H.R., Gamma radiation in the mineral hot springs of Ardabil, Iran: Assessment of Environmental Dose Rate and health risk for swimmers. *Environmental Monitoring and Assessment* [en línea], 2020, vol. 192, no. 7, pp. 1-7. [Consulta: 8 enero 2021]. ISSN 15732959. DOI 10.1007/s10661-020-08402-2. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-020-08402-2>.

GHOLAMI, M., A review on natural background radiation. *Advanced Biomedical Research* [en línea], 2013, vol. 2, no. 1, pp. 65. [Consulta: 4 febrero 2021]. ISSN 2277-9175. DOI 10.4103/2277-9175.115821. Disponible en: [/pmc/articles/PMC3814895/?report=abstract](http://pmc/articles/PMC3814895/?report=abstract).

GOLI AHMADABAD, F., Gamma Radiation Measurement due to Natural Radioactivity in Hot Water Spring of Behbahan. *Iranian Journal of Medical Physics* [en línea], 2018, vol. 15, no. Special Issue-12th. Iranian Congress of Medical Physics, pp. 111-111. [Consulta: 28 enero 2021]. ISSN 2345-3672. DOI 10.22038/IJMP.2018.12600. Disponible en: https://ijmp.mums.ac.ir/article_12600.html.

HAZRATI, S. Evaluación de la tasa de dosis de radiación gamma ambiental en Ardabil y Sarein en 2009. *Iranian Journal of Health and Environment* [en línea], 2011, vol. 4, no. 3, pp. 341-350. [Consulta: 8 enero 2021]. Disponible en: <http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-65-en.html>.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO., Radiaciones ionizantes: normas de protección. Radiaciones ionizantes. [en línea] 28 de Marzo de 2013. [Consulta: 08 de Enero de 2021.]. Disponible en: <https://saludlaboralydiscapacidad.org/wp-content/uploads/2019/05/NTP-614-Radiaciones-ionizantes-Normas-de-protecci%C3%B3n.pdf>.

INSTITUTO OCEANOGRÁFICO., Información General de la Republica del Ecuador.

Situación Geográfica. [en línea] 04 de Diciembre de 2012. [Consulta: 01 de Febrero de 2021.]. Disponible en: [https://guayaquil.gob.ec/Dragado/9\)%20DERROTERO%20INOCAR%202011/derrotero_cap_I.pdf](https://guayaquil.gob.ec/Dragado/9)%20DERROTERO%20INOCAR%202011/derrotero_cap_I.pdf).

MAXWELL, O., et. al, Spatial distribution of gamma radiation dose rates from natural radionuclides and its radiological hazards in sediments along river Iju, Ogun state Nigeria. *MethodsX* [en línea], 2020, vol. 7. [Consulta: 9 febrero 2021]. ISSN 22150161. DOI 10.1016/j.mex.2020.101086. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/344950130_Spatial_distribution_of_gamma_radiation_dose_rates_from_natural_radionuclides_and_its_radiological_hazards_in_sediments_along_river_Iju_Ogun_state_Nigeria.

PCE IBERICA., Medidor de radioactividad Gamma Scout GS-3. [en línea] 18 de Agosto de 2004. [Consulta: 18 de Noviembre de 2020.]. Disponible en: <https://www.pce-iberica.es/manuales/manuales-Gamma-Scout.pdf>.

PETRUŠIĆ, Z., et. al, WIRELESS SYSTEM FOR MEASUREMENT OF NATURAL. [en línea] 2014 [Consulta: 28 de Febrero de 2021.]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/301519788_WIRELESS_SYSTEM_FOR_MEASUREMENT_OF_NATURAL_BACKGROUND_GAMMA_RADIATION

PURE PLANET SCIENCE & TECHNOLOGY., Medida de una piscina. [en línea] 08 de Julio de 2020. [Consulta: 26 de Enero de 2021.]. Disponible en: <https://blog.orendatech.com/blog-espanol/como-calcular-el-volumen-piscina#:~:text=El%20volumen%20de%20la%20piscina%20se%20calcula%20en%20funci%C3%B3n%20de,esa%20unidad%20c%C3%BAbica%20de%20medida..2>.

SIGNIFICADOS., Significado de Aguas termales. *Qué son Aguas termales*:. [En línea] 17 de Marzo de 2017. [Consulta: 17 de Noviembre de 2020.]. Disponible en: <https://www.significados.com/aguas-termales/#:~:text=Las%20aguas%20termales%20son%20aquellas,a%20volcanes%20o%20fallas%20tect%C3%B3nicas..>

SUÁREZ M., et. al, Proyecto Marna. *Mapa de radiación gamma natural*. [En línea] 08 de Julio de 2011. [Consulta: 09 de Noviembre de 2020.] <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-02%20Proyecto%20Marna.%20Mapa%20de%20radiaci%C3%B3n%20gamma%20natural>.

UNITED STATES DEPARTMENT OF LABOR., Occupational Safety and Health Administration. *Ionizing Radiation*. [en línea] 2014. [Consulta: 06 de Febrero de 2021.]. Disponible en: <https://www.osha.gov/ionizing-radiation/control-prevention>.

UNIVERSIDAD DE NAVARRA., Radiaciones Ionizantes. [en línea] 07 de Mayo de 2013 [Consulta: 20 de Enero de 2021.]. Disponible en: http://www.unavarra.es/digitalAssets/146/146686_100000Radiaciones-ionizantes.pdf

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA., EL SISTEMA DE COORDENADAS UTM. [en línea]. 2010, p. 2 [Consulta: 27 mayo 2021]. Disponible en: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10772/Coordenadas UTM.pdf](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10772/Coordenadas%20UTM.pdf).

UNSCEAR., SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION. [en línea] 2000. [Consulta: 25 de Febrero de 2021.]. Disponible en: https://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR_2000_Annex-B.pdf.

ANEXOS

Anexo A: Datos del monitoreo a la termal de Licamancha a 20cm.

Aguas Termales Licamancha												
Temperatura promedio del gua:		22,5 °C										
Humedad promedio ambiental		75%										
Temperatura Ambiente:		15 °C										
Días de Monitoreo		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Promedio por cada Punto
Número de puntos a 20 cm	N	Dosis Equivalente (mSv/año)										
Punto 1	1	1,255	1,191	1,308	1,082	1,178	1,101	1,231	1,240	1,258	1,307	1,215
	2	1,237	1,240	1,308	1,110	1,406	1,168	1,141	1,225	1,288	1,287	
	3	1,161	1,354	1,231	1,307	1,266	1,337	1,316	1,079	1,196	1,313	
	4	1,164	1,179	1,095	1,231	1,292	1,168	1,265	1,171	1,202	1,255	
	5	1,223	1,111	1,162	1,342	1,157	1,242	1,208	1,288	1,170	1,286	
	6	1,229	1,361	1,112	1,056	1,292	1,270	1,161	1,120	1,149	1,229	
	7	1,143	1,254	1,244	1,174	1,204	1,253	1,050	1,321	1,226	1,225	
	8	1,166	1,342	1,210	1,174	1,143	1,238	1,407	1,234	1,226	1,144	
	9	1,143	1,254	1,237	1,288	1,170	1,240	1,225	1,268	1,229	1,252	
	10	1,326	1,116	1,184	1,226	1,292	1,129	1,278	1,198	1,318	1,283	
Punto 2	11	1,315	1,294	1,350	1,226	1,056	1,233	1,170	1,229	1,255	1,226	1,208
	12	1,022	1,226	1,424	1,204	1,288	1,183	1,137	1,291	1,229	1,283	
	13	1,377	1,110	1,288	1,204	1,172	1,244	1,141	1,404	1,242	1,313	
	14	1,022	1,130	1,192	1,192	1,178	1,317	1,231	1,233	1,288	1,167	
	15	0,995	1,206	1,210	1,288	1,170	1,319	1,255	1,167	1,226	1,288	

	16	1,377	1,095	1,288	1,231	1,280	1,144	1,255	1,137	1,292	1,316	
	17	1,199	1,244	1,390	1,231	1,153	1,145	1,216	1,112	1,258	1,112	
	18	1,144	1,206	1,308	1,116	1,258	1,272	1,112	1,226	1,204	1,288	
	19	1,061	1,164	1,308	1,245	1,354	1,231	1,234	1,170	1,167	1,226	
	20	1,153	1,159	1,231	1,231	1,231	1,231	1,166	1,106	1,165	1,319	
Punto 3	21	1,162	1,144	1,259	1,226	1,204	1,183	1,229	1,108	1,196	1,265	1,194
	22	1,324	1,153	1,199	1,204	1,178	1,141	1,082	1,167	1,167	1,170	
	23	1,204	1,206	1,170	1,143	1,404	1,316	1,146	1,137	1,245	1,243	
	24	1,138	1,218	1,172	1,258	1,245	1,141	1,240	1,163	1,288	1,288	
	25	1,253	1,159	1,079	1,110	1,143	1,233	1,186	1,137	1,170	1,272	
	26	1,083	1,239	1,199	1,167	1,236	1,152	1,208	1,158	1,313	1,206	
	27	1,253	1,253	1,141	1,110	1,201	1,229	1,084	1,234	1,288	1,255	
	28	1,206	1,079	1,167	1,258	1,240	1,141	1,264	1,204	1,112	1,225	
	29	1,247	1,199	1,253	1,137	1,102	1,053	1,202	1,289	1,165	1,317	
	30	1,209	1,112	1,081	1,204	1,141	1,141	1,174	1,342	1,110	1,165	
Punto 4	31	1,253	1,404	1,139	1,226	1,231	1,161	1,141	1,225	1,342	1,199	1,179
	32	1,022	1,142	1,199	1,265	1,317	1,015	1,170	1,137	1,170	1,287	
	33	1,493	1,073	1,253	1,245	1,143	1,240	1,084	1,114	1,245	1,255	
	34	1,256	1,199	1,201	1,109	1,083	1,141	1,264	1,155	1,167	1,204	
	35	0,995	1,199	1,230	1,205	1,258	1,183	1,328	1,152	1,199	1,287	
	36	1,199	1,114	1,084	1,149	1,110	1,183	1,229	1,167	1,251	1,161	
	37	1,199	1,084	1,137	1,149	1,053	1,240	1,145	1,167	1,141	1,242	
	38	1,033	1,252	1,078	1,153	1,319	1,320	1,112	1,259	1,231	1,243	
	39	1,134	1,082	1,253	1,133	1,255	1,056	1,240	1,158	1,226	1,216	
	40	1,086	1,239	1,196	1,226	1,231	1,143	1,171	1,255	1,226	1,244	
Punto 5	41	1,170	1,090	1,056	1,141	1,157	1,240	1,089	1,234	1,342	1,210	1,209
	42	1,404	1,124	1,167	1,108	1,070	1,143	1,199	1,231	1,283	1,196	
	43	1,138	1,226	1,199	1,082	1,112	1,229	1,141	1,108	1,231	1,204	
	44	1,199	1,241	1,141	1,226	1,226	1,328	1,202	1,161	1,170	1,280	
	45	1,083	1,153	1,082	1,170	1,226	1,240	1,192	1,167	1,283	1,258	
	46	0,995	1,076	1,255	1,204	1,116	1,268	1,056	1,167	1,226	1,246	
	47	1,083	1,315	1,199	1,143	1,116	1,144	1,112	1,141	1,288	1,251	

	48	1,068	0,995	1,196	1,196	1,245	1,231	1,229	1,274	1,235	1,229	
	49	1,218	1,083	1,079	1,210	1,200	1,240	1,171	1,288	1,229	1,170	
	50	1,169	1,029	1,259	1,139	1,143	1,272	1,328	1,316	0,941	1,244	
Punto 6	51	1,056	1,110	1,229	1,337	1,318	1,143	1,200	1,291	1,342	1,170	1,223
	52	1,404	1,239	1,142	1,167	0,941	1,231	1,082	1,231	1,163	1,318	
	53	1,143	1,223	1,229	1,170	1,245	1,319	1,224	1,240	1,170	1,198	
	54	1,170	1,181	1,081	1,110	1,143	1,240	1,084	1,229	1,229	1,288	
	55	1,143	1,160	1,079	1,204	1,170	1,141	1,288	1,264	1,230	1,283	
	56	1,138	1,217	1,140	1,116	1,166	1,096	1,317	1,274	1,170	1,229	
	57	1,022	1,158	1,199	1,110	1,315	1,231	1,089	1,196	1,288	1,226	
	58	1,110	1,192	1,258	1,112	1,170	1,316	1,208	1,160	1,155	1,255	
	59	1,269	1,111	1,256	1,170	1,083	1,141	1,166	1,112	1,226	1,158	
60	1,205	1,257	1,142	1,199	1,292	1,328	1,144	1,237	1,287	1,179		
Punto 7	61	1,130	1,103	1,240	1,227	1,272	1,127	1,215	1,306	1,219	1,241	1,215
	62	1,278	1,213	1,274	1,271	1,103	1,128	1,215	1,218	1,213	1,185	
	63	1,213	1,097	1,100	1,231	1,217	1,130	1,098	1,145	1,148	1,217	
	64	1,097	1,244	1,067	1,227	1,070	1,215	1,273	1,165	1,112	1,221	
	65	1,069	1,170	1,231	1,228	1,097	1,303	1,276	1,197	1,329	1,213	
	66	1,158	1,148	1,124	1,279	1,185	1,130	1,187	1,167	1,153	1,241	
	67	1,301	1,143	1,301	1,272	1,299	1,139	1,215	1,203	1,153	1,270	
	68	1,157	1,103	1,156	1,278	1,069	1,149	1,249	1,226	1,270	1,214	
	69	1,067	1,143	1,185	1,213	1,213	1,303	1,215	1,211	1,270	1,213	
70	1,173	1,160	1,126	1,190	1,241	1,218	1,188	1,308	1,274	1,242		
Punto 8	71	1,196	1,188	1,227	1,207	1,224	1,054	1,109	1,217	1,285	1,293	1,233
	72	1,135	1,198	1,227	1,201	1,297	1,054	1,285	1,208	1,224	1,138	
	73	0,992	1,242	1,139	1,114	1,285	1,230	1,202	1,214	1,169	1,285	
	74	1,224	1,122	1,315	1,168	1,257	1,268	1,139	1,229	1,255	1,168	
	75	1,252	1,258	1,286	1,283	1,140	1,187	1,174	1,222	1,310	1,285	
	76	1,224	1,266	1,227	1,201	1,251	1,314	1,080	1,208	1,317	1,285	
	77	1,545	1,150	1,252	1,171	1,286	1,229	1,138	1,316	1,193	1,226	
	78	1,285	1,248	1,135	1,229	1,081	1,150	1,285	1,263	1,229	1,246	
	79	1,171	1,274	1,052	1,157	1,054	1,062	1,224	1,228	1,197	1,225	

	80	1,294	1,210	1,255	1,160	1,166	1,138	1,169	1,220	1,163	1,156	
Punto 9	81	1,357	1,240	1,255	1,277	1,199	1,232	1,114	1,288	1,255	1,249	1,241
	82	1,116	1,204	1,225	1,204	1,204	1,233	1,291	1,236	1,313	1,222	
	83	1,226	1,179	1,230	1,143	1,226	1,231	1,226	1,229	1,170	1,196	
	84	1,125	1,208	1,345	1,226	1,300	1,141	1,166	1,288	1,259	1,169	
	85	1,199	1,217	1,082	1,204	1,199	1,328	1,379	1,288	1,313	1,230	
	86	1,229	1,251	1,226	1,226	1,141	1,320	1,265	1,229	1,258	1,225	
	87	1,053	1,165	1,256	1,288	1,141	1,229	1,233	1,165	1,286	1,226	
	88	1,114	1,183	1,112	1,118	1,202	1,141	1,204	1,231	1,229	1,229	
	89	1,231	1,164	1,200	1,204	1,318	1,240	1,171	1,199	1,204	1,275	
	90	1,178	1,156	1,170	1,110	1,199	1,316	1,082	1,254	1,286	1,255	
Punto 10	91	1,431	1,212	1,319	1,056	1,137	1,056	1,459	1,284	1,283	1,199	1,228
	92	1,081	1,172	1,183	1,056	1,201	1,316	1,167	1,226	1,288	1,266	
	93	1,174	1,097	1,179	1,144	1,289	1,231	1,272	1,204	1,251	1,255	
	94	1,283	1,240	1,192	1,204	1,201	1,240	1,108	1,319	1,292	1,170	
	95	1,142	1,215	1,192	0,941	1,255	1,272	1,137	1,226	1,225	1,236	
	96	1,404	1,163	1,083	1,371	1,256	1,141	1,288	1,236	1,280	1,161	
	97	1,258	1,276	1,180	1,404	1,257	1,141	1,108	1,204	1,320	1,204	
	98	1,153	1,164	1,204	1,288	1,245	1,229	1,141	1,108	1,226	1,238	
	99	1,012	1,166	1,226	1,204	1,108	1,141	1,108	1,204	1,143	1,255	
	100	1,156	1,158	1,209	1,172	1,230	1,233	1,225	1,266	1,248	1,241	
Punto 11	101	1,377	1,360	1,240	1,231	1,229	1,231	1,205	1,288	1,283	1,232	1,216
	102	1,342	1,251	1,226	1,231	1,258	1,231	1,288	1,225	1,199	1,177	
	103	1,199	1,292	1,076	0,995	1,114	1,141	1,342	1,288	1,288	1,283	
	104	1,199	1,205	1,179	0,995	1,140	1,319	1,079	1,226	1,287	1,170	
	105	1,083	1,142	1,206	1,245	1,141	1,289	1,288	1,226	1,196	1,226	
	106	1,142	1,205	1,260	1,231	1,167	1,229	1,167	1,167	1,279	1,163	
	107	1,226	1,157	1,158	1,245	1,257	1,240	1,225	1,164	1,287	1,229	
	108	1,198	1,156	1,253	1,204	1,116	1,141	1,110	1,231	1,255	1,252	
	109	1,155	1,251	1,322	1,255	1,316	1,229	1,296	1,167	1,167	1,255	
	110	1,200	1,262	1,249	1,229	1,227	1,231	1,084	1,181	1,198	1,288	
	111	1,256	1,090	1,260	1,209	1,201	1,316	1,234	1,404	1,170	1,225	1,260

Punto 12	112	1,256	1,110	1,211	1,245	1,255	1,144	1,226	1,236	1,283	1,249	
	113	1,315	1,029	1,258	1,170	1,082	1,143	1,317	1,337	1,227	1,269	
	114	1,138	1,174	0,995	1,170	1,199	1,320	1,176	1,283	1,316	1,256	
	115	1,168	1,341	1,172	1,108	1,171	1,143	1,112	1,205	1,229	1,226	
	116	1,265	1,344	1,292	1,116	1,230	1,229	1,202	1,255	1,288	1,204	
	117	1,137	1,399	1,258	1,082	1,139	1,233	1,171	1,226	1,167	1,283	
	118	1,207	1,160	1,123	1,204	1,255	1,165	1,108	1,163	1,249	1,170	
	119	1,206	1,108	1,192	1,258	1,259	1,229	1,288	1,231	1,266	1,187	
	120	1,187	1,507	1,192	1,143	1,256	1,141	1,171	1,259	1,283	1,288	
	Centro	121	1,114	1,253	1,226	1,288	1,167	1,183	1,079	1,229	1,242	
122		1,168	1,097	1,229	1,245	1,400	1,152	1,234	1,226	1,236	1,196	
123		1,110	1,213	1,318	1,288	1,318	1,141	1,112	1,226	1,231	1,287	
124		1,201	1,056	1,114	0,995	1,192	1,319	1,313	1,404	1,226	1,170	
125		1,255	1,213	1,424	1,056	1,168	1,229	1,116	1,342	1,318	1,288	
126		1,227	1,404	1,156	1,404	1,256	1,144	1,141	1,108	1,196	1,171	
127		1,230	1,097	1,249	1,116	1,081	1,320	1,171	1,245	1,258	1,258	
128		1,081	1,245	1,223	1,288	1,315	1,233	1,170	1,170	1,249	1,226	
129		1,111	1,124	1,234	1,255	1,225	1,231	1,116	1,225	1,242	1,226	
130		1,200	1,286	1,204	1,116	1,081	1,231	1,345	1,165	1,262	1,288	

Fuente: Castellano, 2021

Realizado por: Castellano, A 2021

Anexo B: Datos del monitoreo a la termal de Licamancha a 100cm.

Número de puntos a 20 cm	N	Dosis Equivalente (mSv/año)	Promedio por cada Punto									
Punto 1	1	1,147	1,057	1,148	0,949	1,045	0,968	1,098	1,106	1,124	1,209	1,089
	2	1,159	1,106	1,175	0,977	1,273	1,035	1,008	1,091	1,154	1,153	
	3	1,028	1,220	1,097	1,270	1,132	1,203	1,183	0,946	1,062	1,179	
	4	1,031	1,045	0,962	1,098	1,158	1,035	1,131	1,038	1,068	1,121	
	5	1,212	0,977	1,029	1,209	1,023	1,109	1,074	1,154	1,036	1,152	
	6	1,270	1,315	0,978	0,923	1,158	1,136	1,028	0,987	1,016	1,095	
	7	1,010	1,120	1,111	1,040	1,070	1,119	0,916	1,267	1,093	1,091	
	8	1,032	1,208	1,076	1,040	1,010	1,104	1,273	1,100	1,093	1,010	
	9	1,010	1,120	1,104	1,154	1,036	1,107	1,091	1,135	1,095	1,118	
	10	1,193	0,982	1,050	1,093	1,159	0,995	1,144	1,065	1,184	1,150	
Punto 2	11	1,181	1,161	1,217	1,093	0,923	1,099	1,036	1,095	1,121	1,093	1,074
	12	0,889	1,093	1,291	1,070	1,154	1,050	1,004	1,158	1,095	1,150	
	13	1,243	0,977	1,154	1,070	1,038	1,111	1,007	1,270	1,108	1,179	
	14	0,889	0,997	1,059	1,059	1,045	1,183	1,098	1,099	1,154	1,033	
	15	0,862	1,072	1,076	1,154	1,036	1,186	1,121	1,033	1,093	1,154	
	16	1,243	0,962	1,154	1,097	1,146	1,010	1,122	1,004	1,158	1,183	
	17	1,065	1,111	1,257	1,097	1,019	1,012	1,082	0,979	1,124	0,978	
	18	1,010	1,073	1,175	0,983	1,124	1,138	0,978	1,093	1,071	1,154	
	19	0,927	1,031	1,175	1,111	1,220	1,098	1,100	1,036	1,033	1,093	
	20	1,020	1,025	1,097	1,097	1,098	1,098	1,032	0,973	1,031	1,186	
Punto 3	21	1,029	1,010	1,126	1,093	1,070	1,050	1,095	0,974	1,062	1,131	1,060
	22	1,191	1,019	1,066	1,070	1,045	1,008	0,949	1,033	1,033	1,036	
	23	1,070	1,072	1,036	1,010	1,270	1,183	1,013	1,004	1,111	1,109	
	24	1,004	1,084	1,038	1,124	1,111	1,008	1,106	1,029	1,154	1,154	
	25	1,120	1,026	0,946	0,977	1,010	1,099	1,053	1,004	1,036	1,138	
	26	0,950	1,105	1,065	1,033	1,103	1,019	1,074	1,024	1,179	1,072	

	27	1,120	1,120	1,007	0,977	1,067	1,095	0,950	1,100	1,154	1,121	
	28	1,072	0,946	1,033	1,124	1,107	1,008	1,130	1,070	0,978	1,091	
	29	1,114	1,065	1,120	1,004	0,968	0,920	1,069	1,156	1,031	1,183	
	30	1,075	0,978	0,947	1,070	1,007	1,008	1,040	1,209	0,977	1,032	
Punto 4	31	1,120	1,270	1,006	1,093	1,098	1,027	1,007	1,091	1,209	1,066	1,045
	32	0,889	1,009	1,065	1,131	1,183	0,881	1,036	1,004	1,037	1,153	
	33	1,359	0,939	1,120	1,111	1,010	1,106	0,950	0,981	1,111	1,121	
	34	1,122	1,065	1,068	0,975	0,949	1,008	1,130	1,022	1,033	1,070	
	35	0,862	1,065	1,096	1,072	1,124	1,050	1,194	1,018	1,066	1,153	
	36	1,065	0,980	0,950	1,016	0,977	1,050	1,095	1,033	1,117	1,027	
	37	1,065	0,950	1,004	1,016	0,920	1,106	1,012	1,033	1,007	1,108	
	38	0,899	1,118	0,944	1,019	1,186	1,187	0,978	1,125	1,098	1,109	
	39	1,000	0,949	1,120	1,000	1,121	0,923	1,106	1,024	1,093	1,082	
40	0,952	1,106	1,062	1,093	1,098	1,010	1,038	1,121	1,093	1,110		
Punto 5	41	1,037	0,957	0,923	1,007	1,024	1,106	0,955	1,100	1,209	1,076	1,075
	42	1,270	0,991	1,033	0,974	0,936	1,010	1,066	1,098	1,150	1,062	
	43	1,004	1,093	1,065	0,949	0,979	1,095	1,008	0,974	1,097	1,070	
	44	1,065	1,108	1,007	1,093	1,093	1,194	1,068	1,028	1,037	1,146	
	45	0,950	1,019	0,949	1,037	1,093	1,106	1,059	1,033	1,150	1,124	
	46	0,862	0,943	1,121	1,070	0,983	1,134	0,923	1,033	1,093	1,112	
	47	0,950	1,181	1,065	1,010	0,983	1,010	0,978	1,007	1,154	1,118	
	48	0,935	0,861	1,062	1,062	1,111	1,098	1,095	1,141	1,102	1,095	
	49	1,084	0,950	0,946	1,076	1,066	1,107	1,038	1,154	1,095	1,037	
	50	1,036	0,895	1,126	1,005	1,010	1,138	1,194	1,183	0,807	1,110	
Punto 6	51	0,923	0,977	1,095	1,203	1,185	1,010	1,066	1,158	1,209	1,037	1,090
	52	1,270	1,106	1,009	1,033	0,807	1,098	0,949	1,098	1,029	1,185	
	53	1,010	1,089	1,095	1,036	1,111	1,186	1,091	1,106	1,036	1,065	
	54	1,037	1,048	0,947	0,977	1,010	1,106	0,950	1,095	1,095	1,154	
	55	1,010	1,027	0,946	1,071	1,036	1,008	1,154	1,130	1,096	1,150	
	56	1,004	1,084	1,006	0,983	1,032	0,963	1,183	1,140	1,037	1,095	
	57	0,889	1,024	1,065	0,977	1,181	1,098	0,955	1,062	1,154	1,093	
	58	0,977	1,059	1,124	0,979	1,037	1,183	1,074	1,026	1,022	1,121	

	59	1,136	0,977	1,122	1,037	0,950	1,007	1,032	0,978	1,093	1,025	
	60	1,072	1,124	1,009	1,066	1,158	1,194	1,010	1,103	1,153	1,046	
Punto 7	61	1,010	0,983	1,120	1,107	1,152	1,007	1,095	1,186	1,099	1,121	1,095
	62	1,158	1,093	1,154	1,150	0,983	1,008	1,095	1,098	1,093	1,065	
	63	1,093	0,977	0,980	1,111	1,097	1,010	0,978	1,025	1,028	1,097	
	64	0,977	1,124	0,947	1,107	0,950	1,095	1,153	1,045	0,992	1,101	
	65	0,949	1,050	1,000	1,108	0,977	1,183	1,156	1,077	1,209	1,093	
	66	1,038	1,028	1,004	1,159	1,065	1,010	1,067	1,047	1,033	1,121	
	67	1,181	1,023	1,181	1,152	1,179	1,019	1,095	1,083	1,033	1,150	
	68	1,037	0,983	1,036	1,158	0,949	1,029	1,129	1,106	1,150	1,094	
	69	0,947	1,023	1,065	1,093	1,093	1,183	1,095	1,091	1,150	1,093	
	70	1,053	1,040	1,006	1,070	1,121	1,098	1,068	1,188	1,154	1,122	
Punto 8	71	1,065	1,057	1,096	1,076	1,093	0,923	0,978	1,086	1,154	1,162	1,102
	72	1,004	1,067	1,096	1,070	1,166	0,923	1,154	1,077	1,093	1,007	
	73	0,862	1,111	1,008	0,983	1,154	1,099	1,071	1,083	1,038	1,154	
	74	1,093	0,991	1,184	1,037	1,126	1,137	1,008	1,098	1,124	1,037	
	75	1,121	1,127	1,155	1,152	1,009	1,056	1,043	1,091	1,179	1,154	
	76	1,093	1,135	1,096	1,070	1,120	1,183	0,949	1,077	1,186	1,154	
	77	1,143	1,019	1,121	1,040	1,155	1,098	1,007	1,185	1,062	1,095	
	78	1,154	1,117	1,004	1,098	0,950	1,019	1,154	1,132	1,098	1,115	
	79	1,040	1,143	0,921	1,026	0,923	0,931	1,093	1,097	1,066	1,094	
80	1,163	1,079	1,124	1,029	1,035	1,007	1,038	1,089	1,032	1,025		
Punto 9	81	1,504	1,106	1,121	1,143	1,066	1,099	0,981	1,154	1,121	1,115	1,107
	82	0,982	1,071	1,091	1,070	1,070	1,099	1,158	1,103	1,179	1,089	
	83	1,093	1,045	1,096	1,010	1,093	1,097	1,093	1,095	1,037	1,062	
	84	0,991	1,074	1,212	1,093	1,166	1,008	1,032	1,154	1,126	1,035	
	85	1,065	1,083	0,949	1,070	1,065	1,194	1,246	1,154	1,179	1,096	
	86	1,095	1,117	1,093	1,093	1,008	1,187	1,131	1,095	1,124	1,091	
	87	0,920	1,032	1,122	1,154	1,007	1,095	1,099	1,032	1,152	1,093	
	88	0,981	1,049	0,979	0,984	1,068	1,008	1,070	1,098	1,095	1,095	
	89	1,097	1,030	1,066	1,070	1,184	1,106	1,038	1,066	1,070	1,141	
90	1,045	1,022	1,036	0,977	1,065	1,183	0,949	1,121	1,152	1,121		

Punto 10	91	1,298	1,078	1,186	0,923	1,004	0,923	1,325	1,150	1,150	1,066	1,094
	92	0,948	1,038	1,050	0,923	1,068	1,183	1,033	1,093	1,154	1,132	
	93	1,040	0,963	1,045	1,010	1,155	1,097	1,139	1,070	1,117	1,121	
	94	1,150	1,106	1,059	1,070	1,067	1,107	0,974	1,186	1,158	1,037	
	95	1,009	1,081	1,059	0,807	1,121	1,138	1,004	1,093	1,091	1,103	
	96	1,270	1,030	0,949	1,237	1,122	1,007	1,154	1,103	1,146	1,027	
	97	1,124	1,142	1,047	1,270	1,123	1,007	0,974	1,070	1,187	1,070	
	98	1,020	1,031	1,071	1,154	1,111	1,095	1,008	0,974	1,093	1,105	
	99	0,879	1,033	1,093	1,070	0,974	1,007	0,974	1,070	1,010	1,121	
	100	1,022	1,024	1,075	1,038	1,096	1,099	1,091	1,132	1,115	1,108	
Punto 11	101	1,243	1,226	1,106	1,098	1,095	1,098	1,071	1,154	1,150	1,098	1,083
	102	1,209	1,118	1,093	1,098	1,124	1,097	1,154	1,091	1,066	1,043	
	103	1,065	1,158	0,943	0,862	0,980	1,008	1,209	1,154	1,154	1,150	
	104	1,066	1,072	1,045	0,862	1,006	1,185	0,946	1,093	1,153	1,036	
	105	0,950	1,009	1,072	1,111	1,007	1,156	1,154	1,093	1,062	1,093	
	106	1,009	1,072	1,127	1,097	1,033	1,095	1,033	1,033	1,145	1,029	
	107	1,093	1,023	1,025	1,111	1,123	1,106	1,091	1,030	1,153	1,095	
	108	1,065	1,022	1,120	1,070	0,982	1,008	0,977	1,097	1,121	1,118	
	109	1,021	1,118	1,188	1,121	1,183	1,095	1,162	1,033	1,033	1,121	
	110	1,067	1,128	1,115	1,095	1,093	1,097	0,950	1,048	1,065	1,154	
Punto 12	111	1,298	0,957	1,127	1,075	1,068	1,183	1,100	1,270	1,037	1,092	1,126
	112	1,298	0,977	1,077	1,111	1,121	1,010	1,093	1,102	1,150	1,115	
	113	1,181	0,895	1,124	1,037	0,949	1,010	1,183	1,203	1,094	1,135	
	114	1,004	1,040	0,862	1,037	1,066	1,187	1,043	1,150	1,183	1,123	
	115	0,947	1,207	1,038	0,974	1,037	1,010	0,978	1,072	1,095	1,093	
	116	1,131	1,210	1,158	0,983	1,096	1,095	1,068	1,121	1,154	1,070	
	117	1,004	1,178	1,124	0,949	1,005	1,099	1,038	1,093	1,033	1,150	
	118	1,073	1,026	0,989	1,070	1,121	1,032	0,974	1,029	1,115	1,036	
	119	1,073	0,975	1,059	1,124	1,126	1,095	1,154	1,098	1,132	1,053	
	120	1,053	1,373	1,059	1,010	1,123	1,008	1,038	1,125	1,150	1,154	
Centro	121	0,980	1,120	1,093	1,154	1,033	1,050	0,946	1,095	1,108	1,091	1,093
	122	1,035	0,963	1,095	1,111	1,135	1,019	1,100	1,093	1,103	1,062	

123	0,977	1,079	1,184	1,154	1,184	1,008	0,978	1,093	1,097	1,153
124	1,068	0,923	0,980	0,862	1,059	1,186	1,179	1,270	1,093	1,036
125	1,121	1,079	1,291	0,923	1,035	1,095	0,982	1,209	1,185	1,154
126	1,094	1,270	1,023	1,270	1,122	1,010	1,007	0,974	1,062	1,038
127	1,096	0,963	1,116	0,983	0,947	1,187	1,038	1,111	1,124	1,124
128	0,948	1,111	1,090	1,154	1,181	1,099	1,036	1,036	1,115	1,093
129	0,977	0,991	1,101	1,121	1,092	1,098	0,982	1,091	1,108	1,093
130	0,989	1,075	0,993	0,905	0,870	1,021	1,134	0,954	1,052	1,077

Fuente: Castellano, 2021

Realizado por: Castellano, A 2021

Anexo C: Datos del monitoreo a la termal de Cunuyacu a 100cm.

Aguas Termales de Cunuyacu								
Temperatura promedio del agua:		33,5						
Temperatura promedio ambiental:								
Humedad promedio relativa:								
Días de monitoreo		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	
Número de puntos a 20 cm	N	Dosis Equivalente (mSv/año)	Promedio por cada punto					
Punto 1	1	1,909	1,744	1,666	1,616	2,013	1,492	1,691
	2	1,495	1,670	1,661	1,567	1,715	1,585	
	3	1,637	1,564	1,597	1,703	1,813	1,648	
	4	1,641	1,553	1,721	1,641	1,655	1,694	
	5	1,556	1,556	1,761	1,661	1,591	1,635	
	6	1,317	1,585	1,510	1,797	1,492	1,404	
	7	1,317	1,559	1,742	1,564	1,496	1,498	
	8	2,202	1,589	1,957	2,027	1,764	1,761	
	9	1,612	1,932	1,740	1,787	1,696	1,607	
	10	1,909	1,727	1,495	1,547	1,559	1,838	

Punto 2	11	1,729	1,729	1,754	1,576	1,578	1,766	1,826
	12	2,084	1,839	1,849	1,771	1,564	1,866	
	13	1,612	1,699	1,519	1,742	1,651	1,491	
	14	2,441	2,004	1,773	2,441	2,036	2,052	
	15	1,847	1,750	1,651	1,833	1,739	1,839	
	16	2,202	1,852	1,752	2,034	1,835	1,699	
	17	1,612	2,050	1,564	1,678	2,090	2,124	
	18	1,729	2,010	1,821	1,729	1,729	1,160	
	19	1,965	2,116	1,965	1,790	1,611	1,774	
	20	1,612	2,050	2,086	1,665	1,698	1,683	
Punto 3	21	1,729	1,581	1,739	1,835	1,753	1,616	1,840
	22	2,084	1,782	2,220	2,151	2,135	1,937	
	23	1,847	1,699	1,759	1,835	2,213	2,015	
	24	2,441	2,192	2,441	1,839	1,834	1,752	
	25	1,847	1,803	1,818	1,843	1,753	1,927	
	26	2,202	1,911	1,674	1,744	1,958	2,002	
	27	1,847	1,835	1,825	2,191	1,963	1,858	
	28	1,729	1,753	2,242	1,752	1,748	1,747	
	29	1,965	2,024	2,123	1,612	2,185	2,124	
	30	2,441	2,186	2,317	1,602	1,738	2,220	
Punto 4	31	1,798	1,957	1,712	1,968	1,700	1,698	1,829
	32	1,729	1,621	1,791	1,747	1,835	1,731	
	33	1,613	1,782	1,685	1,756	1,835	1,618	
	34	2,028	1,781	2,059	1,593	1,834	2,027	
	35	1,847	2,055	2,009	1,697	1,612	1,931	
	36	1,965	1,762	1,686	1,651	1,944	1,834	
	37	1,791	1,958	1,080	1,753	1,791	1,888	
	38	1,639	1,686	1,835	1,835	1,639	1,598	
	39	2,084	1,962	2,273	2,097	2,083	2,168	
	40	1,704	1,757	2,283	2,191	1,704	1,835	
Punto 5	41	1,685	1,832	1,841	1,776	1,763	1,736	1,733
	42	1,678	1,617	2,009	1,724	1,525	1,598	

	43	1,637	1,762	1,686	1,660	1,768	1,746	
	44	1,700	1,958	1,694	1,762	1,765	1,781	
	45	1,608	1,686	1,835	1,818	1,639	1,598	
	46	1,703	2,055	2,009	1,697	1,612	1,657	
	47	1,784	1,762	1,686	1,599	1,768	1,834	
	48	1,612	1,695	1,080	1,755	1,754	1,537	
	49	1,753	1,686	1,835	1,852	1,511	1,598	
	50	1,665	1,641	1,665	1,690	1,665	1,665	
Punto 6	51	1,639	1,639	1,788	1,604	1,595	1,639	1,779
	52	1,702	1,790	1,518	1,790	1,587	1,702	
	53	1,737	1,737	2,111	1,912	1,686	1,737	
	54	1,667	1,972	2,023	1,834	1,939	1,667	
	55	1,706	1,940	2,048	1,700	1,930	1,706	
	56	1,729	1,597	2,177	1,816	1,825	1,729	
	57	2,202	1,694	1,753	1,791	1,800	2,202	
	58	1,612	1,173	1,787	1,612	1,605	1,612	
	59	1,965	1,877	2,055	1,972	2,118	1,965	
60	1,847	1,935	1,584	1,759	1,759	1,847		
Punto 7	61	1,664	2,054	1,834	1,522	1,612	1,668	1,683
	62	1,637	1,762	1,598	1,651	1,944	1,840	
	63	1,791	1,782	1,694	1,733	1,791	1,888	
	64	1,729	1,686	1,835	1,659	1,639	1,598	
	65	1,847	1,787	1,660	1,834	2,083	1,642	
	66	1,754	1,757	2,283	1,755	1,704	1,738	
	67	1,725	1,832	1,753	1,776	1,587	1,736	
	68	1,750	1,599	1,834	1,636	1,525	1,598	
	69	1,771	1,815	1,686	1,660	1,839	1,746	
70	1,691	1,603	1,691	1,603	1,603	1,691		
Centro	71	1,667	1,747	2,010	1,821	1,729	1,641	1,963
	72	1,847	2,995	2,116	1,790	1,790	1,612	
	73	1,700	1,699	2,042	2,173	1,665	1,698	
	74	1,796	1,641	1,599	1,651	1,835	1,753	

	75	1,876	1,908	1,779	2,220	1,740	2,135	
	76	1,774	1,935	1,699	1,934	1,485	2,213	
	77	1,849	1,828	1,929	2,266	1,926	1,834	
	78	1,787	1,759	1,768	1,835	1,580	1,753	
	79	1,902	1,764	1,823	1,587	1,744	1,958	
	80	1,762	1,847	1,756	2,351	2,191	1,963	

Fuente: Castellano, 2021

Realizado por: Castellano, A 2021

Anexo D: Datos del monitoreo a la termal de Cunuyacu a 20cm.

Número de puntos a 100 cm	N	Dosis Equivalente (mSv/año)	Promedio por cada punto					
Punto 1	1	1,666	1,433	1,579	1,466	1,554	1,556	1,586
	2	1,641	1,556	1,759	1,597	1,466	1,565	
	3	1,495	1,667	1,667	1,556	1,729	1,643	
	4	1,471	1,492	1,404	1,466	1,645	1,729	
	5	1,579	1,553	1,383	1,729	1,740	1,828	
	6	1,553	1,764	1,556	1,828	1,378	1,477	
	7	1,407	1,616	1,433	1,553	1,729	1,558	
	8	1,759	1,553	1,644	1,466	1,378	1,644	
	9	1,589	1,441	1,667	1,644	1,490	1,381	
	10	1,571	1,580	1,492	1,554	1,565	1,565	
Punto 2	11	1,641	1,720	1,565	1,698	1,643	1,667	1,578
	12	1,501	1,556	1,466	1,553	1,495	1,495	
	13	1,661	1,381	1,729	1,556	1,641	1,726	
	14	1,641	1,556	1,556	1,838	1,756	1,502	
	15	1,658	1,565	1,729	1,551	1,495	1,814	
	16	1,699	1,729	1,641	1,667	1,700	1,756	
	17	1,553	1,421	1,555	1,433	1,524	1,551	
	18	1,524	1,644	1,565	1,556	1,551	1,641	

	19	1,612	1,641	1,644	1,495	1,612	1,580	
	20	1,755	1,729	1,730	1,433	1,733	1,523	
Punto 3	21	1,791	1,667	1,550	1,644	1,644	1,644	1,597
	22	1,759	1,637	1,614	1,521	1,556	1,553	
	23	1,495	1,700	1,612	1,644	1,641	1,495	
	24	1,608	1,551	1,564	1,667	1,676	1,667	
	25	1,667	1,758	1,667	1,492	1,521	1,760	
	26	1,637	1,492	1,667	1,578	1,753	1,725	
	27	1,587	1,521	1,847	1,764	1,616	1,495	
	28	1,563	1,667	1,667	1,616	1,612	1,550	
	29	1,659	1,550	1,580	1,553	1,667	1,646	
	30	1,755	1,847	1,822	1,491	1,556	1,580	
Punto 4	31	1,729	1,667	1,517	1,726	1,550	1,495	1,610
	32	1,608	1,550	1,729	1,616	1,700	1,644	
	33	1,550	1,670	1,754	1,644	1,639	1,521	
	34	1,740	1,550	1,700	1,754	1,753	1,552	
	35	1,525	1,667	1,553	1,692	1,667	1,667	
	36	1,639	1,556	1,442	1,529	1,813	1,639	
	37	1,674	1,433	1,732	1,433	1,731	1,753	
	38	1,663	1,556	1,524	1,529	1,492	1,644	
	39	1,558	1,644	1,677	1,652	1,550	1,496	
	40	1,489	1,613	1,670	1,525	1,553	1,641	
Punto 5	41	1,523	1,611	1,639	1,613	1,641	1,492	1,602
	42	1,673	1,708	1,814	1,521	1,760	1,584	
	43	1,672	1,584	1,553	1,527	1,704	1,613	
	44	1,822	1,822	1,755	1,758	1,610	1,609	
	45	1,551	1,639	1,433	1,667	1,616	1,550	
	46	1,498	1,740	1,517	1,639	1,495	1,700	
	47	1,578	1,613	1,670	1,551	1,442	1,612	
	48	1,622	1,639	1,725	1,816	1,492	1,700	
	49	1,648	1,498	1,616	1,529	1,492	1,523	
	50	1,552	1,578	1,495	1,404	1,696	1,667	

Punto 6	51	1,495	1,671	1,696	1,578	1,435	1,551	1,649
	52	1,791	1,605	1,731	1,764	1,407	1,556	
	53	1,495	1,667	1,758	1,616	1,378	1,433	
	54	1,495	1,524	1,521	1,553	1,791	1,580	
	55	1,550	1,435	1,639	1,491	1,495	1,667	
	56	1,726	1,378	1,613	1,726	1,525	1,667	
	57	1,646	1,644	1,553	1,616	1,612	1,696	
	58	1,738	1,726	1,729	1,644	1,639	1,433	
	59	1,572	1,639	1,616	1,754	1,612	1,613	
	60	1,579	1,580	1,667	1,742	1,753	1,613	
Punto 7	61	1,909	1,726	1,510	1,554	1,729	1,791	1,619
	62	1,667	1,747	1,583	1,589	1,624	1,496	
	63	1,085	1,495	1,517	1,445	1,612	1,495	
	64	1,378	1,550	1,636	1,868	1,527	1,550	
	65	1,791	1,644	1,495	1,819	1,514	1,667	
	66	1,378	1,433	1,523	1,466	1,521	1,753	
	67	2,084	1,819	1,729	1,553	1,613	1,525	
	68	1,498	1,525	1,529	1,612	1,496	1,533	
	69	1,752	1,523	1,611	1,629	1,667	1,550	
	70	1,577	1,580	1,433	1,652	1,909	1,646	
Centro	71	1,550	1,553	1,729	1,525	1,641	1,550	1,630
	72	1,965	1,644	1,670	1,495	1,754	1,525	
	73	1,550	1,580	1,847	1,812	1,612	1,521	
	74	1,791	1,754	1,589	1,847	1,525	1,817	
	75	1,965	1,753	1,564	1,525	1,529	1,696	
	76	1,317	1,612	1,729	1,729	1,729	1,637	
	77	1,550	1,524	1,506	1,501	1,501	1,565	
	78	1,550	1,692	1,612	1,620	1,495	1,525	
	79	1,965	1,729	1,565	1,517	1,641	1,492	
	80	1,612	1,495	1,500	1,732	1,613	1,579	

Fuente: Castellano, 2021

Realizado por: Castellano, A 2021

Anexo E: Obtención de los datos de radiación de fondo gamma en las aguas termales de Licamancha



Anexo F: Monitoreo de la radiación de fondo gamma con el detector Gamma Scout



Anexo F: Toma de medidas de la termal de Cunuyacu



Anexo G: Monitoreo de la radiacion de fondo gamma



Anexo H: Guía para la medición de la radiación de fondo gamma de una termal



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

GUÍA DE LABORATORIO DE FÍSICA

**PRÁCTICA No. 01- MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN DE FONDO GAMMA EN
AGUAS TERMALES**

1. DATOS GENERALES:

NOMBRE: estudiante(s)

CODIGO(S): de estudiante(s)

.....

.....

.....

.....

GRUPO No.:

FECHA DE REALIZACIÓN:

FECHA DE ENTREGA:

aa/mm/dd

aa/mm/dd

2. OBJETIVO(S):

1. GENERAL

Determinar el nivel de radiación de fondo gamma en las fuentes aguas termales

2. ESPECÍFICOS

1. Calcular la dosis absorbida que emite una fuente de aguas termal y verificar si esta se encuentra dentro del rango permitido.

2. Calcular la exposición externa debido a la radiación gamma del interior de una fuente termal
3. Identificar si los niveles de radiación de fondo gamma de la termal, se encuentra dentro de los rangos permitidos por organismos nacionales e internacionales.

3. METODOLOGÍA

Para estimar los niveles de radiación de fondo gama de las fuentes de aguas termales. Se utilizará un detector Gamma Scout ubicado en la periferia de las piscinas, distribuidos por puntos a dos alturas diferentes de 20 cm y 100cm, con ello se logrará estimar la radiación emitida por las termales y así podamos verificar si la radiación se encuentra dentro de los límites permitidos por organismo nacionales e internacionales

4. EQUIPOS Y MATERIALES:

1. Cinta de medida
2. Detector Gamma Scout
3. Termómetro
4. Higrómetro

5. MARCO TEORICO:

Radiación de Fondo Gamma

La radiacion de fondo constituye, desde la radiación interna está en nuestro cuerpo debido a lo que comemos y bebemos y al aire que nos relajamos, así como la radiación emitida por la tierra, la cual, en un sentido general se basa en condiciones topográficas y geológicas. De esta manera, se encontrará que las proporciones de porciones de radiación gamma enorme y terrestre varían dependiendo de dónde se realicen las estimaciones, es por lo que la radiación de fondo gamma puede encontrarse de dos maneras: rayos gamma terrestres y por medio de la radiación cósmica (Asadi, 2019, p.1).

Variaciones en la radiactividad natural terrestre.

La tasa de exposición a la radiación gamma natural, puede variar de acuerdo con la presencia o ausencia de factores predominantes que pueden atenúan o incrementan el nivel de radiación gamma. Entre las variables que pueden afectar pueden ser: la humedad del suelo y la presencia de nieve, teniendo en cuenta que las variaciones del contenido del gas radón en el aire también es un factor secundario influyente (Suárez et al., 2011).

- **Humedad del suelo.**

Puede estimarse, para la radiación procedente del torio y del potasio, que el aumento de dicha humedad en un 30% puede ocasionar una disminución del nivel de radiación gamma de un 30%. En el caso del uranio, que como promedio contribuye solamente con un 10 a 20% del nivel de radiación total (Suárez et al., 2011).

- **Nieve.**

Actúa siempre como pantalla que atenúa la radiación emitida por el suelo. Sin embargo, esa atenuación no es proporcional al espesor de la nieve, si no a la densidad de esta (Suárez et al., 2011).

- **Contenido de radón**

En el aire es uno de los factores que, unido al contenido del torón, puede incrementar en nivel de radiación ambiental.

Radiación γ (gamma)

La radiación gamma, es un tipo radiación de tipo electromagnética que emite partículas ionizantes debido, a que el núcleo experimenta una transición de un estado que posee una alta energía a uno con un estado energético más bajo, cabe destacar que el número de protones y neutrones del núcleo no varía en estas transiciones. Los rayos gamma se emiten casi siempre inmediatamente después de una desintegración alfa o beta, así mismo estos también puede ser el resultado de la dispersión inelástica de partículas subatómicas por núcleos o captura de un neutrón, además presentan un poder de ionización relativamente bajo y una capacidad de penetración alta. Para atenuar dicho tipo de radiación es preciso utilizar barreras de materiales con mayor densidad como es el caso del plomo y hormigón (Cherry, 2000, p.12).

Tipos de exposición a radiaciones ionizantes:

Existen tres tipos de exposiciones que se someten los trabajadores profesionalmente expuestos los cuales son:

- Exposición ocupacional. - Los profesionales ocupacionalmente expuestos a las radiaciones ionizantes como consecuencia de su trabajo.
- Exposición Médica. – Las personas que como consecuencia de diagnósticos o tratamientos por enfermedades emplean radianes ionizantes.
- Exposición del público. – Constituye a todas las exposiciones que no está contemplada dentro de la área médicas u ocupacionales, bien sea las raciones ionizantes de distinto origen, ya sea natural o artificial (Universidad de Navarra, 2013, p.5).

Al considerarse radiaciones que poseen una alta energía pueden ocasionar daños en la piel y en los tejidos más profundos por su capacidad de penetración (Universidad de Navarra, 2013, p.2).

6. PROCEDIMIENTO:

1.- Toma de medidas

Se procederá a tomar las respectivas medidas tanto de perímetro como de el volumen de la piscina, la misma que, se calcula en función de la longitud, el ancho y las profundidades promedio. Básicamente, para tratar de calcular el área cúbica de toda la piscina. (Pure Planet Science & Technology, 2020).

2.- Ubicación de los equipos para la toma de datos en las aguas termales.

Los instrumentos como termohigrómetro, termómetros, se colocará en lugares donde los bañistas se relajan como en zonas de piscinas para la respectiva toma de temperatura, variables relevantes e importantes que podrían afectar la radiación de fondo gamma.

De la misma manera, se ubicará el dosímetro Gamma Scout alrededor de las piscinas de aguas termales en la orilla y en el centro de esta.

3.- Distancia por cada punto en piscinas grandes

La radiación gamma tiende a poseer un poder penetrante mayor que la de los rayos x, de hasta unos 200 metros de aire o de unos 40 cm del suelo, es por ello, se recomienda según (Maxwell et al., 2020), estima cubrir la mayor parte del perímetro de la piscina o río, midiendo por puntos a una distancia de 2 metros cada uno, de la misma manera se tomó la dosis de radiación en el centro de la piscina.

4.- Distancia por cada punto en piscinas pequeñas.

Por lo que, según (Alberigi et al., 2011) recomienda medir por puntos, distribuidos a una distancia de 1 metro en lugares pequeños, debido a aquello se considera medir al alrededor del perímetro, tomando en cuenta que se medirá la dosis de radiación en el centro de la piscina.

5.- Altura de cada punto

Según (Ghaffari, 2020, p.2) y (Hazrati, 2011), se recomienda que el detector se ubique a dos alturas a 20 cm y 100 cm por encima del nivel del suelo (piscina), debido a que la radiación gamma se propaga en el aire y los bañistas permanecen la mayor parte del tiempo a estas dos

alturas promedio por aquello, es preciso analizar la dosis de radiación gamma en cada punto señalado en el perímetro y en el centro.

6.- Tiempo de lectura del dosímetro Gamma Scout

Según (Ghaffari, 2020, pp-177-186), se tomará la lectura con el dosímetro Gamma Scout y este almacenará cada minuto, así mismo tomando en base a estudios realizados por (Alizadeh et al, 2008, p.4) se recomienda que el dosímetro se mantenga estable durante al menos diez minutos en cada altura por cada punto, teniendo así según (Goli Ahmadabad, 2018, p. 111) una dosis de radiación gamma registrada durante 20 minutos en cualquier punto.

7.- Tiempo estimado para del estudio de las fuentes termales

Según (Dinis et al., 2017, p. 77) el dosímetro, se utilizó para la medición la tasa de dosis de radiación gamma durante un período de tiempo de almacenados de datos entre 10 y 45 días, en diferentes estaciones del año para poder observar su comportamiento.

De acuerdo con investigaciones realizadas por (Bazrgari, 2019), todas las aguas termales al aire libre e interior es recomendable medir el fondo por radiación gamma en dos estaciones (verano y invierno)

En la investigación de (Alberigi et al., 2011), se estima que el tiempo de estudio de cada termal, puede ser al menos, de 2 meses.

8.- Obtención de los datos

Se recomienda anotar las lecturas obtenidas por el detector haciendo uso de la Tabla 1, para posteriormente comparar con los datos guardados de manera automática por el equipo, en caso de alguna falla en el mismo, para así tener un respaldo, y con ello tener una mayor certeza de los datos obtenidos, e ir registrando las observaciones y posibles variables que afecten la dosis de radiación gamma.

Tabla 1: Matriz para obtención de datos

Número de puntos	Periodo de tiempo por cada punto	Dosis Equivalente (H)	Temperatura del agua	Temperatura Ambiental	Observaciones
------------------	----------------------------------	-----------------------	----------------------	-----------------------	---------------

9.- Calcular la dosis absorbida, exposición debido a la emisión de la radiación de fondo gamma por cada punto y altura en los determinados tiempos.

Aguas Termales						
Temperatura promedio del gua:						
Humedad promedio ambiental						
Temperatura Ambiente:						
Días de Monitoreo		Días (#)				
Altura de 20 cm y 100 cm	N	Dosis Equivalente (mSv/año)	Dosis Absorbida	Exposición	Dosis Equivalente (mSv/año)	Promedio por cada Punto
Punto 1						

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

Describir en forma lógica las conclusiones a que conlleven la práctica y las recomendaciones que sean pertinentes

8. BIBLIOGRAFÍA:

AJLOUNI, A; et.al, 2010. Radiation doses due to natural radioactivity in the Afra hot springs. [En línea] 20 de Abril de 2010. https://www.researchgate.net/publication/243755690_Radiation_doses_due_to_natural_radioactivity_in_the_Afra_hot_springs_Jordan.

ALIZADEH , S; et.al, 2008. *Environmental Gamma Radiation Rate of Hot Springs of Ghainarjeh, Ilando and Moill in Meshkinshahr* [En línea] 16 de Junio de 2008. <http://jarums.arums.ac.ir/article-1-316-en.pdf>

CASTELLANO, A (2021), Elaboración de una metodología para la mediación de la radiación de fondo gamma



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 13 / 10 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: ARIEL ALEXANDER CASTELLANO CASTELLANO
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: CIENCIAS
Carrera: FÍSICA
Título a optar: BIOFÍSICO
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.



1740-DBRA-UPT-2021